

BARRAGEM DA RAIVA - CASO SINGULAR DE TRATAMENTO DE IMPERMEABILIZAÇÃO DAS FUNDAÇÕES.

RAIVA DAM - SPECIAL WORKS IN THE GROUT CURTAIN

MACHADO DO VALE, José Luís. *Eng.º Civil. TECNASOL/FGE.*

TEIXEIRA DE SOUSA, Fernando. *Eng.º Civil. CPPE.*

FERREIRA, Ilídio. *Eng.º Civil. CPPE.*

RESUMO

Durante o primeiro enchimento da albufeira da barragem da Raiva constatou-se que a eficiência da cortina de impermeabilização não satisfazia os requisitos do projecto. Estudos complementares concluíram pela necessidade de se reforçar o tratamento de impermeabilização com recurso a um gel do tipo elástico de muito baixa viscosidade. Descrevem-se os trabalhos executados e faz-se uma análise do sistema de observação instalado e do comportamento da barragem até hoje.

ABSTRACT

During the first filling of the reservoir, flows and piezometric levels were found to be excessive regarding the anticipated safety levels and the exploration costs. From the investigation works developed it has been concluded to improve the grout curtain efficiency with an acrylic resin. The monitoring plan and its analysis is also presented.

1 - INTRODUÇÃO

A Barragem da Raiva, pertencente ao Aproveitamento Hidroeléctrico do Rio Mondego, está localizada a 10 Km a jusante da Barragem da Aguieira.

É uma barragem em betão, do tipo gravidade, com cerca de 210 metros de desenvolvimento ao nível do coroamento e com uma altura máxima sobre a fundação de 36m. A sua albufeira tem uma capacidade de 21×10^6 m³, dos quais 14×10^6 m³ correspondem ao volume possível de bombagem pela Aguieira. A central tem dois grupos Bolbo, com uma potência máxima, em regime contínuo de 2×12 MW.

O terreno de fundação da barragem é constituído por uma formação xisto-grauváquica, com xistosidade preponderante N 70°E e com disposição sub-vertical. O estado de fracturação, ainda que muito difuso e intenso, quase podendo ser considerado como homogeneamente distribuído, tem uma orientação preferencial próxima de N30°E e uma disposição muito variável, desde sub-vertical a sub-horizontal.

2 - TRATAMENTO DAS FUNDAÇÕES

2.1 - Tratamento inicial das fundações.

Do reconhecimento geológico/geotécnico inicial concluiu-se que era uma formação muito permeável, com cerca de 70% das áreas de permeabilidade superior a 10 unidades Lugeon que atingiam profundidades da ordem dos 30m. Na margem direita foi identificada uma falha de apreciável possança que justificou aprofundar-se a fundação do bloco 5D.

Na figura 1, no perfil desenvolvido pelo plano que contém a galeria geral de drenagem, representa-se o zonamento da permeabilidade, inferida a partir dos ensaios Lugeon realizados nos furos primários da cortina de impermeabilização de montante.

