

## ALTERAÇÕES DO NÍVEL DO MAR ASSOCIADAS À VARIABILIDADE CLIMÁTICA NA COSTA NE ATLÂNTICA

Isabel Barbosa Araújo<sup>1</sup>; João Miguel Dias<sup>2</sup>; David Pugh<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> B.Sc. in Oceanography with Physics, Southampton Oceanography Centre, University of Southampton, European Way, Southampton SO14 3ZH, U.K.

Phone: +44(0)2380596488. e-mail: [ixa@soc.soton.ac.uk](mailto:ixa@soc.soton.ac.uk)

<sup>2</sup> Ph.D. em Física, Departamento de Física, Universidade de Aveiro, e-mail: [jdias@fis.ua.pt](mailto:jdias@fis.ua.pt)

<sup>3</sup> Ph.D. in Geodesy and Geophysics, Southampton Oceanography Centre, e-mail: [dtp@soc.soton.ac.uk](mailto:dtp@soc.soton.ac.uk)

### RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de dados de longa duração de níveis do mar, pretendendo analisar tendências associadas a mudanças climáticas das três componentes principais do nível de maré observado na costa NW Europeia. Resultados confirmam uma subida do nível médio do mar para todos os portos analisados. A importância deste estudo será ilustrada através da análise das consequências hidrodinâmicas na Ria de Aveiro, sistema estuarino na costa Oeste Portuguesa. Dados de pressão medidos mostram um aumento nas amplitudes de vários constituintes de maré nos últimos 16 anos e uma diminuição da fase dos mesmos.

### ABSTRACT

Trends in long-term sea level records associated to climate variability, along the NW European coast, are analysed by looking separately at the three principal sea level components; mean sea level, tides and meteorological residuals. A rise in mean sea level is confirmed for all the ports analysed. The hydrodynamic consequences of future sea level variability in the Portuguese estuarine system of the Ria de Aveiro are assessed, illustrating the importance of sea level studies. Pressure data collected show that there has been an increase in amplitude and a decrease in phase for most tidal constituents over the last 16 years.

Palavras-Chave: marés, Europa, Ria de Aveiro

### 1. INTRODUÇÃO

O aumento do nível médio do mar associado a mudanças climáticas, tais como o aquecimento global, tem sido objecto de diversos estudos. Embora as suas causas não sejam ainda suficientemente entendidas de maneira a estimar com confiança futuras tendências, estima-se que a subida global do nível do mar no século passado esteja compreendida entre 1.5 e 2 mm por ano, e que estes valores tenham aumentado nos anos mais recentes.

Devido ao aumento do nível do mar no NE Atlântico e ao aumento da altura das ondas, grande parte da comunidade costeira encontra-se vulnerável aos possíveis efeitos das alterações climáticas. Torna-se então essencial estudar as consequências que as variações climáticas terão no aumento do nível do mar e na altura das ondas, para que, através deste conhecimento, seja possível fazer projecções de futuros cenários caracterizando de forma pluridisciplinar os sistemas em risco. A análise de impactos costeiros e sócio-económicos para as zonas em risco é indispensável para uma boa administração costeira e desenvolvimento sustentável das regiões litorais.

Neste contexto está a ser realizado um trabalho de Doutoramento que visa analisar estatisticamente as tendências associadas a mudanças climáticas, das três componentes do nível de maré observado na costa NW Europeia; maré, resíduos de origem meteorológica e nível médio do mar.

A projecção da tendência para a subida do mar na costa oeste portuguesa será usada para avaliar possíveis impactos na Ria de Aveiro, sistema lagunar costeiro de maior dimensão nessa costa, ver Figura 1. A Ria de Aveiro é um sistema dinâmico que se encontra isolado do Atlântico através de uma extensa barreira arenosa ao longo da linha da costa. Existe apenas uma abertura artificial que liga um

conjunto complexo de canais ao mar. A profundidade média é de aproximadamente 1 m e a maré é o factor dominante na hidrodinâmica estuarina (Dias *et al*, 2000).

