

EXECUÇÃO DE TRABALHOS GEOTÉCNICOS NA CONSTRUÇÃO DO APROVEITAMENTO HIDROELÉCTRICO DO BAIXO SABOR

GEOTECHNICAL WORKS INCLUDED IN THE CONSTRUCTION OF THE BAIXO SABOR HYDROELECTRIC POWER PLANT

Barros, Pedro Jorge M.A.; *Keller-Geo Fundações Lda, Castanheira do Ribatejo, Portugal, p.barros@keller.pt*
Secades Suarez, Juan; *Keller-Cimentaciones SLU, Alcalá de Henares, Espanha, j.secades@keller-cimentaciones.com*

RESUMO

Incluídos no Aproveitamento Hidroeléctrico do Baixo Sabor, cujo Dono de Obra é a EDP – Energias de Portugal S.A., foram executados diversos trabalhos geotécnicos, nomeadamente contenções na construção das barragens, centrais eléctricas e acessos, injeções de tratamento dos maciços de fundação das duas barragens e na obra subterrânea, e injeções de juntas dos blocos de betão da barragem de Montante. Igualmente foi instalada diversa aparelhagem de instrumentação/auscultação, quer dos trabalhos geotécnicos executados, quer do comportamento das duas barragens inseridas no Aproveitamento. Descreve-se o enquadramento da execução destes trabalhos, bem como as suas características e meios empregues na sua execução.

ABSTRACT

Included in the Baixo Sabor Hydroelectric Power Plant, property of EDP – Energias de Portugal S.A., several geotechnical works were performed, namely slope stabilization for the construction of the dams, power plant and road accesses, rock grouting on the dams foundation and in underground works, and also the grouting of the concrete joints of the double curvature vaulted upstream dam. Also mentioned in this article is the installation of several monitoring instruments, either for the performed geotechnical works or to control the behaviour of the two dams included in the Project. The environment in which those works were performed is described, as well as their characteristics and the means employed in their execution.

1 - INTRODUÇÃO

No âmbito do aumento da exploração do potencial hidroeléctrico nacional, a EDP – Energias de Portugal S.A. construiu o Aproveitamento Hidroeléctrico do Baixo Sabor (AHBS). Este Aproveitamento consiste em duas barragens situadas no Rio Sabor, afluente da margem direita do Rio Douro, barragens essas situadas no concelho de Torre de Moncorvo. Conquanto a albufeira da barragem de jusante se situe nesse mesmo concelho, a albufeira da barragem de Montante estende-se ao longo de 60 km a Montante desta, ocupando áreas dos concelhos de Torre de Moncorvo, Alfândega da Fé, Mogadouro e Macedo de Cavaleiros.



Figura 1 – Localização do A.H. Baixo Sabor – Torre de Moncorvo

As características das barragens, também identificadas como Escalões, são as seguintes:

Escalão de Montante: Estrutura de betão em abóbada de dupla curvatura, espessura da abóbada entre 39 metros (fundação) e 6 metros (coroamento), desenvolvimento de 505 metros ao nível do coroamento e altura máxima, acima da cota de fundação, de 123 metros; Central eléctrica na margem direita; 2 grupos "Francis" reversíveis com potência instalada de 81 MW cada.



Figura 2 – Aspecto do Escalão Montante (Junho 2015)

Escalão de Jusante: Estrutura de betão do tipo gravidade, de eixo recto e de altura máxima, acima da cota de fundação, de 45 metros; Central eléctrica na margem direita; 2 grupos "Francis" reversíveis com potência instalada de 19 MW cada.



Figura 3 – Aspecto do Escalão Jusante (Junho 2014)

A construção deste empreendimento da EDP foi executada, no que à construção civil se refere, pelo Consórcio Baixo Sabor - Odebrecht/Bento Pedroso Construções S.A. e Lena Construções S.A. - ACE e, na parte electromecânica, pela empresa Andritz Hydro GmbH. A presente Comunicação refere-se aos trabalhos geotécnicos efectuados neste empreendimento pelo consórcio Keller, formado pelas empresas Keller-Geo Fundações (Portugal) e Keller-Cimentaciones (Espanha), no âmbito de uma subempreitada, como subempreiteiro designado, do Consórcio Baixo Sabor-ACE.

2 - ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

2.1 - Escalão Montante

O Escalão Montante situa-se num maciço granítico porfiróide, de grão grosso a médio, com pouca expressiva espessura de solos residuais. O maciço apresenta algumas descontinuidades, desde logo a zona de falhas no leito do rio que deverá ter dado origem à presença do mesmo, existindo ainda outras falhas que, genericamente, apresentam direcções sub-paralelas ao eixo do rio, aproximadamente na direcção NE-SW. Em termos de alteração do maciço verifica-se uma maior alteração na margem direita, sendo que, genericamente, se pode afirmar existir uma fraca alteração no maciço da margem esquerda.

