

Capacidade de Carga de Estacas Econômicas de Solo-Cimento Plástico

Dickran Berberian

Infrasolo/Fundex Ltda, Brasília, Brasil, infrasoloengenharia@gmail.com

RESUMO: Desde os seus primeiros experimentos em 1976, o autor vem desenvolvendo estacas muito econômicas em Solo-Cimento Plástico (SCP), na tentativa de reduzir as sérias patologias apresentadas nas fundações em radiers flexíveis, apoiadas em solos porosos de natureza colapsível, metaestáveis do Brasil. Consequentemente, o uso deste material na obra conseguiu trazer benefícios tanto econômico quanto social. As estacas em SCP também podem ser utilizadas como fundações isoladas para cargas variando entre 60 e 80 kN ou como melhoria do solo de apoio de radiers, espaçadas a aproximadamente 3 vezes o seu diâmetro. Estas estacas procuram atravessar o perfil colapsível, atingindo profundidades em torno de 8m e são executadas simplesmente traçando-se o solo retirado da cava das fundações, com cimento e água, sem adição de areia e brita. Com base nos primeiros resultados das pesquisas realizadas já foi possível executar pouco mais de 10.000 estacas em SCP. Apesar dos resultados obtidos mostarem um amplo potencial de uso, os profissionais da área de Fundações e Construções Populares ainda pouco utilizam ou mesmo desconhecem este novo tipo de Fundações.

PALAVRAS-CHAVE: Solo-cimento Plástico, Provas de Carga, Estacas Econômicas, Estacas Broca, Ensaios, Radiers Estaqueados.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil está implantando um amplo programa habitacional que prevê a construção de moradias para 7.000.000 de famílias de baixa renda, das quais 4.000.000 já foram efetivamente construídas e entregues aos pretendentes usuários. Este programa habitacional em face de seus aspectos sócio/econômicos tem sido referência mundial.

Um grande número destas edificações, de até 4 pavimentos, está sendo executada em radiers flexíveis (placas). Devido à natureza colapsível dos solos lateríticos metaestáveis, que cobrem um grande quinhão do território brasileiro, tem provocado um número considerável de patologias, rachaduras e flechas com consequências diretas na funcionalidade, estética e segurança das edificações.

Para alcançar camadas mais profundas, no entorno de 6m (não colapsíveis), estão sendo substituídos os radiers por radier estaqueado

sobre estacas de SCP, reutilizando o próprio solo retirado da cava, traçando-se com cimento sem adicionar areia e brita (geralmente no traço 1cim: 7solo).

Em razão da grande diferença das resistências do concreto, por mais pobre que seja o teor de cimento, e da capacidade de carga do solo para este tipo de fundações, tornou-se possível a viabilização de estacas em Solo-Cimento Plástico, razão deste projeto de pesquisa.

Vale observar que o concreto mais pobre comercialmente utilizável, alcança resistência mínima no em torno de 8 MPa. Considerando-se o diâmetro nominal de 30 cm nas estacas tipo broca, o concreto estruturalmente resistiria a pelo menos 565 kN ($8.000 \text{ kN/m}^2 \times \pi \times 0.15^2 \text{ m}^2$), ou seja, 57t. Entretanto, as estacas apropriadas para o solo pouco resistente ($\text{SPT} \leq 14$), com diâmetro de 30 cm e profundidade de 8m aproximadamente, alcançam uma capacidade de carga admissível de somente

80 kN (8t), gerando um grande desperdício de material, justificando a implantação desta linha de pesquisa, na busca de um material mais econômico, com resistência entre 2 e 3 MPa, correspondente a uma carga de ruptura de 16 kN e 8 kN de projeto, e que ao mesmo tempo fosse resistente, durável, pouco deformável, muito econômico, de fácil aplicação e que não agredisse o meio ambiente.

O autor verificou que até 1974 as empresas de Fundações do Distrito Federal já haviam executado perto de 27.000 estacas do tipo broca, onerando desnecessariamente o comprador, na sua grande maioria, de baixa renda.

