

EXECUÇÃO DE CORTINA DE ESTACAS E ESTACAS PILARES COM SISTEMA RODIOSTAR

THE APPLICATION OF RODIOSTAR SYSTEM IN THE EXECUTION OF SECANT PILES TO FORM CONTINUOUS WALLS OF FOUNDATION PILES

Kaidussis, Ricardo Nicolas – *Eng.º Civil (I.S.T), Especialista em Geotecnia O.E. SONDAGENS RODIO, LDA. – Director – ricardo.nicolas@rodio.pt*

Paulino, Jorge M.O. - *Geólogo, Mestre em Geologia Económica e Aplicada, FCUL, SONDAGENS RODIO, LDA. – jorge.paulino@rodio.pt*

Bibi, Rui A.G. - *Eng.º Civil, ISEL, SONDAGENS RODIO, LDA. – rui.bibi@rodio.pt*

RESUMO

A execução de estacas com sistema RODIOSTAR em cortina de estacas e estacas pilares, incorporou melhorias relativamente a outros procedimentos, utilizando como base o princípio do “trado contínuo” (o que permite evitar a utilização de lodos ou revestimento provisório), com a vantagem do controlo dos parâmetros de perfuração permitir localizar com precisão o horizonte portante, controlar a verticalidade da estaca e durante a betonagem controlar a pressão e volume de betão colocado na estaca, garantindo a detecção em tempo real de eventuais anomalias de execução ou condições geotécnicas do maciço distintas das expectáveis.

ABSTRACT

The application of RODIOSTAR system in the execution of secant piles to form continuous walls or foundation piles results of the improvement of other systems starting from continuous flight auger principles (which allows pile execution without temporary casing or bentonite mud) combined with the advantage of monitoring drill parameters during all execution, which means that “bed rock” level, concrete pumping pressure and volume as well as vertical displacement or other unexpected occurrences are detected during execution.

1. INTRODUÇÃO

O Grupo RODIO com apoio dos accionistas (Soletanche Bachy e ICA) desenvolveu um novo sistema de estaca designada por “RODIOSTAR”, sistema este que tem como base o princípio do “trado contínuo”, permitindo evitar o recurso a utilização de lodos de estabilização das paredes do furo ou revestimento provisório.

Este sistema permite uma melhor qualidade e altos rendimentos de execução, sendo como tal economicamente muito mais competitivo.

A potência e configuração dos equipamentos permite atravessar camadas mais resistentes e encastrar em terrenos competentes, assim como incrementar consideravelmente os diâmetros de perfuração (até DN 1200 mm) e a possibilidade de armar na totalidade do comprimento da estaca (Max. 30,00 metros).

Existe um controlo dos parâmetros de perfuração, o que permite localizar com precisão o horizonte portante e durante a betonagem é controlada a pressão e o volume de betão colocado na estaca, detectando em tempo real, eventuais anomalias de execução ou mesmo as variações geotécnicas do maciço a fundar as estacas.

Na cortina das estacas (Fig. 1) ou estacas pilares a verticalidade das estacas é fundamental, para o funcionamento do conjunto, o sistema permite este controlo com informação dos respectivos desvios facilitando ao manobrador do equipamento os ajustes necessários à sua correcção.

A betonagem realiza-se através de um tubo telescópico no interior do trado, que permanece sempre submerso no betão (sistema “tremie”), contribuindo para a garantia da qualidade da execução e minimização de impactos ambientais eventualmente induzidos pela aplicação de outros métodos.



Fig. 1 – Contenção por cortina de estacas e colocação da armadura em estaca de fundação

2. CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO NO CÁLCULO DE ESTACAS PELO SISTEMA RODIOSTAR

Resistência de cálculo convencional do betão à compressão simples em estacas RODIOSTAR (f_{c*}), de acordo com as normas francesas DTU 13.2 e Fascículo nº62 – Titre V.

De acordo com a DTU 13.2 e o Fascículo nº 62, a resistência de cálculo convencional do betão à compressão simples deverá ser estimada atendendo a três factores, nomeadamente:

- tipo de fundação indirecta adoptada ($f_{c_{lim}}$);
- modo de betonagem e variações de secção da estaca devido ao processo construtivo – coeficiente $k1$;
- dificuldades de betonagem associadas à geometria da estaca – coeficiente $k2$.

