

# CONSOLIDAÇÃO DE SOLOS POR INJEÇÕES: DISCUSSÃO SÔBRE UMA PRÁTICA BEM SUCEDIDA MAS QUE NÃO ESTÁ DE ACÔRDO COM AS TEORIAS CLÁSSICAS EXISTENTES

*SOILS CONSOLIDATION BY INJECTIONS : DISCUSSION ABOUT A SUCCESSFUL  
PRACTICE THAT IS NOT IN ACCORDANCE WITH THE CLASSICAL EXISTENT THEORIES.*

João Duarte Guimarães Filho, Eng. Civil  
Diretor Presidente, ESTE S.A.

Recebido em 19 / 04 / 84

## RESUMO

Esta Nota Técnica apresenta considerações sobre a consolidação de solos não apenas pelo enchimento dos vazios naturais, mas pelo efeito de rupturas controladas

Os volumes a injetar são pré-determinados, as pressões de injeção são lidas e analisadas, de modo a estruturar o solo com lentes duras, substituir parte da água dos vazios e criar condições de resistência que permitam a auto-sustentação do terreno.

## ABSTRACT

*This Technical Note presents some considerations about soil consolidation not only by filling its natural voids but through the effect of controlled bursts.*

*The volumes to be injected are previously determined, the injection pressure are read and analysed, so as to reinforce the soil with hard lenses, replacing part of the pore water and creating strength conditions that allow the soil to be self-supporting.*

## 1. INTRODUÇÃO

Muito já se escreveu sobre injeções. Muito mais ainda se mistificou e ficou sob a sombra protetora da propriedade industrial.

As injeções em rocha, normalmente nas fundações de uma barragem, são de domínio público e todas as concorrências de grandes barragens trazem especificações de injeções. Na década de 60, quando da construção da Barragem de Jupia, com a passagem pelo Brasil do Prof. Sabarly pode-se ter um verdadeiro seminário so-

bre injeções. Tudo, porém, dirigido para injeções de rochas em fundações de barragens.

As questões levantadas por Terzaghi na Barragem Bou Hanifia em 1932, provavelmente concentraram a atenção dos projetistas americanos mais nos sistemas de drenagem que na injeção. Se bem que ninguém tem coragem de deixar de fazer pelo menos uma linha simples de injeção o que geralmente é feito como um "mal necessário", com especificações quase padronizadas. Vissa - se preencher eventuais descontinuidades maiores, no caso de barragens tipo gravidade.

*Discussões abertas até 30/08/85*

Para se construir uma barragem tipo abóbada em vales constituídos de rochas intemperizadas e/ou diaclasadas, o problema é, naturalmente, diferente. As altas pressões dos encontros das barragens tipo arco contra as ombreiras, requerem tratamento especial. Aí não se pode pensar que a injeção de impermeabilização de barragem tipo gravidade tem eficiência discutível e que as redes de drenagem são mais eficazes. Tem-se mesmo que "transformar" uma rocha diaclasada, fraca, em rocha consolidada, capaz de resistir às altas pressões no encontro além, obviamente, de não permitir caminhos preferenciais de percolação.

Há duas décadas usava-se especificações européias para injeções, com critérios de pressões máximas  $P = H$  ( $P$  em atm e  $H$  em metros de profundidade). Com o aumento do grau de dependência dos E.U.A., ficou frequente a utilização do critério de pressões máximas  $P = 0,23 H$ . Ocorre que nos E.U.A. usa-se cimento fino para injeções, com superfície específica superior a  $4.500 \text{ cm}^2/\text{g}$ . Na maioria dos casos no Brasil segue-se o uso de pressões máximas baixas, usando cimento do fornecedor mais próximo ou mais barato (o que é natural), com finura desconhecida, geralmente inferior a  $2.500 \text{ cm}^2/\text{g}$ . Apesar da existência de grandes projetistas, grandes construtoras e grandes barragens, não se encontra no mercado um cimento adequado para injeções. Isto reflete uma certa subestimação da técnica de injeções.

## 2. CONSOLIDAÇÕES DE SOLOS FINOS COM INJEÇÕES DE CIMENTO

No caso de injeções de solos para construções de vias de acesso e obras subterrâneas, em geral ocorrem em nosso meio técnico conceitos em conflito e muitas vezes conflitos sem conceitos.

Nos últimos 20 anos as diversas empresas de Geotecnia tem prestado um relevante serviço nas grandes obras injetando solos. Os túneis do Taquaril, Chiqueiro, a Rodovia dos Imigrantes, a Ferrovia do Aço, os Metrô do Rio e São Paulo, o Sanegran, etc., atestam inúmeras campanhas de injeções de solos com êxito "surpreendente". A grande maioria dos meios injetados era de solo argilo-siltoso, com coeficiente de permeabilidade abaixo de  $10^{-4} \text{ cm/s}$ .

Os trabalhos teóricos apresentados por Caron, Cattin e Herbst (1968) bem como o excelente livro de Cambefort sempre conduziram o assunto de injeção de solos mais para o lado "clínico", estabelecendo a relação entre viscosidade do fluido com a permeabilidade dos solos. A experiência no Brasil, bem como a análise de injeções em outros países, conduz para outra direção como se verá adiante.

