

ENSAIOS DE TRAÇÃO EM ESTACAS DE AÇO

Sérgio C. Paraíso
Geomec Eng. Consultores S/C Ltda.

Cláudia Maria Cunha da Costa
Geomec Eng. Consultores S/C Ltda.

Ecidinéia Pinto Soares
Universidade Federal de Viçosa

RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados de ensaios de tração materializados em 5 estacas de aço perfil H e as respectivas interpretações, realizados com a finalidade da avaliação dos coeficientes de redução de aderência no sistema estaca-solo, em função de tratamentos superficiais de fuste para redução de atrito aplicados ao longo da profundidade. Tais estudos visam a determinação do tratamento mais eficiente para a redução do fenômeno de atrito negativo em estacas cravadas.

INTRODUÇÃO

Quando da construção da Usina siderúrgica Açominas em Ouro Branco – Minas Gerais, e diante das condições de subsolo locais constituídas de aterros de nivelamentos de grande espessura sobrejacentes a solos de compressibilidade elevada, criou-se um campo experimental onde foram cravadas estacas de aço em região nas características geotécnicas supracitadas que, posteriormente, foram submetidas a ensaios de arrancamento pleno.

As estacas de aço testadas caracterizam-se geometricamente de acordo com a Figura 1 e foram submetidas a tratamentos superficiais de fuste com a finalidade de redução de aderência na interface solo-estaca, conforme Tabela 1:

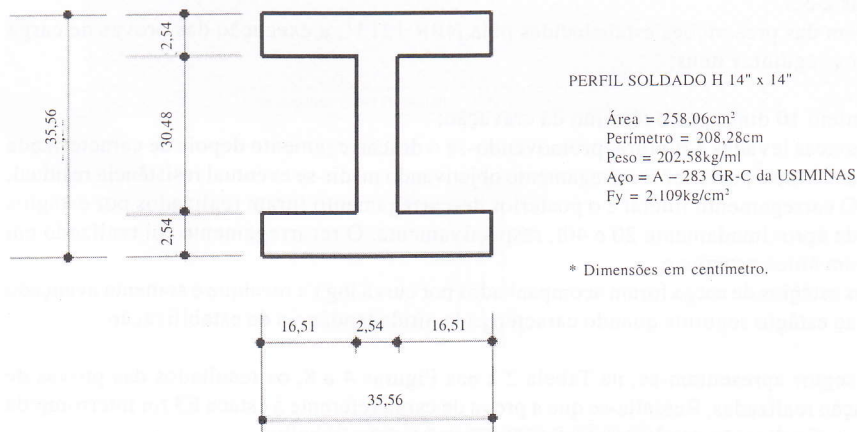


Figura 1 – Características geométricas das estacas de aço.

Tabela 1 – Tratamentos superficiais de fuste aplicados nas estacas ensaiadas.

ESTACA	TRATAMENTO
E2 = E5	• Pintura Betuminosa* + Colarinhos de aço (anéis).
E3	• Colarinhos de aço (anéis).
E4	• Pintura Betuminosa*.
E6	• Sem tratamento.

* Pintura Betuminosa com Emulsão Asfáltica de Petróleo Ruptura Rápida Catiônica (RRIC) a base de CAP 85/100 (cimento asfáltico de petróleo – penetração 85/100) na espessura média de 1 a 3 mm). Aplicação, a frio, através de pistola espargidora.

Os ensaios de tração foram realizados até a caracterização do “arrancamento”, ou seja, ruptura plena para cada tipo de tratamento.

GEOTECNIA LOCAL

Da análise dos perfis geotécnicos obtidos de furos de sondagens a percussão verifica-se que o aterro de nivelamento de plataforma foi lançado sobre uma camada sedimentar de argila que constitui a cobertura dos solos residuais locais, saprolitos de gnaiss, conforme apresentado na Figura 2.

Ressalta-se que a acomodação destas camadas em relação às paredes da própria estrutura enterrada e, ao longo dos fustes das estacas, ocasiona o fenômeno chamado de atrito negativo. Este carregamento adicional, no caso em questão, assumiria valores consideráveis absorvendo, assim, parcela apreciável da carga de trabalho disponível dos elementos de fundações profundas, e onerando significativamente a solução de fundações.

ENSAIOS DE TRAÇÃO

Foram cravadas 7 estacas em linha prevendo-se que as de número 2, 3, 4, 5 e 6 seriam ensaiadas à tração e as extremas, ou seja, as de número 1 e 7 à compressão, conforme apresentado nas Figuras 2 e 3.

