

# SUGESTÕES SOBRE NORMAS ESPECÍFICAS DE ESTUDO HIDROGEOTÉCNICO E DE TRATAMENTO DE MACIÇOS ROCHOSOS DE FUNDAÇÕES DE BARRAGENS

Suggestions for specific norms concerning hydrogeotechnical studies and the treatment of rock foundations of dams

VASCO G. FERNANDES\*

**RESUMO** — No presente artigo são apresentadas sugestões técnicas que são fruto de uma experiência profissional de mais de 30 anos no domínio dos estudos que antecedem a elaboração de projectos de barragens e nos de tratamento da sua fundação durante a fase de construção.

Com as sugestões e justificações apresentadas pretende-se contribuir para a aprovação de normas técnicas específicas de estudo hidrogeotécnico e de tratamento de maciços rochosos de fundações de barragens, a fim de uniformizar os critérios de actuação e de interpretação dos resultados, de modo a dar maior garantia de segurança às obras.

**SYNOPSIS** — This paper presents technical suggestions which are the result of a professional experience of more than thirty years in matters related to the design of dams and the treatment of their foundations during construction.

The suggestions which are presented and justified aim at contributing to the approval of specific norms for hydrogeotechnical studies and the treatment of rock foundations of dams. Thus construction criteria and the interpretation of results will be more uniform enhancing the safety of structures.

## 1 — GENERALIDADES

No Seminário sobre o Regulamento de Segurança de Barragens e Normas Complementares, realizado na D.G.R.N. em Novembro de 1991, foi apresentada uma minuta de Portaria sobre Normas de Projecto de Barragens que, no seu Art.º 3.º - Fase dos Estudos de uma Barragem, previa que estes tivessem o seguinte escalonamento:

- Programa-base
- Estudo Prévio
- Anteprojecto
- Projecto
- Projecto de Execução.

---

\* Engenheiro de Minas, Assessor Principal do Quadro da Direcção-Geral dos Recursos Naturais.

Com as considerações que se seguem pretende-se contribuir para a aprovação de normas hidrogeotécnicas, a ter em conta nas referidas fases de estudo de barragens e no tratamento dos maciços rochosos das suas fundações, de modo a uniformizar os critérios de actuação, quer no estudo que antecede a elaboração do projecto quer nas especificações técnicas que deveriam constar neste para serem cumpridas durante a execução da obra.

As sugestões apresentadas constituem matéria bastante específica pelo que deveriam ser devidamente analisadas por engenheiros especialistas em geotecnia de barragens, a fim de que as normas a aprovar possam proporcionar uma garantia benéfica, no campo técnico-económico, para os futuros empreendimentos de aproveitamento de recursos hídricos.

## 2 — SUGESTÕES SOBRE O ESTUDO HIDROGEOTÉCNICO A INCLUIR NO PROGRAMA-BASE

No Programa-Base, que constitui a primeira das fases que antecedem o Projecto de Execução de uma barragem, deveria constar um plano de trabalhos de estudo geotécnico, relacionado com a altura máxima estimada para a barragem, tipo de estrutura previsível (gravidade, abóbada, contrafortes, aterro, etc.) e natureza geológica não só do local mas também da área a submergir pela albufeira, tendo em consideração as sugestões que a seguir se apresentam.

### 2.1 — Visita prévia de reconhecimento geológico

A elaboração do Programa-Base deverá ser precedida de um reconhecimento geológico de superfície, do local da barragem e da albufeira, com o fim de servir de base à elaboração de um plano de prospecção geotécnica.

Estes trabalhos de prospecção deverão ser realizados antes da apresentação do Estudo Prévio, a fim de que este possa conter os elementos geotécnicos indispensáveis à tomada de decisão quanto à solução técnico-económica mais recomendável.

A realização de trabalhos complementares de prospecção só deverá ter lugar na fase que antecede a elaboração do Projecto e, em geral, só se justifica para barragens de dimensões médias, de 15 a 50 m, ou elevadas, com mais de 50 m de altura.

### 2.2 — Plano de trabalhos de prospecção geotécnica

Qualquer que seja o tipo de estrutura da barragem a projectar, deve ser elaborado um plano de trabalhos de prospecção geotécnica, de acordo com a morfologia, litologia, dimensões previsíveis para a obra e finalidade do empreendimento.

Este plano deverá conter, nas suas linhas gerais, a descrição dos trabalhos previstos de prospecção directa (valas, banquetas e galerias), de prospecção semi-directa (sondagens mecânicas de reconhecimento hidrogeotécnico com recuperação de testemunhos e de ensaios de permeabilidade tipo Lugeon e, eventualmente, tipo Lefranc) e de prospecção indirecta por método geofísicos (eléctricos e/ou sísmicos).

O plano de trabalhos de prospecção a apresentar no Programa-Base dependerá de vários factores, mas, nas suas linhas gerais, deverá obedecer, pelo menos, às especificações que se seguem.

### 2.2.1 — Caracterização geotécnica dos solos

No caso das barragens de aterro, se a morfologia no local do aproveitamento hidráulico a estudar e a litologia das formações geológicas que ali afloram, bem como na área a submergir pela albufeira, reunirem condições favoráveis à construção de uma barragem de aterro, os trabalhos de prospecção a realizar deverão incluir a determinação das características geotécnicas dos solos a utilizar na sua construção que, logicamente, conviria que fossem extraídos daquela área, desde que não afectem a sua estanqueidade, ou, por motivos económicos evidentes, em áreas vizinhas.

Para quantificar as terras a utilizar no aterro da barragem deverá proceder-se ao levantamento topográfico da área onde afloram as manchas de empréstimo e à execução de covas, eventualmente acompanhadas da realização de trabalhos de prospecção geofísica.

Durante a abertura das covas deverão ser colhidas algumas amostras representativas dos solos dominantes, devidamente identificadas quanto ao local e profundidade, para serem analisadas em laboratório de mecânica de solos.

### 2.2.2 — Litologia e espessura das aluviões

Se no local existirem depósitos aluviais deve proceder-se à determinação da sua espessura, segundo um perfil transversal ao vale, nas imediações do provável eixo da barragem.

Se a espessura dos depósitos aluviais for superior a cerca de meia dezena de metros e o nível freático estiver próximo da superfície, a confirmar por meio de retroescavadora, considera-se insuficiente a execução de trabalhos de prospecção directa (covas e/ou valas) segundo o referido eixo.

A espessura dos depósitos aluviais deverá, então, ser determinada por meio da execução de trabalhos de prospecção geofísica (método sísmico) e/ou de sondagens mecânicas, à percussão ou a trado e com revestimento provisório do furo, para conhecimento da litologia das camadas que constituem os depósitos aluviais e respectivas possanças, e, eventualmente, das suas características geotécnicas.