De acordo com os documentos oficiais franceses referidos anteriormente, as estacas RODIOSTAR inserem-se no grupo B, sendo classificadas de acordo com o Fascículo nº 62, Anexo G.5, artigo 3.4, como estacas de trado contínuo do tipo 3,

“- Type3 : Tarière de type 2 équipée d'un tube de bétonnage télescopable rétracté pendant la perforation et plongeant dans le béton pendant l'opération de bétonnage.”.

Para este tipo de estacas, o Fascículo nº 62, fornece os seguintes parâmetros de dimensionamento:

$$f_{c_{lim}} = 25 \text{ MPa} \quad (1)$$

$$k_1 = 1,05 \quad (2)$$

$k_2 = 1$ para diâmetros superiores a 600mm e relações L/d inferiores a 20, podendo atingir o valor de 1,09 (caso de L/d maior que 20 e d igual a 520mm)

Assim, e admitindo a utilização de betões de classe igual ou superior a C25/30, temos valores de f_{c^*} aos 28 dias, entre:

$$21,84 \text{ MPa} \leq f_{c_{28}^*} \leq 23,81 \text{ MPa} \quad (3)$$

correspondendo a valores máximos possíveis para estacas do grupo B, superiores em aproximadamente 14% aos valores máximos admissíveis para estacas furadas simples.

A DTU 13.2, não faz distinção entre os vários tipos de estacas furadas simples.

Assim e de acordo com a referida norma francesa obtemos os seguintes parâmetros de dimensionamento para estacas RODIOSTAR (classificadas como estacas furadas simples):

$$f_{c_{lim}} = f_{c_{28}} \quad (4)$$

$$k_1 = 1,3 \quad (5)$$

$k_2 = 1$ para diâmetros superiores a 600mm e relações L/d inferiores a 20, podendo atingir o valor de 1,09 (caso de L/d maior que 20 e d igual a 520mm)

Assim, e admitindo a utilização de betões de classe igual ou superior a C25/30, temos valores de f_{c^*} aos 28 dias, entre:

$$17,64 \text{ MPa} \leq f_{c_{28}^*} \leq 19,23 \text{ MPa} \quad (6)$$

De acordo com a DTU 13.2 artigo 1.3.2.4 “ *Lorsqu'il est procédé à un contrôle renforcé de continuité et de qualité du fût, les contraintes de calcul peuvent être augmentées de 20% au plus.* ”, os valores de f_{c^*} poderão ser aumentados em 20%, em estacas com controlo reforçado da continuidade e qualidade do fuste da estaca, zona onde se inserem claramente as estacas RODIOSTAR.

Assim obtemos o seguinte intervalo de valores possíveis para $f_{c_{28}^*}$:

$$21,17 \text{ MPa} \leq f_{c_{28}^*} \leq 23,01 \text{ MPa}, \quad (7)$$

valores muito similares aos obtidos com recurso ao Fascículo nº 62 e superiores em 20% aos máximos admissíveis para estacas furadas simples.

Conclui-se pois que a utilização de estacas RODIOSTAR permite obter resistências de cálculo convencionais do betão à compressão simples em estacas (f_c^*), superiores entre 14% a 20% das obtidas com recurso a estacas furadas simples.

É igualmente o método construtivo do grupo B que maximiza o valor de (f_c^*).

Refere-se igualmente que, de acordo com o Fascículo nº62, o valor de $f_{c_{lim}}$ para as estacas do grupo B está limitado a 25MPa, razão pela qual, à luz desta norma, o Sistema RODIOSTAR se apresenta como o melhor processo de maximização do valor (f_c^*).

3. ENQUADRAMENTO GEOTÉCNICO DE APLICAÇÃO DO SISTEMA RODIOSTAR

Especialmente desenvolvido para garantir a execução de fundações indirectas com elevados rendimentos dentro de parâmetros de qualidade exigentes, o Sistema RODIOSTAR, encontra nos terrenos caracterizados pela ocorrência de formações brandas com espessuras variáveis, o seu principal campo de aplicação.