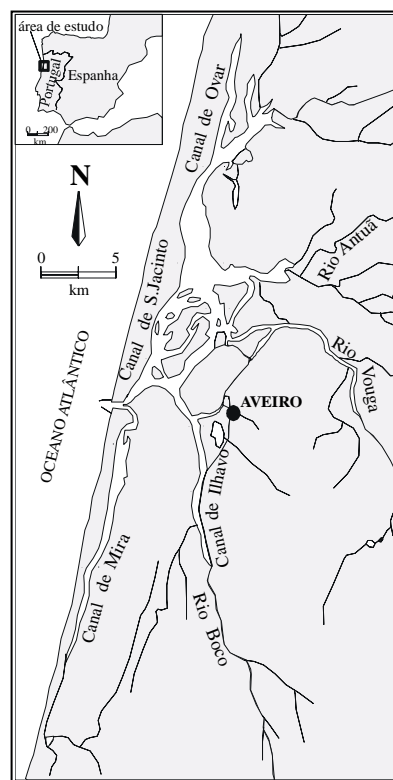


Figura 1 – Mapa da área de estudo - Ria de Aveiro, Portugal.

## 2. TENDÊNCIAS DO NÍVEL DO MAR PARA O NW EUROPEU

A análise da variabilidade do nível do mar associada a mudanças climáticas foi efectuada através de um estudo estatístico de cada componente de maré através da análise independente da maré astronómica, residuais de origem meteorológica (“storm surges”) e do nível médio do mar. De salientar ainda que não foram consideradas variações de origem geológica.

As séries de dados utilizadas são anuais e compostas por valores horários do nível do mar medido em marégrafos localizados ao longo da costa NW da Europa (Figura 2). Foram escolhidos os marégrafos cuja extensão do registo não fosse inferior a 40 anos. Este valor não foi sempre respeitado por existirem séries com descontinuidades nos dados, que reduziam significativamente o comprimento da série. A origem dos dados varia consoante o país de origem. Os dados dos marégrafos portugueses e ingleses foram cedidos pelo British Oceanographic Data Centre (BODC), os dados franceses foram cedidos pelo Instituto Hidrográfico Francês (SHOM) e os espanhóis foram obtidos através do Instituto de Oceanografia espanhol.

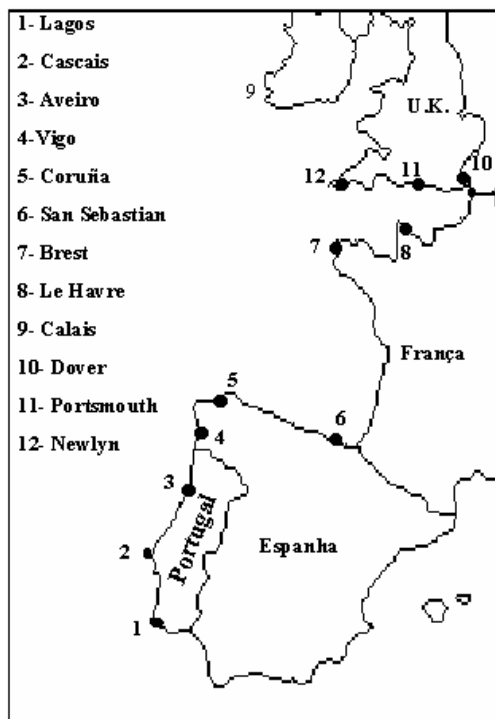


Figura 2 – Parte da costa NW Europeia indicando todas as estações maregráficas de onde foram obtidos dados a serem analisados. De todas estas estações apresentamos a análise dos dados provenientes de 5, 7, 8, 9, 10, 11 e 12.

