

# TRATAMENTO DA FUNDAÇÃO DA BARRAGEM DE AIT HAMMOU EM MARROCOS

## AIT HAMMOU DAM FOUNDATION GROUTING, IN MOROCCO

Machado do Vale, José Luís, *Tecnasol FGE, Amadora, Portugal, jlmvale@tecnasol-fge.pt*

### RESUMO

Para a conferência sobre o tema “casos de obra” poderíamos escolher variadas obras interessantes que tem sido executadas em Portugal nos últimos anos, como algumas em que apresentamos comunicações neste congresso. Nelas podemos constatar a utilização de novas tecnologias de execução e de controlo com recurso a diagrfias, instrumentação e monitorização, ensaios de recepção e/ou de carga, que mostram o nível de maturidade da engenharia geotécnica portuguesa e os elevados padrões de qualidade e segurança com que já se trabalha em Portugal.

Escolhemos uma obra, que apesar de não ser em Portugal, foi executada por uma empresa Portuguesa, e na qual foi implementado, com elevado sucesso, um método de injeção inovador e um conjunto de procedimentos executivos e de controlo de qualidade, que chocam com as regras de arte de injeção de cimento praticadas em Portugal e que, por esses motivos, devem trazer a salutar polémica.

### ABSTRACT

For the conference on the subject "works cases" we could choose several interesting job sites, recently executed in Portugal, some of them presented to this congress. In these cases abundant evidence is provided of the use of new technologies of execution and control, making use of resources like borehole instantaneous logging, instrumentation and monitoring, reception and/or load tests, that clearly state the high level of maturity of the Portuguese geotechnical engineering and the raised standards of quality and security already achieved in Portugal.

We choose a special case, that although not in Portugal, was executed by a Portuguese company, in which a method of innovative grouting and a set of executive procedures and quality control were implemented, with raised success, that colide with the standards of the practice of cement grouting in Portugal and that, for these particular reasons, must bring salutary polemics.

### 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento e a aplicação das novas tecnologias à injeção de maciços rochosos, em particular no domínio do tratamento da fundação de barragens e a consolidação das metodologias que lhe são inerentes, com particular incidência no Método GIN, justificam uma reflexão aprofundada do meio técnico, que com a presente conferência se pretende suscitar.

Para ilustrar esta temática escolhemos a barragem de Ait Hammou, cujo tratamento da fundação foi executado pelo Agrupamento Complementar de Empresas denominado GIE Ait Hammou, constituído pelo líder Tecnasol FGE, responsável pela direcção técnica e controlo de qualidade da empreitada, pela Somague Engenharia e pela empresa marroquina Samfor, com projecto da

empresa marroquina INGEMA, obra realizada para a Direction des Aménagements Hydrauliques (DAH) do Reino de Marrocos. Os trabalhos decorreram entre Setembro de 2000 e Julho de 2002.

## 2. SOBRE A TECNOLOGIA DE INJEÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS

### 2.1 O método GIN

O tratamento dos maciços rochosos de fundação de uma barragem para melhoria das características mecânicas (consolidação do maciço sujeito ao bolbo de tensões) e para redução da permeabilidade (cortina de impermeabilização), tem sido executado com injeção de suspensões de cimento e assentou, durante muitos anos, no conhecimento e na experiência das empresas especialistas e das suas escolas. As técnicas de injeção recorrem a princípios empíricos e práticas repetitivas, quantas vezes contraditórias e originais, sem na verdade constituir um corpo de conhecimentos racional e coerente, com práticas consolidadas e universais.

No entanto, nos últimos anos, tem-se evoluído com o surgimento de novos materiais (como cimentos finos e aditivos super plastificantes) e a generalização das novas tecnologias da informação, para uma abordagem mais racional e sistemática dos processos, dando lugar a novas práticas, mais transparentes e controláveis.

Esse conjunto de práticas foi, no início dos anos oitenta, sistematizado num conjunto de regras e princípios, o designado Método GIN (Grouting Intensity Number), que se tem vindo a impor como uma ferramenta de grande utilidade para a execução de cortinas de impermeabilização, cujos conceitos fundamentais a seguir se recordam:

O método GIN relaciona os volumes e as pressões de injeção – variáveis até então avaliadas de forma independente – por uma lei do tipo  $PV=K$  (constante) estabelecendo uma curva hiperbólica designada por curva GIN, que delimita os domínios da injeção (Fig. 1). Para este método os factores relevantes que controlam a injeção e determinam os critérios de paragem (ou de “nega”, como são tradicionalmente designados no meio), o Volume e a Pressão são interdependentes, traduzindo o seu produto a intensidade da injeção, ou de outra forma, a “energia” que é aplicada ao maciço durante o processo de injeção.

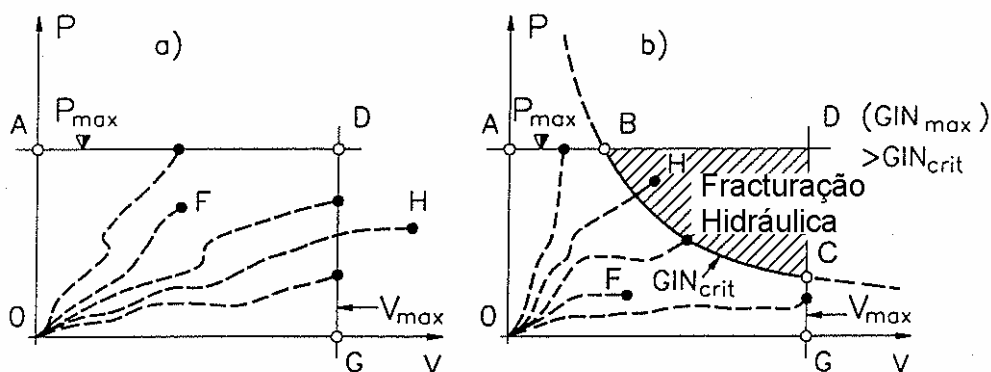


Figura 1 – Limitações à injeção

a) Método tradicional – Domínio de injeção ADG b) Método GIN - Domínio de injeção ABCG  
 $P_{m\acute{a}x}$  - Pressão máxima;  $V_{m\acute{a}x}$  – Volume máximo ;  $GIN = P \times V = K$  (constante)