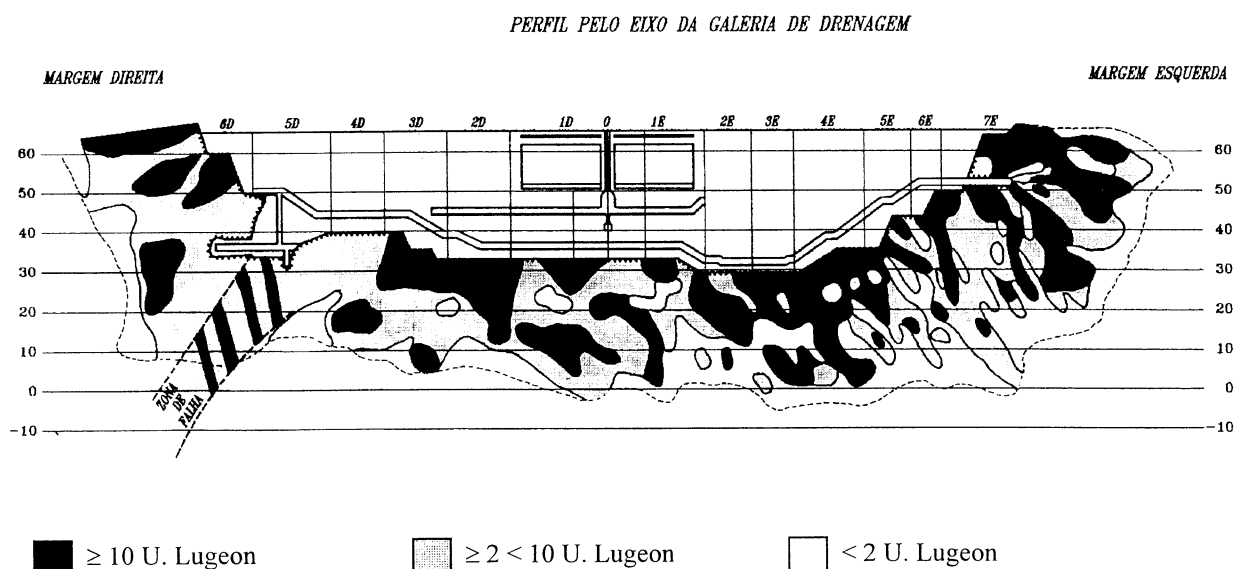


Figura 1 - Zonamento das permeabilidades iniciais.

Nestas formações, tendo em consideração a experiência de obras semelhantes, o tratamento de consolidação e impermeabilização mais adequado, é habitualmente constituído por injeções de cimento, pela eficiência que costumam atingir e pelo seu baixo custo.

O projecto de tratamento, com recurso à injeção de suspensões, atingiu uma profundidade média de 30 metros e consistiu nos seguintes trabalhos:

- Consolidação geral da fundação e de ligação betão-rocha;
- Cortina de impermeabilização a montante e a jusante;
- Rede de drenagem e piezométrica.

No tratamento geral das fundações foram perfurados cerca de 15.000 metros e injectadas 2.300 toneladas de cimento. Na figura 2 representam-se os esquemas tipo do tratamento executado na primeira fase dos trabalhos.

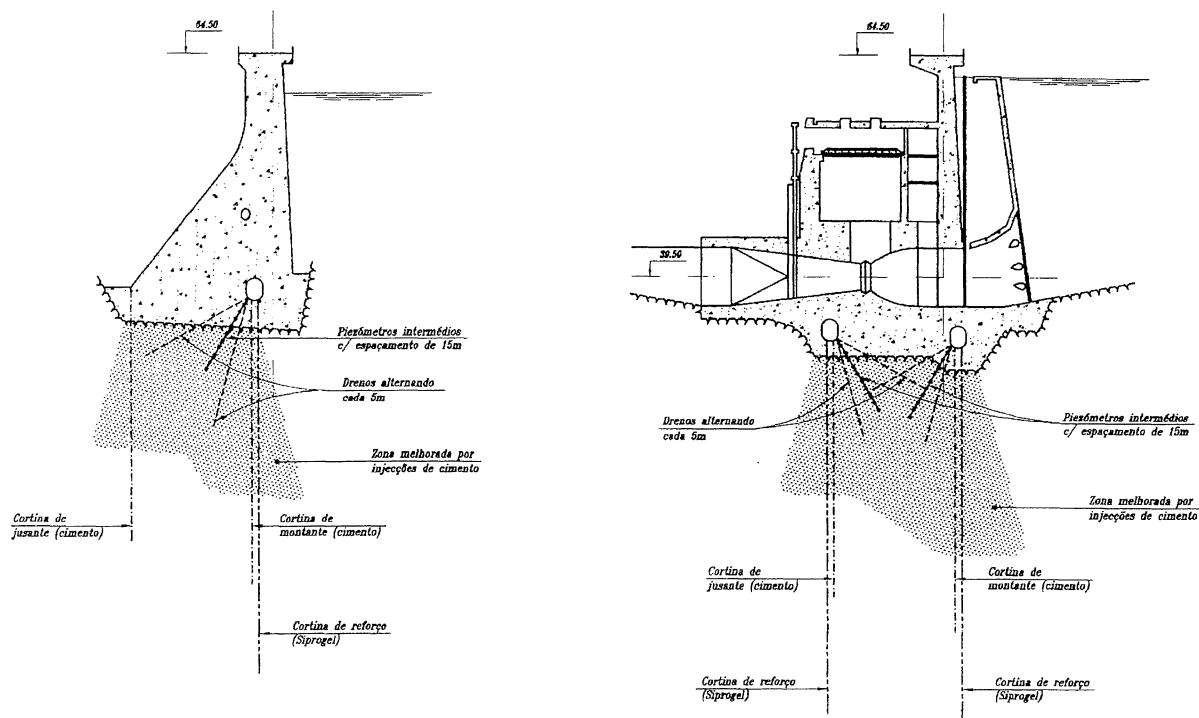


Figura 2 - Perfis tipo da barragem com esquemas de tratamento da fundação.

