

SOILCRETE – TRATAMENTO DE SOLOS EM FUNDAÇÃO DE TUNEIS

SOILCRETE – SOIL TREATMENT IN TUNNELS FOUNDATION

António J.F. Cristóvão*

RESUMO

Descreve-se o tratamento de solos por injeção de calda de cimento na formação de estacas e paredes, com a utilização de jactos a alta pressão, designados por JET-GROUTING ou SOILCRETE.

Entre as inúmeras aplicações do SOILCRETE, no domínio das fundações, indicam-se algumas obras onde este processo foi utilizado.

ABSTRACT

We present the improvement of soils by grouting for the execution of piles and retaining walls using high speed jets called "JET-GROUTING or SOILCRETE".

Among several applications of Soilcrete in foundations, we describe some works in tunnels where this process was applied.

Introdução

Um dos métodos de melhoramento das características do solo que se tem vindo a desenvolver na Europa, em especial na Alemanha, é o Soilcrete ou Jet-Grouting.

O Jet-Grouting teve a sua origem no Japão e as primeiras aplicações iniciaram-se no início da década de 70.

Na Europa este processo foi introduzido na Alemanha pela GKN Keller no ano de 1980, sob patente Japonesa, tendo para o efeito sido adoptada a designação de SOILCRETE.

O SOILCRETE é um processo de injeção de calda de cimento a alta pressão que, misturado com o solo, confere a este uma melhoria das suas características mecânicas. Tem sido aplicado em inúmeras obras como reforço de fundações e suporte de cargas, na execução de paredes vedantes e de cortinas de impermeabilização em barragens, em entivações, inclusivamente ancoradas, e na protecção de abóbadas de túneis durante a sua construção.

O Processo Soilcrete

O Soilcrete consiste na injeção de água e cimento a alta pressão e velocidade, através de um orifício existente numa vara que previamente se empregou na execução do furo até à profundidade da camada de solo a injectar.

A aplicação do SOILCRETE é extensível aos solos siltosos e, como tal, muito superior à das injecções de calda de cimento ou de injecções químicas executadas pelos métodos tradicionais, as quais se efectuam apenas em seixos e/ou areias. (Fig.1).

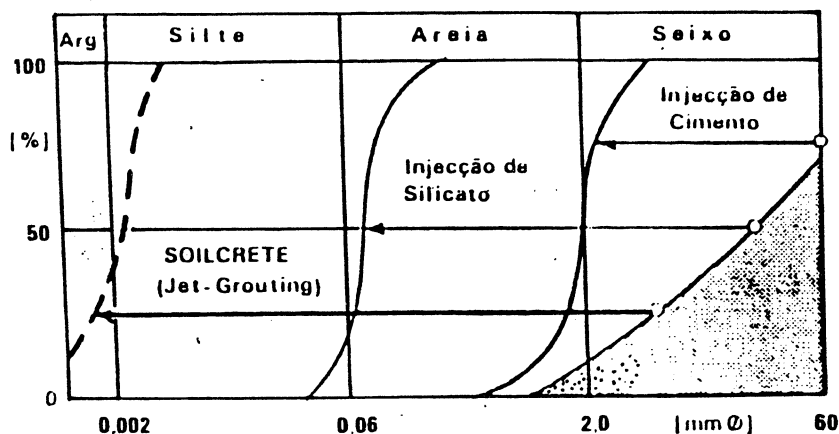


Fig.1 - Limites de Aplicação.

O SOILCRETE poderá ser utilizado em argilas, desde que se proceda à execução de ensaios "in situ". Materiais de aterro, depósitos compressíveis e mesmo margas, independentemente da cota do nível freático, não constituem dificuldades à aplicação do SOILCRETE.

O SOILCRETE tem as seguintes fases de execução: a furação e a injecção de calda de cimento.

Na primeira fase, a furação, executa-se um furo até à profundidade previamente determinada. Esta furação é realizada com o equipamento que é usual na execução de furos de diâmetros compreendidos entre 0,08 e 0,20 m.

Numa segunda fase inicia-se a injecção de calda de cimento pela mesma vara que se utilizou na furação, possuindo, para o efeito, na sua ponta, orifícios de 2 a 4 mm de diâmetro.

