

**APFF – ADMINISTRAÇÃO DO PORTO DA FIGUEIRA DA FOZ, S.A.**

**PORTO DA FIGUEIRA DA FOZ  
APROFUNDAMENTO DA BARRA, CANAL DE ACESSO E BACIA DE MANOBRAS**

**PROJETO DE EXECUÇÃO  
ESTUDO DE IMPACTE AMBIENTAL  
VOLUME 2 – RELATÓRIO SÍNTESE**



**julho 2019**

## 4.2 HIDRODINÂMICA E REGIME SEDIMENTAR

### 4.2.1 Introdução

A hidrodinâmica costeira da situação de referência é caracterizada em relação ao transporte e processos sedimentares e à topo-hidrografia da barra da Figueira da Foz. Esta caracterização e a estimativa de evolução do descritor hidrodinâmica costeira é baseada no seu todo nas modelações matemáticas do “Estudo de Simulação Matemática da Hidrodinâmica e da Morfodinâmica” (Orthodrome, 2015).

A situação de referência é caracterizada tendo em conta as batimetrias de 2011 e 2015 onde são apresentadas as alterações entre as duas situações e, posteriormente, com a situação de aprofundamento do canal de navegação, sendo analisados os seguintes aspetos:

- Campo do transporte resultante anual de sedimentos, com recurso a perfis transversais;
- Campo do transporte resultante para cada onda representativa;
- Campo de altura e direção de propagação de cada onda representativa;
- Campos de velocidade da corrente de vazante e de enchente.

### 4.2.2 Sistema de Modelos Matemáticos

O transporte sedimentar, sendo função da ação combinada das ondas e das correntes de maré e da sua interação com o fundo, constitui um processo complexo, passando a metodologia da sua análise pelo recurso à modelação matemática em combinação com a análise da informação de base e a interpretação crítica dos seus resultados.

A caracterização do comportamento morfodinâmico da barra e trechos litorais adjacentes na situação de referência, com avaliação das taxas de transporte sedimentar, efetuou-se com base no Sistema de Modelos da Barra da Figueira da Foz.

Este sistema de modelos é adaptado daqueles que foram desenvolvidos pelos autores do estudo da Orthodrome (2015), no âmbito de trabalhos anteriormente realizados para a JAPA (1995), o IPTM/APA/INAG (2006) e a APL (2001, 2002, 2007a, 2007b, 2008, 2011).

Os modelos referidos atuam sequencialmente a partir da especificação das nove condições representativas da agitação em águas profundas para a região, que foram previamente selecionadas, e se apresentam na **Tabela 4.2**.

Onda	Altura (m)	Período (s)	Rumo (°)	Frequência (%)
1	1,75	12	315,00	50,00
2	2,25	12	303,75	30,02
3	3,75	12	326,25	9,80
4	4,75	15	315,00	1,64
5	6,25	15	315,00	0,50
6	3,75	12	281,25	6,54
7	2,75	12	247,50	0,50
8	2,75	12	225,00	0,50
9	3,75	12	260,00	0,50

**Tabela 4.2 – Ondas representativas da agitação marítima selecionadas para a Barra da Figueira da Foz**

Os seus resultados são combinados através de ponderação adequada no módulo de transporte resultante e de balanço anual de sedimentos para a região da barra da Figueira da Foz. Os resultados finais são constituídos pelos valores médios anuais do transporte de sedimentos.

Em zonas onde a batimetria e o escoamento apresentam padrões marcadamente bidimensionais, como na envolvente das embocaduras, onde a presença de correntes relativamente fortes determina o transporte de sedimentos, enquanto a presença de ondas domina os processos de suspensão de sedimentos na camada limite junto ao fundo, é recorrente a utilização da modelação bidimensional para o estudo do transporte sedimentar.

O método adotado no estudo da Orthodrome, apresentado no **Anexo 3** do *Volume 3 – Anexos*, foi o de VAN RIJN, por nele ser considerada a ação conjugada das correntes e das ondas, dentro ou fora da zona de rebentação, requerendo para o efeito as características locais do escoamento. O método permite calcular o fluxo de sedimentos na coluna de água e requer apenas a especificação da velocidade da corrente integrada na vertical.