Na zona de implantação deste escalão ocorrem vertentes de forte inclinação, podendo-se estimar um valor médio de 40° para essa inclinação (Ferreira e Lima, 2000).

2.2 - Escalão Jusante

O Escalão Jusante situa-se no tramo final do Rio Sabor, aproximadamente a 3000 metros da sua confluência com o Rio Douro (margem direita), numa zona de maciço xistoso recoberto por depósitos aluvionares de características granulares, com reduzido conteúdo de finos.

No local de implantação do Escalão afloram formações rochosas constituídas por alternância de filitos, metagrauvaques e metaquartzograuvaques. Os estratos apresentam-se dobrados sendo o plano axial destas estruturas materializado por uma xistosidade de direcção aproximada ENE-WSW (Ferreira *et al.*, 2000).

3 - TRABALHOS GEOTÉCNICOS EXECUTADOS PELA KELLER

Os trabalhos executados pelo Consórcio Keller no Aproveitamento Hidroeléctrico do Baixo Sabor subdividiram-se nas seguintes áreas específicas:

- Estabilização de Taludes (Contenções) de escavação
- Injecções (Tratamento dos maciços rochosos interessados pelo Empreendimento; Injecção de Juntas)
- Instrumentação

Perante a impossibilidade, no âmbito e com as limitações de elaboração da presente Comunicação, de descrever de uma forma detalhada os trabalhos realizados, descreve-se de uma forma genérica os mesmos por forma permitir dar uma ideia, igualmente genérica, da sua variedade.

3.1 - Estabilização de taludes

Foram executados trabalhos de estabilização de taludes de escavação com recurso à execução de ancoragens no terreno. Essas ancoragens foram de dois tipos: passivas (pregagens) e activas (ancoragens), tendo sido executadas na estabilização de taludes de escavação para implantação do corpo das barragens, das centrais eléctricas, dos circuitos hidráulicos (desvio provisório, tomada de água, restituição) e dos acessos.

Os trabalhos de estabilização de taludes desenvolveram-se aproximadamente durante dois anos, com cargas máximas de pessoal de 30 pessoas e de 3 equipamentos de perfuração e injecção, com laboração em regime de dois turnos.

3.1.1 - Ancoragens Passivas (pregagens); Betão Projectado e Drenos

No caso das zonas onde a estabilização de taludes foi executada com recurso a ancoragens passivas, esses taludes foram, em significativa parte, recobertos por betão projectado armado com malha electrossoldada, sendo ainda executadas perfurações para drenagem. A profundidade média destas pregagens foi de 6 metros.

Na execução das perfurações recorreu-se a equipamentos de furação à rotopercussão, munidos de martelo de alta frequência instalado na cabeça de furação dos equipamentos mobilizados na execução destes trabalhos. O betão projectado foi executado por um equipamento de projecção automática tipo "robot" de projecção, tendo-se utilizado a via húmida na execução da projecção de betão.

As quantidades finais ascenderam a cerca de 184.000 metros de ancoragens passivas, 63.000 metros de drenos e 90.000 m² de betão projectado.



Figura 4 – Aspecto da Margem Direita do Escalão Montante (Abril 2011) com vista das Contenções na Barragem, Central, Restituição e Cais e Blondin

3.1.2 - Ancoragens Activas

Em determinadas localizações foram executadas ancoragens activas, inseridas em vigas de estabilização, com bolbo de selagem e cabo, rematadas por cabeças repartidoras de carga. A profundidade média executada foi de 35 metros, tendo sido aplicadas ancoragens com cargas de 750 e 1500 kN.

Estas ancoragens foram instaladas em perfurações executadas à rotopercussão, com recurso a martelo de fundo de furo, e com ar comprimido como fluido de furação.

Os taludes cuja contenção recorreu a ancoragens activas foram objecto de um Plano de Observação específico, o qual considerou a instalação de células de carga e dos respectivos caminhos de cabos e centrais de leitura.

As quantidades finais ascenderam a cerca de 10.000 metros de ancoragens activas, tendo sido instaladas 45 células de carga e respectivo equipamento acessório.



Figura 5 – Contenção para construção da Central Eléctrica do Escalão Montante

3.2 - Injecções

3.2.1 - Consolidação

O tratamento de Consolidação, executado no maciço de fundação do Escalão Montante, teve como objectivo a melhoria das propriedades mecânicas do mesmo. O tratamento executado compreendeu a execução destas injecções desde o contacto entre a fundação, em betão, e o maciço rochoso, até uma profundidade em que o esforço induzido pela estrutura da Barragem não ultrapassasse 1 MPa.