Esta injecção poderá ser feita por um dos seguintes processos:

a) Processo simples

A furação é seguida da injeção de calda de cimento que é conduzida pelo interior das varas e sai, na sua parte inferior, com uma pressão superior a 200 bar. É então imprimida à vara uma rotação e uma ascensão constantes e uniformes, operações que permitem a formação de uma coluna compacta rígida de solo e cimento, constituindo uma estaca com um diâmetro efectivo compreendido entre 0,30 e 0,50 m.

b) Processo duplo

Este processo é em tudo semelhante ao anteriormente descrito, com excepção do modo de injeção da calda de cimento que, neste caso, é auxiliada com uma injeção de ar. Deste modo, conseguem-se diâmetros efectivos de estacas de 0,80 a 2,00 m, superiores aos executados pelo processo simples.

c) Processo triplo

Após se ter executado a furação, comum a qualquer destes processos anteriores, inicia-se a formação da estaca de um modo diferente dos anteriores.

Enquanto nos processos simples e duplo a vara possuía um único orifício, neste processo existem, no extremo da vara, dois orifícios diametralmente opostos e a níveis diferentes.

No orifício superior é injectada água a alta pressão (300 a 800 bar) que, auxiliada com injeção de ar, permite a remoção do solo para a superfície pelo espaço anelar entre a vara e as paredes do furo. No orifício inferior é então lançada a calda de cimento que vai preencher o espaço deixado pelo solo (e que foi removido

pela forte injeção de água e ar que sai no orifício superior), formando-se, por este processo, estacas com diâmetros efectivos compreendidos entre 1,50 e 3,00 m.

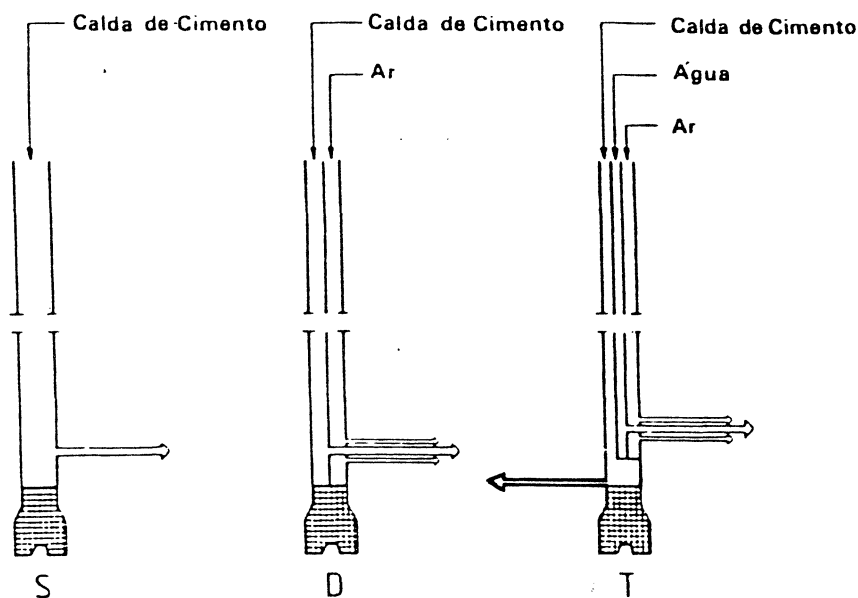
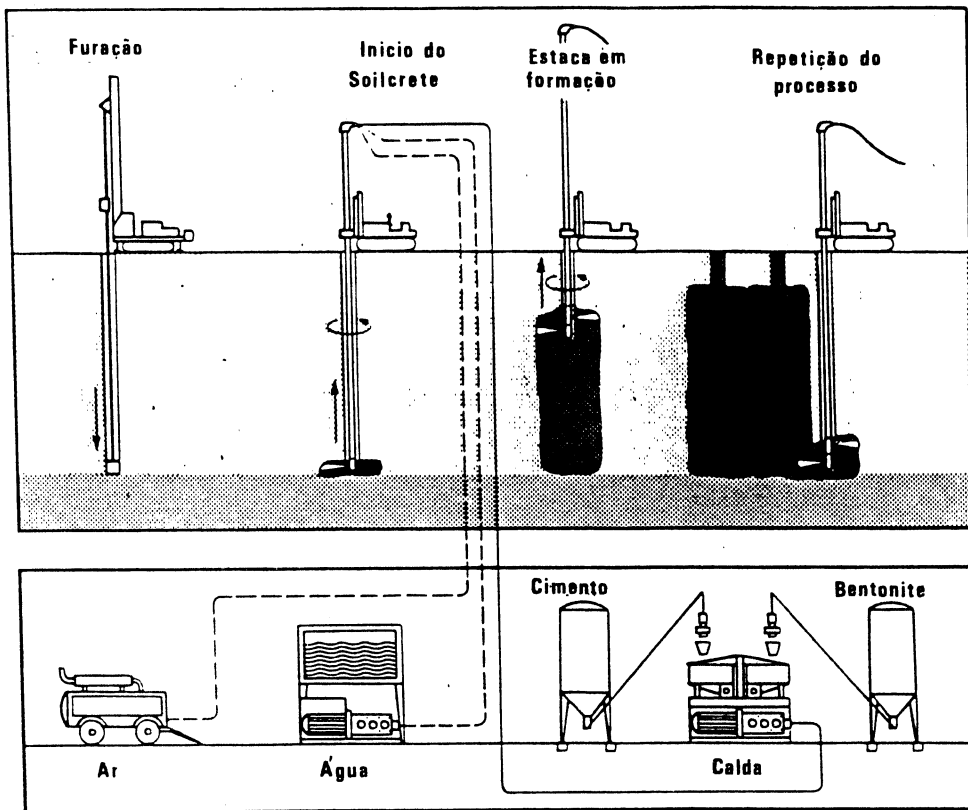