O estudo da Orthodrome recorreu à aplicação de um modelo matemático de hidrodinâmica, com formulação bidimensional no plano horizontal. A formulação bidimensional justifica-se pela natureza bem misturada do estuário - no qual a relação prisma de maré/caudal fluvial  $\gg 1$  - e pela reduzida estratificação das águas costeiras adjacentes durante a maior parte do ano.

De referir ainda que a aplicação do sistema de modelos matemáticos foi enquadrada previamente pelo estudo da evolução da hidrografia da região, efetuado com recurso à análise de levantamentos hidrográficos, realizados em diferentes datas.

### 4.2.3 Situação de Referência (2011)

#### 4.2.3.1 Transporte sedimentar

A situação de referência caracteriza-se pela não interceção, pelo molhe norte, do transporte litoral norte-sul, pelo que os sedimentos afluem à vizinhança da cabeça do molhe Norte infletindo, após transporem o molhe, para leste em direção à margem (**Figura 4.6**).

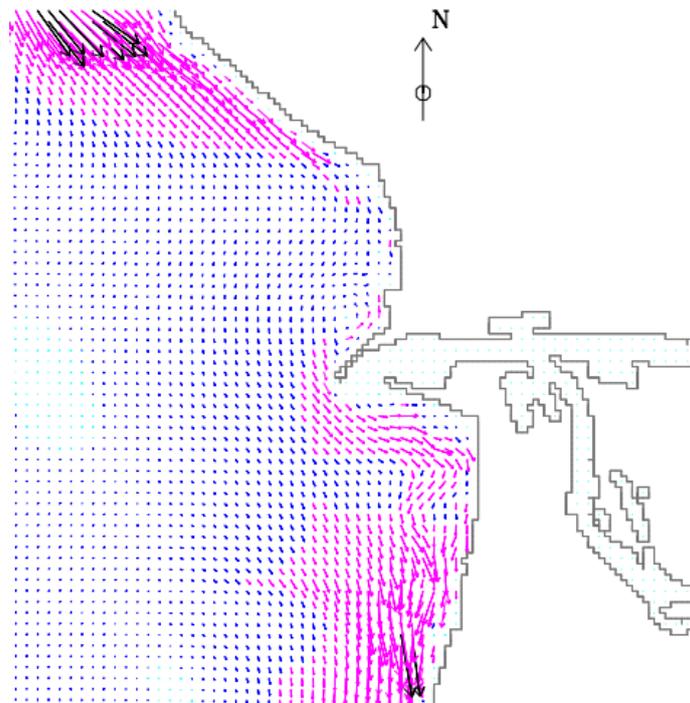


Figura 4.6 – Resultante anual do transporte sedimentar em 2011

Este padrão de transporte sedimentar está associado à existência da restinga de areia que se forma a norte do molhe norte e se prolonga para além deste em cerca de 600 m. Por outro lado, este padrão de transporte é corroborado pela diminuição dos volumes médios anuais dragados após o prolongamento do molhe que redirecionou o canal para sul. Junto ao molhe norte verifica-se uma singularidade no transporte sedimentar relacionada diretamente com a existência de um fundão localizado a norte do tronco do molhe norte contribuindo para a inversão local do transporte sedimentar para Norte (Figura 4.7).