### 2.2.3 — Prospecção directa. Levantamento geológico

Qualquer que seja o tipo de barragem inicialmente previsto, se nas margens existirem afloramentos rochosos, mesmo que a rocha se apresente muito alterada a decomposta, deverá ser aberta uma vala em cada vertente e acima dos depósitos aluviais (segundo o provável eixo da barragem) de modo a pôr a descoberto o maciço de fundação, medianamente alterado a são, a fim de contribuir para a definição do tipo de estrutura a projectar.

As valas deverão ser limpas com vassoura ou com jacto de água, ou eventualmente com ar comprimido, de modo a proporcionar a medição das atitudes (direcção e inclinação) das descontinuidades geológicas que ali existam (estratificação, xistosidade, diaclasamento, falhas e filões).

Na medida do possível, estas atitudes deverão ser representadas em projecção estereográfica, com o objectivo de definir a atitude média de cada família de descontinuidades geológicas, a fim de contribuir para a determinação da atitude, tecnicamente mais recomendável, a dar aos furos quer de prospecção hidrogeotécnica a realizar na fase de elaboração do Estudo Prévio quer dos de tratamento do maciço de fundação a efectuar na fase de execução da obra.

O levantamento geológico da área a ocupar pela barragem deverá ser realizado à escala 1/200 ou 1/500, de modo a permitir a elaboração do seu zonamento geotécnico, enquanto o da área a submergir pela albufeira poderá ser à escala 1/5000.

Devem ser medidas as inclinações das superfícies de descontinuidade existentes (sobretudo nas vertentes sobranceiras à albufeira acima do NPA), e do tipo e densidade da vegetação que domina (arbustiva, arbórea ou outras) com o fim de avaliar a probabilidade de ocorrerem escorregamentos de encosta e de estimar o caudal sólido anual a assorear a albufeira.

#### 2.2.4 — Prospeccção semi-directa. Sondagens mecânicas e especificações técnicas dos ensaios de permeabilidade tipo Lugeon

Se a altura da barragem for superior a dezena e meia de metros ou a sua albufeira tiver uma capacidade superior a 100 000 m<sup>3</sup> (Art.º 2º do Decreto-Lei n.º 11/90 de 6 de Janeiro), independentemente do tipo de estrutura a projectar, deverão ser realizadas sondagens mecânicas, com recuperação de testemunhos e ensaios de injeccção de água, tipo Lugeon, a fim de ser determinado o comportamento hidráulico do maciço rochoso de fundação nos pontos a estudar, assim como as características dos mais importantes acidentes geológicos, se existirem.

Os testemunhos recuperados nas sondagens mecânicas, devidamente referenciados, deverão ser guardados em caixas apropriadas para posterior estudo petrográfico, observação visual do grau de alteração, afastamento entre descontinuidades, índice de qualidade da rocha (RQD), falhas, filões, etc.

O zonamento hidráulico do maciço de fundação será elaborado a partir dos resultados a obter nos ensaios tipo Lugeon.

Para a realização destes ensaios recomenda-se a utilização de 3 patamares de pressão de injeccção de água, o primeiro e o último arredondados para o mesmo número dígito mais próximo da máxima carga hidráulica correspondente ao NPA expressa em kgf/cm<sup>2</sup>, e o intermédio com valor superior ao anterior em cerca de 50%, mas sem exceder 1 MPa (10 kgf/cm<sup>2</sup>).

Para barragens de altura superior a cerca de 50 m recomendam-se os valores de 0,5 MPa (5 kgf/cm<sup>2</sup>), 1 MPa (10 kgf/cm<sup>2</sup>) e de novo 0,5 MPa (5 kgf/cm<sup>2</sup>) para as pressões dos ensaios tipo Lugeon a realizar, com a duração de 10 minutos em cada patamar, depois do valor da pressão ter estabilizado. Todavia, nos primeiros troços a ensaiar justifica-se a adopção de pressões mais baixas, pelo que, embora nesta fase de estudo os ensaios tipo Lugeon a realizar nos furos de prospeccção geotécnica dêem informações pontuais muito afastadas, se recomenda a utilização de pressões não superiores a 50% dos valores referidos anteriormente, até profundidades de cerca de 15 m.

Os referidos valores das pressões referem-se aos indicados no manómetro instalado junto da boca de cada furo, que poderão ser complementados pelos fornecidos por células a instalar no próprio troço de ensaio, naquele caso acrescidos da carga hidráulica sobre o mesmo, tendo em conta o nível freático.

Os valores das absorções medidas no primeiro e terceiro patamares de pressão durante o tempo referido, permitirão determinar a tendência do preenchimento das descontinuidades geológicas abrangidas pela circulação forçada da água no bolbo rochoso envolvente (colmatação, desobstrução ou indiferença), enquanto a admitância registada no valor mais elevado da pressão permitirá conhecer, em Unidades de Absorção (U.A.) expressas em l/min.m. kgf.cm<sup>-2</sup>, a profundidade máxima considerada tecnicamente recomendável para, na fase de construção da barragem, tratar o maciço rochoso de fundação.

Nos casos de regime laminar as U.A. poderão ser extrapoladas para Unidades Lugeon (U. L.).

Os valores das admitâncias medidos nos 3 patamares de pressão permitirão, ainda, determinar, percentualmente, os regimes de escoamentos, laminar, turbulento e intermédio, bem como os de pequena e grande variação da absorção. Este regime pode corresponder a uma desobstrução hidráulica, a uma deformação irreversível, ou a uma deformação reversível (elástica) no caso de o valor da absorção no terceiro patamar de pressão ser igual ou próximo do primeiro. Os dois primeiros casos permitem obter o valor da “pressão crítica”, que convém evitar nos ensaios tipo Lugeon a realizar antes do tratamento do maciço rochoso de fundação por meio de injeccções de calda, isto é, na fase de execução da obra.

Os casos de descompressão de bolsas de ar comprimido pela água injectada ou resultantes de deformações elásticas, caracterizados pela devolução de água após os ensaios tipo Lugeon, deverão ser registados quanto ao valor da pressão, do tempo e do volume de água devolvida.

Os valores das pressões de injeção de água nos ensaios de permeabilidade tipo Lugeon a executar na fase de estudo para a elaboração do Projecto serão distintos dos utilizados antes do tratamento do maciço rochoso de fundação.

Sobre a localização do primeiro ensaio de permeabilidade tipo Lugeon, recomenda-se a sua execução, apenas, abaixo dos primeiros 5 m de comprimento de cada furo, isto é, no troço dos 5 aos 10 m e seguintes.

Cada ensaio deverá ser sempre precedido de uma lavagem do troço do furo, com água limpa e um caudal superior ao utilizado na perfuração.

Durante a lavagem, o equipamento de perfuração deve ser colocado no fundo do furo para aumentar a velocidade de circulação da água, a fim de arrastar as partículas mais grosseiras não removidas anteriormente.