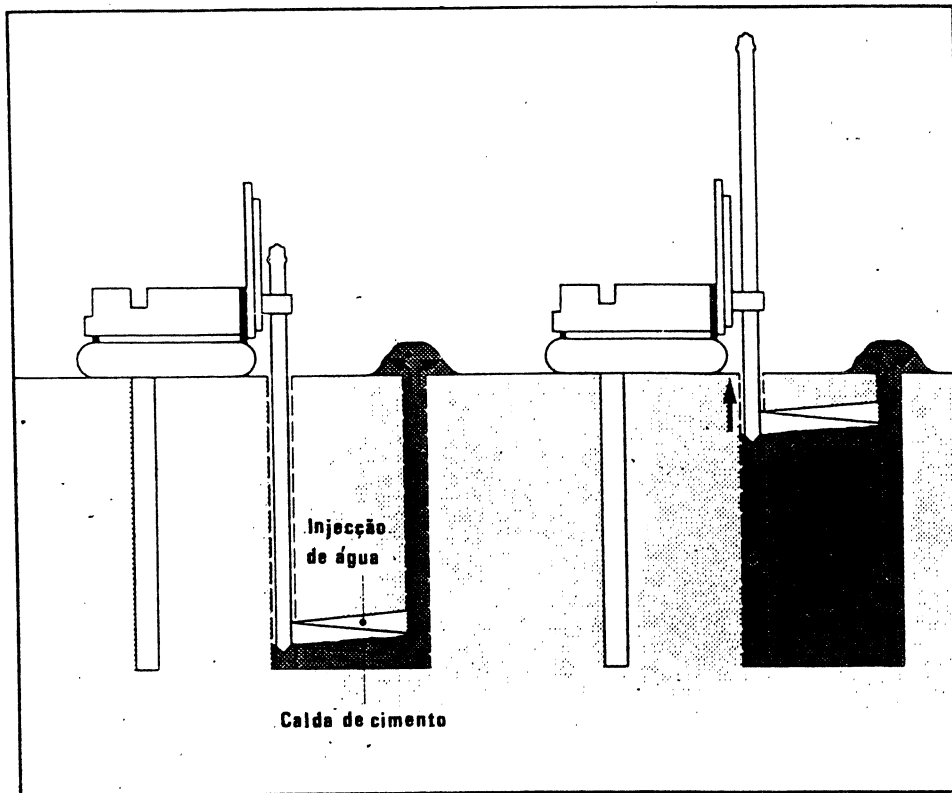
Fig.2 - Processo de Execução do Soilcrete

Com a aplicação de qualquer um destes processos podem formar-se paredes ou cortinas desde que, para o efeito, se faça a ascensão lenta da vara, sem rotação, durante a injeção de calda de cimento. (Fig. 4).

