



DOCA DE RECREIO DO PORTO DE VILA DO CONDE:

ESTUDOS DE HIDRODINÂMICA E DE DINÂMICA SEDIMENTAR

André B. Fortunato, Claudino Vicente, Paula Freire, Anabela Oliveira

Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Hidráulica, Núcleo de Estuários

SUMÁRIO

Descrevem-se os estudos de hidrodinâmica e de dinâmica sedimentar efectuados no âmbito da construção de uma doca de recreio no porto de Vila do Conde, no estuário do rio Ave.

Caracterizam-se, em primeiro lugar, a morfologia, a hidrodinâmica e a dinâmica sedimentar do estuário, através da compilação e análise de dados históricos, da colheita e análise de sedimentos de fundo e da aplicação de modelos numéricos. Mostra-se que a fraca intensidade das correntes de maré provoca uma deficiente auto-manutenção das profundidades na embocadura, agravadas pelo constante afluxo de areia proveniente da praia a sul. No interior do estuário, os sedimentos predominantemente silto-argilosos são responsáveis por taxas de sedimentação moderadas em zonas abrigadas.

Seguidamente, comparam-se soluções alternativas para o molhe de montante da futura doca de recreio e estimam-se as futuras taxas de assoreamento nesta doca. A utilização de um quebra-mar flutuante é desaconselhada por facilitar o assoreamento da doca. Caso seja utilizado um quebra-mar fixo, estimam-se taxas de assoreamento na doca relativamente reduzidas.

INTRODUÇÃO

No âmbito de um plano de reabilitação da zona urbana de Vila do Conde, prevê-se a construção de uma doca de recreio no estuário do rio Ave. O Laboratório Nacional de Engenharia Civil foi encarregado de elaborar estudos integrados de agitação marítima (Zózimo et al., 2001), hidrodinâmica, dinâmica sedimentar e qualidade da água (Fortunato et al., 2000a,b). Estes estudos visaram caracterizar as condições actuais do estuário, estimar as alterações decorrentes da construção da doca de recreio, e analisar as condições de funcionamento desta. O presente artigo descreve os estudos de hidrodinâmica e de dinâmica sedimentar. Outros aspectos deste estudo estão descritos em Fortunato et al. (2001) e Zózimo et al. (2001).

Este artigo está dividido em quatro partes, para além desta introdução. Primeiro, caracteriza-se o estuário do rio Ave, descrevendo-se a sua morfologia, hidrodinâmica e dinâmica sedimentar. De seguida, comparam-se duas soluções alternativas para a doca de recreio, incluindo a solução definida no projecto. A solução seleccionada é depois analisada em detalhe no que respeita a níveis, correntes e taxas de sedimentação. Finalmente, resumem-se as principais conclusões.

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO ESTUÁRIO DO RIO AVE

ENQUADRAMENTO

O rio Ave tem 85 km de comprimento e uma bacia hidrográfica de 1380 km². Cerca de 40% desta bacia é constituída por solos agrícolas, sendo as zonas de cumeada frequentemente desprovidas de vegetação, logo vulneráveis à erosão .

Os dados disponíveis sobre os caudais do Ave são escassos. O escoamento é fortemente condicionado pelo esquema de exploração das barragens existentes na sua bacia, mas acompanha geralmente a variação sazonal da precipitação, com máximos em Janeiro e mínimos em Agosto (Costa *et al.*, 1989). Os caudais médios diários à entrada do estuário, disponíveis no Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos, variam entre cerca de 1 e 250 m³/s, com uma média de 30 m³/s. Devido à pequena dimensão da bacia hidrográfica, os caudais máximos instantâneos podem ser muito superiores aos máximos caudais médios diários, podendo exceder os 400 m³/s.

O Ave desagua junto a Vila do Conde, à latitude 41° 20' N e longitude 9° 45' O. A norte da sua foz, junto à Capela da Sr.^a da Guia, existem duas pequenas praias de declive suave, encaixadas entre afloramentos rochosos que se comportam como esporões naturais. A embocadura é protegida por duas obras: o molhe da Sr.^a da Guia, com 350 m de comprimento e orientação aproximada N-S, e o esporão de Azurara, com 270 m e desenvolvimento segundo a direcção NE-SW (Figura 1). A disposição do molhe da Sr.^a da Guia protege a embocadura da maioria dos rumos da agitação marítima. Apenas os rumos SW ao largo, pouco frequentes, continuam a afectar a barra (IH, 1990). Entre a embocadura e os afloramentos rochosos da Ponta da Gafa, a sul, desenvolve-se uma orla arenosa de forma arqueada, com cerca de 3 km, que engloba as praias de Azurara, Árvore e parte da do Mindelo. Em termos morfodinâmicos, trata-se de uma única praia, cuja existência e morfologia se devem à contenção das areias pelos afloramentos do seu extremo sul e ao efeito de difracção sobre a ondulação, exercido pelo bordo norte da foz do Ave e pelo molhe da Sr.^a da Guia.

A estação maregráfica mais próxima do estuário do Ave localiza-se 20 km a sul da sua embocadura, no Porto de Leixões. As amplitudes das principais constituintes de maré (Quadro 1) mostram que a maré é do tipo semi-diurno regular, uma característica geral da costa portuguesa: o quociente entre a soma das amplitudes das principais constituintes diurnas (O₁ e K₁) e semi-diurnas (M₂ e S₂) é de cerca de 0.09.



Figura 1 – Estuário do Ave e costa marítima adjacente.

Quadro 1 – Semi-amplitudes das principais constituintes de maré no Porto de Leixões (IH, 1962).

Constituinte	O ₁	K ₁	N ₂	M ₂	S ₂
Amplitude (m)	0.062	0.070	0.220	1.024	0.411

MORFOLOGIA

O estuário do Ave (Figura 1) tem cerca de 2 km de comprimento, entre os extremos do molhe da Sr.^a da Guia e do esporão de Azurara a jusante, e o açude da Estação Aquícola de Vila do Conde a montante. Este açude impede ou dificulta a propagação da maré, dependendo o seu efeito do caudal fluvial e do nível da maré. Mesmo quando este açude é galgado pela maré, o açude da Retorta, com

o coroamento à cota 4.9 m ZH, cerca de 1.5 km para montante, constitui um obstáculo adicional à propagação da maré.

O estuário é sinuoso e estreito, com largura média de 100 m, e área molhada entre 0.22 e 0.34 km². A cota média dos fundos é da ordem de -3 m ZH, sendo mantida por dragagens na zona da embocadura. A jusante da ponte ferroviária, o estuário apresenta uma orientação geral para SSW, inflectindo para W na zona da Doca dos Estaleiros e voltando à orientação inicial na embocadura. Esta tem uma largura entre 150 a 300 m, controlada pelos dois molhes referidos. As margens estão regularizadas com muros de protecção, parcialmente destruídos em alguns locais. No interior da embocadura, a montante do molhe da Sr.^a da Guia, encontra-se na margem direita uma praia de areia.

Nas últimas décadas, a morfologia do estuário do Ave sofreu alterações consideráveis, principalmente devido a obras de adaptação à sua função de porto de abrigo e sede de estaleiros de construção naval. Em 1971 (Figura 2a), o troço de jusante do canal apresentava-se encostado à margem direita, sendo limitado na margem esquerda por uma estrutura de regularização. A embocadura apresentava-se já protegida, a norte, pelo molhe da Sr.^a da Guia, embora com comprimento inferior ao actual, e a sul pelo esporão de Azurara. A zona da embocadura entre estas duas estruturas de protecção encontrava-se assoreada, com cotas de fundo acima do ZH.

No final da década de 80 e início da década de 90, foram realizadas várias obras de correcção do troço terminal do canal para melhorar as condições de navegabilidade, principalmente em épocas de marés vivas e de caudal de cheia. Estas obras culminaram, em Setembro de 1994, com a implantação de um novo canal da embocadura, orientado segundo o esporão de Azurara.

A comparação dos levantamentos de Setembro de 1994 e Agosto de 1999 (Figura 2b), revela que as cotas de fundo se mantiveram, eventualmente em resultado de dragagens. Medições efectuadas no decorrer deste trabalho apontam para que, actualmente, esteja a ocorrer um assoreamento acentuado da zona da embocadura (assoreamento de 1 m entre Agosto de 1999 e Março de 2000).

HIDRODINÂMICA

A hidrodinâmica do estuário foi caracterizada utilizando um modelo de elementos finitos (ADCIRC – Luettich et al., 1991, Luettich e Westerink, 1995). O domínio de aplicação cobre todo o estuário, a partir do Açude da Estação Aquícola de Vila do Conde, e uma área oceânica aproximadamente semi-circular, centrada na embocadura, com um raio de 5 km. A fronteira fluvial foi fixada neste açude devido à inexistência de dados batimétricos a montante. Este açude limita a propagação da maré

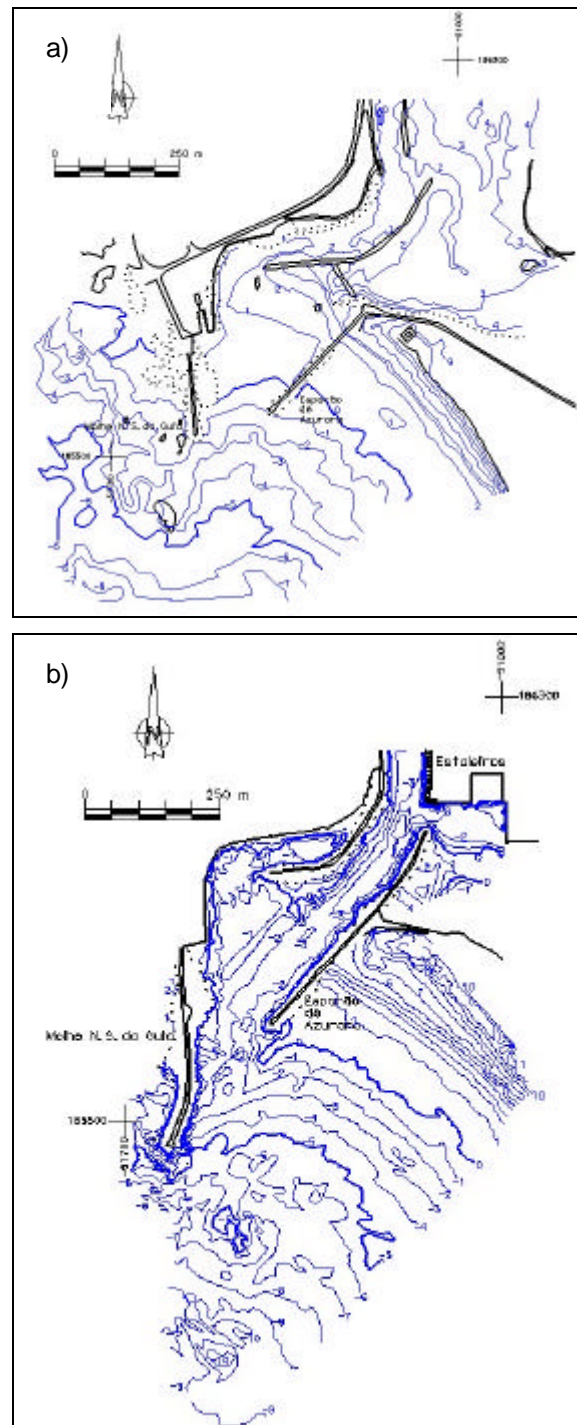


Figura 2 – Batimetria do estuário do Ave: a) levantamento hidrográfico, DGP, Agosto 1971 (1:2000); b) levantamento hidrográfico, IMP, Agosto de 1999 (1:1000).

para montante dado que o seu coroamento está à cota 3 m ZH. Em cada ponto foi utilizada a batimetria mais recente (Figura 3a). O domínio foi discretizado através da malha da Figura 3b.