Atendendo ao enquadramento geológico-geotécnico do território de Portugal continental, são vastas as áreas de potencial utilização deste método das quais se destacam desde logo as seguintes zonas:

- 1 – Orla Meso-Cenozóicas Ocidental e Algarvia.
- 2 - As Bacias do Rio Tejo e Rio Sado.
- 3 - Zonas de elevado grau de alteração de Rochas Magmáticas.
- 4 - Áreas Urbanas com aterros de elevada espessura.

Nas primeiras são frequentes os terrenos de idade recente, de idade Quaternária e Terciária, constituídos genericamente por lodos, argilas, areias mais ou menos argilosas, areias de duna e terraços, em formações com elevadas espessuras.

Estas formações sedimentares, genericamente caracterizadas por N_{SPT} baixos, apresentam reduzida capacidade resistente sem aptidão para a fundação de edificações que não sejam relativamente ligeiras.

Frequentemente são interessadas formações lodosas ou areias sem coesão incapazes de se manterem estáveis durante a perfuração para execução de estacas, impondo muitas vezes o recurso a entubamento provisório ou aplicação de fluidos de sustentação. Também nestas situações a aplicação do Sistema RODIOSTAR tem-se revelado uma solução que permite o rápido atravessamento destes horizontes e alcançar os horizontes com capacidade portante adequada, sem necessidade de mobilização de pesados equipamentos de apoio.

Na figura 2 apresenta-se, como exemplo, um perfil Geológico-Geotécnico, obtido em campanha de reconhecimento executado na Bacia do Rio Tejo, e que traduz uma situação de potencial adopção do Sistema RODIOSTAR, para a execução de estacas armadas na totalidade.

RODIOSTAR
EXEMPLO DE ENQUADRAMENTO GEOTÉCNICO DE APLICAÇÃO

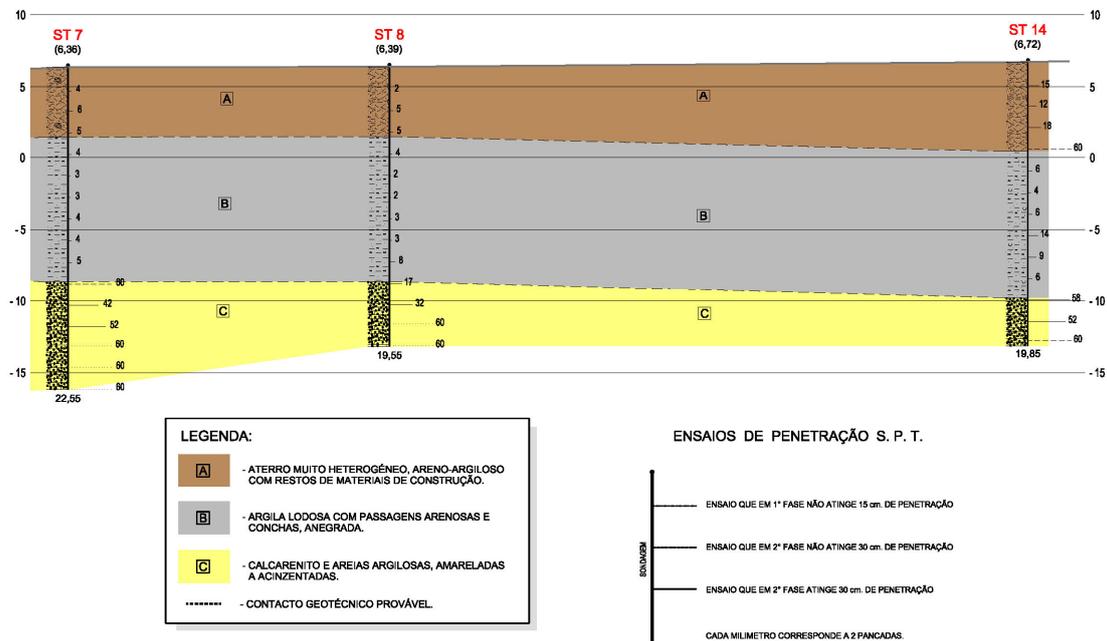


Fig. 2 – Perfil geotécnico

Em regiões de ocorrência de rochas magmáticas, são também comuns a elevada espessura de material resultante da alteração, muitas vezes generalizada da rocha mãe, implicando o seu atravessamento completo pelas estruturas de fundação.