Durante o enchimento da albufera, pela observação do comportamento da rede de drenagem e piezométrica, constatou-se que os drenos debitavam caudais apreciáveis (da ordem dos 250 l/min.) e os piezómetros acusavam pressões que atingiam 60% da carga hidráulica, cerca do dobro admitido pelo projecto. De salientar que, nos encontros da barragem, constatarem-se fenómenos de instabilidade devidos ao estabelecimento de potenciais hidrostáticos, sobretudo na margem esquerda onde tinha havido maiores escavações para alojar a estrada de acesso à barragem.

2.2 - Medidas correctivas.

Decidiu-se corrigir esta situação por meio de trabalhos complementares de modo a aumentar a eficiência das cortinas de estanquidade e reforçar a rede de drenagem dos caudais percolados.

Para se escolher a solução mais adequada foi necessário recolherem-se mais elementos sobre as formações rochosas e o seu estado após as injeções.

Para tal realizou-se um novo estudo geotécnico, com várias sondagens ao longo do plano da cortina de montante e nos encontros, do qual se pôde concluir o seguinte:

- A ocorrência generalizada de um estado de fracturação muito difuso e intenso, na maioria dos casos de espessura muito fina, apresentando sinais evidentes de circulação de água, mesmo a cotas inferiores às das profundidades atingidas pelo tratamento inicial.
- A rocha era caracterizada por uma elevada rigidez e fragilidade, de tal modo que permitia a formação e difusão de novas fracturas após qualquer solicitação e descompressão aplicada. Por consequência, a

escavação, a construção, a pressão hidrostática, as vibrações e os próprios efeitos das injeções podem ter contribuído para a propagação das fracturas.

- Dos elementos recolhidos nas sondagens constatou-se que as zonas de grande permeabilidade foram substancialmente reduzidas pelo tratamento inicial, mas a maioria da cortina mantinha uma permeabilidade residual entre 2 e 10 U.L., o que justificava os elevados caudais drenados.
- O tratamento não tinha penetrado o suficiente nos encontros para garantir a estabilidade das encostas. Decidiu-se prolongar a galeria geral de drenagem 30 metros na margem direita e 70 metros na margem esquerda.
- Dos ensaios de injeção de caldas concluiu-se que as injeções de cimento atingiram praticamente o limite da sua aplicabilidade, pelo que nenhuma melhoria poderia ser obtida com esse tipo de caldas.
- De facto, dadas as condições de fracturação da rocha, com distribuição muito irregular e particularmente fina, qualquer suspensão de material granular, ainda que especialmente tratado e argiloso, não poderia penetrar de modo eficaz nessas fissuras.
- Do seu emprego forçado poderiam resultar efeitos contraproducentes e o estabelecimento de um estado de tensão adicional que provocaria a ulterior fracturação da rocha e mesmo dos produtos injectados.
- Dada a situação, o reforço da rede de drenagem e o prolongamento das galerias nos encontros não seriam suficientes para garantir a redução das subpressões para os níveis exigidos e, pelo acréscimo dos caudais drenados, resultariam elevados custos de manutenção e bombagem.

Concluiu-se pela necessidade de se reduzir a permeabilidade da fundação e dos encontros da barragem pelo reforço da eficiência da cortina de montante, prolongando-a em profundidade e nos encontros. Na figura 3 pode-se observar o zonamento das permeabilidades residuais inferidas das sondagens de reconhecimento complementar. Representam-se também duas falhas no encontro esquerdo que justificaram o prolongamento da galeria para garantir a drenagem do maciço no tardo das falhas.

