

SOLUÇÕES PARA AS ALTERAÇÕES DA CONFIGURAÇÃO DA ÁREA DAS PRAIAS DO MEXILHOEIRO E ALBURRICA (PORTUGAL)

Teresa TITO

*Eng.ª Civil, WW – Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas, S.A., Rotunda Nuno Rodrigues dos Santos, nº 1 B, 10º Andar, Portela LRS,
2685-223 Lisboa, +351.21.4412877, tito@wwsa.pt*

Maria Teresa REIS

Doutoramento em Eng. Civil, Investigadora Auxiliar, LNEC, Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, +351.21.8443448, treis@lnecc.pt

José ROCHA

*Eng.º Civil, Director de Estudos, Projectos e Planeamento, APL – Administração do Porto de Lisboa, S.A.
Rua da Junqueira, 94, 1349-026 Lisboa, +351.21.3922286, jrocha@portodelisboa.pt*

Claudino VICENTE

Eng.º Civil, IST; Investigador Coordenador, LNEC; claudino.mvicente@gmail.com

RESUMO

A área das praias do Mexilhoeiro e Alburrica, localizada no estuário do Tejo, Portugal, sofreu nos últimos anos alterações acentuadas da sua morfologia, com ocorrência de erosões e assoreamentos que se atribuíram à movimentação aluvionar provocada pela acção das ondas geradas pela passagem de *catamarans* em frente às praias. As erosões puseram em risco instalações e património existentes na proximidade das praias e os assoreamentos, associados ao crescimento das restingas onde as praias se inserem, ameaçaram fechar as bacias de maré que essas formações delimitam.

Em 2007, a WW - Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas, S.A. levou a cabo, a pedido da Administração do Porto de Lisboa, S.A. (APL), um estudo para caracterização das alterações verificadas, análise das suas causas e proposta de soluções para a resolução dos problemas.

Na sequência deste estudo, a APL realizou em 2009 uma alimentação artificial, com areias provenientes de zonas adjacentes às zonas afectadas, e posteriormente a monitorização da área, mediante a realização de levantamentos periódicos de perfis transversais.

Este trabalho tem como objectivo a apresentação do estudo das alterações na área das praias do Mexilhoeiro e de Alburrica, da solução para a resolução imediata dos problemas que foi implementada pela APL, bem como dos resultados da monitorização que se tem vindo a executar com vista a melhorar a interpretação dos problemas existentes.

Palavras-chave:

Praia estuarial, Erosão e assoreamento, Alimentação artificial, Monitorização, Mexilhoeiro e Alburrica (Portugal).

1 – INTRODUÇÃO

A área das Praias do Mexilhoeiro e Alburrica, localizada no estuário do Tejo, Portugal, é constituída por formações arenosas, do tipo restinga, em grande parte não consolidadas (Figura 1). Desde há muito que se têm verificado alterações moderadas da configuração destas praias, mas estas alterações eram lentas e reversíveis, resultando de variações ocasionais do padrão médio do regime local de ondas de vento. Nos últimos anos, o comportamento morfológico alterou-se acentuadamente, com ocorrência de erosões e assoreamentos mais rápidos e intensos, que se atribuíram à movimentação aluvionar provocada pela acção das ondas geradas pela passagem de *catamarans* em frente às praias.

As erosões puseram em risco instalações e património existentes na proximidade das praias e os assoreamentos, associados ao crescimento das restingas onde as praias se inserem, ameaçaram fechar as bacias de maré que essas formações delimitam.

Assim, em 2007, a WW – Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas, S.A. (WW) foi incumbida, pela Administração do Porto de Lisboa, S.A. (APL), de caracterizar as alterações verificadas, analisar as suas causas e estudar soluções para travar o processo de degradação e reabilitar a área referida. A alimentação artificial das praias apresentou-se como a acção imediata mais indicada para o controlo das erosões.

Assim, apresenta-se neste trabalho o resultado dos estudos efectuados (pontos 2 a 4), da alimentação artificial realizada em 2009 (ponto 5) e da monitorização que se tem vindo a executar desde Setembro de 2009 da evolução das praias e do deslocamento das areias depositadas, com vista a melhorar a interpretação dos problemas existentes (ponto 6). Por fim, são apresentadas as conclusões (ponto 7).

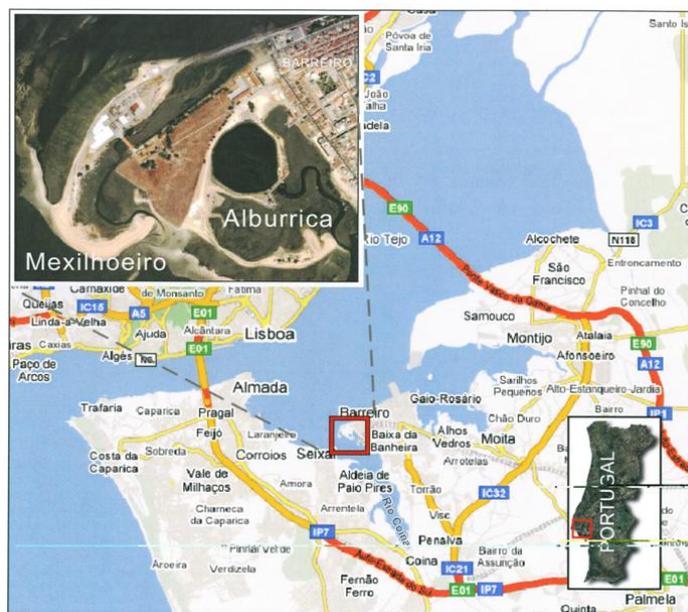


Figura 1 - Localização da zona de estudo.

2 – CONDIÇÕES HIDRO-SEDIMENTARES

2.1 Considerações gerais

A existência, dinâmica e equilíbrio das praias estuárias, como as do Mexilhoeiro e Alburrica, dependem de diferentes factores: morfologia da orla marginal; disponibilidade de sedimentos com fracção

arenosa; regime de ventos e respectivos *fetchs*, capazes de gerar ondas de vento, agente dominante da sua génese e dinâmica; níveis de maré que determinam a largura da faixa arenosa e o seu perfil transversal; e correntes de maré, agente de transporte que complementa a acção da ondulação.

Podem ainda apresentar relevância alguns factores antrópicos, como ondas produzidas por embarcações, dragagens de canais de navegação, extracção de areias e construção de obras e infra-estruturas que perturbem os padrões hidro-sedimentares pré-existentes.

Nas secções seguintes descrevem-se os factores mais relevantes na zona do Barreiro.

2.2 Morfologia

A zona em estudo situa-se no Mar da Palha, onde a largura do estuário do Tejo chega a atingir os 15 km. Na margem esquerda, a jusante de Alcochete, inserem-se as enseadas do Montijo, Barreiro e Seixal, associadas a trechos terminais de afluentes, no caso do Barreiro a foz do rio Coina (Figura 1). Ao longo deste trecho de margem desenvolvem-se extensos rastos de maré, sapais, restingas e praias estuárias, cuja morfologia natural tem sido afectada por actividades e construções que interferem com a livre movimentação dos sedimentos.

As praias do Mexilhoeiro e Alburrica situam-se no Barreiro, na foz do rio Coina (Figuras 1 e 2) e constituem a face exterior de restingas que limitam zonas de sapal e bacias, cujas variações de nível eram aproveitadas no passado para accionar moinhos de maré. Os sedimentos destas praias caem na gama das areias médias, com diâmetros médios da ordem de 0,25 a 0,5 mm.



Figura 2 - Fotografias aéreas da zona de estudo (2002/03): Mexilhoeiro (à esquerda) e Alburrica (à direita).

Na zona de estudo, estão em serviço os canais de navegação do Barreiro e do Seixal. O actual terminal do Barreiro foi inaugurado em 5 de Setembro de 1995 e o terminal do Seixal em 1 de Junho de 1997. Em 1995 entraram em serviço os primeiros *catamarans* que ligam estes terminais aos do Terreiro do Paço e do Cais do Sodré, localizados na margem norte.

A praia do Mexilhoeiro apresenta (Figuras 2 a 4): desenvolvimento arqueado convexo, com cerca de 700 m de comprimento e trechos voltados para rumos desde o W ao SE; cotas máximas de coroamento da orla arenosa de +5,0 m (ZH); larguras de 15 a 20 m, entre o nível médio (NM=+2,3 m (ZH)) e a cota de +4,0 m (ZH); perfil transversal com dois trechos de diferente declive: 13% entre a crista da praia e +1,0 m (ZH) e inferior a 2% abaixo desta cota; Moinho de Maré do Braamcamp, que foi edificado no século XVIII e que a Câmara Municipal do Barreiro pretende reactivar, o que ajudará a evitar o gradual fecho da Cala da Caldeira de Braamcamp.

No que respeita à praia de Alburrica há a destacar (Figuras 2 a 4): o desenvolvimento segundo dois trechos, com comprimentos de 300 m, voltados a SW e a S; cotas máximas de coroamento da orla arenosa da ordem de +5,0 m (ZH); larguras inferiores a 20 m entre o NM e a cota +5 m (ZH), tendo a

areia praticamente desaparecido na sua parte central; perfil transversal com dois trechos de diferente declive, de 10% entre a crista da praia e o NM e inferior a 2% abaixo desta cota; ruínas do Moinho de Maré Grande (propriedade particular), construído na segunda metade do século XVII, ao qual estava associada a designada Caldeira do Moinho Grande; e três moinhos de vento construídos em 1852.