*Curvas de injeção com o percurso F e H não são permitidas pelo GIN.*

A injeção pelo método tradicional constitui portanto um caso particular em que se autoriza que o produto PV ultrapasse a curva GIN, o que se pode justificar no tratamento de casos singulares, como por exemplo em zonas de fortes absorções relacionadas com vazios importantes.

Note-se por outro lado e desde logo, a diferença explícita no conceito de “nega” que resulta da aplicação do método GIN: se a “nega” tradicional ocorre quando qualquer um dos percursos da injeção (Fig. 1a) toca as arestas do polígono OADG, já para o GIN, (Fig. 1b), esta ocorre muito antes, considerando-se que a injeção na região BCD induz uma energia excessiva no maciço, aumentando o risco de “clacage” ou facturação hidráulica, isto é, induzindo o risco de uma nova fissuração indesejada no meio e ou o estabelecimento de estados de tensão indesejáveis.

A limitação dos volumes de injeção implícita pelo método GIN tem que ser avaliada em conjunto com a penetrabilidade, conceito que relaciona o caudal (q) com a pressão (p), pela expressão  $q/p$ , e o seu quociente com o volume injectado (v) que traduz o raio de influência dos furos de injeção e condiciona o afastamento entre furos e entre fiadas de furos (Fig. 2). Isto é, procura-se limitar a injeção à área de influência de cada furo introduzindo-se um volume de calda estável e de boas características mecânicas, suficientemente penetrante para atingir os limites pré estabelecidos.

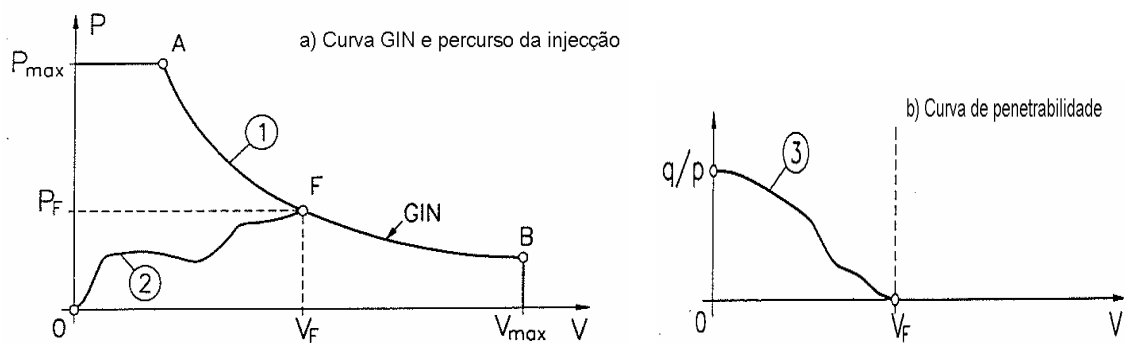


Figura 2 – Modelo da injeção de um trecho singular  
1 – Curva GIN; 2 – Percurso da injeção do trecho; 3 – Penetrabilidade ( $q/p$  versus  $V$ )

A aplicação bem sucedida do método GIN implica a adopção conscienciosa de alguns princípios básicos muito simples, mas essenciais, relativos:

- a) à escolha das caldas de injeção;
- b) à escolha das pressões e volumes limite;
- c) à distribuição espacial do tratamento (espaçamento entre os furos);
- d) ao controlo sistemático dos processos.

## 2.2 As caldas de injeção

A controvérsia gerada em torno da escolha das caldas de injeção – finas ou espessas, estáveis ou instáveis – que tem caracterizado as discussões no meio técnico é merecedora de uma reflexão mais aprofundada.

É hoje consensual que as evidências disponíveis do envelhecimento das cortinas de injeções de barragens demonstram que a sua perenidade depende em grande medida da sua resistência à erosão (por lixiviação e por alteração química) e que esta é tanto mais intensa quanto maior é o

seu teor em cimento. Verifica-se assim que caldas mais ricas têm maior resistência; menor permeabilidade; melhor adesão e mais inércia química, logo asseguram uma maior durabilidade.

É também reconhecido que uma calda estável e densa possui vantagens durante a injeção: tem uma decantação desprezável, logo não é facilmente segregável durante a penetração nas descontinuidades do maciço; minimiza o risco de mistura com a água dos maciços e expele-a melhor das fissuras; é de fabricação simples e tem um comportamento previsível (corpo de Bingham); reduz o risco de contaminação e o tempo de presa.

Porquê então insistir em suspensões instáveis pobres em cimento? Acreditou-se durante muitos anos que a única forma de aumentar a penetrabilidade de uma calda, que varia na razão inversa da sua coesão, residia na diminuição da quantidade de cimento, adoptando-se diversos tipos de caldas com relações ponderais sucessivamente decrescentes, para tratar fissuras de menor calibre. Para obviar à instabilidade crescente de tais suspensões, recorreu-se ao uso generalizado de caldas-mãe bentonite/água, em percentagens variáveis, dando lugar a suspensões complexas, com comportamentos erráticos e imprevisíveis, cuja fabricação industrial em obra se transforma num autêntico quebra-cabeças.