Além das prescrições estabelecidas pela NBR 12131, a execução das provas de carga observou os seguintes itens:

- início 10 dias após o término da cravação;
- estacas levadas à ruptura, promovendo-se o descarregamento depois de caracterizada a mesma e posterior recarregamento objetivando medir-se eventual resistência residual. O carregamento inicial e o posterior descarregamento foram realizados por estágios de aproximadamente 20 e 40t, respectivamente. O recarregamento foi realizado em um único estágio; e
- os estágios de carga foram acompanhados por curva $\log t \times$ recalque e somente avançado ao estágio seguinte quando caracterizada nítida tendência de estabilização.

A seguir apresentam-se, na Tabela 2 e nas Figuras 4 a 8, os resultados das provas de carga à tração realizadas. Ressalta-se que a prova de carga referente à estaca E3 foi interrompida antes da sua finalização sendo, portanto, desprezada neste trabalho.

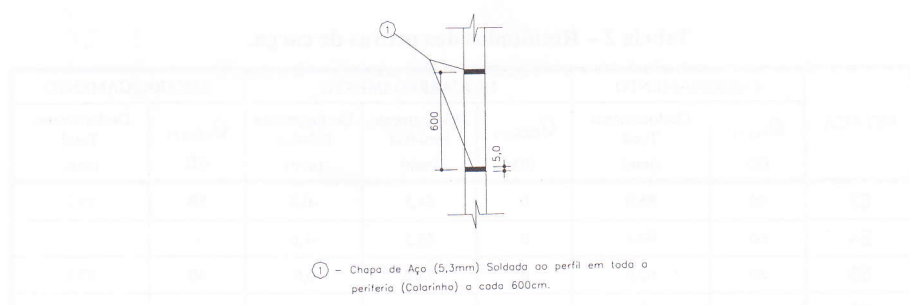
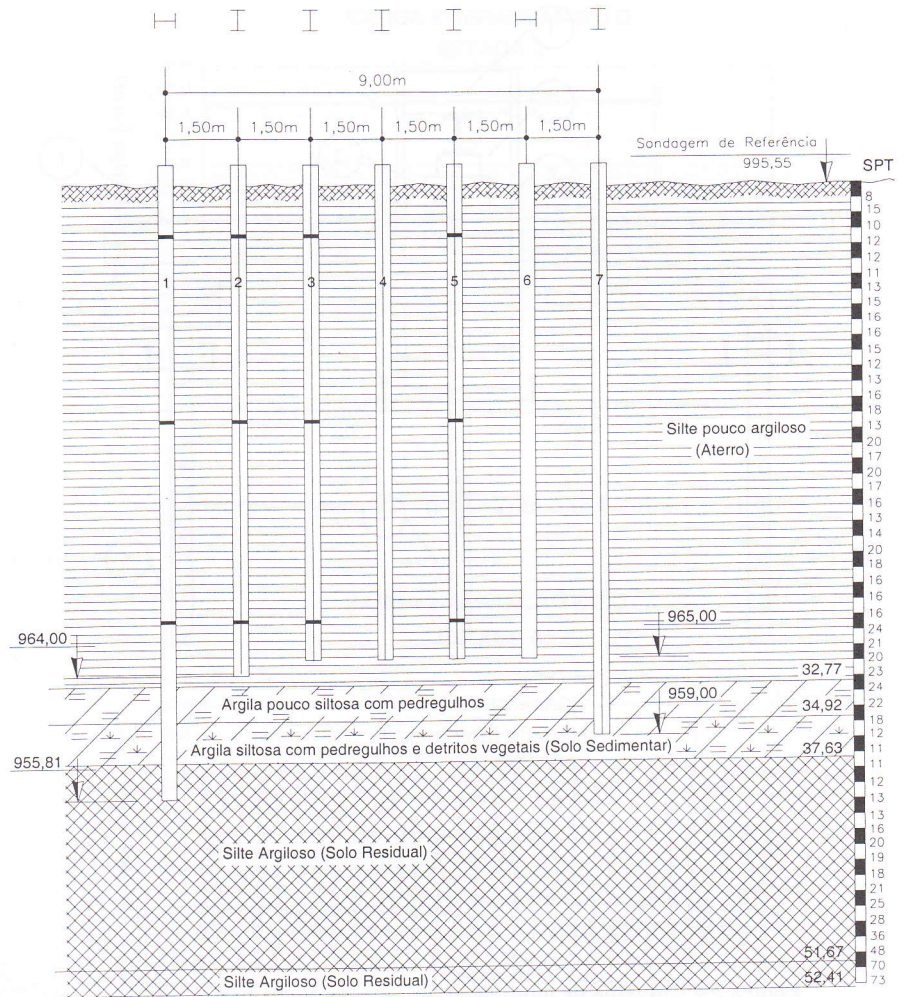
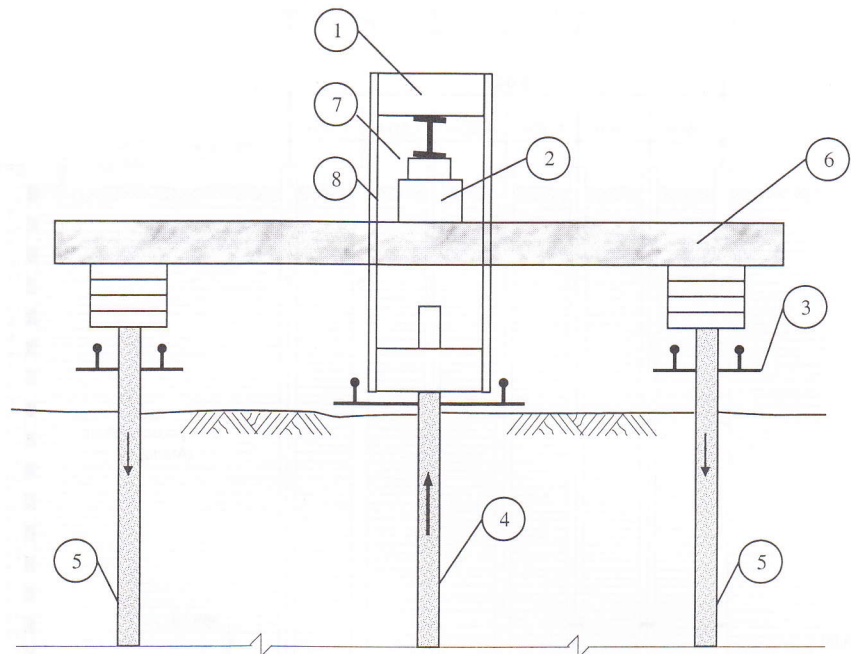


