



Modernização da Rede Maregráfica da DGT

Ana MEDEIRO¹, Ana BERNARDES¹, *Helena RIBEIRO¹ e Paulo PATRÍCIO¹

¹ Direção-Geral do Território, Lisboa

(amedeiro@dgterritorio.pt; abernardes@dgterritorio.pt; hribeiro@dgterritorio.pt; ppatricio@dgterritorio.pt)

Palavras-chave: Cascais, Datum Altimétrico, Geodesia, Lagos, Marégrafos, Maregramas, Nível Médio do Mar

Resumo: A rede maregráfica da Direção-Geral do Território (DGT) é constituída por dois marégrafos, instalados em Cascais e Lagos. O marégrafo analógico de Borrel, instalado na baía de Cascais e a funcionar desde 1882 até à atualidade, tem especial relevância, porque os seus registos de 1882 a 1938 permitiram a definição do Datum Altimétrico de Portugal continental.

A DGT é também responsável pelo marégrafo de Lagos, a funcionar desde 1908, cuja principal função é a medição das variações do nível médio do mar na costa sul de Portugal continental.

Ao abrigo de um programa de modernização de equipamento, em 2003, foram adquiridos dois sistemas digitais acústicos para substituição dos marégrafos analógicos, mais precisos, com capacidade de gestão remota, permitindo obter dados em tempo real. Além dos sensores de nível, foram também adquiridos sensores meteorológicos.

Em consequência dos avanços tecnológicos e de forma a poder prestar um melhor serviço à comunidade, em 2018 foram instalados novos sistemas maregráficos de tecnologia Radar, substituindo os marégrafos acústicos e instalados novos sensores de pressão atmosférica, temperatura da água e do ar. Durante cerca de 2 anos, entre 2018 e 2020, os marégrafos acústicos e de Radar estiveram a registar dados simultaneamente, permitindo a aferição das medidas dos novos sensores e a ligação das séries temporais.

Em junho de 2022 procedeu-se a uma nova atualização dos equipamentos e do software dos sensores de tecnologia Radar, tendo sido adquiridos novos sensores de leitura digital, melhorando a precisão e exatidão dos registos. Para permitir a aferição dos valores medidos e a continuidade dos registos, os equipamentos de Radar analógico e digital registaram dados simultaneamente durante 6 meses.

De forma a preservar a informação contida nos maregramas resultantes dos registos dos marégrafos analógicos de Borrel para o período de 1882 até à atualidade, procedeu-se à sua digitalização, estando esta informação disponível para download em formato digital. Com base nestes documentos digitais é possível determinar de forma regular a altura do nível médio do mar em Cascais e Lagos. A recolha de informação pelo marégrafo analógico de Cascais, ao longo de 140 anos, permite fazer a análise do comportamento do nível médio do mar ao longo dos anos, verificando-se uma tendência regular de subida.

Os marégrafos de Cascais e Lagos pertencem às redes internacionais de marégrafos, sendo os seus dados disponibilizados em tempo-real a vários organismos nacionais e internacionais. As suas longas séries temporais permitem a monitorização contínua da variação do nível do mar, sendo alvo de muitos estudos e análises. Entre outros, salienta-se o estudo da vulnerabilidade da linha de costa de Portugal continental devido à subida do nível médio das águas do mar, como consequência das alterações climáticas. Os estudos do nível do mar possibilitam a definição de estratégias e a tomada de medidas no âmbito do desenvolvimento sustentável, por parte da comunidade científica e civil, que minimizem os efeitos provocados pela ocorrência de fenómenos geofísicos e geodinâmicos relacionados, por exemplo, com o aquecimento global, bem como a previsão e deteção de catástrofes naturais.

Os registos dos marégrafos são também disponibilizados na página de internet da DGT (<ftp://ftp.dgterritorio.pt/Maregrafos/>), em regime de dados abertos, em ficheiros horários (com uma cadência de 5 segundos) e diários (com uma cadência de 3 minutos).



