

INJECCÕES DE CONSOLIDAÇÃO DA BASE DAS ESTACAS DA PONTE SOBRE O RIO ALENQUER

CONSOLIDATION INJECTION IN THE BRIDGE PILES OVER ALENQUER RIVER

Fernandes, Eduardo M. Mira, ELSAMEX Portugal, Sintra, Portugal, elsamex.mf@netcabo.pt
Monteiro, Carina Vaz, ELSAMEX Portugal, Sintra, Portugal, elsamex@netcabo.pt
Rino, José A. Oliveira, ELSAMEX Portugal, Sintra, Portugal, elsamex@netcabo.pt

RESUMO

No decorrer dos trabalhos de construção das estacas da Ponte sobre o Rio Alenquer, verificou-se a necessidade de proceder a injeções de consolidação das estacas e da base das mesmas devido a defeitos de construção detectados nos ensaios de integridade das mesmas. Face ao detectado e de modo a assegurar a integridade das estacas foram realizados trabalhos de furação das mesmas com vários objectivos, a saber: caracterização visual, caracterização da sua resistência, caracterização dos terrenos de fundação de base da estaca e acesso ao pé da estaca para a realização das injeções. Apenas com a realização destes trabalhos foi possível assegurar a qualidade da obra e a segurança das peças de fundação.

ABSTRACT

During the construction works of the piles at the bridge over the Alenquer River, a need to execute consolidation injections on the piles and respective tips was perceived. This need was due to construction defects detected on the integrity tests that were carried out after their construction. Due to the detected problems and in order to insure the integrity of the piles, a campaign of drilling auger tests was carried out. The major objectives of this campaign were the visual, resistant and foundation soils characterizations and the access to the piles' tip to execute the injections. Only with this campaign was possible to assure the safety and quality conditions of the bridge and respective foundations.

1. INTRODUÇÃO

Para a construção da Ponte sobre o Rio Alenquer, foram executadas fundações indirectas, constituídas por estacas moldadas em betão armado de $\phi 1000$ e $\phi 1500$, trabalhando por ponta, numa solução de estaca pilar.

O Projecto de Execução desta Obra de Arte previa a instalação de tubos metálicos junto às armaduras das estacas, com o objectivo de realizar ensaios de integridade das mesmas, através de ensaios sínicos do tipo "Cross-Hole" e de realizar injeções de consolidação da zona da ponta.

Uma vez que o LNEC, organismo contactado pelo empreiteiro para a realização dos ensaios de integridade, não possuía equipamento compatível com os tubos previstos no Projecto ($\phi 110$) e face à obra que havia sido executada, o empreiteiro optou por adoptar uma metodologia distinta para promover as injeções de consolidação com tubos de $\phi 60$.

O trabalho desenvolveu-se em 2 fases, em que na 1ª fase foram apenas injectadas 2 estacas (uma no pilar P1 e a outra no pilar P2) que seriam consideradas como teste para avaliar a necessidade de injectar as outras.

Após os resultados da 1ª fase, considerou-se recomendável promover as injeções nas outras estacas dos pilares P1 e P2. Na figura 1 apresenta-se a localização da obra.

