

O MÉTODO DE GIN NO TRATAMENTO DE FUNDAÇÕES ROCHOSAS DE BARRAGENS

THE GIN METHOD FOR ROCK GROUTING AT DAM FOUNDATIONS

Carvalho, Manuela - *Equip. Prof. Adjunto no Instituto Superior de Engenharia do Porto*

RESUMO

Esta comunicação refere-se a uma metodologia de tratamento de fundações rochosas de barragens recentemente apresentada por Lombardi e Deere e já testada em algumas obras. Este novo método, designado “GIN - Grouting Intensity Number”, aponta para a utilização de um só tipo de calda ao longo de todo o tratamento e para o controlo automático da execução do tratamento com base numa envolvente representativa da intensidade de tratamento pretendida.

Será também apresentada uma análise crítica dos aspectos inovadores que, à partida se apresentam mais e menos vantajosos e alguns aspectos relevantes da experiência da sua aplicação em Portugal no tratamento da fundação da barragem de Odeleite.

ABSTRACT

This paper is about a new rock grouting method known as GIN - Grouting Intensity Number. This method has already been applied to some dam foundations and it recommends using the same grout composition in all the grouting process, the same grouting intensity for each type of rock mass and the computerised evaluation of the grouting process.

Here is discussed some essential aspects of this method and its applications in the grouting programme of Odeleite dam foundation.

1 - INTRODUÇÃO

As considerações que se seguem são aplicáveis à injeção de fundações rochosas de barragens com caldas à base de cimento.

Tradicionalmente o tratamento de fundações é executado por fases, utilizando caldas com diferentes composições (diferentes proporções água:cimento) e pressões máximas de injeção variáveis em profundidade. Tem sido preferencialmente utilizado o “split - spacing method” no qual a distância entre furos vai sendo progressivamente reduzida. A distância inicial (entre furos primários) é normalmente estabelecida com base em resultados obtidos em estudos geológico-geotécnicos, na experiência obtida em tratamentos em condições semelhantes e, quando existentes, nos resultados obtidos em cortinas experimentais; o espaçamento final depende das características das descontinuidades, da composição das caldas utilizadas, da pressão de injeção, da permeabilidade inicial das formações e da permeabilidade final que se pretende atingir.

A injeção inicia-se sempre com caldas finas, do tipo 1:3 ou 1:2 (c:a em peso), estando a evolução do processo condicionada à resposta do maciço, ou seja, as caldas são engrossadas ou diluídas durante a injeção em função da evolução da pressão de injeção e do volume de calda absorvido.

As pressões de injeção preconizadas dependem do objectivo do tratamento e, como princípio geral, devem ser inferiores à pressão crítica para diminuir o risco de fracturação hidráulica e, abaixo deste valor, tão elevadas quanto possível para se conseguir uma maior penetração da calda. As pressões máximas de injeção são normalmente estabelecidas em função da profundidade e/ou carga efectiva vertical.

Lombardi e Deere apresentaram recentemente uma nova metodologia de injeção que se baseia, fundamentalmente, em estudos laboratoriais relativos à coesão e viscosidade dinâmica das suspensões à base de cimento, em estudos teóricos acerca da percolação e penetração e na possibilidade de recolher automaticamente os valores das pressões e absorções de calda no decurso da injeção.

Nesta comunicação vai ser apresentada uma análise crítica desta nova metodologia, denominada Método de GIN, bem como alguns dados relevantes da sua aplicação em Portugal no tratamento da fundação da barragem de Odeleite.

2 - APRESENTAÇÃO DO MÉTODO DE GIN

Neste método é preconizada a utilização de um só tipo de calda ao longo de todo o tratamento. A calda deverá ser uma suspensão de cimento em água, estável e moderadamente espessa, à qual se adiciona um superplastificante. Este tipo de caldas apresentam menores coesões e elevada tensão durante a deposição o que lhes confere algumas vantagens relativamente às caldas com menor quantidade de cimento. Depois de endurecidas deverão ser densas e resistentes. Durante a injeção apresentam menor sedimentação, principalmente quando a percolação é lenta; menor perda de água e, conseqüentemente endurecimento prematuro menos frequente; maior estabilidade ao longo do tempo e a maiores distâncias e menor risco de hidrofracturação e abertura das descontinuidades, pois o aumento rápido da pressão no furo de injeção resulta da coesão da calda.