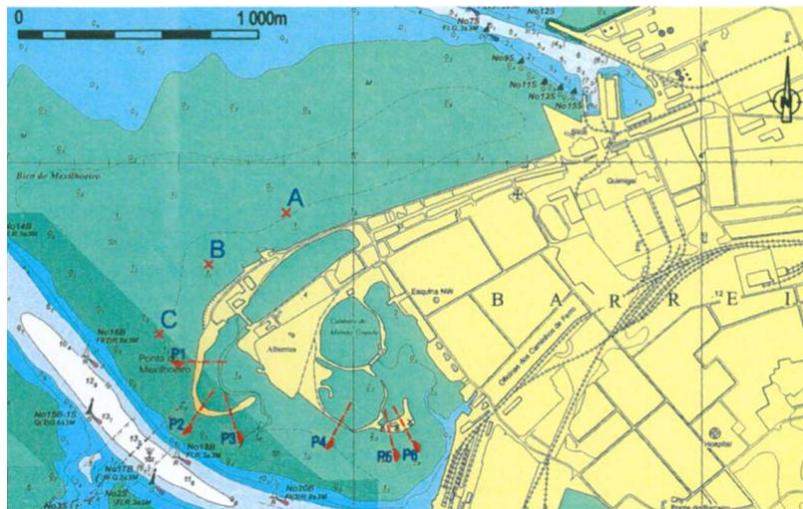


Figura 3 - Localização dos pontos e dos perfis analisados no Mexilhoeiro e em Alburrica.

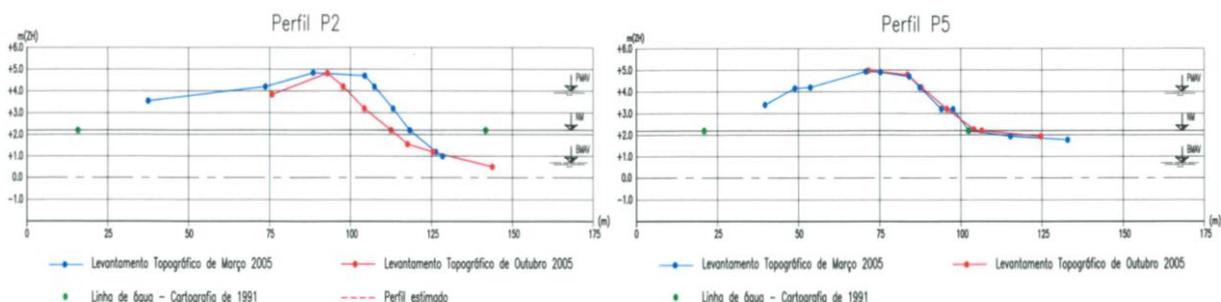


Figura 4 – Exemplo de perfis transversais das Praias do Mexilhoeiro (P2) e de Alburrica (P5).

2.3 Regime de ventos

Para a caracterização do regime de ventos no local em estudo recorreu-se a várias publicações (SERVIÇO METEOROLÓGICO NACIONAL, 1970; MENDES e COELHO, 1989; INSTITUTO DE METEOROLOGIA, 2004). Constatou-se que:

- O vento sopra dos rumos efectivos durante 74,5% do ano (Quadro1). A maior frequência de ventos está associada ao rumo N, com 33,9% do total das ocorrências. Os rumos de E, SE, S e SW correspondem a 21,5% das ocorrências totais e as calmas a cerca de 4%.
- As maiores intensidades mensais verificam-se em Julho e Agosto, associadas ao regime de nortada. De Dezembro a Maio ocorrem as frequências mais elevadas de dias de vento forte, com valores superiores a 36 km/h. A máxima intensidade do vento ocorrida no período considerado é de aproximadamente 65 km/h para o rumo W, 60 km/h para N, 55 km/h para NW e 45 km/h para NE.

2.4 Agitação

2.4.1 Considerações gerais

A agitação junto ao Mexilhoeiro e a Alburrica tem essencialmente duas origens: ondas de origem local, geradas pelo vento actuando sobre o plano de água do estuário do Tejo; e ondas geradas pela passagem dos *catamarans* da Transtejo/Soflusa que transitam regularmente entre os terminais do Terreiro do Paço e do Cais do Sodré e os terminais do Barreiro e do Seixal, respectivamente. A zona do Barreiro não é afectada pela agitação com origem em ondas oceânicas, visto estar muito longe da embocadura do Tejo.

2.4.2 Agitação gerada por ventos locais

Só ocorre agitação significativa de vento na embocadura da enseada do Barreiro para os rumos W, NW, N e NE (WW, 2007). Tendo por base a batimetria do estuário do Tejo e o regime de vento anual médio representativo referido na secção anterior e apresentado no Quadro 1, estudou-se a distribuição da agitação gerada por ventos locais em todo o estuário. Para tal utilizou-se o modelo MIKE 21 NSW, desenvolvido pelo DHI Water & Environment (DHI), e avaliou-se a altura significativa, H_s , o período médio, T_m , e a direcção média, Dir , das ondas geradas por um campo de ventos uniforme actuando sobre todo o domínio com velocidades constantes, medidas à altura de 10 m (U_{10}), para os octantes efectivos e considerando o nível de maré +3,5 m (ZH), que corresponde a PMAV em Cascais.

A agitação proveniente dos rumos efectivos atinge directamente a zona norte do Mexilhoeiro sendo a parte restante desta praia e toda a praia de Alburrica atingidas apenas de forma indirecta e muito atenuada, após sensíveis efeitos de refacção e difracção das ondas. Deve-se essa situação de abrigo ao seu posicionamento no início do contorno interior da enseada do Barreiro.

Consideraram-se três pontos no exterior do Mexilhoeiro para avaliar as características e capacidade de transporte das ondas de vento (Figura 3): pontos A, B e C. No Quadro 1 mostram-se os regimes de agitação de vento anuais médios nos pontos A, B e C.

Quadro 1 - Regime de vento anual médio representativo para a zona de estudo considerada e regimes de agitação de vento anuais médios nos pontos A, B e C.

Ocorrência (%)	Vento		Ponto A			Ponto B			Ponto C		
	Direcção	Velocidade (m/s)	Hs (m)	Tm (s)	Dir (°N)	Hs (m)	Tm (s)	Dir (°N)	Hs (m)	Tm (s)	Dir (°N)
6,0	W	2,17	0,07	1,0	278,47	0,07	1,0	276,12	0,07	0,9	277,18
4,2		4,57	0,15	1,4	278,88	0,15	1,3	276,52	0,14	1,3	277,43
2,0		7,60	0,25	1,7	279,88	0,25	1,6	277,46	0,23	1,6	278,32
0,3		11,00	0,34	2,0	280,81	0,32	1,8	279,53	0,29	1,7	280,48
5,2	NW	2,23	0,08	1,1	316,72	0,08	1,1	316,46	0,08	1,0	317,02
6,1		4,64	0,18	1,5	315,77	0,17	1,4	315,73	0,17	1,4	316,38
4,4		7,64	0,28	1,8	315,12	0,27	1,7	314,99	0,27	1,7	315,62
0,7		10,71	0,34	1,9	313,94	0,33	1,9	313,68	0,34	1,9	314,36
8,5	N	2,27	0,10	1,3	2,96	0,10	1,3	4,13	0,10	1,3	4,61
11,6		4,68	0,23	1,8	3,83	0,23	1,8	4,94	0,23	1,8	5,67
11,2		7,78	0,38	2,2	2,57	0,38	2,2	2,94	0,37	2,2	2,93
2,5		10,72	0,50	2,5	1,97	0,50	2,5	1,73	0,49	2,5	1,17
0,1		13,00	0,59	2,7	1,81	0,59	2,7	1,12	0,57	2,7	0,22
7,7	NE	2,14	0,05	1,0	47,01	0,05	1,1	47,67	0,05	1,1	46,07
3,4		4,44	0,11	1,5	45,29	0,12	1,5	45,82	0,12	1,5	43,76
0,6		7,50	0,19	1,8	46,47	0,20	1,8	46,63	0,20	1,9	44,54

Destes regimes destacam-se os seguintes aspectos: as características da agitação gerada pelo vento não variam significativamente para os três pontos, sendo no entanto o ponto C o que em geral se encontra ligeiramente mais abrigado para os rumos considerados; e é reduzido o efeito dos fundos sobre a propagação das ondas, o que era esperado atendendo à gama de períodos e profundidades em causa.

Dada a complexidade da situação de propagação na enseada do Barreiro, em que se combina a refração e difracção com os efeitos das correntes e as variações de nível associados à maré, não se avançou, nesta fase do estudo, na caracterização quantificada da incidência indirecta das ondas de vento no corpo principal da praia do Mexilhoeiro e na praia de Alburrica. Considerações qualitativas permitem afirmar, no entanto, que as ondas ao propagarem-se para o interior da enseada do Barreiro sofrem forte atenuação das suas alturas e da energia dissipada por metro de costa, devido aos efeitos de difracção e de adaptação das cristas ao longo do contorno das margens.