Surge como resultado desta pesquisa a “Estaca em Solo-Cimento Plástico”, a qual incluiu 48 provas de carga, lançando-se no furo a pasta de solo-cimento sem vibra-la e sem compacta-la.

As análises de custo realizadas em várias obras apontam para uma economia variando entre 32 a 52% em relação às fundações em concreto, além do ganho social quando se opta pela escavação e traçagem manual.

Estas estacas mostraram-se muito econômicas, duráveis após 5 anos de imersão, de baixa retração, além de execução muito simples, podendo ser escavadas e moldadas manualmente, constituindo-se num forte vetor gerador de empregos. Foram ensaiadas inúmeras amostras de quase todo Brasil, mostrando ter todas elas aptidão para o uso em SCP, exceto as argilas muito mole de Florianópolis e obviamente solos muito orgânicos (Pt), que por absorver em um alto consumo de cimento tornam-se anti-econômicos. O diâmetro de 30 cm é o que demonstrou a melhor custo/benefício. Diâmetros maiores que 30 cm ou tubulões em SCP mostraram-se improdutivos (Camapum e Cortopassi, 1990).

2 METODOLOGIA DE EXECUÇÃO

2.1 1º Passo: Perfuração das estacas.

A escavação das estacas em SCP pode ser realizada com uso de trados manuais ou mecânicos. Em ambos os casos a metodologia de execução é bastante simples, econômica e é operado por dois homens (Figuras 1, 2 e 4). O resíduo de solo solto e fofo é consolidado pelo lançamento de 4 litros de pasta de cimento/água (1:1), para evitar recalques imediatos por compressão na ponta da estaca.

A Figura 3 mostra a escavação do furo, utilizando trado helicoidal mecânico. A Figura 5 apresenta uma perfuratriz mecânica de fabricação artesanal.



Figura 1. Escavação Manual (trado tipo "concha")



Figura 2. Escavação Manual das Estacas Em SCP

Outra grande aplicação, se não a maior delas, deste novo tipo de fundação é a de melhorar o terreno para apoio de Radiers e/ou aterros rodoviários, aumentando a rigidez do maciço como um todo e consequentemente diminuindo os recalques (Figuras 6 e 7).

Neste caso recomenda-se a execução de capteis com 60 cm de diâmetro no topo da estaca, para propiciar a formação do efeito de arco, substituindo com vantagem a placa de concreto comumente usado para este fim.



Figura 3. Escavação Mecânica da Estaca



Figura 3. Trado para Escavação Manual Desenvolvido por Fundex/Infraso (2006).



Figura 5. Escavação Mecânica: Equipamento de Fabricação Artesanal



Figura 4. Aplicação do SCP Como Apoio para Radiers de Tanques de Petróleo



Figura 5. Utilização Do SCP para Melhoria do Subleito para Aterros Rodoviários

Necessitando-se aumentar a capacidade de carga da estaca (mini-estacas), há a possibilidade de se alargar bases em uma ou mais profundidades de forma a aumentar a carga de ponta e por atrito lateral. Neste caso, as estacas a trado passam a ser designadas por Mini-Tubulões. Possuem normalmente fuste de 30 cm diâmetro. Menores do que 25 cm não tem apresentado segurança adequada: fogem do prumo e podem apresentar falhas e estrangulamentos para Slumps baixo. Seu comprimento máximo é da ordem de 8 m. São moldadas “*in loco*” e preenchidas com Solo-Cimento ($f_{cdSCP} \approx 2,0 \text{ MPa}$), com pilarete de concreto simples ($F_{cd} = 15 \text{ MPa}$), na transição Estaca x Bloco.



Figura 6. Pilaretes de Transição SCP / Bloco

São exequíveis acima do nível d'água em solos predominantemente coesivos ou que ofereçam suficiente estabilidade para escavações a céu aberto (não revestidas).