A presente intervenção vem tentar expor a filosofia adotada em dezenas de campanhas de injeção de solos, realizadas basicamente com cimento comum, em solos finos.

### 2.1. Tubos com Válvulas "a Manchette" em Domínio Público.

Desde os primórdios da extração de petróleo se usa o sistema de romper, por meio de pequenas cargas explosivas, uma formação rochosa e imediatamente encher as fissuras com nata de cimento. Este sistema foi e até hoje é usado em todo o mundo, tendo solucionado problemas de grandes proporções.

Para compreensão de injeção de solos pouco permeáveis com nata de cimento com tubos "a manchette", tem-se que antes entender o princípio "cirúrgico" e não "clínico", de primeiro abrir fissuras e enchê-las com o fluido cimentador. Qual a pressão instantânea no momento da explosão? Sabe-se que isto depende da quantidade e potência do explosivo, do seu confinamento e da reação da formação. Assim, é necessário ver como funciona a válvula "manchette" (Fig. 1).

Com vistas na Figura 1, note-se que o tubo tem as válvulas de borracha confinadas por nata semi-rígida denominada "bainha". Quando se posiciona o obturador duplo numa determinada válvula e se injeta o fluido cimentador, este abre a válvula flexível, fissura-se a bainha e depois se comunica com o solo a injetar. Após o fissuramento da bainha, qual a pressão de reação do terreno? O que pode ocorrer com o fluido cimentador? Quanto se deve injetar em cada fase?

A pressão de reação do terreno, é fácil entender, será baixa no caso de grandes vazios e no caso de argilas muito moles. Os solos mais consistentes tem uma pressão de reação maior. Então o que fazer para melhorar a consistência dos solos?

Se se estabelece a quantidade a injetar por fase, em cada válvula por exemplo 30 litros, o aumento da pressão de reação do terreno se dá de uma fase para a próxima. Considere-se o exemplo de uma das campanhas feitas em argila muito mole sob lençol freático. Nas primeiras três fases a pressão de reação era muito baixa, mesmo quando se injetava maiores quantidades. Na injeção das fases subsequentes, a pressão de reação aumentou consideravelmente, mesmo nos casos de baixa cobertura. A pressão de reação superou, na maioria dos casos, à correspondente  $\gamma H$ , ou seja, pressões puntuais (com injeção de poucos litros de nata) maiores que a pressão confinante.

Que ocorreu? Nas primeiras fases no solo muito mole houve um adensamento do mesmo com expulsão de parte da água dos vazios. Nas fases posteriores com o solo já adensado, promo-

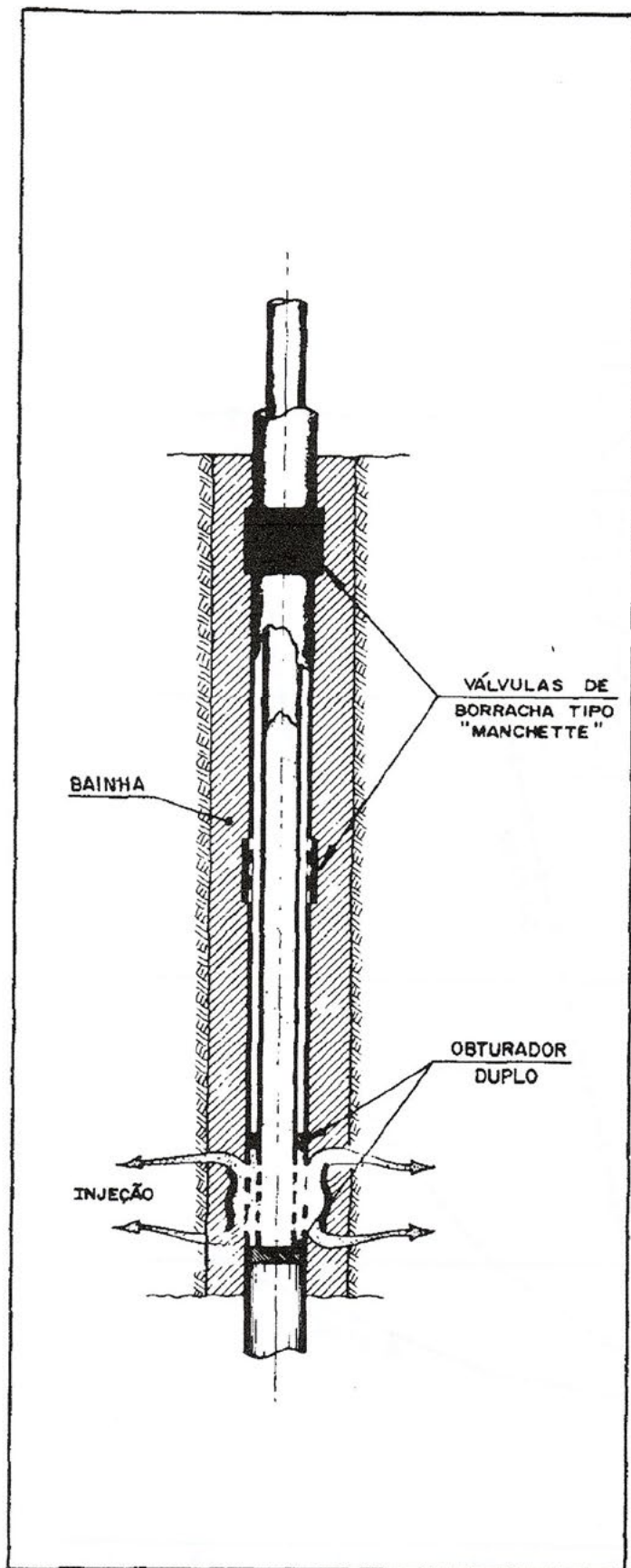


Fig. 1 - Tubo de injeção com válvulas tipo "manchette"

veram - se as redes de fissuras cheias de nata para "esqueletar" o solo.