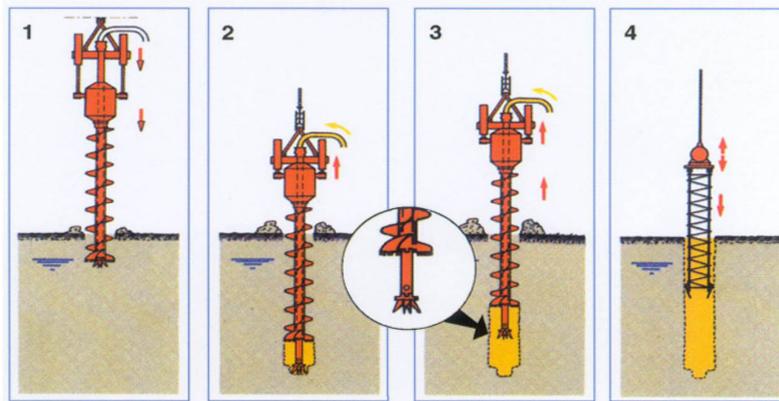
Na região Norte os usualmente designados por “Granitos do Porto” são um bom exemplo de enquadramento geotécnico para a aplicação do Sistema RODIOSTAR.

Resultando do processo de crescimento dos maiores centros urbanos, são cada vez mais comuns o surgimento de zonas residenciais ou industriais a ocupar áreas “conquistadas” com o recurso a consideráveis movimentações de terras e em particular com a deposição de aterros de elevada espessura, implicando assim o recurso a fundações indirectas, também elas de comprimentos adequados à utilização do Sistema RODIOSTAR.

4. PROCESSOS DE EXECUÇÃO

- O sistema de execução RODIOSTAR, consiste fundamentalmente no seguinte (Fig. 3):
 - perfuração com trado até às profundidades definidas em fase de projecto ou construção;
 - extracção do trado em simultâneo com a bombagem de betão à pressão, pelo interior do eixo do trado, constituído por um tubo de 4", garantindo-se assim a imediata substituição de terreno por betão, sem riscos de descompressão das paredes do furo e assegurando-se, portanto, a estabilidade do furo;
 - imediatamente a seguir à retirada do trado e enchimento do furo até à boca, introdução da armadura respectiva, com comprimento máximo de 30,0 m.l.;

- a introdução da armadura será com recurso à utilização de um vibrador especialmente estudado e concebido para o efeito, disposto sobre uma virola metálica ajustada ao diâmetro da armadura, o qual, accionado hidráulicamente, transmite acções verticais na massa do betão.



PROCESSO DE EXECUÇÃO:

1. Perfuração. O trado contínuo é introduzido no terreno à rotação de uma só operação. Os parâmetros de perfuração ficam registados
2. Atingindo a profundidade definida, é efectuada a extensão do tubo interior telescópico e iniciada a betonagem.
3. Fase de betonagem da estaca, registando os parâmetros e os respectivos gráficos.
4. Uma vez betonada a estaca, procede-se à colocação da armadura, equipada com separadores, com auxílio de um vibrador hidráulico.

Fig. 3 – Processo de execução

- Controle de parâmetros de execução (Fig. 4)

Durante a perfuração

- Controle automático da verticalidade de perfuração, mediante a colocação de sensores na torre de perfuração e tirando partido da geometria dos trados e do tubo contínuo central, permite garantir o seu controlo e registo num monitor na cabine do operador;
- controle da velocidade de descida da ferramenta de perfuração em função da profundidade. Esta leitura é efectuada através do monitor anteriormente referido;
- controlo do par de rotação aplicado pela cabeça de rotação do equipamento em função da profundidade.

Este último parâmetro está relacionado de forma inversa, ou seja, ao verificar-se um aumento da velocidade de rotação, deve diminuir o par de rotação, o que traduz a presença de um terreno mais brando que o anterior. Ao contrario, se diminui a velocidade de rotação, o par de rotação aumenta, que indicia o atravessamento de um substrato mais competente que o anterior. Esta informação é de extrema utilidade no caso em questão, pois pode ser comparado com os gráficos dos ensaios geotécnicos anteriormente realizados.