Terminado o tratamento verifica-se que as descontinuidades ficam preenchidas por calda mais dura, com densidade elevada e óptima adesão às suas paredes, o que diminui o risco de reabertura e aumenta a resistência à erosão interna. A calda solidificada apresenta também menor porosidade e, conseqüentemente menor permeabilidade e melhor adesividade e ainda maior resistência química à lixiviação, o que confere maior durabilidade à cortina.

Uma calda espessa requer, para atingir a mesma distância, pressões de injeção superiores aquelas que são exigidas por uma calda fina. A adição de superplastificante diminui significativamente a coesão e a viscosidade da calda diminuindo, conseqüentemente, a pressão de injeção necessária.

A escolha da composição da calda a utilizar em cada caso deve ser feita em laboratório, onde se devem ensaiar caldas fabricadas com diferentes tipos de cimento e de superplastificantes e também com diferentes proporções de constituintes. O peso específico, a coesão, a viscosidade, a sedimentação ao fim de duas horas em repouso e a resistência à compressão simples constituem o conjunto mínimo de propriedades que é indispensável determinar.

Segundo Lombardi (1993) podem-se considerar aceitáveis, para caldas cuja composição varie entre 0,67:1 e 0,8:1 (a:c, em peso), valores pertencentes aos intervalos que seguidamente se apresentam:

- peso específico: 1,59 a 1,67 t/m³;
- coesão relativa ($Cr = C/\gamma$): 0,2 a 0,35 mm, para caldas sem superplastificante e 0,08 a 0,15 mm, para caldas às quais se adicionou superplastificante;
- escoamento no cone de Marsh: 29 a 32 segundos;
- resistência à compressão simples ao fim de 28 dias: 15 a 20 MPa.

Depois de escolhida em laboratório a calda cujas propriedades físicas e mecânicas são mais aptas para o fim em vista, deve ser garantida a sua utilização em todo o tratamento. Assim, em cada tratamento deverá ser utilizado um único tipo de calda o que simplifica muito os procedimentos em obra.

Depois de escolhido o tipo de calda a utilizar no tratamento é necessário definir outros elementos, tais como: o espaçamento e profundidade dos furos, a sequência de injeção, as pressões de injeção e os volumes máximos admissíveis por metro de furo. A definição destes parâmetros depende das características físicas das descontinuidades do maciço rochoso, do estado de tensão “in situ”, das condições hidrogeológicas e ainda das solicitações introduzidas ao longo do tempo pela obra. Para além destes factores é também necessário considerar a intensidade de tratamento que se pretende atingir.

No método de GIN a geometria da cortina (espaçamento entre furos primários e sua profundidade) é definida da mesma forma que no método clássico. Assim, a profundidade da cortina é definida com base em resultados obtidos em ensaios de absorção de água executados nas fases de estudo e nos primeiros furos primários executados na cortina (furos exploratórios) e o espaçamento dos furos é definido de modo a que a zona tratada com o primeiro furo primário não interfira com a do segundo primário e a desta com a do terceiro e assim sucessivamente. Os furos secundários serão executados a meia distância dos primários, os terciários a meia distância entre primários e secundários e assim sucessivamente (split - spacing method).

Deste modo, o maciço rochoso vai sendo injectado ao longo das diferentes fases, de forma a que as fissuras não injectadas que se vão progressivamente encontrando são cada vez mais finas.

O controlo da injeção faz-se, neste método, com base na limitação de três parâmetros:

- volume de calda injectada, quando esta penetra facilmente no maciço a baixas pressões;
- pressão de injeção, quando a calda penetra no maciço com dificuldade;
- valor do produto da pressão pelo volume injectado em cada instante.

O controlo com base no volume máximo admissível é usual nas fases iniciais do tratamento no caso de maciços rochosos com vazios ou fissuras abertas. A pressão máxima admissível é muitas vezes atingida nas fases finais do tratamento ou ao longo de toda a sua duração quando o maciço rochoso apresenta fissuras muito finas ou preenchidas por material dificilmente erodível. O terceiro parâmetro ($P \times V$) identifica a mais elevada pressão de injeção que garante a injeção progressiva das fissuras e é mobilizado em todas as situações intermédias.

Este terceiro parâmetro ($P \times V$), ao qual Lombardi e Deere deram a designação de GIN - Grouting Intensity Number, é proporcional à energia dispendida no tratamento. Assim quanto mais intenso for o tratamento, maior é a energia nele dispendida e consequentemente maior é o valor a tomar para o GIN. Usualmente o GIN é expresso em bar.litro/metro.

