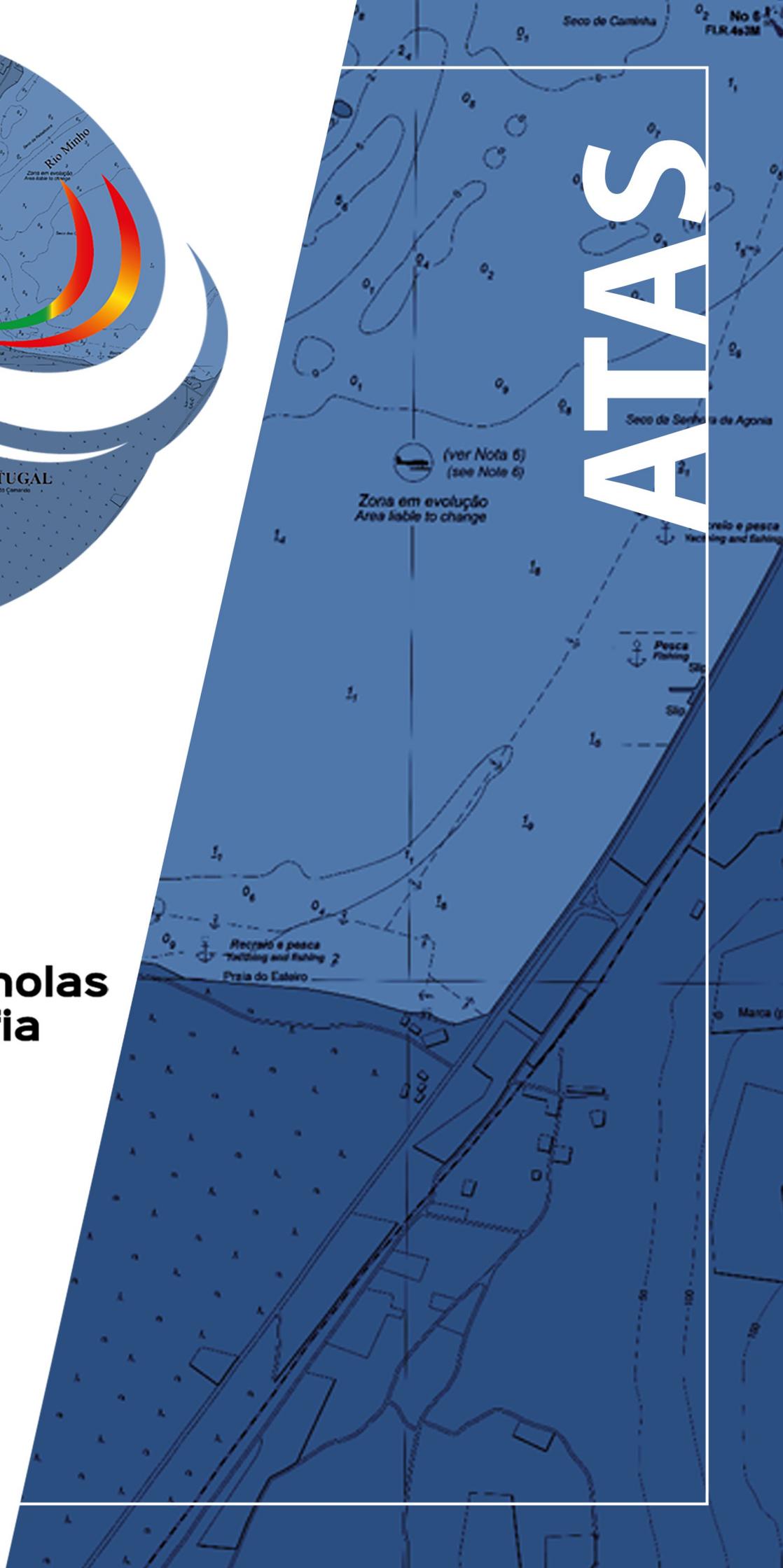


7^{as}
Jornadas de
Engenharia
Hidrográfica

2^{as}
Jornadas
Luso-Espanholas
de Hidrografia

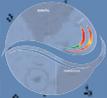
21, 22 e 23
junho
2022



ATAAS

ATAS

21, 22 e 23
junho
2022



7^{as}
Jornadas de
Engenharia
Hidrográfica

2^{as}
Jornadas
Luso-Espanholas
de Hidrografia

Lisboa

Título – Atas das 7.^{as} Jornadas de Engenharia Hidrográfica / 2.^{as} Jornadas Luso-Espanholas de Hidrografia