Para se proceder à colheita do maior número possível de dados técnicos sugere-se que os ensaios tipo Lugeon, nesta fase de estudo a serem executados em furos a abrir com sonda rotativa e amostrador de parede dupla, sejam realizados em avanço e por troços de 5 m de comprimento cada.

Se durante a realização de algum ensaio ocorrer uma absorção muito elevada de água, devido à compartimentação ou acidente geológico do maciço rochoso, o sondador deve colocar o obturador a 4 m do fundo do furo e repetir o ensaio a uma só pressão de valor igual à do segundo patamar, e assim sucessivamente em troços de 3, 2 e 1 m, se necessário, até à medição de um volume de água muito inferior ao da anómala admitância.

Este procedimento permitirá relacionar a parte do testemunho recuperado com a grande absorção registada, condições a ter em conta na fase de tratamento da fundação.

Cada furo só deve ser dado por concluído depois de, em dois troços consecutivos de 5 metros cada, serem medidas absorções de água iguais ou inferiores aos seguintes valores:

- barragens de aterro, ou de geometria semelhante
  - até 30 m de altura 0,3 U.A., por extrapolação 3 U.L.
  - de 30 a 50 m de altura 0,2 U.A., por extrapolação 2 U.L.
  - superior a 50 m de altura 0,1 U.A., igual a 1 U.L.
- barragens de betão
  - até 15 m de altura 0,2 U.A., por extrapolação 2 U.L.
  - superiores a 15 m de altura 0,1 U.A., igual a 1 U.L.

## 2.2.5 — Furos de prospecção geotécnica

O número de furos de prospecção geotécnica a realizar em cada local de barragem depende do comprimento desta. Contudo, recomenda-se que o menor número de sondagens mecânicas a executar em vales estreitos seja de 3 ou 4, distribuídos pelo leito (1 ou 2) e pelas margens (1 em cada).

A atitude a dar às sondagens mecânicas com recuperação de testemunhos e ensaios tipo Lugeon deve ser determinada a partir do levantamento geológico já referido, de modo a interceptar todas as famílias de descontinuidades geológicas segundo ângulos não paralelos nem perpendiculares aos das suas atitudes médias.

Sobretudo nos locais de barragens de médias ou grandes dimensões, as atitudes médias das descontinuidades geológicas existentes no maciço rochoso devem ser medidas, preferencialmente, na rocha pouco alterada a sã posta a descoberto no fundo das valas ou nos taludes sobranceiros aos patamares das banquetas a executar na fase inicial dos trabalhos de prospecção.

## 2.2.6 — Outros trabalhos de prospecção e ensaios geotécnicos

Se a barragem a projectar for de betão e a sua dimensão bem como a morfologia e a litologia do local o justificarem, deverão ser abertas galerias, pelo menos uma em cada margem, onde serão executados ensaios de deformabilidade, de corte e de deslizamento, e eventualmente de geofísica pelo método sísmico, e furos de sonda.

Os inertes a utilizar na construção da barragem deverão ser extraídos de pedreiras a criar nas imediações, para a localização das quais se deve ter em conta não só as características mecânicas da rocha a desmontar, mas também o impacte ambiental e a recuperação paisagística da área abrangida pela sua exploração, de acordo com a legislação vigente sobre esta matéria.

Os dados obtidos nos trabalhos de prospecção referidos deverão permitir a escolha da melhor solução técnico-económica a apresentar no Estudo Prévio, sem excluir a hipótese de, posteriormente, virem a ser executados trabalhos complementares destinados ao estudo quer da fundação da barragem quer da dos seus órgãos de segurança e exploração.

Assim, antes da apresentação do Projecto de Execução e no seguimento dos estudos referidos, poderão ser executados trabalhos complementares de prospecção geotécnica ajustados à dimensão e tipo de barragem (bem como às características hidrogeotécnicas do seu maciço de fundação, da galeria de desvio se existir e do descarregador de cheias), tendo em atenção os eventuais acidentes tectónicos-estruturais interessados pela futura obra.

Por motivos económicos, estes trabalhos deveriam ser realizados no seguimento dos já referidos para a elaboração do Estudo Prévio, embora este procedimento só muito raramente seja possível.

### 3 — CONSIDERAÇÕES SOBRE AS SUGESTÕES APRESENTADAS

Acerca das especificações técnicas sugeridas em 2.2.1 a 2.2.6 apresentam-se, nos capítulos seguintes, as justificações que se julgam ser tecnicamente aceitáveis sobre as mais importantes, considerando-se as não comentadas como demasiado evidentes, pelo que dispensam qualquer análise.

#### 3.1 — Número de patamares de pressão e comprimento dos troços a ensaiar

Os valores das absorções medidas nos 3 patamares de pressão dos ensaios tipo Lugeon, sugeridos em 2.2.4, permitem determinar:

- a tendência do recheio, existente nas descontinuidades geológicas abrangidas pela circulação forçada da água, para colmatação, desobstrução ou indiferença;
- os regimes de escoamento, que conduzem a prever o tipo dimensional do preenchimento daqueles vazios, e
- a mais importante informação que consiste na determinação da profundidade estimada para os furos da “cortina de impermeabilização” do maciço rochoso, a pormenorizar no Anteprojecto ou no Projecto da barragem, bem como a provável composição percentual das fases sólida e líquida das caldas a injectar.

Não se tem conhecimento de que a utilização de 5 ou 7 patamares de pressão apresentados nalguns projectos de barragens tenha conduzido à obtenção de qualquer dado útil para ser utilizado durante as injeções de calda, embora se admita que possam ter interesse teórico.

A execução de 5 ou 7 patamares de pressão tem o inconveniente de onerar a obra e retardar o fim do estudo hidrogeotécnico do maciço rochoso de fundação, que fica submetido a repetidas variações bruscas de injeção de água sob pressão, no bolbo rochoso envolvente de cada furo, situação que não ocorre durante a fase de exploração da barragem.

Parece ser admissível que o exagerado número de ensaios de injeção de água, a realizar em cada troço de furo, possa alterar as condições de escoamento hidráulico, proporcionando-lhe características eventualmente bem diferentes das naturais, que poderão ter reflexos nos resultados a obter nos ensaios tipo Lugeon a executar nos trechos seguintes de cada furo e, sobretudo, nas injeções de calda a efectuar na fase de construção da obra.

Com o objectivo de se conhecerem os dados técnicos referidos parece, pois, ser recomendável que o número de patamares de pressão seja de 3, durante a fase de estudo, bem como a não utilização de pressões excessivamente elevadas, com excepção de furos seleccionados para estudo.

Também na fase de execução da obra se considera exagerada a utilização de 3 patamares de pressão, assunto que será tratada mais adiante.

