Infraestrutura Geodésica Nacional

Ana BERNARDES[1], Ana MEDEIRO[1], Helena RIBEIRO[1*] e Manuela VASCONCELOS[1]

[1] Direção-Geral do Território, Lisboa

(hribeiro@dgterritorio.pt)

Palavras-chave: Geodesia, GNSS, Marégrafos, coordenadas, referenciais

Resumo: A Direção-Geral do Território (DGT), através da sua Divisão de Geodesia, é a entidade responsável pelo estabelecimento e manutenção da Infraestrutura Geodésica Nacional. O documento "Geodesia 2020" é uma visão para a Geodesia para 2020, tendo sido construída por processos colaborativos numa sessão de debate realizada no dia 5 de dezembro de 2016 na DGT. Este documento define as linhas orientadoras de uma infraestrutura geodésica nacional, que adquira, processe e disponibilize informação de posicionamento, do campo gravítico e do nível do mar.

Tendo como base a visão Geodesia 2020, neste trabalho vamos apresentar dois dos projetos essenciais para o estabelecimento e manutenção dos referenciais geodésicos.

Para a definição do Referencial Geodésico Nacional, a DGT conta com a Rede Nacional de Estações Permanentes GNSS (ReNEP). A primeira Estação Permanente foi instalada em Cascais, em 1997. Atualmente a ReNEP é constituída por 47 estações (42 no Continente, 4 nos Açores e 1 na Madeira), pertencendo 3 delas a entidades parceiras. É de salientar que algumas das estações da ReNEP pertencem a redes internacionais da maior relevância para a definição dos sistemas de referência globais e regionais, nomeadamente à rede EPN (*EUREF Permanent Network*) e à rede IGS (*International GNSS Service*).

Pretende-se, ainda em 2018, proceder ao ajustamento em bloco da rede, com vista à sua homogeneização e consequente melhoria de precisão. A nova coordenação terá por base o ITRF2014, conforme recomendado pela EUREF (*European Reference Frame*).

Para a definição do Datum Vertical, a DGT tem instalado em Cascais um marégrafo analógico, a funcionar desde 1882, o qual está integrado nas redes internacionais de marégrafos. Dada a sua localização geográfica, bem como a longa série temporal de registos, assume grande importância para toda a comunidade científica. 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.

Em 2003 foram adquiridos dois equipamentos digitais acústicos, para substituir o sistema analógico, melhorando assim a precisão e permitindo a obtenção de dados em tempo-real. Devido aos avanços tecnológicos, e de forma a poder prestar um melhor serviço à comunidade, a DGT vai instalar dois novos marégrafos de tecnologia RADAR.

Neste trabalho vamos fazer o ponto de situação da ReNEP e apresentar alguns dados preliminares sobre o ajustamento em bloco da rede e apresentar o estado da arte dos marégrafos da DGT.

1. Introdução

A Rede Nacional de Estações Permanentes GNSS (ReNEP), já completa, é composta por 42 estações no Continente, 4 na Região Autónoma dos Açores e 1 na Região Autónoma da Madeira, sendo o bastante para uma cobertura eficaz do território nacional e para a definição do Referencial Geodésico Nacional. Todos os dados disponibilizados pelas estações da ReNEP são geridos e difundidos pela Direção-Geral do Território, sendo fornecidos gratuitamente em formatos *standard*. Presentemente existem cerca de 2 700 utilizadores do serviço RTK, ocorrendo em média, mais de 50 000 ligações mensais ao servidor. Além do serviço RTK, são disponibilizados os ficheiros RINEX horários a 5s para pós-processamento.

As correções diferenciais, das estações do continente, têm como base as coordenadas ETRS89 da rede que necessitam de serem revistas, segundo as resoluções da Euref.

A coordenação das estações iniciais baseou-se na rede de 1ª ordem da Rede Geodésica Nacional. Ao longo do crescimento da rede foram sendo introduzidas essas estações nos ajustamentos das novas. Com a instalação da última estação GNSS em 2015, estão reunidas as condições para, ainda em 2018, se proceder ao ajustamento em bloco da rede, com vista à sua homogeneização e consequente melhoria de precisão. A nova coordenação terá por base o ITRF2014 (*International Terrestrial Reference Frame* 2014), conforme recomendado pela EUREF.