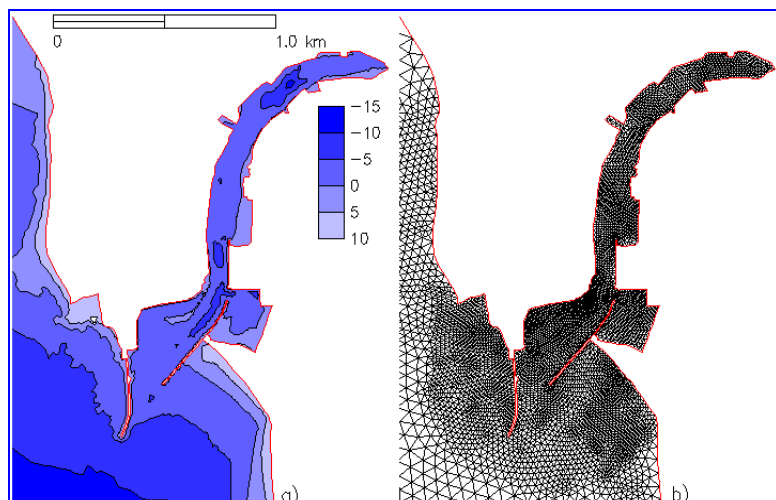


Figura 3 – a) Batimetria do modelo, relativa ao nível médio do mar (pormenor); b) malha de cálculo com cerca de 7000 nós e espaçamentos entre 3 e 250 m (pormenor).

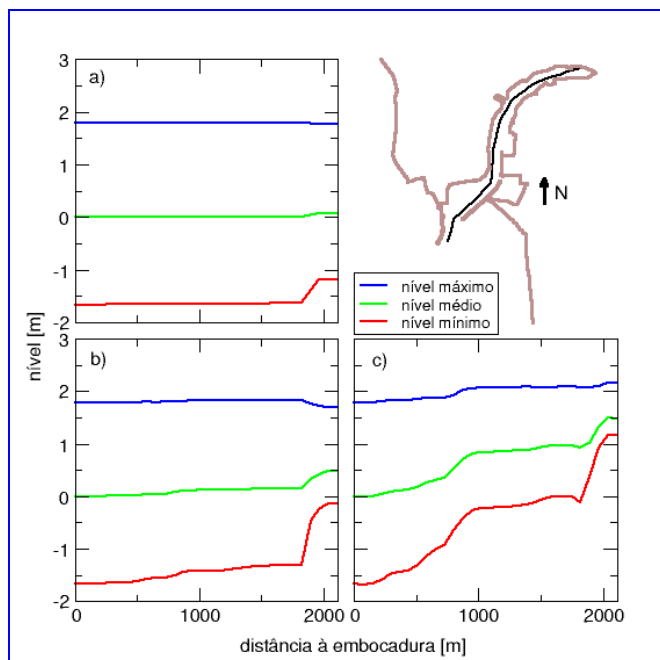


Figura 4 – Níveis máximos, médios e mínimos relativos ao nível médio do mar para caudais de a) 0, b) 30 e c) 250 m³/s, ao longo do eixo do estuário.

O escoamento foi forçado pela maré na fronteira oceânica e por caudais constantes na fronteira de montante. Foram utilizadas as amplitudes das cinco constituintes de maré indicadas no Quadro 1 e a defasagem entre as extremidades sul e norte do domínio foi estimada a partir dos resultados de um modelo regional de maré da costa portuguesa (Fortunato et al., 2000c). Foram efectuadas simulações para três caudais representativos: de estiagem (0 m³/s), médio (30 m³/s) e de cheia (250 m³/s).

A maré propaga-se praticamente sem deformação no interior do estuário devido à sua pequena dimensão. A diferença entre as durações de enchente e vazante, um indicador desta deformação, é de alguns minutos, crescendo para montante. Dá-se no entanto uma redução das amplitudes, em especial por subida dos níveis de baixa-mar, que aumenta com o caudal fluvial.

Os níveis no estuário dependem também fortemente do caudal fluvial (Figura 4). Para um caudal de estiagem, os níveis máximos, mínimos e médios são quase constantes ao longo do estuário. Para o caudal médio, os níveis mínimo e médio crescem significativamente a partir de cerca de 1800 m da embocadura, enquanto os níveis máximos se mantêm quase constantes. Para o caudal de cheia (250 m³/s), os níveis mínimos, médios e máximos crescem fortemente para montante, atingindo-se valores máximos de 2.15 m acima do nível médio do mar na fronteira de montante.

As velocidades devidas à maré são reduzidas. Para um caudal nulo (Figura 5a), as velocidades são inferiores a 0.2 m/s em maré viva e 0.1 m/s em maré morta, sendo máximas na embocadura. Devido às pequenas velocidades, existe uma grande simetria entre as correntes de enchente e de vazante, e

não se desenvolvem vórtices significativos. Para um caudal médio, criam-se diferenças substanciais entre as correntes de enchente e de vazante (Figura 5b). Em maré viva, as velocidades máximas são de 0.3 e 0.1 m/s em vazante e enchente, respectivamente, enquanto em maré morta as correntes no estuário nunca chegam a inverter. Para o caudal de cheia (250 m³/s), não ocorre uma inversão das correntes, mesmo em maré viva (Figura 5c). As velocidades atingem 1.5 m/s em vazante de maré viva e são sempre superiores a 0.5 m/s na embocadura.

Os padrões de velocidades residuais para os caudais de 30 e 250 m³/s exibem uma concentração do escoamento no canal principal do estuário (Figura 5d). As velocidades residuais atingem 0.1 e 0.5 m/s para estes caudais, sendo desprezáveis para caudais nulos e em zonas protegidas.

O prisma de maré médio de enchente para caudal nulo é de 570x10³ m³, cerca de 60% do volume médio do estuário. Assim, a maior parte da água presente no estuário é renovada em cada ciclo de maré, mesmo para caudais nulos, devido às pequenas profundidades do estuário em relação à amplitude da maré.

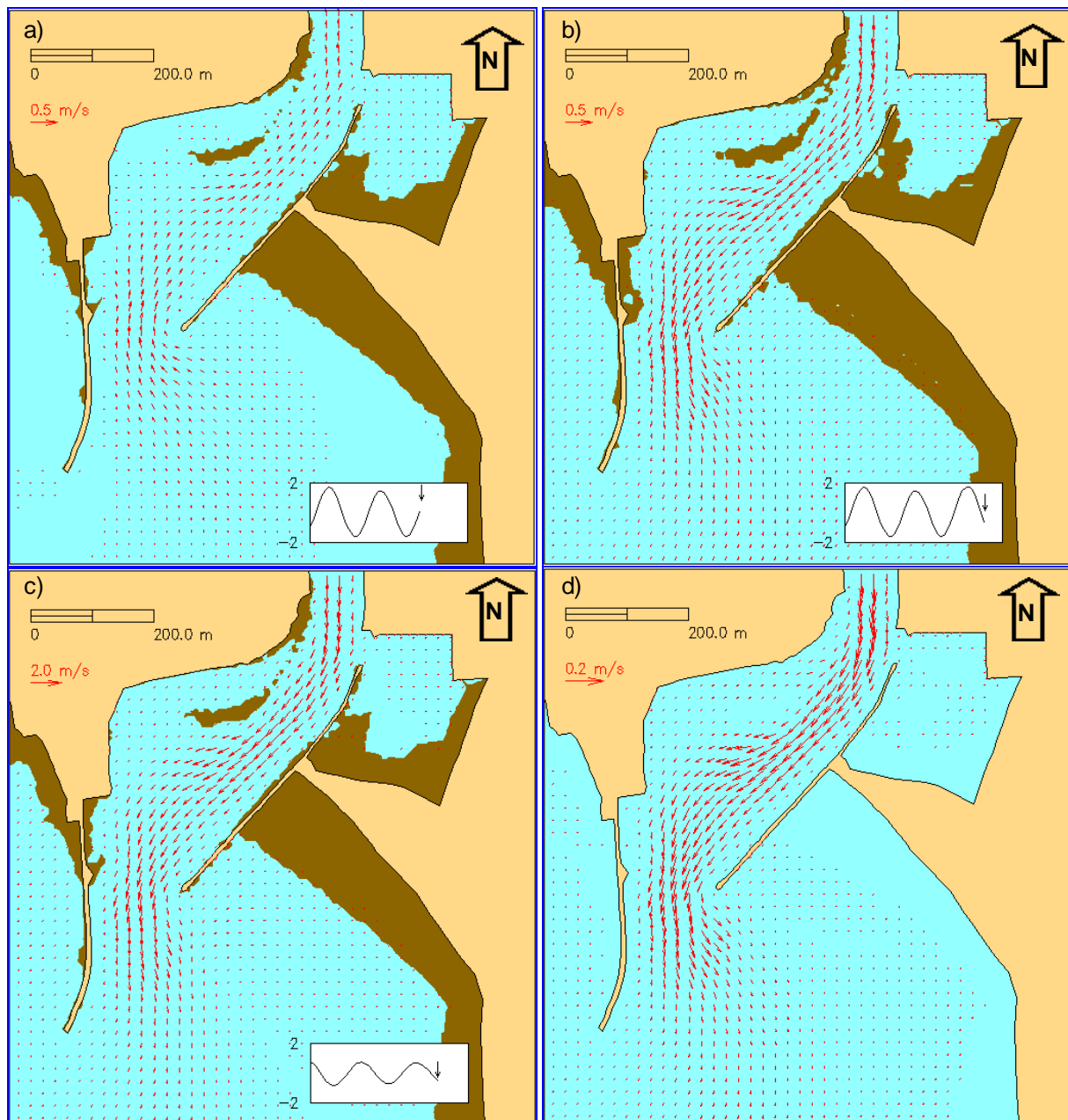


Figura 5 – Velocidades na embocadura, interpoladas numa malha regular: a) máxima enchente de maré viva, caudal nulo; b) máxima vazante de maré viva, caudal de 30 m³/s; c) máxima vazante de maré morta, caudal de 250 m³/s; d) velocidades residuais, caudal de 30 m³/s.