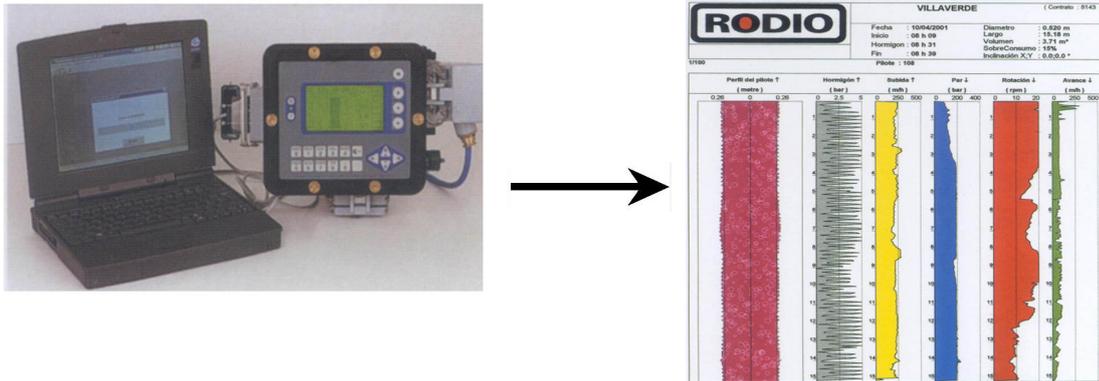


Fig. 4 – Equipamento e registo de parâmetros de execução

Durante a betonagem

- Controle da pressão de betonagem;
- betonagem efectuada através de um prolongador coaxial com o trado de perfuração (Fig. 5) que permite que a betonagem se efectue sempre um metro abaixo da lâmina livre. Este sistema praticamente elimina o risco de desmoronamento da parede da estaca e conseqüente corte no betão;
- controle da relação “(Volume betonado)/(Volume teórico). Esta relação deverá ser sempre superior a 1. Apesar de pouco frequente, se este caso não se verificar, o operador poderá de imediato proceder à reperfuração e nova betonagem da estaca.



Fig. 5 – Prolongador para betonagem e descida da ferramenta de perfuração

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema de execução de estacas RODIOSTAR é o resultado de experiências desenvolvidas dentro do Grupo com o objectivo de criar um novo sistema de execução de estacas que permitisse melhorar os aspectos técnicos em relação aos sistemas tradicionais existentes com base nos seguintes pontos:

- Utilização do princípio do trado contínuo que tem como vantagem significativa em relação ao sistema com revestimento provisório ou com lodos, em termos de rendimentos e aspectos económicos;
- permitir armar as estacas no seu comprimento total (max. 30,0 metros);

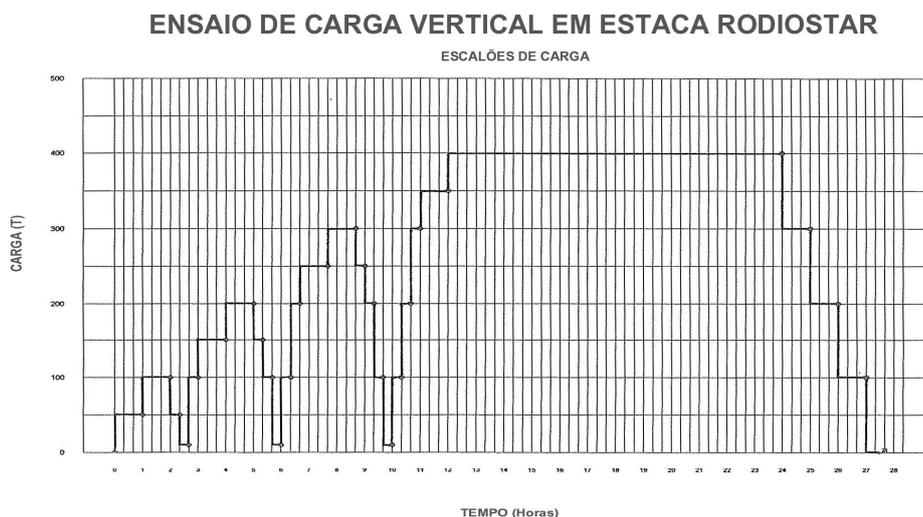
- maior capacidade de perfuração de terrenos duros devido a configuração das ferramentas de corte e ao tipo de equipamento desenvolvido;
- qualidade de betonagem devido ao recurso de um tubo interior telescópico no interior do trado, que permanece sempre submerso no betão (sistema “tremie”);
- dispor de máxima informação, em tempo real, no que respeita a qualidade da estaca, na fase de perfuração, betonagem, mediante um adequado sistema de controlo instalado no equipamento;
- assegurar com o controlo de parâmetros que se executa a estaca com os parâmetros de qualidade exigida.