Este tratamento desenvolveu-se distribuindo furações para posterior injecção em perfis transversais ao eixo da Barragem afastados entre si 3 metros. Cada perfil consistiu em um, dois ou três leques de furações para injecção, consoante foram executados a partir da Galeria Geral de Drenagem (GGD), da GGD e da Galeria de Drenagem de Jusante (GDJ) e da GGD, GDJ e a partir do exterior. Na Figura 6 apresenta-se um perfil-tipo de Consolidação deste último caso.

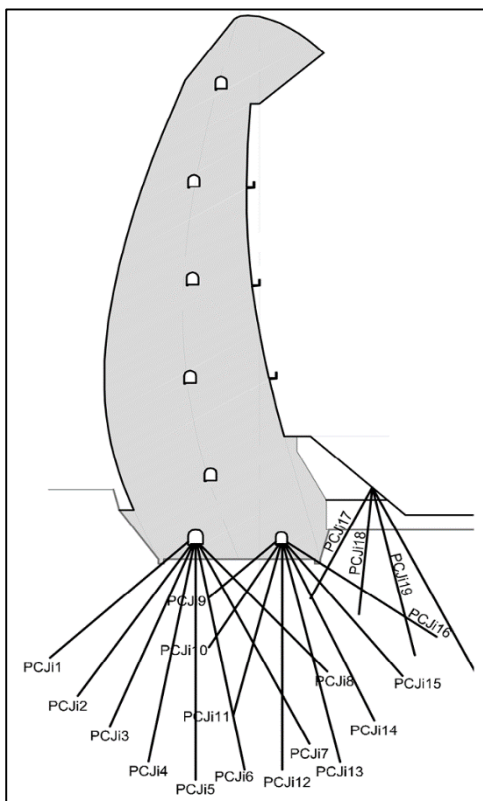


Figura 6 – Perfil Tipo de Consolidação (Brandão, 2014)



Figura 7 – Equipamento tipo Beretta T43 durante a execução de perfurações para Consolidação

A execução deste tratamento, com sequência/precedências estabelecidas nos elementos técnicos do Projecto – a saber, tendo os furos a cotas inferiores precedência sobre os furos a cotas superiores e tendo as perfurações para Montante precedência sobre as perfurações para Jusante – realizou-se em três fases: execução das perfurações à rotopercussão com diâmetro de 64mm até às profundidades especificadas (com máximo de 60 metros); lavagem das perfurações, em tramos de comprimento máximo de 6 metros, com ciclos de ar comprimido-água-ar comprimido com vista à remoção do material solto no interior das mesmas; injecção em patamares de 5 metros, de forma ascendente. A quantidade final destes trabalhos alcançou um valor de cerca de 60.000 metros de perfurações injectadas.

Estes trabalhos desenvolveram-se durante aproximadamente um ano e meio, tendo-se chegado a empregar-se um máximo de 60 pessoas em turno duplo, utilizando-se até 4 equipamentos de perfuração tipo Beretta T43, 1 equipamento tipo Beretta T53, 4 bombas de injecção tipo Petrometalic e duas centrais automatizadas de fabrico de calda de cimento. O controlo dos parâmetros de execução da fase de injecção efectuou-se com recurso a registadores tipo "Vopi" do fabricante Jean Lutz, programados para cumprimento dos requisitos de volume, caudal e pressão.

3.2.2 - Cortina de Impermeabilização

A cortina de Impermeabilização tem como objectivo a redução da permeabilidade do maciço de fundação e, como tal, a redução dos aspectos desfavoráveis decorrentes da circulação de água no maciço. O Projecto

considerou a extensão da cortina de Impermeabilização até uma profundidade igual a 50% da máxima carga hidráulica ou até que a permeabilidade do maciço fosse inferior a 1 Unidade Lugeon (1 U.L.)

No Escalão Montante as perfurações mais profundas alcançaram os 75 metros, com uma profundidade média de 60 metros. No Escalão Jusante as perfurações foram executadas com comprimentos entre os 30 e os 40 metros. Na Figura 8 apresenta-se um corte-tipo do tratamento para cortina de Impermeabilização.

Esta cortina foi executada em várias fases, em função das permeabilidades registadas nos ensaios Lugeon. Numa primeira fase foram perfurados e injectadas perfurações primárias, separadas entre si 5 metros. Nos casos em que a permeabilidade obtida dos ensaios Lugeon executados durante as perfurações superou 1 U.L. executaram-se furações secundárias. Nos casos em que, na execução destas perfurações secundárias, se voltaram a registar permeabilidades superiores a 1 U.L. executaram-se perfurações terciárias e assim sucessivamente.