CARACTERIZAÇÃO DOS SEDIMENTOS

Dada a inexistência de informação relevante sobre os sedimentos do estuário do Ave, foram recolhidas amostras de sedimentos superficiais no seu troço jusante e na embocadura. A recolha de amostras foi realizada pela Brigada Hidrográfica nº1 do IMP em Março de 2000 (Figura 6a).

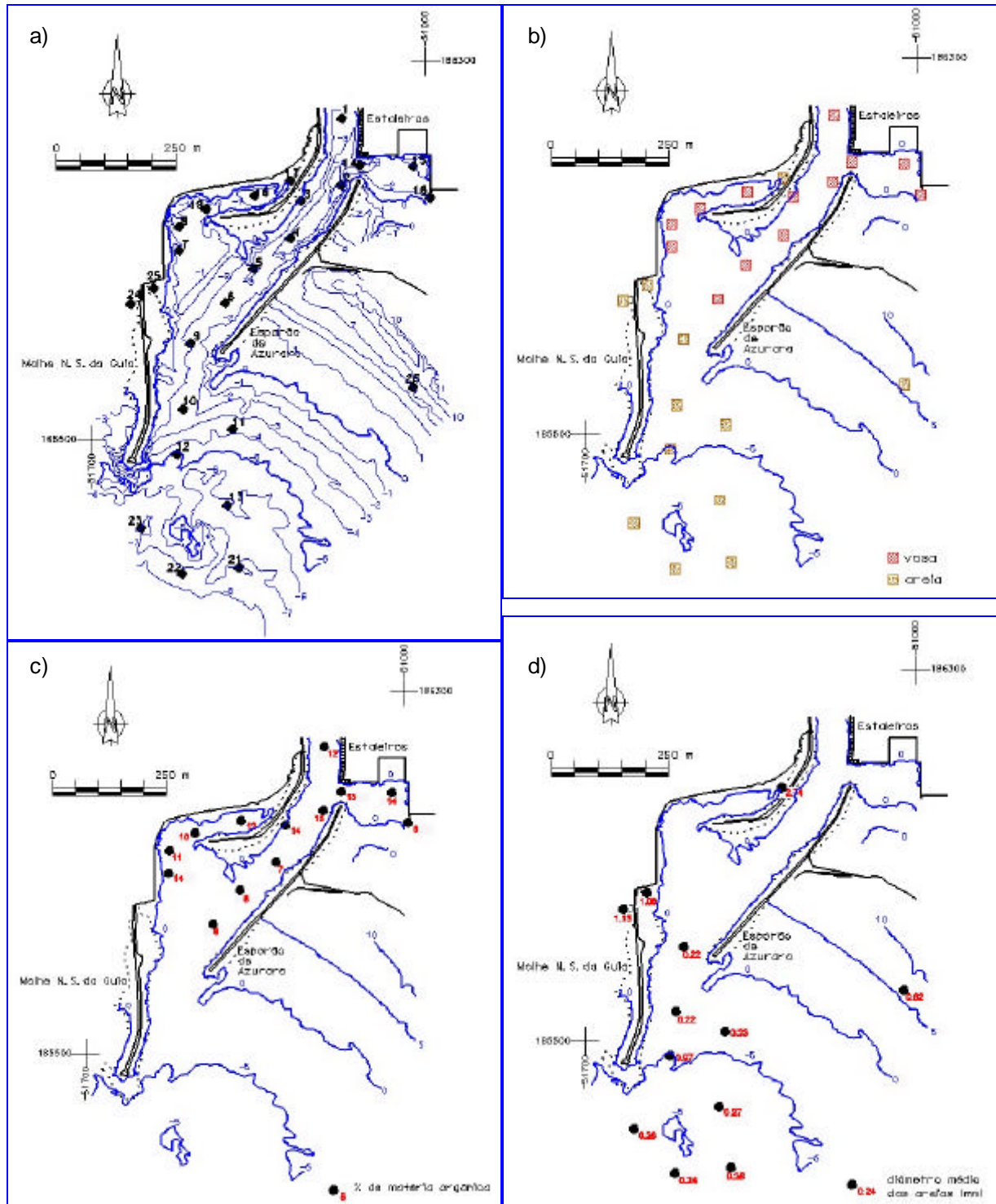


Figura 6 – Caracterização dos sedimentos: a) localização das estações de amostragem; b) distribuição dos sedimentos superficiais; c) teor em matéria orgânica particulada; d) diâmetro médio das areias.

As amostras de sedimento foram tratadas em laboratório, com vista à análise granulométrica e determinação do teor em matéria orgânica particulada. Os métodos aplicados estão descritos detalhadamente em Fortunato et al. (2000a).

Os sedimentos superficiais recolhidos no fundo do estuário foram, fundamentalmente, de dois tipos: vasas orgânicas, no troço jusante do estuário; areias limpas, na embocadura do estuário (Figura 6b). As vasas orgânicas têm uma fracção silto-argilosa superior a 75% e teor elevado em matéria orgânica particulada (entre 6 e 16%, Figura 6c). As amostras que apresentam maior percentagem em matéria orgânica correspondem aos sedimentos colhidos na margem direita (10-14%), e na margem esquerda perto da Doca dos Estaleiros (12-16%).

As areias que se encontram na embocadura do estuário são areias lavadas, com fracção granulométrica silto-argilosa inferior a 5% do peso total. Estas areias, geralmente quártzicas, apresentam grão fino a médio. Por vezes, a componente micácea é importante, principalmente nas fracções granulométricas com diâmetro superior a 0.250 mm. A distribuição do diâmetro médio das areias mostra que os sedimentos arenosos podem ser diferenciados em dois grupos (Figura 6d): areias finas a médias, geralmente micáceas, localizadas na zona da embocadura, com diâmetro médio entre 0.2 e 0.3 mm; areias grosseiras a muito grosseiras que constituem os sedimentos de praia, com diâmetro médio entre 0.6 e 1.1 mm.

MOVIMENTAÇÃO E EQUILÍBRIO SEDIMENTAR

Distribuição dos sedimentos no estuário

Os sedimentos encontrados no estuário do Ave são, fundamentalmente, de proveniência fluvial (areias finas micáceas e sedimentos silto-argilosos). As suas características indicam condições propícias à deposição, relacionadas com baixos níveis energéticos. No entanto, no interior da embocadura encontram-se, numa pequena praia, areias grosseiras, lavadas, com características semelhantes aos sedimentos das praias exteriores (junto ao molhe da Sr.^a da Guia e do Esporão de Azurara). Esta presença sugere condições de maior energia, provavelmente associadas à acção da agitação.

A morfologia do estuário, a regularização das margens e a reduzida importância das correntes de enchente explicam a ausência de zonas de espraiados de maré onde, geralmente, se dá a retenção preferencial de sedimentos finos transportados em suspensão. Assim, em alturas de caudal fluvial médio, os sedimentos que chegam ao estuário depositam-se ao longo do canal e em zonas abrigadas.

Em situações de cheias, o material em suspensão será transportado directamente para o oceano, indo depositar-se na plataforma continental. A presença de areias francamente micáceas na embocadura do estuário poderá indicar, para as condições de amostragem, ausência de condições hidrodinâmicas propícias à sua dispersão.

Deposição de sedimentos transportados em suspensão

Em ano hidrológico médio, o rio Ave debita para a costa volumes de sedimentos em suspensão e por arrastamento avaliados em 128×10^3 e 13×10^3 m³, respectivamente (Magalhães, 1999). Como foi referido acima, não existem zonas extensas de espraiados de maré, favoráveis a processos de sedimentação de materiais finos, do tipo silto-argiloso.

Procurou-se avaliar o ritmo de deposição deste tipo de sedimentos, transportados em suspensão, em zonas afastadas do escoamento activo das marés e das cheias, na área próxima da embocadura. Para tal, analisou-se o assoreamento da Doca dos Estaleiros através de comparações de levantamentos.

Os resultados mais significativos foram obtidos pela comparação dos levantamentos de Novembro de 1993 e de Fevereiro de 1999 (Figura 7). Nestes 5.25 anos verificou-se um assoreamento geral e nítido da doca, com uma regularidade de distribuição das elevações dos fundos que poderá significar ausência de dragagens de manutenção, pelo menos na parte final do período. A sedimentação média na zona central da doca foi de 1.64 m (0.3 m/ano), numa

evolução de cotas médias, entre o levantamento mais antigo e o mais recente, de -3.94 m ZH para -2.30 m ZH.

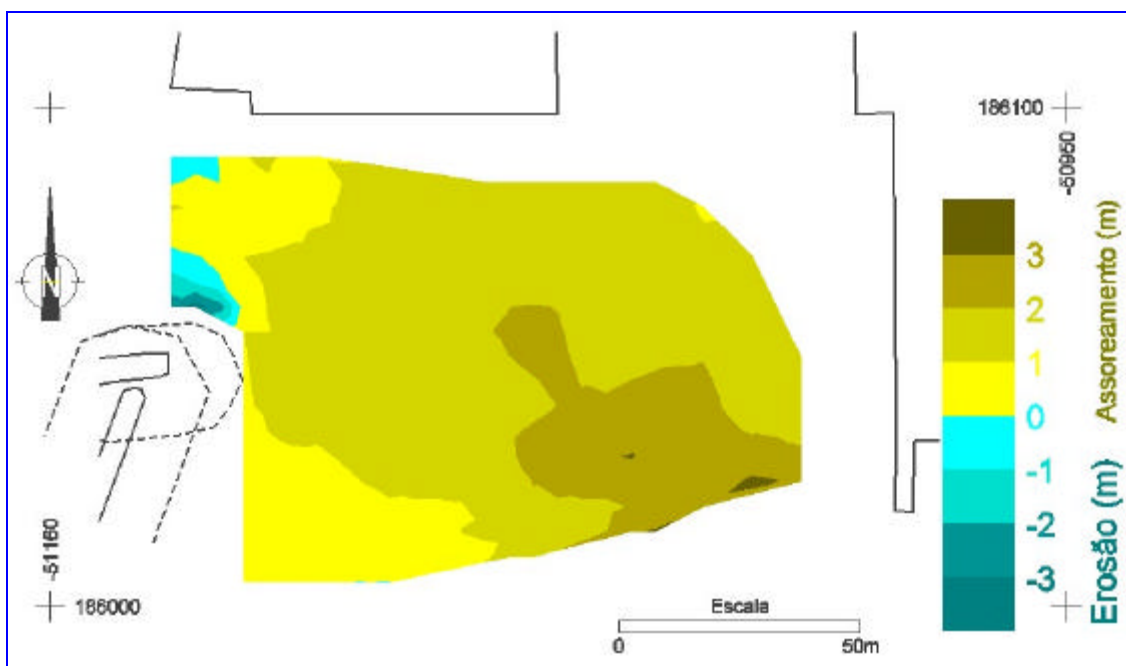


Figura 7 - Doca dos Estaleiros. Evolução de Novembro de 1993 a Fevereiro de 1999.