Para a definição do Datum Vertical, a DGT tem instalado em Cascais um marégrafo analógico, a funcionar desde 1882. Com base nos seus registos de 1882 a 1938 foi estabelecida a referência altimétrica para Portugal Continental. Devido à sua situação geográfica e à longa série temporal de registos, o marégrafo de Cascais assume grande importância, tanto a nível nacional como para toda a comunidade científica, estando integrado nas redes internacionais de marégrafos.

A instalação do marégrafo de Lagos, em 1908, teve como principal intuito 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 novos marégrafos, sistemas digitais acústicos, mais precisos e com capacidade de gestão remota, permitindo obter dados em tempo real. Além dos sensores de nível, foram também adquiridos sensores meteorológicos.

O marégrafo acústico de Cascais foi instalado em novembro de 2003 no edifício da Administração da Marina de Cascais. A localização escolhida garante que o marégrafo receba diretamente o "mar aberto", e não sofra retardamento da onda devido à proteção da Marina e do quebra-mar. Em Lagos, o marégrafo acústico foi colocado no mesmo poço do marégrafo analógico. Os dois instrumentos estiveram em funcionamento durante 3 anos, de modo a permitir a continuidade na série temporal de observações, mas infelizmente, em 2007, o marégrafo analógico foi desativado.

O mesmo não aconteceu com o marégrafo analógico de Cascais que continua a funcionar até aos dias de hoje. Tal facto deve-se também ao valor que este representa em termos históricos e culturais. Trata-se de um equipamento quase único, em perfeitas condições de funcionamento, que levou ao estabelecimento de um protocolo entre a Câmara Municipal e o ex-Instituto Geográfico Português, com vista à sua inclusão no roteiro turístico e cultural da vila. Dada a sua natureza, o edifício onde se encontra instalado o marégrafo analógico, junto à Cidadela de Cascais, foi classificado pelo Instituto Português do Património Arquitetónico (IPPAR), em dezembro de 1997, como imóvel de interesse público.

Devido aos avanços tecnológicos e de forma a poder prestar um melhor serviço à comunidade, a DGT vai, ainda em 2018, instalar dois novos marégrafos de tecnologia RADAR.

2. A ReNEP

A Rede Nacional de Estações Permanentes tem, atualmente, a configuração final, composta por 42 estações no Continente, 4 na Região Autónoma dos Açores e 1 na Região Autónoma da Madeira, 44 destas estações são da DGT e 3 são parcerias, sendo o bastante para uma cobertura eficaz do território nacional (figura 1). Esta cobertura permite a manutenção do referencial geodésico e o apoio a trabalhos de posicionamento. O número de utilizadores registados tem crescido nos últimos anos, atualmente temos cerca de 2 700 utilizadores registados para posicionamento em tempo-real.

