

INFORMAÇÃO GEOESPACIAL PARA AS GERAÇÕES FUTURA: OPORTUNIDADES E DESAFIOS



Novos Sistemas de Observação Geodésica em Novos Aproveitamentos Hidroelétricos

Elisa ALMEIDA¹, David FERNANDES¹, Daniel PIMENTEL¹, Carlos PESTANA¹, André FERNANDES¹

¹EDP – Gestão da Produção de Energia, S.A.

(elisa.almeida@edp.pt; david.fernandes@edp.pt; daniel.pimentel@edp.pt; carlos.pestana@edp.pt; andre.goncalvesfernandes@edp.pt)

Palavras-chave: Métodos Geodésicos, Sistemas de Observação Geodésica, Monitorização, Topografia de Precisão, Observação de Estruturas

Resumo: Os Métodos Geodésicos são usados para monitorizar o comportamento estrutural das grandes barragens desde o início do século passado.

A EDP, Energias de Portugal, possui mais de 50 grandes barragens como parte integrante dos seus Centros Produtores Hidroelétricos, a grande maioria em betão. No sentido de detetar precocemente problemas estruturais e cumprir a legislação portuguesa e as recomendações internacionais, todas elas são observadas por métodos variados e de algum modo complementares, incluindo os geodésicos. Estes, no âmbito da Topografia de Precisão/Geodesia, são essenciais para permitir a integração de conjuntos de pontos representativos não só da estrutura principal, mas também caracterizadores de uma envolvente, dentro e fora da zona de influência. Deste modo os deslocamentos a quantificar não só possuem um carácter relativo, como também se procura atingir um carácter absoluto. Assim, independentes dos restantes métodos de observação, os Métodos Geodésicos providenciam um modo de os relacionar, integrando-os e verificando-se mutuamente.

Perante a grande evolução tecnológica recente, o futuro obriga-nos a procurar mais eficiência, mais fiabilidade e mais economia nos sistemas de observação já estabelecidos, trazendo-nos também um grande desafio de mudança na conceção dos novos sistemas, aqueles que vão ser criados de raiz nas barragens a construir.

Após a recente conclusão da Nova Barragem do Alto Ceira, a EDP tem três novos Aproveitamentos Hidroelétricos em fase de conclusão, nos quais se incluem as barragens de Ribeiradio e de Ermida, as duas do Baixo Sabor, e a de Foz Tua, sendo que todas estarão dotadas de Sistemas de Observação Geodésica, que queremos representem um passo em frente em fiabilidade, economia e robustez.



INFORMAÇÃO GEOESPACIAL PARA AS GERAÇÕES FUTURAS OPORTUNIDADES E DESAFIOS



1. Introdução aos Métodos Geodésicos em Grandes Barragens

Os Sistemas de Observação Geodésicos de uma grande barragem em Portugal, são normalmente compostos por dois sistemas independentes - planimétrico e altimétrico - de modo a quantificar separadamente os deslocamentos horizontais e verticais de dois conjuntos diferentes e representativos de pontos na estrutura, designados por "pontos objeto" (PO). Para barragens de betão estes deslocamentos horizontais e verticais (dH e dV) devem ser quantificados dentro de uma tolerância imposta de 1mm e 0.2 mm respetivamente (Casaca, 1990). Assim, os PO são materializados de forma distinta nos dois sistemas, sendo que as grandezas observadas (também designadas simplesmente por "observações"), bem como o correspondente equipamento de observação, são também distintos.

Estes procedimentos geodésicos de quantificação de deslocamentos consideram sempre uma campanha E0 como época de referência, estabelecida e observada antes do primeiro enchimento da albufeira. A época de observação correspondente à campanha En fornece-nos os vetores de deslocamento entre estes dois momentos distintos da vida da estrutura. Existe, assim, um histórico importante para cada barragem, congruente com o sistema em observação, que é necessário preservar na continuidade. No entanto, se é certo que os antigos sistemas têm de ser mantidos e conservados, não deixa também de ser necessário fazê-los passar por um processo de modernização e simplificação que não os desvirtue, o que temos vindo progressivamente a fazer.

A conceção dos sistemas de observação geodésicos e a estimação dos deslocamentos são tarefas complexas baseadas em modelos estocásticos, sendo útil recorrer às elipses de erro como meio de representar a distribuição provável dos erros que afetam a posição calculada de um ponto. O ajustamento de observações é efetuado através do método dos mínimos quadrados, nomeadamente por variação de coordenadas, o que torna a escolha de um conjunto de pesos adequado muito importante, garantindo uma caracterização equilibrada entre ângulos e distâncias. Muito embora nenhum método seja capaz de aumentar a confiança num conjunto de observações fraco, um ajustamento rigoroso pode assegurar um equilíbrio adequado entre os diferentes valores medidos e a solução final, de acordo com uma probabilidade estatística máxima (Bird, 1989).