Assoreamento da embocadura

A embocadura do Ave insere-se num trecho de costa com orientação aproximada NNW-SSE, alimentado a partir de norte pelos rios Minho, Lima e Cávado, com um volume de areias que não deve exceder os $100 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$ (HP, 1988). Como a maior parte da agitação ao largo provem do sector W-NW, existe uma forte obliquidade entre a maioria das ondas e a costa.

A orla litoral apresenta geralmente fundos rochosos em profundidades acima das correspondentes à rebentação das ondas. As praias subsistem apenas em trechos protegidos por saliências rochosas, que retêm as areias por efeito de esporão ou as acumulam em zonas mais calmas de difracção. São praias encaixadas, com uma massa de areias quase permanente.

São deste tipo as praias a norte da embocadura do Ave. Estas apresentam-se estáveis, contrariamente ao que acontece com a orla arenosa entre a foz do Ave e a Ponta da Gafa. Esta orla arenosa, que engloba as praias de Azurara, da Árvore e a parte norte da praia do Mindelo, apresenta uma situação de desequilíbrio sedimentar que interfere com a estabilidade da embocadura do Ave, favorecendo o afluxo de areias costeiras ao interior do estuário (Figura 1).

Verifica-se, pela análise dos levantamentos da embocadura e da praia a sul, que esta não se apresenta suficientemente apoiada pelo esporão de Azurara, sendo frequente o contorno da extremidade desta obra pela linha de ZH. Com o prolongamento do molhe da Sr.^a da Guia, este efeito deverá ter-se acentuado, devido à atenuação da energia das ondas incidentes no extremo norte da praia por reforço do fenómeno de difracção aí ocorrente. O esporão de Azurara é contornado pelas areias da praia que penetram no estuário e tendem a depositar-se na embocadura, dado que as correntes de maré nessa zona são muito reduzidas. Este facto foi verificado através do cálculo da capacidade de transporte das areias na embocadura pelas correntes de maré, utilizando os resultados do modelo hidrodinâmico atrás descritos, e um modelo de transporte de sedimentos não-coesivos (Fortunato e Oliveira, 1998). Para caudais fluviais de 0 e $30 \text{ m}^3/\text{s}$, as velocidades na embocadura não atingem os valores críticos necessários à movimentação das areias. Para caudais fluviais de $250 \text{ m}^3/\text{s}$, as correntes geram

transporte sólido. No entanto, como estes caudais são raros, a capacidade de auto-manutenção dos fundos na embocadura é reduzida.

ANÁLISE COMPARATIVA DE SOLUÇÕES PARA A FUTURA DOCA

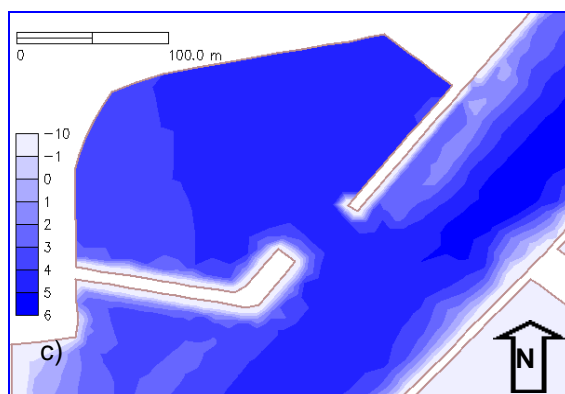
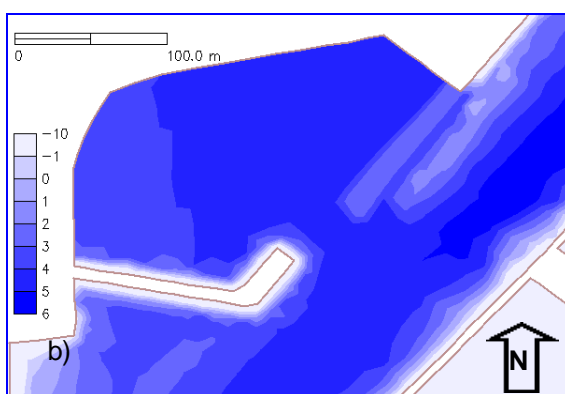
Definição das Soluções

O projecto da doca de recreio de Vila do Conde (IMP, 1999) previa uma solução mista para os quebra-mares (Figura 8a): o de jusante seria de enrocamento, enquanto o de montante seria flutuante. A utilização de um quebra-mar flutuante visaria, para além de objectivos estéticos, maximizar o espaço disponível no interior do porto. No entanto, esta solução (Solução A) pode agravar o ritmo de deposição de sedimentos no interior da doca, pelo que se decidiu compará-la com uma solução de quebra-mares fixos (Solução B).

Como a definição do quebra-mar flutuante era apenas esquemática, analisou-se a solução mais favorável à minimização do assoreamento (Figura 8b). Assim, o quebra-mar flutuante foi representado como um obstáculo ao escoamento, imerso, com 2 m de altura. Como a cota de dragagem prevista para o local onde este quebra-mar ficará instalado é -2 m ZH, seria irrealista considerar uma altura maior para o quebra-mar. Na Solução B (Figura 8c), o quebra-mar flutuante é substituído por um quebra-mar de enrocamento com dimensões em planta semelhantes.



Figura 8 – Doca de recreio: a) Solução A (extraído de IMP, 1999); b) Solução A: batimetria do modelo; c) Solução B: batimetria do modelo.



Análise das Soluções

O modelo hidrodinâmico foi utilizado para calcular as entradas de água na doca nas duas soluções, por forma a comparar qualitativamente os fluxos de sedimentos e as condições de abrigo no interior da doca. Considerou-se ainda o facto de a doca se situar no intradorso de uma curva do estuário, sendo por isso uma zona de assoreamento preferencial. Como este problema é marcadamente tridimensional, não sendo pois reproduzido pelo modelo utilizado, foi analisado apenas qualitativamente.

As simulações para caudais de 30 e 250 m³/s mostram padrões de circulação muito distintos nas duas soluções (Figura 9). Na Solução A, o escoamento de vazante penetra na doca junto ao enraizamento do quebra-mar flutuante, saindo mais a jusante pela entrada do porto. Na Solução B, o mesmo escoamento não penetra no porto, havendo pelo contrário uma lenta saída de água, determinada pela gradual descida da maré.

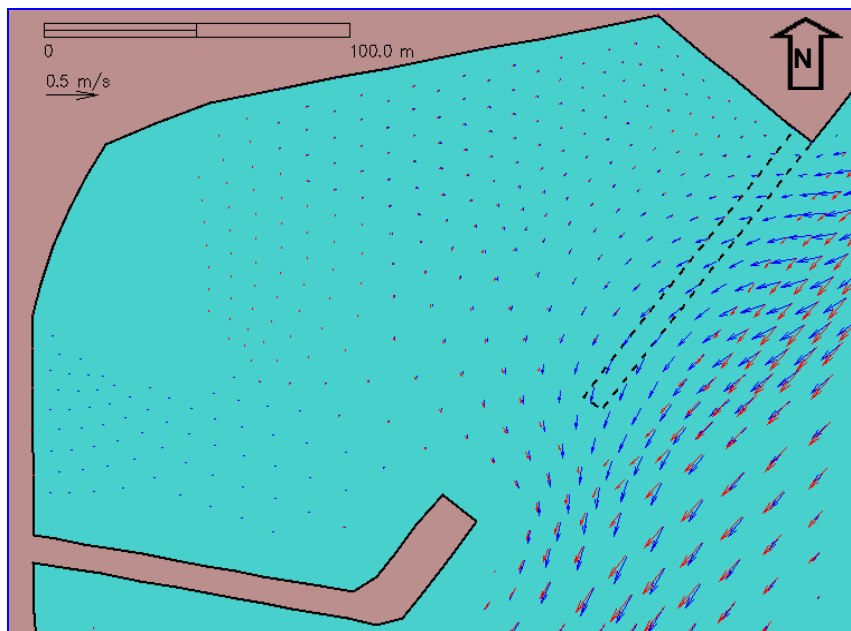


Figura 9 – Campos de velocidades para as soluções A (azul) e B (vermelho). Situação de caudal médio (30 m³/s), vazante de maré viva.

Na Solução A, a penetração no porto de água vinda de montante durante a vazante promove o assoreamento da doca. Como os fundos do estuário têm uma grande percentagem de sedimentos finos, esta água traz sedimentos em suspensão. A sua penetração no porto junto ao fundo, sob o quebra-mar flutuante, aumenta o teor de matéria em suspensão. Parte desta água é trocada com a que existia na doca, e a sua velocidade decai rapidamente, promovendo a deposição dos sedimentos. Este fenómeno não ocorre na Solução B, dado que a água não penetra no porto durante a vazante devido à hidrodinâmica da maré.

Um processo semelhante ocorre também durante a enchente. No entanto, existem menos sedimentos em suspensão, quer por se tratar de água proveniente do mar, quer por as velocidades serem muito reduzidas (inferiores a 10 cm/s). As consequências para o assoreamento são por isso diminutas.

A maior exposição da Solução A é também negativa para as condições de abrigo. No entanto, os resultados mostram que mesmo na Solução A as velocidades são reduzidas no interior do porto, pelo que não são determinantes na escolha da solução.

A localização da futura doca a meio de uma curva pode também contribuir para o seu assoreamento. Com efeito, o padrão dos campos de velocidades em curvas tem consequências importantes para o transporte de sedimentos. Devido à aceleração centrípeta, a água superficial tende a deslocar-se para o extradorso da curva, o que é compensado por um movimento para o intradorso, junto ao fundo (Figura 10). Este padrão de circulação cria uma tendência para a erosão do extradorso da curva, com a consequente deposição do material no intradorso. Este fenómeno é frequentemente observado em rios, e traduz-se na meanderização dos leitos.

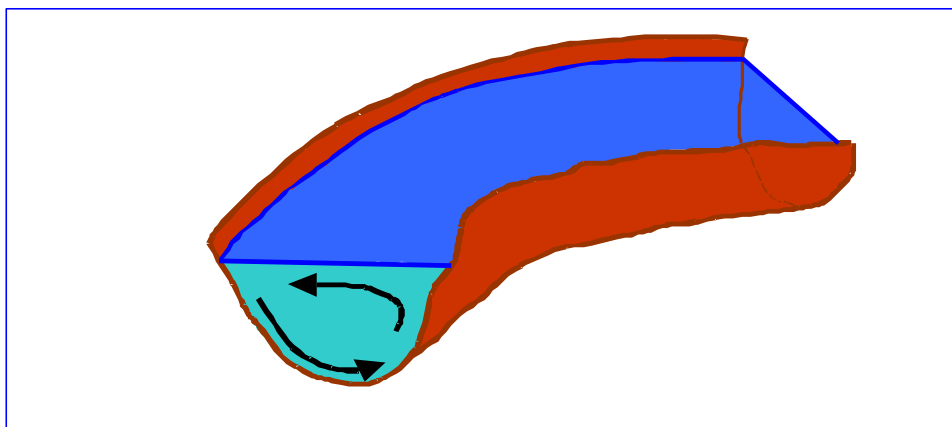


Figura 10 – Circulação transversal numa curva.