O comprimento de 5 m, sugerido em 2.2.4 para a realização de ensaios Lugeon, pode ser justificado pelas seguintes razões técnico-económicas.

No aspecto económico destaca-se o facto de 30 m de comprimento de furo necessitarem de 10 ensaios, se os troços forem de 3 m, enquanto aquele número descenderá para 6 se os trechos a injectar forem de 5 m.

Do ponto de vista técnico também se considera não haver interesse em utilizar, nos ensaios tipo Lugeon, troços de 3 m de comprimento de furo quer nos maciços pouco diaclasados quer nos intensamente fracturados.

Sobretudo nestes aumenta a probabilidade de não se conseguir um isolamento hídrico, perfeitamente estanque, do troço a ensaiar, mesmo que os obturadores tenham um comprimento apreciável.

Se o troço a ensaiar tiver o comprimento de 5 m, em vez de 3, existem maiores probabilidades de executar o ensaio em boas condições de estanqueidade à custa da eventual redução daquele valor para 4m, 3m, ou mesmo menos, até à localização do acidente geológico responsável pela fuga de água.

### 3.2 — Valores das pressões de injeção da água

Os valores das pressões de injeção de água sugeridas em 2.2.4 parecem ser tecnicamente aceitáveis como norma, pois, só um dos patamares irá atingir um valor superior em cerca de 50% à máxima carga hidráulica prevista para o NPA e em barragens não muito altas.

Aqueles ensaios de injeção de água, a realizar com a duração de 10 minutos, têm um carácter quase pontual se se atender ao reduzido número de furos de prospecção geotécnica a executar ao longo do eixo da barragem durante a fase de estudo que antecede a elaboração do Projecto.

Assim, embora a profundidade de tratamento do maciço rochoso seja determinada a partir dos resultados obtidos nos ensaios realizados com valores de pressões superiores em cerca de 50% ao da máxima carga hidráulica, apenas a ter lugar em barragens de pequena e média altura, prevê-se que este procedimento não tenha reflexos negativos importantes nas condições naturais de percolação de água através do referido maciço, nem no seu comportamento mecânico, sobretudo na eventual desobstrução de descontinuidades geológicas muito finas onde a calda, por ser mais viscosa, posteriormente, não penetra.

Para grandes barragens, o máximo valor da pressão a aplicar no segundo patamar de injeção de água é de 1 MPa (10 kgf/cm<sup>2</sup>), enquanto no primeiro e no terceiro é, geralmente, de 0,5 MPa (5 kgf/cm<sup>2</sup>).

A utilização de equipamentos modernos para medir o valor da pressão média no troço em ensaio, ou o cálculo das perdas de carga localizadas e distribuídas ao longo da tubagem situada abaixo do manómetro instalado à superfície, poderá parecer um preciosismo de interesse prático ainda duvidoso.

De facto, quanto for alcançado o NPA, a água que irá circular, por gravidade, através das descontinuidades geológicas do maciço rochoso não receptivas à calda injectada, devido à sua reduzida abertura, atingirá a profundidade do troço em ensaio com uma carga hidráulica muito menor do que a injectada nos ensaios Lugeon, em consequência das perdas de carga através daquelas descontinuidades.

Todavia, como a moderna tecnologia permite determinar a pressão média do troço em ensaio de um modo simplista, é perfeitamente admissível a sua utilização, até porque se reconhece haver interesse em normalizar os ensaios em análise.

Por outro lado, como as pressões utilizadas nas injeções de água nos ensaios tipo Lugeon são exercidas durante períodos muito curtos, é admissível que, na fase de estudo para Projecto, se possam utilizar, em furos seleccionados, valores bastante superiores aos das cargas hidráulicas correspondentes aos dos NPA que, eventualmente, possam atingir a pressão crítica responsável pela desobstrução hidráulica, ou deformação irreversível, designações que parecem, tecnicamente, mais correctas do que “fracturação hidráulica”.

A determinação desta pressão crítica, que resulta de ensaios realizados com água, não deve ter, na quase totalidade dos casos, qualquer relação com semelhantes valores da pressão a aplicar nas injeções de caldas de tratamento do maciço rochoso, atendendo ao facto de as viscosidades destas serem muito superiores às daquela.

As áreas das descontinuidades geológicas “tratadas” pelas caldas são muitíssimo menores do que as “lavadas” pela água dos ensaios tipo Lugeon, devido à menor viscosidade desta.

Assim, parece ser tecnicamente aceitável que as pressões de injeção de calda possam ultrapassar a pressão crítica, desde que não ocorram fugas nas proximidades e a carga do maciço rochoso e do aterro, ou betão, sobrejacente o permita.

Em sondagens verticais a medianamente inclinadas os valores das pressões de ensaio de injeção de água não deveriam sofrer variação com o comprimento do furo depois dos 15 m de profundidade, atendendo ao facto de a pressão da água, a injectar no segundo troço perfurado e seguintes, aumentar, progressivamente, de um valor superior ao que resulta do acréscimo da carga hidráulica natural correspondente ao NPA devido à perda de carga ser, em geral, mais elevada neste caso.

### 3.3 — Principal objectivo dos ensaios de permeabilidade tipo Lugeon

No capítulo 2.2.4 são referidos os dados a obter nos ensaios tipo Lugeon.

De entre os elementos a determinar, para serem apresentados no Projecto, merecem destaque especial os valores das U.A., com o objectivo de estimar o comprimento médio dos furos

de injeção de calda e, portanto, a profundidade de tratamento do maciço rochoso de fundação, bem como o seu custo aproximado.

Os valores medidos nas absorções de água também dão informação útil sobre a composição percentual da calda a injectar.

Quanto aos restantes dados a obter nesta fase de estudo, por se tratarem de informações pontuais, têm interesse muito reduzido no tratamento do maciço rochoso de fundação durante a construção da obra.

### 3.4 — Valores das absorções de água definidores dos comprimentos dos furos de prospecção

As sugestões apresentadas em 2.2.4, de que cada furo só deveria ser dado por concluído depois de serem medidas absorções iguais ou inferiores a determinado valor dependente da altura e do tipo de barragem, são, logicamente, passíveis de discussão.

O critério sugerido baseia-se numa já vasta experiência profissional de utilização daqueles valores durante um período de tempo de que não se teve conhecimento da existência de qualquer acidente em barragens portuguesas que conduzisse à sua alteração. Todavia, aceita-se a utilização de critérios que se traduzam na economia da obra, desde que não afectem a sua segurança.

É provável que, futuramente, aqueles valores venham a ser ajustados de acordo com novas recomendações sobre a segurança de barragens.

Quanto aos valores limites das absorções de água, expressos em U.A., acima dos quais se recomenda o tratamento do maciço rochoso por meio de injeções de calda, poderão parecer exagerados à primeira vista. Contudo, o acréscimo de dispêndio com o referido estudo, relativamente a outros valores limites mais suaves, é insignificante em relação ao custo total da obra, que assim fica beneficiada em termos de garantia de um melhor conhecimento do comportamento hidráulico do maciço de fundação.