Autor – Instituto Hidrográfico

Tiragem – 60 exemplares

Edição e paginação – Instituto Hidrográfico, 2022

Impressão e acabamento –

ISBN – 978-989-705-164-7

Depósito Legal – 501640/22

Processamento de dados maregráficos – estação de Viana do Castelo

D. Carinhas (1), M. Alves (2), P. Infante (3), A. Martinho (4), F. Vasquez (2)

- (1) Instituto Hidrográfico; IIFA/Universidade de Évora, dora.carinhas@hidrografico.pt.
- (2) Instituto Hidrográfico.
- (3) CIMA/IIFA e DMAT/ECT, Universidade de Évora.
- (4) Escola Naval.

Resumo: A clássica questão da qualidade dos dados maregráficos tornou-se mais importantes na última década, pois surgiram novas tecnologias e as redes maregráficas foram modernizadas. Este trabalho permitiu avaliar não só o desempenho dos marégrafos da rede maregráfica, mas também apresentar técnicas de controle de qualidade para dados de marés registados em tempo quase-real que implica a necessidade de implementação de *software* automático de deteção e sinalização de erros. O controle de qualidade consiste na deteção de valores anómalos, atribuição errada de data e hora e cálculo de resíduos. Para avaliar o desempenho de medição dos equipamentos maregráficos, o teste de Van de Castele foi revisitado. A validação das observações *in situ* do nível do mar foi baseada em procedimentos de controlo de qualidade sugeridos por normativos internacionais.

Palavras-chave: controlo de qualidade, maré, marégrafos, precisão, séries temporais.

1. INTRODUÇÃO

O Instituto Hidrográfico (IH) gere a maior rede de observações maregráficas nacional, operando e mantendo 23 estações maregráficas em cooperação com entidades públicas ou privadas.

O conhecimento da maré tem especial interesse em zonas costeiras, nomeadamente para a hidrografia e geodesia, segurança da navegação (em canais, estuários e portos), execução de projetos de engenharia costeira (como a construção de pontes, docas e quebra-mares), estudos de processos biológicos e geológicos, estudos de alterações climáticas e ainda para atividades recreativas e pesca (Pugh, 1987).

As questões relacionadas com a qualidade das medições de maré tornaram-se mais importantes com a modernização dos equipamentos e as recentes preocupações com o aumento do nível médio do mar.

Assim, nas últimas décadas, muita atenção tem sido dada ao desempenho da maré, especialmente no contexto do programa GLOSS (IOC, 1997; Merrifield *et al.*, 2010).

No entanto, sistemas capazes de armazenar e transmitir grandes quantidades de dados permitem que marégrafos monitorizem de forma rigorosa fenómenos interessantes como ondas de tempestade ou tsunamis. Como resultado do crescente interesse em dados do nível do mar de maior qualidade e maior frequência, as redes de monitorização maregráfica têm sofrido desenvolvimentos técnicos significativos. Os tradicionais medidores de flutuadores mecânicos foram, progressivamente, substituídos por medidores de maré eletrónicos equipados com sensores

acústicos, de pressão e, mais recentemente, de radar. Durante este processo, testes de comparação foram realizados e os seus resultados foram publicados (Woodworth e Smith, 2003). Segundo Martin *et al.* (2005), os métodos clássicos aplicados para analisar os dados de tais equipamentos (incluem técnicas como:

- (i) cálculo de diferenças entre as medições do equipamento e a medição padrão ou de referência na análise de séries temporais;
- (ii) cálculo da raiz do erro quadrático médio (rmse) da série temporal das diferenças;
- (iii) visualização dos dados de um equipamento mareográfico contra outro (gráfico de dispersão) e;
- (iv) cálculo da inclinação da tendência de regressão linear entre as duas séries do nível do mar; esta inclinação expressa as sensibilidades distintas dos medidores para a amplitude das marés.

Este interesse pela qualidade das medições de maré também está patente na página da UNESCO/IOC (www.ioc-sealevelmonitoring.org), no qual 25% dos marégrafos exibidos usam tecnologia de radar.