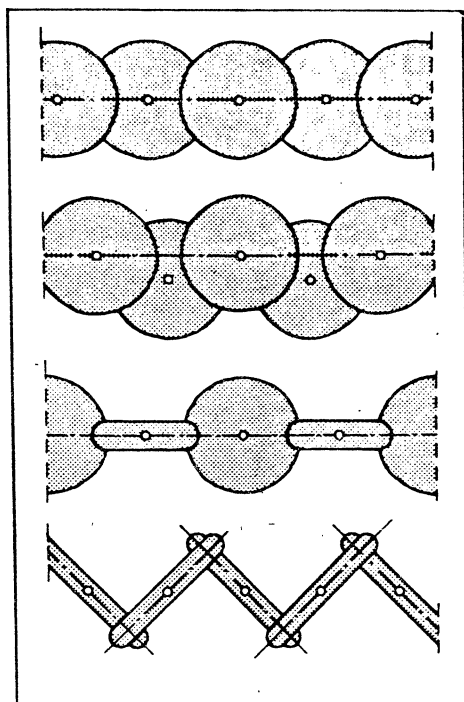
É também possível a execução de cortinas por intersecção de estacas ou pela aplicação de sistemas múltiplos conforme se indica na Fig. 5.



.Fig.3 - Execução de Estacas pelo Soilcrete



.Fig.4 - Execução de Paredes pelo Soilcrete



.Fig.5 - Cortinas Formadas por Estacas e/ou Paredes pelo Soilcrete

O equipamento para a execução do SOILCRETE ou JET-GROUTING é constituído, fundamentalmente, por uma máquina de furação com varas apropriadas a este tipo de injeção, bombas de injeção de água a alta pressão, bombas de injeção de calda de cimento, compressor e equipamento acessório (misturadores rápidos e lentos, silos de cimento, etc.)

O diâmetro das estacas executadas pelo SOILCRETE depende do tipo de solo onde se efectua a injeção, do processo utilizado na sua execução (processo simples, duplo ou triplo), da velocidade de ascensão e rotação das varas e da pressão de injeção da água que serão controlados durante a execução dos trabalhos. Ensaio realizados para os diferentes tipos de solos indicados na Fig. 6, forneceram valores da resistência à compressão simples, para uma relação água-cimento $A/C = 0,67$ de 12 a 18 MN/m^2 em seixos (tipo A), 10 a 14 MN/m^2 em solos arenosos (tipo B) e de 6 a 10 MN/m^2 em solos siltosos (tipo C).

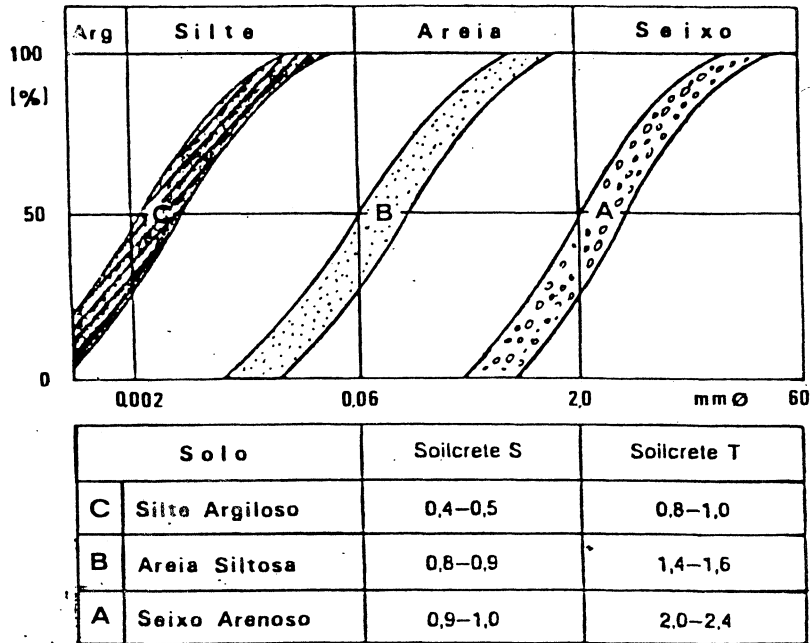


Fig.6 - Diâmetro Médio das Estacas (m)

Algumas aplicações do SOILCRETE

Fundação de Um Tunel de Caminho de Ferro

A Companhia dos Caminhos de Ferro Britânico teve, durante muitos anos, problemas com a estabilidade de um tunel construído há 90 anos. Este tunel que presentemente pertence à rede ferroviária da cidade de Glasgow, foi construído parte sobre rocha e parte sobre silte.

