

# TRATAMENTO DE FUNDAÇÕES DE BARRAGENS POR INJEÇÕES – TÉCNICAS DE PROGRAMAÇÃO E CONTROLO\*

## The Treatment of Dam's Foundations by Means of Injections – Programming and Control Techniques

por

J. L. TOCHA SANTOS\*\*

**RESUMO** — Descrevem-se as características das diagragias instantâneas digitalizadas dos paraâmetros de furação em sondagens destrutivas e a sua aplicação no pré-dimensionamento do tratamento por injeções de fundações de barragens, em solos ou em maciços rochosos, e também no controlo da sua qualidade na fase de execução. O recurso a esta técnica pode permitir, nos casos apropriados, a redução substancial de ensaios de permeabilidade tipo Lugeon. Nestes, a utilização de instrumentação adequada permite a redução do seu tempo de execução para 30% da duração tradicional.

Refere-se a vantagem do registo instantâneo dos parâmetros de injeção (pressão, caudal e volume de calda absorvida) e da sua utilização para controlo automático das centrais de injeção.

**SYNOPSIS** — The characteristics of automatic and digitalized recording of drilling parameters in destructive bore-holes and its application in the design of dam foundation grouting in soils or rock formations, and also in the quality control during the construction, are described. The use of this quality control during the construction, are described. The use of this technique can eventually reduce the required number of Lugeon permeability tests for design and quality control. Also, the use of modern measuring and recording equipment can reduce the Lugeon test duration to 30% of previous practices.

The advantages of the electronic recording of grouting parameters (pressure, flow and amount of grout) and its use in the automatic control of grouting plants are referred.

---

\* Comunicação apresentada no painel sobre a «Geotecnia nas Grandes Barragens», realizado na Fe. de Engenharia do Porto em 7/5/85, sob o patrocínio da S.P. Geot. e da O. Eng.

\*\* Geólogo MSc (Eng Geo) DIC, HIDROPROJECTO.

## 1. INTRODUÇÃO

Classicamente, os trabalhos de injeção para tratamento de terrenos compreendem cinco operações sucessivas:

- 1.º — reconhecimento geológico da zona a tratar;
- 2.º — execução dos furos;
- 3.º — colocação dos obturadores e ensaios de permeabilidade;
- 4.º — injeção propriamente dita;
- 5.º — controlo de qualidade.

Graças às tecnologias actuais de medição e registo, instantâneos e contínuos, dos parâmetros de furação e de injeção, é possível hoje em dia agrupar algumas das operações citadas, conduzindo a uma simplificação do processo, com as inerentes vantagens económicas, garantindo-se, ao mesmo tempo, um elevado nível de qualidade.

Referir-se-á a utilização de técnicas de registo contínuo e automático de:

- a) parâmetros da furação dos furos de injeção (diagrfias instantâneas);
- b) parâmetros dos ensaios Lugeon;
- c) parâmetros de injeção.

## 2. DIAGRAFIAS INSTANTÂNEAS DOS FUROS DE INJEÇÃO

É bem sabido que o conhecimento geológico disponível nos projectos se baseia principalmente em informações pontuais, mais ou menos distanciadas entre si, facto que naturalmente pode acarretar, na fase de execução, o aparecimento de discrepâncias, tanto mais pronunciadas quanto maior for o grau de heterogeneidade do terreno de fundação.

Esta dificuldade pode ser contornada acompanhando a execução de todos os furos de injeção por diagrfias instantâneas dos parâmetros de furação. Após correlação com a informação geológica obtida através de algumas sondagens com recuperação de tarolos, torna-se possível conhecer as condições reais do terreno, com o pormenor correspondente ao espaçamento da malha de implantação dos furos de injeção.