O estudo da reologia das caldas de injeção veio a demonstrar que mais do que a coesão – ultrapassável pela pressão de injeção e por dispersantes – é, sobretudo, a dimensão do grão de cimento que controla a penetrabilidade de uma calda numa determinada fissura. O aparecimento dos aditivos super plastificantes e dos cimentos de elevado módulo de finura e de dimensão máxima garantida, veio trazer uma nova luz, abrindo caminho à fabricação de caldas ricas de granulometria muito fina, estáveis, de baixas coesão e viscosidade, muito penetrantes, substituindo com vantagem os métodos tradicionais de caldas múltiplas.

No entanto e apesar da transparência destas noções, tem havido alguma confusão de conceitos e não são raros os casos em que se preconiza a fabricação de caldas pobres em cimento, estabilizadas com bentonite e aditivadas, tornando ainda mais aleatório o comportamento das suspensões. Conseguem-se deste modo suspensões com pequena decantação, mas à custa de retenção de água pela bentonite, resultando um produto aparentemente bom e até mais barato, mas cujo comportamento dentro da fissura não é controlável, ocorrendo a decantação e, conseqüentemente, o incompleto preenchimento da fissura.

O contributo do método GIN na clarificação de conceitos é neste aspecto inestimável: recomenda-se a escolha de uma só calda, a mais rica possível para os fins em vista, calda essa que se considera a melhor. Sem prejuízo, evidentemente, das singularidades que devem merecer uma atenção especial e soluções específicas. A escolha desta calda deve ser feita em blocos de ensaio representativos dos maciços a tratar, em condições o mais próximas possível da realidade em obra.

### **2.3 As pressões e os volumes limites**

Também a selecção das pressões e volumes limite é objecto de ideias pré-concebidas, quantas vezes sem justificação credível. A expansão do uso de relações lineares da pressão/profundidade, como a da escola Europeia de 1 bar/metro, ou a Americana, mais conservadora, de 0,22 bar/metro, ou ainda a ousada Chinesa, 2 bar/metro, o dobro da europeia, sem ter em conta a resistência dos maciços, a coesão das caldas e a rugosidade das fissuras, demonstra a dispersão de critérios.

As pressões a aplicar devem permitir uma injeção eficaz e um produto final compacto e impermeável, mas têm de ser sempre avaliadas em função das deformações elásticas do maciço

envolvido e suas consequências tanto para o maciço como para as estruturas adjacentes ou sobrejacentes.

De igual modo os volumes máximos especificados raramente contemplam uma avaliação objectiva do índice de vazios do meio a injectar e o raio de influência do furo de injeção, regendo-se por normas mais ou menos consensuais, resultantes das práticas locais e recomendações das escolas respectivas.

Também neste domínio o método GIN ao estabelecer uma relação íntima e indissociável da pressão e do volume, vem introduzir alguma racionalidade na escolha de volumes e pressões, definindo para cada tipo de maciço ou região de maciço, a intensidade da injeção, ou seja o produto PV, desejado – alto, médio ou baixo – e não valores limite pré-determinados de volume e de pressão.

Ao manter o valor de PV constante durante o processo de injeção, para todos os intervalos, assume-se um determinado valor para a penetração da calda (sempre constante) limitando o volume numa fissura aberta ou permitindo a subida da pressão numa fissura fechada, até ao valor especificado, mantendo a energia sempre constante. A vantagem desta limitação automática de pressões e volumes é evidente, eliminando associações de risco de pressões e volumes demasiado elevados ou excessivamente baixos.

## **2.4 Espaçamento entre furos**

O conhecimento objectivo do raio de influência de um determinado furo, para o qual se considera uma determinada intensidade mantida constante, permite definir com clareza e de forma racional o afastamento óptimo entre os furos, associando ao GIN o método de aproximações sucessivas, conhecido na literatura inglesa como “split spacing method”. O afastamento final ideal será então aquele que garante a interpenetração de dois furos contíguos.

Esta metodologia adapta-se perfeitamente à execução de cortinas de impermeabilização, cujo objectivo é materializar um plano impermeável na rede de descontinuidades do maciço, com pequena espessura e grande desenvolvimento longitudinal, minimizando as perdas de calda para fora do plano da cortina.

## **2.5 Controlo sistemático de processos**

Com excepção dos ensaios de permeabilidade nas sondagens exploratórias para recolha de informação complementar para determinação de alguns parâmetros de injeção, este método dispensa os habituais ensaios “Lugeon” antes da injeção da calda, concentrando-se toda a atenção na evolução da curva de absorção da calda.

Por último, toda esta metodologia repousa no emprego exaustivo das novas tecnologias da informação. De facto o controlo permanente e interactivo de todas estas variáveis – P, V, e PV, bem como dos caudais de injeção, só é possível recorrendo a computadores portáteis, instalados em obra e monitorizando em tempo real todo o processo de injeção. Este processo pode ser comandado manualmente, por um operador que faz variar os valores da pressão e do volume em função dos valores lidos no monitor do seu PC ou totalmente automatizado, recorrendo-se à instalação de sistemas de comando automático das bombas injectoras.