2. Novos Sistemas de Observação Geodésica em Novas Barragens

Recentemente, com a aproximação do fim da construção dos Aproveitamentos Hidroelétricos (AH) de Ribeiradio-Ermida e do Baixo Sabor (Escalões de Montante e Jusante), foi implementado um novo Sistema de Observação Geodésica (SOG) em cada uma das 4 barragens que os constituem (Figura 1). Localizando-se geograficamente no Centro-Norte de Portugal Continental, aonde se concentra o grande potencial hidroelétrico nacional, vimos assim atingir a meia centena de barragens em observação por Métodos Geodésicos.

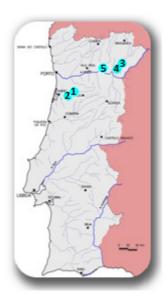


Figura 1 – Localização das novas barragens EDP em construção (1 – Ribeiradio; 2 – Ermida; 3 – Baixo Sabor Montante; 4 – Baixo Sabor Jusante: 5 – Foz Tua)



INFORMAÇÃO GEOESPACIAL PARA AS GERAÇÕES FUTURAS OPORTLINIDADES E DESAFIOS



O AH de Foz Tua – que se encontra numa fase anterior de construção, prevendo-se a sua conclusão para 2016 – irá também ser dotado de um SOG, ainda em fase de estudo para implementação (Figura 1). Neste caso os desafios correntes habituais são ainda amplificados por uma topografia agreste e fortes condicionantes ambientais.

Se no caso do Sistema Altimétrico, que neste tipo de estruturas conta com deslocamentos expectáveis significativamente menores do que o Sistema Planimétrico, o antigo nivelamento geométrico continua a ser a metodologia da topografia de precisão insubstituível, na quantificação de deslocamentos horizontais a medição de distâncias tem vindo a ganhar importância. Como marcos significativos deste ganho de precisão nas distâncias em aplicação nos nossos SOG, podemos referir a aquisição (1990) do primeiro distanciómetro submilimétrico (Kern Mekometer 5000), que nos permitiu dar início à poligonação de precisão nas galerias de visita do Alto Lindoso em 1991. Com o posterior desenvolvimento das estações totais (taqueómetros eletrónicos) assegurando a precisão adequada a realizar num só estacionamento quer a medição de ângulos quer de distâncias, a observação de poligonais de precisão democratizou-se, tendo recentemente ganho um novo avanço com a aquisição (2014) da nossa primeira versão motorizada (Leica TM50), permitindo pontarias automáticas donde campanhas mais rápidas logo mais precisas, já que o encurtar do tempo de observação proporciona uma menor variação nas condições atmosféricas.

É importante procurarmos uma redundância apropriada nas observações a efetuar, otimizando procedimentos de observação e equipamentos, sempre com registo automático de dados, minimizando tratamentos preliminares até conseguir a completa alimentação do *software* de ajustamento. É também importante encontrar uma periodicidade adequada para as campanhas de observação – no momento e em casos normais, as nossas barragens são observadas uma vez por ano. No entanto e em vários casos desejaríamos poder complementar estes sistemas com as vantagens de uma monitorização continuada e remota, com possibilidade de alarmes em tempo real. E é neste âmbito que viremos a integrar em breve nos novos sistemas geodésicos as observações GNSS, no caso das duas barragens do aproveitamento hidroelétrico do Baixo Sabor.

2.1 Aproveitamento Hidroelétrico de Ribeiradio-Ermida

Sendo o primeiro grande aproveitamento da bacia do rio Vouga, é constituído por dois escalões, localizando-se no de montante a barragem de Ribeiradio, e no de jusante, a cerca de 5 km, a barragem de Ermida.

2.1.1 - Barragem de Ribeiradio

Trata-se de uma barragem de gravidade em betão e com um volume de 290 000 m3, com 74 m de altura máxima e 265 m de desenvolvimento. O SOG implementado nesta barragem integra 11 pontos objeto (PO) horizontais, distribuídos por 8 blocos de construção, entre as cotas 75 e 107 (coroamento à cota 112 m) (Figura 2). Estes PO, duplamente materializados quer em alvos de pontaria ótica, quer em retrorrefletores, são observados, em ângulos e em distâncias, a partir de 2 pilares da rede geodésica, um em cada margem (ver exemplo de pormenor de materialização na Nova Barragem do Alto Ceira) (Figura 2).