Desta forma é definida a intensidade de tratamento que se pretende, valor de GIN, a qual é representada por uma função hiperbólica que tem como limites as rectas correspondentes aos limites máximos da pressão e do volume de calda (os dois primeiros parâmetros supracitados); o gráfico Pressão - Volume, obtido pela combinação destes três parâmetros, constitui a envolvente que limita o tratamento. Na figura 1 apresentam-se as envolventes propostas por Lombardi e Deere. Tal como é possível verificar Lombardi e Deere (1993) consideraram cinco intensidades diferentes de tratamento; no quadro 1 apresentam-se os valores de GIN, a pressão máxima e o volume máximo considerados em cada intensidade de tratamento.

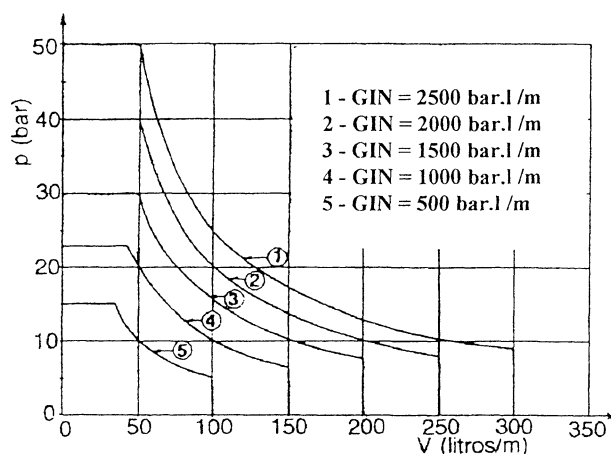


Figura 1 - Envoltentes propostas por Lombardi e Deere (adaptado de Lombardi e Deere, 1993)

Quadro 1
Intensidades de Tratamento
(adaptado de Lombardi e Deere, 1993)

Intensidade	GIN (bar.l/m)	Pmáx. (bar)	Vmáx.(l/m)
Muito alta	>2500	50	300
Alta	2000	40	250
Moderada	1500	30	200
Baixa	1000	22,5	150
Muito baixa	<500	15	100

A escolha do valor de GIN a adoptar num dado tratamento deve ter em consideração as características geológicas e geotécnicas do local, a carga hidráulica futura e as subpressões que se poderão vir a instalar. Assim, embora uma intensidade moderada seja aplicável à maioria das situações, existem casos, tais como zonas geologicamente críticas ou zonas perto da superfície, em que se justifica utilizar intensidades mais baixas. Também os valores limites da pressão e do volume devem, sempre que se justifique, ser modificados; refira-se, por exemplo, o caso da pressão máxima, a qual deverá ser menor nos encontros do que no fundo do vale, já que a carga hidráulica naqueles também é inferior.

Assim, num dado tratamento, é por vezes necessário considerar a utilização de diferentes intensidades de tratamento.

A escolha do valor de GIN também deve ter em consideração o espaçamento entre furos. O GIN e o espaçamento devem ser tais que o volume de calda admitido por metro de furo seja reduzido de 50% nas sucessivas fases de injeção. A articulação destes dois factores deve fazer-se utilizando cortinas experimentais nas quais se ajustarão os diferentes parâmetros intervenientes no tratamento. A realização de cortinas experimentais tem como principal objectivo a selecção definitiva da envolvente ou envoltentes a utilizar no tratamento e o mais adequado espaçamento entre furos primários.

Toda a cortina deve ser injectada seguindo todas as regras apresentadas até uma última série de furos nos quais se deverão atingir pressões perto do limite máximo, com absorções razoavelmente baixas (no máximo de 25 kg de cimento/metro). Deste modo, deverá obter-se uma cortina cujo volume de calda se encontre bem distribuído ao longo de toda a área tratada.

Este método requer a utilização de uma central automática que, em obra, permita controlar todo o processo de injeção. Desta forma o controlo de todo o processo pode ser feito em tempo real, uma vez que todos os dados referentes ao tratamento bem como a sua representação gráfica estão a ser continuamente registados e apresentados. A curva ou curvas de GIN introduzidas no sistema e a de penetrabilidade (Q/P) que se vai verificando no decurso dos trabalhos permitem acompanhar o evoluir do processo e escolher com precisão o final da injeção.