### 3. APLICAÇÃO DO MÉTODO GIN NA BARRAGEM DE AIT HAMMOU

#### 3.1 Introdução

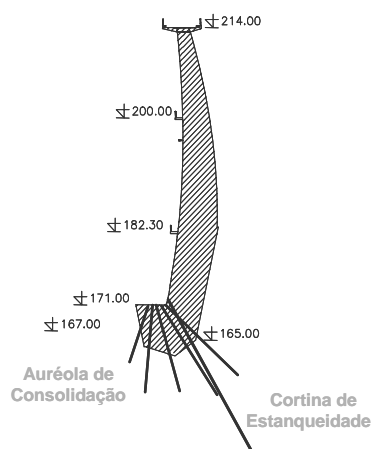
Para o tratamento da fundação da Barragem de Ait Hammou pela sua dimensão e singularidade mereceu foi aplicado o método GIN e as novas tecnologias a ele associadas, em os aspectos anteriormente citados foram largamente explorados.

Trata-se de uma barragem abóbada com cerca de 50 metros de altura, situada a 90km da cidade de Agadir, no reino de Marrocos, construída com o objectivo de reforçar o abastecimento em água potável à região de Agadir.

A barragem insere-se numa garganta rochosa muito apertada, constituída por um maciço calcário fracturado e carsificado, logo muito permeável, assentando discordantemente numa formação pelítica impermeável, a uma profundidade próxima da cota de fundação da obra.

#### 3.2 O projecto de tratamento das fundações

O tratamento da fundação da estrutura consistiu na execução de um tratamento de pele, de consolidação, e de uma cortina de impermeabilização. O tratamento de consolidação abrangeu a rocha de fundação da estrutura de betão (abóbada e blocos de gravidade nos encontros) até uma profundidade média de 15 a 20 m e o maciço envolvente das galerias, perturbado pela sua escavação, numa espessura mínima de 3 m. A partir do soco da barragem e das galerias das margens executaram-se os furos de injeção, ascendentes e descendentes, para a cortina de impermeabilização, (fig. 3).



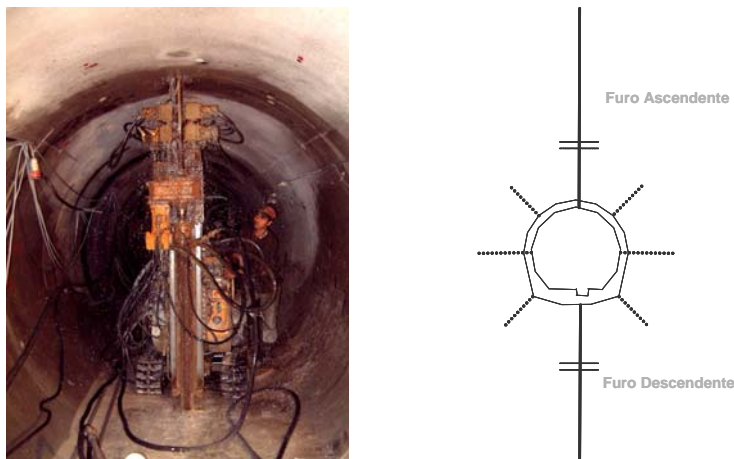


Fig. 3– Secções tipo da cortina de impermeabilização

Esta cortina foi prolongada em ambas as margens, 666 m na M.E. e 1.424 m na M.D., que, adicionando os 92 m correspondentes à abobada, atingiu uma extensão total de 2,183 km. (Figs 4 e 5) As galerias foram construídas interceptando o contacto entre as duas formações, a calcária superior e a pelítica inferior.