A diferença de comportamento entre estes dois tipos de terreno de fundação originou assentamentos diferenciais que se traduziram na abertura de fendas na estrutura do tunel.

Numa primeira tentativa para eliminar estes assentamentos foi construída, sob os carris, uma laje em betão com 1,10 m de espessura. Apesar disto, continuaram a verificar-se assentamentos

nas vias, pela passagem do tráfego ferroviário, e foi sempre necessário proceder-se a correcções da rasante da via férrea. Tendo sido executadas sondagens para caracterização geológica do terreno onde se verificaram os assentamentos, concluiu-se que sob o tunel existia um vale glacial preenchido com silte, onde estava instalado um nível aquífero. (Fig. 7).

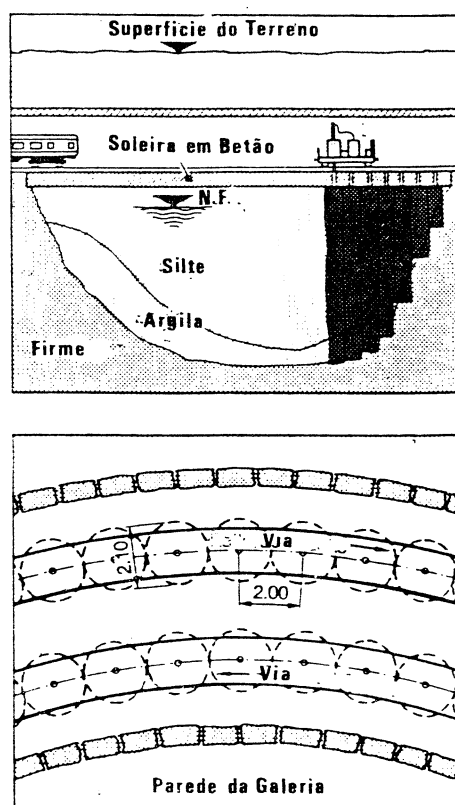


Fig.7 - Recalçamento do Tunel com Estacas Executadas pelo Soilcrete

Face às sondagens e às várias soluções propostas para as fundações do tunel, a Companhia dos Caminhos de Ferro Britânica considerou o SOILCRETE como o processo mais adequado ao recalçamento do tunel, tendo sobretudo em atenção o reduzido espaço de movimentação do equipamento no seu interior. Havia, pois, que transmitir as cargas da soleira do tunel à rocha, através de estacas executadas com a injeção de calda de cimento a alta pressão - SOILCRETE.

As dificuldades de acesso à zona dos trabalhos foram minoradas pela execução de um furo a partir da superfície e que atravessava a abóbada do tunel. Por este furo passavam as tubagens de ar, água e as de calda de cimento que eram preparadas no exterior, reduzindo-se ao mínimo o equipamento no local dos trabalhos.

O equipamento para a furação foi montado numa plataforma sobre carris. Os furos para a execução do SOILCRETE estavam distanciados de 2,00 m e as estacas, com um diâmetro superior a este valor, intersectavam-se.

Os trabalhos foram executados durante os fins de semana, e o tráfego ferroviário era restabelecido 10 horas após a conclusão do SOILCRETE.

Fundação de colector de esgoto

Em Hamburgo foi projectado um tunel para colector de esgoto com um diâmetro exterior de 4,00 m (Fig. 8).

A cota da soleira do tunel encontrava-se a 12,20 m abaixo da superfície do terreno.

Todo o tunel atravessava, durante a sua execução, areias silto-sas com passagens de tórfa.

Para suporte do tunel foram executadas, a partir da superfície, estacas pelo processo de SOILCRETE que atingiam o firme a profundidades da ordem dos 18,00 m.

As estacas com o diâmetro de 0,60 m foram sempre construídas em avanço relativamente à construção do tunel.