Figura 2 – Perfil esquemático da geotecnia local e estacas ensaiadas. – Detalhe dos colarinhos



- 1 - VIGA DE REAÇÃO
 2 - MACACO HIDRÁULICO
 3 - MICRÔMETRO
 4 - ESTACA TESTE
 5 - ESTACA DE REAÇÃO
 6 - VIGA PARA APOIO DO MACACO
 7 - CHAPA DE AÇO
 8 - TIRANTE

Figura 3 – Esquema de montagem das provas de carga à tração.

Tabela 2 – Resultados das provas de carga.

ESTACA	CARREGAMENTO		DESCARREGAMENTO			RECARREGAMENTO	
	$Q_{UL(T)}$ (tf)	Deslocamento Total (mm)	$Q_{DES(T)}$ (tf)	Deslocamento Residual (mm)	Deslocamento Elástico (mm)	$Q_{REC(T)}$ (tf)	Deslocamento Total (mm)
E2	80	85,0	0	84,5	-0,5	80	89,7
E4	60	90,1	0	88,5	-1,6	-	-
E5	80	62,0	0	73,8	0,0	80	82,8
E6	225	175,0	0	175,0	0,0	-	-

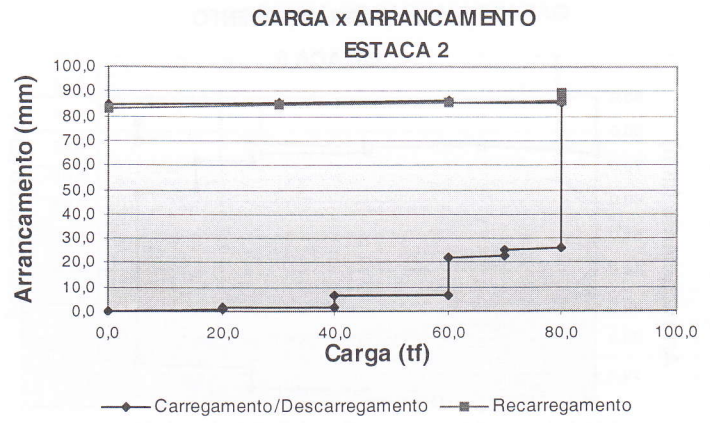


Figura 4 – Estaca E2 – tratamento com betume e colarinhos.