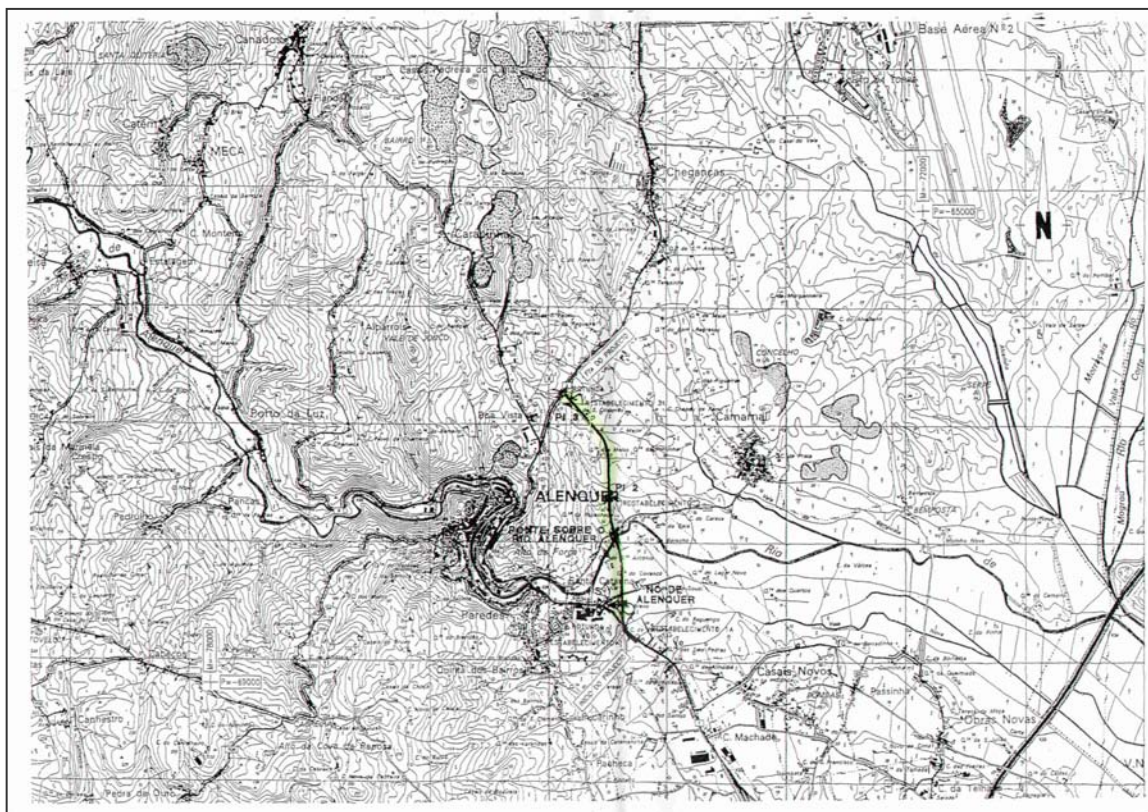


Figura 1 – Localização da obra

2. CONDIÇÕES GEOLÓGICAS E GEOTÉCNICAS

O cenário geotécnico local é dominado por depósitos aluvionares, associados ao Rio Alenquer, constituídos por uma alternância de níveis lodosos com níveis silto-arenosos, com nível freático quase coincidente com a superfície. Estes depósitos apresentam baixa resistência revelando uma consistência de mole a muito mole, com várias situações em que os ensaios SPT fornecem um valor de N de zero. Os valores de resistência de ponta obtidos nos ensaios com o CPTU revelaram valores entre 2 e 3 MPa. Subjacente aos depósitos aluvionares, foram detectadas formações de idade Miocénica, caracterizadas pela existência de um maciço margoso/carbonatado bastante consolidado com consistência muito rija, que se apresenta bastante alterado e descomprimido em cerca de 2 m. A partir desta profundidade, os ensaios SPT atingem as 60 pancadas sem atingir a profundidade do ensaio, de 45 cm.

O critério adoptado no Projecto foi o de descer as peças de fundação até este maciço Miocénico e encastrar as estacas com cerca de 3ϕ , ou seja de 4,5 m.

As fundações da Ponte foram caracterizadas pela Prospecção Geotécnica do Projecto, através das sondagens à percussão S7, 8, 9 e 10 e através de ensaios de penetração estática com

medição das pressões intersticiais, CPTU, realizados no decorrer da obra, sob proposta do empreiteiro.

Na figura 2, apresentam-se os gráficos da sondagem S8 e do CPTU 4D.