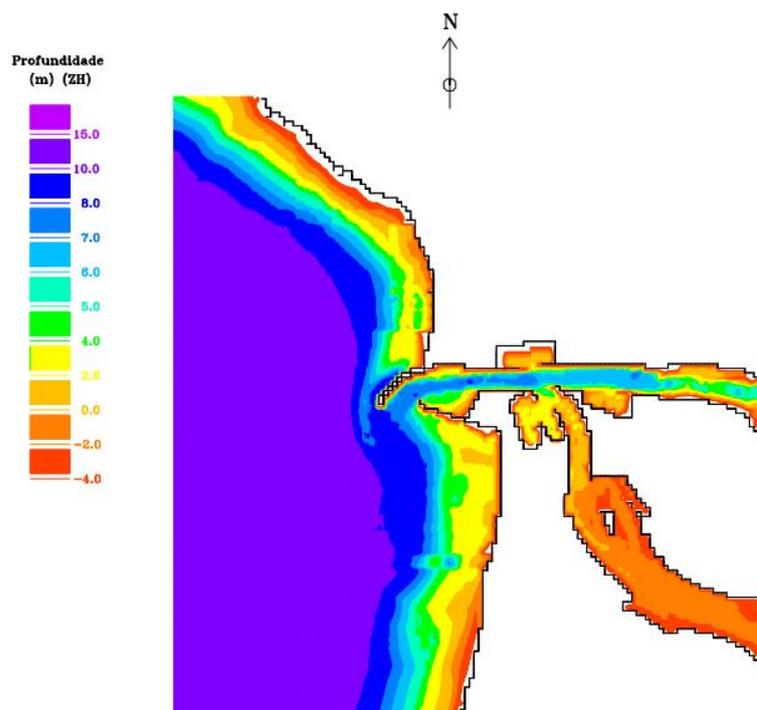


Figura 4.7 – Batimetria da zona da barra em 2011

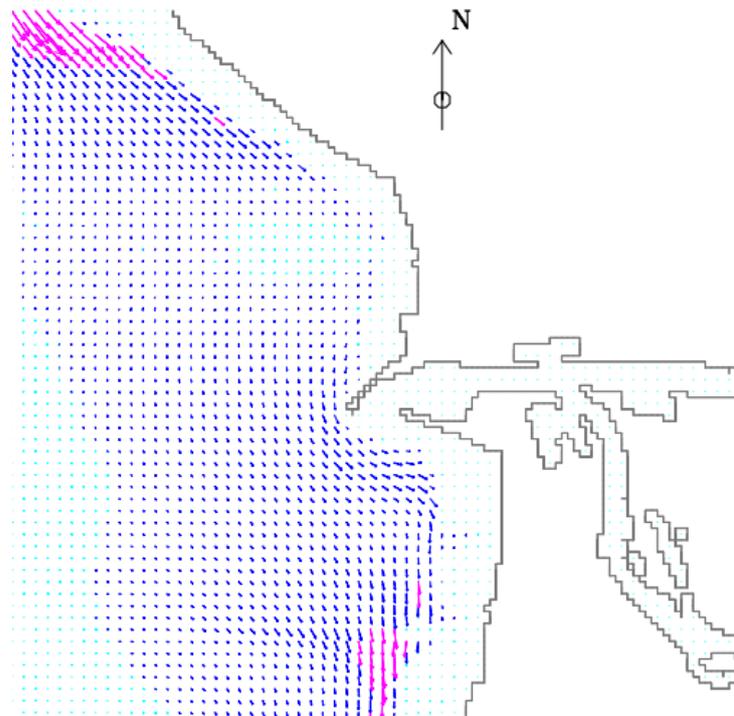
A esta característica do campo do transporte sedimentar pode associar-se a anomalia da distribuição granulométrica dos sedimentos da praia da Figueira da Foz, conforme é visível na **Tabela 4.3**, onde se apresenta a caracterização efetuada pela Universidade de Aveiro aos sedimentos da praia a norte dos molhes.

Amostra	D50 (mm)
A1	1,00
A2	0,59
A3	0,45
A4	0,46
A5	0,63

Fonte: UA, 2015

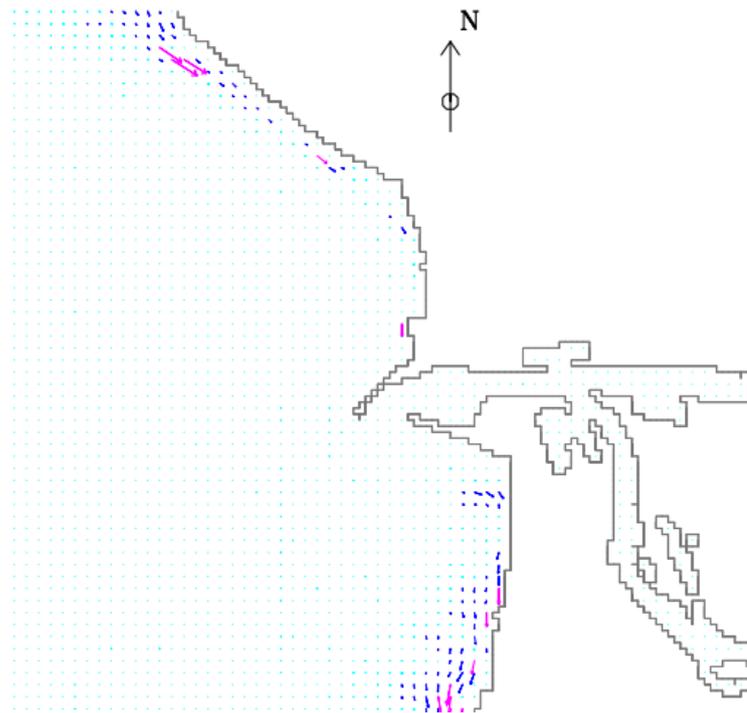
**Tabela 4.3 – Diâmetros medianos dos sedimentos da praia da Figueira da Foz**