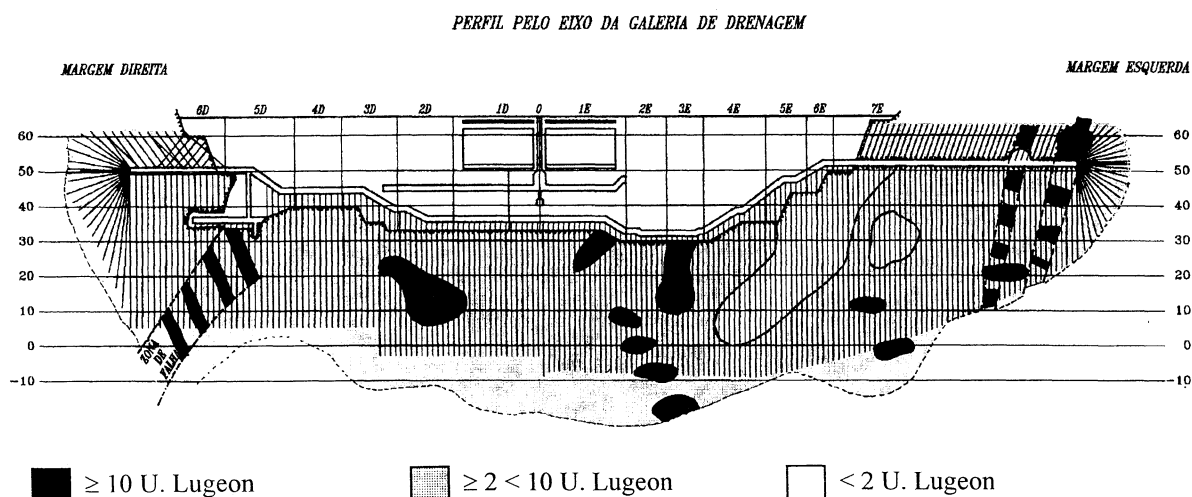


Figura 3 - Zonamento das permeabilidades após o tratamento inicial e furos da cortina de reforço.

2.3 - Solução escolhida para redução das permeabilidades.

Realizaram-se ensaios de injectabilidade para selecção dos produtos existentes no mercado que fossem susceptíveis de satisfazer os objectivos. Os ensaios realizados conduziram à selecção de um produto especial, o “SIPROGEL 10-25”, desenvolvido pela “RHÔNE-POULENC” e, na altura, com alguma experiência em aplicações semelhantes.

A escolha deste produto baseou-se nas seguintes propriedades:

- Viscosidade próxima à da água de modo a penetrar nas fracturas mais finas, que constituíam a maioria.
- Comportamento elasto-plástico de modo a adaptar-se, sem sofrer descontinuidades ou roturas, às solicitações futuras.
- Adesão à rocha e resistência à pressão hidrostática.
- Tempo de “presa” controlado pelo operador e expansibilidade até 100% do volume inicial.

A escolha definitiva do produto só ocorreu após um ensaio de injeccção na obra, no qual se confirmou que a solução química tinha uma capacidade de penetração perfeitamente adequada à natureza da rocha e ao sistema de fracturação que a afecta.

Este ensaio permitiu também determinar o espaçamento entre os furos de injeccção e as quantidades máximas a injectar em cada troço, de modo a garantir um diafragma contínuo de impermeabilização. Estabeleceu-se o espaçamento entre furos em 1,5 metros na margem esquerda e em torno da central, e em 1,8 metros na margem direita. A quantidade máxima a injectar em cada metro foi imposta em 200 litros e a pressão máxima em função do peso sobre o troço mas com um limite de 2 Mpa.

O método utilizado consistiu em proceder-se à injeccção em 3 fases, a 1ª com furos afastados de 6 ou 7,2 m injectando-se os furos por troços de 2 metros. O tempo de presa era controlado e fixado em cerca de 20 minutos com auxílio de um acelerador. O caudal era regulado em cerca de 15 l/min. de modo a garantir a formação do gel antes do fim da injeccção de cada troço.

Pudemos observar que à medida que se apertava a malha diminuían as quantidades injectadas (redução de 25% da 1ª para a 2ª fase e de 50% da 2ª para a 3ª fase) resultando no final uma absorção média de 62 l/m de furo (ver figura 4). Foram executados cerca de 12.000 metros de perfuração e injectados 740 m³ de gel.