A verificação do tratamento deve ser feita recorrendo à realização de ensaios de absorção de água os quais indicam qual a permeabilidade residual do maciço rochoso e, por comparação com os resultados obtidos nos ensaios executados nos furos exploratórios, a eficiência do tratamento.

3 - ANÁLISE DAS DIFERENTES COMPONENTES DO MÉTODO

O tipo de caldas preconizadas pelo método de GIN é vantajoso porque melhora a qualidade da injeção e dos resultados finais e simplifica muito os procedimentos em obra por se utilizar um só tipo de calda. Este tipo de procedimento exige maior rigor na escolha do tipo de calda a utilizar em cada caso uma vez que, depois dos ajustes que inicialmente se vierem a revelar necessários, não haverá mais variações de composição.

Quanto à pressão máxima de injeção que efectivamente será utilizada, em cada troço injectado, ela depende da evolução dos consumos de calda nesse mesmo troço, reduzindo-se assim, a possibilidade de ocorrer fracturação hidráulica. Lombardi e Deere verificaram, em vários estudos efectuados, que na maioria dos casos, a pressão crítica não depende da pressão de sobrecarga mas da tensão e que esta, nas zonas descomprimidas dos maciços rochosos, não varia com a profundidade. Assim, a pressão crítica também não deve variar com a profundidade pelo que nem sempre é conveniente aumentar a pressão de injeção com a profundidade, tal como usualmente se faz. O método de GIN ao recomendar o uso da mesma constante GIN ($P \cdot V$) para cada tipo de maciço rochoso possibilita que, em função da absorção de calda, a mesma pressão máxima possa ser aplicada em todas as profundidades da zona a tratar.

A possibilidade de controlo automático da injeção apresenta algumas vantagens mas também algumas desvantagens. Assim, enquanto é vantajoso poder controlar e registar continuamente parâmetros de injeção como a pressão (P), o volume de calda absorvida (V) e o tempo de injeção (t) e poder, rapidamente, representar graficamente estes parâmetros consoante os requisitos do momento; é desvantajoso acreditar que o controlo de todo o processo pode ser feito exclusivamente pelo computador esquecendo a necessária interpretação geológica e geotécnica dos dados com vista à confirmação e avaliação da permeabilidade e injectabilidade. Esta interpretação não pode, em caso algum, deixar de ser efectuada por um técnico especialista em geotecnia.

Um dos problemas deste método reside na dificuldade em estabelecer as absorções mínimas e máximas a adoptar para limites do tratamento, o que se deve ao facto de as absorções de água e de calda não serem, de um modo geral, proporcionais.

Um maciço rochoso pode absorver uma quantidade grande de água e posteriormente muito pouca calda. Este fenómeno resulta do facto de não ser possível injectar todas as descontinuidades existentes num maciço rochoso, os caminhos de percolação da água têm de ter uma abertura mínima para que possam ser injectados com calda. Na grande maioria dos casos a permeabilidade residual resultante das descontinuidades fechadas, não injectáveis, é muito pequena pelo que se aceita que um programa de tratamento com absorções de cimento inferiores a 40 - 50 kg/m é desnecessário, principalmente no caso de barragens com longos percursos de percolação através do subsolo.

O método de GIN ao considerar a possibilidade de utilizar pressões de injeção elevadas, ou mesmo muito elevadas, desde que as absorções de calda sejam muito baixas (inferiores a 25 kg/m) considera,

também, a hipótese de injectar fissuras originalmente finas ou muito finas o que poderá conduzir a programas de tratamento excessivo.

Quanto à definição das absorções máximas admissíveis é conveniente defini-las de forma a evitar que a calda tenha um alcance demasiado longo e de modo a que o espaçamento final entre furos não resulte demasiadamente pequeno, ou seja, nem por excesso, nem por defeito. O valor de 300l/m preconizado por Lombardi e Deere no caso de intensidades de tratamento muito elevadas é, pelo menos no caso de maciços fracturados, baixo, a experiência obtida no tratamento de diferentes tipos de maciços revela que qualquer maciço com descontinuidades abertas necessita de absorções de calda muito mais elevadas para que estas fiquem preenchidas. Surge assim uma nova dificuldade: como estabelecer o volume máximo de calda mais adequado a cada caso.