Este fenómeno ocorre na zona da futura doca. Uma análise da batimetria sugere que existe alguma deposição no intradorso da curva, o que se traduz por um maior espaçamento das isolinhas nessa zona (Figura 11). O mesmo se deduz dos perfis transversais, onde a posição do talvegue se encontra deslocada para o lado da margem esquerda das secções (Figura 12).

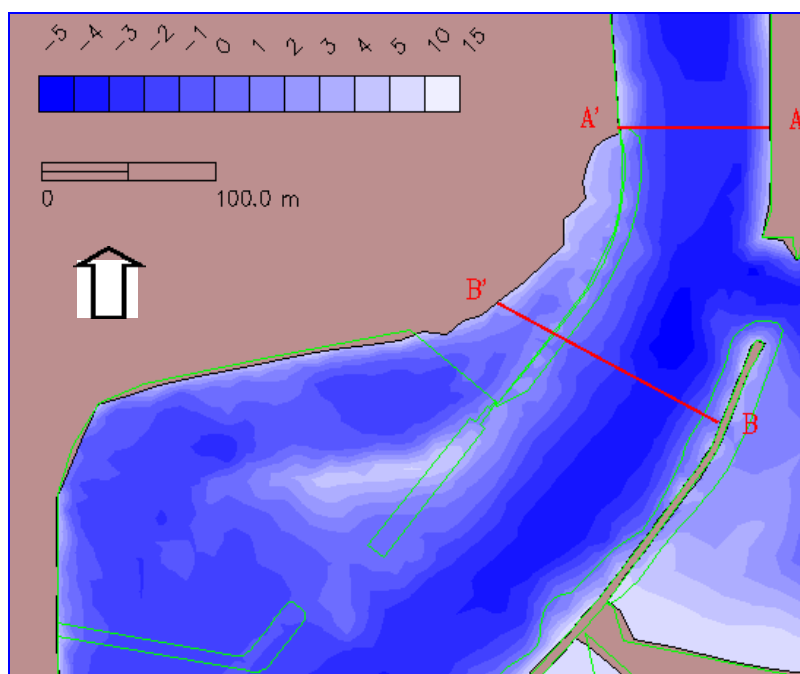


Figura 11 – Curva no estuário do Ave junto ao local de implantação da doca de recreio. Os limites da doca estão esquematizados a verde.

A presença da Doca dos Estaleiros a meio da curva, a regularização das margens, e, possivelmente, as dragagens de manutenção, contribuem aqui para a pouca clareza do efeito de curva e sobretudo para dificuldade em quantificar os volumes de sedimento envolvidos. No entanto, este fenómeno é muito importante na escolha da solução a adoptar, dado que a localização da doca de recreio junto à curva fomenta o seu assoreamento. O quebra-mar flutuante será pouco útil na minimização do assoreamento, já que os sedimentos irão penetrar na doca junto ao fundo (Figura 10). A utilização de um quebra-mar fixo, pelo contrário, irá impedir a entrada de sedimentos na zona mais próxima da curva, onde o efeito de curva é mais importante. Assim, também neste aspecto a Solução B é mais vantajosa do que a Solução A.

As análises atrás apresentadas mostram que a Solução B é menos susceptível ao assoreamento. Por um lado, evita a forte entrada de água proveniente de montante durante a vazante que se observa na Solução A. Esta água tem uma elevada concentração de sedimentos em suspensão que se iriam parcialmente depositar no interior do porto. Por outro lado, a Solução A apresenta uma abertura no intradorso de uma curva, o que favorece a penetração de sedimentos junto ao fundo devido às correntes secundárias helicoidais que se estabelecem em situações de escoamento deste tipo.

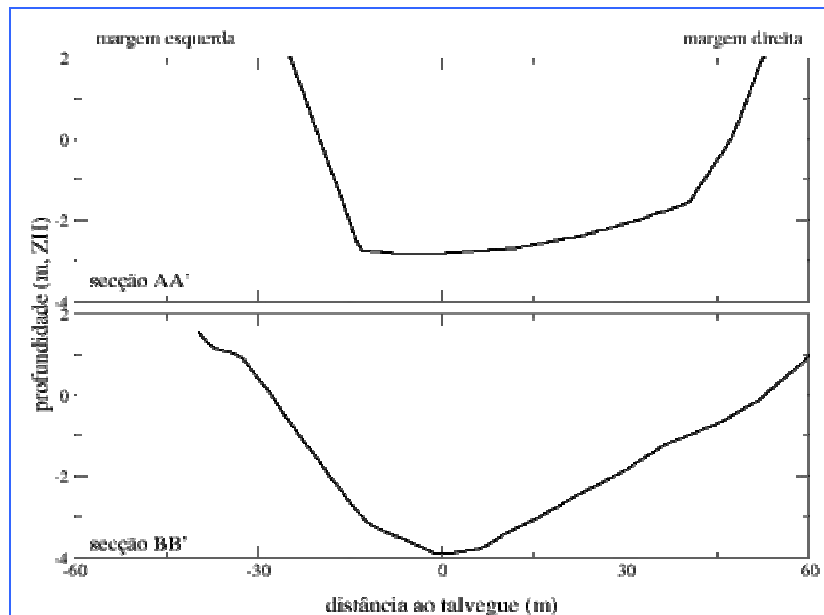


Figura 12 – Perfis transversais das sete secções indicadas a vermelho na Figura 11, centradas no ponto mais profundo da secção.

CARACTERIZAÇÃO DA SOLUÇÃO ESCOLHIDA

CONSIDERAÇÕES GERAIS

A construção da doca de recreio vai reduzir localmente a secção do estuário. Com efeito, a estrutura actualmente existente no local onde ficará implantada a obra é parcialmente galgada durante a preamar, o que não acontecerá com a obra prevista. Espera-se que a redução da secção do estuário, ainda que localizada, provoque a subida dos níveis de água e o aumento da intensidade das correntes. Estes dois aspectos são analisados abaixo através do modelo hidrodinâmico.

As docas, por serem zonas abrigadas, tendem naturalmente a assorear. Apesar de a solução proposta minimizar a tendência para o assoreamento, é de esperar que ocorra ainda assim alguma sedimentação. Procurou-se, por isso, quantificar as taxas de assoreamento através de um método semi-empírico.

NÍVEIS

Condições médias

Os níveis máximos, médios e mínimos para caudais médios e de cheia foram calculados ao longo do eixo do estuário, e comparados com os valores obtidos sem obra (Figura 13). Como era esperado, a redução da secção transversal do estuário gera um aumento geral dos níveis. Este aumento é importante sobretudo para caudais de cheia e para os níveis máximos. Este facto explica-se por, para níveis baixos da maré, a estrutura existente constituir um obstáculo ao escoamento semelhante à obra a construir. Para níveis elevados, a estrutura existente é galgada, facilitando o escoamento de cheias.

O aumento dos níveis máximos, para caudais de cheia, varia de forma aproximadamente linear entre o quebra-mar de ponte e o enraizamento do quebra-mar de nascente, sendo aproximadamente constante, de cerca de 20 cm, daí para montante.

Note-se que este aumento dos níveis máximos não ocorre apenas para a solução adoptada. Com efeito, os resultados do modelo hidrodinâmico mostram que o aumento dos níveis máximos para a

Solução A seria muito semelhante ao obtido para a Solução B. Por exemplo, para o caudal de $250 \text{ m}^3/\text{s}$, o aumento do nível máximo seria inferior em apenas cerca de 4 cm.

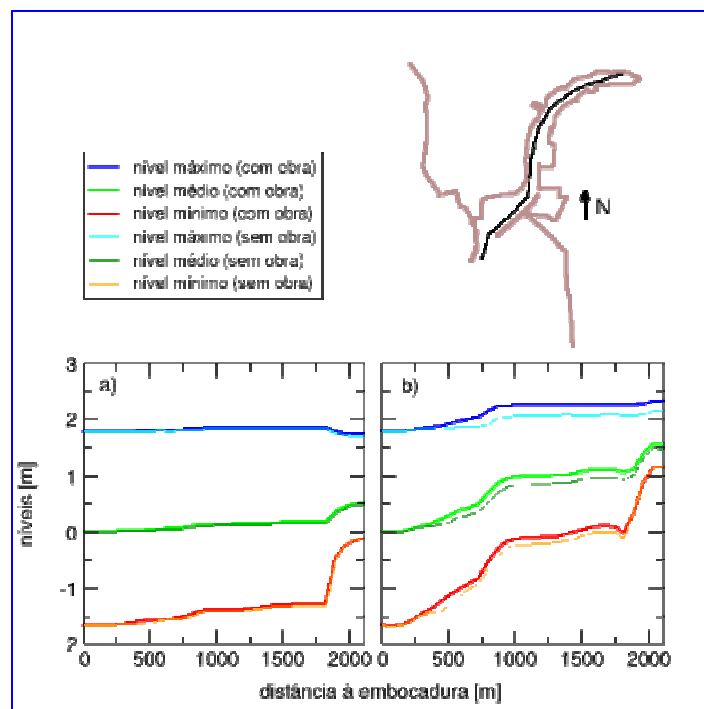


Figura 13 – Níveis máximos, médios e mínimos relativos ao nível médio do mar para caudais de (a) 30 e (b) $250 \text{ m}^3/\text{s}$, ao longo do eixo do estuário.