Quando da escavação no trecho injetado, pôde - se ver claramente o aumento do diâmetro em torno do tubo de injeção semelhante a um

bulbo de tirante feito com válvulas "manchette", além de serem vistas e fotografadas as fissuras cheias de nata (ver fotos). Estas fissuras abertas no terreno, quando se injetam poucos litros por vez, tem um raio de ação pouco superior ao escapamento entre os eixos dos furos.

Com essas dosagens homeopáticas de nata após a cirurgia do fissuramento, obtém-se primeiro um adensamento pacial. Depois, formam-se as diversas redes de planos duros dispersos quase erráticamente no maciço injetado.

Considere - se agora, em 3 dimensões, um determinado volume de solo com tubos com válvulas "manchette" espaçadas de 0,5 em 0,5m e eixos de furos formando uma malha quadrada com 1,5m de lado. A intervenção se dá em um número grande de pontos dispersos no seio da massa a consolidar, isto em 3 ou mais fases. No caso de baixa cobertura, geralmente a rede alveolar é preferencialmente plana, o que pode vir a ocasionar um pequeno levantamento da superfície do solo. No caso de consolidação de solos, esta "rede" de planos preferencialmente paralelos, tem se revelado eficaz tanto em calotas de túneis como em base de tubulões e bulbos de microestacas tubulares. Se um pequeno levantamento de superfície for desaconselhável, é preferível reduzir a quantidade a injetar por vez, a limitar a pressão. Neste caso é bom instrumentar e acompanhar as leituras de deformação durante a injeção.

Sempre que se puder assumir pequenas deformações, isto vai em favor da eficiência do tratamento. Caso não seja possível assumir nenhuma deformação, o tratamento fica muito homeopático e mais demorado, mas não chega a ser inviável. Requer o uso de bombas especiais e uma atenção maior do especialista na frente do serviço. Uma operação desse tipo é realmente algo artesanal, o que em Geotecnia não é novidade.

Este trabalho visa defender uma filosofia de injeção de solos e levantar questões para futuras discussões. É claro que fica difícil para um Engenheiro Projetista projetar um serviço artesanal, porém, uma vez estabelecido o princípio filosófico, pode - se estabelecer parâmetros básicos de projeto. Tendo em vista experiências anteriores, fica fácil estimar a zona a ser tratada, o espaço entre furos, as distâncias entre as válvulas e as quantidades e pressões por vez ou fase.

Neste ponto é bom enfatizar que a injeção de solos tem como princípio básico o aumento das pressões de reações, como se vê nas Figuras 2, 3 e 4. Na Figura 2 o eixo horizontal representa o tubo com as válvulas e o eixo vertical a pressão em cada válvula, em cada fase de injeção. Note - se que foram feitas 4 fases de injeção. Na primeira a pressão de reação do terreno ficou entre 2 a 5 kgf/cm<sup>2</sup>. Nas seguintes chegou - se até 20 kgf/cm<sup>2</sup>, logo acima da calota do túnel.

PRESSÃO DE REAÇÃO DO SOLO (kgf/cm<sup>2</sup>)