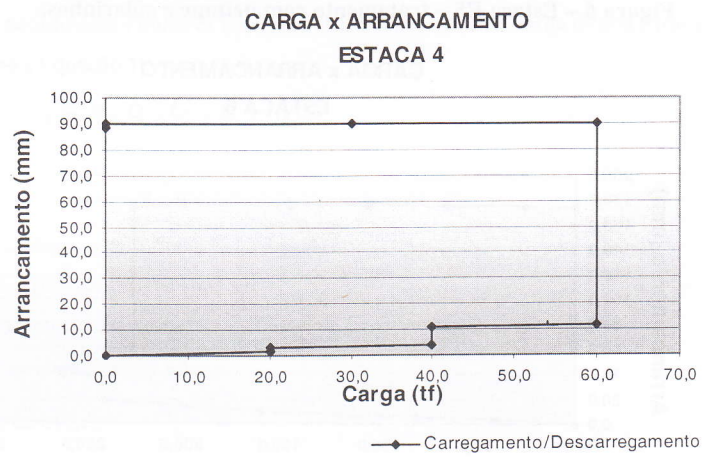


Figura 5 – Estaca E4 – tratamento com betume.

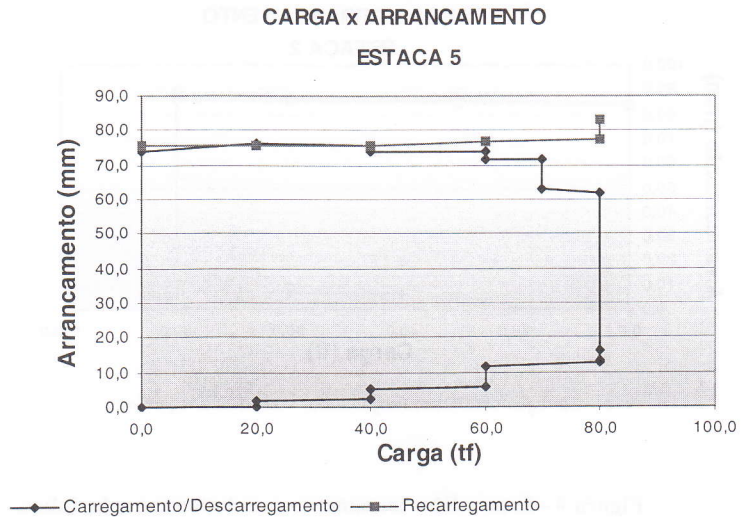


Figura 6 – Estaca E5 – tratamento com betume e colarinhos.

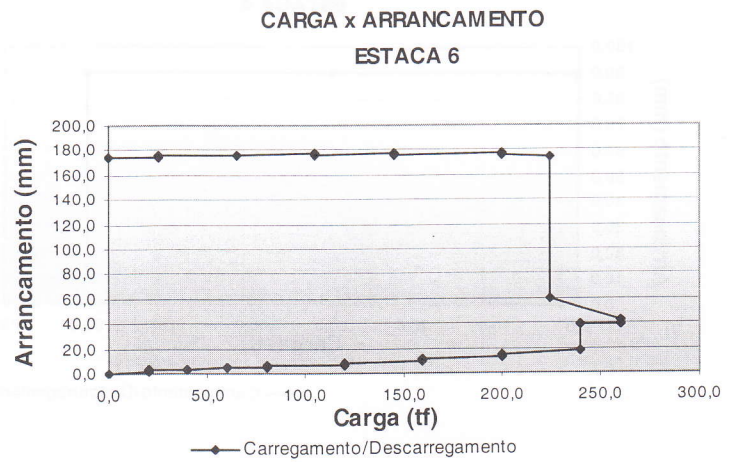


Figura 7 – Estaca E6 – sem tratamento.

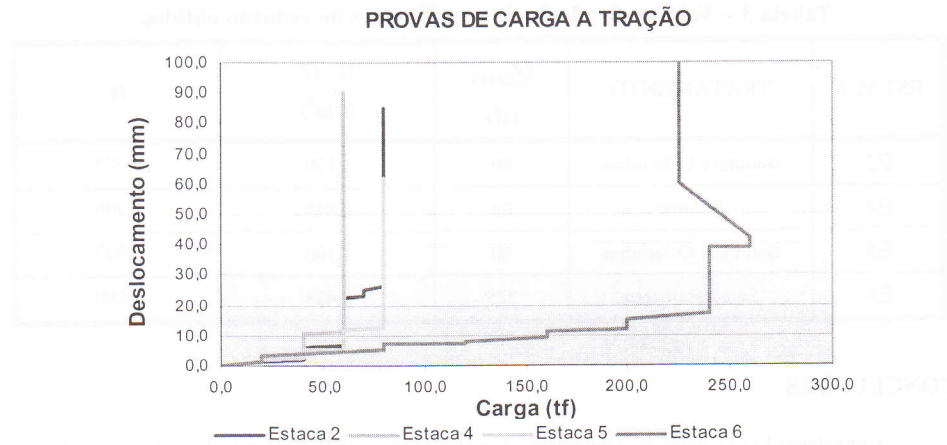


Figura 8 – Curvas estacas testadas.