Relativamente ao valor a adoptar para a constante de GIN, Lombardi e Deere referem que a mesma intensidade de tratamento pode ser atingida tanto no caso de injeção de descontinuidades abertas com grandes volumes de calda a baixa pressão, como no caso de injeção de descontinuidades fechadas com absorções baixas e pressões elevadas. Como a pressão de injeção influencia a separação da água da suspensão, também influencia a espessura e a durabilidade da adesão entre a calda endurecida e as paredes das descontinuidades pelo que, a qualidade do tratamento obtido com um GIN constante, deverá variar ao longo da zona tratada; nas zonas em que predominem descontinuidades fechadas a calda que as preencheu deverá ser estável e estar bem aderida à rocha, enquanto que nas zonas em que predominem descontinuidades abertas a calda não deverá preencher completamente a fissura, terá pouca qualidade e fraca adesão às paredes das descontinuidades. Assim, um valor constante de GIN poderá originar diferentes intensidades e qualidades de tratamento. Este facto assume particular importância quando no maciço não for possível separar as zonas que, devido a diferentes características geotécnicas, necessitem de diferentes intensidades de tratamento, o que dificulta a utilização de diferentes valores de GIN função das diferentes características intrínsecas do maciço.

4 - APLICAÇÃO DO MÉTODO DE GIN NO TRATAMENTO DA FUNDAÇÃO DA BARRAGEM DE ODELEITE

O tratamento da fundação da barragem de Odeleite iniciou-se com a execução de uma cortina experimental a qual tinha como principais objectivos seleccionar o método de injeção mais adequado e verificar a adaptabilidade dos espaçamentos entre furos previamente definidos e das caldas ensaiadas.

A cortina foi localizada numa pequena zona da cortina de impermeabilização, numa extensão de 24 metros, entre os furos exploratórios E10-1 e E11-8. Nesta cortina experimental foram ensaiados dois métodos de tratamento:

- entre os furos T11-2 e E11-8 utilizou-se uma metodologia clássica, injectando caldas instáveis de cimento com proporções, em peso, de cimento : água (c:a) de 1:3, 1:2 e 1:1 às quais se adicionaram, respectivamente, 4%, 2% e 2%, em peso de bentonite. As pressões máximas de injeção variaram com a profundidade dos troços, atingindo um máximo de 15 bar nos troços com profundidade superior a 24 metros;
- entre os furos E10-1 e T11-2 foi testado o método de GIN, tendo-se utilizado uma calda de cimento com proporções 1,25:1 (c:a, em peso) com 0,8% do peso de cimento de superplastificante. A escolha desta calda foi efectuada com base em estudos de composição efectuados na obra, os quais revelaram que esta seria, de entre as estudadas, a composição mais apropriada por se tratar de uma suspensão estável, com baixa viscosidade aparente e elevado peso específico. Foram considerados dois níveis de tratamento: um para os troços situados até 9 metros de profundidade e outro para os troços situados abaixo dos 9m de profundidade. No primeiro caso (Fig. 2 - Curva 1) adoptou-se uma pressão máxima de injeção de 5 bar, volume máximo admissível de 350 l/ m e um GIN de 500 bar.l/m, enquanto que no segundo caso (Fig. 2 - Curva 2) se preconizou uma pressão máxima de 20

bar, volume máximo admissível de 165 l/m e um GIN de 1000 bar.l/m. Pelo facto de não ter sido possível dispor de uma central automática de registo de dados, o valor de GIN foi calculado utilizando valores de pressão e volumes medidos pelos operadores em intervalos de tempo nunca superiores a 5 minutos. Na figura 2 apresentam-se as envolventes utilizadas na execução deste bloco da cortina experimental.