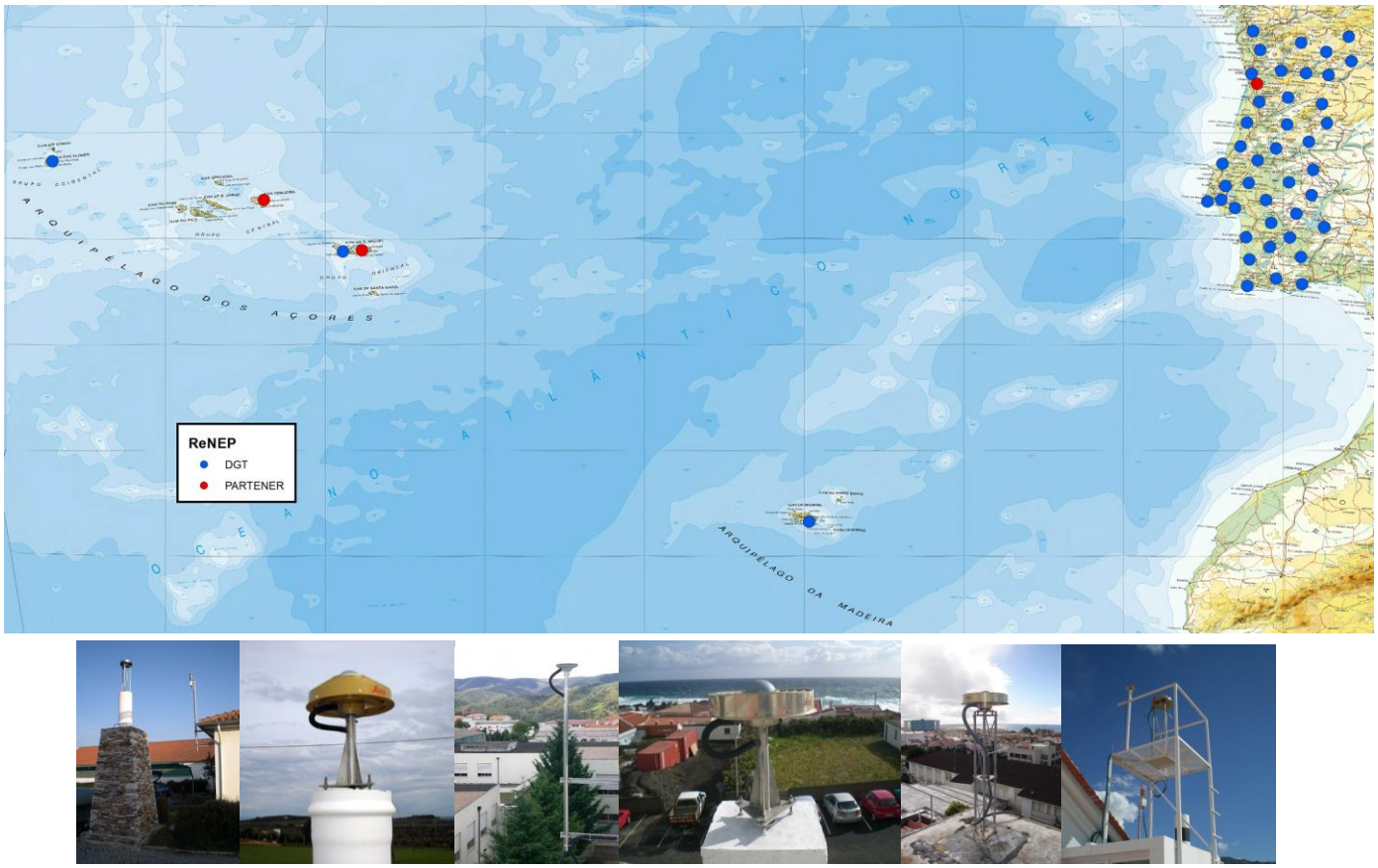

Figura 1 – ReNEP: Rede de Estações Permanentes da DGT

2.1 Produtos

Os produtos disponibilizados pelas estações para pós-processamento são ficheiros RINEX horários a 5s, podendo também haver outras taxas de recolha a pedido dos clientes. Os ficheiros estão disponíveis para descarregar no ftp da DGT (ftp://ftp.dgterritorio.pt/ReNEP/). No caso das estações que pertencem à rede *Euref Permanent GNSS Network* (EPN) e ao *International GNSS Service* (IGS) os ficheiros enviados são horários e diários a 30s.

Para as observações em tempo-real, as correções diferenciais são enviadas em formato RTCM 3.1 (e 2.3), sendo disponibilizados três produtos: “base única manual”, “estação mais próxima” e “rede”.

Com a “base única manual”, o utilizador escolhe a estação a que se quer ligar, mas tem como inconveniente o facto de poder optar por uma estação que esteja afastada do trabalho ou cuja qualidade do sinal seja mais fraco.

No produto “estação mais próxima”, a escolha da estação é feita automaticamente, o programa opta pela estação mais próxima da zona de trabalho e que apresente melhor qualidade no sinal. Em caso de falha temporária de funcionamento dessa estação, o sistema envia automaticamente as correções da estação mais próxima seguinte.