1. Introdução

A Direção-Geral do Território (DGT), através da sua Divisão de Geodesia, é o organismo responsável pela definição do Datum Altimétrico de Portugal continental. Para cumprir essa missão tem instalado em Cascais um marégrafo analógico, a funcionar desde 1882. Devido à sua situação geográfica e à longa série temporal de registos, assume grande importância, tanto a nível nacional como para toda a comunidade científica, estando integrado nas redes internacionais de marégrafos.

Além do marégrafo de Cascais, a DGT é também responsável pelo marégrafo de Lagos, a funcionar desde 1908, cuja principal função é a medição das variações do nível médio do mar na costa sul de Portugal continental.

Em 2003, ao abrigo de um programa de modernização de equipamento, foram adquiridos dois novos marégrafos, sistemas digitais acústicos, mais precisos e com capacidade de gestão remota, permitindo obter dados em tempo real.

De forma a poder prestar um melhor serviço à comunidade e em consequência dos avanços tecnológicos, a DGT instalou em 2018 dois novos sistemas maregráficos de tecnologia Radar, substituindo os marégrafos acústicos. Para a aferição das medidas dos novos sensores, os dois equipamentos foram mantidos a registar o nível do mar, simultaneamente de 2018 a 2020, permitindo a ligação das séries temporais.

Em junho de 2022 procedeu-se a uma nova atualização dos equipamentos e do software dos sensores de tecnologia Radar, tendo sido adquiridos novos sensores de leitura digital, aumentando a precisão e exatidão dos registos. Tal como aconteceu na substituição anterior, os sensores de Radar, o de leitura analógica e o de leitura digital, registaram dados simultaneamente durante 6 meses.

As longas séries temporais dos registos dos marégrafos permitem a monitorização contínua da variação do nível do mar e são alvo de muitos estudos e análises. Entre outros, pode-se salientar o estudo da vulnerabilidade da linha de costa de Portugal continental devido à subida do nível médio das águas do mar, como consequência das alterações climáticas. Com base nesses estudos, a comunidade científica e civil poderá definir estratégias e tomar medidas que minimizem os efeitos provocados pela ocorrência de quaisquer fenómenos climáticos extremos.

2. Localização dos marégrafos

2.1 Cascais

O marégrafo analógico de Cascais está localizado na Baía de Cascais, junto ao Forte da Cidadela (Figura 1). Encontra-se a funcionar desde 1882 até à atualidade, sendo um dos mais antigos e raros equipamentos a nível mundial ainda em atividade.

O marégrafo analógico de Cascais é um equipamento quase único, em perfeitas condições de funcionamento, que levou ao estabelecimento de um protocolo entre a Câmara Municipal e o Instituto Geográfico Português, organismo antecessor da DGT, com vista à sua inclusão no roteiro turístico e cultural da vila. Dada a sua natureza, o edifício onde se encontra instalado este marégrafo foi classificado pelo Instituto Português do Património Arquitetónico (IPPAR), em dezembro de 1997, como imóvel de interesse público.

O marégrafo acústico de Cascais foi instalado em novembro de 2003, no edifício da Administração da Marina de Cascais (Figura 2), não tendo sido possível a sua instalação no mesmo poço do marégrafo analógico. Este local, a cerca de 250 metros de distância do antigo (Figura 3), garante que o marégrafo recebe diretamente o “mar aberto”, e não sofre retardamento da onda devido à proteção da Marina e do quebra-mar.

Em Cascais os dois marégrafos, analógico e digital, continuam a funcionar em simultâneo. Tal facto deve-se ao valor que o equipamento analógico representa em termos históricos e culturais.