2.4.3 Agitação devida ao tráfego fluvial

As praias do Mexilhoeiro e de Alburrica passaram, a partir de 1995, a ser atingidas pela agitação gerada pelos *catamarans* da Transtejo/Soflusa que fazem o percurso entre os terminais do Terreiro do Paço e do Barreiro (Figura 5). O Mexilhoeiro é ainda atingido pela agitação proveniente dos *catamarans* da Transtejo/Soflusa que realizam o percurso entre o Terreiro do Paço e o terminal do Seixal (Figura 5). Em frente ao Mexilhoeiro, a rota dista aproximadamente entre 250 e 550 m da linha de água de nível médio (NM), em profundidades que variam entre cerca de 12 e 16 m, em NM. Em frente a Alburrica, a rota dista entre 350 m e 550 m da linha de água de nível médio, em profundidades que variam entre 10 e 14 m aproximadamente, em NM.

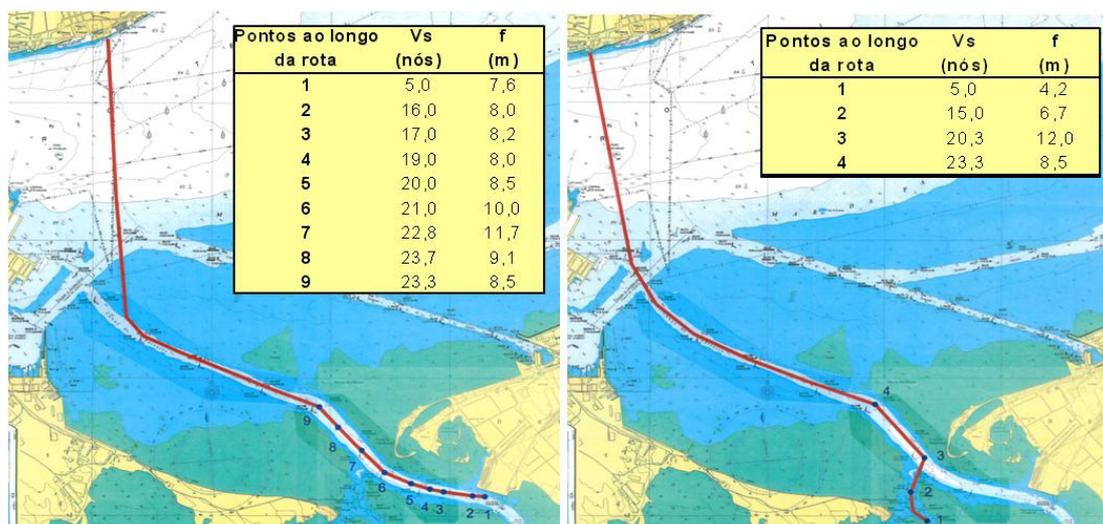


Figura 5 - Rota Terreiro do Paço - Barreiro (à direita): exemplo de velocidades, Vs, e de folgas, f, registadas num *catamaran* durante uma viagem do Barreiro para o Terreiro do Paço para um nível de maré médio de +1,22 m (ZH). Rota Cais do Sodré - Seixal (à esquerda): exemplo de Vs e f registadas num *catamaran* durante uma viagem do Seixal para o Cais do Sodré para um nível de maré médio de +2,06 m (ZH).

A análise dos horários da Transtejo/Soflusa permite constatar que o número anual de viagens na ligação Terreiro do Paço/Barreiro totaliza 23830 aproximadamente e no sentido contrário 24330. Na ligação Cais do Sodré/Seixal realizam-se 10381 viagens e no sentido oposto 10631.

Dadas as características dos *catamarans* da Transtejo/Soflusa, estas embarcações são designadas por embarcações de alta velocidade, segundo a definição apresentada em PIANC (2003), que diz que uma embarcação se considera de alta velocidade se conseguir atingir velocidades (em m/s) superiores ou iguais a $3,7 \nabla^{0,1667}$, onde ∇ é o deslocamento da embarcação em m^3 .

Neste estudo, considerou-se que as velocidades de circulação dos *catamarans*, Vs, nos percursos em causa variavam entre 10 e 24 nós, quer em baixa-mar, quer em preia-mar. Estes valores têm como base as velocidades registadas durante algumas viagens efectuadas na cabine dos *catamarans*, informações fornecidas por Mestres dos *catamarans* e informação disponível no site da Transtejo/Soflusa. O primeiro valor corresponde a velocidades de saída e aproximação da embarcação e os valores superiores a este a velocidades de navegação em canais e em grandes profundidades. Relativamente às velocidades dos *catamarans*, foram ainda obtidas e verificadas as seguintes informações:

- No sentido Barreiro-Terreiro do Paço, os *catamarans* começam a aumentar a sua velocidade em frente aos moinhos de Alburrica;
- No sentido Terreiro do Paço-Barreiro, os *catamarans* começam a reduzir a velocidade na bóia 18B;
- Na ligação com o Seixal, quer num sentido, quer noutro, o local onde os *catamarans* começam a aumentar/diminuir a sua velocidade depende do nível de maré, dadas as baixas profundidades existentes no Canal da Trindade, mas situa-se entre a bóia 4S-2T e o início do Canal do Barreiro;
- Em geral, as velocidades em baixa-mar e preia-mar não variam significativamente, pelo que o tempo de viagem depende, não tanto do nível de maré, mas sim do estado da agitação de vento e do tráfego existente, quer em viagem, quer na largada e na atracação.

Para a gama de profundidades e velocidades em questão na zona de estudo (ver exemplos na Figura 5), os valores de Fd variam aproximadamente entre 0,28 e 1,31 para BMAV (+0,7 m (ZH)), entre

0,26 e 1,2 para NM e entre 0,24 e 1,11 para PMAV (+4,0 m (ZH)), sendo $F_d = V_s / \sqrt{gd}$ o número de Froude e g a aceleração da gravidade. As velocidades críticas ($0,85 < F_d < 1,1$) são atingidas nos percursos dos *catamarans* qualquer que seja o nível de maré considerado.

Pode ainda acrescentar-se que na rota do Barreiro, estas velocidades são atingidas quer na zona do Mexilhoeiro, quer em Alburrica, e na rota do Seixal são atingidas no Mexilhoeiro. Note-se, no entanto, que para níveis baixos a linha de água recua para os rasos de maré razão pela qual as ondas não contribuem para a erosão das praias durante a parte do período da maré próxima da baixa-mar.

Como não se dispunha de registos da agitação gerada pelos *catamarans*, efectuou-se uma estimativa da máxima altura de onda produzida por um *catamaran*, H_{max} , através das fórmulas empíricas apresentadas em PIANC (1995), desenvolvidas para *catamarans* com base em dados de modelo e de protótipo, para qualquer valor de F_d (WW, 2007). Além disso, recorreu-se a uma estimativa expedita, por observação visual, das ondas de esteira em duas zonas de cada uma das praias. Esta observação foi feita com níveis de maré que variavam entre +2,5 m (ZH) e +3,0 m (ZH). Procurou-se avaliar, para as entradas e saídas dos *catamarans*, o tempo de actuação das ondas com alturas superiores a 10 cm e os valores médios das suas alturas, períodos e obliquidades na rebentação (Figura 6). São de destacar os seguintes aspectos:

- As embarcações que se dirigiam para o Seixal geravam ondas que não se detectam ou tinham alturas muito pequenas nas zonas observadas, razão porque não foram consideradas;
- Nas orlas SW e SE do Mexilhoeiro as ondas ao rebentar tinham forte obliquidade na entrada das embarcações enquanto que na saída a sua incidência era praticamente frontal;
- As ondas geradas pelos *catamarans* que partiam do Barreiro atingiam o trecho sul da praia de Alburrica com alturas pouco significativas, devido talvez ao facto de os aumentos de velocidade das embarcações só se iniciarem a partir dessa zona;
- Ocorria, na maior parte dos casos, uma primeira série de ondas seguida de nova série com alturas e períodos bastante menores, o que pode ser devido às variações de velocidade das embarcações na aproximação e partida do Barreiro.

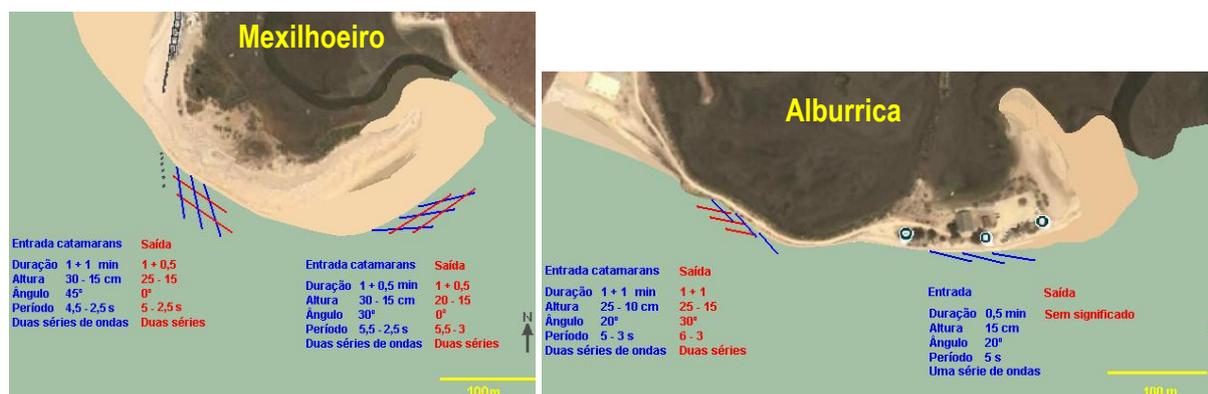


Figura 6 - Esquema das observações expeditas e estimativa dos parâmetros das ondas de esteira.