Os contributos principais para a formação da resultante anual na zona da barra são os das ondas 4 (altura 4,75 m, período 15 s e rumo 315,00°), 5 (altura 6,25 m, período 15 s e rumo 315,00°) (**Figura 4.8**) e 6 (altura 3,75 m, período 12 s e rumo 281,25°).



**Figura 4.8 – Resultante anual do transporte sedimentar em 2011 (Onda 5)**

Segundo as características anuais da agitação marítima ao largo da Figueira da Foz infere-se, assim, que o transporte na zona exterior da barra está associado à ondulação de inverno – de períodos e alturas elevadas. Esta inferência é corroborada pela constatação de que as contribuições das ondas com direções idênticas ou semelhantes mas de períodos e alturas inferiores são muito reduzidas, como é o caso das ondas 1 (altura 1,75 m, período 12 s e rumo 315,00°) (**Figura 4.9**), ondas 2 (altura 2,25 m, 12 s e rumo 303,75°) e ondas 3 (altura 3,75m, período 12 s e rumo 326,25°).



**Figura 4.9 – Resultante anual do transporte sedimentar em 2011 (Onda 1)**

Os resultados obtidos para os perfis à entrada da barra/anteporto sugerem que não existe transporte sedimentar no sentido do interior do canal de navegação sendo registado o maior transporte sobre a restinga localizada na zona da barra. Observa-se ainda que o gradiente do transporte sedimentar resultante das modelações é corroborado pela localização das zonas de tendência de assoreamento identificado na zona da embocadura (**Figura 4.10**).

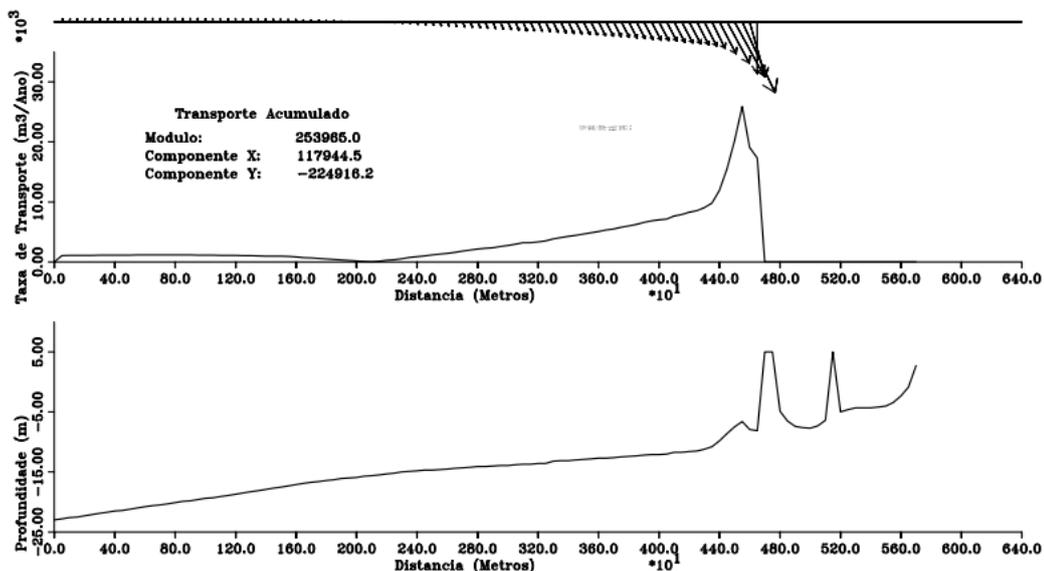


Figura 4.10 – Resultante anual do transporte sedimentar em 2011 (perfil entre cabeças dos molhes)

A análise de perfis permite ainda verificar o transporte sedimentar no sentido sul-norte ao largo, nas profundidades superiores a 15 m. Este comportamento do sistema é desprezado na análise da morfodinâmica da barra da Figueira da Foz, visto ocorrer a distâncias praticamente superiores a 1 comprimento de onda das ondas representativas de período máximo e em profundidades não inferiores à profundidade de fecho correspondente.