Nas correções de “rede", com base na posição do utilizador em campo, o sistema de gestão da ReNEP envia as correções diferenciais resultantes de uma rede formada por pelo menos 5 estações que se encontram a envolver o local de trabalho do utilizador. Aconselhamos os utilizadores da ReNEP a optarem por este produto, porque é o mais fiável e reduz o erro do observador.

O produto mais utilizado é “estação mais próxima”, apesar da solução de rede fornecer maior rigor (figura 2).

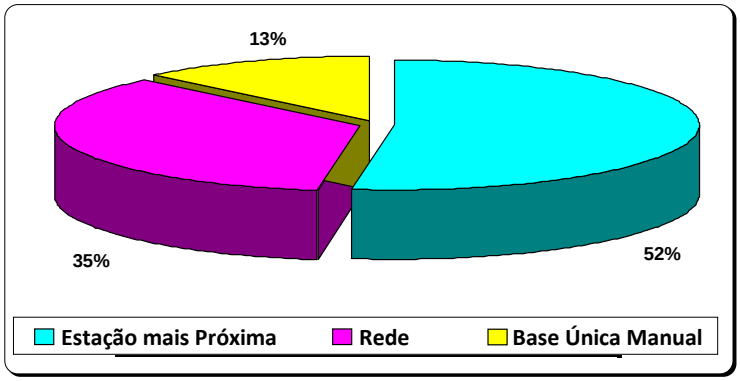

Figura 2 – ReNEP: Ligações ao servidor

2.2 Utilizadores

Atualmente existem cerca de 2700 utilizadores registados do serviço RTK, ocorrendo em média, em dias úteis, mais de 50000 ligações mensais ao servidor (figura 3). Tem-se notado uma crescente diversidade nos utilizadores da ReNEP com o crescimento de dois grupos muito específicos, da área da agricultura e do cadastro simplificado.

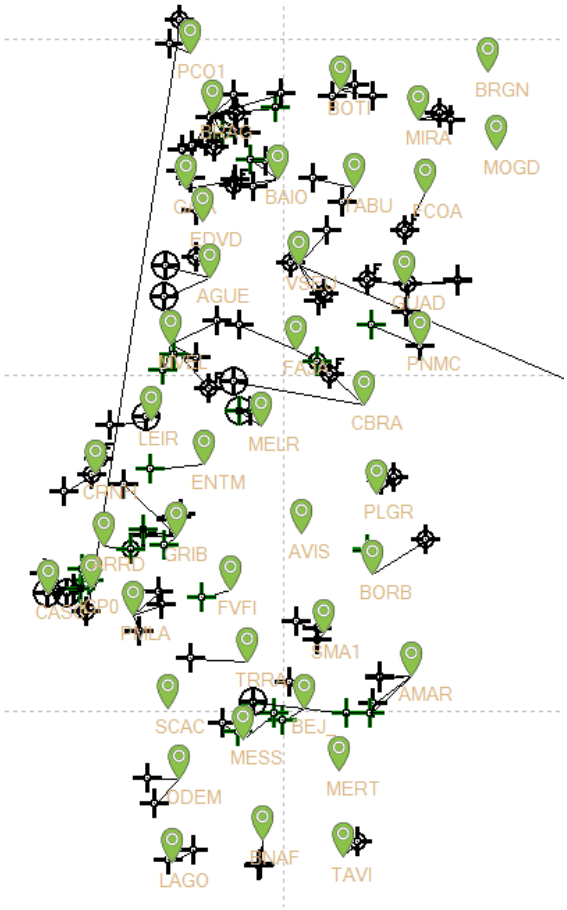

Figura 3 – ReNEP: Ligações RTK (19 de julho de 2018)

De forma a caracterizar os utilizadores da rede, aferir a utilidade e qualidade dos serviços prestados e auscultar as opiniões e sugestões dos utilizadores foi elaborado um inquérito em 2016, com 11 questões, e enviado a todos os utilizadores registados da ReNEP.