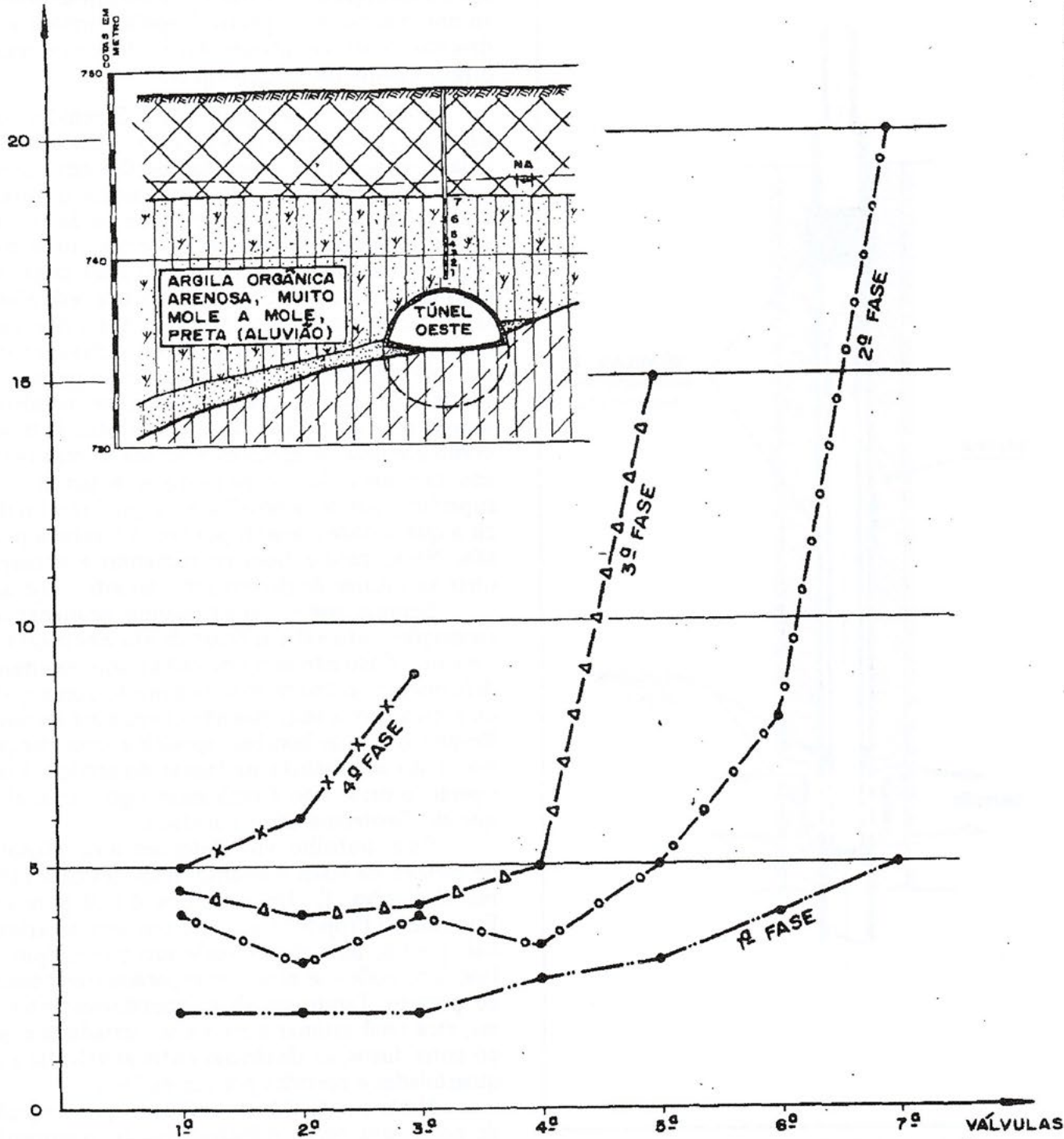


Fig.2 – Variação da pressão de reação do solo em função de sucessivas fases de injeção por válvula de injeção. Consolidação de solo aluvionar mole por injeção de calda de cimento para escavação de túnel urbano, Local: Prolongamento norte do METRÔ de São Paulo, túnel oeste da Via Singela-furo F4 (março 82)