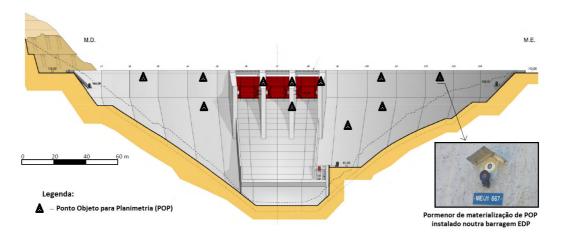


Figura 2 - Barragem de Ribeiradio - Alçado - Pontos objeto para quantificação de deslocamentos horizontais



INFORMAÇÃO GEOESPACIAL PARA AS GERAÇÕES FUTURAS OPORTUNIDADES E DESAFIOS



Para quantificação de deslocamentos verticais, está materializada por tacos de aço, uma linha de nivelamento no coroamento com um ponto objeto em cada bloco construtivo e fechando nas extremidades em dois pontos de referência considerados firmes. Os locais para a sua colocação são escolhidos de acordo com critérios geológicos / geotécnicos e materializados em maciços aonde se encontram também instalados extensómetros de fundação.

2.1.2 - Barragem de Ermida

Perfil gravidade de betão com 35 m de altura máxima e 175 m de desenvolvimento, apenas é observada através de uma linha de nivelamento no coroamento. Melhor dizendo, duas linhas de nivelamento, uma vez que o extenso vão do descarregador livre se torna intransponível perante as melhores práticas deste método (Figura 3).



Figura 3 – Barragem de Ermida – Vista de Jusante (novembro de 2104)

2.2 Aproveitamento Hidroelétrico do Baixo Sabor

O Aproveitamento Hidroelétrico do Baixo Sabor (AHBS) integra um conjunto de duas barragens em fase final de construção (Figuras 4 e 7), que em conjunto e nas respetivas albufeiras irão mais do que duplicar o volume de armazenamento português da bacia do rio Douro. Ambas as centrais são dotadas de grupos reversíveis possibilitando assim uma melhor gestão do armazenamento da água e da produção de energia, alavancada pela localização estratégica que permite otimizar toda a cascata do Douro, a jusante. Este aproveitamento, tal como o anterior, encontra-se já em serviço industrial.

O projeto do AHBS constituirá um grande avanço na tecnologia e metodologia de observação geodésica nos dois escalões. Pela primeira vez em Portugal uma barragem será observada em permanência por geodesia espacial recorrendo ao sistema GNSS. Em cada barragem serão materializados três pontos objeto e uma estação fora da zona de influência da obra, com boa fundação, excelentes condições de visibilidade espacial e a menos de 1km de distância da estrutura a monitorizar. Segundo uma tecnologia designada usualmente por Modo Diferencial (DGPS), a estação fixa definirá um ponto de referência estável que nos permitirá a aplicação de correções às observações e modelações atmosféricas dos pontos na barragem. No final teremos uma observação continuada, de elevada amostragem, que nos permitirá determinar, com carácter absoluto, as tendências dos vetores de deslocamento da barragem com precisão milimétrica, de forma remota e possibilitando alarmes em tempo real. Neste projeto, que está integrado num fornecimento mais vasto de Recolha Automática de Dados (RAD), contamos com a colaboração científica do LNEC/Núcleo de Geodesia Aplicada (NGA) e da Leica (fornecedor do equipamento), estando prevista a sua entrada em funcionamento antes do fim deste ano (2015).



INFORMAÇÃO GEOESPACIAL PARA AS GERAÇÕES FUTURA: OPORTUNIDADES E DESAFIOS



2.2.1 – Barragem de Montante

Estrutura em betão, de volume 700 000 m3, em abóbada de dupla curvatura, tem 123 m de altura e 505 m de comprimento no coroamento (Figura 4).



Figura 4 – AH do Baixo Sabor – Barragem de Montante (março de 2014)

O Sistema Geodésico (clássico) implementado e já em observação, contempla, para quantificação de deslocamentos horizontais, poligonais de precisão nas galerias de visita GV2, GV4 e GV6 e ainda, para quantificação de deslocamentos verticais, linhas de nivelamento geométrico no coroamento, nas mesmas 3 galerias de visita, e no troço horizontal da galeria de drenagem, sempre apoiadas em extensómetros de fundação (Figura 5).