Das respostas recebidas, cerca de 400, conclui-se que a maioria dos utilizadores se regista em nome individual e o trabalho para que recorrem mais à rede são os levantamentos topográficos (figuras 4 e 5).

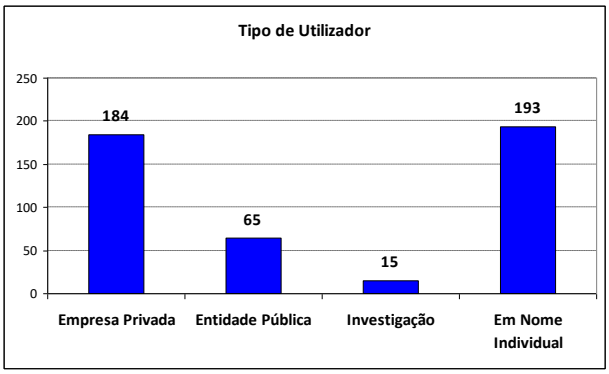

Figura 4 – ReNEP: Tipo de utilizadores

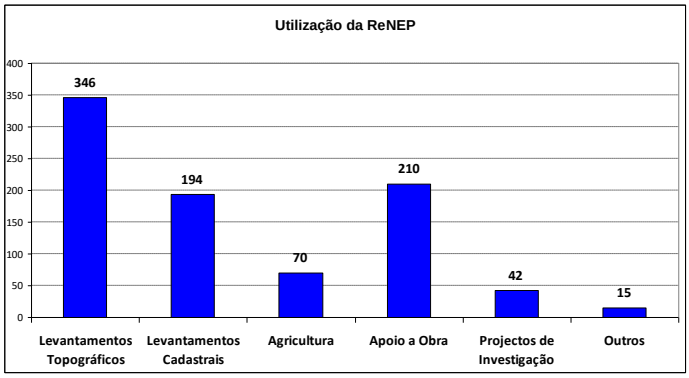

Figura 5 – ReNEP: Tipo de trabalhos

Em relação à qualidade do serviço prestado pela ReNEP, 84% dos inquiridos dizem-se satisfeitos com o serviço e apenas 3% consideram o apoio técnico da DGT insuficiente. Um dos aspetos negativos apontados pelos utilizadores foi a falta de informação em tempo útil sobre a situação da rede, consequentemente a DGT desenvolveu uma página de internet autónoma para a ReNEP, permitindo ao utilizador obter informação em tempo real sobre a operacionalidade da rede, consultar informações sobre as estações (coordenadas, localização e acessos) e fazer o registo para acesso ao serviço RTK (http://renep.dgterritorio.gov.pt/).

2.3 Ajustamento da Rede

A coordenação das estações que constituem a ReNEP foi sendo feita à medida que as estações eram instaladas, através da ligação a vértices geodésicos (VG) de 1ª ordem, ajustadas às coordenadas ETRS89 dos vértices. Está previsto o ajustamento em bloco da rede com vista à sua homogeneização, e à melhoria de precisão das coordenadas.