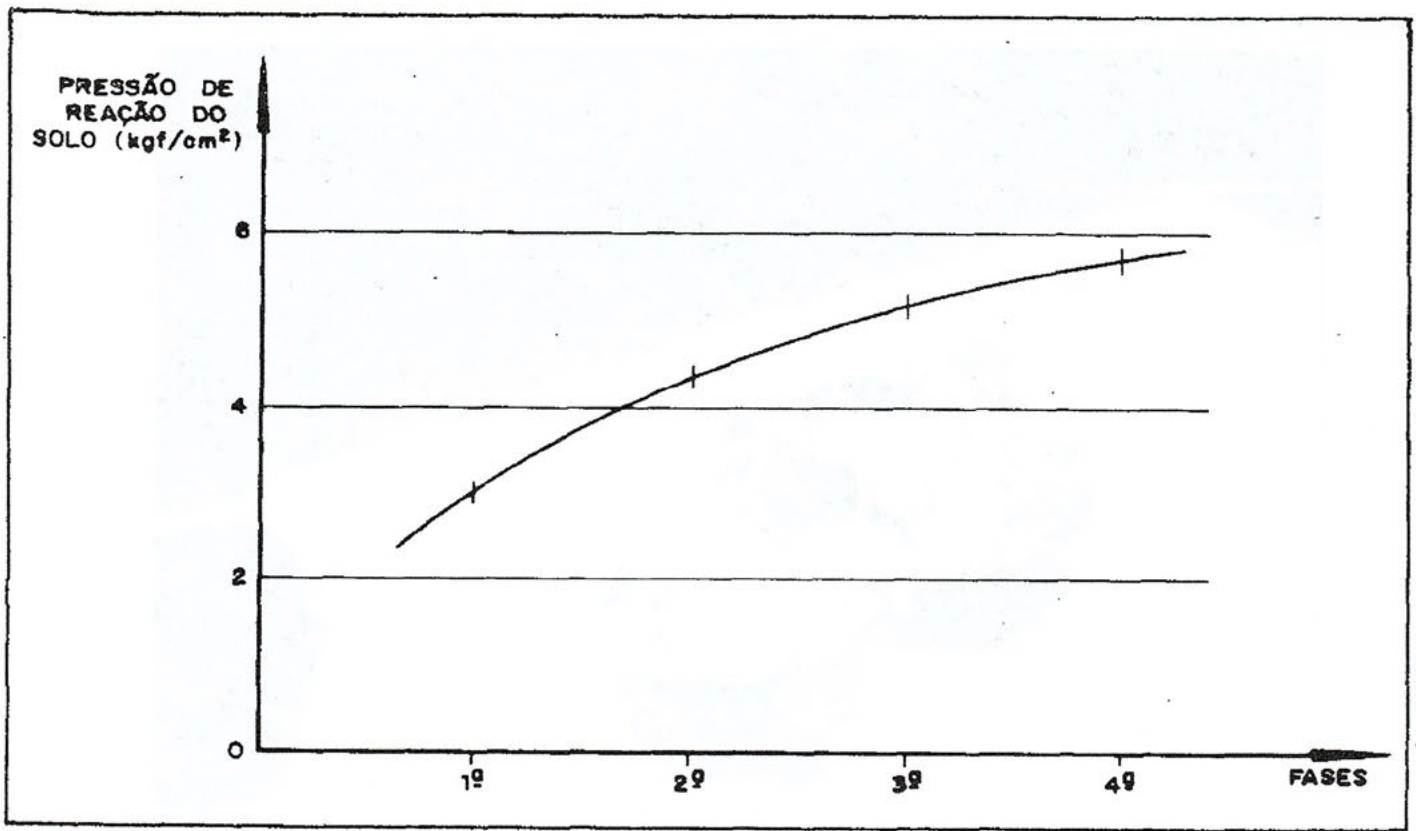


Fig.3 – Aumentos médios da pressão de reação do solo em função de sucessivas fases de injeção. Consolidação de solo aluvionar mole por injeção de calda de cimento para escavação de túnel urbano. Local: Prolongamento norte do METRÔ de São Paulo, túnel oeste da Via Singela(março - abril,1982).