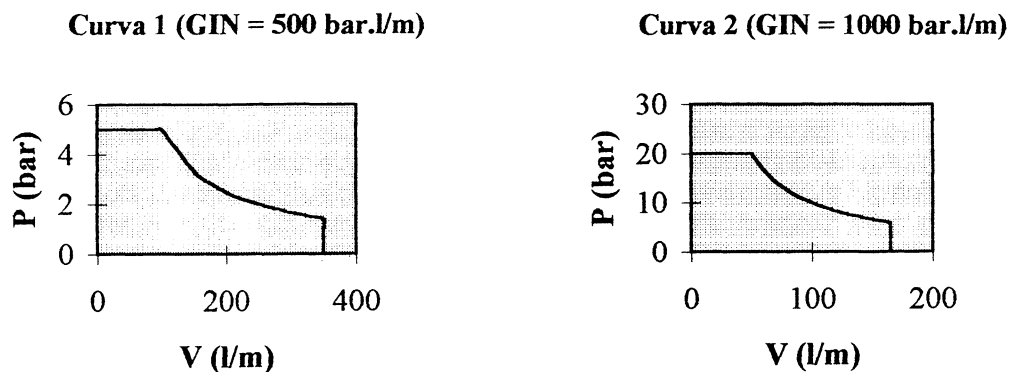


Figura 2 - Curvas de GIN utilizadas na cortina experimental

Terminada a cortina experimental verificou-se que os resultados obtidos com ambos os métodos eram semelhantes pelo que, considerando a melhor qualidade das caldas utilizadas no método de GIN, o melhor controlo dos volumes injectados conjugado com a possibilidade de utilizar pressões de injeção mais elevadas e ainda a simplificação introduzida nos procedimentos em obra devido à utilização de um só tipo de calda, se optou por executar toda a restante cortina de injeção utilizando o método de GIN.

Com esse intuito foram introduzidas alterações que melhor ajustassem o método ao cenário previsível. Assim, optou-se por aumentar a intensidade do tratamento, passando o valor de GIN a ser de 1500 bar.l/m independentemente da profundidade e, concomitantemente, por aumentar os volumes máximos admissíveis e a pressão máxima nos troços situados acima dos 9 metros de profundidade. Desta forma, o volume máximo passou a ser de 400 l/m independentemente da profundidade do troço a injectar e a pressão máxima limitada a 10 e 20 bar consoante o troço a injectar se situava acima ou abaixo dos 9 metros de profundidade. Na figura 3 estão representadas as respectivas envolventes do tratamento.

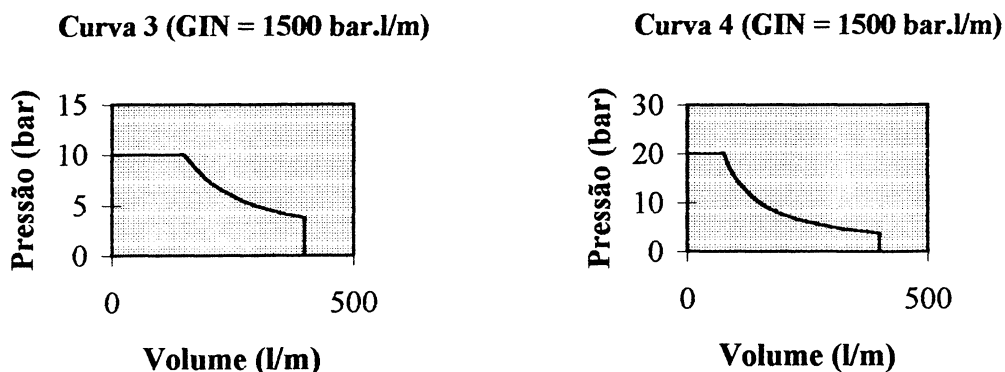


Figura 3 - Curvas de GIN utilizadas na cortina de injeção

No quadro 2 apresentam-se os valores das absorções de cimento numa zona da cortina injectada utilizando o método de GIN tal como anteriormente descrito. Os resultados permitem concluir que o maciço foi sendo progressivamente tratado, verificando-se uma redução geral nas absorções de cimento quando se passa da fase de injeção n para a $n+1$.

QUADRO 2

Absorções de cimento, em kg/m, na cortina de injeção entre os furos E8-5 e P9-3

Troços	Expl.	Quat.	Ter.	Quat.	Secund.	Quat.	Ter.	Quat.	Prim.
0-3m	265	265	147	118	324	324	235	324	353
3-6m	133	0	0	0	33	0	33	33	133
6-9m	167		0		67		0		0
9-14m	0		0		0		20		0
14-19m	80		0		40		0		0
19-24m	220		20		0		0		20
24-29m	240		40		60		0		0
29-34m	100		0		80		0		0
34-39m	140		0		0				20
39-44m	120				0				0
44-49m	100				20				0
49-54m	60				0				
54-59m	40								

Tal como é possível observar esta tendência não se verificou no primeiro troço (0-3 m) no qual as absorções de cimento se mantiveram elevadas ao longo das sucessivas fases de injeção. Perante este facto, que se verificou não só nesta zona mas em quase todas as que já tinham sido injectadas, suspeitou-se que as absorções elevadas ao nível do primeiro troço eram devidas a absorções elevadas no contacto entre o plinto de betão a partir do qual se estava a injectar e o maciço rochoso de fundação; pelo que se optou por reduzir o primeiro troço a 1 metro de comprimento (0-1 m) passando o segundo a ser de 5m (1-6m).