A capacidade de transporte verificada através das modelações matemáticas observa uma variação de 180 000 m<sup>3</sup>/ano (a norte do molhe Norte) a 540 000 m<sup>3</sup>/ano (a sul do molhe Sul).

Capacidade de Transporte (m <sup>3</sup> x 10 <sup>3</sup> )	Perfis Transversais à Costa				
	150	140	133	124	114
	212	182	253	538	313

Tabela 4.4 – Capacidade de transporte dos perfis transversais à costa

#### 4.2.3.2 Propagação da ondulação

As ondas representativas que sofrem maior empolamento à entrada da barra são as ondas 7 (altura 2,75 m, período 12 s e rumo 247,50°), ondas 8 (altura 2,75 m, período 12 s e rumo 225,00°) e ondas 9 (altura 3,75 m, período 12 s e rumo 260,00°). Tal não entra em contradição com a sua ausência na lista das ondas representativas cuja contribuição para o transporte sedimentar é mais importante, por serem reduzidas as respetivas frequências de ocorrência anuais (1,5%).

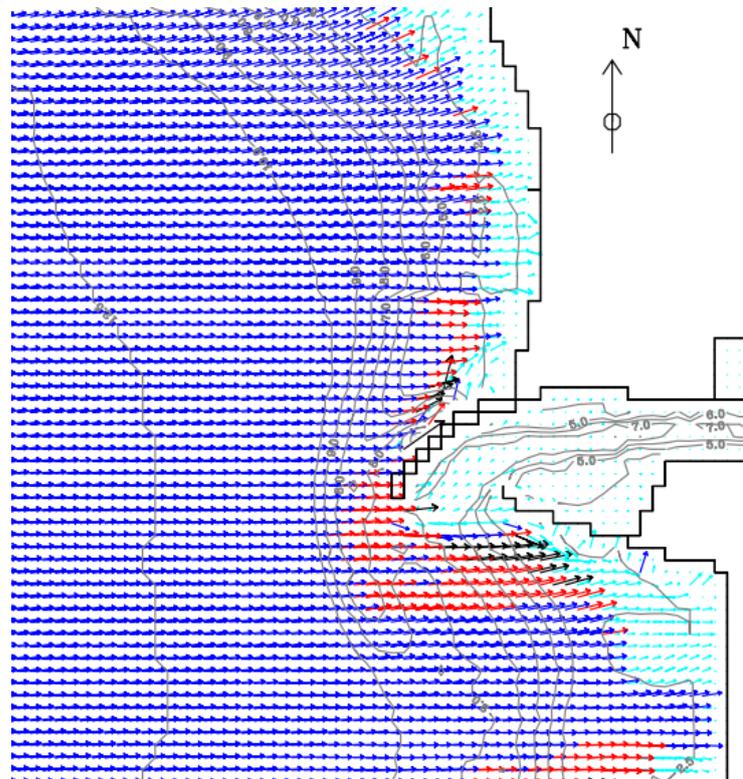


Figura 4.11 – Empolamento da ondulação na zona da barra para a onda 9 (2011)

#### 4.2.3.3 Velocidade de Corrente

A caracterização da situação de referência ao nível da velocidade das correntes é baseada nos campos de velocidades em que, na zona da barra, são caracterizadas segundo três aspetos fundamentais:

- A influência das correntes de maré é sentida, para sul da entrada da barra, em cerca de 600 m tanto em fase de vazante como de enchente;
- As direções de domínio oceânico tendem a orientar-se na direção norte-sul afastando-se da direção do enfiamento do canal da barra;
- Os fluxos gerados durante a fase de enchente são predominantes junto à cabeça do molhe sul.