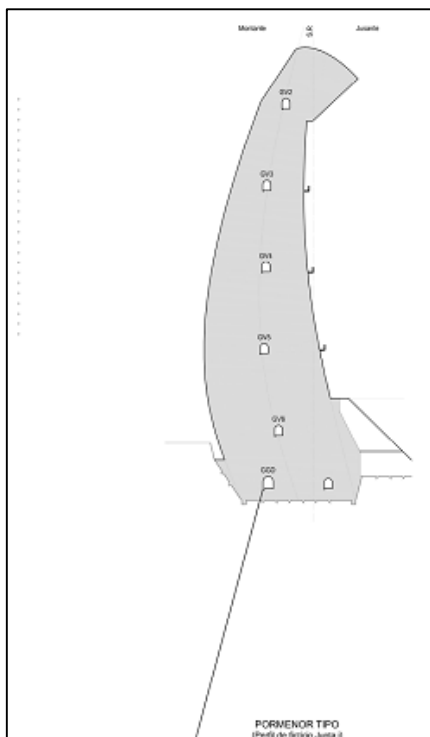


Figura 8 – Perfil Tipo de cortina de Impermeabilização no Escalão Montante (Brandão, 2014)



Figura 9 – Equipamento tipo Diamec durante a execução de perfurações para a cortina de Impermeabilização

No caso do Escalão Jusante o Projecto previu a execução de perfurações adicionais às da cortina de Impermeabilização. Estas perfurações adicionais, executadas uma de cada lado das perfurações primárias da cortina de Impermeabilização, foram identificadas como Cortina de Contenção, tendo como objectivo conter a eventual migração da calda de injeccção para uma zona não essencial.

As perfurações da cortina de Impermeabilização foram executadas à rotação com recolha de amostra com diâmetro BQ (64mm), com ensaios Lugeon executados em avanço por tramos de 5 metros. A injeccção foi ascendente igualmente em tramos de 5 metros. No total foram perfurados e injectados cerca de 17.000 metros na formação da cortina de Impermeabilização no Escalão Montante e de 3300 metros no Escalão Jusante.

A execução da cortina de Impermeabilização no Escalão Montante foi uma actividade que requereu a utilização de até 4 sondas tipo Diamec com pontas de até 30 trabalhadores, laborando em regime de dois turnos, 4 bombas de injeccção tipo Petrometalic e duas centrais automatizadas de fabrico de calda de cimento. Em Jusante, dada a menor quantidade utilizou-se um equipamento Diamec laborando em dois turnos, com o correspondente equipamento de injeccção. O controlo dos parâmetros de execução da fase de injeccção efectuou-se com recurso a registadores tipo Vopi programados para cumprimento dos requisitos de volume, caudal e pressão, sendo igualmente executados periodicamente elementos desenhados com os resultados dos ensaios Lugeon e das injeccções por forma a permitir ao Dono-de-Obra uma rápida decisão nos casos de necessidade de perfurações adicionais.

3.2.3 - Obra Subterrânea

Na obra subterrânea, constituída por desvio provisório (Montante), circuitos hidráulicos (galerias em carga e de restituição) e central eléctrica, foram executados trabalhos de injeções para preenchimento dos vazios de construção e de consolidação do maciço envolvente.



Em termos gerais esses trabalhos foram executados em duas fases sendo que na primeira se realizou uma perfuração inicial curta e se injectou/preencheu o vazio entre o betão e o maciço; na segunda perfurou-se o maciço em comprimentos de 1 a 5 metros e injectou-se calda de cimento para consolidação desse maciço.

Nos circuitos hidráulicos essas furações/injecções seguiram uma distribuição radial, sendo que nas Centrais as mesmas foram executadas segundo uma quadrícula ou em quincôncio.

Estes trabalhos foram executados com recurso a equipamentos apropriados aos mesmos, tendo-se utilizado um equipamento tipo Jumbo nos circuitos hidráulicos e recorrendo-se, em outras zonas, a equipamentos tipo Beretta ou outros mais ligeiros, em função das características de cada local.

Estes trabalhos desenvolveram-se de forma descontínua, acompanhando o progresso da escavação/construção, durante um período aproximado de dois anos, tendo mobilizado um número máximo de 12 pessoas na sua execução.

Figura 10 – Pormenor da colocação de obturadores durante a fase de injeção na obra subterrânea

3.2.4 - Injecção de Juntas dos blocos da Barragem (Escalão Montante)

A existência de fenómenos de retracção do betão da estrutura do Escalão Montante obriga à criação de juntas entre os blocos. A fim de garantir a continuidade estrutural entre blocos essas juntas são injectadas com calda de cimento. Para facilitar a injeção cada junta é dividida em recintos estanques, aquando da construção dos blocos, sendo cada um desses recintos materializados por intermédio da colocação de lâminas em PVC embebidas no betão. A Figura 11 apresenta um esquema tipo de uma junta com os seus recintos e com os respectivos circuitos de injeção.