Os parâmetros de furação geralmente utilizados são:

- VA — velocidade de avanço
- VR — velocidade de rotação da broca
- CR — binário de rotação

- PO — pressão sobre a ferramenta
- VO — percussão reflectida.
- PI — pressão do fluido de circulação
- G/P — ganho/perda do fluido de circulação

A selecção dos parâmetros é feita tendo em conta, por um lado, o que o método de furação destrutiva permite medir e, por outro lado, aqueles cuja variação traduz melhor as singularidades do terreno.

Os parâmetros que estão relacionados com a permeabilidade dos terrenos são PI e G/P, sendo este último apenas mensurável nas sondagens à rotação com fluido de circulação em circuito fechado. A utilização nos furos de injeção de diagrfias instantâneas de um destes parâmetros, ou de ambos, pode contribuir para diminuir a quantidade dos ensaios de permeabilidade.

Em regra, a utilização de diagrfias instantâneas de apenas dois ou três dos parâmetros acima listados pode ser suficiente para a generalidade dos casos.

O resultado imediato das diagrfias é um gráfico cuja interpretação fornece informação adequada só para um primeiro nível de interpretação que é essencialmente qualitativa. É mais vantajosa a digitalização dos resultados para tratamento informático posterior, uma vez que isso torna possível a sua manipulação e exploração em termos de caracterização litológica, de análise da fissuração e, nos casos aplicáveis, das características mecânicas e de permeabilidade, possibilitando deste modo o zonamento geotécnico do maciço.

Na Fig. 1 esquematiza-se o processo de obtenção de registos numéricos das diagrfias de furação.

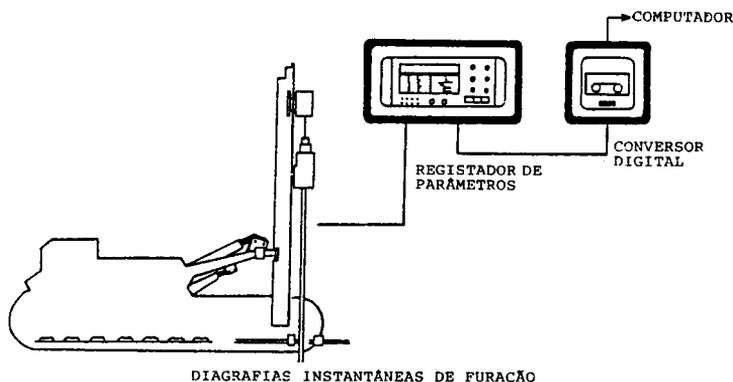


FIG. 1 — Esquema do dispositivo para obtenção de diagrfias instantâneas digitalizadas

As diagrafas instantâneas valorizam os furos de injeção, proporcionando o conhecimento detalhado das condições geológicas do local e permitem prever, não só o tipo de calda adequado, mas também estimar as quantidades a injectar, por correlação com os resultados dos trechos experimentais de injeção, realizados na fase de projecto ou no início da fase de construção.

Além disso, podem servir como controlo ou indicador da melhoria de qualidade do maciço, em simultâneo com a realização dos trabalhos de injeção. Com efeito, os parâmetros de furação dos furos de ordem progressivamente superior (secundários, terciários, etc.) vão retratando a evolução das características mecânicas do maciço, resultantes da injeção nos furos de ordem imediatamente inferior e mesmo das características de permeabilidade, se for possível medir os parâmetros com ela relacionados.

Para este fim, é particularmente útil a digitalização dos resultados de todas as diagrafas, para permitir o seu tratamento informático no próprio estaleiro. Este pode consistir na análise estatística dos resultados obtidos, o que permite quantificar a eficácia do tratamento introduzido no maciço rochoso.

Esta tecnologia é correntemente aplicada nas obras da E.D.F. - Electricité de France, tendo sido usada nas barragens de Grand Maison, Montesic, Lapparant e La Roseille. Foi também intensamente utilizada na barragem de Oymapinar na Turquia, em mais de 40 000 m de furos de injeção, e nas barragens de Haut Sebau (Marrocos), Manantali (Mali) e Paloma (Chile). Está em curso de aplicação num túnel do metropolitano de Milão e num túnel em Genève.