Condições extremas

A sobre-elevação dos níveis para o caudal de $250 \text{ m}^3/\text{s}$ indica não existir perigo de inundação da doca de recreio. Com efeito, os coroamentos dos quebra-mares e dos muros marginais estão 4.5 m e 3.5 m acima do nível médio do mar, respectivamente, enquanto o nível máximo para o caudal de cheia não ultrapassa os 2.3 m acima do mesmo nível de referência na zona da futura doca. No entanto, existem outros efeitos que podem contribuir para a sobre-elevação do nível da água:

- Numa bacia hidrográfica pequena, como a do rio Ave, os caudais máximos instantâneos e os máximos diários diferem substancialmente. O plano de bacia hidrográfica do Ave estima o caudal de ponta na foz, para um período de retorno de 10 anos, em 1174 e $1697 \text{ m}^3/\text{s}$, conforme o método de cálculo utilizado. Estes valores indicam que o valor do caudal de cheia utilizado ($250 \text{ m}^3/\text{s}$), definido com base em valores extremos do caudal médio diário, é largamente ultrapassado, ainda que por períodos de tempo relativamente curtos.
- Observa-se actualmente uma subida do nível médio do mar. Em Portugal, Dias e Taborda (1992) calcularam subidas de cerca de $1.4 \text{ mm}/\text{ano}$ em Cascais e em Lagos, enquanto as tabelas de maré (IH, 1999) referem uma diferença sistemática de cerca de 10 cm entre as previsões de maré e as observações. Titus e Narayanan (1995) estimam que há uma probabilidade de 50% de o nível médio do mar subir 15 cm até 2050.
- O nível do mar varia não só com as marés astronómicas, consideradas nas simulações anteriores, mas também com efeitos meteorológicos (vento e pressão atmosférica). Para estimar a importância destes efeitos na costa Portuguesa, foram analisados os dados do marégrafo de Cascais dos anos de 1974, 1986 e 1991. A estes dados foram subtraídas as previsões efectuadas com base numa análise harmónica dos próprios dados (marés astronómicas). Os resultados (Figura 14) mostram que a distribuição dos níveis de origem meteorológica apresenta uma distribuição aproximadamente normal, de média nula e desvio padrão 29 cm . Assim, o nível com uma probabilidade de excedência de 10% é de 36 cm .

Assim, o nível das águas no estuário do Ave varia, não linearmente, com quatro factores: marés astronómicas e meteorológicas, caudais fluviais e nível médio do mar. Acresce que estes factores nem sempre são independentes: por exemplo, existe alguma correlação entre as marés meteorológicas e os caudais fluviais, uma vez que ambos estão relacionados com efeitos meteorológicos. Uma análise estatística rigorosa dos níveis de água no estuário constitui, por isso, uma tarefa extremamente complexa.

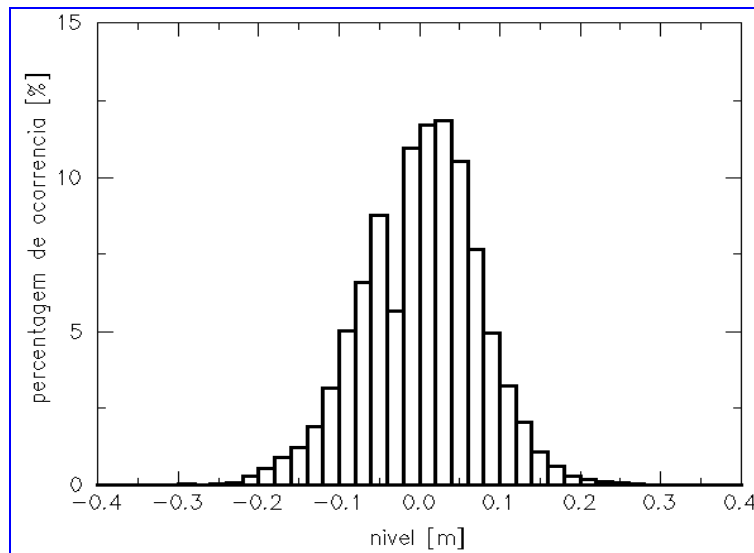


Figura 14 – Sobrelevações do nível do mar de origem meteorológica em Cascais.

Foram simuladas duas situações extremas para estimar os efeitos destes factores. Na primeira, o escoamento é forçado pela maré astronómica e por um caudal fluvial de $1000 \text{ m}^3/\text{s}$. Como um tal caudal só ocorre durante períodos de tempo muito curtos, a sua probabilidade de ocorrência durante uma preia-mar de águas vivas é muito reduzida. Na segunda situação, o escoamento é forçado pela maré astronómica, por um caudal fluvial de $250 \text{ m}^3/\text{s}$ e por uma sobre-elevação do nível do mar de 0.5 m . Esta situação representa uma subida do nível médio do mar de 0.15 m conjugada com uma sobre-elevação do nível do mar de 0.35 m devido a efeitos meteorológicos.

Os níveis máximos, médios e mínimos foram comparados com simulações semelhantes para a situação actual. Os resultados revelam mais uma vez que a construção da doca de recreio irá provocar uma subida do nível da água. Para um caudal extremo (Figura 15a), os níveis máximos são cerca de 0.4 m superiores aos que existiriam sem obra, enquanto para o caso da sobre-elevação do nível do mar (Figura 15b), o aumento é inferior a 0.2 m . Note-se que, na situação de caudal extremo, os níveis máximos atingem aproximadamente os coroamentos dos muros marginais da doca de recreio.

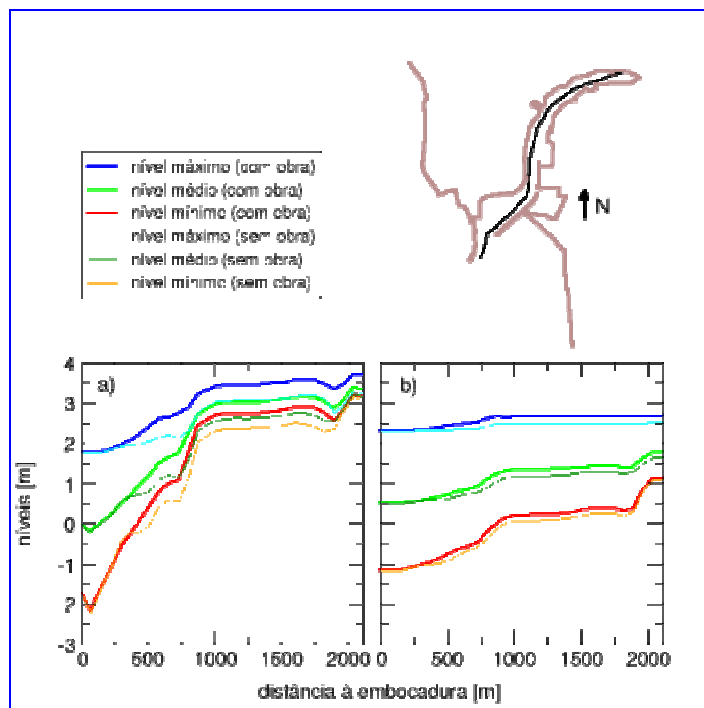


Figura 15 – Níveis relativos ao nível médio do mar para (a) um caudal de 1000 m³/s, e (b) uma sobre-elevação do nível médio de 0.5 m e um caudal de 250 m³/s.

Finalmente, salienta-se um aspecto que foi omitido nesta análise. A redução da secção do estuário fará aumentar, não só os níveis, mas também as velocidades. Este aumento de velocidades irá naturalmente aumentar a secção do estuário por erosão dos fundos, mitigando assim os efeitos da doca sobre a subida dos níveis. Assim, os cenários simulados atrás são pessimistas, na medida em que a morfodinâmica foi ignorada.

A previsão da secção de equilíbrio do estuário é uma tarefa complexa, em particular porque esta secção pode não se encontrar presentemente em equilíbrio. Assim, para ilustrar o efeito que uma alteração na batimetria pode ter nos níveis máximos, a simulação com o caudal de 1000 m³/s foi repetida utilizando a batimetria de Outubro de 1996, que apresenta profundidades geralmente superiores às do levantamento de Fevereiro de 1999.

Os resultados mostram como o aprofundamento dos fundos pode reduzir as subidas dos níveis. A subida de níveis provocada pela obra, da ordem dos 0.4 m, reduz-se para cerca de 0.3 m se os fundos atingirem as posições que tinham em 1996.

Esta análise mostra assim que a construção da doca de recreio irá provocar, relativamente à situação actual, uma sobre-elevação do nível da água no estuário. Esta sobre-elevação poderá provocar (ou agravar) inundações quer na própria doca, quer nas partes mais baixas da cidade de Vila do Conde. Este efeito deverá ser atenuado pelo aumento de profundidade do leito do estuário determinado pela passagem da ponta de cheia.

CORRENTES

As velocidades são geralmente semelhantes às obtidas para a situação actual. Existe no entanto um aumento de velocidades significativo em frente à doca (Figura 16). Este aumento é máximo a sudeste do quebra-mar ponte, onde atinge cerca de 50% em vazante de maré viva. Por exemplo, para o caudal de 250 m³/s, as velocidades máximas a sudoeste do quebra-mar ponte passam de cerca de 1 m/s a cerca de 1.5 m/s.

Como referido atrás, este aumento de velocidades irá necessariamente provocar um aprofundamento das cotas de equilíbrio locais. O ajustamento dos fundos provocará, por sua vez, uma redução das velocidades devido ao aumento da secção transversal. O aumento das velocidades dado pelo modelo hidrodinâmico constitui pois uma estimativa por excesso do que se passará na realidade.

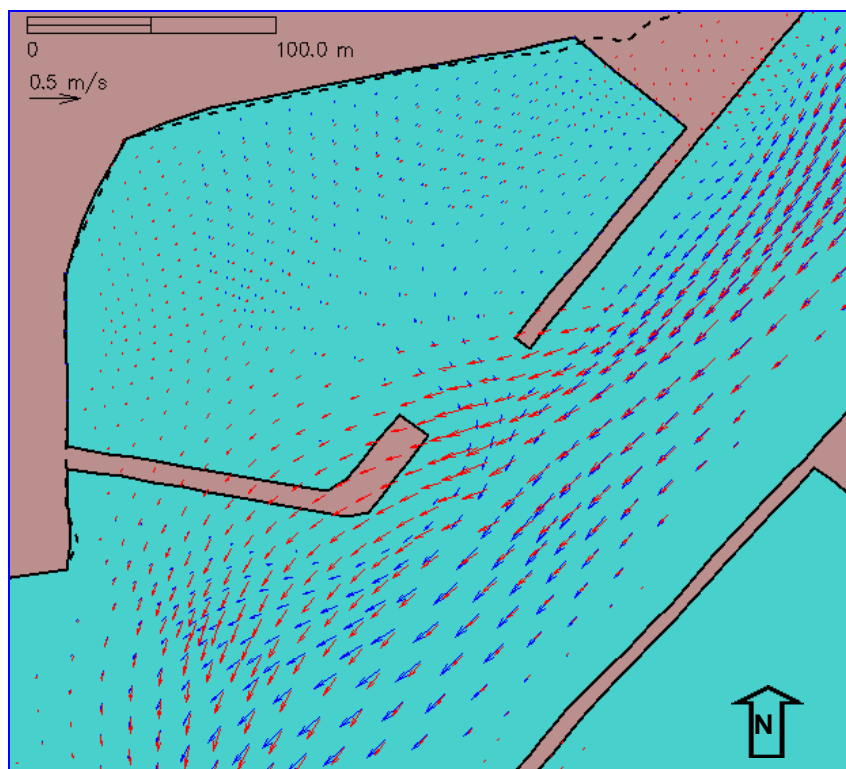


Figura 16 – Velocidade máximas de vazante para um caudal de 30 m³/s. Comparação da situação actual (vermelho) e com obra (azul).