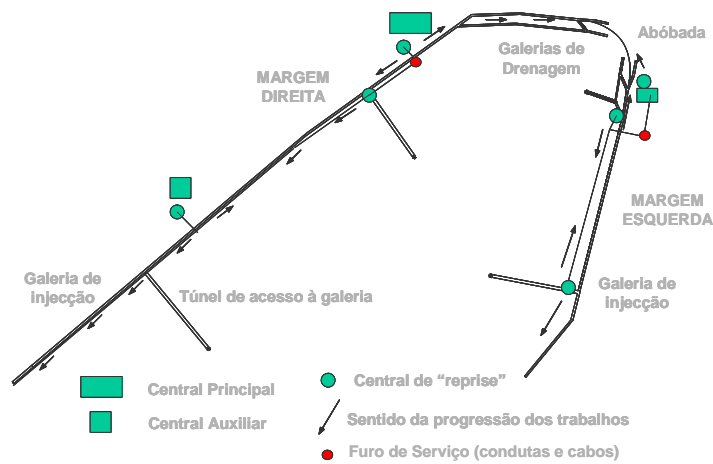


Figura 4 – Planta das galerias de injeções da barragem de Ait Hammou

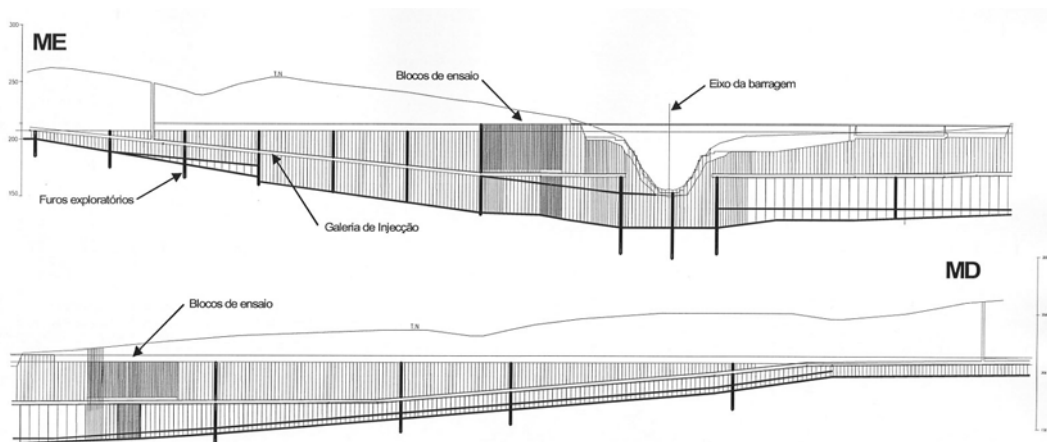


Figura 5 - Barragem de Ait Hammou. Cortina de impermeabilização

A extensão do tratamento para além dos encontros da barragem visou a minimização do risco de perdas importantes de água da albufeira, através do maciço rochoso, cuja elevada permeabilidade, conjugada com a proximidade do vale a jusante, encurtando significativamente o caminho de percolação, punha em risco a estanqueidade do reservatório. Nas fotos (Fig. 6) podem-se observar as descontinuidades do maciço, predominantemente subhorizontal e desfavorável para o objectivo em vista.



Figura 6 – vistas de jusante e montante – de notar a fracturação do maciço

As injeções da cortina de impermeabilização foram executadas pelo Método GIN, à excepção das singularidades tais como nas zonas carsificadas com fortes absorções onde se recorreu ao enchimento com argamassas, e em alguns furos de verificação, levados à pressão máxima, independentemente do volume absorvido.

Definidas as características geológicas e hidrogeológicas do maciço e o respectivo zonamento, com base nos dados recolhidos nos furos exploratórios, com colheita de amostras e ensaios de permeabilidade, estabeleceu-se a intensidade específica do tratamento  $GIN = 2500 \text{ bar.l/m}$  (para trechos de 3m  $GIN = 7500 \text{ bar.l}$ ) e uma pressão máxima de 40 bar, o comprimento dos trechos de injeção, a profundidade da cortina, o afastamento entre os furos de 1ª, 2ª, 3ª e 4ª ordem (variável entre múltiplos de 1 e 2,5 m em função do zonamento do maciço) e a composição e relação ponderal da calda de injeção.

Estes dados iniciais foram testados em blocos de ensaio, integrados na cortina final e representativos das várias zonas do maciço a tratar, adaptando-se os parâmetros de injeção em função dos resultados que iam sendo obtidos.

Este processo iterativo prolonga-se pela execução do tratamento, garantindo que as regras vão sendo adaptadas às condições reais de execução dos trabalhos. Na Fig. 5 podem apreciar-se entre outros aspectos: a localização dos blocos de ensaio, em ambas as margens; as sondagens exploratórias; as variações do comprimento da cortina; o afastamento entre furos.

Em grandes números, apenas para a cortina de impermeabilização foram executados cerca de 85 km de furos de injeção, consumindo um total de 6 mil toneladas de cimento, e que corresponde aproximadamente a 9 mil metros cúbicos de caldas cimentícias.

As caldas de injeção foram preparadas em centrais automáticas, integrando todos os componentes, incluindo os aditivos, e, com apoio de um laboratório em obra, bem equipado, implementou-se um Plano de Garantia de Qualidade que controlou exaustivamente, a temperatura, a viscosidade, a densidade e a decantação das caldas, o módulo de finura,  $\% > 0.08 \text{ mm}$ , tempos de presa,  $\%$  de água de hidratação, e as resistências à compressão e à tracção.





Figura 7 – centrais automáticas de preparação de caldas

### 3.3 Procedimentos para motorização e controlo

Para a monitorização e o controlo das injeções foi desenvolvido um software de raiz, para PC, em ambiente Windows, com algumas funcionalidades inovadoras que merecem uma referência particular. O sistema designado por SEPI (acrónimo do francês *Système d'Enregistrement des Paramètres d'Injection*) é muito simples, constituído por uma unidade de aquisição de dados (pressão e caudal/volume) e um PC. Este sistema permite também o comando automático das bombas injectoras, actuando sobre a pressão e o caudal. O programa de gestão da informação tem um ecrã principal, no qual se digitam as informações relevantes da obra e se definem as características específicas dos furos, trechos, e dos valores limite de  $P_{máx}$ ,  $V_{máx}$  e  $PV$ , a respeitar (Fig. 8).