Para melhorar a qualidade dos dados foi usado um método rigoroso, descrito em Araújo *et. al.* (2001), com o objectivo de corrigir, entre outros, erros provocados pelo bloqueio do poço de marégrafo ou erros de calibração. Após este processo, foi efectuada a análise harmónica da série temporal corrigida, assim como a análise estatística para cada componente de maré.

Torna-se importante esclarecer que todas as estações na Figura 2 estão a ser analisadas como parte de um trabalho de doutoramento, em curso. Neste contexto são apenas apresentados resultados para as estações até à data analisadas, que correspondem a Vigo (5) e ao Canal da Mancha (7 a 12). Na Tabela 1 é fornecida alguma informação relativa a estes portos.

Tabela 1 – Informação sobre a localização dos marégrafos cuja análise dos dados de longos períodos é aqui apresentada.

Marégrafo	Coord.	Dados (anos)	Dados usados (anos)	Origem
Newlyn	50°06'N 5°32'W	85	84	BODC
Portsmouth	50°48'N 1°06'W	39	39	ABP
Dover	51°06'N 1°19'E	40	32	BODC
Calais	50°58'N 1°51'E	16	16	SHOM
Le Havre	49°29'N 0°07'W	31	29	SHOM
Brest	48°23'N 4°29'W	131	123	SHOM
Vigo	42°24'N 8°73'W	59	57	Instituto de Oceanografia (Espanha)

### 2.1 Resultados

As séries de dados até agora analisadas mostram grande variabilidade anual e uma subida no nível médio do mar (Tabela 2) para todos os portos com a excepção de Calais. Este diferente comportamento para o porto de Calais deverá estar relacionado com a curta extensão da série. Como consequência, o erro padrão determinado para este porto é exageradamente alto, o que também acontece para os restantes resultados apresentados para este mesmo porto.

Tabela 2 – Tendência do nível médio do mar.

	Tendência (mm yr <sup>-1</sup> )	Erro Padrão
<b>Brest</b>	1.29	0.07
<b>Newlyn</b>	1.73	0.13
<b>Calais</b>	-1.48	1.30
<b>Dover</b>	2.44	0.42
<b>Le Havre</b>	1.44	0.47
<b>Portsmouth</b>	1.37	0.52
<b>Vigo</b>	2.62	0.33

A diferença entre os valores encontrados para Newlyn e Brest, dois portos geograficamente perto um do outro, é atribuída a diferentes taxas de movimento vertical da terra.

Os resultados da tendência dos desvios padrão determinados para séries anuais do nível do mar observado apresentam um elevado erro padrão, e são influenciados pelo ciclo lunar de 18.6 anos (Tabela 3).

Tabela 3 – Tendência do desvio padrão do nível do mar observado.

	Tendência (mm yr <sup>-1</sup> )	Erro Pa- drão
<b>Brest</b>	0.01	0.01
<b>Newlyn</b>	0.23	0.11
<b>Calais</b>	3.33	0.46
<b>Dover</b>	0.68	0.38
<b>Le Havre</b>	-0.14	0.45
<b>Portsmouth</b>	0.67	0.30
<b>Vigo</b>	0.04	0.14

A Tabela 4 apresenta valores de amplitude para o constituinte de maré dominante na costa NW Europeia (M<sub>2</sub>). A diferença entre os resultados apresentados (Tabela 4), é atribuída a um residual com ciclos de 18.6 anos, gerado em regiões de reduzida profundidade, apesar de os efeitos do ciclo lunar de 18.6 terem sido considerados na análise harmónica. O resultado de Newlyn está, contudo, relacionado com a mudança do instrumento de medição em 1983, sendo o actual mais preciso, diminuindo assim o erro.

Tabela 4 – Tendência da maré semidiurna - M<sub>2</sub>.