TAXAS DE SEDIMENTAÇÃO NA DOCA DE RECREIO

Método de análise

A modelação matemática da deposição de sedimentos finos em meio estuarial encontra-se numa fase de aperfeiçoamento, o que justifica, em situações reais, o recurso a métodos de previsão semi-empíricos. Estes são métodos de análise e extrapolação de dados de observação, constituídos por informações quantificadas sobre manutenção de anteriores dragagens ou por levantamentos que documentem a evolução topo-hidrográfica de fundos dragados, referentes à área em estudo ou a zonas próximas, que apresentem condições hidrodinâmicas idênticas.

Nesta análise utilizou-se o método semi-empírico de Vicente e Uva (1984 e 1985), em cuja elaboração foram tidos em conta os principais procedimentos de previsão tradicionais, como o de Lyaknitsky e Smirnov (1961), a fórmula de Balanin, apresentada por Djunovski e Smirnov (1957), a fórmula de Perestrelo (1971) e os métodos coligidos e propostos por Trawle (1981).

Segundo este método, numa área dragada sujeita a sedimentação, a intensidade do assoreamento é proporcional, em cada data e em cada trecho, à diferença entre as cotas do fundo e as que correspondem ao seu equilíbrio natural. Esta hipótese exprime-se por:

$$dC/dt = K (C_e - C)$$

em que C representa a cota do fundo, C_e a cota natural de equilíbrio dos fundos na zona e K uma constante de sedimentação característica daquela zona do estuário, que traduz a intensidade do processo geral de sedimentação existente na área.

Da integração desta equação resulta:

$$C = C_d + (C_e - C_d) \cdot (1 - e^{-Kt}) \quad (1)$$

em que C_d é a cota de dragagem para o instante do início do processo de assoreamento (t=0).

Segundo a expressão (1), uma zona do fundo elevar-se-á ao longo do tempo, a partir da cota C_d a que foi dragada, tendendo para a cota de equilíbrio C_e. Essa elevação, ou assoreamento, processar-

se-á a um ritmo exponencialmente decrescente, devido à progressiva diminuição das diferenças entre as cotas do fundo e as de equilíbrio natural.

Para a definição desta curva de evolução dos fundos, num caso real, torna-se necessário estimar os valores dos parâmetros que a definem, C_e e K .

C_e é geralmente fácil de determinar a partir de levantamentos anteriores às dragagens de estabelecimento ou por inspeção de fundos naturais existentes nas proximidades, não perturbados por anteriores intervenções.

O parâmetro K pode ser determinado por comparação de levantamentos topo-hidrográficos de datas sucessivas, que documentem o processo de assoreamento de zonas dragadas, localizadas quer no local de estudo quer nas proximidades, ou a partir de informações sobre os volumes de dragagem de manutenção necessários para garantir determinadas profundidades nas bacias ou canais dragados existentes na zona.

Determinação dos parâmetros locais de sedimentação C_e e K

Para a aplicação do método referido utilizaram-se os levantamentos da Doca dos Estaleiros de Novembro de 1993 e de Fevereiro de 1999, dada a coerência dos resultados e a longa duração do período de evolução que documentam. Verificou-se nesse intervalo de tempo um assoreamento geral e nítido da doca, com uma regularidade de distribuição das elevações dos fundos que sugere a ausência de dragagens de manutenção, pelo menos na parte final do período de evolução. A sedimentação média na zona central da doca foi de 1.64 m, numa evolução de cotas médias de -3.94 m ZH para -2.30 m ZH.

A observação destes e de outros levantamentos (Fortunato et al., 2000a) permite estimar para esta zona do estuário uma cota de equilíbrio natural dos fundos em zonas afastadas do escoamento activo da maré $C_e = 2.0$ m ZH. Assim, esta zona com cota de equilíbrio natural dos fundos de 2.0 m ZH sofreu, quando dragada a -3.94 m ZH, um assoreamento de 1.64 m em 5.25 anos. Substituindo os valores indicados na expressão (1), obtém-se $K=0.06 \text{ ano}^{-1}$, valor que se considera válido para zonas relativamente fechadas, afastadas do escoamento activo da maré.

Caracterização geral da sedimentação local

Aplicando os parâmetros C_e e K na expressão (1) calcularam-se as evoluções das cotas dos fundos em diferentes situações de cotas de dragagem e períodos de tempo, que se consideram adequadas à previsão da deposição de sedimentos finos em zonas com as características hidrodinâmicas indicadas, em que se incluem bacias de docas protegidas das correntes que fluem no canal da embocadura (Quadro 2 e Figura 17). Apresenta-se a previsão de assoreamentos para períodos de 1 a 12 anos, correspondentes a intervenções que vão desde dragagens nulas, isto é, em que os fundos permanecem às cotas de equilíbrio natural de 2.0 m ZH, até à dragagem de uma camada de 7.0 m de espessura, relativamente a esse mesmo nível (fundos dragados a -5.0 m ZH).

Quadro 2 – Previsão dos assoreamentos (em metros) na área em estudo. $K=0.06 \text{ ano}^{-1}$ e $C_e = -2.00$ m ZH.

período de tempo (anos)	cotas de dragagem C_d (m ZH)							
	2.0	1.0	0.0	-1.0	-2.0	-3.0	-4.0	-5.0
1	0.0	0.06	0.12	0.17	0.23	0.29	0.35	0.41
2	0.0	0.1	0.23	0.34	0.45	0.57	0.68	0.79
3	0.0	0.16	0.33	0.49	0.66	0.82	0.99	1.15
4	0.0	0.21	0.43	0.64	0.85	1.07	1.28	1.45
8	0.0	0.38	0.76	1.14	1.52	1.91	2.27	2.67
12	0.0	0.51	1.03	1.54	2.05	2.57	3.08	3.59

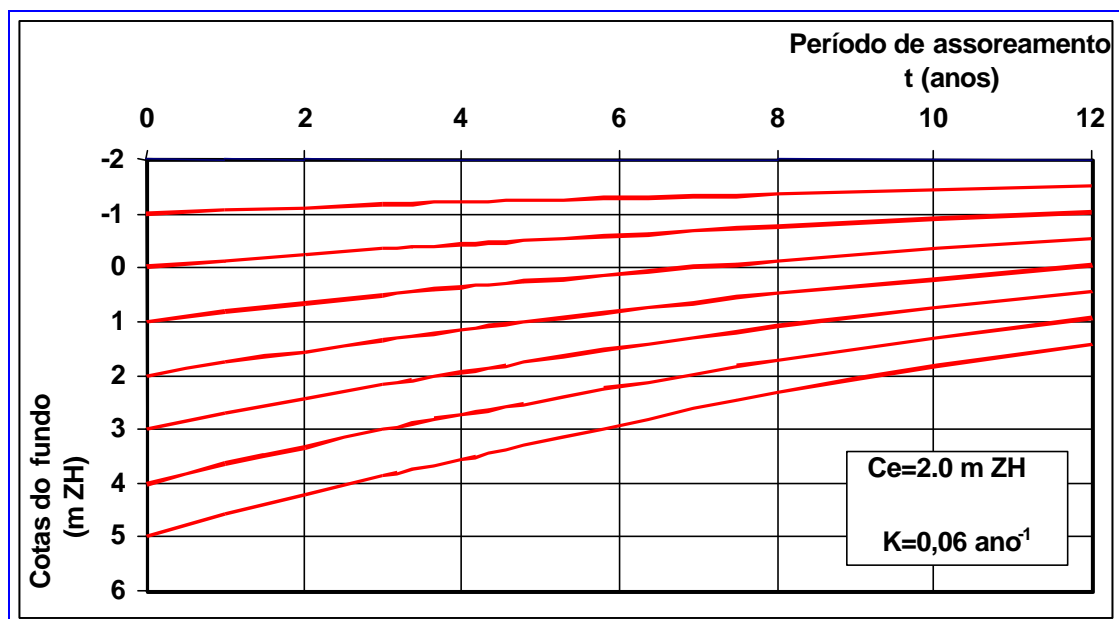


Figura 17 – Previsão de assoreamentos na área em estudo.

Previsão das dragagens de manutenção da doca de recreio

Admite-se que os valores de K e C_e que se determinaram com base nos dados de assoreamento da Doca dos Estaleiros são ainda válidos para a futura doca de recreio, por esta se localizar na mesma zona do estuário e ser, portanto, afectada pelas mesmas concentrações de sedimentos finos em suspensão. Estas extrapolações só podem, no entanto, ser consideradas válidas, se a doca for pouco aberta, de forma a ser evitada a acentuada tendência à acumulação de sedimentos pelo efeito de curva, anteriormente referida.

Está previsto que a bacia da doca apresente duas zonas distintas: a zona exterior, próxima da entrada, com uma área de 2.0 ha e fundos que deverão estar permanentemente abaixo de -2.00 m ZH; a zona interior, mais distante da entrada, com uma área de 0.7 ha e fundos que deverão estar permanentemente abaixo de -1.00 m ZH.

Como o processo de sedimentação é contínuo, o tirante de água disponível para as embarcações vai diminuindo durante o período que decorre entre dragagens de manutenção. É, por isso, necessário que as dragagens sejam efectuadas a cotas ligeiramente superiores aos mínimos operacionais exigidos, incluindo parcelas de sobredragagem. As sobredragagens corresponderão aos acréscimos de aprofundamento da bacia, para além das cotas exigidas pela navegação, destinados a evitar que os fundos se elevem acima destas cotas, durante a acumulação de sedimentos que ocorre entre dragagens.

Desta forma, as dragagens de manutenção das duas zonas da doca de recreio não deverão ser efectuadas às cotas de -2.0 m e -1.0 m ZH, que se indicaram como cotas mínimas de funcionamento. Devem ser levadas até cotas um pouco mais profundas, para que imediatamente antes da próxima dragagem de manutenção subsistam ainda as cotas de fundo acima indicadas.

A sobredragagem cresce, como é evidente, com o intervalo de tempo que se considere entre dragagens de manutenção. Dado que esse intervalo não está ainda definido, efectuou-se cálculos para três diferentes hipóteses, tendo-se obtido os valores que constam do Quadro 3.

Segundo os resultados obtidos, e considerando, a título de exemplo, que se optará por dragagens de manutenção de 2 em 2 anos, a zona exterior deverá ser dragada a -2.5 m ZH, ou seja com uma sobredragagem de 0.5 m, e a zona interior a -1.4 m ZH, isto é, com uma sobredragagem de 0.4 m.

O volume total a dragar cada dois anos será de cerca de 13 000 m³, correspondendo 10 000 m³ à zona exterior e 3 000 m³ à interior.

Quadro 3 – Previsão de dragagens de manutenção na Doca de Recreio.