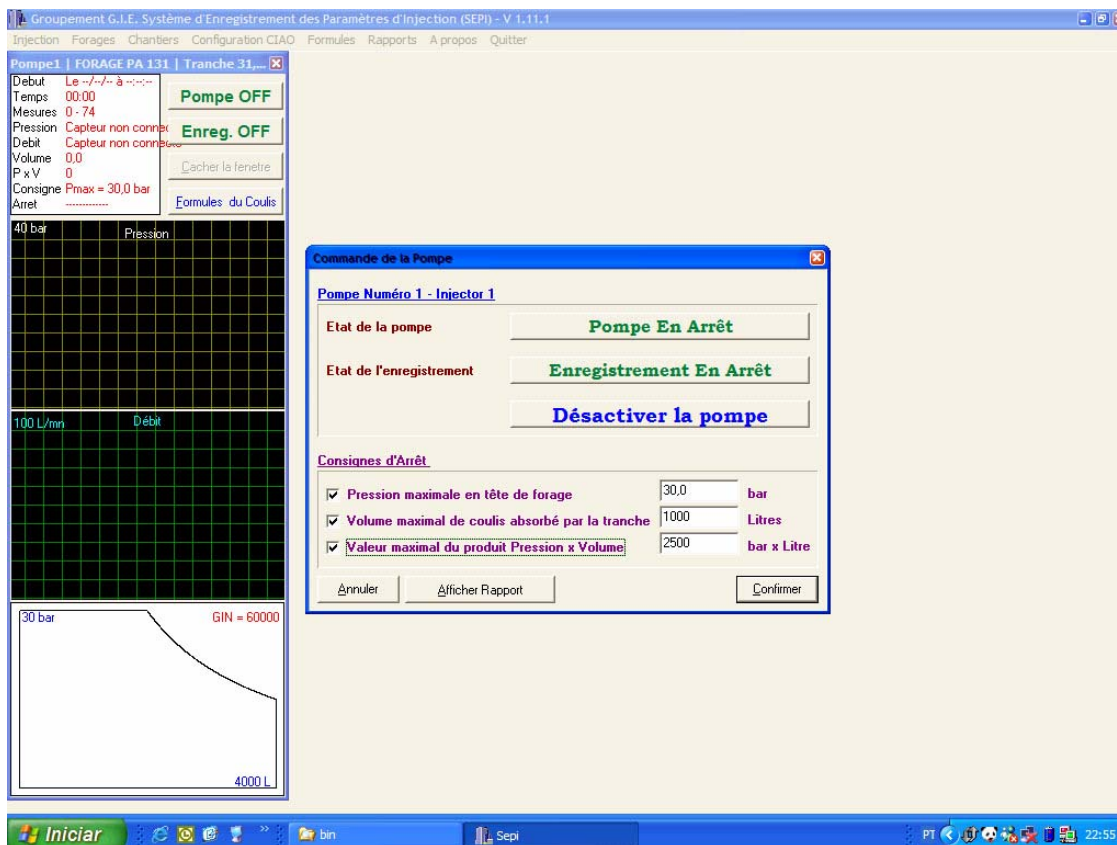


Figura 8 – Programa SEPI- Ecrã do Operador

A inovação deste sistema reside na visualização – no ecrã do PC – em tempo real da curva GIN (isto é da função  $PV=K$ ) cujo percurso pode ser acompanhado pelo operador, o que constitui uma novidade relativamente ao restante software disponível no mercado, cuja informação é visualizável graficamente apenas no final da injeção. Esta pequena diferença na disponibilização da informação em tempo real revelou-se de inestimável valia, já que a visualização da Função PV “on line” permite ao operador acompanhar o comportamento do maciço, permitindo depois de alguma prática, identificar os tipos de escoamento, a penetração da calda, a expulsão da água freática, os fenómenos de contra-pressão, enfim uma série de aspectos que até então estavam reservados à calma e ponderada retroanálise no gabinete. (Fig. 9).

Deste modo é possível tomarem-se decisões de paragem, no caso de deformação brusca no maciço, por exemplo no caso de queda brusca da pressão com aumento de caudal, ou no caso de não aplicabilidade do método, por exemplo grandes absorções sem pressão. Um exemplo extremo destas situações limite foi, em Ait Hammou, um trecho de injeção (no tratamento de consolidação da galeria), para selar uma grande caverna de origem cársica, no qual foram injectados cerca de 1500 m<sup>3</sup> de calda e argamassa.