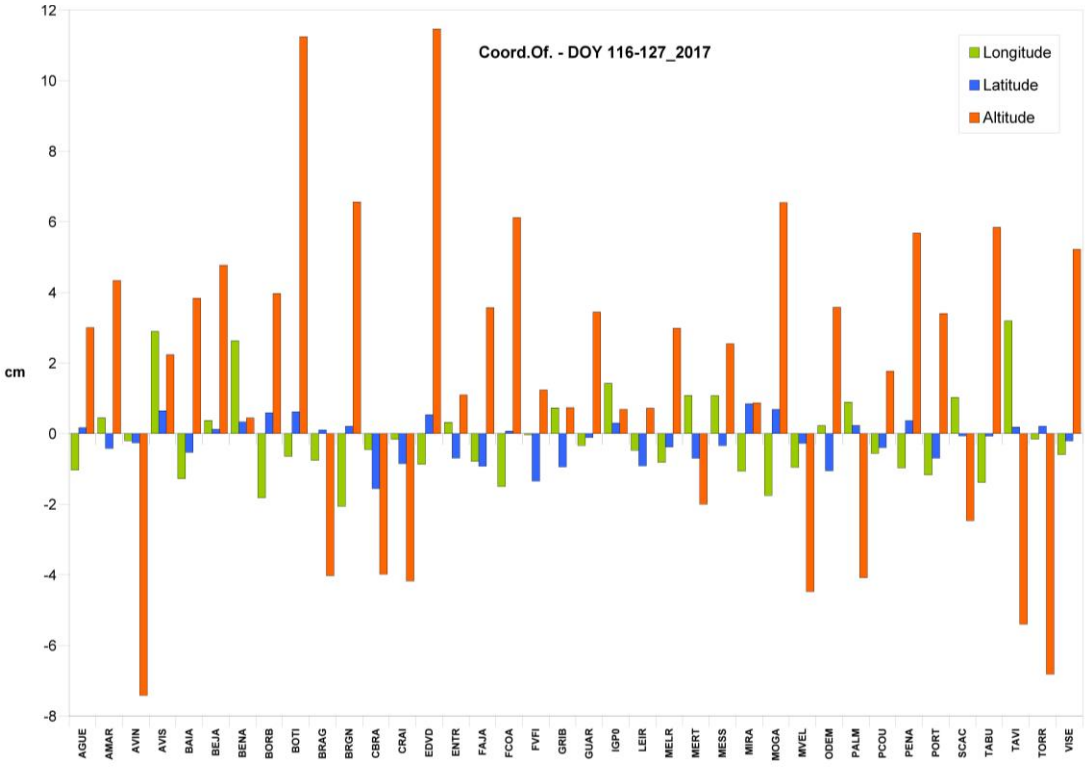

Figura 6 – ReNEP: Diferenças das coordenadas oficiais e ajustadas

Numa análise preliminar, para quantificar as diferenças entre as coordenadas oficiais e as da rede ajustada em bloco, procedeu-se ao processamento para o continente de uma semana de observações GNSS, fixando as estações da EUREF (CASC, GAIA e LAGO). Os resultados preliminares obtidos (figura 6) estão dentro dos valores esperados, sendo as maiores diferenças na componente altimétrica, com uma diferença máxima de 12 cm, tendo-se diferenças inferiores a 3 cm na latitude e longitude. As diferenças obtidas estão dentro do esperado, tendo a componente altimétrica um valor um pouco superior, que resulta das diferenças entre as altitudes ortométricas e elipsoidais da 1ª ordem, que foram utilizadas para a coordenação das Estações Permanentes.

3. Os Marégrafos da DGT

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).

A sua longa série temporal de registos permite tirar algumas conclusões sobre a variação do nível médio do mar, como se pode observar na figura 7. Estes registos permitem a monitorização contínua da variação do nível do mar e são alvo de muitos estudos e análises (Antunes, 2016).

A aquisição dos marégrafos digitais permitiu melhorar a precisão dos dados e facilitar o seu acesso. A recolha das leituras do nível do mar nos marégrafos analógicos é um processo trabalhoso e moroso, depende da interpolação, feita pelo operador, da curva que representa o nível do mar, também por esse facto é menos rigoroso. Os marégrafos acústicos, além de mais precisos, têm também a capacidade de gestão remota, permitindo obter dados em tempo real, com uma cadência de 5 segundos.

O estudo da sua evolução anual pode ser muito útil na avaliação dos impactos sobre a erosão costeira e os fenómenos de galgamento da linha de costa, bem como ajudar a definir estratégias de prevenção da ocorrência de futuras inundações ou outras catástrofes em zonas costeiras e ribeirinha (Antunes et al., 2017). 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.