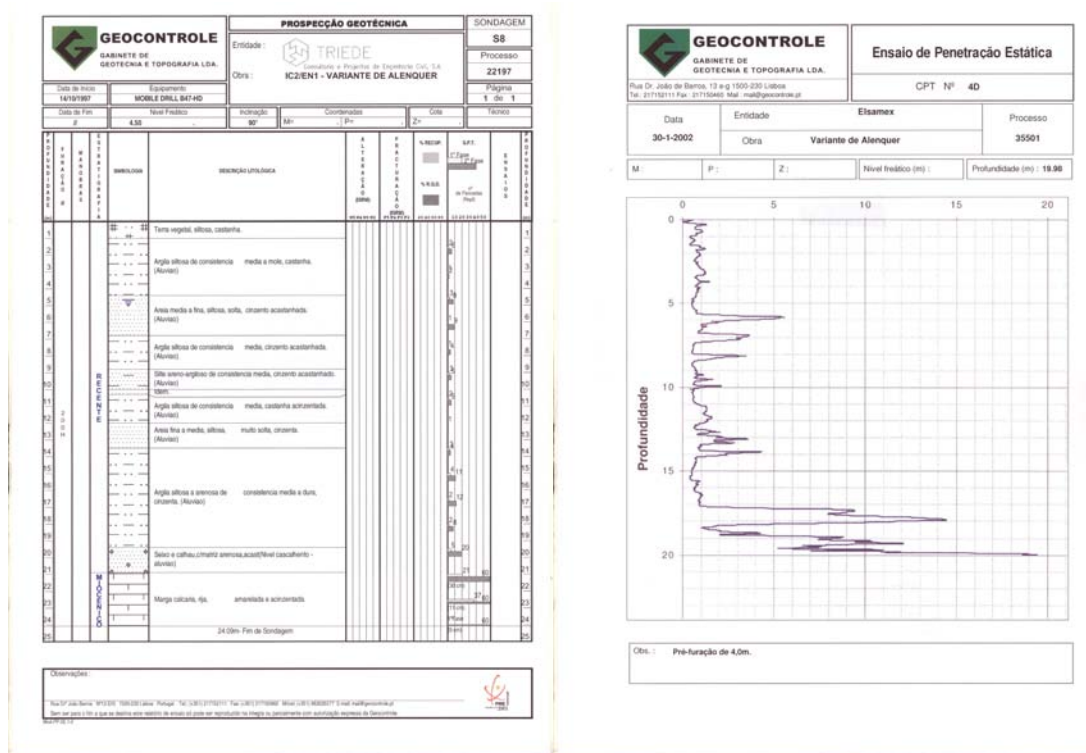


Figura 2 – Sondagem S8 e ensaio CPTU 4D

Na Figura 3 apresenta-se o Perfil Geotécnico Interpretativo ao longo do eixo da Ponte.