Normalmente uma dupla de operários tradeiros produz 6 unidades de 6 m por dia.

2.2 2ºPasso: Preparo do Solo-cimento Plástico.



Figura 7. Preparo Manual do SCP

O Solo-cimento pode ser preparado manual ou mecanicamente com a utilização de betoneira. O próprio solo escavado é reutilizado para a mistura com cimento, elimina a necessidade de abertura de jazidas ou busca de locais para bota-fora, preservando inclusive o meio ambiente. Interessante observar que a traçagem manual em solos argilosos, mostrou-se mais eficiente e produtiva do que a traçagem por betoneira. Tal fato deve-se à alta plasticidade das argilas “gordas e untosas”, podendo ser resolvido adicionando-se areia à mistura, o que certamente aumentará o custo final.

2.3 3ºPasso: Consolidação do solo fofo na ponta.



Figura 8. Consolidação do Solo Fofo

Antes de lançar o solo-cimento plástico para confeccionar a estaca, recomenda-se aplicar uma mistura de cimento e água no intuito de melhorar o solo do fundo do furo para consolidar eventuais materiais fofos deixados pelo trado. Figura 11. Opcionalmente pode-se apiloar o fundo da estaca, com o uso de pilão de 20 kg, de forma semelhante ao utilizado com sucesso pela empresa Infrasofo/Fundex para consolidar o solo fofo deixado pelo trado mecânico em estacas escavadas.

2.4 4ºPasso: Lançamento do SCP

Este processo é inteiramente manual e pode ser empregada uma caçamba para o lançamento no furo. Figura 11 e 12.



Figura 9. Lançamento SCP



Figura 10. Aspecto da Estaca Pronta



Figura 11. Estaca de SCP Exumada, Mostrando os Medidores de Umidade.



Figura 12. Seção Instrumentada – Straining Gages

3 ESTUDO DE VIABILIDADE CONÔMICA - EVE

Após as pesquisas realizadas por Berberian (1976), Camapum e Cortopassi (1987), Andrade Filho (1989), Cortopassi (1989), Segantini (1994, 2000), etc., o autor vem divulgando em

congressos, cursos, encontros, etc. a ideia da utilização do Solo-Cimento como um novo material para aplicação em fundações e para radiers estaqueados. Isto se deu principalmente pela ampla divulgação dos CREAs do Brasil ao prêmio oferecido pela UNESCO em Paris ao Prof. Francisco Casanova, por ter desenvolvido o “tijolo prensado em solo-cimento” no programa de pesquisa da COPPE.

Apresenta-se a seguir, a título de ilustração, um resumo das análises de custos e as economias geradas em vários casos reais. Tabela 1.

Como já foi dito anteriormente, os primeiros resultados foram de tal forma animadores que permitiram ao coordenador deste projeto e sua empresa executarem e assumirem a responsabilidade técnica na aplicação deste novo material em várias obras pioneiras.

Tabela 1. Redução dos Custos Proporcionados Pelas Estacas em SCP

OBRA	ECO-NOMIA
Argus Center	
Berberian, D., (1976), Relação Custo/Benefício na Utilização do SCP para o Salvamento de Tubulões Desabados.	62,4%
Anexo do Palácio do Planalto – Brasília	
Berberian, D., Peixoto, M., (1981), “Comparação de Estacas de Concreto e de SCP” TCC Eng. UnB.	40%
Habitações populares Valparaíso – GO	
Camapum J. C. e Cortopassi R. IX COMBRASEF Cong. Brasileiro de Eng. De Fundações (1987), “Solo cimento na habitação popular”. São Paulo, SP. ABCP, 2ª edição, EC – pp. 4 a 14.	45 a 54%
Pesquisa com Estacas e Tubulões	
Camapum et al (1990), “Análise do comportamento do solo-cimento plástico para uso em fundações”.	32,6%
Pesquisa com estacas de 32 cm de diâmetro	
Segantini et al (1999), “Re-ensaio de estacas apiloadas confeccionadas em solo-cimento”. Ilha Solteira, SP. FEIS, UNESP, Relatório trienal de ativis.	33%