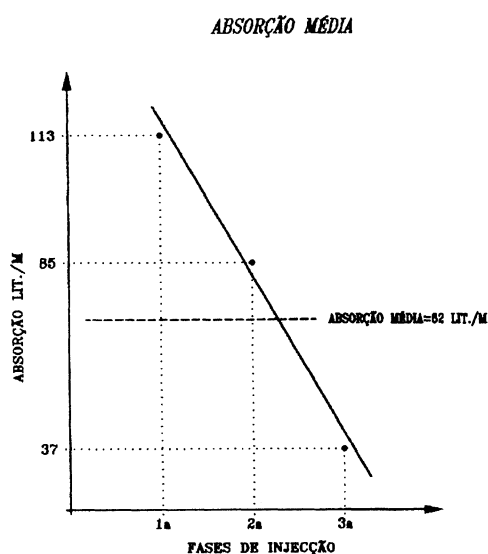


Figura 4 - Injeccção de Siprogel: absorção média

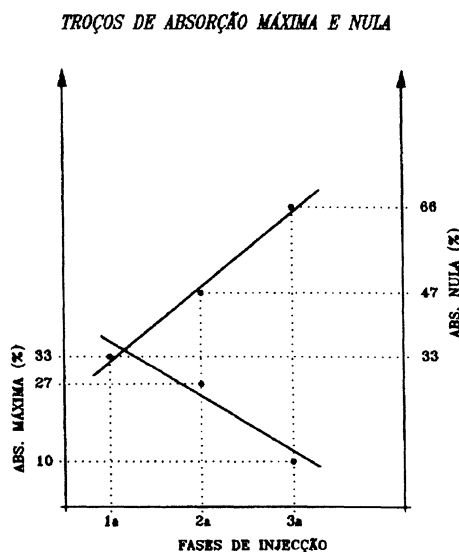


Figura 5 - Idem: troços de absorção máxima e nula.

Na figura 5 representa-se a evolução da ocorrência de troços com absorção máxima ou nula, entre as fases do tratamento, e na figura 6 apresentam-se os valores dos caudais medidos nos furos da cortina de impermeabilização antes da injeção de cada troço. Pode-se constatar que houve uma redução muito significativa das ressurgências medidas nos furos que, antes do tratamento (furos da 1ª fase), eram de 1,9 l/min.m e que após a injeção dos furos de 2ª fase eram apenas de 0,3 l/min.m. Com estes procedimentos de controlo a necessidade de execução de furos quaternários ou de verificação foi reduzida a raros casos nas zonas das falhas.

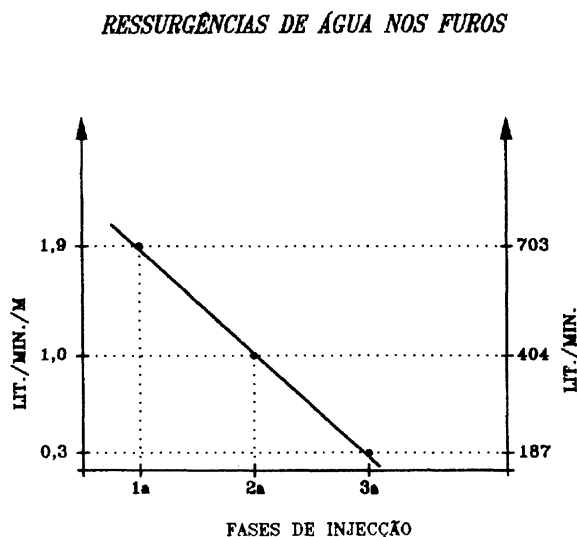


Figura 6 - Ressurgências de água medidos nos troços imediatamente antes da sua injeção.

Podemos concluir que o tratamento complementar da fundação atingiu uma eficiência, em termos práticos, de 100%.

3 - ANÁLISE DE COMPORTAMENTO DA ESTRUTURA DA BARRAGEM E SUA FUNDAÇÃO

3.1 - Plano de Observação

O Plano de Observação da Barragem da Raiva, elaborado pelo LNEC em Abril de 1976, por solicitação da então Companhia Portuguesa de Electricidade, definiu o sistema de observação da obra e as condições de recolha e tratamento dos dados para acompanhamento do comportamento da estrutura e da sua fundação.