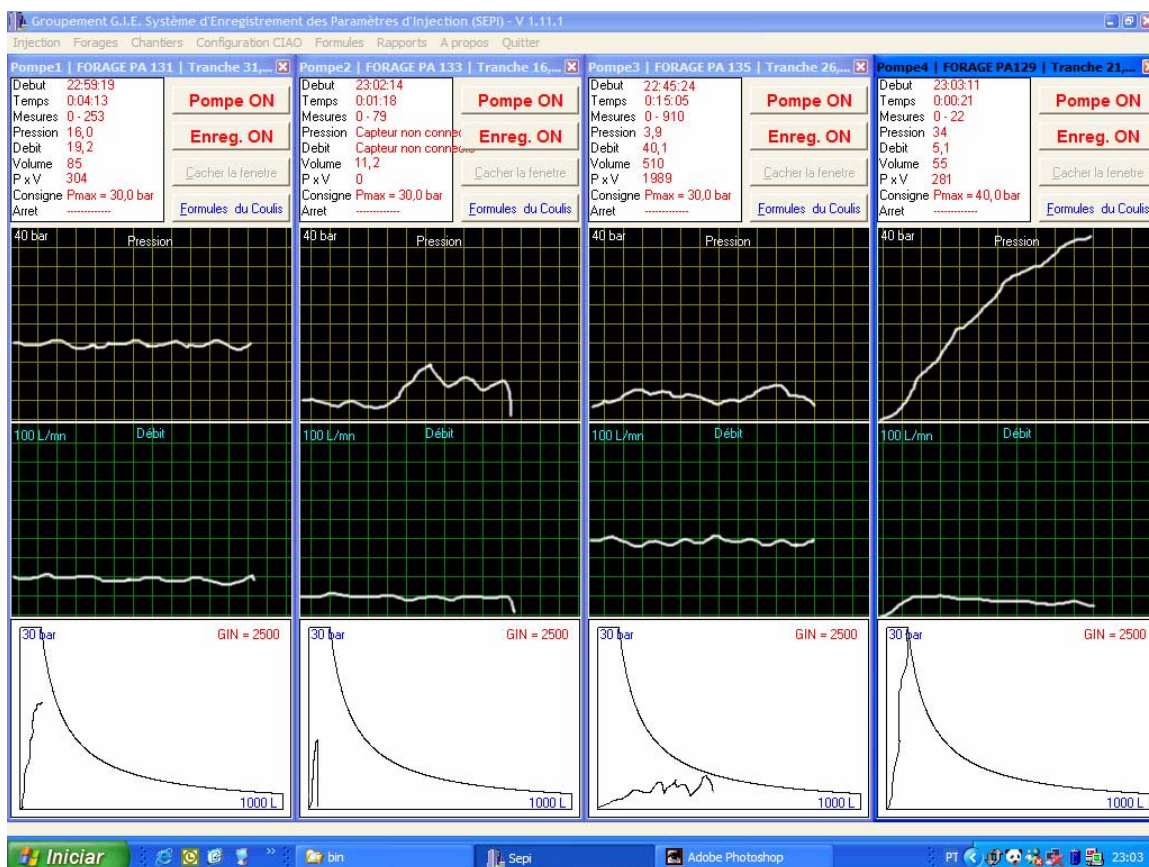


Figura 9 – Programa SEPI- Ecrã do Operador durante a injeção

É importante chamar a atenção sobre os limites de aplicabilidade do método GIN, que se destina à gestão de tratamento por injeção de fissuras e diáclases de maciços rochosos. Em situações de ocorrência grandes aberturas ou vazios como ocorrem em Karsts, ou, no outro extremo, quando se pretende selar zonas de permeabilidade em pequeno, o GIN não deve ser aplicado, definindo-se para cada caso uma abordagem específica, em que os critérios de paragem são escolhidos em função dos objectivos, das metodologias e dos produtos de injeção utilizados.

### 3.4 Análise dos resultados

Os resultados da aplicação desta tecnologia traduziram-se na optimização da aplicação dos critérios que norteiam o método GIN, expostos anteriormente, permitindo ao operador agir em tempo útil sobre os fenómenos que vão ocorrendo.

Com os dados das injeções individuais, facilmente exportadas para o P.C. dos responsáveis técnicos da empreitada (projectista, dono de obra e empreiteiro) é possível, em tempo útil, executarem-se as devidas análises sobre a adequação dos parâmetros (P,V,Q, espaçamento, caldas de injeção) ao objectivo do tratamento e tomar decisões fundamentadas.

Os gráficos das figuras 10 e 11 dão uma ideia deste processo de adaptação dos domínios de injeção definidos “à priori”, notando-se as adaptações efectuadas na sua abrangência, da teoria para a realidade. Estes mostram as nuvens de pontos que representam o produto PxV no final da injeção de uma zona da cortina executada.

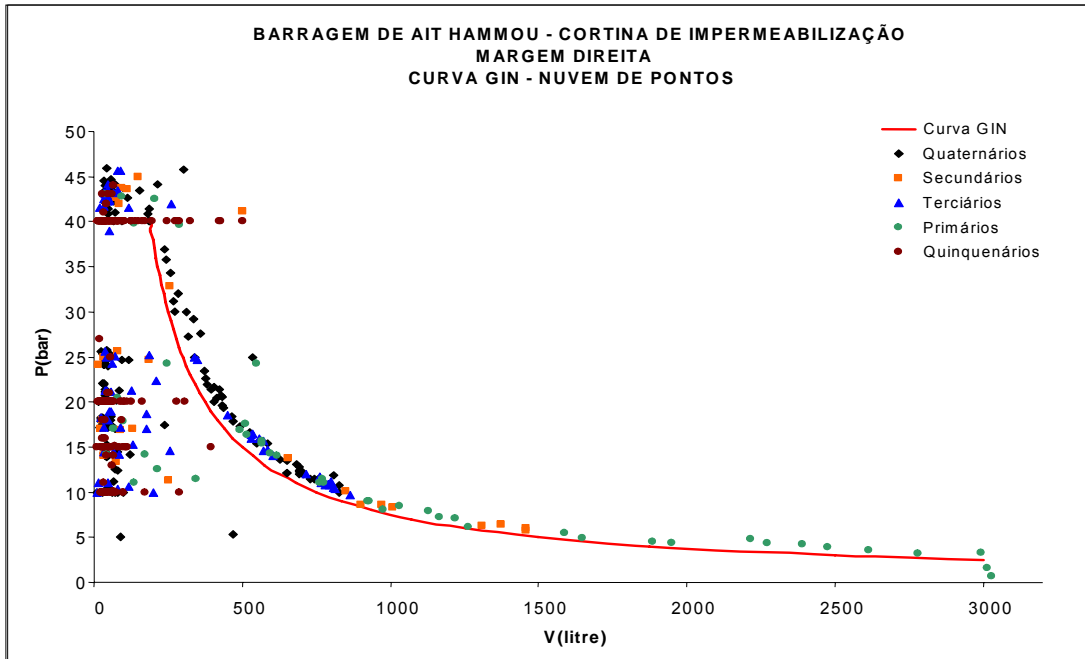


Figura 10 – representação dos resultados da injeção de um troço da cortina

Pela análise destes gráficos pode-se concluir que à medida que a malha de injeção se vai fechando, dos primários até aos quaternários, os pontos “sobem” na curva GIN, isto é, à medida que maciço vai sendo injectado, aumenta a dificuldade de injeção subindo a pressão de injeção até aos valores limites, mantendo-se constante  $P \times V$ .