União Química
Execução de 8800 Estacas em SCP

Berberian (2003), “Execução de Estacas de SCP Auto-adensável para as Fundações dos Pisos em Radiers da Fábrica de Remédios UNILAB”. Relatório Técnico 40600 do Dep. de Pesquisa Científica-Infrasolo. 41,2%

Solos Tropicais

Camapum C. e Melo, M. T (1990) I Simpósio sobre Solos Tropicais e Processos Erosivos do Centro-Oeste 42,63%

4 PROVAS DE CARGA

Para homologação deste novo material foram rompidos 400 corpos de prova (15x30 cm), Realizou-se a Análise da Elasticidade e estudo da Retração do SCP, em laboratório e no campo, em protótipos reais e foram retro-azalisadas 48 Provas de Carga. Além da exumação de várias estacas de tamanho real (8,0 m), figura 14.

Sempre que possível foi realizada uma série de três provas de carga sobre cada estaca. Figuras 15 e 16.

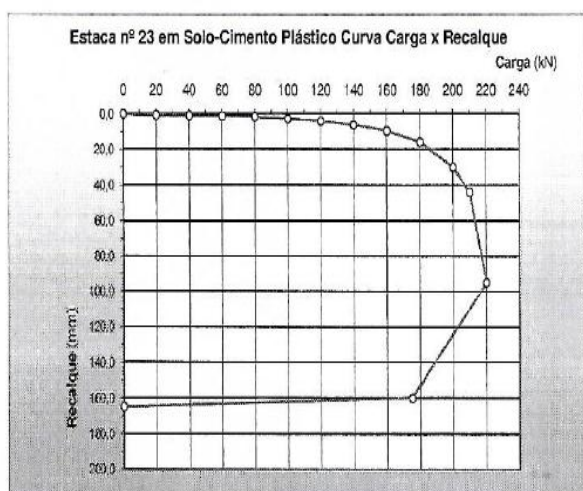


Figura 13. Curva Carga Recalque. SCP s/ bases. Campo Experimental – UNB

Provas de carga instrumentadas com Strain Gages, Berberian e Arkan (1990) e Segantini (1994) mostraram que mais de 85 % das cargas são transferidas por atrito/adeseção lateral, a níveis das cargas de ruptura. Figuras 15 e 16.