No entanto, devido à incorporação, relativamente recente, desses sensores modernos nas redes maregráficas, ainda há falta de informações sobre o seu comportamento de longo prazo e a sua adequação para se estimar as tendências do nível do mar. A maioria dos testes de comparação mencionados acima usaram dados horários para determinar se os marégrafos atendem aos requisitos de precisão de 1 cm, referenciados pelo GLOSS (IOC, 1997), mas não avaliaram a fiabilidade dos dados de alta frequência (significando um intervalo de amostragem de alguns minutos) ou a estabilidade a longo prazo dos sensores.

Neste trabalho, abordaremos essas questões, utilizando dados de dois equipamentos maregráficos de radar, com medições simultâneas do nível do mar. Apresentamos uma série de técnicas de comparação de dois sistemas de medição para avaliar se os marégrafos instalados no porto de Viana do Castelo são comparáveis.

2. QUALIDADE DAS MEDIÇÕES

Desde 2015, estão a ser registadas, em simultâneo, as alturas das marés em dois marégrafos radar instalados na mesma estação maregráfica localizada no porto de Viana do Castelo; a localização e os registos de marés, de minuto a minuto, entre os dias 1 e 2 de setembro de 2021 são mostrados na Figura 1.

Diariamente, os registos maregráficos em tempo quase real, passam por um controlo de qualidade (QC). O software de controlo de qualidade, desenvolvido e implementado no IH, tem como objetivo identificar, precocemente, registos incorretos e de mau funcionamento dos equipamentos

maregráficos, criando uma série temporal de dados maregráficos com sinalização de qualidade.

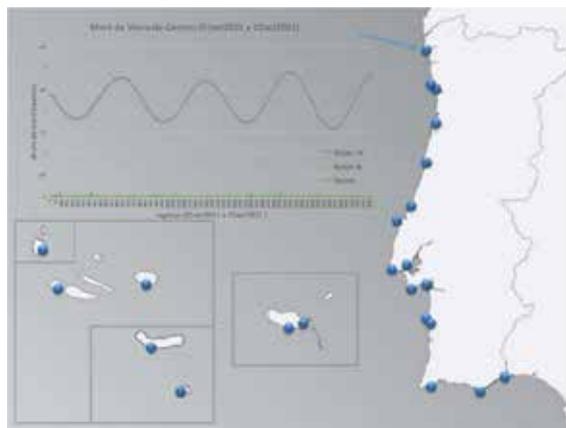


Fig. 1. Rede Maregráfica Nacional (fonte: Instituto Hidrográfico).

Na Figura 2 é apresentado o fluxograma do software implementado.

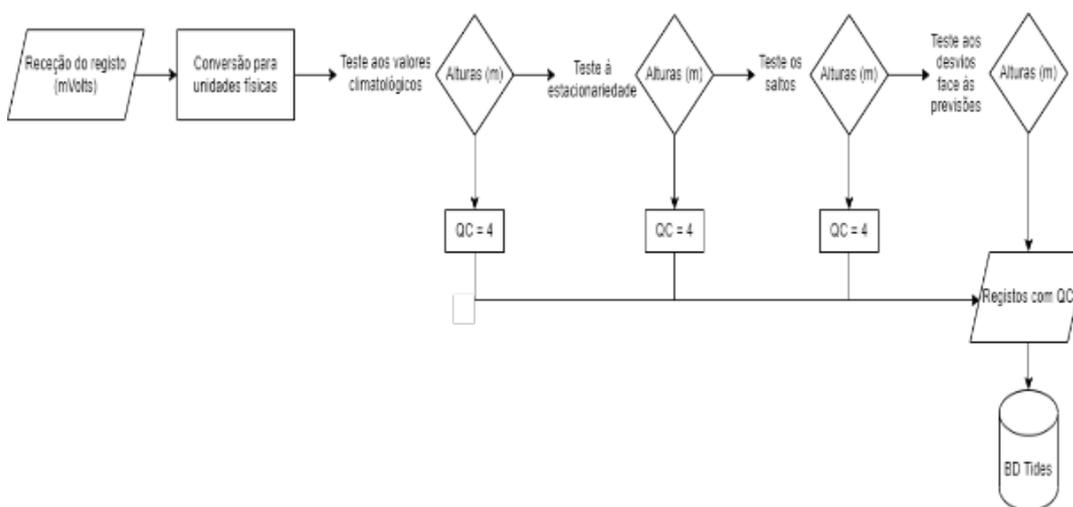


Fig. 2. Fluxograma do software implementado no IH.