2.5 Correntes de maré

Para a caracterização das correntes de maré no local do estudo, utilizou-se o modelo matemático do estuário do Tejo, desenvolvido pela WW com base no modelo MIKE 21 HD (Hydrodynamics), do DHI (WW, 2007).

De uma forma geral, as velocidades são muito reduzidas, variando as velocidades máximas entre 0,4 m/s a 0,6 m/s nas zonas mais profundas (final do Canal do Barreiro e início do Canal da Siderurgia).

Relativamente à zona de Alburrica, as velocidades máximas são de 0,2 m/s. No Mexilhoeiro as velocidades são ligeiramente superiores, atingindo pontualmente na Ponta do Mexilhoeiro 0,4 m/s.

Tal como era de esperar, o sentido das correntes é essencialmente de montante para jusante do Rio Coina no caso da vazante e no sentido oposto durante a enchente.

2.6 Dinâmica e equilíbrio sedimentares

O trecho da margem sul do estuário entre Alcochete e a Base Naval do Alfeite, em que se insere a orla arenosa do Barreiro, é favorável à existência de praias estuárias. A sua formação e permanência devem-se aos extensos rasos de maré com fundos vaso-arenosos que orlam a margem e à ocorrência de ventos de W a NE com *fetchs* suficientemente longos para gerar um regime local de ondas com apreciável energia.

Ao dissipar-se por rebentação sobre a orla marginal, a agitação gera intensa turbulência que mobiliza os sedimentos dos fundos, seleccionando a sua fracção arenosa. Os lodos, após entrarem em suspensão, são transportados pelas correntes de maré para zonas distantes e mais profundas onde encontram condições de suficiente calma para voltar a assentar. Esta actuação conjunta da rebentação das ondas e das correntes alternadas da maré, em que as primeiras emulsionam os fundos e as segundas transportam para longe a fracção fina, é um processo muito eficaz de selecção das maiores granulometrias, correspondentes às areias, e explica a geração e sobrevivência de praias estuárias num ambiente em que os lodos são dominantes.

O equilíbrio e transporte de areias nas praias estuárias processam-se do mesmo modo que nas praias oceânicas, dependendo principalmente da acção das ondas, embora complementada pelas correntes de maré. A principal diferença está nas muito menores quantidades de energia dissipada e, portanto, de areias transportadas.

Com o clima de agitação de vento anteriormente caracterizado por modelação, foi efectuado um cálculo do transporte sólido litoral nos pontos A, B e C adjacentes à restinga do Mexilhoeiro (Figura 3), através da fórmula do Coastal Engineering Research Center (VICENTE, 1991). Apresenta-se no Quadro 2 o resumo dos resultados, os quais suscitam os seguintes comentários:

Quadro 2 - Capacidade de transporte das ondas de vento na orla norte do Mexilhoeiro (pontos A, B e C).

Pontos	Capacidade de Transporte (m ³ /ano)			
	Para SW	Para NE	Total	Saldo
A	16 654	5 031	21 685	11 623
B	24 645	2 632	27 277	22 013
C	18 441	437	18 878	18 004

- Os cálculos estimam a capacidade de transporte das ondas de vento, que só se traduz em transporte efectivo quando há areias disponíveis, situação que apenas se verifica no ponto C.
- Encontraram-se capacidades de transporte totais da ordem de 19 000 a 27 000 m³/ano, valores um pouco elevados quando comparados com valores de 18 000 m³/ano existentes para a praia do Alfeite (WW, 2007). Julga-se que, na realidade, são valores por excesso, por se ter considerado um único nível de água de preia-mar.
- As capacidades de transporte para SW, no sentido da enseada do Barreiro, são fortemente dominantes, o que explica a ausência de praia na zona do Clube Naval. O ponto C constitui uma excepção pois a tendência de fuga das areias era contrariada: no passado, pela acção das correntes de maré da embocadura do Coina que promoviam a sua recirculação ao longo da restinga aí existente; na situação presente, pela acção de contenção ainda mais acentuada das ondas de esteira dos *catamarans*.

3 – ALTERAÇÕES NAS PRAIAS

3.1 Caracterização

Para caracterizar a rápida alteração morfológica que tem afectado as duas praias nos últimos anos foram utilizados os elementos constantes em CMB (2005a, b), que incluem: levantamentos topográficos realizados pela Câmara Municipal do Barreiro (CMB) em Março e Outubro de 2005; a sua comparação entre si e com uma situação passada, anterior à evolução em análise; e registos fotográficos de diferentes datas. Os principais aspectos da evolução ocorrida podem sintetizar-se da seguinte forma (Figura 7):

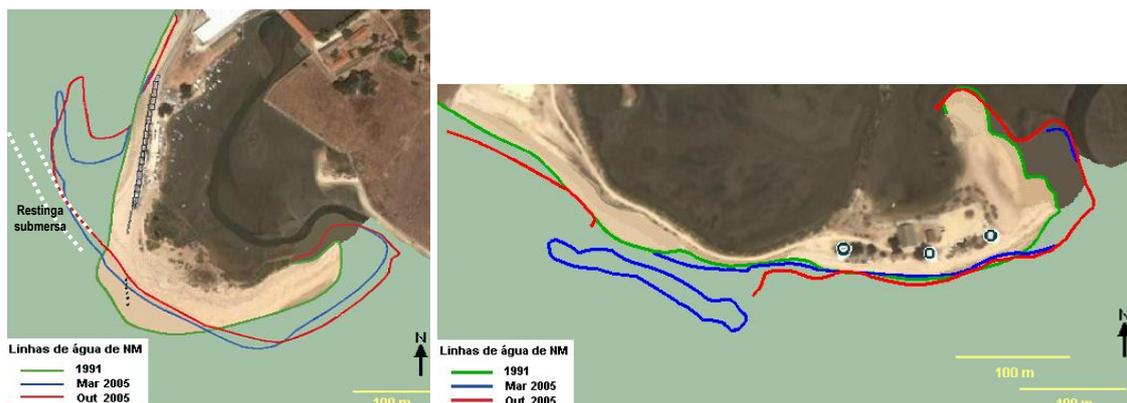


Figura 7 - Evolução das praias do Mexilhoeiro (à esquerda) e Alburrica (à direita).

Praia do Mexilhoeiro

- Desgaste acentuado da ponta do Mexilhoeiro com transferência de areias para as zonas adjacentes. O cálculo efectuado a partir dos levantamentos topográficos pelos serviços técnicos da CMB aponta para volumes de erosão da ordem de 25 000 m³, entre a situação anterior ao processo evolutivo e Outubro de 2005. Não está nestes números contabilizada, por se tratar de uma formação com cotas abaixo da baixa-mar que não foi objecto de levantamento, a erosão da restinga submersa que prolongava para norte a ponta do Mexilhoeiro.
- As zonas adjacentes à ponta do Mexilhoeiro sofreram assoreamentos superiores a 40 000 m³. São visíveis os seus efeitos: na acentuada protuberância que se formou no trecho voltado a NW onde se encontra implantada uma fiada de habitações precárias, saliência que resultou do recolamento à margem da referida restinga submersa; no crescimento do extremo da restinga do Mexilhoeiro e gradual estrangimento da cala que alimenta a Caldeira do Braamcamp.
- Os deslocamentos de areia estavam ainda muito activos em 2005, com erosões de 15 000 m³ e assoreamentos de 18 000 m³, entre Março e Outubro desse ano. Não se dispõe de dados sobre a evolução posterior.

Praia de Alburrica

- Desgaste acentuado da parte central com transferência de areias para as zonas adjacentes, especialmente para o extremo da restinga. A comparação dos levantamentos topográficos aponta para volumes de erosão da ordem de 15 000 m³, entre a situação anterior ao processo evolutivo e Outubro de 2005. A erosão atingiu a via de acesso e o trecho dos moinhos de vento, tendo-se verificado um acentuado emagrecendo da orla arenosa que protege as fundações destas obras e ocorrido galgamentos da via pela ondulação.
- As zonas do extremo da restinga e do seu enraizamento sofreram assoreamentos

significativos, superiores a 20 000 m³.

- O processo evolutivo estava ainda activo em 2005, com erosões de 4 000 m³ e assoreamentos de 7 000 m³, entre Março e Outubro desse ano.

3.2 Interpretação das recentes alterações morfológicas

Como foi referido, as evoluções que as praias do Mexilhoeiro e Alburrica sofriam no passado eram lentas e reversíveis, devendo resultar de alterações ocasionais do padrão médio do regime local de ondas de vento e das ondas geradas pelos anteriores navios, mais lentos e de menores dimensões. As recentes ocorrências apresentam-se mais rápidas e intensas, correspondendo ao rompimento do anterior equilíbrio sedimentar.