Intervalo entre dragagens de manutenção (anos)	Sobredragagens (m)		Cotas das dragagens (m ZH)		Volumes das dragagem de manutenção (m ³)		
	Zona Exterior	Zona Interior	Zona Exterior	Zona Interior	Zona Exterior	Zona Interior	Total
1	0.25	0.20	-2.25	-1.20	5 000	1 400	6 400
2	0.50	0.40	-2.50	-1.40	10 000	2 800	12 800
3	0.80	0.60	-2.80	-1.60	16 000	4 200	20 200

CONCLUSÕES

Apresentou-se uma análise de duas soluções para a construção de uma doca de recreio em Vila do Conde, precedida de uma caracterização física do estuário do rio Ave.

O estuário do Ave é estreito, e limitado a montante por dois açudes a cerca de dois e três quilómetros da embocadura. Das suas pequenas dimensões resultam correntes de maré fracas (inferiores a 0.2 m/s em maré viva), tornando a hidrodinâmica do estuário do Ave fortemente dependente dos caudais fluviais. Em cheia e em situação de caudais médios e marés mortas, os caudais fluviais são dominantes e as correntes são sempre de vazante. Para caudais de 30 m³/s e 250 m³/s atingem-se velocidades de vazante de 0.3 e 1.5 m/s, respectivamente.

Os sedimentos presentes no estuário são, predominantemente, silto-argilosos com elevado teor em matéria orgânica (6-16%). No troço de jusante encontram-se areias de grão fino a médio, geralmente micáceas. Junto ao molhe da Sr.^a da Guia, no interior do estuário, existe uma pequena praia constituída por areia de grão grosseiro sem componente micácea.

Os ritmos de sedimentação de materiais finos são moderados nas zonas calmas, afastadas do escoamento activo das marés e das cheias, e próximas da embocadura.

A embocadura do Ave apresenta deficientes condições de auto-manutenção de profundidades. Essas condições decorrem do diminuto prisma de maré do estuário e são agravadas pelo constante afluxo de areias da praia a sul, dado o insuficiente comprimento do esporão de Azurara para impedir a sua penetração na zona da embocadura.

Apresentou-se uma análise comparativa de duas soluções alternativas para os quebra-mares da doca de recreio de Vila do Conde, seguida de uma caracterização do funcionamento da solução escolhida. A Solução A, proposta pelo projectista, incluía um quebra-mar flutuante a nascente. Alguns inconvenientes previsíveis desta solução motivaram a análise da substituição do quebra-mar flutuante por um quebra-mar fixo (Solução B). A comparação das duas soluções revelou que a Solução B é a mais favorável do ponto de vista da redução do assoreamento no interior da Doca por duas razões:

- Na Solução A dá-se uma forte entrada de água proveniente de montante durante a vazante. Esta água deverá ter uma elevada concentração de sedimentos em suspensão que se irão parcialmente depositar no interior do porto, promovendo o assoreamento. Tal entrada não ocorre na Solução B.
- A Solução A apresenta uma abertura no intradorso de uma curva, o que favorece a penetração de sedimentos junto ao fundo (sob o quebra-mar flutuante) devido às correntes secundárias helicoidais que se estabelecem em situações de escoamento deste tipo.

A caracterização da Solução B através de um modelo hidrodinâmico indica que a redução local da secção do estuário provocada pela construção da Doca aumentará as velocidades e os níveis da água. No entanto, o aumento de velocidades tenderá a erodir os fundos localmente, aprofundando as cotas de equilíbrio e aumentando a secção do estuário. Este reajustamento da batimetria tenderá a minimizar os efeitos da futura Doca sobre a hidrodinâmica.

Uma estimativa por excesso dos aumentos de velocidades e de níveis é obtida em simulações com a batimetria actual. Estas simulações indicam que, em casos extremos, as velocidades podem aumentar até 50% (a sueste do quebra-mar ponte e em vazante de marés vivas), e os níveis máximos até 0.4 m (caudal fluvial de 1000 m³/s e maré viva).

A modelação matemática do processo de deposição de sedimentos finos em meio estuarial encontra-se numa fase de aperfeiçoamento, o que justifica a aplicação de métodos de previsão de tipo semi-empírico ao estudo de situações reais. Estes são métodos de análise e extrapolação de dados de observação, constituídos quer por informações quantificadas sobre manutenção de anteriores dragagens, quer por levantamentos que documentem a evolução topo-hidrográfica de fundos dragados, referentes à área em estudo ou a zonas próximas.

Foi esta a orientação seguida, tendo-se analisado e comparado levantamentos de várias datas, relativos ao trecho de jusante do estuário do Ave e, especialmente, à Doca dos Estaleiros. Os cálculos efectuados permitiram caracterizar uma situação de sedimentação pouco intensa, em que a camada compreendida entre os fundos dragados e a cota de equilíbrio natural tenderá a colmatar, por assoreamento, a um ritmo próximo de 6% ao ano. No entanto, estas previsões só podem ser consideradas válidas se a doca for pouco aberta, de forma a ser evitada a acentuada tendência à acumulação de sedimentos pelo efeito de curva.

Prevê-se que a bacia da doca apresente duas zonas distintas: uma próxima da entrada, com 2.0 ha e fundos que deverão estar permanentemente abaixo de -2.00 m ZH, que se designou por zona exterior; outra mais distante da entrada, com 0.7 ha e fundos que deverão estar permanentemente abaixo de -1.00 m ZH, que se designou por zona interior.

Como o processo de sedimentação é contínuo, o tirante de água disponível para as embarcações vai diminuindo durante o período que decorre entre dragagens de manutenção, sendo necessário recorrer a sobredragagens. A título de exemplo, se se optar por dragagens de manutenção de 2 em 2 anos, a zona exterior deverá ser dragada a -2.5 m ZH, ou seja com uma sobredragagem de 0.5 m, e a zona interior a -1.4 m, isto é, com uma sobredragagem de 0.4 m. Nestas condições, o volume a dragar cada dois anos será de cerca de 13 000 m³.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Marítimo-Portuário (IMP) a autorização concedida para publicação deste artigo, assim como a disponibilização dos dados de batimetria. Agradecem ainda a colaboração dos Eng.^{os} Margarida Cardoso da Silva e João Rocha, a digitalização das cartas e a elaboração de parte dos desenhos pelos técnicos experimentadores Vítor Pisco, Simões Pedro e Fernando Brito, e a cedência do modelo ADCIRC pelos Profs. R.A. Luettich e J.J. Westerink.

REFERÊNCIAS

- Costa, J.R., M.A. Santos e D.P. Loucks, 1989. *Methodologies for water resources policy analysis*, NATO Scientific Affairs Division, LNEC, Lisboa.
- Dias, J.A. e R. Taborde, 1992. Tidal gauge data in deducing secular trends of relative sea level and crustal movements in Portugal, *Journal of Coastal Research*, 8/3: 655-659.
- Djunovski, N. e G. Smirnov, 1957. *XIX International Navigation Congress. London, 1957. Section II – Communication 3. 253 – 280.*
- Fortunato, A.B. e A. Oliveira, 1998. *SAND2D user's manual: a depth-averaged model for long-term prediction of sand transport by tidal currents and waves. part 1: transport by tidal currents*, Rel. 121/98-NET, LNEC, Lisboa.
- Fortunato, A.B., P. Freire, C. Vicente, M.C. Silva e A. Oliveira, 2000a. *Doca de recreio de Vila do Conde. Estudos de hidrodinâmica e de dinâmica sedimentar. Relatório 1: caracterização da situação actual*, Rel. 133/00 - NET, LNEC, Lisboa.
- Fortunato, A.B., C. Vicente e A. Oliveira, 2000b. *Doca de recreio de Vila do Conde. Estudos de hidrodinâmica e de dinâmica sedimentar. Relatório 2: análise de soluções alternativas*, Rel. 223/00 - NET, LNEC, Lisboa.
- Fortunato, A.B., J.S. Ferreira e A. Oliveira, 2000c. A tidal model of the Iberian Atlantic shelf: first results. *Thalassas*, 16: 41-47.
- Fortunato, A.B., P. Freire, M.C. Silva, A. Oliveira e C. Vicente, 2001. Hidrodinâmica, dinâmica sedimentar e qualidade da água do estuário do Rio Ave, *Recursos Hídricos*, em revisão.
- Hidrotécnica Portuguesa, 1988. *Troço Rio Minho Leixões. Problemas litorais*. Estudo realizado para a Direcção-Geral de Portos. Lisboa.
- Instituto Hidrográfico, 1962. *Tabelas de maré 1963*, Instituto Hidrográfico, Lisboa.
- Instituto Hidrográfico, 1990. *Roteiro da costa de Portugal*. 2ª Edição, Instituto Hidrográfico, Lisboa.

- Instituto Hidrográfico, 1999. *Tabelas de maré 2000*, Instituto Hidrográfico, Lisboa.
- Instituto Marítimo-Portuário, 1999. *Construção do porto de recreio de Vila do Conde*, Vol. 2 – projecto obras portuárias.
- Luetlich, R.A., e J.J. Westerink, 1995. *Implementation and testing of elemental flooding and drying in the ADCIRC hydrodynamic model*, Department of the Army, US Corps of Engineers.
- Luetlich, R.A., J.J. Westerink e N.W. Sheffner, 1991. *ADCIRC: An advanced three-dimensional model for shelves, coasts and estuaries. Report 1: theory and methodology of ADCIRC-2DDI and ADCIRC-3DL*, Department of the Army, US Corps of Engineers.
- Lyakhnitsky, V. e G. Smirnov, 1961. *XX International Navigation Congress. Baltimore, 1961. Section II – Ocean Navigation. Subject 2. Pg. 191 – 197.*
- Magalhães, F., 1999. *Os sedimentos da plataforma continental portuguesa: contrastes espaciais, perspectiva temporal, potencialidades económicas*. Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa.
- Perestrelo, J. 1971. *Comportamento de canais e bacias dragados em fundos lodosos de estuários*. Instituto Superior Técnico. Lisboa.
- Titus, J.G e V.K. Narayanan, 1995. *The probability of sea-level rise*, U.S. Environmental Protection Agency.
- Trawle, M. 1981. *Effects of depth on dredging frequency. Report 2. Methods of estuarine shoaling analysis*. U. S. Army Waterways Experiment Station. Technical Report H - 78 - 5.
- Vicente, C. e L. Uva, 1984. *Sedimentação em canais e bacias dragados. Previsão de taxas de assoreamento*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.
- Vicente, C. e L. Uva, 1985. Sedimentation in dredged channels and basins. *Proc. 19th International Conference on Coastal Engineering*, Houston, U. S. A., 1984.
- Zózimo, A.C., R. Capitão, M.G. Neves, C. Fortes, M.M. Carvalho (2001). *Doca de recreio do porto de Vila do Conde: estudos de agitação marítima, 2^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária* (este volume).