Figura 1 – Marégrafo analógico

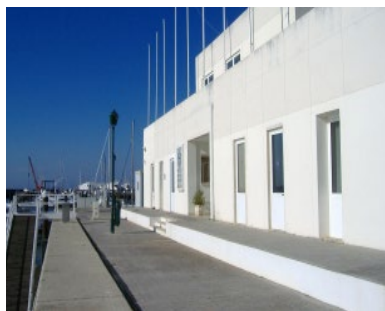


Figura 2 – Marégrafo digital

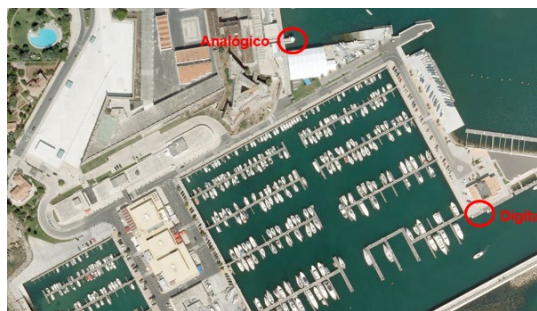


Figura 3 – Localização dos marégrafos de Cascais



2.2 Lagos

O marégrafo analógico de Lagos localiza-se próximo do Forte do Pau da Bandeira (Figura 4) e iniciou o seu funcionamento em 1908. Devido às obras de remodelação do pontão onde se encontrava o marégrafo, em 1950, a antiga casa-abrigo foi destruída e construída a atual (Figura 5)), havendo alteração da localização do marégrafo.

O marégrafo acústico digital foi instalado em abril de 2004, no mesmo poço onde trabalha a boia do flutuador de Borrel. Os dois equipamentos estiveram em funcionamento durante algum tempo, de modo a permitir a continuidade na série temporal de observações e em 2005 o marégrafo analógico de Lagos foi desativado.

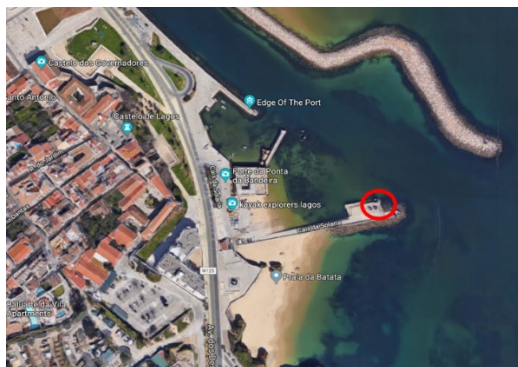


Figura 4 – Localização do marégrafo de Lagos



Figura 5 – Marégrafo de Lagos

3. Referencial altimétrico e Nivelamento Geométrico de Alta Precisão

O facto de a DGT ser a entidade responsável pela definição do Datum Altimétrico Nacional, levou o organismo antecessor, a então denominada, “Direcção Geral dos Trabalhos Geodésicos, Topográficos, Hidrográficos e Geológicos do Reino”, a instalar, em 1881, em Cascais, um marégrafo analógico de Borrel. Após um período de testes este marégrafo começou a funcionar em pleno no ano seguinte e continua em funcionamento até aos dias de hoje, sendo um dos mais antigos e raros equipamentos a nível mundial ainda em atividade e em perfeitas condições.

O sistema de referência vertical oficial de Portugal continental é denominado por “Cascais Helmert 1938”. Este referencial foi definido a partir da média das observações do nível do mar em Cascais registadas no antigo marégrafo entre 1882 e 1938 (Vasconcelos, 2001).

Com o objetivo de avaliar a estabilidade do poço do marégrafo e garantir uma boa referência altimétrica e a correta e adequada determinação do nível do mar é necessário realizar-se periodicamente trabalhos de nivelamento geométrico de alta precisão, que a DGT tem realizado anualmente.

A marca fundamental da Rede de Nivelamento Geométrico de Alta Precisão, designada por NP 2M, materializada junto ao marégrafo de Cascais, assegura a ligação entre o nivelamento e o Datum Altimétrico. Existem várias marcas de nivelamento e respetivas testemunhas nas imediações dos dois marégrafos e também junto à Estação Permanente GNSS de Cascais. Tanto o marégrafo analógico, como o marégrafo acústico têm materializados nos bordos dos seus poços as designadas marcas de contacto dos marégrafos, que definem o “zero do marégrafo” e são as referências altimétricas para as leituras dos valores do nível do mar.