Para finalizar, os ensaios de carga realizados desde 1984 (Fig. 6) aferiram da viabilidade deste sistema, o que tem vindo a ser confirmado pela qualidade de obras executadas ao longo destes últimos 10 anos.

Como elemento de referência podemos destacar os resultados do Estudo de Qualidade das estacas executadas com o sistema RODIOSTAR realizados pelo Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) e da RODIO, CIMENTACIONES ESPECIALES, S.A. (Fig. 7).

O relatório do CEDEX conclui o seguinte:

“As estacas executadas pelo sistema RODIOSTAR representa uma importante melhoria em relação ao controlo de qualidade de execução em comparação com as estacas tradicionais, reflectindo um melhor comportamento estrutural”.



ENSAIO DE CARGA VERTICAL EM ESTACA RODIOSTAR

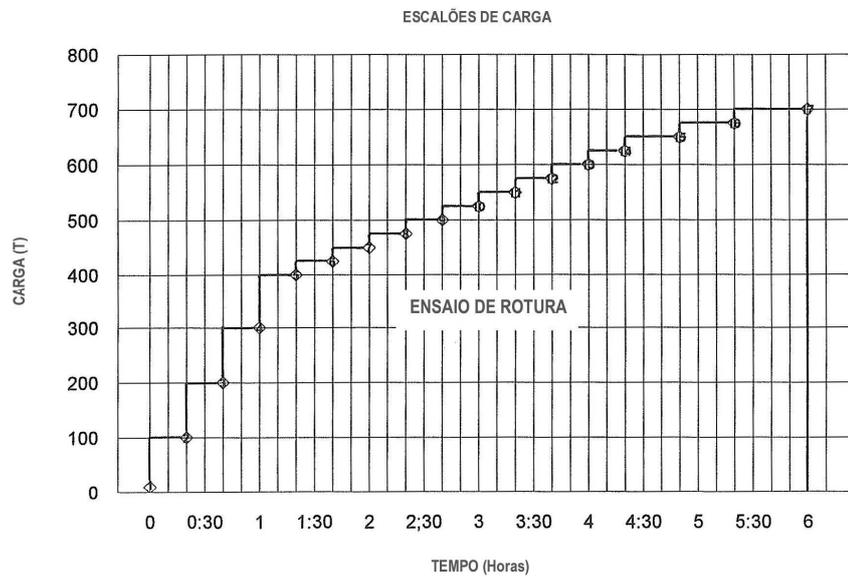


Fig. 6 – Ensaio de carga vertical com estacas DN 620 mm executadas com sistema RODIOSTAR



Fig. 7 – Ensaio com estacas tipo RODIOSTAR

6. REFERÊNCIAS

- [1] Bustamante M. (1987) Étude expérimentale du procédé de fondations profondes Starsol. Bulletin de liaison du Laboratoire de Ponts e Chaussées.
- [2] Bureau Veritas, rapport d'enquête technique nouvelle. Procédé Starsol.
- [3] Fascículo 62 – Título V “Règles techniques de conception et de calcul des fondations dès ouvrages de génie civil”. Cahier des clauses techniques générales applicables aux marches publics de travaux. Ministère de l'Équipemnt, du Logement et des Transports, 1993.
- [4] Informe Técnico del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (Cedex) clave 81-597-5-011 de Marzo de 1999.
- [5] Nicolas.R, (2004), Execução de Ensaios de Estacas Moldadas de elevada capacidade resistente – FUNDEC - IST .
- [6] Norma francesa P11-212-1 (DTU 13.2) de Setembro de 1992.
- [7] Soletanche (1989), Pieu Foré Injecté au Tube Plongeur.