De acordo com esse Plano de Observação, na superestrutura efectua-se o controlo dos deslocamentos radiais e tangenciais através de fios de prumo invertidos e métodos geodésicos, dos deslocamentos verticais do coroamento por nivelamentos geométricos de precisão e da abertura e deslizamento das juntas de contracção entre blocos com bases de alongâmetro. No maciço de fundação da barragem e nos encontros, controlam-se os valores dos caudais drenados e infiltrados bem como das subpressões instaladas na base da estrutura, através de piezómetros. Posteriormente, instalaram-se em 1984 oito extensómetros de fundação que fornecem os deslocamentos verticais de alguns pontos importantes da fundação. Em 1988 foi instalado um nono extensómetro, situado a jusante do bloco 2D, aquando do esvaziamento da albufeira, com o objectivo de detectar movimentos dos terrenos de fundação na zona correspondente ao desvio provisório onde tinham ocorrido sobrecavações.

3.2 - Análise dos valores observados

O presente documento inclui a análise dos valores recolhidos a partir de 1984 correspondentes aos fios de prumo, nivelamento do coroamento, extensómetros de fundação, caudais drenados e subpressões instaladas.

3.2.1 - Rede de drenagem

A rede de drenagem da barragem é constituída por numerosos furos localizados na galeria geral de drenagem e na galeria de fundação envolvente à Central Hidroeléctrica. A rede de drenagem prolonga-se nas galerias dos encontros e na galeria da falha da MD existem drenos com diversas orientações. Em virtude do elevado grau de eficiência do tratamento complementar e da baixa permeabilidade consequente, foram abertos novos drenos e reperfurados todos os drenos primitivos que tinham sido comunicados pelas injecções.

Ao nível do comportamento hidráulico da fundação verifica-se que o caudal total drenado se tem mantido sem evolução significativa nos últimos 10 anos, com valores médios compreendidos entre 15 e 20 l/minuto.

Os caudais infiltrados pelo corpo da barragem, registados a partir de 1994, estão compreendidos entre 3 e 14 l/minuto. Este controlo das infiltrações passou a ser efectuado após a realização de bicas colectoras.

Os caudais drenados na margem direita são superiores aos da margem esquerda sendo os seus totais de cerca de 10 l/minuto e de 5 l/minuto, respectivamente.

Por outro lado, embora pouco significativos, os caudais infiltrados na margem esquerda são ligeiramente superiores aos da direita, o que se deverá, também, ao prolongamento da galeria em rocha para o interior da encosta da margem esquerda.

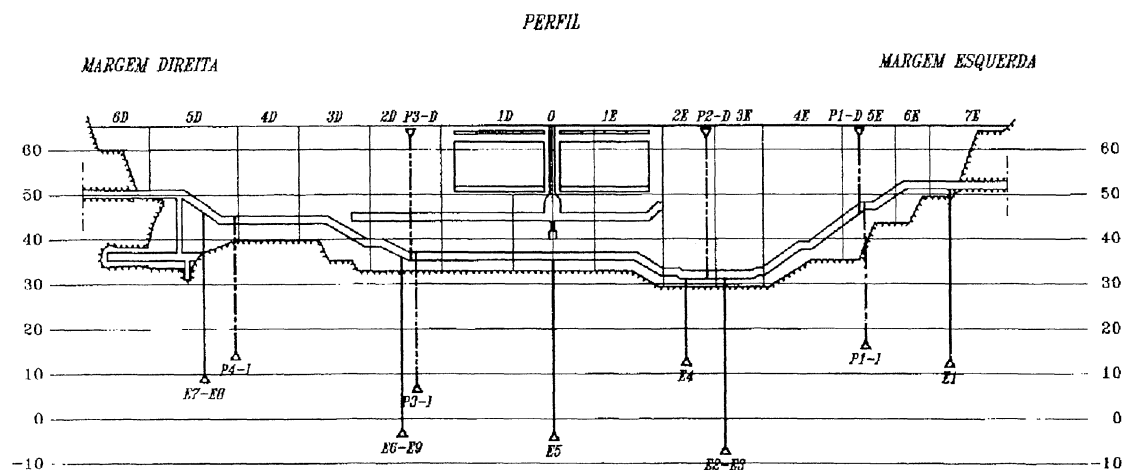
3.2.2 - Piezometria

As subpressões instaladas têm-se mantido dentro de parâmetros normais, atingindo as percentagens de carga valores habituais para estruturas deste tipo (entre 15 a 20%).

As excepções são o piezómetro PE0, instalado a montante da cortina no bloco central, com uma subpressão próxima de 1,5 kg/cm² (o que equivale a 65% da percentagem de carga) e o PM3A no bloco 2D (com uma percentagem de carga da ordem dos 60%). São, no entanto, subpressões bastante localizadas e que não têm registado evolução ao longo do tempo.