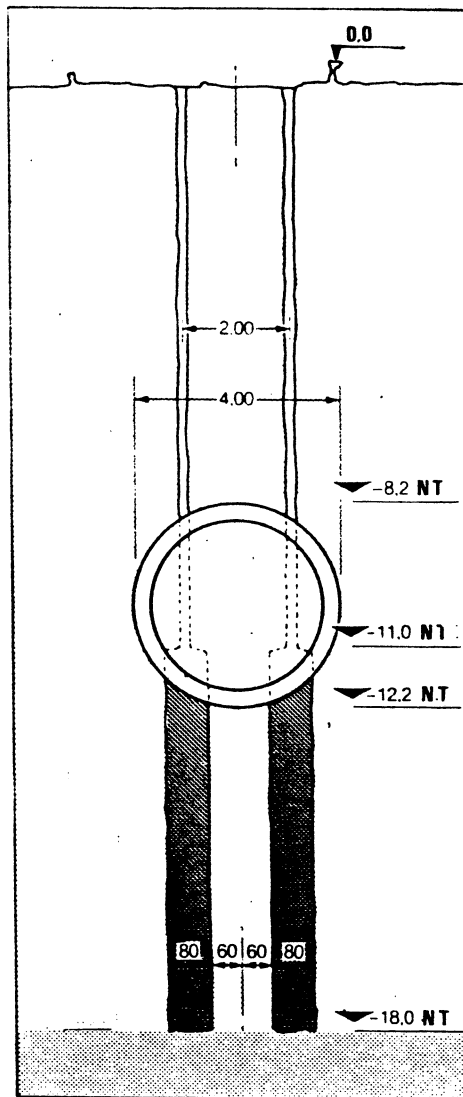


Fig.8 - Fundação de um Colector de Esgotos com 4 metros de diâmetro

Para se garantir a verticalidade da furação e das estacas, utilizaram-se dispositivos que indicavam a direcção da furação e permitiam a leitura da velocidade de ascensão e de rotação das varas durante a injecção de calda de cimento.

Recalçamento de Fundações para Construção de Tunnel

Para protecção de uma estrada contra as avalanchas de neve foi elaborado um projecto de um tunnel que assentava nas fundações de um muro de suporte de terras existente num dos lados da estrada.

O aumento de carga nas fundações existentes, pela construção do tunel, levou a melhorar as condições de suporte de carga do solo, tendo sido utilizado, no reforço de fundação, o SOIL CRETE. (Fig. 9).

A furação para a execução do SOILCRETE foi realizada a partir da berma da estrada.

A execução de furos com várias inclinações permitiu efectuar o recalçamento e alargamento da fundação constituindo-se um maciço com $3,00 \times 2,60 \text{ m}^2$, que distribuiu as cargas numa maior área e transmitiu-as a uma camada mais resistente.