Atribui-se ao tráfego de *catamarans* a causa deste desequilíbrio, não só por ter havido coincidência temporal entre o desencadear das recentes ocorrências e o início das carreiras destas embarcações, como pela visível intensidade de dissipação de energia das ondas de esteira sobre as praias afectadas. Estas ondas aparentavam possuir uma significativa capacidade de transporte devido à sua frequência, alturas e apreciáveis ângulos que formam com a linha de água na rebentação.

Para avaliar essa capacidade, efectuaram-se cálculos de transporte sólido litoral com base nos dados de observação expedita anteriormente referidos e aplicando a fórmula do CERC, já usada para as ondas de vento, com os resultados que se apresentam no Quadro 3. Estes resultados são compatíveis com a evolução em curso e evidenciam uma capacidade de transporte destas ondas suficiente para explicar o desequilíbrio aluvionar. Destacam-se os seguintes aspectos: deslocamento, para o trecho norte do Mexilhoeiro, de grandes volumes de areia provenientes da restinga submersa; transporte na orla do Mexilhoeiro dirigido para o interior da baía do Barreiro, superior a 10 000 m³/ano; e resultantes de transporte em Alburrica de cerca de 3 000 m³/ano, dirigidas para o enraizamento da restinga, e de 1 000 m³/ano, dirigidas para o seu extremo.

Quadro 3 - Valores do transporte sólido litoral calculados a partir dos dados de observação expedita das ondas de esteira dos *catamarans*.

Local	Sentido dos <i>Catamarans</i>	Caudal Sólido Litoral		Saldo		
		Valor (m ³ /ano)	Sentido	Valor (m ³ /ano)	Sentido	
Mexilhoeiro	Orla SW	Entrada	12 770	Para a extremidade	15 030	Para a extremidade
			2 260	Para a extremidade		
	Saída	Nulo (onda frontal)	---	---	---	
		Nulo (onda frontal)	---			
	Orla SE	Entrada	11 060	Para a extremidade	12 040	Para a extremidade
			980	Para a extremidade		
Saída	Nulo (onda frontal)	---	---	---		
	Nulo (onda frontal)	---				
Alburrica	Orla SW	Entrada	5 130	Para a extremidade	5 650	Para a extremidade
			520	Para a extremidade		
	Saída	7 000	Para o enraizamento	8 900	Para o enraizamento	
		1 900	Para o enraizamento			
	Orla S	Entrada	720	Para a extremidade	720	Para a extremidade
			---	---		
Saída	---	---	---	---		
	---	---				

3.3 Perspectivas de evolução das alterações

A evolução em curso constitui o processo de adaptação da linha de costa à alteração das condições hidro-sedimentares resultante do aparecimento de um novo agente de transporte, as ondas

de esteira dos *catamarans*. Com base nas análises dos pontos anteriores é possível deduzir as seguintes tendências da evolução em curso: reorientação da linha de água como resultado do recuo dos trechos em erosão e avanço dos trechos em assoreamento; e crescimento gradual das restingas, especialmente do Mexilhoeiro, com tendência para o fecho das embocaduras que alimentam as bacias de maré que essa formações delimitam.

4 – SOLUÇÃO PROPOSTA

4.1 Considerações gerais

Para o caso em estudo e face à informação apresentada nas secções anteriores, a alimentação artificial apresentou-se como a acção imediata mais indicada para o controlo das alterações, visto que: manteria a zona com o aspecto natural, dado o seu reduzido impacte visual e paisagístico; permitiria a ocorrência dos processos naturais de transporte, com reduzido impacte ambiental; seria uma solução adequada, pois permitiria o controlo das alterações morfológicas durante alguns anos; e não envolvia um investimento muito grande, dada a baixa intensidade de transporte sólido litoral avaliada nas zonas de intervenção.

No que se refere a uma solução definitiva, existia ainda alguma incerteza face às limitações dos dados de análise e à complexidade dos fenómenos em causa, pelo que se sugeriram as seguintes linhas de actuação: efectuar uma acção de alimentação artificial de volume moderado que resolvesse os problemas de curto prazo; promover a monitorização da evolução das praias com vista a melhorar a interpretação dos problemas existentes; e verificar, a partir da análise dos elementos obtidos na monitorização, se a resolução dos problemas de longo prazo deveria passar pela repetição periódica de acções de alimentação artificial ou pelo recurso à construção de algumas obras fixas que controlassem o fluxo de areias e estabilizassem os trechos em evolução.

4.2 Alimentação artificial

Para resolver os problemas de curto prazo das praias, preconizaram-se as seguintes acções de alimentação artificial com areia dos seguintes dois trechos (Figura 8): no Mexilhoeiro, um enchimento com 200 m de comprimento, 25 m de largura, coroamento à cota +4,5 m (ZH) e volume de 17 500 m³; e em Alburrica, um enchimento com 400 m de comprimento, 20 m de largura, coroamento à cota +4,5 m (ZH) e volume de 28 000 m³.

Recomendou-se ainda a realização de uma alimentação artificial em frente ao Clube Naval, dados os estragos verificados no muro existente entre este Clube e a praia do Mexilhoeiro.

4.3 Zonas de empréstimo

Tendo em consideração a localização dos dois trechos que seriam objecto de alimentação artificial com areia, procurou-se identificar zonas de empréstimo relativamente próximas com o objectivo de reduzir a distância de transporte. Por outro lado, havia vantagens em que tais zonas de empréstimo coincidissem com áreas de assoreamento cuja evolução, que se tem registado ao longo do tempo, deva ser limitada ou mesmo revertida. São exemplo as restingas onde as praias a alimentar se inserem, cujo crescimento ameaça fechar as bacias de maré que essas formações delimitam.

Na Figura 8 estão indicadas as zonas de empréstimo preconizadas (WW, 2008). De referir que: as zonas em referência se localizavam a curta distância dos locais onde se preconizava a alimentação artificial com areia; a areia existente nestas zonas tinha características idênticas às das zonas a alimentar; e a retirada das areias nestas zonas poderia ser realizada por escavação a partir de terra,

sem necessidade de recorrer a equipamento marítimo de dragagem, e o respectivo transporte poderia ser feito também por via terrestre.

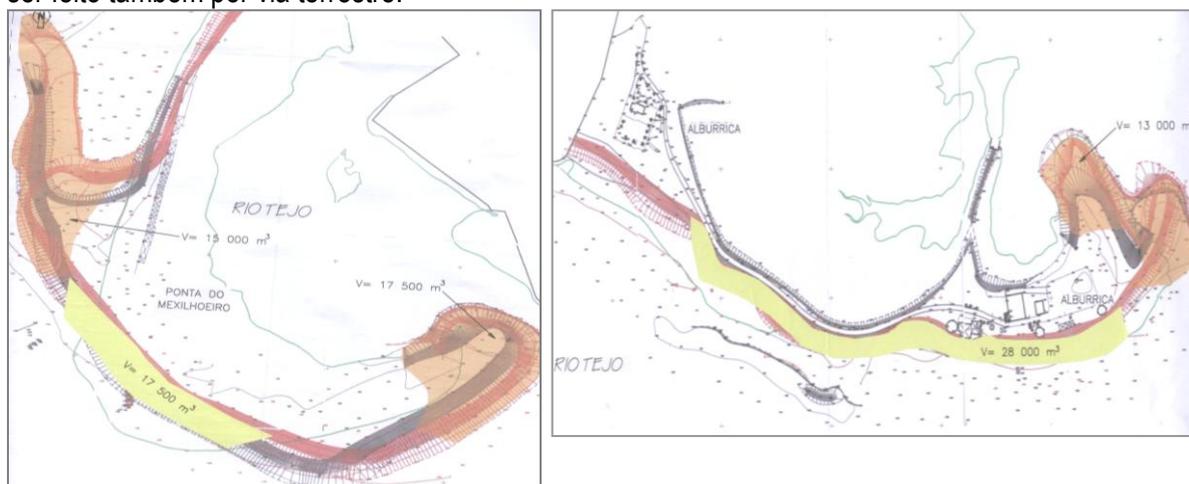


Figura 8 - Áreas de alimentação artificial (a amarelo) e áreas de empréstimo (a laranja).

4.4 Monitorização

Para se poder proceder a uma identificação definitiva das zonas de empréstimo e dos volumes de areia a movimentar, recomendou-se a realização de um levantamento topográfico das praias imediatamente antes do início dos trabalhos de alimentação artificial dos trechos em erosão. Seria necessário também efectuar um levantamento topográfico das praias imediatamente após a realização destes trabalhos e após 3 meses, 6 meses, um ano e dois anos. Os levantamentos deveriam abranger a orla de costa desde a cota +5,0 m (ZH), ou crista da praia, até à cota +1,0 m (ZH) e apresentar a escala 1:500. Cada levantamento deveria incluir a realização de 11 perfis (Figura 9).

Seria ainda necessário proceder à colheita e análise de amostras de areia das praias (Figura 9), destinadas a análise granulométrica, a cotas de +2,0 m (ZH) e +3,5 m (ZH) por altura do levantamento topográfico realizado após a alimentação artificial.



Figura 9 - Elementos a monitorizar.