3.2.3 - Extensometria

A análise dos deslocamentos da fundação (dados pelos extensómetros de fundação verticais) mostra-nos, de uma forma geral, um comportamento estabilizado.



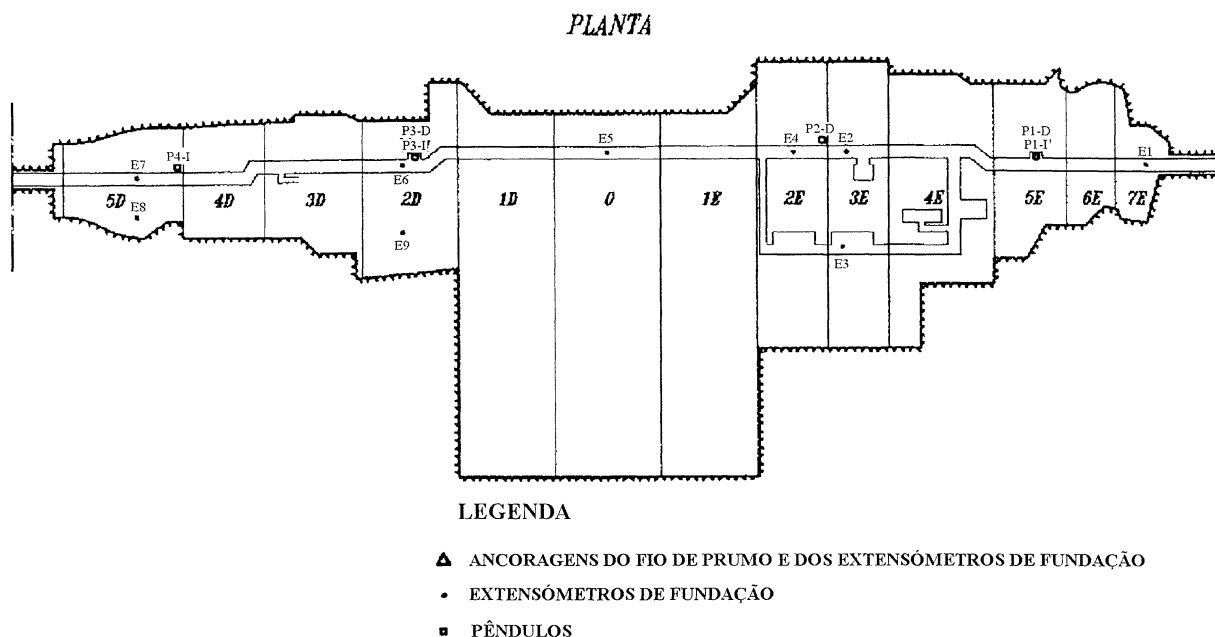


Figura 7 - Plano de Observação. Localização dos extensômetros de fundação e dos pêndulos da barragem.

Na figura 7 apresenta-se a estrutura dotada com os 9 extensômetros de fundação, com comprimentos variando entre 20 e 40.00 metros.

De salientar que no encontro direito (aparelhos n^{os} 7 e 8) e no encontro esquerdo (aparelho n^o1), se notam ligeiros empolamentos com alguma evolução, que no primeiro caso se cifra em 0.7 mm e no segundo em 0.8 mm ao longo de um período de tempo de cerca de 14 anos, revelando taxas anuais muito pequenas, da ordem dos 0.06 mm/ano.

3.2.4 - Na superestrutura

No que se refere à superestrutura, os deslocamentos fornecidos pelos fios de prumo, nos sentidos radial e tangencial, são normais e coerentes com a variação das acções hidrostática e térmica.

Ao nível do coroamento existem duas linhas de nivelamento, uma a montante e outra a jusante, que permitem verificar a não existência de indícios de movimentos de rotação da superestrutura.

4 - CONCLUSÃO

Do exposto, poder-se-á concluir que a estrutura tem apresentado ao longo dos últimos 10 anos um comportamento bastante satisfatório, designadamente no que se refere ao comportamento hidráulico e mecânico da fundação. Esta situação continua a reflectir os bons resultados conseguidos com o tratamento complementar da fundação realizado após o primeiro enchimento.