### 3. PARÂMETROS DO ENSAIO LUGEON

Conforme o esquema de montagem indicado na Fig. 2 existem aparelhos que, seguindo a metodologia preconizada por Lugeon, permitem medir e registar, de forma contínua, sem intervenção do operador, as grandezas que caracterizam a permeabilidade do terreno:

- a) a pressão da água injectada (que é medida à cota do ensaio através de um transdutor instalado no interior do trecho testado). Trata-se do valor da pressão efectiva, não necessitando de qualquer correcção devida às perdas de carga ou ao peso da coluna líquida sobre o trecho em ensaio;
- b) o caudal instantâneo da água injectada;
- c) o volume total da água absorvida durante o período correspondente à aplicação do patamar de pressão utilizado.

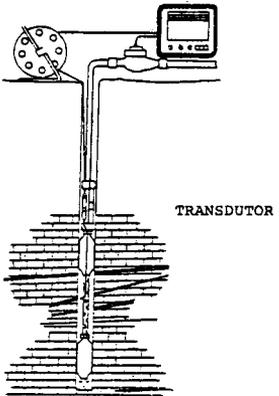
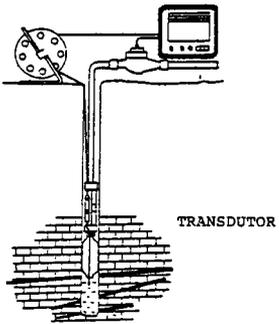
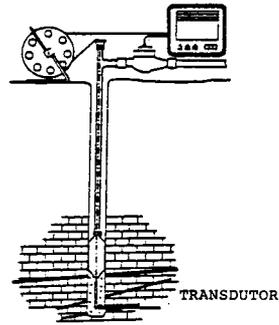


Fig. 2 — Dispositivos para registo instantâneo e contínuo dos parâmetros do ensaio Lugeon.

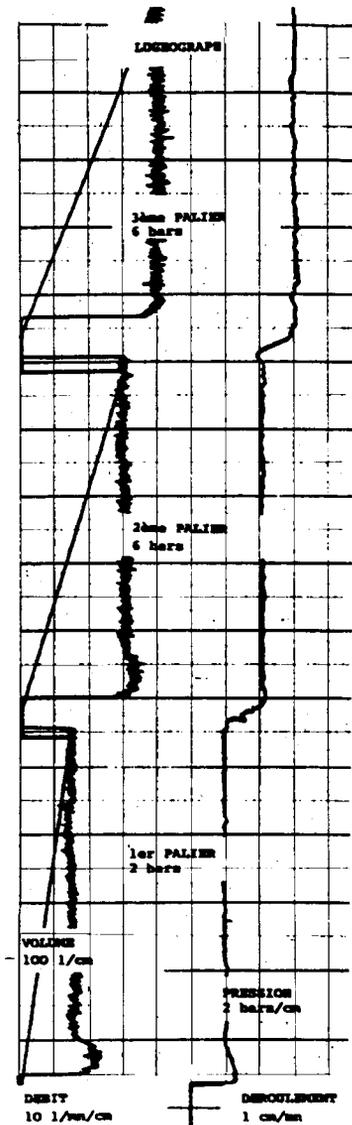


Fig. 3 — Extracto de um registo do ensaio Lugeon obtido com um dos dispositivos representados na Fig. 2.

O gráfico com o registo simultâneo das medições das três grandezas referidas, desenrola-se em função do tempo com uma velocidade conhecida. Como se pode observar no exemplo da Fig. 3, o gráfico mostra o desenvolvimento completo do ensaio e permite apreciar a reacção do terreno da água nele introduzida sob pressão e, em particular, fenómenos tais como a colmatagem, lavagem do preenchimento, dilatação das fissuras, fracturação hidráulica, etc..