4.5 Obras fixas complementares

Caso a análise dos resultados da monitorização viesse a revelar que as acções de alimentação

artificial tinham uma longa duração, poderiam controlar-se as alterações morfológicas a longo prazo sem qualquer artificialização, com recurso exclusivo a alimentação artificial de baixo volume, a qual teria de ser repetida com intervalos de tempo a determinar.

Caso a durabilidade da alimentação artificial fosse curta, restaria então como alternativa de resolução do problema a construção de obras fixas que, dadas as baixas energias da agitação, seriam muito eficientes na contenção do fluxo das areias e estabilização dos trechos em evolução. Apresenta-se na Figura 10 as linhas gerais de uma solução deste tipo que procuravam minimizar os impactos de artificialização da orla arenosa.

Os diques representados estabilizariam a linha de água no trecho dos moinhos de Alburrica e evitariam a colmatação das bacias e canais que alimentam as caldeiras dos moinhos de maré. Na parte central da restinga de Alburrica, a fixação eficaz de um trecho de praia permanente que protegesse a via de acesso implicava que as obras fossem suficientemente prolongadas sobre o raso de maré, para que a sua acção de retenção pudesse alcançar essa zona.



Figura 10 - Orientação geral de obras fixas de estabilização das praias do Mexilhoeiro e Alburrica.

5 – CONSTRUÇÃO

A empreitada para a alimentação artificial preconizada teve lugar entre Março e Maio de 2009. No início da empreitada foi realizado um levantamento topográfico que revelou algumas diferenças relativamente ao levantamento que serviu de base ao processo de concurso, nomeadamente:

- Recuo da orla da praia do Mexilhoeiro;
- Crescimento do extremo da restinga do Mexilhoeiro e respectivo deslocamento para norte (extremidade noroeste da praia do Mexilhoeiro), associado a erosão a sul;
- Aumento do constrangimento da cala que alimenta a Caldeira do Braamcamp (extremidade este da praia do Mexilhoeiro);
- Estreitamento da praia de Alburrica até ao enrocamento de protecção anteriormente colocado no limite da estrada;
- Crescimento da restinga de Alburrica (extremidade este da praia de Alburrica).

Face ao recuo da linha de costa e à ameaça às construções existentes, foi proposto o aumento do comprimento dos trechos de deposição e o aumento da largura da praia de Alburrica para 25 m (WW, 2009). As dimensões das áreas de deposição foram as seguintes (Figuras 11 e 12):

- Trecho do Mexilhoeiro: 330 m de comprimento, 25 m de largura, coroamento à cota +4,5 m (ZH);
- Trecho de Alburrica: 520 m de comprimento, 25 m de largura, coroamento à cota +4,5 m (ZH).

A empreitada iniciou-se com a remoção de areias e colocação em Alburrica (Figuras 13 e 14), a que se seguiu a escavação na Ponta do Mexilhoeiro com colocação nas praias de Alburrica e do Mexilhoeiro.

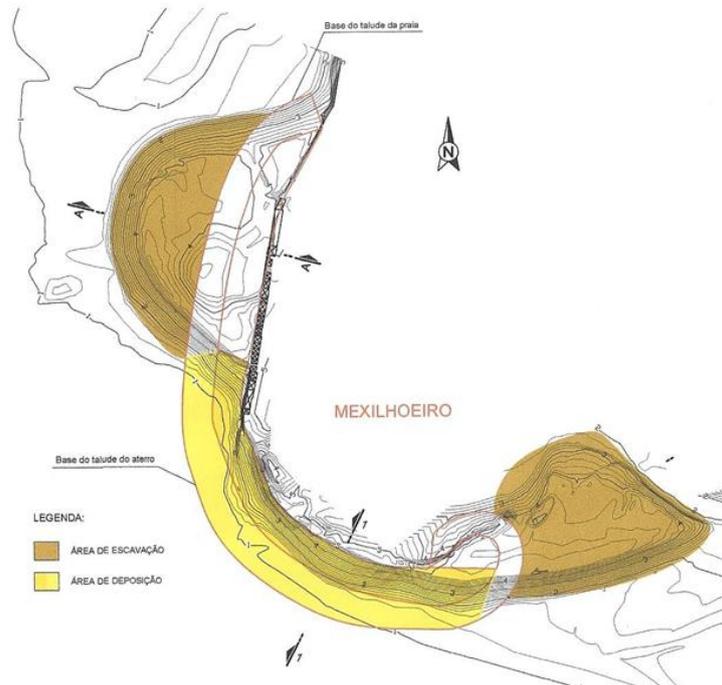
Os trabalhos foram executados com equipamento terrestre, nomeadamente retroescavadora para a escavação, pá carregadora e *dumper* para a movimentação e transporte dos materiais e tractor de esteiras para espalhamento e regularização no material depositado nas praias.

De acordo com os levantamentos inicial e final, o volume total depositado foi de 54 000 m³, com a seguinte distribuição:

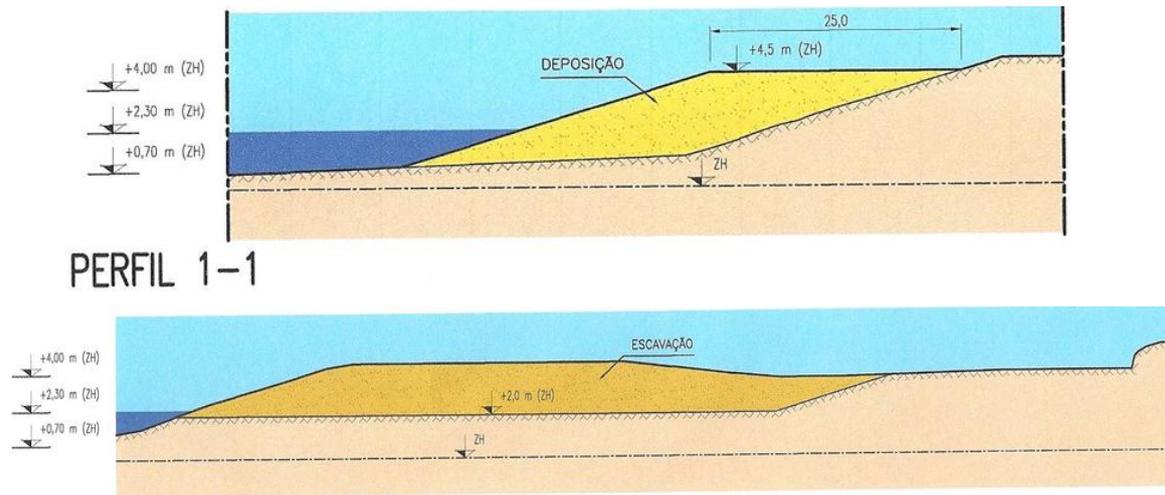
- Mexilhoeiro: 30 000 m³
- Alburrica: 24 000 m³

O custo total da operação de movimentação de terras foi de 143 000 €.

a)



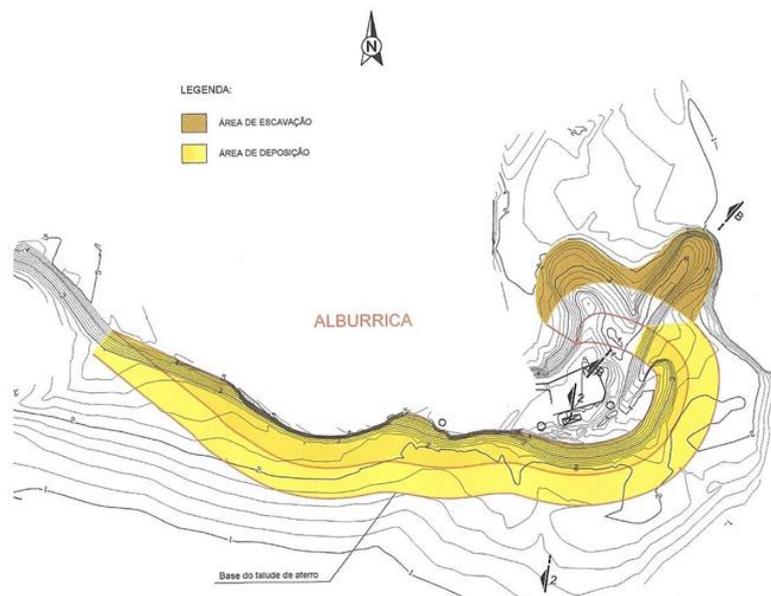
b)



PERFIL A-A

Figura 11 – Praia do Mexilhoeiro: a) áreas de deposição e de escavação; b) perfis.

a)



b)