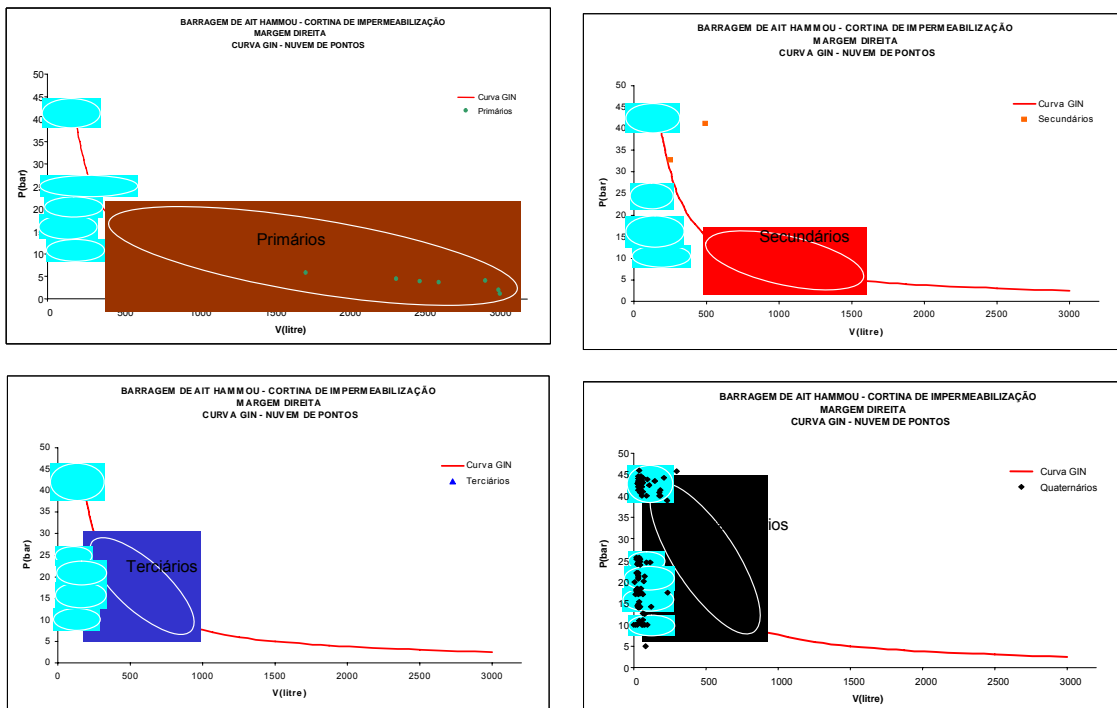


Figura 11 – os mesmos resultados mas separados por fases de tratamento

Da análise efectuada para este troço pudemos concluir que o maciço rochoso respondeu bem à metodologia implementada e que em alguns casos, coincidentes com os pontos baixos na curva dos quaternários, após observação do comportamento do troço durante a injeção (curva  $p;V$ )

foi sugerida a execução de alguns furos de verificação, que confirmaram ter sido atingido o objectivo do tratamento. A aplicação deste método contribuiu para uma redução das quantidades de trabalho inicialmente estimadas em cerca de 35%.

Actualmente, passados já dois anos do final dos trabalhos, a eficiência da cortina pode ser considerada excelente.



Figura 12 – Barragem de Ait Hammou ( Prince Moulay Abdellah) em serviço

#### 4. CONCLUSÕES

Com a apresentação deste artigo pretendemos, em primeiro lugar, prestar uma homenagem ao Prof. Giovanni Lombardi pela qualidade do seu método e pela paciência com que o tem defendido e ensinado durante os últimos quinze anos. Em segundo lugar não podemos deixar de enaltecer o trabalho desenvolvido pelos nossos colaboradores Dr. José Amaral e os Eng.os Jean Marie Naudin e Mustafa Sadi.

Finalmente e não menos importante, esperamos que a discussão deste artigo pela nossa comunidade geotécnica possa contribuir para o melhor entendimento e aproveitamento, da aplicação do método GIN no tratamento de maciços rochosos por injeções de cimento.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bremen, R., “The use of additives in cement grout”, Hydropower and dams, Issue One, 1997;  
Deere, D. & Lombardi, G., “Grout Slurries - Thick or thin?”, Issues in Dam Grouting, Proceedings of the session sponsored by the Geotechnical Engineering Division of the Society of Civil Engineers in conjunction with the ASCE convention in Denver, Colorado, USA, April 1985;  
Lombardi, G., “Grouting of Rock with Cement Mixes”, ICOLD-SYMPOSIUM, Antalya (Turkey), September 1999, Dam Foundations: Problems and Solutions, 102. 1-R-119;  
Lombardi, G., “Idées Reçus sur l’injection des Roches”, 60<sup>e</sup> Anniversaire du prof. Fr. Descoendres, Novembre 1998, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse.  
Lombardi, G., “Injection des massifs rocheux”, Société Suisse de Mécanique des Sols et des Roches, N° 115, Bienne, Switzerland, Mai 1987;  
Lombardi, G., “La perméabilité et l’injectabilité des massifs rocheux fissurés”, Revue Française de Géotechnique, N° 51, Avril 1990;  
Lombardi, G., “Selecting the grouting intensity”, Hydropower and dams, Issue 4, 1996;

Lombardi, G. & Deer, D., “Grouting Design and Control using the GIN principle”, International water power & dam construction, June 1993.

Turcotte, L., Savard, B., Lombardi, G. & Jobin, H., “The use of stable grout and GIN technique in grouting for dam rehabilitation”, Annual Meeting Canadian Dam Safety Conference: CDSA and CANCELDA, Winnipeg, Manitoba, Canada, October, 1994;

Barrage Ait Hammou - Notes Techniques de l’Entrepreneur, N° 2-3, Agadir (Maroc) 2001 - 2002;

Barrage Ait Hammou - Rapport’s Mensuels et Hebdomadaires, N° 10-15, Agadir (Maroc) 2001 - 2002;