METODOLOGIA DE ANÁLISE

De acordo com Poulos & Davis (1980), a capacidade de carga última à tração ($Q_{UL(T)}$) se dá conforme a Equação 1:

$$Q_{UL(T)} = \eta \cdot \alpha \cdot U \cdot L + w_p \quad (1)$$

em que:

η = Coeficiente de aderência estaca-solo

α = Coeficiente de redução.

U = Perímetro da estaca.

L = Comprimento da estaca.

w_p = Peso da estaca.

Considerando-se as cargas de ruptura à tração e a retroanálise conforme a equação 1, estabeleceu-se como referência o parâmetro $\eta = 3,438 \text{ t/m}^2$ e $\alpha = 1,0$ correspondentes à estaca E6 (sem tratamento), obtendo-se, então, os seguintes coeficientes de redução de aderência (α) conforme a Tabela 3, a seguir:

Tabela 3 – Valores de aderência e coeficientes de redução obtidos.

ESTACA	TRATAMENTO	$Q_{UL(T)}$ (tf)	$\eta \cdot \alpha$ (t/m ²)	α
E2	Betume e Colarinhos	80	1,120	0,325
E4	Betume	60	0,846	0,246
E5	Betume e Colarinhos	80	1,160	0,337
E6	Sem tratamento	225	3,438	1,000

CONCLUSÕES

Considerando-se o diâmetro equivalente de aproximadamente 66 cm em relação ao perímetro das estacas de aço, observa-se que as deformações obtidas através dos ensaios de tração situam-se acima de 12% do diâmetro o que caracteriza “arrancamento pleno” conforme postula Vesic (1977) que o esgotamento da aderência estaca-solo se manifesta com deslocamentos da ordem de 6 a 10 mm.

A estaca E4 tratada com “betume” apresentou a maior eficiência de tratamento com redução de 75% na aderência estaca-solo, comparativamente à estaca E6 (sem tratamento).

As estacas E2 e E5 romperam na interface estaca-solo em Q_{ul} de 80 tf, apresentando deformações diferenciadas no carregamento, entretanto, na fase de recarregamento estas deformações caracterizaram a plastificação em valores próximos. Observa-se que, contrariando as previsões iniciais, o tratamento de betume+colarinho se mostrou menos eficiente do que o tratamento com betume, apresentando redução de aderência de aproximadamente 67%. Tal fato leva a suposição de que os colarinhos (anéis) após o tempo de repouso pós-cravação, causam um acréscimo na aderência estaca-solo.

Os deslocamentos elásticos verificados nas estacas E2 e E4 são desprezíveis, provavelmente originados de uma acomodação de sistema estaca-solo-reação na carga zero.

Os valores de $\eta\alpha$ apresentados na tabela 3 são característicos à aderência para o solo local (aterro siltoso pouco argiloso). Por outro lado, o fator α é característico à eficiência dos tratamentos utilizados.

AGRADECIMENTOS

Ao engenheiro Pedro Paulo Costa Velloso (em memória) pelos ensinamentos transmitidos e orientação técnica na condução dos trabalhos no campo experimental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso, U. R. (1989) – Dimensionamento de Fundações Profundas. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo.
- Bjerrum, L., Johannessen, I. J., Eide, O. (1968). Reduction of Negative Skin Friction on Steel Piles to Rock. Norwegian geotechnical Institute, Oslo, Norway.
- Bozozuk, M. (1972). Downdrag Measurements on a 160-Ft Floating Pipe. Test Pile in Marine Clay. Canadian Geotechnical Journal. Vol. 9. n.2.
- Claessen, A. I. M., Horvat, E. (1974). Reducing Negative Friction with Bitumen Slip Layers. Journal of the Geotechnical Engineering Division – GT8.

Fellenius, B. H. (1975). Reducing Negative Skin Friction with Bitumen Slip Layers. ASCE GT4. Vol. 101.
Ground Engineering (Nov. 1971). Bitumen Slip Layers for Bearing Piles.
Poulos, H. G., Davis, E. H. (1980). Pile Foundation Analysis and Design. The University of Sydney.
Tomlinson, M. J. (1975). Foundation Design and Construction. II Ed., Pitman, London.
Velloso, D. A.; Lopes, F. R. (2002). Fundações Profundas. Volume II. Coppe – Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.