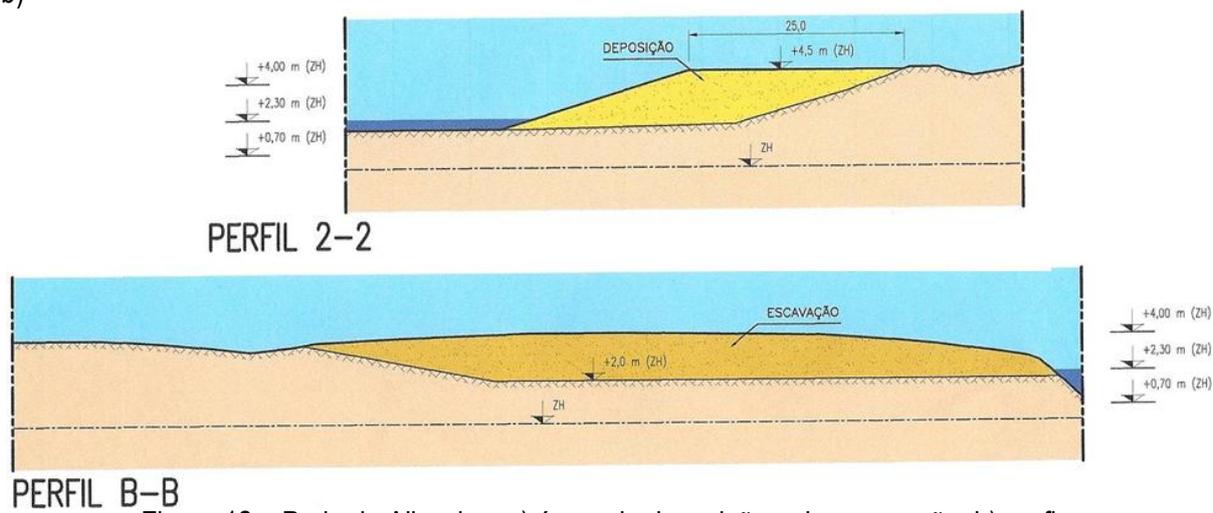


Figura 12 – Praia de Alburrica: a) áreas de deposição e de escavação; b) perfis.



Figura 13 – Remoção de areias em Alburrica.



Figura 14 – Colocação das areias em Alburrica.

6 – MONITORIZAÇÃO

Dando cumprimento à monitorização proposta nos estudos, a APL realizou o levantamento dos perfis transversais das praias aproximadamente três, sete e treze meses após a empreitada de movimentação de terras. Os levantamentos têm data de 09-09-2009, 19-01-2010 e 15-07-2010.

Para além dos onze perfis previstos, foram ainda levantados mais dois perfis na praia do Mexilhoeiro, M1-1 e M5-1, e mais três na praia de Alburrica, A1-1, A4-1 e A4-2 (Figura 15).

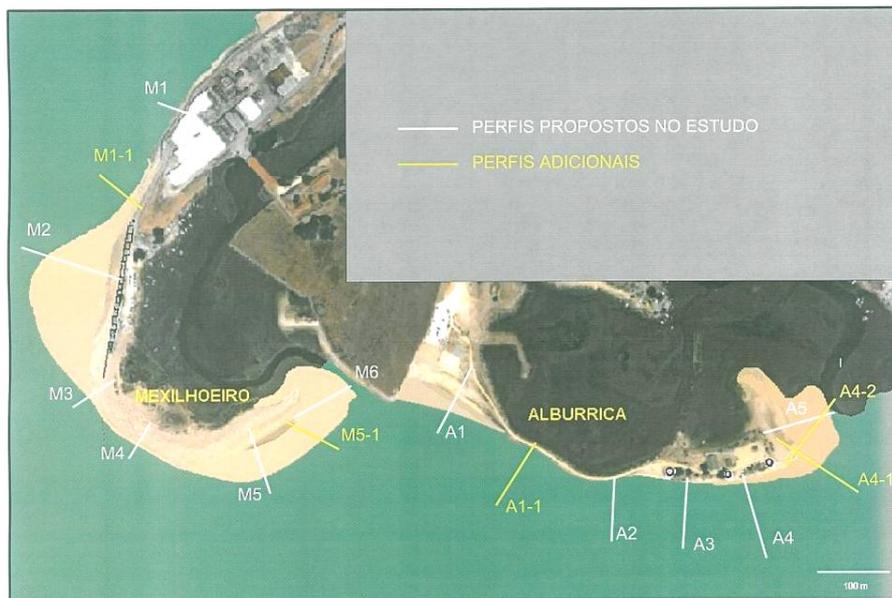


Figura 15 – Localização dos perfis de monitorização das praias.

Nas Figuras 16 e 17 são apresentados alguns dos perfis que incluem os levantamentos realizados imediatamente antes e após a empreitada.

Com o objectivo de analisar a evolução das praias, mediu-se a distância, à cota +3,0 m (ZH), entre a posição inicial do perfil (Março de 2009) e a posição em cada uma das datas da monitorização. No Quadro 4 são apresentados estes valores, considerando-se positivos se a linha de costa avançou em relação à posição inicial e negativos no caso contrário.

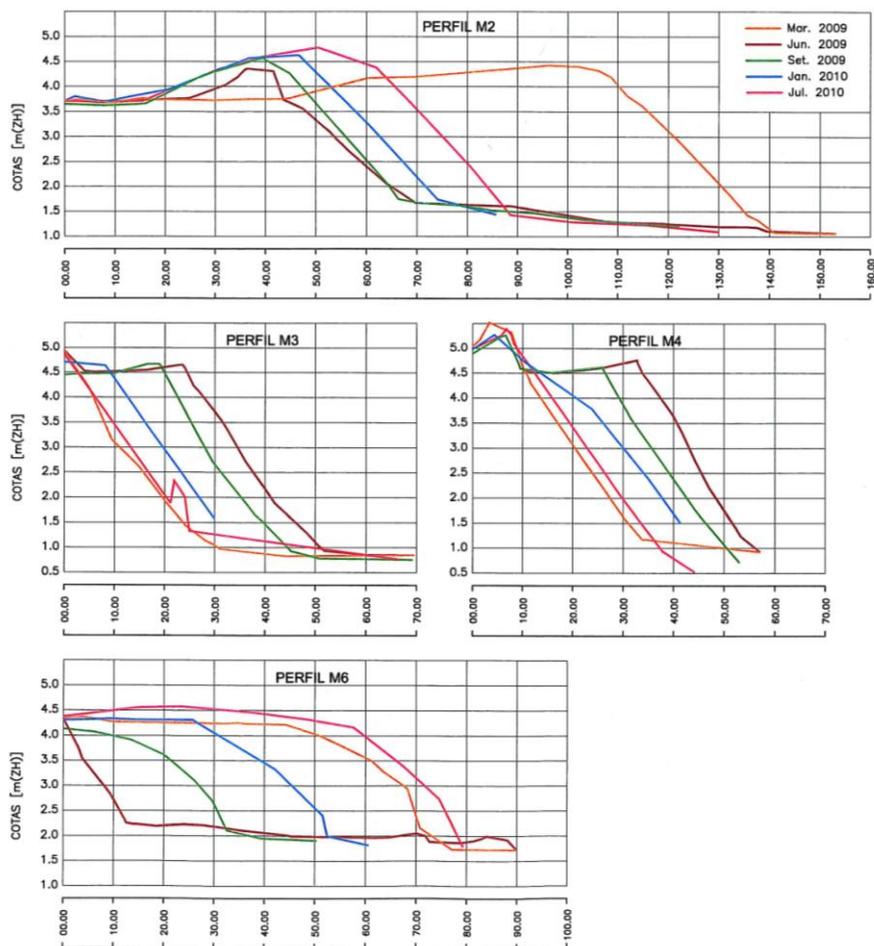


Figura 16 – Praia do Mexilhoeiro. Perfis M2, M3, M4 e M6.

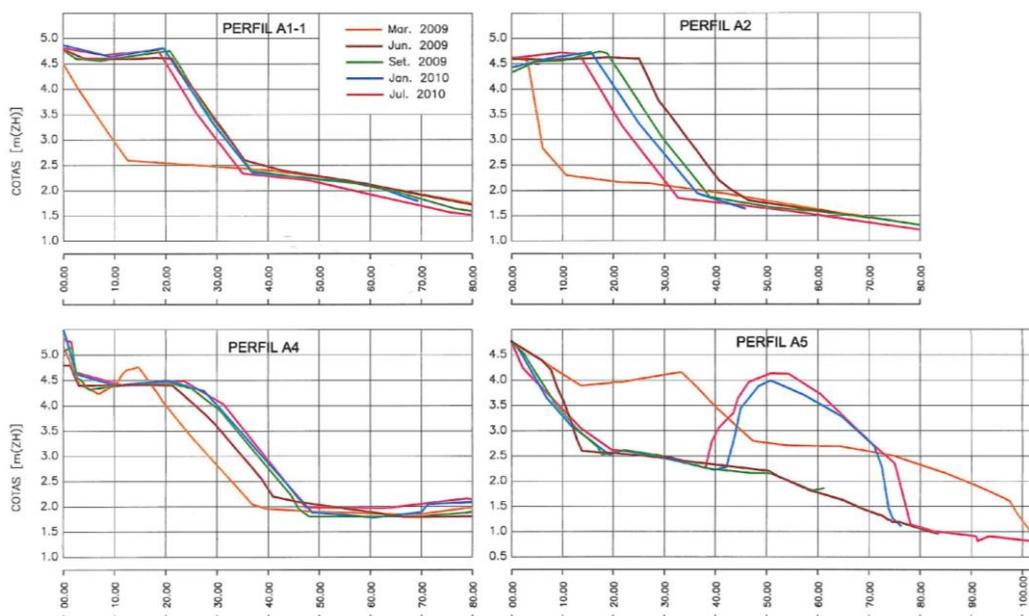


Figura 17 – Praia de Alburrica. Perfis A1-1, A2, A4 e A5.