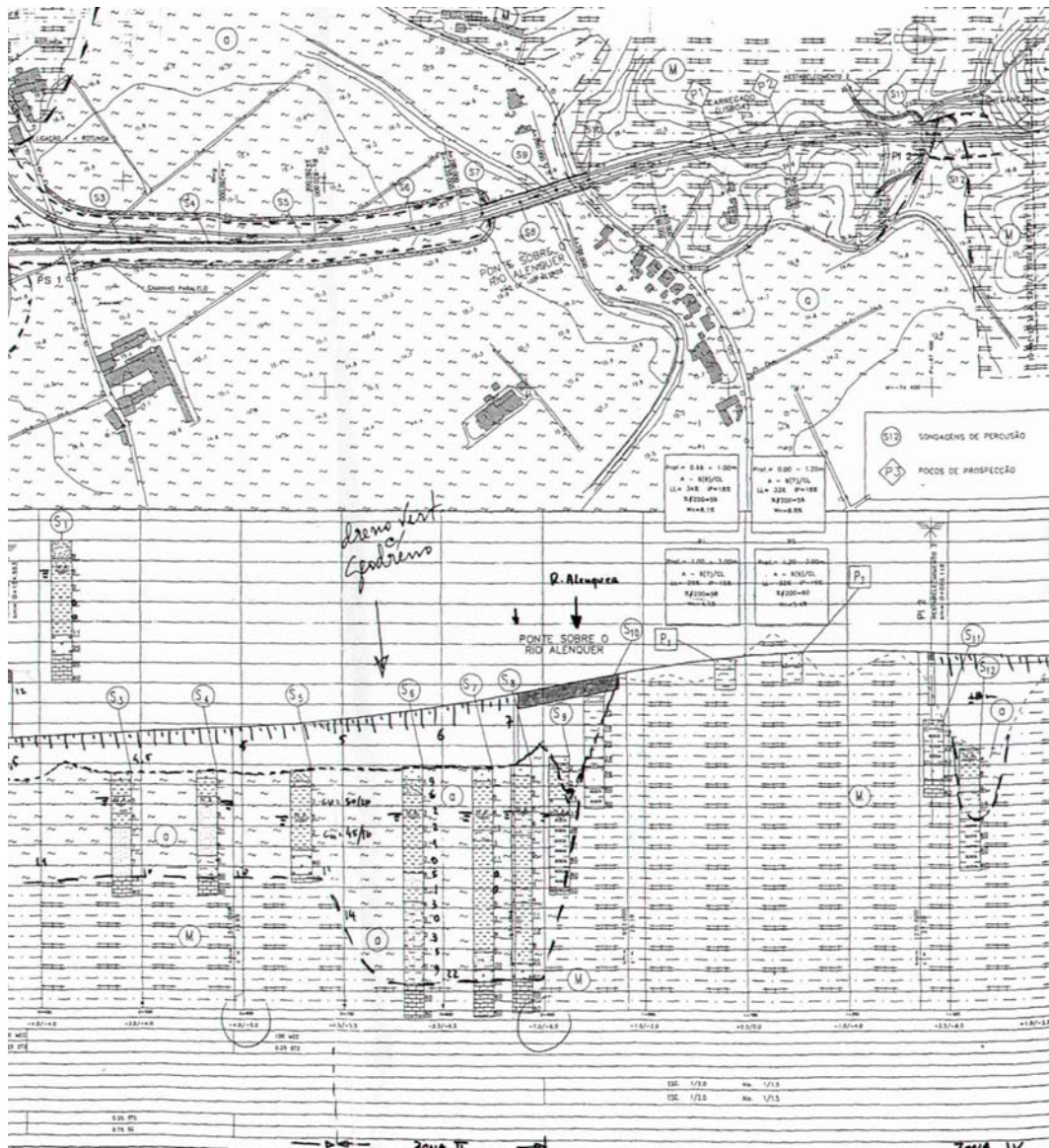


Figura 3 – Perfil Geotécnico Interpretativo da Ponte

3. SITUAÇÃO EXISTENTE

Após a construção das estacas, foram realizados ensaios de integridade, através do método de “Cross-Hole” e do método sónico. Nestes ensaios, das 13 estacas previstas injectar, detectou-se que a estaca 1 do pilar P1 (E1P1), apresentava algumas anomalias, não havendo mais situações preocupantes. Este aspecto, teve como base os resultados do ensaio de “Cross-Hole” realizados pelo LNEC, em que foi detectada uma anomalia entre a profundidade dos 23,8m até ao final (24,8m). Esta anomalia poderia ter origem numa eventual contaminação do betão ou da presença de um betão de menor qualidade. Contrariamente, pelos registos gráficos obtidos pelo ensaio sónico, verificou-se que existia uma boa ligação entre o pé da estaca e o leito da fundação e que não existiam anomalias geofísicas que pudessem ser relacionadas com eventuais descontinuidades ou estreitamentos existentes no corpo das estacas.

Nas figuras 4 e 5 representam-se os resultados obtidos no ensaio de “Cross-Hole” e no ensaio sónico para a estaca 1 do pilar P1, respectivamente.