Como o marégrafo acústico não foi instalado no mesmo local do marégrafo analógico (a distância entre os dois é de cerca de 250 metros), é necessário efetuarem-se observações de nivelamento entre as marcas de contacto de ambos os poços. Estas observações permitem o controlo de eventuais movimentos verticais locais, assim como a atribuição de uma cota fidedigna à marca de nivelamento de referência do marégrafo acústico.

Das observações de nivelamento efetuadas, verifica-se que a marca do poço do marégrafo analógico se tem mantido estável ao longo dos anos. A marca do marégrafo acústico, devido ao abatimento da estrutura de suporte do poço da Marina, sofreu uma grande diminuição do valor da altitude no primeiro ano. Nos últimos anos tem-se verificado uma progressiva estabilização, como se pode constatar no Quadro 1.

A marca de referência do marégrafo digital de Lagos é a mesma do marégrafo analógico, sendo também realizados periodicamente trabalhos de nivelamento geométrico de alta precisão, que têm permitido verificar a estabilidade da marca.



Quadro 1 – Altitudes ortométricas (m) das marcas de referência dos mareógrafos analógico e digital de Cascais, respetivas variações anuais (mm) e desnível observado entre as duas marcas (m)

Data	Analógico	ΔH	Digital	ΔH	Desnível
Set. 2003	4,3073	-	3,6230	-	0,6843
Mar. 2004	4,3073	0,0	3,5867	-36,3	0,7206
Abr. 2006	4,3079	0,6	3,5788	-7,9	0,7291
Jul. 2008	4,3077	-0,2	3,5743	-4,5	0,7334
Jan. 2011	4,3079	0,2	3,5688	-5,5	0,7391
Mar. 2014	4,3077	-0,2	3,5645	-4,3	0,7432
Nov. 2015	4,3076	-0,1	3,5625	-2,0	0,7452
Nov. 2016	4,3075	-0,1	3,5608	-1,7	0,7467
Set. 2017	4,3072	-0,3	3,5591	-1,7	0,7481
Nov. 2018	4,3074	0,2	3,5584	-0,7	0,7490
Out. 2019	4,3075	0,1	3,5575	-0,9	0,7500
Out. 2020	4,3075	0,0	3,5567	-0,8	0,7508
Set. 2021	4,3075	0,0	3,5558	-0,9	0,7517
Nov. 2022	4,3077	0,2	3,5554	-0,4	0,7523
Nov. 2023	4,3072	-0,5	3,5539	-1,5	0,7533

4. Evolução dos equipamentos maregráficos da DGT

Os equipamentos maregráficos da DGT começaram por ser analógicos (mareógrafos de Borrel), passaram depois a sistemas digitais acústicos e atualmente utilizam tecnologia Radar.

4.1 Marégrafo analógico de Borrel

O marégrafo analógico de Borrel é um mecanismo mecânico, constituído por uma boia que está colocada num poço ligado diretamente ao mar e cujo movimento é transmitido através de um sistema de cabos e roldanas a uma caneta que vai registando as variações do nível da água numa folha de papel, com uma quadrícula previamente desenhada, presa a um tambor rotativo (Figura 6). Um mecanismo relojoeiro faz girar este tambor.

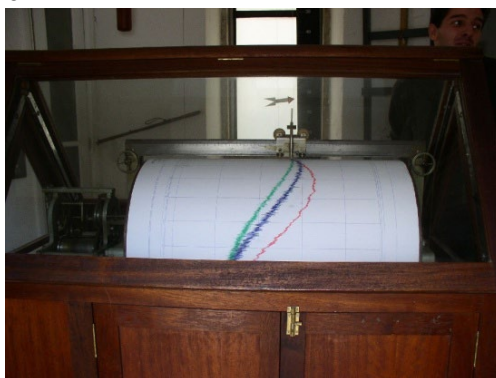


Figura 6 – Registo do Marégrafo de Borrel

As linhas verticais da quadrícula da folha de papel representam as 24 horas do dia e as horizontais representam as alturas, em metros, do nível do mar relativamente à marca de contacto situada no bordo do poço. É assim construído um gráfico, designado por maregrama, que possui o registo simultâneo de 7 dias consecutivos. Para melhor identificar as curvas correspondentes a



cada dia, o responsável do marégrafo muda a cor da caneta, numa parte do dia de meia maré (Kol e Crisóstomo, 2007). Estes maregramas são posteriormente digitalizados, obtendo-se no final os valores horários do nível do mar.