	Tendência (mm yr <sup>-1</sup> )	Erro Pa- drão
<b>Brest</b>	-0.08	0.02
<b>Newlyn</b>	0.19	0.03
<b>Calais</b>	1.50	0.04
<b>Dover</b>	-0.93	0.29
<b>Le Havre</b>	0.11	0.14
<b>Portsmouth</b>	0.21	0.13
<b>Vigo</b>	-0.02	0.00(2)

Os resíduos de origem meteorológica não apresentam variações significativas (Tabela 5), não havendo assim evidência de um aumento do nível do mar associado à ocorrência de tempestades (Araújo *et al.*, 2002). A tendência negativa de Newlyn, está associada à mudança do instrumento de medição. Brest tem uma tendência positiva e é o único porto cujo valor é estatisticamente significativo.

Tabela 5 – Tendência do residual de origem meteorológica.

	Tendência (mm yr <sup>-1</sup> )	Erro Padrão
<b>Brest</b>	0.07	0.03
<b>Newlyn</b>	-0.09	0.05
<b>Calais</b>	-0.30	0.21
<b>Dover</b>	0.20	0.16
<b>Le Havre</b>	0.09	0.11
<b>Portsmouth</b>	-0.01	0.10
<b>Vigo</b>	0.03	0.10

### 3. VARIABILIDADE DE MARÉ NA RIA DE AVEIRO

Para avaliar a evolução da maré na Ria de Aveiro durante os últimos 16 anos são utilizados dados de altura de água medidos em diversos marégrafos temporários instalados pelo Instituto Hidrográfico Português (Figura 3).



Figura 3 – Localização das estações utilizadas pelo Instituto Hidrográfico na campanha de 1987/88.

Estas medições foram efectuadas no âmbito de um levantamento de marés realizado entre 1987 e 1988 na Ria de Aveiro. É também utilizado um conjunto de dados actualizados, obtidos através de uma campanha de amostragem a decorrer até ao final do ano (2003). O objectivo é proceder a medições de pressão e temperatura da água nas estações da Ria onde foram previamente instalados marégrafos usados pelo Instituto Hidrográfico (Figura 3).

Para efectuar medições estão a ser utilizados três instrumentos: um VEMCO datalogger (Figura 4A), um CTD (Figura 4B) e um Richard Bracker Recorder – RBR (Figura 4C). Estes instrumentos são instalados no fundo da Ria, onde geralmente permanecem durante um período mínimo de um mês, a efectuar medições com uma periodicidade de 6 minutos. As medições ficam registadas na memória do instrumento sendo retiradas no final do período de amostragem.

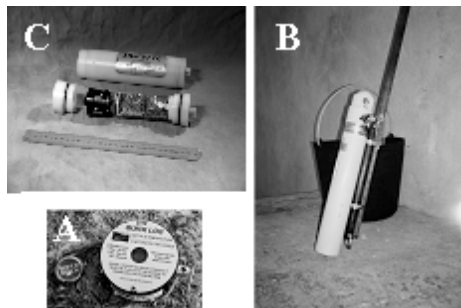


Figura 4 – Instrumentos utilizados na campanha de investigação da variabilidade de marés na Ria de Aveiro: A- Vemco, B- CTD e C- RBR.

Existe ainda um marégrafo de bóia permanentemente instalado na embocadura da Ria, cuja aquisição de dados é temporariamente interrompida na altura da sua manutenção (Figura 5). Este marégrafo está em funcionamento contínuo desde 1975 (28 anos).

No poço deste marégrafo está também instalado um dos sensores da Figura 4, cujos dados serão futuramente comparados com os do marégrafo.



Figura 5 – À esquerda encontra-se a estrutura que aloja o marégrafo da Barra de Aveiro, na embocadura da Ria, e à direita está o marégrafo que se encontra instalado nessa estrutura.

### 3.1 Resultados

Resultados preliminares da análise de alguns dados já recolhidos mostram um aumento nas amplitudes de vários constituintes de maré nos últimos 16 anos (Figura 6) e uma diminuição da fase dos mesmos (Figura 7).