Foundation number : 1P1

WAY : 01-02

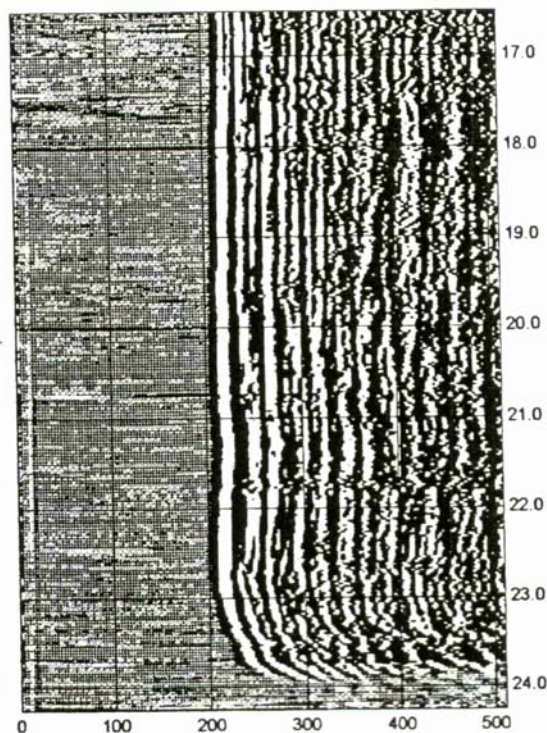


Figura 4 – Resultado do “Cross-Hole” da E1P1

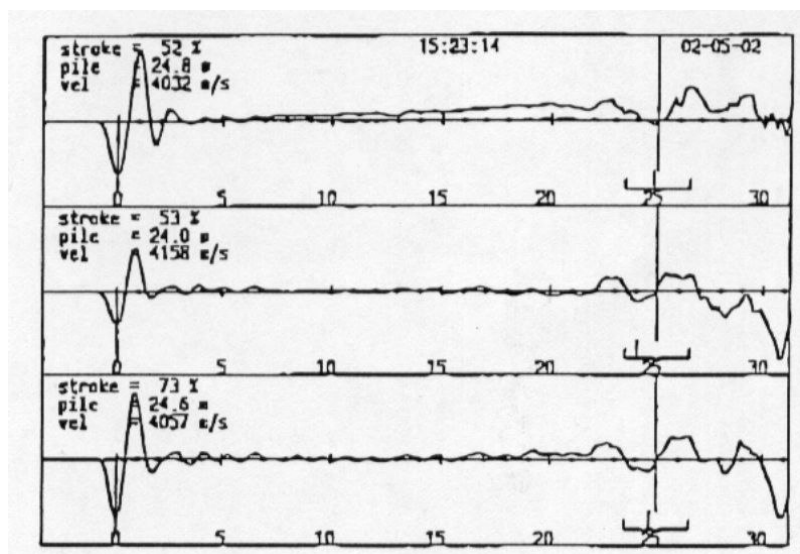


Figura 5 – Resultado do ensaio sónico da E1P1

Face à situação existente, procedeu-se à furação integral da estaca E1P1 até cerca de 1,5 m abaixo da base, de modo a reconhecer o estado da estaca e da sua base. Decidiu-se também adoptar igual procedimento para uma estaca do Pilar 2, de modo a avaliar a possibilidade de não proceder às injecções, tendo sido seleccionada a E2P2.

Os pilares P3, pelos resultados dos ensaios de integridade e pelas condições geológicas e geotécnicas aí existentes, considerou-se não ser necessário proceder à sua injecção.

As estacas, E1P1 e E2P2 constituíram a 1ª Fase de injecção.

Após a furação ao eixo destas estacas, verificou-se que a E1P1 apresentava vazios ao longo do fuste e se observava contaminação de solos na parte final da estaca, em cerca de 0,5 m. Quanto à estaca E2P2, esta apresentava-se íntegra, tal como o contacto com a base. No entanto, durante os trabalhos de injecção verificou-se a existência de contacto da base com os tubos de “cross-hole”, o que revelou alguma fragilidade no fuste.

Na figura 6 e 7, verifica-se a existência de contaminação da estaca E1P1 junto à ponta e na figura 8 a existência de vazios.



Figura 6 – Contaminação da estaca (ponta)



Figura 7 – Idem, com material desfeito.



Figura 8 – Existência de vazios

Face aos resultados desta fase, decidiu-se para além de promover as injeções na Ponte, em todas as estacas dos pilares P1 e P2 (6 em falta), proceder ao tratamento da estaca E1P1 com injeção de calda de cimento em furos radiais, na parte superior da estaca, num comprimento de 7 m.

As restantes 6 estacas, foram injectadas na 2ª fase, através da realização de dois furos laterais às estacas, diametralmente opostos, que desceram a cerca de 1 m abaixo da base da estaca.

Na Figura 9 apresentam-se os trabalhos de furacão da E1P1 (1ª fase) e na figura 10 os trabalhos de furacão da E2P1 (2ª fase).



Figura 9 – Trabalhos de furacão na E1P1 Figura 10 – Trabalhos de furacão na E2P1

No decorrer dos trabalhos de furacão, recolheram-se amostras representativas do maciço Miocénico existente na base das estacas, que foram ensaiadas à compressão uniaxial. As resistências obtidas foram as indicadas no quadro 1.

Quadro 1 – Resistências à compressão uniaxial e módulos de deformabilidade obtidos

Estaca	σ_{cu} (MPa)	E_u (MPa)
E1P1	1,46	506
E2P2	2,78	464

4. INJECCÕES

Na 1ª fase de trabalhos, utilizou-se um obturador com capacidade para 10MPa, posicionado junto à base da estaca. As pressões de injeção no manómetro foram da ordem dos 2,0 MPa.

Na 2ª fase de trabalhos, foram utilizados 2 tubos “manchettes” associados a 2 tubos de selagem. As pressões de injeção no manómetro foram da ordem dos 2,5 – 3,0 MPa.

Na Figura 11 indicam-se os aspectos associados com os trabalhos de furacão/injeção.