A Tabela I apresenta a legenda da sinalização dos registos (EuroGOOS, 2010):

Tabela I: Indicadores do controlo de qualidade (QC).

| Indicadores | Designação |
|-------------|---------------------------|
| 0 | Sem controlo de qualidade |
| 1 | Valor bom |
| 2 | Provavelmente valor bom |
| 3 | Provavelmente valor mau |
| 4 | Valor mau |

A Figura 3 apresenta a série temporal com a sinalização de qualidade aplicada.

| Time | Alt (m) | QC |
|---------------------|---------|----|
| 2021-09-08 11:47:00 | 1.7546 | 1 |
| 2021-09-08 11:48:00 | 1.7655 | 1 |
| 2021-09-08 11:49:00 | 1.7839 | 1 |
| 2021-09-08 11:50:00 | 1.7958 | 1 |
| 2021-09-08 11:51:00 | 1.8142 | 1 |
| 2021-09-08 11:52:00 | 1.8321 | 1 |
| 2021-09-08 11:53:00 | 1.8507 | 1 |
| 2021-09-08 11:54:00 | 1.8707 | 1 |
| 2021-09-08 11:55:00 | 1.8882 | 1 |
| 2021-09-08 11:56:00 | 1.9011 | 1 |
| 2021-09-08 11:57:00 | 1.9194 | 1 |
| 2021-09-08 11:58:00 | 1.9267 | 1 |
| 2021-09-08 11:59:00 | 1.9279 | 1 |
| 2021-09-08 12:00:00 | 1.9356 | 1 |
| 2021-09-08 12:01:00 | 1.9453 | 1 |
| 2021-09-08 12:02:00 | 1.9589 | 1 |
| 2021-09-08 12:03:00 | 1.9685 | 1 |
| 2021-09-08 12:04:00 | 1.9823 | 1 |
| 2021-09-08 12:05:00 | 1.9963 | 1 |
| 2021-09-08 12:06:00 | 2.0079 | 1 |
| 2021-09-08 12:07:00 | 2.0220 | 1 |
| 2021-09-09 14:57:00 | 3.6938 | 2 |
| 2021-09-09 14:58:00 | 3.6344 | 1 |
| 2021-09-09 14:59:00 | 3.6958 | 2 |
| 2021-09-09 15:00:00 | 3.8543 | 2 |
| 2021-09-09 15:01:00 | 3.8319 | 2 |
| 2021-09-09 15:02:00 | 3.8241 | 2 |
| 2021-09-09 15:03:00 | 3.9068 | 2 |
| 2021-09-09 15:04:00 | 3.9495 | 4 |
| 2021-09-09 15:05:00 | 3.9025 | 2 |
| 2021-09-09 15:06:00 | 3.8667 | 2 |
| 2021-09-09 15:07:00 | 4.0044 | 4 |
| 2021-09-09 15:08:00 | 3.8266 | 2 |
| 2021-09-09 15:09:00 | 3.8645 | 2 |
| 2021-09-09 15:10:00 | 3.7979 | 2 |
| 2021-09-09 15:11:00 | 3.9669 | 2 |
| 2021-09-09 15:12:00 | 4.0657 | 4 |
| 2021-09-09 15:13:00 | 4.2785 | 4 |
| 2021-09-09 15:14:00 | 3.8207 | 2 |
| 2021-09-09 15:15:00 | 4.3308 | 4 |
| 2021-09-09 15:16:00 | 4.4660 | 4 |
| 2021-09-09 15:17:00 | 4.2774 | 4 |
| 2021-09-09 15:18:00 | 4.4507 | 4 |
| 2021-09-09 15:19:00 | 4.1901 | 4 |

Fig. 3. Série temporal do equipamento mareográfico Radar-B (da estação de Viana do Castelo) com sinalização de qualidade.

O *software* tem incluído uma ferramenta de visualização que permite validar e apresentar o QC da série de registos maregráficos (Figura 4).

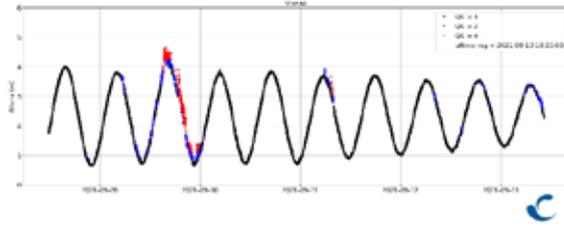


Fig. 4. Detecção e sinalização de registos anómalos do equipamento maregráfico Radar-B (da estação de Viana do Castelo).