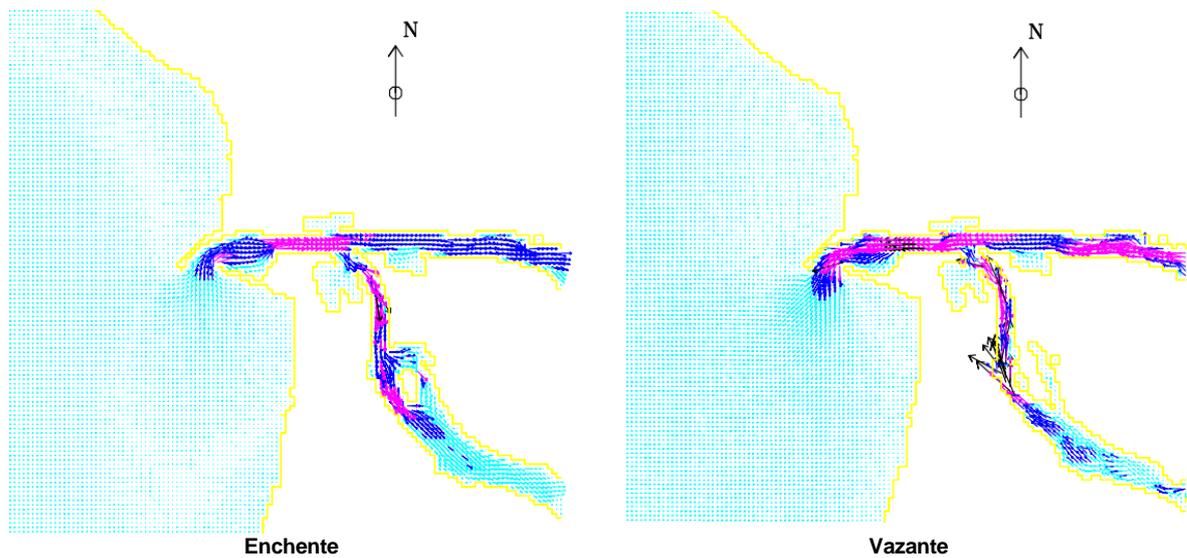
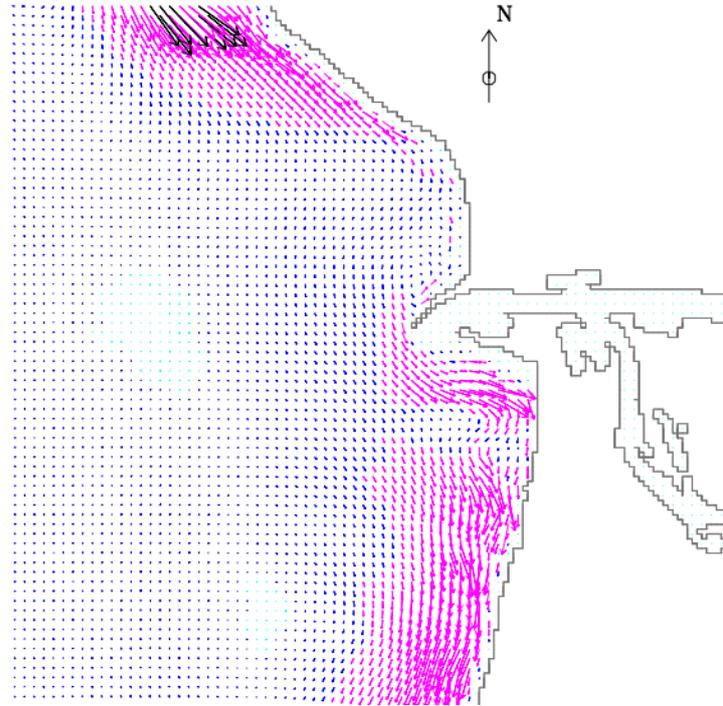


Figura 4.12 – Campo de velocidades residuais (2011)

#### 4.2.4 Situação Atual (2015)

##### 4.2.4.1 Transporte sedimentar

O padrão de transporte de areias de norte para sul na zona da barra permanece semelhante ao verificado em 2011 bem como a singularidade na vizinhança do molhe norte (**Figura 4.13**).



**Figura 4.13 – Resultante anual do transporte sedimentar em 2015**

Por outro lado, a análise aos perfis transversais aparenta uma mudança no sentido do transporte junto à cabeça do molhe sul para a direção exterior-interior (Figura 4.15). Esta modificação pode ser justificada pela descontinuidade verificada na restinga (**Figura 4.14**).