De salientar que este critério se refere à fase de estudo geotécnico, durante a qual apenas é realizado um número reduzido de furos.

Na fase de tratamento do maciço rochoso de fundação, por meio de injeções de calda, não se justifica a obtenção de dois troços consecutivos de baixa admitância porque a absorção de calda nestes trechos é praticamente nula devido à viscosidade desta ser superior à da água.

No que se refere à obtenção de absorções, inferiores a determinado valor, em dois troços consecutivos de 5 m cada na fase de estudo para Projecto, esta sugestão parece ser tecnicamente recomendável para furos inclinados (por exemplo, para o caso de uma sondagem inclinada a 50° com a vertical resulta uma profundidade de  $5 \times 2 \times \sin 40^\circ = 6,4$  m).

Para furos verticais, ou quase, que já tenham atingido uma zona profunda do maciço rochoso, um troço de 5 m poderá ser suficiente desde que a sua absorção de água seja inferior ao valor prefixado e no trecho anterior não tenha sido muito elevada.

## 4 — SUGESTÕES SOBRE ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS A SEREM APRESENTADAS NO PROJECTO

Nos capítulos que se seguem são abordadas sugestões sobre algumas das especificações a que deveriam obedecer os Projectos de barragens, com destaque para as recomendadas sobre o tratamento dos seus maciços rochosos de fundação.

### 4.1 — Conclusões hidrogeotécnicas inferidas dos trabalhos de prospecção

Do ponto de vista técnico-económico o Projecto de cada barragem deve apresentar as conclusões extraídas dos resultados obtidos nos trabalhos de prospecção geotécnica realizados, bem como o plano de tratamento da sua fundação, devidamente pormenorizado sobre o saneamento da barragem, ensaios tipo Lugeon, atitude e afastamento dos furos da “cortina de impermeabilização” e de consolidação, assim como de outros elementos com interesse para a melhor execução da obra projectada.

Se no Estudo Prévio não constarem as conclusões inferidas dos resultados obtidos nos ensaios de injeção de água tipo Lugeon, que deveriam ter sido realizados em conformidade com as sugestões descritas no Programa-Base, recomenda-se a sua apresentação de acordo com o esquema que se segue.

Elaborar, para cada furo, um quadro resumo onde constem os seguintes elementos:

- atitude;
- comprimentos dos troços ensaiados;
- valores dos volumes de água absorvida durante 10 minutos em cada patamar de pressão;
- pressões de ensaio em cada patamar;
- valores das absorções, calculados à máxima pressão, expressos em U.A. (l/min. m.kgf.cm<sup>-2</sup>);
- regimes de escoamento determinados a partir dos valores das absorções registados no primeiro e segundo patamares de pressão;
- tendências das descontinuidades geológicas inferidas dos valores das absorções registados no primeiro e no terceiro patamares executados à mesma pressão;
- volumes de água devolvida, tempos e pressões respectivas para os casos de deformações elásticas;
- pressões críticas resultantes de casos de desobstrução hidráulica ou de deformação irreversível.

Executar um quadro final com o número total de furos, as percentagens de cada regime de escoamento e das tendências das descontinuidades geológicas, assim como a profundidade de tratamento da fundação prevista para cada local de furo.

Desenhar um perfil longitudinal da barragem onde serão projectados todos os acidentes geológicos atravessados pelos furos de prospecção geotécnica realizados, bem como os resultados obtidos nos ensaios tipo Lugeon, com o fim de definir os zonamentos hidráulico e geotécnico do maciço rochoso a tratar.

Apresentar, também, os resultados obtidos nos trabalhos de prospecção directa (valas, galerias, etc.), de prospecção indirecta (geofísica pelos métodos sísmico e/ou eléctrico), de análises de laboratório de mecânica de solos se tiverem sido executadas, etc..

### 4.2 — Recomendações gerais a que deverá obedecer o tratamento do maciço rochoso de fundação

Por motivos económicos evidentes, os furos de tratamento da ligação betão-rocha, de consolidação ou de “impermeabilização” do maciço rochoso de fundação deverão ser executados com equipamento pneumático rotoperkutivo, com destruição dos testemunhos mas com recuperação de poeiras a fim de evitar a poluição atmosférica responsável pelas pneumoconioses.

A execução de furos com sondas rotativas, equipadas com amostradores de parede dupla, só poderá merecer preferência na realização de trabalhos diferentes dos referidos nos capítulos que se seguem.

#### 4.2.1 — Saneamento da fundação da barragem e dos seus órgãos

O Projecto deve apresentar as áreas que, devido à existência de vegetação arbórea, exijam precauções especiais para a remoção de raízes profundas, a executar durante os trabalhos de saneamento da fundação da barragem, bem como os volumes estimados de rocha “in situ” eventualmente a desmontar sem e com explosivos em data anterior à da realização das injecções de consolidação e/ou de “impermeabilização” do maciço rochoso.

O saneamento da fundação, a realizar por meio de equipamento mecânico, depende do tipo de estrutura da barragem e deve abranger, para as de aterro, a escavação de todo o solo vegetal e a rocha decomposta a muito alterada, independentemente da sua origem ígnea, sedimentar ou metamórfica, enquanto para as de betão este deve assentar sobre rocha sã a pouco alterada.

No caso de barragens de betão onde existam falhas, com caixas ou zonas esmagadas envolventes, ou filões, fracturados ou constituídos por rocha muito alterada a decomposta, o saneamento da fundação deve ser feito à custa da sua remoção, que tomará a forma de uma vala, com taludes inclinados a cerca de 20° a 30° com a vertical, de modo a que as tensões a transmitir pelo betão se dissipem no maciço rochoso envolvente.

As velocidades de propagação das ondas sísmicas longitudinais, determinadas nos trabalhos de prospecção indirecta, permitem prever a ripabilidade do terreno e o tipo de escarificador (ripper) a utilizar na escavação, de acordo com os seguintes valores aproximados:

- até  $1,5 \times 10^3$  m/s ..... escarificador do tipo D7F
- até  $2,0 \times 10^3$  m/s ..... escarificador do tipo DH8
- até  $2,5 \times 10^3$  m/s .... escarificador do tipo D9G
- até  $3,0 \times 10^3$  m/s ..... escarificador do tipo D10

Se durante a execução dos trabalhos de saneamento da fundação de qualquer barragem aparecer uma ou mais exsurgências, deve proceder-se à sua captação.

Posteriormente, para além do grau de importância da sua localização deverá ser determinado o seu caudal e, se possível, a carga piezométrica das água afluentes, tendo em vista a sua condução, por gravidade, para jusante ou montante, sem excluir a hipótese de, temporariamente, serem bombeadas, a fim de não afectarem a estrutura a instalar sobre a captação durante a fase de construção da barragem.