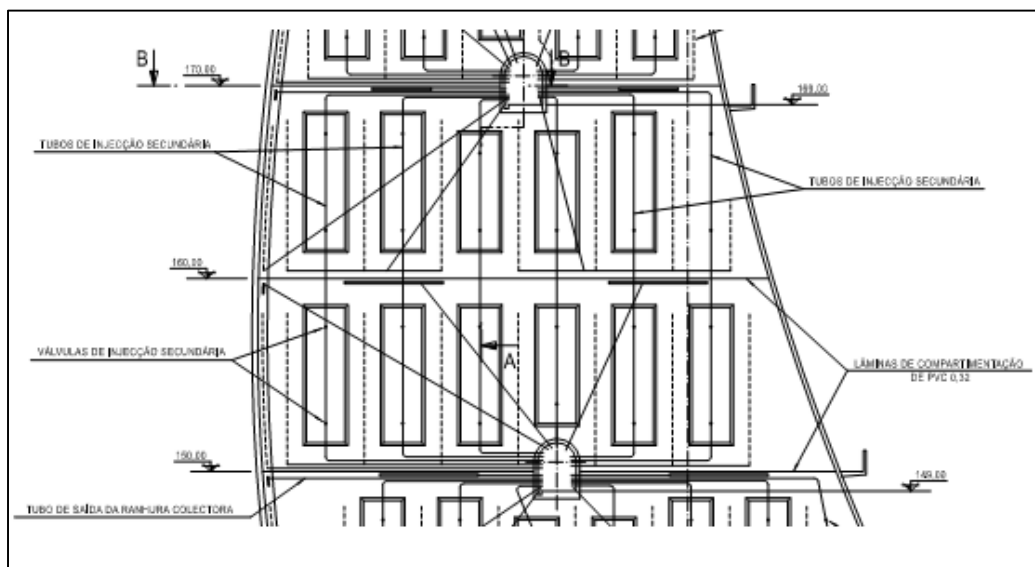


Figura 11 – Esquema tipo de uma junta com os recintos e circuitos de injeção (Secades Suarez, 2014)

O primeiro passo para esta actividade de injeção de juntas foi a realização sistemática de ensaios de água preenchendo a junta com água e mantendo-a sob pressão, com vista à comprovação dessa estanquicidade e eventual reparação de alguma situação anómala que se verifique durante o ensaio. A Figura 12 ilustra a execução de um ensaio de água numa junta.



Figura 12 – Aspecto do Ensaio de Água numa junta

A injeção de cada recinto executou-se injectando calda e cimento por um circuito de injeção que foi instalado aquando da construção dos blocos. A calda de cimento entra no recinto à sua cota mais baixa e é recolhida por um tubo colector situado na cota mais alta do recinto, comprovando assim estar totalmente preenchido. Progressivamente aumentou-se a densidade/conteúdo em cimento da calda cimentícia até à calda definida em Projecto, pressurizando o circuito até à pressão definida em Projecto ou até atingir a máxima abertura da junta, igualmente conforme critério de Projecto. Para contrariar este efeito de abertura de junta foi instalada, pela injeção de água, uma contrapressão nas juntas contíguas à junta que, em cada momento, se estava a injectar.

Este trabalho de injeção de juntas, dada a sua especificidade e sensibilidade no que à estrutura diz respeito, foi executado com um estrito controlo do comportamento das juntas, por intermédio da diversa aparelhagem instalada (embebida: medidores de juntas; não embebida: bases tridimensionais); os parâmetros de execução das injeções foram igualmente registados por intermédio de registadores automatizados tipo VOPI, devidamente programados para realizarem esse registo.

No total foram injectados 420 compartimentos, tendo sido empregues cerca de 900 toneladas de cimento, tendo esta injeção sido executada com recurso a uma central automatizada de fabrico de caldas e a dois equipamentos completos (pessoal e equipamento, entre os quais bombas de água, de calda de cimento, registadores automatizados e diverso equipamento acessório.)

3.3 - Instrumentação

3.3.1 - Instrumentação Embebida

Com o objectivo de monitorizar o comportamento da estrutura das duas barragens foram aplicados instrumentos de resistência eléctrica tipo "Carlson". Estes instrumentos, instalados de forma a ficarem embebidos no betão – ou seja aquando da construção dos blocos – permitem a leitura de deformações, pressões, temperaturas e deslocamentos entre blocos. No Empreendimento foram instaladas de 6 rosetas tridimensionais, 26 rosetas bi-dimensionais e 14 rosetas unidireccionais para controlo de deformações (extensómetros), 188 medidores de juntas para controlo dos movimentos entre blocos, 127 termómetros e 10 células de carga

Esta instrumentação foi instalada por técnicos da Keller devidamente credenciados pelo Dono de Obra, seguindo um procedimento de instalação muito cuidado que considerava, aparte a esmerada colocação/installação em obra durante as betonagens, um estrito procedimento de verificação prévia do instrumento e de execução das ligações eléctricas.