Como se pode verificar na zona da cortina representada no quadro 3 esta hipótese foi confirmada pelas absorções de cimento normalmente elevadas registadas no primeiro troço (0-1 m) e muitíssimo inferiores no segundo troço (1-6 m).

QUADRO 3

Absorções de cimento, em kg/m, na cortina de injeção entre os furos P13-9 e E14-6

Troços	Troços	Prim.	Quat.	Ter.	Quat.	Secund.	Quat.	Ter.	Quat.	Expl.
0-3m	0-1m	206	500	625	250	500	500	250	250	324
3-6m	1-6m	33	36	18	18	89	71	54	72	367
6-9m		33		0		100	0	0	0	367
9-14m		0		20		90	0	30	20	360
14-19m		20		0		90	0	70	0	40
19-24m		0		0		100		20		33
24-29m		20		40						33
29-34m		0								33
34-39m		0								

Nesta zona da cortina (P13-9 a E14-6), embora os furos quaternários ainda tenham absorvido quantidades elevadas de cimento no troço superficial (0-1 m), o tratamento foi considerado concluído com base nos resultados obtidos nos ensaios de absorção de água e na absorção de calda nos furos de verificação. Admite-se, no entanto, a possibilidade de, pontualmente, a permeabilidade residual ser superior a 0,3 U.A. (limite máximo admitido em projecto).

Tal como é possível deduzir dos dados apresentados nos quadros 2 e 3, o fecho da cortina nestas duas zonas foi, com excepção do troço superficial, efectuado com pressões elevadas; de um modo geral mais elevadas do que as preconizadas, para as mesmas profundidades, pelo método tradicional testado na cortina experimental. Poderá então concluir-se que, pelo facto de se ter utilizado uma calda de injeção de melhor qualidade (mais rica em cimento) e injectado, sem causar fracturação hidráulica, a pressões mais elevadas, o tratamento conseguido deverá ser de melhor qualidade do que o que se teria obtido utilizando o método tradicional.

Os elementos apresentados nos quadros 2 e 3 representam o comportamento típico que se verificou em grande parte da cortina sendo, no entanto, possível destacar algumas zonas, como a representada no quadro 4, nas quais as absorções se mantiveram muito elevadas ao longo das sucessivas fases de injeção.

QUADRO 4

Absorções de cimento, em kg/m, na cortina de injeção entre os furos P5-2 e E5-10

Troços	Troços	Prim.	Quat.	Ter.	Quat.	Secund.	Quat.	Ter.	Quat.	Expl.
0-3m	0-1m	324	875	1313	1000	367	875	875	500	235
3-6m	1-6m	367	143	349	80	367	125	313	18	567
6-9m		367	133	350	50	367	83	183	67	100
9-14m		360	100	340	100	180	110	0	0	220
14-19m		140	0	0		0		0		140
19-24m		100		0		0		0		40
24-29m		0								40
29-34m		0								40
34-39m		0								7
39-44m										7
44-49m										7

Neste caso verificou-se que, até cerca dos 14 metros de profundidade, o fecho da cortina se tinha efectuado por volume e consequentemente a pressões de injeção baixas. Como o tratamento assim obtido poderia ter uma durabilidade reduzida e qualquer reforço à posteriori se viria a revelar difícil e oneroso (pelo facto de a barragem não ter galeria), optou-se por reforçar o tratamento a partir da injeção de furos a montante e a jusante dos da fiada central. As absorções de calda verificadas nestes furos de reforço foram significativamente inferiores pelo que o tratamento, nesta zona, foi considerado concluído.

Na fase final do tratamento da fundação da barragem de Odeleite arrancou o tratamento da fundação da barragem do Enxoé no qual também foi aplicado o método de GIN. Nesta obra, devido aos esforços conjuntos do Dono de Obra (Instituto da Água) e Empreiteiro (Tecnasol) foi possível instalar uma central automática a qual permitiu registar continuamente os parâmetros de injeção e traçar as curvas representativas da evolução da injeção (GPC- Grouting Path Curves). No momento em que a GPC intersecta a envolvente de GIN estabelecida para o tratamento em causa a central termina a injeção do troço, a qual só é restabelecida, caso se pretenda, com a intervenção do operador. Assim os parâmetros de injeção são rigorosamente respeitados e a evolução do processo pode ser, a qualquer momento, conhecida. A central regista todas as intervenções do operador.