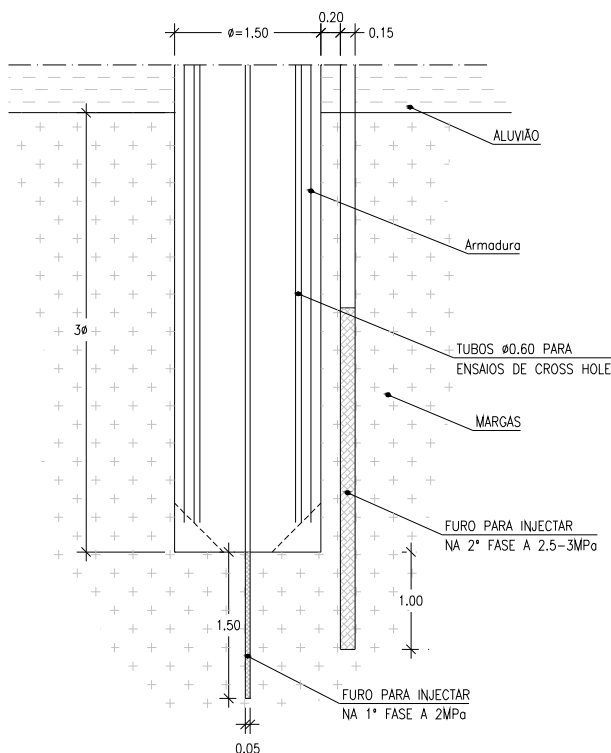


Figura 11 – Esquema representativo dos trabalhos de furacão/injeção (furos laterais executados em ambos os lados da estaca)

As caldas de injeção foram constituídas por cimento, água e adjuvante, tendo sido controladas através da realização de ensaios de viscosidade, exsudação e perda de volume, de acordo com o Caderno de Encargos do IEP e Norma Europeia PrEN 445 e 447.

5. QUANTIDADE DE TRABALHO ENVOLVIDO

Em seguida, indicam-se as quantidades envolvidas nesta situação:

E1P1

Furacão – 100 ml

Injecção – 700 l

E2P2

Furacão – 30 ml

Injecção – 300 l

E2P1, E3P1, E1P2, E3P2, E4P2, E5P2

Furacão – 360 ml

Injecção – 5000 l

Verifica-se assim um acréscimo de trabalhos derivados da adopção da diferente metodologia referida no ponto 1.

6. CONCLUSÕES

Julga-se que as dificuldades de limpeza do furo associadas ao arraste dos finos durante a realização das estacas, nomeadamente introdução das armaduras, tenha ocasionado a contaminação do pé da estaca.

Foi necessário proceder às injecções de consolidação tendo em atenção a detecção de descontinuidade, na base das estacas. O custo dos trabalhos de injecção foi da ordem de 50% do custo das estacas.

Os trabalhos de injecção programados antecipadamente, na fase de execução das estacas, poderiam evitar este custo adicional, com a introdução dos tubos de injecção no interior das estacas.

As descontinuidades existentes, no caso da E2P2, não foram detectadas pelos ensaios de integridade. No entanto verificou-se durante os trabalhos de injecção comunicação entre a base da estaca e os tubos de “cross-hole”, o que revela fragilidade da ponta desta.

As pressões de injecção utilizadas da ordem dos 2 – 3 MPa permitiram consolidar o maciço da fundação sem provocar fracturação hidráulica. De referir que o objectivo da injecção não era o de consolidar um maciço bastante compacto (margas compactas), mas zonas fragilizadas e descomprimidas, como resultado da perturbação provocada pela construção das estacas.

As estacas de grande diâmetro ($>\phi 1000$) em cenários geotécnicos similares deverão ter cuidados especiais na sua execução, de modo a assegurar a adequada limpeza do furo e logo o total contacto na ponta, em toda a sua área.

7. BIBLIOGRAFIA

[1] – ELSAMEX Portugal (2001-2003).– Execução dos aterros sobre a baixa aluvionar do Rio Alenquer – Notas Técnicas, Sintra;

[2] – Bustamante & Doix (1985) – Une méthode pour le calcul des tirants et micropieux injectés
– Bulletin de Liaison du Laboratoire central des Ponts et Chaussées;

[3] – C.Caron,D.Sc., Thomas F. Herbst, Ph.D., P. Cattin, M.S.C.E – Injections – Foundation
Engineering Handbook;

[4] – American Society for Testing and Materials (1979) – Behavior of deep foundations.