Quadro 4 – Distância da linha de costa à posição inicial, medida à cota +3,0 m (ZH).

Praia	Perfil	Distância à posição inicial (m)			
		Jun. 2009	Set. 2009	Jan. 2010	Jul. 2010
Mexilhoeiro	M1	----	---	---	---
	M1-1	-1,5	1,6	3,0	4,4
	M2	-67,6	-65,4	-58,6	-46,1
	M3	23,6	17,2	8,7	2,2
	M4	22,6	15,4	9,6	2,5
	M5	4,1	3,3	-2,5	-8,2
	M5-1	-48,3	-41,2	-39,0	-47,4
Alburrica	M6	-59,0	-40,3	-22,1	4,2
	A1	-2,7	-3,0	-1,2	2,2
	A1-1	23,0	22,7	22,0	20,2
	A2	28,9	24,2	21,8	18,0
	A3	26,0	25,7	28,0	29,5
	A4	6,5	9,6	10,4	10,9
	A4-1	1,8	1,4	-2,1	-2,5
	A4-2	-3,3	13,5	19,7	12,6
A5 (*)	-32,8	-31,9	(*)	(*)	

(*) Ver Figura 15.

A análise dos perfis respeitantes ao Mexilhoeiro e dos valores do quadro anterior mostra que:

- Após a empreitada, a praia voltou a sofrer uma erosão acentuada na zona central (perfis M3 e M4). Este trecho, que foi alargado em cerca de 23 m, recuou 13 a 15 m nos primeiros seis meses e cerca de 21 m ao fim do primeiro ano. No perfil M3 a posição da linha da praia é quase coincidente com a situação inicial, antes da alimentação.
- Na zona do perfil M5 verifica-se também uma diminuição da largura da praia que vai para além da posição inicial (Março de 2009). Este trecho, alargado em cerca de 4 m, recuou 7 m

em seis meses e 12 m ao fim de um ano.

- No troço noroeste na zona dos perfis M1 e M1-1 não se verificaram alterações significativas após a empreitada.
- A zona do perfil M2, que foi sujeita a escavação para a alimentação das praias, apresentou um alargamento de 9 m nos primeiros seis meses e de 22 m ao fim de um ano; a largura da escavação foi da ordem de 70 m.
- A zona do perfil M5, que foi sujeita a escavação, alargou nos primeiros seis meses, cerca de 10 m; ao fim de um ano a sua posição era idêntica à posição após a empreitada.
- Na extremidade da restinga (perfil M6) verificou-se um crescimento acentuado; ao fim de seis meses após a escavação, o avanço foi de aproximadamente 40 m e ao fim de um ano de 64 m, excedendo em cerca de 4 m a posição inicial.

A mesma análise foi efectuada para Alburrica que mostrou o seguinte:

- Recuo acentuado da praia na zona do perfil A2; esta foi alargada em cerca de 29 m tendo recuado 7 m nos primeiros seis meses e 11 m um ano após alimentação.
- Crescimento acentuado da extremidade da restinga (perfil A5), com especial incidência entre três e seis meses após a empreitada.
- Alterações menos significativas nos restantes perfis, verificando-se algum crescimento (3 a 4 m) nos perfis A1, A3 e A4 e recuo nos perfis A1-1 e A4-1.

A monitorização efectuada no primeiro ano (treze meses) após a alimentação artificial mostra erosões acentuadas quer na ponta do Mexilhoeiro, quer numa zona localizada de Alburrica e o conseqüente crescimento das zonas adjacentes, à semelhança do que se verificava antes da alimentação artificial.

As taxas de erosão verificadas no Mexilhoeiro (perfis M3 e M4) e em Alburrica (perfil A2) foram as indicadas no quadro seguinte:

Quadro 5 – Taxas de erosão após a realização da empreitada

Período (meses)	Taxas de erosão (m/mês)	
	Mexilhoeiro	Alburrica
0-3	2,3	1,6
3-7	1,8	0,6
7-13	1,1	0,6

Com base nas erosões verificadas e na tendência de evolução, foram estimadas taxas de erosão de 0,8 m/mês e de 0,6 m/mês respectivamente para o Mexilhoeiro e para Alburrica, para o período subsequente ao último levantamento.

A verificarem-se estas taxas, no Mexilhoeiro, na zona dos perfis M3 e M4, a praia terá já regredido até à posição inicial. De facto na zona das casas de pescadores imediatamente a norte do perfil M3, onde após a alimentação a largura da praia era de cerca de 20 m à cota +4,5 m (ZH), não existe agora areia (Figura 18).



Figura 18 – Mexilhoeiro (à esquerda) e Alburrica (à direita). Situação em Fevereiro de 2011.

Em Alburrica a evolução tem sido mais lenta. Com uma taxa de erosão de 0,6 m/mês, no perfil A2, a situação inicial seria atingida dois anos e meio após o último levantamento efectuado. Na Figura 18 é apresentada uma vista da praia de Alburrica na zona do perfil A2.

O próximo levantamento a realizar em meados de Julho próximo, dois anos após a empreitada, permitirá confirmar as considerações apresentadas.

7 – CONCLUSÕES

Este trabalho tem como objectivo a apresentação do estudo das alterações na área das praias do Mexilhoeiro e de Alburrica, da solução para a resolução imediata dos problemas que foi implementada pela APL, bem como dos resultados da monitorização que se tem vindo a executar com vista a melhorar a interpretação dos problemas existentes.

Para a resolução das alterações que se têm verificado, foram propostas duas soluções alternativas: uma de carácter imediato, consistindo numa alimentação artificial com areias provenientes de zonas adjacentes às zonas afectadas; e outra de carácter definitivo, com recurso a obras fixas complementares do tipo esporão, a implementar em função da evolução dos trechos sujeitos à alimentação artificial de recurso.

Em 2009, a APL realizou a empreitada para alimentação artificial das duas praias, tendo sido colocados 30 000 m³ de areias no Mexilhoeiro e 24 000 m³ em Alburrica. O custo total da operação foi de 143 000 €.

A campanha de monitorização em curso, realizada pela APL, que conta com a realização de três levantamentos, aos três, sete e treze meses após a realização da empreitada, mostrou que:

- O Mexilhoeiro sofreu erosões intensas na zona central, com taxas de recuo do perfil da praia entre 2,3 e 1,1 m/mês, apresentando ao fim de um ano um perfil próximo da posição inicial;
- Em Alburrica as erosões são menos intensas, com taxas de recuo do perfil da praia entre 1,6 e 0,6 m/mês que conduziram, no entanto, à redução de 40% da largura da praia na zona central, no primeiro ano após o enchimento;
- As extremidades das restingas voltaram a avançar, estando, ao fim de um ano, a do Mexilhoeiro numa posição idêntica à posição inicial e a de Alburrica também em crescimento.

O custo estimado para a alimentação artificial associada à construção de obras fixas complementares é 1 300 000 €.

BIBLIOGRAFIA

APL (2001). *Regulamento dos Canais Navegáveis no Estuário do Tejo*. Administração do Porto de Lisboa, S.A., Setembro.

- CMB (2005a). *Relatório de Alburrica e Mexilhoeiro*. Câmara Municipal do Barreiro, Departamento de Planeamento e Gestão Urbana, Divisão de Informação Geográfica, Agosto.
- CMB (2005b). *Relatório de Alburrica e Mexilhoeiro*. Câmara Municipal do Barreiro, Departamento de Planeamento e Gestão Urbana, Divisão de Informação Geográfica, Dezembro.
- INSTITUTO DE METEOROLOGIA (2004). *Caracterização Climática da Costa*.
- MENDES, J.C.; COELHO, M.F. (1989). Potencialidades da Energia Eólica. Estudos Preliminares. Vol. 1. *Monografias de Meteorologia e Geofísica*, Nº13, Instituto de Meteorologia, Lisboa.
- PIANC (2003). *Guidelines for Managing Wake Wash from High-Speed Vessels*. MarCom Report of WG 41.
- PIANC (1995). *Feasibility of Waterborne Public Transport in the Netherlands*. Bulletin Nº 88.
- SERVIÇO METEOROLÓGICO NACIONAL (1970). *O Clima de Portugal – Normais Climatológicas do Continente, Açores e Madeira Correspondentes a 1931-1960*. Fascículo XIII, 2ª Edição.
- VICENTE, C.M. (1991). *Aperfeiçoamento de Métodos de Modelação Matemática e Física Aplicáveis a Problemas de Dinâmica Costeira*. Programa de Investigação do LNEC, Lisboa.
- WW (2007). *Estudo das Erosões Verificadas na Área das Praias do Mexilhoeiro e Alburrica, Barreiro*. WW - Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas, S.A., Julho.
- WW (2008). *Empreitada de “Movimentação de Terras no Mexilhoeiro e em Alburrica, Barreiro”. Processo de Concurso. Volume 3 - Projecto de Execução*. WW - Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas, S.A., Julho.
- WW (2009). *Empreitada de “Movimentação de Terras no Mexilhoeiro e em Alburrica, Barreiro”. Nota Técnica*. WW - Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas, S.A., Abril.