4.2 Marégrafo digital acústico

O sistema maregráfico digital acústico instalado em Cascais em 2003 e no ano seguinte em Lagos, era do tipo Aquatrak (Figura 7). A escolha deste tipo de equipamento deveu-se aos seguintes fatores: necessitar de pouca manutenção, resolução na ordem do milímetro, longo período de estabilidade sem necessidade de calibração, inexistência de partes móveis e robustez do sistema.



Figura 7 – Sensor do Marégrafo Acústico

O funcionamento destes sistemas baseia-se numa tecnologia simples, mas precisa, no que diz respeito a medições do nível do mar. Através de um microprocessador são transmitidos uma série de impulsos elétricos, emitidos pelo sensor, para um transdutor que converte os impulsos elétricos em impulsos acústicos e envia-os para a superfície do mar através do tubo de sondagem.

O marégrafo acústico, além de mais preciso que o equipamento analógico, tinha também a capacidade de gestão remota, permitindo obter dados em tempo real com uma cadência de 5 segundos.

Além do sensor de medição do nível do mar, este equipamento possuía também um sensor de medição da temperatura da água (localizado no interior do poço), um sensor de medição da pressão atmosférica e um sensor de medição da temperatura do ar.

4.3 Sensores de tecnologia RADAR

Para continuar a disponibilizar um serviço de qualidade a toda a comunidade científica, foram adquiridos pela DGT, em 2018, duas novas estações maregráficas, constituídas por sensores de nível de tecnologia Radar (Figura 8), que permitem a medição exata e contínua do nível do mar, com uma precisão na ordem dos 2 milímetros.

O seu funcionamento baseia-se em impulsos de micro-ondas extremamente curtos, irradiados pelo sistema da antena sobre a superfície do mar, os quais são refletidos e novamente captados pela antena. Um método especial de extensão do tempo permite uma medição segura e precisa dos tempos extremamente curtos dos sinais.



Figura 8 – Sensor de Radar

Os sensores de Radar instalados em 2018 são de leitura analógica, que posteriormente é convertida em digital pelo datalogger, o que implica uma perda de exatidão e de precisão. Assim, em junho de 2022, para melhorar a exatidão das leituras, foram



instalados 2 novos sensores de tecnologia Radar com saída digital da marca Vega (modelo VegaPuls C21), e adicionada uma placa de leituras digitais ao datalogger.

5. Análise dos registos maregráficos

Os maregramas resultantes dos registos dos marégrafos analógicos de Borrel, de Cascais e Lagos foram digitalizados e com base nestes documentos digitais foi possível obter os valores médios anuais registados para a altura do nível médio do mar nestes locais.

Para se obter a informação do nível do mar a partir dos marégrafos analógicos é necessário proceder-se primeiramente à digitalização dos maregramas. O processo de digitalização inclui quatro fases: rasterização, referenciação das imagens, vectorização e recolha das leituras horárias.

Tendo em conta que o espólio de maregramas da DGT é muito vasto (cada maregrama inclui uma semana de registos), é fácil de concluir que a tarefa da sua digitalização é bastante morosa. A primeira fase, ou seja, a rasterização dos maregramas, já se encontra concluída, sendo uma mais-valia a preservação digital desse espólio. As restantes fases ainda não estão terminadas, principalmente as referentes aos maregramas de Lagos. De início, deu-se prioridade à georreferenciação e vectorização dos maregramas de Cascais e ao período em que os dois marégrafos, analógico e digital acústico, começaram a operar em simultâneo, no final de 2003.

De modo a poder verificar se existia coerência entre os dados dos marégrafos analógicos e acústicos, foram comparados os registos provenientes dos dois marégrafos de Cascais para o período entre 2004 e 2010, mostrando uma grande consistência entre os registos (Medeiro et al., 2011). Para Lagos também se fez o mesmo tipo de comparação, mas para um período mais curto, uma vez que o marégrafo analógico foi desativado em 2005.