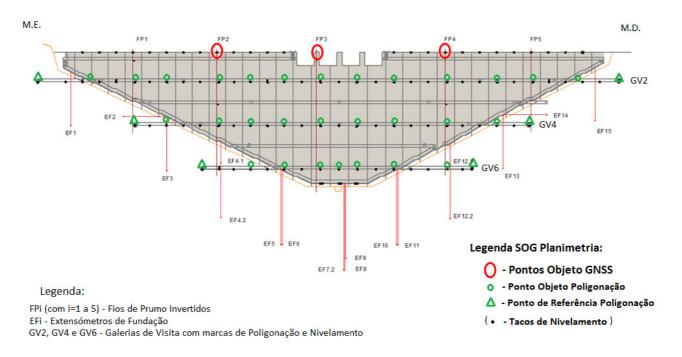


Figura 5 – AH do Baixo Sabor – Barragem de Montante – Alçado com esquema SOG



INFORMAÇÃO GEOESPACIAL PARA AS GERAÇÕES FUTURAS OPORTUNIDADES E DESAFIOS



À data contam-se já três campanhas de observação, segundo patamares sucessivos de enchimento da respetiva albufeira verificados entre julho de 2014 e maio de 2015, campanha da qual apresentamos os deslocamentos horizontais, sob forma gráfica, para a galeria de visita a cota mais elevada (Figura 6).

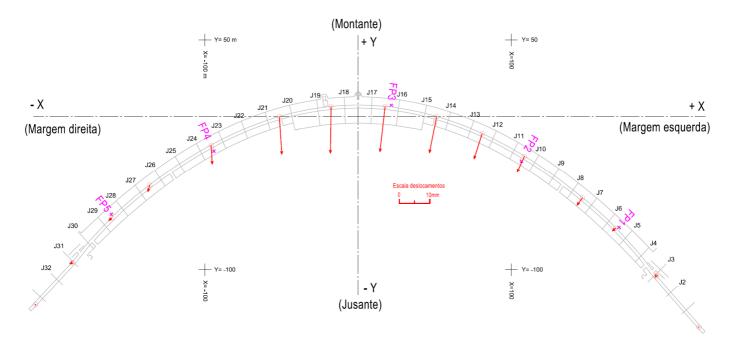


Figura 6 - AH do Baixo Sabor - Barragem de Montante - GV2 - Deslocamentos horizontais sob a forma gráfica

2.2.2 - Barragem de Jusante

O escalão de jusante, fazendo de contra embalse ao de montante, compreende uma barragem em betão, em perfil de gravidade, com 45 m de altura e 315 de comprimento no coroamento (Figura 7).



Figura 7 – AH do Baixo Sabor – Barragem de Jusante (março de 2014)



INFORMAÇÃO GEOESPACIAL PARA AS GERAÇÕES FUTURAS OPORTUNIDADES E DESAFIOS



Esta estrutura, e até à implementação do sistema GNSS que permitirá a quantificação de deslocamentos horizontais no coroamento, conta apenas, no seu SOG, com quantificação de deslocamentos verticais. Para tal tem em observação duas linhas de nivelamento geométrico, ambas com fecho em extensómetros de fundação, sendo uma no coroamento e outra na galeria geral de drenagem, a montante e a jusante.

2.3 Aproveitamento Hidroelétrico de Foz Tua

Trata-se de uma barragem em abóbada de betão, de dupla curvatura, com 108 m de altura e 275 m de extensão no coroamento. Esta estrutura, construída próxima da confluência do rio Tua com o rio Douro, tem o seu SOG em fase de definição.

Ao momento pesquisam-se locais, a jusante da barragem, para localização de pilares integrantes, quer da rede de triangulação para planimetria, quer do sistema de convergência de encostas (Figura 8). Este trabalho, que decorre nesta fase com o auxílio de alpinistas, procura tecnicamente conjugar as melhores localizações geológicas / geotécnicas com as geometrias mais favoráveis do ponto de vista da geodesia / topografia de precisão. O processo é iterativo, e poderá ter de vir a concluir-se pelo abandono desta rede exterior de pilares, sendo que neste caso a barragem não será observada pelo seu exterior (paramento de jusante), abandonando assim uma observação horizontal como em Ribeiradio. Para o Sistema Planimétrico temos já projetada a poligonação de precisão nas duas galerias de visita completas (que não interrompem nos descarregadores) e desenvolvendo-se para o interior da encosta (GV2 e GV4), tal como no anterior exemplo da barragem de montante do AH do Baixo Sabor (Figura 5). Para a zona mais alta da estrutura - a que é passível de maior deformação donde a mais "interessante"/ importante de monitorizar – temos para já e em estudo alternativo ou complementar, a avaliação da viabilidade da triangulação / trilateração exterior, e a hipótese do estabelecimento de uma poligonal de precisão no coroamento.