A utilização de equipamentos deste tipo contribui significativamente para um aumento da qualidade de execução dos trabalhos já que possibilitam um acompanhamento mais pormenorizado e atempado de todo o processo.

Na figura 4 apresentam-se três registos obtidos com a central automática, durante a injeção da fundação da barragem do Enxoé. Como se pode verificar aparece perfeitamente identificada a obra, o furo, o dia e hora de início da injeção, o volume de calda absorvido, o tempo de duração da injeção, o volume de calda absorvido e o critério que determinou o fim da injeção (no primeiro caso a injeção terminou porque foi atingida a pressão máxima estipulada, no segundo caso foi atingido o valor constante de $GIN = P * V$ e no terceiro caso a paragem foi manual porque se verificou fuga de calda à superfície). Nos gráficos está representada a evolução da pressão de injeção e da constante de GIN ao longo do tempo.

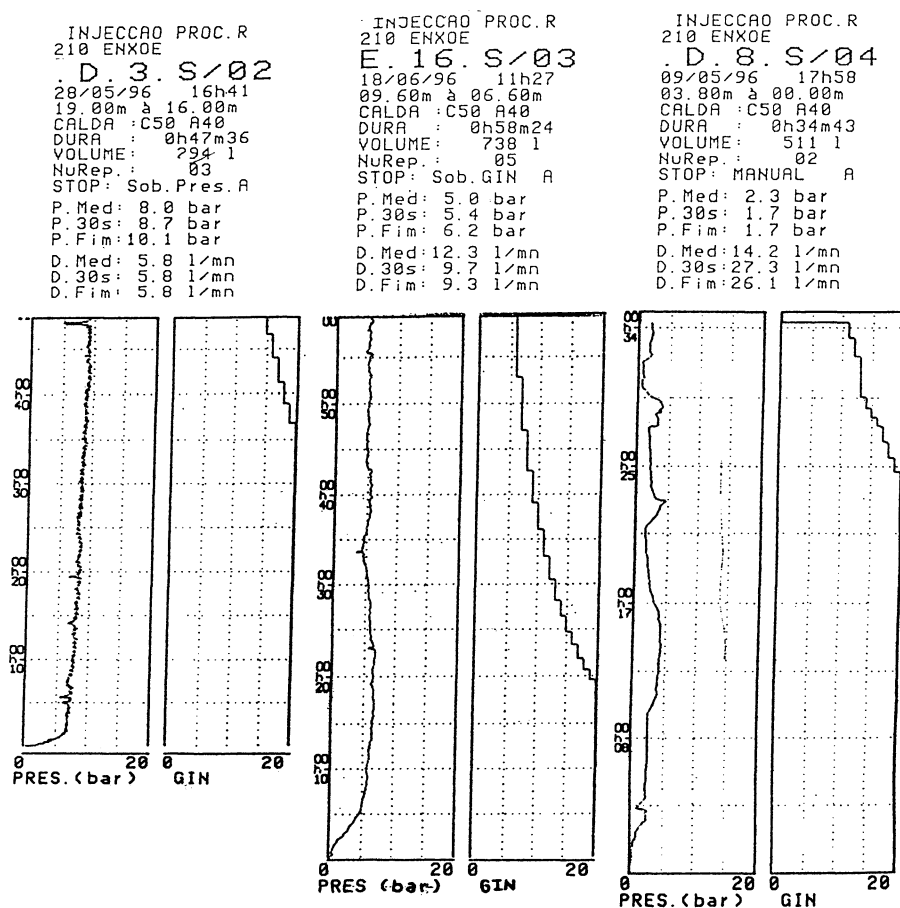


Figura 4 - Registo obtido com a central automática durante o tratamento da fundação da barragem do Enxoé (gentilmente cedido pelo Instituto da Água)

AGRADECIMENTOS

A autora agradece ao Instituto da Água pela permissão em utilizar resultados do tratamento das fundações das barragens de Odeleite e do Enxoé

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Lombardi, G.; Deere, D. (1993). "Grouting design and control using the GIN principle". Water Power & Dam Construction, Junho 1993, pp. 15 - 22.

Carvalho, M (1996). "Contribuição para a análise dos resultados do tratamento da barragem de Odeleite". Relatório de acompanhamento da obra.