Quando se instalaram os novos sensores de medição de nível de tecnologia Radar também foram feitas comparações entre os seus registos e os dos sensores acústicos. De 2018 a 2020 os marégrafos acústicos e de Radar estiveram a registar dados simultaneamente permitindo a aferição das medidas dos novos sensores e a ligação das séries temporais.

A recolha de informação pelo marégrafo analógico de Cascais desde 1882, ao longo de 140 anos, permite fazer a análise do comportamento do nível médio do mar (Figura 9), verificando-se uma tendência regular da sua subida (Medeiro et al., 2022).

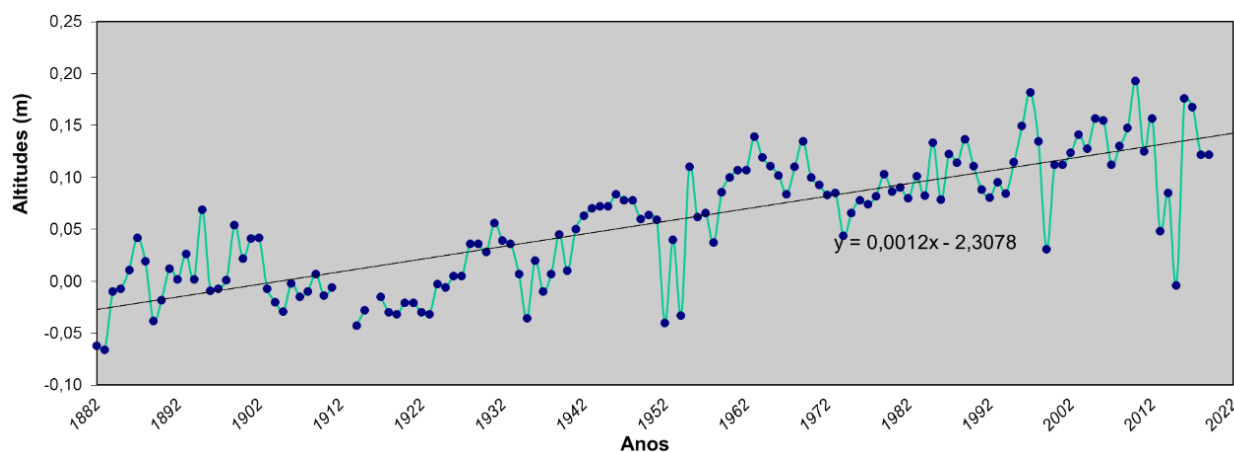


Figura 9 – Variação Temporal do Nível Médio do Mar em Cascais (médias anuais dos registos do marégrafo analógico)

6. Disponibilização dos dados

A DGT disponibiliza os dados dos marégrafos a todos os utilizadores e à comunidade científica em particular, para que se possam efetuar estudos do nível do mar.

Os dados são disponibilizados em tempo-real a vários organismos nacionais e internacionais e também podem ser consultados na página de internet da DGT (<ftp://ftp.dgterritorio.pt/Maregrafos/>), em regime de dados abertos.

Atualmente os registos do nível do mar, provenientes do sensor de Radar, assim como os dados da pressão atmosférica e da temperatura do ar e da água podem também ser consultados numa plataforma web (Figura 10).