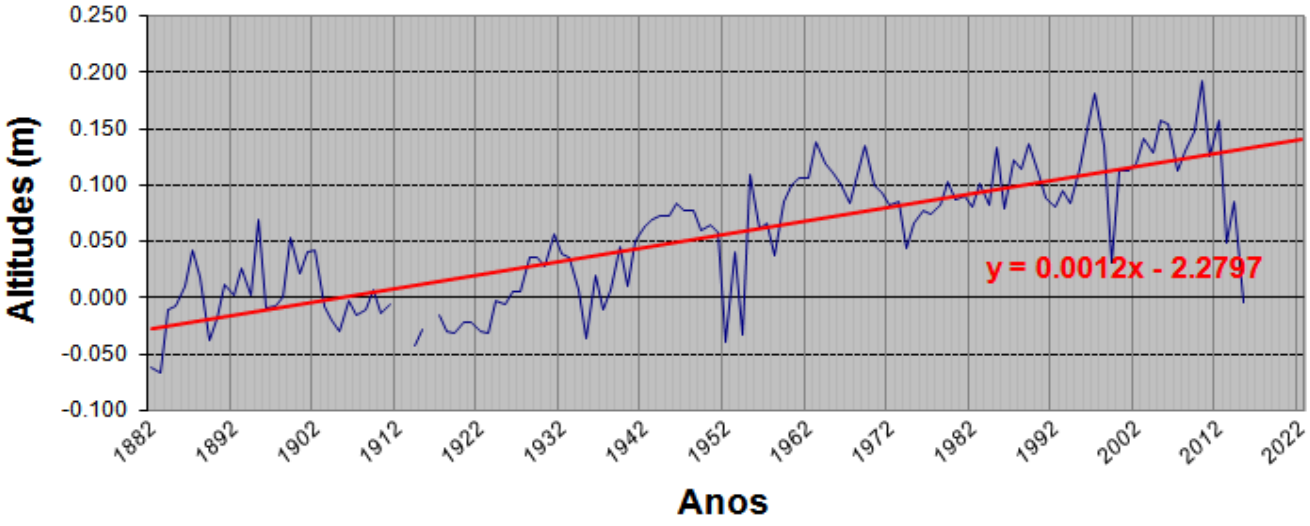

Figura 7 – Variação temporal do Nível Médio do Mar em Cascais
(médias anuais dos registos do marégrafo analógico)

3.1 Nivelamento Geométrico

De forma a garantir-se uma boa referenciação altimétrica e uma correta e adequada determinação do Nível Médio do Mar é necessário realizar-se periodicamente trabalhos de nivelamento geométrico de alta precisão, com o objetivo de avaliar a estabilidade do poço do marégrafo.

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 materializado 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.

Devido ao facto de não ter sido possível instalar o marégrafo acústico no mesmo local do marégrafo analógico (a distância entre os dois é de cerca de 250 metros), foi 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 e na figura 8.

Data	Analógico (m)	ΔH (mm)	Acústico (m)	ΔH (mm)	Desnível (m)
2003	4,3073	-	3,623	-	0,6843
2004	4,3073	0	3,5867	-36,3	0,7206
2006	4,3079	0,6	3,5788	-7,9	0,7291
2008	4,3077	-0,2	3,5743	-4,5	0,7334
2011	4,3079	0,2	3,5688	-5,5	0,7391
2014	4,3077	-0,2	3,5645	-4,3	0,7432
2015	4,3076	-0,1	3,5625	-2	0,7452
2016	4,3075	-0,1	3,5608	-1,7	0,7467
2017	4,3072	-0,3	3,5591	-1,7	0,7481

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

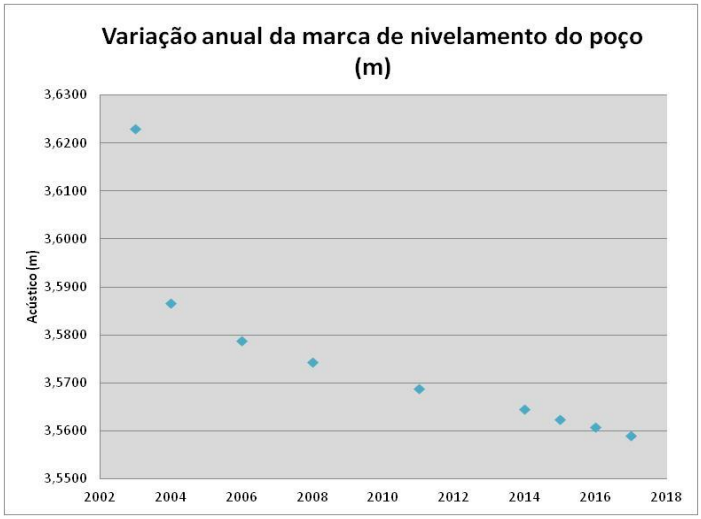

Figura 8 – Variação anual da marca de nivelamento do poço do marégrafo acústico de Cascais

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.