Após conclusão das betonagens esta aparelhagem foi devidamente ligada, por intermédio de uma rede de cablagem devidamente encaminhada a centrais intermédias e de leitura, permitindo a fácil obtenção dos resultados de monitorização. No total foram instalados cerca de 21.000 metros de cabos para aparelhagem "Carlson" e 43 centrais intermédias/de leitura.



Figura 13 – Pormenor de montagem de uma roseta antes da betonagem

3.3.2 - Instrumentação não Embebida

No âmbito do Plano de Observação do Empreendimento foram instalados outros equipamentos de monitorização como cerca de 150 Bases Tridimensionais, que permitem a leitura dos movimentos relativos das juntas dos blocos, e 41 Controladores de Juntas, constituídos por 3 extensómetros de corda vibrante, montados numa estrutura que permite a medição dos movimentos das juntas.

Foram ainda instaladas 5 Escalas Limnimétricas, as quais permitem ler directamente a cota de água nas albufeiras. Estas escalas foram instaladas, no Escalão Montante, na descarga de fundo, torre de tomada de água e bacia de dissipação; no Escalão Jusante foram instaladas no pilar da descarga de fundo (a montante) e na boca de saída dessa mesma descarga.

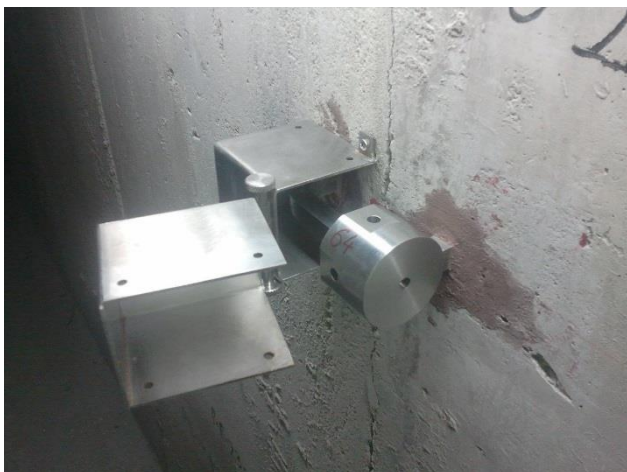


Figura 14 – Base Tridimensional



Figura 15 – Controlador de Juntas

3.3.3 - Extensómetros de Fundação

Por forma a controlar o movimento vertical relativo entre o corpo das estruturas e o maciço de fundação foram aplicados extensómetros de varas, instalados em perfurações executadas no maciço de fundação.

Estas perfurações foram executadas a partir das galerias de visita das barragens, com diâmetro NQ (76 mm) com recolha de amostra e ensaios Lugeon em avanço. Nos casos em que foram detectadas situações de instabilidade das perfurações as mesmas foram injectadas e reperfuradas. Como acabamento, com vista a reduzir a eventual afluência de água todas a perfurações foram injectadas e reperfuradas. No Escalão

Montante foram executadas 16 furações para colocação de extensómetros, até um máximo de 100 metros de profundidade; No Escalão Jusante foram executadas 8 furações, até um máximo de 45 metros. Estes extensómetros foram, posteriormente, igualmente instrumentados por intermédio de transdutores e igualmente ligados à rede de centrais intermédias/de leitura.

3.3.4 - Fios-de Prumo

Por forma a controlar o movimento horizontal da estrutura das barragens foram instalados Fios-de-prumo. Em ambas as barragens cada Fio-de-prumo tem o seu início na galeria mais próxima do coroamento, e o seu final num ponto do maciço de fundação considerado imóvel. Em função do desenvolvimento dos Fios-de-prumo foram previstas em Projecto situações em que o Fio-de-prumo é constituído por dois Fios-de-prumo, um deles directo (entre o coroamento e a galeria mais próxima da fundação) e outro inverso (entre a galeria mais próxima da fundação e a ancoragem em profundidade, no maciço. Nos outros casos os Fios-de-prumo são constituídos apenas por uma unidade única, neste caso sendo Fios-de-prumo inversos.

Os tramos dos Fios-de-prumo cujo desenvolvimento se situa no corpo da estrutura materializam-se no interior de uma tubagem deixada para esse efeito aquando da construção. O tramo entre a galeria mais próxima da fundação e a ancoragem no maciço materializam-se no interior de uma perfuração executada no maciço. Essa perfuração é um trabalho de especialista uma vez que há que garantir uma muito aproximada verticalidade; para tal, durante a furação, é mantido um controlo estrito desse parâmetro sendo comum ser necessário injectar a furação e reperfurar. Após conclusão da furação o furo é revestido por uma tubagem que é selada ao furo por intermédio de injecção de calda de cimento.