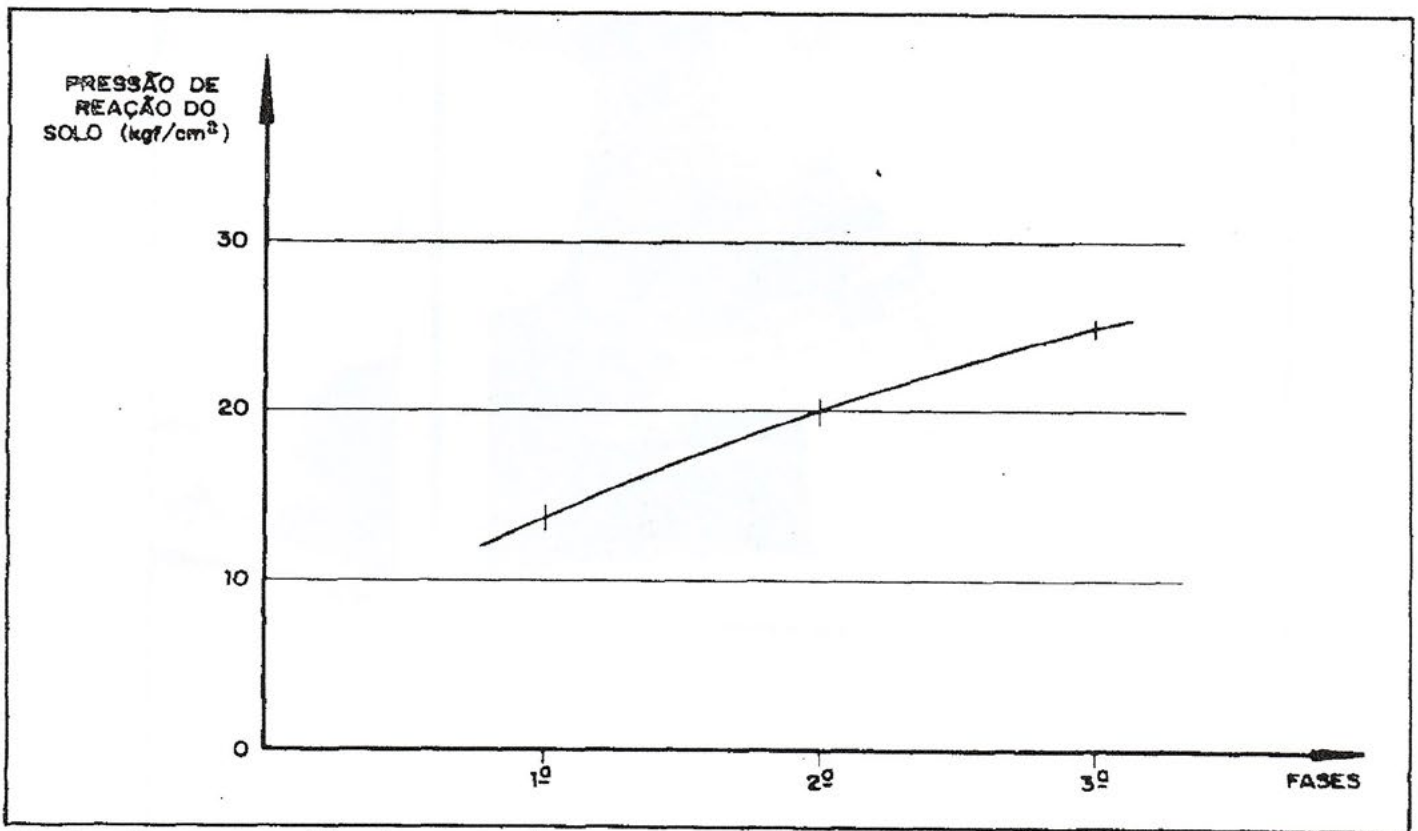
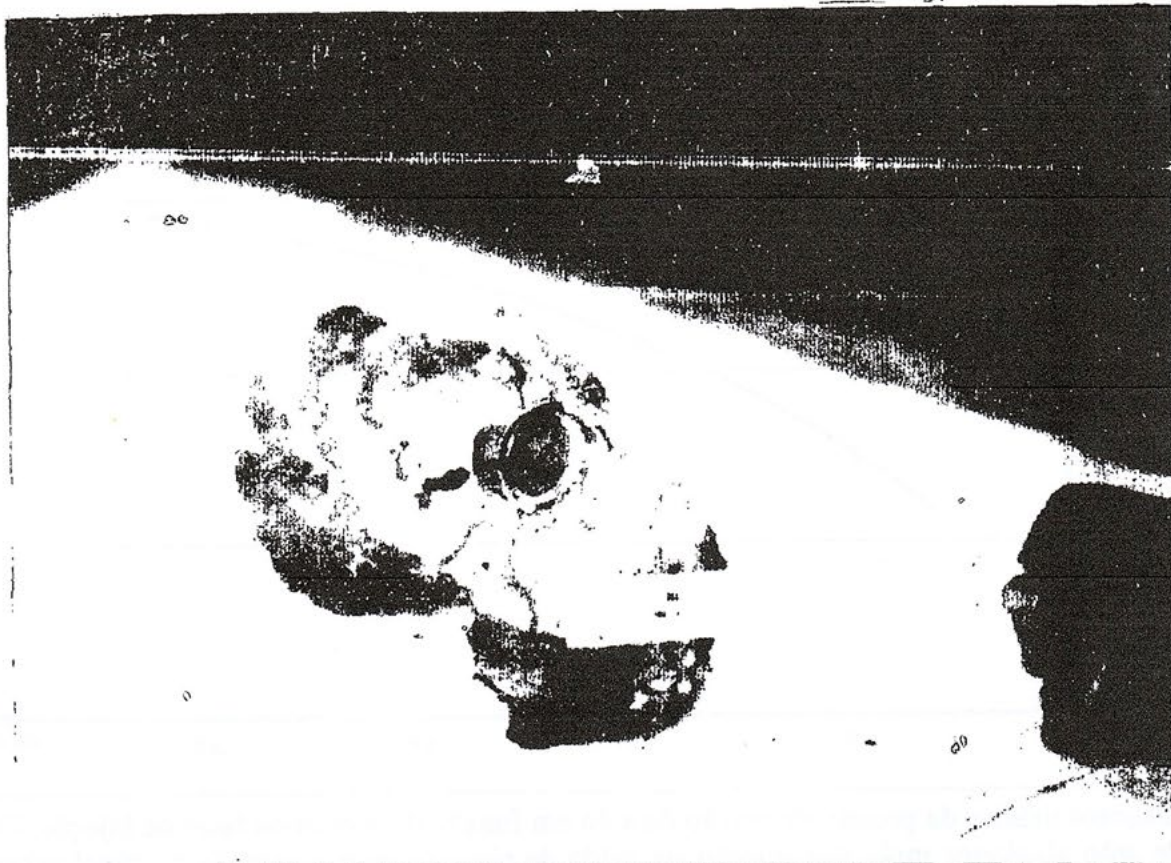
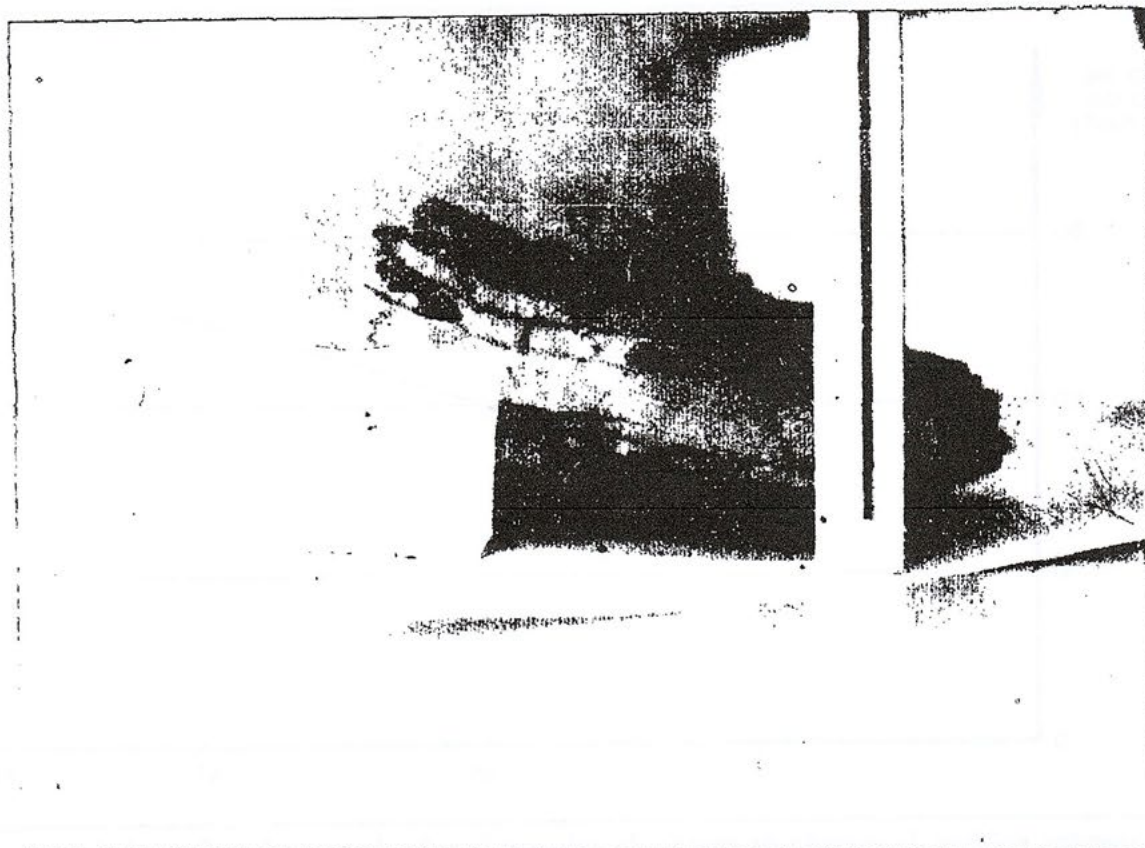