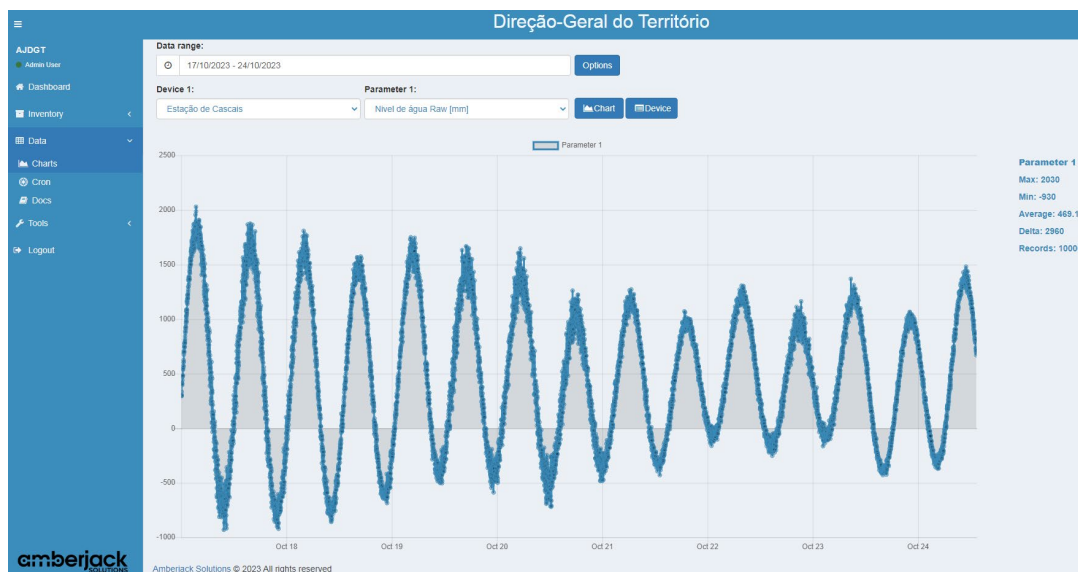


Figura 10 – Plataforma web

Na página de internet da DGT são disponibilizados os dados dos vários sensores dos marégrafos de Cascais e Lagos, em ficheiros horários (.raw) e diários (.aq, .ap, .at e .wt).

Para os registos do sensor de nível são criados 2 tipos de ficheiros, .aq e .raw,, com uma taxa de aquisição de 3 minutos e 5 segundos, respetivamente. Os registos do ficheiro .aq são gerados através da média de valores (36 observações) do ficheiro .raw, equivalente a 3 minutos de registos.

Para os registos dos sensores meteorológicos são criados 3 tipos de ficheiros: .ap (pressão atmosférica), .at (temperatura do ar), e .wt (temperatura da água), com uma taxa de aquisição de 10 minutos.

7. Conclusões

As longas séries temporais dos dados dos marégrafos de Cascais e Lagos são essenciais para os estudos da subida do nível médio do mar (Antunes, 2016), mas também podem ser muito úteis nos estudos de outros fenómenos associados à orla costeira marítima.

Os estudos do nível do mar possibilitam a definição de estratégias e a tomada de medidas no âmbito do desenvolvimento sustentável, por parte da comunidade científica e civil, que minimizem os efeitos provocados pela ocorrência de fenómenos geofísicos e geodinâmicos relacionados, por exemplo, com o aquecimento global, bem como a previsão e deteção de catástrofes naturais.

Referências Bibliográficas

- Antunes, C. (2016). Subida do Nível Médio do Mar em Cascais, revisão da taxa actual. Atas das 4as Jornadas de Engenharia Hidrográfica, Instituto Hidrográfico, Lisboa, 21-23 de junho, Págs. 163-166.
- Direção-Geral do Território, <https://www.dgterritorio.gov.pt/>, consultada em 22 de janeiro de 2024.
- Kol, H.; Crisóstomo, G. (2007). Marégrafo de Cascais. Publicação interna. Instituto Geográfico Português.
- Kol, H.; Crisóstomo, G. (2007). Marégrafo de Lagos. Publicação interna. Instituto Geográfico Português.
- Medeiro, A.; Bernardes, A.; Figueiredo, M.; Vasconcelos, M. (2011). Comparação dos registos dos marégrafos analógico e acústico de Cascais entre 2004 e 2010. Atas da VII Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia, Porto, 5-6 de maio, Pág. 573.
- Medeiro, A.; Bernardes, A.; Ribeiro, H.; Patrício, P. (2022). Rede Maregráfica da DGT. Atas da 10.ª Assembleia Luso-Espanhola de Geodesia e Geofísica, Toledo, Págs. 213-217.