No Projecto deverá ser indicado o valor estimado da espessura média da escavação prevista para o saneamento da fundação da barragem, incluindo os seus órgãos de segurança e exploração.

Na medida do possível, convém que sejam feitas referências geotécnicas sobre os locais das mais importantes variações daquele valor, em consequência da provável existência de áreas deprimidas resultantes de acidentes geológicos ou constituídas por rocha decomposta, eventualmente resultantes da ocorrência de culturas ou de vegetação arbórea, ou por saliências de rocha pouco alterada que, frequentemente, aparece nos cabeços.

Também deve ser indicado no Projecto o valor da quantidade total de betão pobre estimado para preencher as cavidades postas a descoberto pelos trabalhos de saneamento da fundação da barragem, a fim de regularizar a sua superfície, sobretudo nas de aterro, ou similares, com elevados cocientes entre o seu comprimento e a sua altura, ou nas que tenham uma área apreciável de “saia”.

Nos casos em que o descarregador de cheias não faça parte do corpo da barragem, estimar os valores da escavação média e, eventualmente, do volume de betão pobre a utilizar na regularização da fundação para a solução técnico-económica mais favorável, tomando como base os resultados obtidos nos trabalhos de prospecção geotécnica ali realizados.

#### 4.2.2 — Características dos furos da “cortina de impermeabilização”

A partir da determinação dos valores das atitudes médias das descontinuidades geológicas, medidas durante o levantamento geológico efectuado para o Estudo Prévio e confirmado ou corrigido imediatamente após o saneamento da fundação da barragem, com o auxílio da rede de Wulf deve ser definida a atitude geral a dar aos furos da “cortina de impermeabilização”.

Se, eventualmente, aquelas atitudes médias forem diferentes nas duas margens, a atitude a dar aos furos da “cortina” também poderá ser diferente em cada uma delas.

Os furos da “cortina de impermeabilização” não deverão fazer ângulos inferiores a cerca de 15° com os planos correspondentes às atitudes médias das famílias de descontinuidades geológicas, valor que só para famílias pouco representativas poderá aproximar-se um pouco mais do paralelismo aos mesmos.

O plano a definir pelos furos da “cortina de impermeabilização” deve ser vertical ou ligeiramente inclinado para montante.

A fim de evitar que se criem subpressões na referida “cortina”, que poderão ter efeitos prejudiciais, o plano definido pelos seus furos nunca deve descer para jusante.

Se existirem duas ou mais hipóteses de atitude a dar aos furos da “cortina” deve ser preferida a que corresponder aos furos mais próximos da vertical, a fim de reduzir os custos da furação e dos volumes de calda a injectar no bolbo rochoso envolvente dos mesmos.

Para os furos muito profundos da “cortina de impermeabilização”, executados em maciços rochosos fracturados de permeabilidade média a elevada, a tolerância máxima admitida para desvio da sua atitude deve ser de 3%, valor que, quando excedido, implicará a execução de novo furo ao lado do anterior.

As primeiras minicortinas de injeção de calda a serem executadas deverão situar-se nas cotas mais baixas, a fim de reduzir a probabilidade de ressurgência de caldas à superfície, e as últimas nos encontros da barragem, com furos laterais complementares dirigidos para as margens sob a forma de leque.

Por motivos económicos, em barragens de aterro ou de geometria semelhante, a cortina deverá ser executada a partir do paramento de montante e sob o núcleo quando a altura deste atingir um valor cuja carga hidráulica a transmitir ao terreno de fundação se aproxime das máximas pressões de injeção de calda a aplicar no primeiro troço de 5 m de cada furo, assunto que será tratado em 4.2.6.

Em geral, nas barragens de aterro homogéneo a “cortina de impermeabilização” deve ser executada a partir do paramento a submergir pela albufeira, a cerca de 1/3 do seu extremo de montante, medido na base do aterro segundo um perfil transversal à barragem.

Para barragens com “núcleo impermeável” a “cortina de impermeabilização” deve ser executada no terço de montante do núcleo, medido na direcção montante-jusante.

Nas barragens com o filtro localizado próximo da “cortina de impermeabilização”, a execução desta exige cuidados especiais a fim de evitar que aquele fique diminuído na sua função drenante devido à penetração da calda.

A “cortina de impermeabilização” a realizar em barragens de betão deve situar-se no lado de montante da soleira da galeria de drenagem.

Alguns projectistas de barragens, para evitar eventuais prejuízos económicos devidos à falta de entendimento entre os empreiteiros da construção civil e das injeções de tratamento da fundação, têm adoptado a solução de sanear uma faixa, de cerca de meia dúzia de metros de largura antes do início da construção da barragem, com o objectivo de aí ser executada a “cortina de impermeabilização”.

Posteriormente, esta faixa é cheia de betão pobre e, depois de serem executadas 2 ou 4 fiadas de furos de contenção pouco profundos, procede-se à execução da “cortina de impermeabilização”, até à profundidade recomendada no zonamento hidráulico apresentado no Projecto, seguindo-se a colocação do aterro sobre o betão, ficando por tratar o contacto entre ambos, *que é a superfície mais vulnerável à percolação da água da albufeira para jusante.*

Embora exista um filtro na barragem, esta solução é passível de proporcionar a fuga de caudais, progressivamente crescentes, a médio ou longo prazo da sua exploração, não sendo de excluir a hipótese de ocorrerem fenómenos de erosão interna no aterro (piping) que possam criar instabilidade à obra.

#### 4.2.3 — Furos de ligação betão-rocha e de consolidação do maciço rochoso

As atitudes médias das famílias de descontinuidades geológicas, anteriormente definidas para a determinação da atitude geral a dar aos furos da “cortina de impermeabilização”, deverão permitir o conhecimento de outras atitudes tecnicamente menos recomendáveis para aquele fim mas passíveis de serem utilizadas para a execução de furos de ligação betão-rocha e de consolidação do maciço rochoso de fundação, de barragens de betão. Contrariamente aos furos da “cortina de impermeabilização”, os de ligação betão-rocha e de consolidação poderão ser dirigidos em qualquer direcção, mas, preferencialmente, com a inclinação mais próxima possível da vertical, embora se recomende que não sejam paralelos, ou muito próximos, dos valores das atitudes médias das famílias de descontinuidades geológicas existentes no maciço rochoso de fundação, a fim de proporcionar maior eficiência ao tratamento pretendido.

Nestes furos não serão realizados ensaios de injeção de água tipo Lugeon e o fim de cada um dependerá, apenas, dos valores das absorções de calda, a qual, considerando o objectivo pretendido, será constituída exclusivamente por cimento, água e, eventualmente, uma pequena percentagem de bentonite para aumentar a sua fluidez, o que deverá permitir melhor tratamento do maciço de fundação.