As diferenças (ou desvios) entre os dois equipamentos foram calculadas e representadas num histograma (Figura 5) para avaliar a sua distribuição. Existe evidência gráfica de que a distribuição dos desvios é assimétrica negativa, confirmada com o coeficiente de assimetria de -1.58.

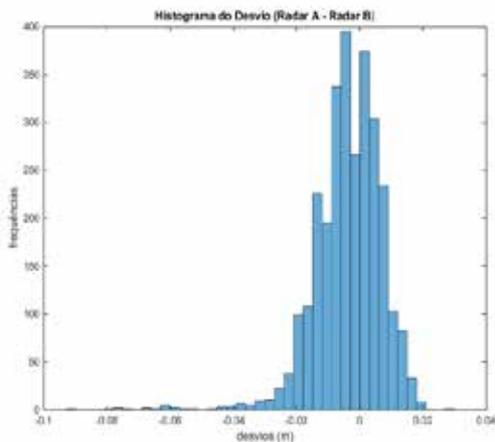


Fig. 5. Histograma dos desvios entre os marégrafos.

A diferença das medições apresenta um desvio médio de 0.81 cm (em valor absoluto) com desvio-padrão de 0.77 cm.

Foi construído o gráfico de dispersão e encontrado o declive da regressão linear (Figura 6).

A regressão linear permitiu definir a equação:

$$\widehat{RadarA} = 1.0029 \times RadarB - 0.0102.$$

Um coeficiente de correlação de $R = 0.9996$ é evidência de uma forte relação entre as medições dos dois equipamentos, ou seja, os dois marégrafos são rigorosos, mas não precisos entre si.

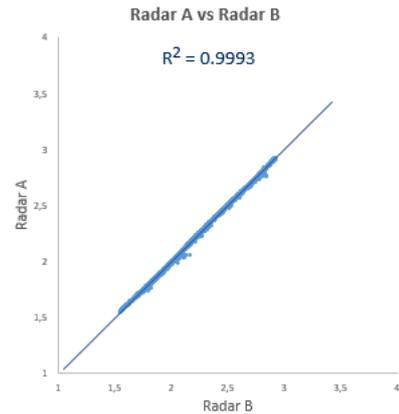


Fig. 6. Declive da reta de regressão linear entre as medidas dos marégrafos radar ($\widehat{RadarA} = 1.0029 \times RadarB - 0.0102$).

O teste de Van De Castelee foi concebido, em 1962, para avaliar o desempenho da mecânica de marégrafos com flutuadores. O GLOSS, em 1985, recomendou a sua aplicação a todos os tipos de equipamentos, de forma a comparar as leituras entre uma sonda manual e as leituras dos marégrafos, em diferentes ciclos de maré. Os resultados são utilizados para produzir um gráfico com o nível do mar no eixo dos yy e as diferenças no eixo dos xx (Lennon, 1968). A sonda manual é usada como instrumento de referência assumindo que as suas medições são mais precisas do que as do equipamento a comparar (IOC, 1985; Le Roy, 2006). Os resultados também dependem da habilidade do operador da sonda manual, por isso, erros humanos não podem ser totalmente descartados.

Neste trabalho foi aplicado o teste Van de Castelee com o objetivo de comparar as medições dos dois equipamentos maregráficos; o equipamento de Radar A é considerado o equipamento principal da estação maregráfica; os resultados foram utilizados para produzir um gráfico com a medida do nível da maré no eixo das ordenadas e as diferenças (ΔH) no eixo das abcissas: $\Delta H = Radar A - Radar B$.

A Figura 7 apresenta os resultados da aplicação do Teste de Van de Castelee aos marégrafos radar.

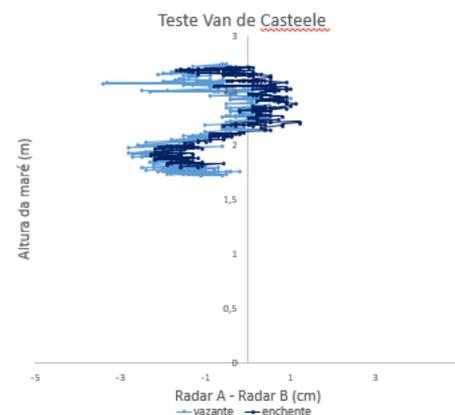


Fig. 7. Aplicação do Teste Van de Castelee.