Os Fios-de-prumo deste empreendimento são singulares face ao grande diâmetro especificado, e à profundidade a que os mesmos são ancorados, de até 75 metros. No total foram perfurados e equipados 7 Fios-de-prumo (5 em Montante, com profundidade de até 75 metros, e 2 em Jusante, com profundidade de 50 metros). Estes Fios-de-prumo foram posteriormente equipados com o necessário equipamento (Figura 17).

Os Fios-de-prumo foram executados num período aproximado de um ano e meio, com recurso a até um máximo de 3 equipamentos de perfuração dos furo-guia tipo DIAMEC/Lumesa e um equipamento de alargamento de furações tipo TERRA.

Foram ainda instalados, na central eléctrica do Escalão Montante, 4 Fios-de-prumo directos, instalados no interior de colunas técnicas formadas durante a execução dos trabalhos de construção, em betão armado, dos poços da central eléctrica.



Figura 16 – Equipamento “Terra” executando o alargamento do furo-guia de um Fio-de-Prumo



Figura 17 – Equipamento de um Fio-de-Prumo (directo e inverso)

3.3.5 - Tomografia Sísmica

O Projecto considera, no caso particular do Escalão Montante, uma avaliação da efectividade do tratamento através de campanhas de ensaios de tomografia sísmica. Estes ensaios permitem, pela avaliação da velocidade de propagação no maciço das ondas de compressão antes e depois do tratamento, avaliar o grau de melhoria do maciço.

Como tal foi considerada a execução de uma campanha de ensaios antes de iniciado o Tratamento da Fundação e uma outra após conclusão desse Tratamento. Os ensaios sísmicos foram executados a partir de perfurações executadas com diâmetro HQ (96 mm) com recolha de amostra, ensaios Lugeon em avanço executados por troços de 5 metros e com controlo de verticalidade dessas furações, a fim de permitir saber com exactidão os pontos de medição permitindo, como tal, determinar de forma precisa os resultados dos ensaios.

A rede de perfurações para execução dos ensaios de tomografia sísmica compreendeu a execução de uma furação por cada bloco, tendo-se executado no total, cerca de 1.500 metros de furação, com recurso a dois equipamentos tipo DIAMEC. Após conclusão das perfurações os furos foram revestidos com uma tubagem metálica, tendo-se realizado então as duas campanhas de ensaios que permitiram ao Dono de Obra avaliar o estado do maciço nessas duas fases.

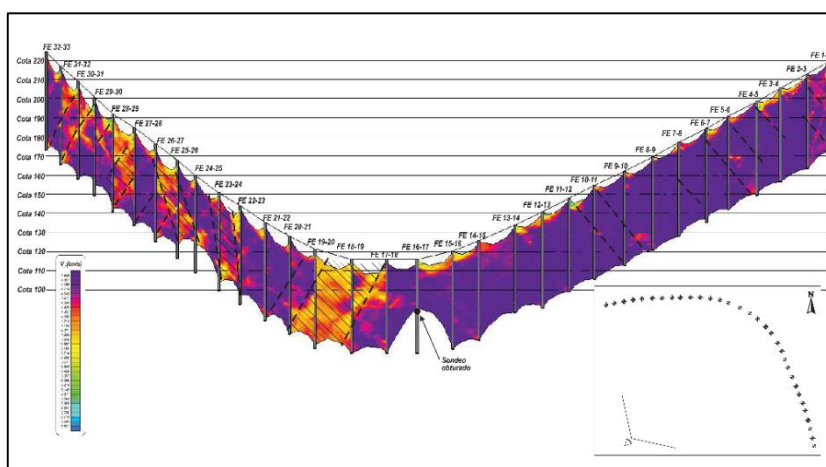


Figura 18 – Exemplo de dados recolhidos através de Tomografia sísmica (Brandão, 2014)

3.3.6 - Rede de Drenagem

A rede de Drenagem consistiu na realização de furações para alívio das subpressões que se venham a instalar na fundação e, decorrente desse alívio, a recolha e condução dos caudais drenados para as caleiras existentes nas galerias situadas no interior das barragens.