#### 4.2.4 — “Cortina de impermeabilização”

Para diminuir a fuga de caudais da albufeira, que também poderão ter reflexos negativos na estabilidade da barragem, deve constar no projecto um plano de tratamento do maciço de fundação, por meio da execução de uma “cortina de impermeabilização”.

Com o objectivo de uniformizar o critério de execução de modo a aumentar a eficiência e a economia do tratamento, recomenda-se que cada “cortina de impermeabilização” seja constituída por minicortinas de injeção de calda, cada uma delas formada por furos primários, secundários, terciários e de verificação, de acordo com o esquema que se segue.

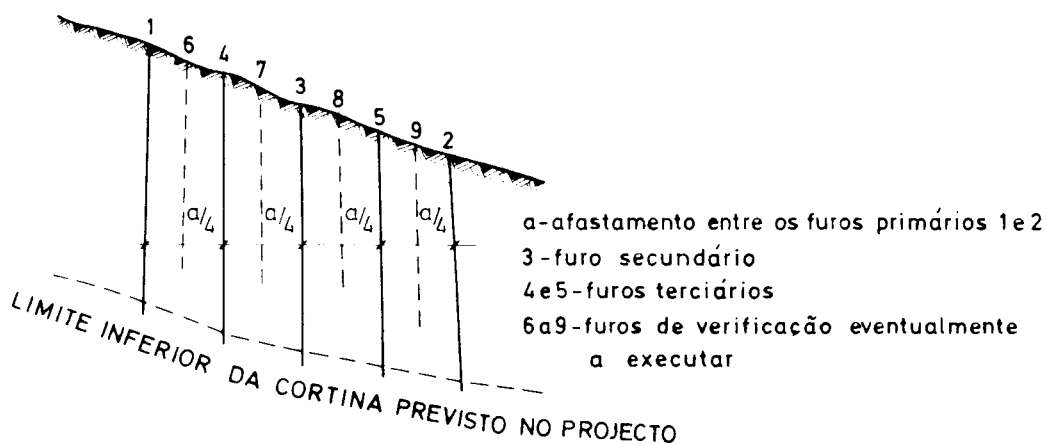
Os primeiros furos a serem executados serão os primários, cujo afastamento poderá ser de 16, 18, 20, 22 ou 24 m por exemplo, o que permitirá a execução simultânea de várias minicortinas de injeção de calda.

Nos maciços rochosos mais permeáveis o afastamento entre furos primários poderá ser de cerca de 24 m enquanto nos menos permeáveis aquele valor convirá que seja da ordem dos 16 m, ficando os restantes para serem aplicados em situações intermédias, sem excluir o seu relacionamento com o valor da carga hidráulica resultante da sua localização desde o leito até aos encontros da barragem.

Equidistante dos furos primários serão realizados os secundários, com ensaios tipo Lugeon a serem executados sempre nestes dois tipos de furos.

Entre os furos primários e os secundários serão executados os terciários, tal como se indica no esquema.

## MINICORTINA DE INJECCÃO DE CALDA



Se a análise dos valores da calda injectada revelar a existência de números exagerados num ou em mais troços de qualquer dos três tipos de furos anteriores, serão executados furos de verificação, equidistantes dos já existentes, até profundidades semelhantes aquelas onde foram registadas absorções anormais.

### 4.2.5 — Ensaio tipo Lugeon nos furos da “cortina de impermeabilização”

Durante a execução das minicortinas de injeção de calda, que integram a “cortina de impermeabilização”, serão realizados ensaios de injeção de água tipo Lugeon apenas nos furos primários e secundários, cujo afastamento entre si deverá variar entre cerca de 8 e 12 m.

Para este último valor, que corresponde à distância de 24 m entre furos primários, poderá ter lugar a realização de ensaios tipo Lugeon também nos furos terciários, que distam cerca de 6 m dos primários/secundários, se as condições geológicas do local o justificarem devido à eventual existência de acidentes geológicos, variações litológicas, etc., para os quais se preveja um comportamento hidráulico diferente.

Como a principal finalidade dos ensaios tipo Lugeon, na fase de execução da obra, consiste em definir a profundidade de tratamento do maciço de fundação, por motivos técnico-económicos evidentes, há todo o interesse em eliminar os ensaios menos úteis, assim como o seu tempo de execução que, logicamente, têm reflexos no seu custo.

De acordo com esta análise recomenda-se a realização de ensaios tipo Lugeon nos furos referidos, apenas, no troço de 5 m que antecede a profundidade de tratamento estimada no Projecto e, eventualmente, no trecho seguinte (ou seguintes) até à medição de valores de absorção previamente definidos.

A fim de não aumentar excessivamente a saturação do bolbo rochoso a injectar de seguida com calda, a duração destes ensaios deverá ser de 5 minutos e com um valor de pressão, por arredondamento, não muito superior ao da máxima carga hidráulica prevista no talvegue para o NPA.

Nos furos de verificação nunca serão realizados ensaios tipo Lugeon, circunstância também extensível aos furos terciários, para os quais, como se referiu, poderão constituir excepção as condições citadas.

Todavia, os furos de verificação poderão ser ensaiados desde que se preveja a sua utilização como piezómetros. Os furos onde forem realizados ensaios tipo Lugeon (primários, secundários e eventualmente terciários) serão dados por concluídos após a medição, num único troço de 5 m, de absorções de água de valores iguais ou inferiores aos recomendados na fase de estudo geotécnico que antecedeu a elaboração do Projecto.

Na fase de execução da obra não se justifica prolongar a furação até à obtenção de 2 troços consecutivos com valores de absorção iguais ou inferiores aos recomendados no Projecto, atendendo a que a absorção de calda nestes trechos deverá ser praticamente nula, o que onera e não beneficia, de modo significativo, o tratamento pretendido devido à sua profundidade.

A profundidade a atingir nos furos de verificação, assim como nos terciários desde que nestes não tenham sido realizados ensaios tipo Lugeon, será intermédia entre a atingida pelos seus vizinhos primários e secundários.

A propósito do tratamento do maciço rochoso de fundação de barragens de betão, por meio da lavagem de descontinuidades geológicas com dispersivos a injectar em furos executados para este fim e onde, posteriormente, terão lugar injeções de calda, recomenda-se a maior prudência na sua realização, que deverá ser antecedida de um estudo técnico-económico adequado.

Convém não esquecer que os produtos finos, do calibre da argila, removidos das descontinuidades geológicas irão criar vazios que não serão totalmente preenchidos pela calda devido à viscosidade desta ser mais elevada, o que poderá dar origem a uma diminuição da capacidade de carga do maciço no bolbo rochoso “tratado”.