3.2 Equipamentos Maregráficos

Os equipamentos maregráficos da DGT começaram por ser analógicos (marégrafos de Borrel), sendo posteriormente substituídos por sistemas digitais acústicos e passando futuramente a utilizar a tecnologia RADAR.

3.2.1 – Marégrafo analógico de Borrel

O marégrafo de Borrel é um sistema de medição analógico, constituído por uma bóia que está colocada num poço ligado diretamente ao mar. O movimento da boia 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. Um mecanismo relojoeiro faz girar este tambor. 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 conjunto de 7 dias consecutivos.

Para melhor identificar as curvas correspondentes a cada dia, o encarregado do marégrafo muda a cor da caneta, numa parte do dia de meia maré (Kol et al., 2007). A resolução deste marégrafo é da ordem do centímetro.

3.2.2 – Marégrafo digital acústico

O sistema maregráfico instalado em Cascais em 2003, e no ano seguinte em Lagos, é do tipo *Aquatrak*. 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.

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. O transdutor, por sua vez, converte os impulsos elétricos em impulsos acústicos e envia-os para a superfície do mar através de um tubo de sondagens. Quando o sinal acústico passa pelo tubo de calibração, produz-se um eco que é enviado para o sensor. Esse mesmo impulso atinge a superfície do mar, produzindo-se um outro eco que é também enviado para o sensor. Esta técnica de medição é baseada na comparação do tempo que o impulso demora a percorrer uma distância conhecida e a distância desconhecida até à superfície do mar. Toda a informação é armazenada em formato ASCII, de modo a que o utilizador apenas tenha que descarregar os dados para posterior processamento.

3.2.3 – Sensores de tecnologia RADAR

Os novos sensores, a adquirir pela DGT ainda em 2018, vão ser de tecnologia RADAR, possibilitando obter precisões na ordem dos 2 milímetros em toda a sua gama de medidas, muito superiores às obtidas com sensores de outras tecnologias como os de ultrassons. Trata-se de sensores que permitem a medição exata e contínua do nível do mar. O seu funcionamento baseia-se em impulsos de micro-ondas extremamente curtos, que são irradiados pelo sistema da antena sobre a superfície do mar, os quais são refletidos e novamente captados pela antena.

4. Conclusões

Na reunião do Grupo de Trabalho "Geodesia2020", onde participam elementos de diversos organismos públicos e de universidades, foi sugerida a cooperação interinstitucional entre as várias entidades que são proprietárias de marégrafos, de modo a poder constituir-se a "Rede Maregráfica Nacional", o que permitiria a existência de uma base geodésica para o estudo da evolução do nível do mar. Também foi referida a importância da ReNEP que deve fornecer um serviço de qualidade à comunidade científica e à sociedade em geral que com recurso aos *smartphones* com aplicações para localização e o uso de mapas para navegação democratiza a informação geográfica e o rigor no posicionamento.

A DGT pretende responder a estes desafios com a instalação dos novos marégrafos, melhorando as coordenadas da rede GNSS e com um novo ajustamento do modelo do geóide para Portugal Continental (GeodPT08).

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 a 23 de junho, Págs163-166.

Antunes, C.; Rocha, C.; Catita C. (2017). Cartografia de Inundação e Vulnerabilidade Costeira. Portal Smart Campus, FCUL, http://smart.campus.ciencias.ulisboa.pt, consultada em 2 de julho de 2018.

Kol, H.; Crisóstomo, G. (2007). Marégrafo de Cascais. Publicação interna. Instituto Geográfico Português.

Vasconcelos, M. (2001). Ajustamento da Rede de Nivelamento Geométrico de Alta Precisão. Documento técnico. Instituto Português de Cartografia e Cadastro.