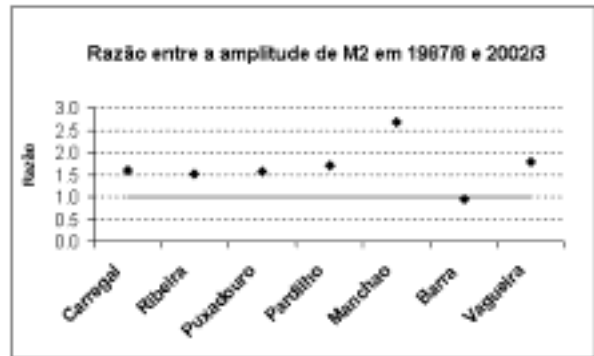


Figura 6 – Razão entre a amplitude do constituinte de maré  $M_2$  de 2002 e de 1987/88 .

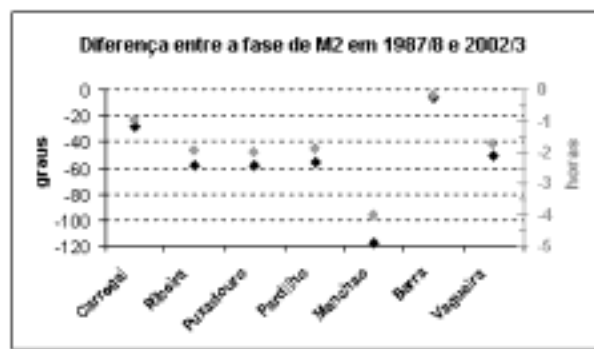


Figura 7 – Diferença de fase para o constituinte de maré  $M_2$  entre 2002 e 1987/88.

Estes resultados evidenciam os efeitos das dragagens efectuadas nos principais canais da Ria e ilustram como possíveis alterações climáticas poderão influenciar mudanças que já se verificam presentemente neste sistema.

## 4. CONCLUSÃO

Todos os dados de longo período analisados até à presente data, para uma escala regional (NW Europa), mostram uma subida do nível médio do mar de acordo com os valores estimados no relatório elaborado pela Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, embora não tenha sido encontrada nenhuma evidência que associe esse aumento a variações climáticas.

A nível local (Ria de Aveiro), existe evidência de que a maré na Ria tem variado de amplitude assim como de fase durante os últimos 16 anos.

## 5. TRABALHO FUTURO

A análise dos dados para as restantes estações indicadas, tanto da Península Ibérica como da Ria de Aveiro, vai permitir avaliar futuras tendências para a evolução da maré a nível costeiro, assim como também no interior do sistema estuarino.

Esta informação, em conjunto com um modelo hidrodinâmico da Ria de Aveiro, será usada para estimar futuros cenários para a Ria, incluindo as suas alterações hidrodinâmicas. Desta forma será assim possível apresentar uma descrição qualitativa dos prováveis impactos nesta zona,

que será de extrema importância para uma região cuja economia depende da evolução da Ria.

#### **AGRADECIMENTOS**

À Fundação para a Ciência e a Tecnologia – FCT – pela concessão da bolsa de Doutoramento a Isabel Barbosa Araújo.

A todos aqueles que colaboraram na recolha de dados e às diversas instituições mencionadas que cederam os seus dados maregráficos.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ARAÚJO, I.; PUGH, D. & COLLINS, M. (2001). An intensive analysis of sea level trends at Newlyn. Proceedings of the EOSS Sea Level Workshop, Dubrovnik, September 2001, 90-92.
- ARAÚJO, I.; PUGH, D. & COLLINS, M. (2002). Trends in components of sea level around the English Channel. Proceedings of the EUROCOAST conference - Littoral2002, Porto September 2002.
- DIAS, J.M.; LOPES, J.F.; DEKEYSER, I. (2000). Tidal Propagation in Ria de Aveiro Lagoon, Portugal, *Physics and Chemistry of the Earth*, 25 (4), 369-374.