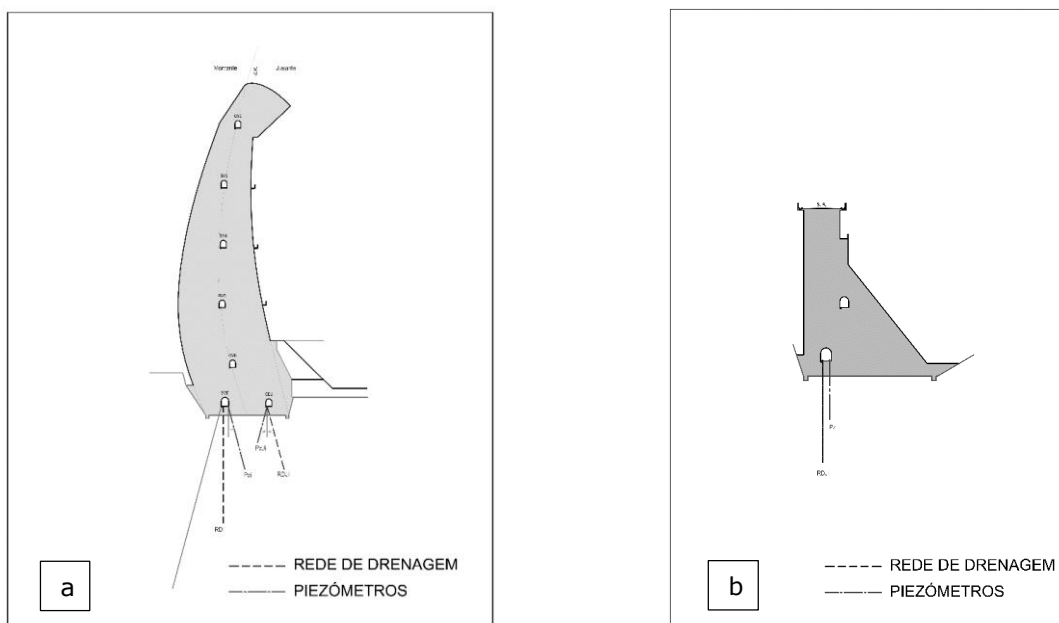


Figura 19 – Perfil Tipo das Redes de Drenagem e Piezometria – a) Escalão Montante; b) Escalão Jusante (Secades Suarez, 2014)

Essa rede consistiu na execução de perfurações de profundidade máxima de 41.5 metros e de 28.5 metros nos Escalões Montante e Jusante, respectivamente. O emboquilhamento destas furações foi munido de um terminal em tubagem inox de 2" ½, permitindo a recolha e medição dos caudais drenados.

As perfurações da rede de Drenagem foram executadas no maciço rochoso à rotopercussão com diâmetro 76 mm, com recurso a até 3 equipamentos de perfuração do tipo Beretta T43 (no Escalão Montante) e a um equipamento similar, no Escalão Jusante. No total foram perfurados cerca de 6.600 metros na formação da rede de Drenagem do Escalão Montante e de 1.300 metros no Escalão Jusante.

3.3.7 - Rede Piezométrica

A rede Piezométrica consistiu na realização de furações e posterior instalação de tomadas de pressão, com vista a monitorizar as pressões instaladas ao nível da fundação.

Essa rede consistiu na execução de perfurações de profundidade máxima de 24.0 metros e de 17.75 metros nos Escalões Montante e Jusante, respectivamente. O emboquilhamento destas furações foi munido de um terminal em tubagem inox de 2" nos quais foram instalados manómetros e transdutores de pressão de corda vibrante. Estes transdutores, bem assim como os instalados nos extensómetros e nos controladores de juntas, foram por sua vez ligados a centrais de leitura tendo-se instalado 7 Centrais de leitura e cerca de 23.000 metros de cabo de corda vibrante.

As perfurações da rede Piezométrica foram executadas no maciço rochoso à rotação com recolha de amostra de diâmetro 76 mm, com recurso a equipamentos de perfuração do tipo Diamec. No total foram perfurados cerca de 800 e 300 metros na formação da rede de Piezométrica dos Escalões Montante e Jusante, respectivamente.



Figura 20 – Terminal de Piezómetro



Figura 21 – Terminal de Dreno

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem, na elaboração da presente comunicação, ao Dono de Obra, EDP, e ao consórcio Baixo Sabor-ACE.

REFERÊNCIAS

- Brandão, A. (2014). Tratamento de Fundações da Barragem do Escalão Principal do Baixo Sabor. *Tese de Mestrado Integrado em Engenharia Civil. Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal.*
- EDP – Energias de Portugal, Barragem do Baixo Sabor (www.a-nossa-energia.edp.pt)
- Ferreira, F., Lima, C. (2000). Caracterização Geotécnica do Maciço Granítico do Local da Barragem Principal do Baixo Sabor. *VII Congresso Nacional de Geotecnia, Porto.*
- Ferreira, F., Cotelos Neiva, J.M., Lima, C. (2000). Geotecnia do Contra Embalse do Aproveitamento Hidroeléctrico do Baixo Sabor. *VII Congresso Nacional de Geotecnia, Porto.*
- Secades Suarez, J. (2014). Presa de Baixo Sabor. 14ª Jornada Técnica SEMSIG-AETESS, Madrid.