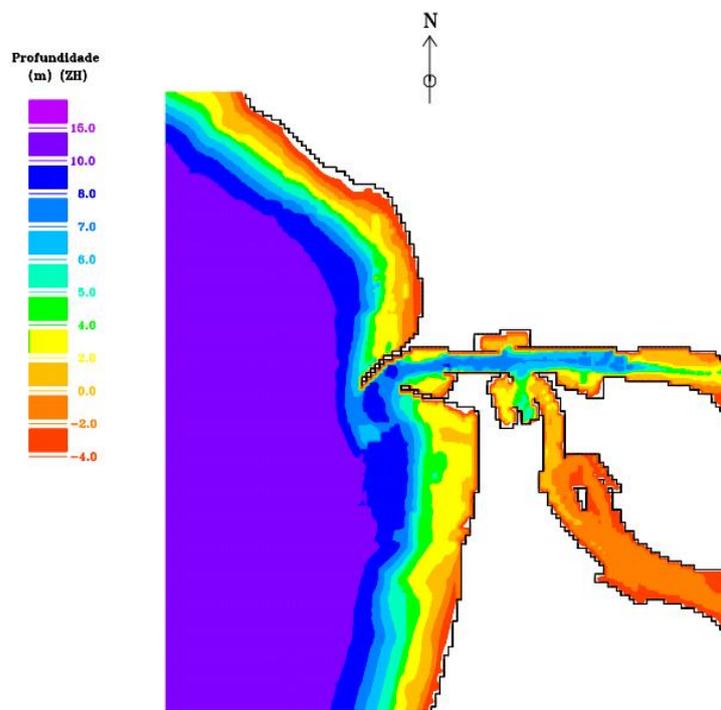


Figura 4.14 – Batimetria da zona da barra em 2015

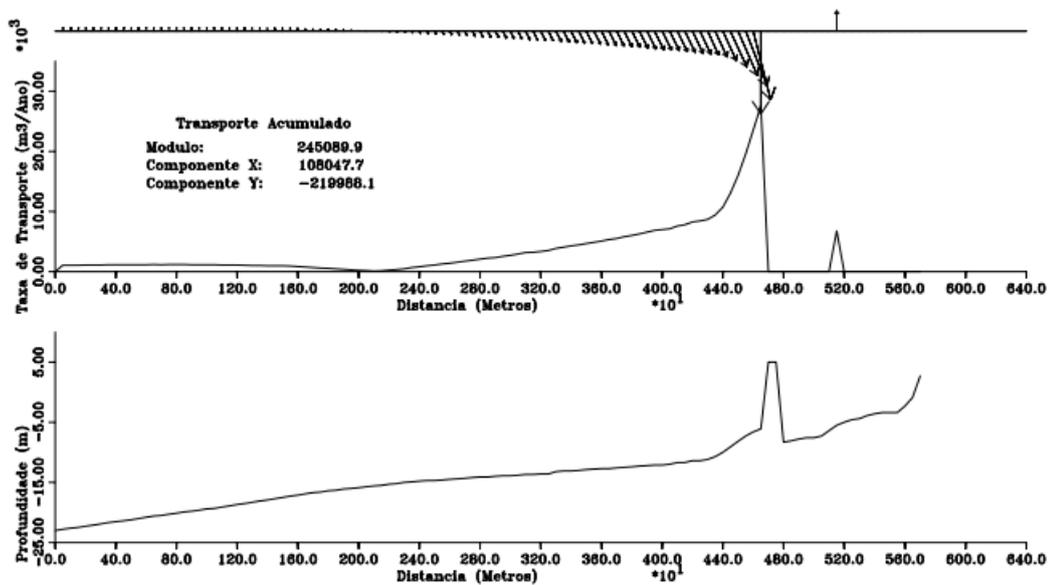


Figura 4.15 – Resultante anual do transporte sedimentar em 2015 (perfil entre cabeças dos molhes)

#### 4.2.4.2 Propagação da ondulação

Os campos da ondulação não apresentam diferenças significativas relativamente à situação de 2011, mantendo-se como ondas representativas que sofrem maior empolamento à entrada da barra as ondas 7, 8 e 9, de reduzida frequência de ocorrência anual.

#### 4.2.4.3 Velocidade de Corrente

À semelhança dos campos de ondulação, as velocidades de corrente dentro do estuário do Mondego, em fase de maré enchente e vazante, não apresentam alterações significativas. Mantém-se deste modo a influência das correntes de maré para sul da entrada da barra, e os fluxos gerados durante a fase enchente junto à cabeça do molho sul.