Este teste confirma os resultados obtidos através do estudo da regressão e coeficiente de assimetria.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve por objetivo apresentar uma avaliação das medições de alturas de maré, entre dois equipamentos instalados na mesma estação maregráfica (Viana do Castelo).

A implementação de *software* automático de deteção e sinalização de erros demonstrou ser uma mais valia na monitorização dos registos maregráficos em tempo quase real, o que permite uma ação mais rápida e eficaz, normalmente, em situação de tempestade.

O controlo de qualidade, desenvolvido no IH, consiste na deteção de registos anómalos, desvios na data e hora e cálculo de resíduos (diferença entre previsões e observações).

O teste de Van de Castele foi revisitado para diagnosticar se os registos de alturas de maré são capazes de satisfazer os requisitos da GLOSS e demonstrou ser uma ferramenta útil na avaliação da precisão dos maregrafos.

Os métodos clássicos foram aplicados aos dados e permitiram encontrar um desvio médio de ~ 0.81 cm, em valor absoluto, entre observações registadas minuto a minuto.

Apesar dos resultados satisfatórios para a maioria das aplicações da monitorização de marés (por exemplo obras portuárias) o desvio, em algumas medições, é maior do que o desejável, 1 cm, o que poderá afetar estudos de tendência do nível médio do mar.

A análise da precisão e da exatidão das observações nunca está terminada, assim há que continuar a comparar medições e avaliar as variações dos desvios após remover as constituintes harmónicas e comparar as constantes harmónicas obtidas, em cada registo maregráfico, após um ano de dados.

Como trabalho futuro, estamos a desenvolver uma técnica, para o tratamento analítico e estatístico adequado, cujo objetivo é a obtenção de soluções para o cálculo do período de inspeção que minimiza o número de falhas da estação maregráfica.

REFERÊNCIAS

- EuroGOOS DATA-MEQ Working Group (2010). Recommendations for in-situ data Near Real Time Quality Control. EG10.19
- Foreman, M. G. G. (1977). Manual for tidal heights analysis and prediction. Patricia Bay, Sidney, B.C: Institute of Ocean Science, (Pacific Marine Science Reports 77-10).
- IOC. (1985). Manual on sea-level measurement and interpretation. Volume I: Basic procedures. Intergovernmental Oceanographic Commission, Manuals & Guides 14, 84 pp.
- IOC. (1997). Global Sea Level Observing System (GLOSS) - Implementation plan. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Technical Series No. 50, 91 pp & annexes.
- Lennon, G. W. (1968). The evaluation of tide gauge performance through the Van de Castele test. Cah. Oceanogr., 20, 867-877.
- Le Roy, R., 2006: Evaluation des télémètres radar pour la mesure des hauteurs d'eau (Assesment of the radar sensors for the measurement of the sea level). EPSHOM, Rapport d'étude 001/06, 49 pp.
- Martín B., Pérez B., Álvarez Fanjul E. (2005). The ESEAS-RI sea level test station: reliability and accuracy of different tide gauges. Int. Hydrogr. Rev. 6: 44-53. E. Alvarez Fanjul B. Martín, B. Pérez. The es eas-ri sea level test station: reliability and accuracy of different tide gauges. Int. Hydrogr. Rev, 6:44-53, 2005.
- Merrifield M., Aarup T., Allen A., Aman A., Bradshaw E., Caldwell P., Fernandes R.M., Hayashibara H., Hernandez F., Kilonsky B., Martin Miguez B., Mitchum G., Pérez Gómez B., Rickards L., Rosen D., Schöne T., Szabados M., Testut L., Woodworth P., Wöppelmann G., Zavala J. (2010). The Global Sea Level Observing System (GLOSS). In: J. Hall, D.E. Harrison and D. Stammer (eds.), Proceedings of the "OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society" Conference (Vol. 2), Venice, Italy, 21-25 September 2009. ESA Publication WPP-306 (in press).
- Pugh, D. T. (1987). Tides, Surges and Mean Sea Level. Wiley.
- Woodworth P.L., Smith D.E. (2003). A one-year comparison of radar and bubbler tide gauges at Liverpool. Int. Hydrogr. Rev. 4: 2-9.