#### 4.2.6 — Caldas. Constituição, características, tipos e valores das pressões de injeção

A constituição das caldas a aplicar no tratamento dos maciços rochosos de fundações de barragens, para além do aspecto económico, deve ter em conta, sobretudo, o objectivo técnico pretendido.

Se o tratamento a efectuar tiver por finalidade a consolidação do maciço de fundação e a ligação betão-rocha, a calda a aplicar deve ser constituída por cimento, água e, eventualmente, uma pequena percentagem de bentonite para aumentar a sua fluidez.

Para as injeções que tenham o objectivo de reduzir a fuga de caudais, quer através do contacto aterro-fundação quer do maciço rochoso subjacente, recomenda-se a aplicação de caldas de argila-cimento.

Em qualquer dos casos o cimento recomendado é o vulcano de alto-forno com 60 a 80% de escória, que relativamente ao Portland normal tem a vantagem de ter menor fissuração e maior estabilidade.

Aquele cimento também tem maior resistência quer aos ácidos quer em meios salinos, assim como mais elevado tempo de presa, o que faz aumentar o volume do bolbo rochoso a tratar.

Quanto às argilas a utilizar, que poderão atingir o valor de cerca de 75% do peso da fase sólida da calda, recomenda-se que não sejam expansivas (montmorilonite), devendo ser exigidas aos concorrentes as seguintes determinações em laboratório(\*) e em obra(\*\*):

- limites de Atterberg(\*),
- curva granulométrica completa(\*),
- viscosidade(\*) e
- actividade(\*).

Para as caldas de argila/cimento recomendam-se as seguintes determinações, para o caso de 75% e 25% de A/C:

- permeabilidade de provetes ao fim de 28 dias(\*),
- resistência à compressão ao fim de 7 e de 28 dias(\*),
- retracção(\*),
- decantação(\* e \*\*),

- tempo de presa(\* e \*\*),
- viscosidade(\* e \*\*) e
- densidade(\* e \*\*).

Os tipos de caldas a aplicar nas injeções devem ser apoiados em critérios de que o apresentado a seguir pode servir de exemplo.

Um gel de calda com o volume de 100 l, constituído por 45 kg de argila e 15 kg de cimento pode ser diluído em água e dar origem a mais 4 tipos de calda, a saber:

n.º 1 – gel diluído em 150 l de água

n.º 2 – “ “ “ 100 l “ “

n.º 3 – “ “ “ 50 l “ “

n.º 4 – “ “ “ 25 l “ “

n.º 5 – gel que, com a composição referida constitui a calda mais viscosa.

Ainda a título de exemplo, sugere-se que para absorções de água, nos ensaios tipo Lugeon, inferiores a 0,4 U.A. a calda a aplicar em primeiro lugar deva ser a n.º 1, com um volume a definir, por exemplo 500 l, finda a absorção da qual seria injectada a n.º 2 e assim sucessivamente até atingir a n.º 5, se entretanto não houver nega.

Para absorções de água compreendidas entre 0,4 e 0,8 U.A. a injeção de calda poderia ter o seu início com a n.º 3 passando depois para a n.º 4 e posteriormente para a n.º 5.

Quando as absorções de água nos ensaios tipo Lugeon forem de 0,8 a 1,2 U.A. a primeira calda a injectar seria a n.º 4 e depois a n.º 5, enquanto para admitâncias superiores a 1,2 U.A. será dada prioridade a esta última, eventualmente, complementada por outra mais fluida ou mais espessa.

Nos furos onde não sejam realizados ensaios tipo Lugeon, o critério a adoptar deverá apoiar-se nos resultados obtidos nos furos mais próximos onde existam aqueles dados.

As centrais de preparação das caldas devem ser instaladas o mais próximo possível do local de tratamento do maciço rochoso e equipadas com um contador electrónico de modo a permitir, com bastante rigor, o registo das quantidades de calda injectada.

O máximo valor da pressão que se sugere para as injeções de calda é de cerca de 2 vezes o valor da tensão que o maciço rochoso transmite no ponto médio do troço a injectar, adicionado ao da sobrecarga de aterro ou de betão.

Cita-se como o exemplo o caso de um maciço granítico para o qual se estima o peso específico do 2,6 tf/m<sup>3</sup> e um aterro de 1,9 tf/m<sup>3</sup>.

Para a profundidade de 15 m no granito e uma cobertura de aterro de 10 m resultaria a pressão de injeção de calda de  $P = 11,6 \text{ kgf/cm}^2 \cong 1,2 \text{ MPa}$  ( $P = 2 (10 \times 1,9 + 15 \times 2,6) = 116 \text{ tf/m}^2$ ).

Para o caso do primeiro troço de 5 m a ser injectado no maciço rochoso seria  $P \cong 5 \text{ kgf/cm}^2 = 0,5 \text{ MPa}$  ( $P = 2 (10 \times 1,9 + 2,5 \times 2,6) = 51 \text{ tf/m}^2$ ).

A justificação para a utilização deste critério baseia-se no facto de a calda circular em áreas restritas das descontinuidades geológicas e exercer pressões, apenas, localizadas, embora mais elevadas do que as transmitidas pela água nos ensaios tipo Lugeon devido a esta ser mais fluida e actuar em áreas superiores às das caldas, procedimento que não deve prejudicar a resistência do maciço rochoso.

Se nos ensaios tipo Lugeon, realizados na fase de estudo que antecedeu a elaboração do Projecto, não existirem muitos casos de regime de escoamento anormal por grande variação da absorção (desobstrução hidráulica ou deformação irreversível) os valores das pressões de injeção de calda poderiam ultrapassar os registados naquele regime mas sem exceder os anteriormente referidos.

Nos ensaios em que ocorram muitos casos de desobstrução hidráulica ou deformação irreversível, recomenda-se que os valores das pressões das caldas a injectar não devam exceder, em muito, os valores médios correspondentes aquele regime de escoamento.

Em qualquer dos casos de injeção de calda, na área de tratamento do maciço rochoso de fundação, deve existir uma vigilância apertada a fim de evitar fugas daquele gel de tratamento.

## 5 — CONSIDERAÇÕES FINAIS

As sugestões apresentadas, algumas das quais justificadas com argumentos técnico-económicos baseados numa experiência profissional de mais de 30 anos no domínio do estudo geotécnico e do tratamento de fundações de barragens, têm o objectivo de contribuir para aprovação de normas específicas, por meio de legislação a publicar, a fim de uniformizar a linguagem e procedimentos técnicos dos especialistas na matéria em referência.

Para finalizar, considera-se perfeitamente aceitável que as especificações sugeridas não tenham total aceitação, embora se julgue que o seu conteúdo, associado a outros contributos semelhantes elaborados por técnicos especialistas na matéria, possa servir para ajudar a desejada aprovação de Normas Específicas de Estudo Hidrogeotécnico e de Tratamento de Fundações de Barragens.