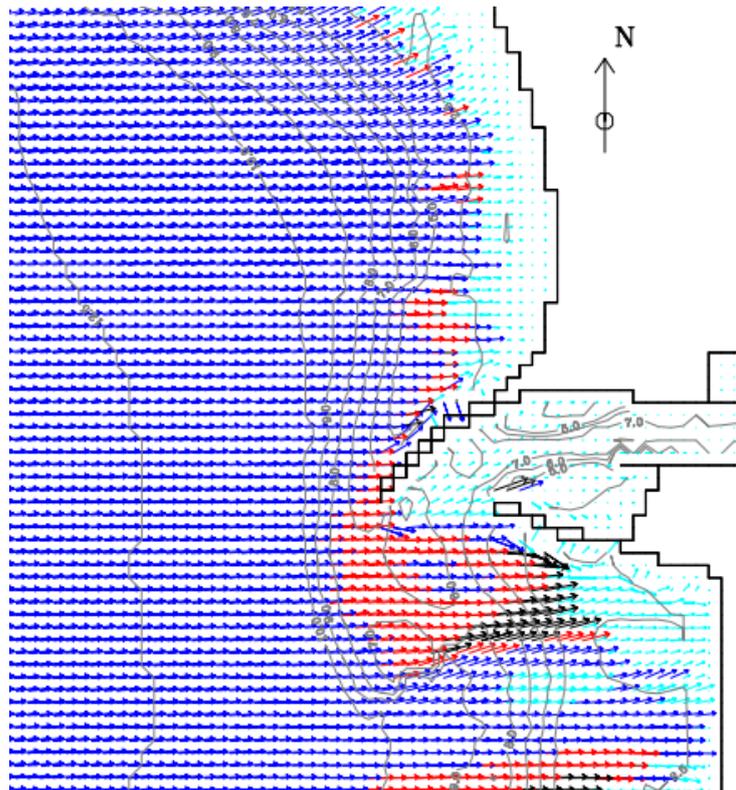


Figura 4.16 – Empolamento da ondulação na zona da barra para a onda 9 (2015)

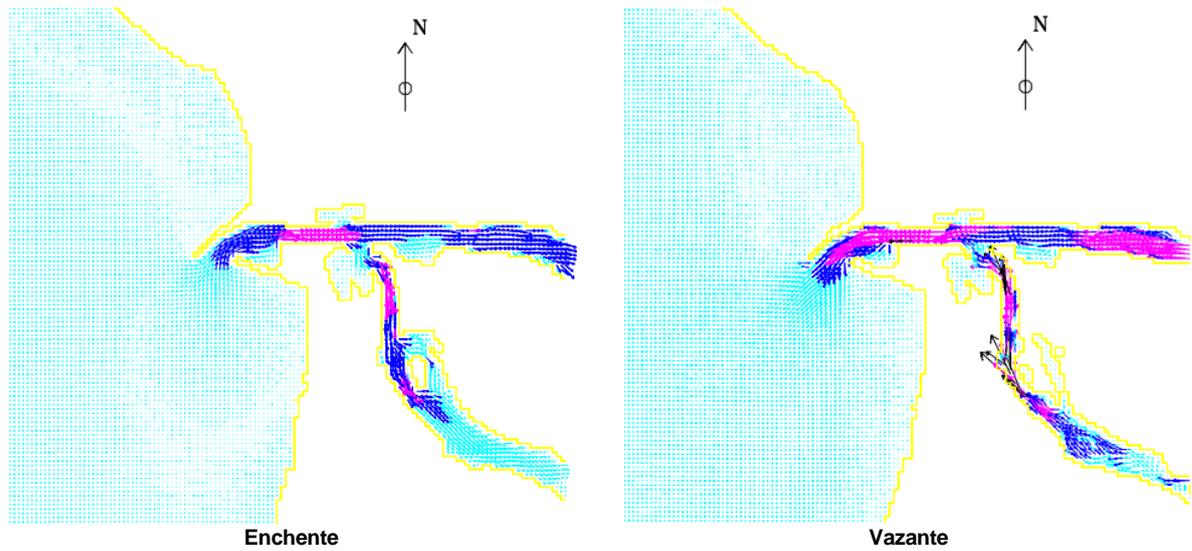


Figura 4.17 – Campo de velocidades residuais (2015)