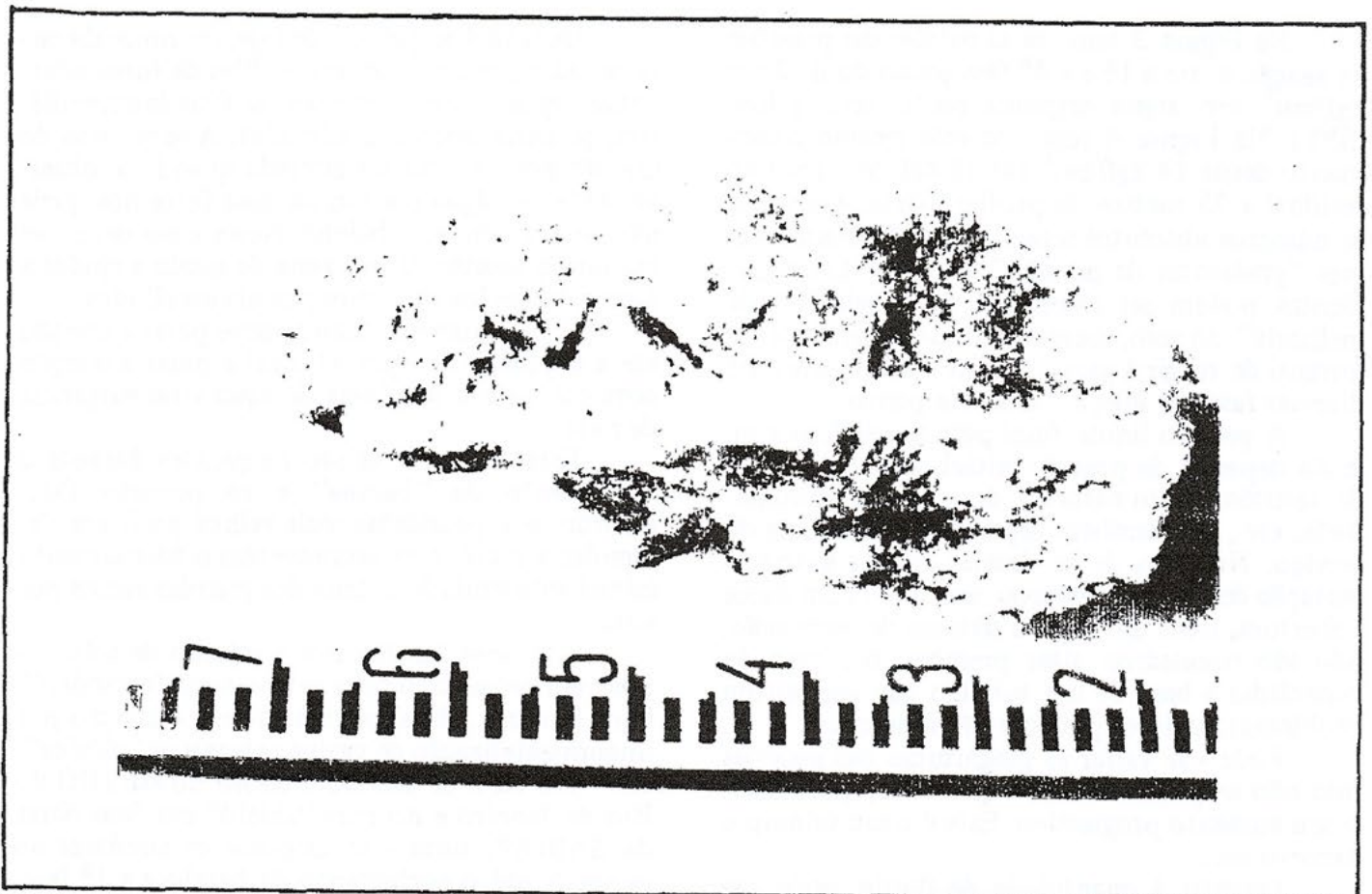
Fig.4 – Aumentos médios da pressão de reação do solo em função de sucessivas fases de injeção. Injeção de calda de cimento para a fundação de prédio. Camada de areia fina argilosa, micácea, medianamente compacta, cinza e amarela (solo residual) localizada entre camada de argila marinha muito mole e superfície rochosa. Local: Rua Eng<sup>o</sup> Hugo Capareli - Vila S.Jorge-Santos,SP (julho 1982)