Como é possível seguir a evolução de todo o ensaio, nomeadamente o grau de estabilização da pressão e do caudal, não se torna indispensável esperar os clássicos 10 minutos por cada patamar de pressão utilizado. A redução do tempo de ensaio e do tratamento dos respectivos resultados tem grande importância económica, sendo conhecidos casos em que, quando se utiliza este tipo de equipamento (nomeadamente em algumas obras da E.D.F.), se especifica a duração do ensaio em 2-3 minutos após a estabilização da pressão.

#### 4. PARÂMETROS DE INJECCÃO

As novas técnicas permitem o registo contínuo e automático do caudal instantâneo e do volume total de calda absorvida em cada trecho e da pressão de injeccão, através de aparelhos que podem ser instalados quer em bombas de pistão, quer em bombas rotativas.

O registo gráfico, que se desenrola a uma velocidade do papel seleccionada pelo operador, apresenta assim três curvas correspondentes às três grandezas medidas, mostrando claramente toda a operação de injeccão (Fig. 4).

Cada um dos parâmetros de injeccão referidos pode ser afectado de um valor pré-estabelecido. Logo que esse valor é atingido, existem automatismos de aviso ou de alarme para o operador, que podem também ser ligados directamente à central de injeccão, permitindo a interrupção automática do funcionamento da bomba.

Além de particularidades instrumentais que servem para optimizar o aspecto gráfico dos registos, os aparelhos oferecem a possibilidade de ligação a um conversor digital, para posterior tratamento informático dos resultados.

As vantagens que estas novas técnicas oferecem em relação às anteriores são as seguintes:

- a) maior rapidez e clareza na determinação da nega;
- b) maior pormenorização da evolução da absorção da calda e portanto maior facilidade de decisão sobre alterações da dosagem (do que resulta maior eficácia e rapidez do processo de injeccão);
- c) o acompanhamento da evolução das curvas de absorção da calda pode permitir utilizar pressões de injeccão mais altas, sem provocar rotura do terreno, o que

contribui, nos casos aplicáveis, para uma penetração mais rápida de calda, ganhando-se assim tempo significativo;

d) maior fiabilidade e melhoria da qualidade dos registos de injeção, com redução drástica do volume de papel e tempo gasto no processamento dos dados. Isto traduz-se em maior facilidade para a Fiscalização, na tomada de decisões e na redução de mão-de-obra qualificada;

e) permite estabelecer, em função dos resultados experimentais, regras para o resto da empreitada, cujo controlo pode ser feito por via informática;

f) proporcionam um instrumento de medição do trabalho realizado, sem margem para dúvidas, nas questões de facturação e pagamento.

Entre as obras de construção de barragens onde tem sido aplicada a técnica de medição e registo automático e instantâneo dos parâmetros de injeção, com ou sem processamento informático dos resultados, podem citar-se, para além de algumas barragens da E.D.F., em França, as barragens de Ridgway, Colorado, e de Upper Stillwater no Utah, ambas do Bureau of Reclamation (E.U.A.), a barragem de Kotmale no Sri Lanka e várias barragens no Canadá tais como as das minas Rio Algom e Denison.

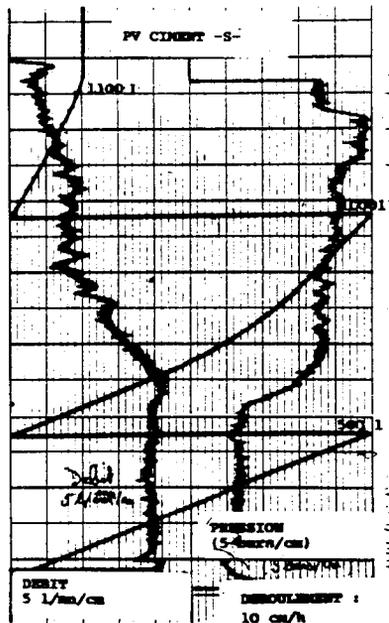


Fig. 4 — Extracto de um registo de parâmetros de injeção onde se constata uma nega à penetração de calda

## 5. CUSTOS PREVISÍVEIS EM PORTUGAL E SUA INCIDÊNCIA NA ECONOMIA DAS OBRAS

Os equipamentos electrónicos em que se fundamentam as tecnologias aqui descritas são geralmente fornecidos em regime de aluguer.