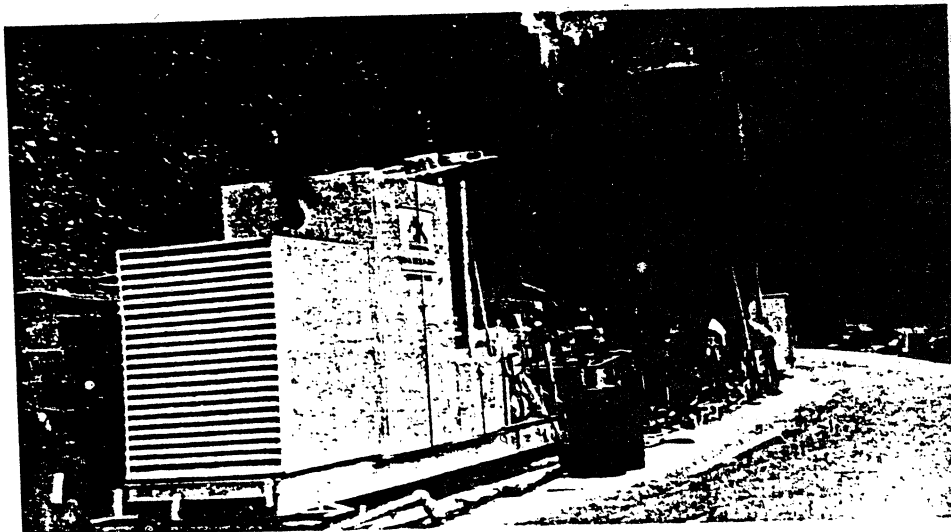
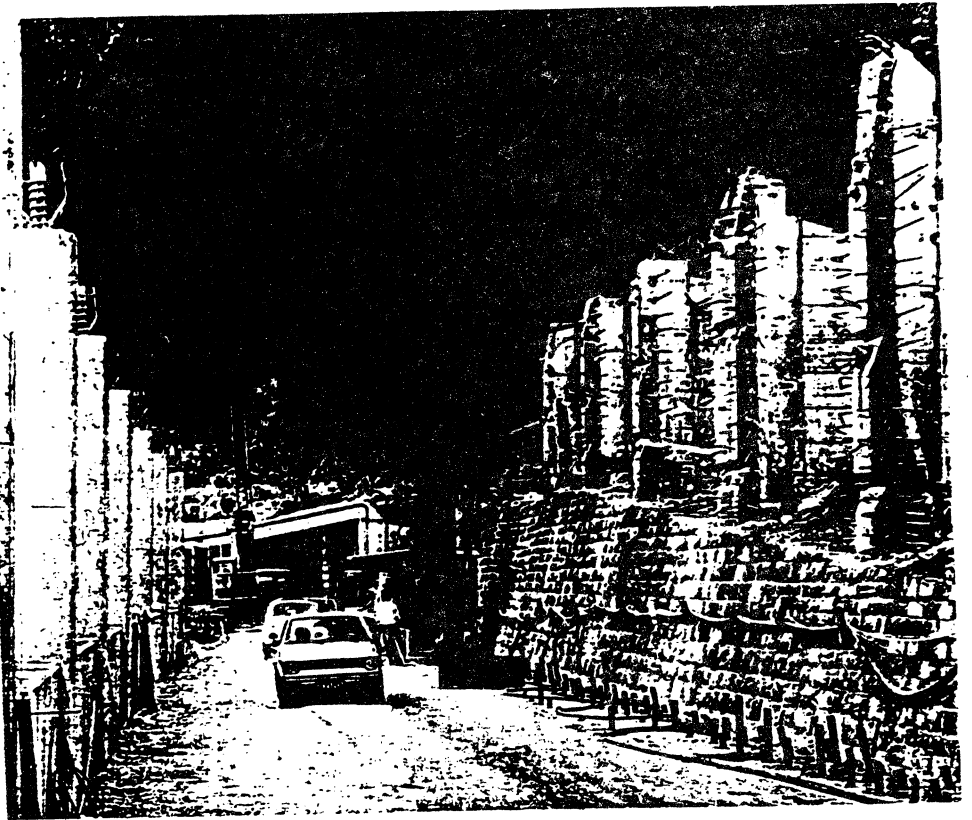


Fig. 9 - Recalço de Fundações

BIBLIOGRAFIAS

- (1) ENGINEERING NEWS RECORD
Ausgabe 22. November 1962. Página 42/43
- (2) YAHIRO T. - YOSHIDA H. - NISHI K.
"On the Characteristic of High Speed Water Jet in the Liquid and its Utilization on Induction Grouting Method"
Kajima Institute of Construction Technology (May 1974).
- (3) BAUMANN V. - SAMOL H.
"Soilcrete-Verfahren. Hochdruckinjektionen zur Lastuebertragung und Abdichtung in feinund Grobkoernigen Bodenschichten"
Baugrundtagung 1980 Mainz. Página 437 - 463.
- (4) ASCHIERI F. - JANIOLKOWSKI M. - TORNAGHI R.
"Case History of a Cut-Off Wall Executed by Jet Grouting"
Proc. 8th European CSMFE, Helsinki 1983, vol.1. Página 121-126.
- (5) MIKI G. - NAKANISHI W.
Technical progress of the jet grouting method and its newest type.
- (6) BAUMAN V. - DUPEUBLE P.
Le procédé "Jet grouting" et son application das quelques pays européens.
- (7) CRISTÓVÃO - ANTÓNIO J.FERREIRA.
Soilcrete - Um Novo Processo de Tratamento de Solos. - 1º Simpósio Nacional de Materiais e Tecnologia na Construção de Edifícios. Lisboa, Abril de 1985.