Figura 8 – AH de Foz Tua – Prospeção de locais para materialização de pilares geodésicos (agosto de 2015)



INFORMAÇÃO GEOESPACIAL PARA AS GERAÇÕES FUTURAS OPORTUNIDADES E DESAFIOS



3. Considerações Finais

Os desenvolvimentos tecnológicos recentes no que refere à instrumentação em uso em topografia de precisão proporcionaram um incremento na qualidade da medição de distâncias, facilitando ainda os procedimentos de observação por recurso à automatização. A recente instalação de refletores nos paramentos de barragens (Nova Barragem do Alto Ceira, abril de 2013) constitui uma inovação relevante. As interseções diretas aos PO foram assim complementadas com medição de distâncias, permitindo aligeirar a rede de triangulação e aumentar a redundância e robustez do sistema. Esta metodologia poderá vir a ser aplicada tanto em barragens novas, como no reforço / modernização de sistemas de triangulação antigos. A alteração anterior permitiu também explorar as vantagens da automatização de observações que a utilização de uma estação motorizada nos proporciona, havendo um incremento na qualidade das grandezas observadas. Neste domínio dos novos taqueómetros eletrónicos motorizados falta-nos ainda explorar a vertente da monitorização remota e continuada, que nos apresenta aspetos de concretização com alguma complexidade, já que as barragens se encontram em espaços acessíveis, abertos e não vigiados. Assegurar a fiabilidade do sistema – continuidade sem interrupção, transmissão de dados em tempo real, alimentação elétrica,... - e a segurança da própria instrumentação instalada localmente – proteção contra vandalismo e intempéries – são aspetos que teremos de garantir no caso das estações totais em funcionamento remoto. Aspetos estes que se nos apresentam como mais facilitados e menos onerosos de garantir no que respeita à implementação do serviço.

Assim e apoiando-se em desenvolvimentos no domínio da informática e das telecomunicações, e com o desenvolvimento do próprio sistema GNSS, a monitorização de estruturas de betão baseada em tecnologia DGPS veio a alcançar resultados cuja sensibilidade é milimétrica (Galán Martín, 2015). Esta precisão, adaptando-se à quantificação de deslocamentos horizontais em barragens de betão, faz-nos acreditar na viabilidade de uma primeira experiência de implementação deste novo sistema nas duas barragens do AH do Baixo Sabor, em simultâneo com os sistemas de auscultação clássicos. Esta experiência inovadora é, como atrás foi referido, desenvolvida em colaboração com a entidade que nos acompanha na implementação e exploração SOG (LNEC - Núcleo de Geodesia Aplicada), com quem temos intensamente partilhado todo um importante e valioso percurso técnico.

Também os fabricantes dos equipamentos e outras empresas fornecedoras de tecnologias de ponta, participam, neste e noutros projetos, com o seu valioso *know-how*. Assim, continuarão a ser desenvolvidas parcerias, bem com empresas de instrumentação e de *softwares* ou até dedicadas a novas tecnologias, como tem acontecido com o varrimento *laser* 3D e mais recentemente com o radar interferométrico terrestre, e ainda com organismos universitários, de que, neste caso podemos destacar a colaboração com a FCUP desde o seu primeiro Mestrado de Posicionamento e Navegação por Satélite (2000/2001). Estas parcerias, que sempre nos tem suscitado abertura e interesse, têm permitido já experiências importantes no sentido de testar novas metodologias e equipamentos, e sua aplicabilidade nas nossas obras. As áreas de engenharia e gestão da segurança de barragens estarão sempre no caminho de procurar conhecer o que está a ser feito de novo na monotorização de barragens. Tal conhecimento do "estado da arte" irá permitir ao decisor / explorador ("Dono de Obra") uma análise das vantagens e inconvenientes de cada sistema de observação, quer em termos da remodelação dos antigos, quer no que refere à implementação dos novos, do ponto de vista do investimento e da sua relação custo / benefício, tentando antever vantagens para o futuro.

Referências Bibliográficas

Bird, R.G. (1989). EDM Traverses. Measurement, Computation and Adjustment. Longman Scientific & Technical.

Casaca, J. (1990). O estado actual da aplicação dos métodos geodésicos à observação de barragens. Publicação da Secção de Vias de Comunicação do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, em Ciclo de Conferências "A topografia, do passado ao futuro".

Galán Martín, D. (2015). Control de movimientos en presas de hormigón mediante DGPS. Comparación con otros métodos de auscultación e implicaciones para la seguridad. Estudio de caso en la presa de La Aceña (Ávila). Thesis (Doctoral), E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos (UPM).