Admitindo um rendimento de furação de 60 m/dia e por sonda, a realização de diagrfias instantâneas digitalizadas representará uma mais valia em relação aos furos de injeção executados tradicionalmente, da ordem de cerca de 10 a 20% do seu custo normal.

No que respeita ao registo numérico instantâneo dos parâmetros de injeção, utilizando um aparelho comum a duas bombas, o seu custo rondará os 65 000\$00 por semana.

O aparelho para registo dos parâmetros do ensaio Lugeon é fornecido a um preço de cerca de 5 500\$00 por dia.

Embora não se disponha ainda de elementos referentes a Portugal que permitam quantificar uma análise custos/benefícios, a experiência de obras em França, E.U.A. e Canadá atesta que o pequeno acréscimo inicial do custo é largamente compensado durante a obra pela maior racionalidade de processos, economia de tempo, de mão-de-obra qualificada e de trabalhos eventualmente supérfluos, além de uma maior garantia de qualidade de execução e de rigor no pagamento dos trabalhos realizados.

## 6. CONCLUSÕES

Descreveram-se, ainda que sucintamente, técnicas que permitem:

- a) agrupar durante a fase de execução dos injeções as operações de reconhecimento geológico, execução de furos e controlo imediato de qualidade;
- b) reduzir substancialmente o tempo de execução das operações de controlo (ensaios Lugeon);
- c) otimizar a execução das injeções proporcionando à Fiscalização condições para tomadas de decisão em cima do acontecimento, evitando tempos mortos;
- d) garantir a qualidade do tratamento;
- e) facilitar o trabalho da Fiscalização em todas as operações envolvidas;
- f) proporcionar ao Empreiteiro dados para gestão dos equipamentos e meios para controlar os procedimentos;
- g) dispor de meios para medição, com rigor incontestável, dos trabalhos realizados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANÓNIMO (1983) — «MICROS step into dam grouting. BuRec designer predicts computer-powered grouting revolution». Engineering News Record, Dec., p. 31.
- ANÓNIMO (1984) — «BuRec Grout Monitoring Automated on Utah Dam». Engineering News Record, July 5, p.p. 20-25.
- BAKER, W.H. (1982) — «Engineering Practice of Chemical Grouting». 4th Annual Short Course on Fundamentals of Grouting, March 1-5, University of Missouri-Rolla.
- CARTER, T.G. (1982) — «Evaluation of Some Electronically Monitored Grouting Data». Discussion: Grout in Geotechnical Engineering, Proceedings of Conference of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, New Orleans, Louisiana, Feb. 10-12.
- COELHO, A.G.; TOCHA SANTOS (1985) — «Novas Técnicas de Prospecção Geotécnica. Diagramas instantâneas em sondagens destrutivas». Geotecnia (43), Lisboa: p.p 21-40, Março.
- JEFFERIES, M.G.; ROGERS, B.T. and READES, D.W. (1982) — «Electronic Monitoring of Grouting». Grout in Geotechnical Engineering, Proceedings of Conference of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, New Orleans, Louisiana, Feb. 10-12, p.p. 769-780.
- ROGERS, B.T.; KING, R.C.F. and WELCH, D.E. (1982) — «Foudation Grouting Beneath Uranium Tailings Dams in Elliot Lake, Ontario». 35th Canadian Geotechnical Conference, Montreal, Quebec, Sept. 28-30, p.p. 145-165.
- TOCHA SANTOS; COELHO, A.G. (1985) — «A Utilização de Diagramas em Geotecnia». Congresso 85 da Ordem dos Engenheiros. Tema 5. Coimbra.