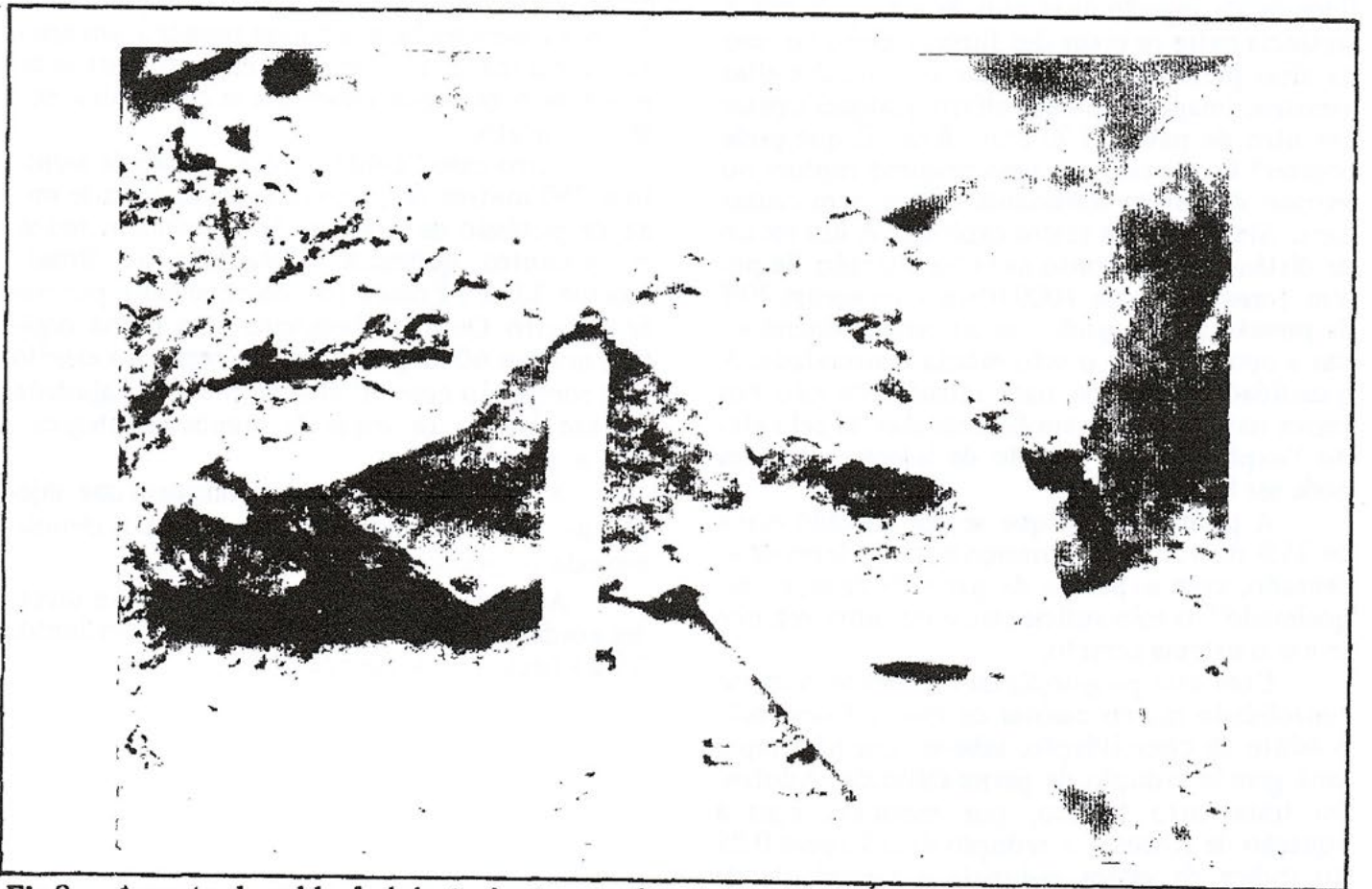
**Fig.5 – Aspectos das varias fases de injeção atravessando a bainha - METRÔ SP - Prolongamento Norte-Túnel oeste da Via Singela (maio 1982).**



**Fig.6 – Amostra de solo do aluvião tratado através de injeção de calda de cimento. Observar 5 fases de injeções. METRÔ SP - Prolongamento norte - túnel oeste da Via Singela**



**Fig.7** – Aumento do diâmetro original do furo nas primeiras fases de pressão gerando adensamento inicial do solo mole.



**Fig.8** – Aspecto da calda de injeção junto ao tubo. Bainha e duas fases. Solo aluvionar. METRÔ SP Prolongamento norte - túnel oeste da Via Singela (maio, 1982).