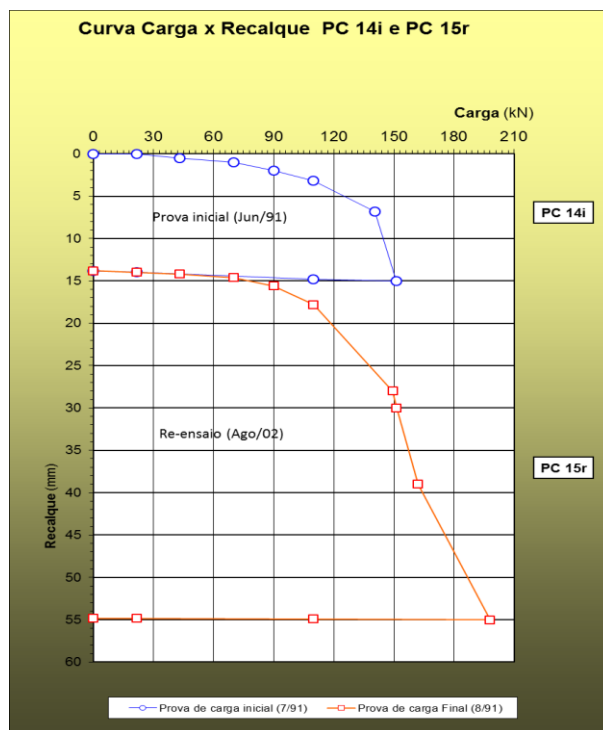


Figura 14. Mini Tubulão SCP 07. SCP 03 bases – Campus - GO 01



Figura 15. Instrumentação da Estaca

5 RADIERS ESTAQUEADOS

Além de importantes subprodutos do SCP, tais como, melhoria dos solos nos emboques de tuneis, estabilização de taludes de encostas e escavações urbanas, as estacas em solo-cimento plástico tem se mostrado importantes para o aumento da rigidez do maciço de apoio de radiers, reduzindo suas deformações, principalmente sob pilares e paredes, bem como o aumento do Coeficiente de Segurança contra possibilidade de ruptura.

Para radiers o espaçamento recomendado entre eixos da estaca é de 3 ou 4 vezes o diâmetro do fuste, com capitel de 60 cm sob o radier, e opcionalmente pilarete de concreto magro ($f_{ck}=8,0$ MPa). Dispensam-se o uso de

plaquetas distribuidoras de tensões de concreto na interface estaca/radier.

As grandes incógnitas inerentes ao projeto de radiers estão no conhecimento da parcela de transferência de carga para o solo pela placa, pela estaca e pela fundação. Da mesma forma o conhecimento da Rigidez relativa (R_r), do conjunto do solo. É fácil de entender que as estacas de Solo-Cimento permitem uma interação muito mais harmônica com o terreno de apoio do que estacas em concreto. Haja visto que o módulo de elasticidade do SCP, em torno de 400.000 kN/m^2 é muito mais próximo do solo cujo módulo gira no em torno de 40.000 kN/m^2 enquanto que o concreto apresenta um módulo de $20.000.000 \text{ kN/m}^2$.

6 CONCLUSÕES

Conforme conclusão do Estudo de Viabilidade Econômica – EVE, os valores da capacidade de cargas admissíveis, obtidos através das provas de carga, apontaram para economias que variam de 32% a 62%.

As estacas ensaiadas que não apresentaram ruptura física nítida foram utilizadas para extrapolação e previsão da provável carga de ruptura os métodos da Norma Brasileira 12.131:2006, Fellenius, Van der Veen, Berberian, Brinch Hansen 80, Brinch Hansen 90, através de programa desenvolvido especialmente para este fim.

Segundo pesquisas realizadas até a presente data recomenda-se utilizar para cargas admissíveis, para o traço: 1cim: 7solo e na consistência próxima a massa de reboco (slump 4 a 10 cm) dotado de um pilarete de concreto de baixa resistência com comprimento aproximado de 1 metro:

60 kN para estacas sem base;

70 kN para uma base alargada e

80 kN para duas bases.

Observações de campo e provas de cargas mostraram que o diâmetro ideal para estacas de SCP é de 30 cm. As menores, por exemplo, 20 ou 25 cm, podem perder o prumo quando escavadas em perfis geotécnicos erráticos com camadas sub-horizontais. Da mesma forma,

diâmetros maiores testados, por exemplo, 40 cm e tubulões não apresentaram ganho de carga que justificasse o custo, dificultando o trabalho manual e reduzindo o vetor social associada a geração de emprego.

A adição de areia na mistura para melhoria da resistência e a trabalhabilidade do SCP, pode ser economicamente viável até mesmo por que boa parte dos solos do planeta tem fração razoável de materiais granulares.

Recomenda-se executar pesquisas em radier estaqueados com SCP em tamanho real, incluindo realização de provas de placa para obtenção do coeficiente de recalque k_s .

BIBLIOGRAFIA

- Andrade, F. J. (1989). Reforço de solos com a utilização de tubulões em solo-cimento. São Carlos-SP. Dissertação (Mestrado Geotecnia). Escola de Engenharia de São Carlos – USP. 190p.
- Berberian, D., (1976), Relação Custo/Benefício na Utilização do Solo-cimento para o Salvamento de Tubulões Solapados.
- Berberian, D., Peixoto, M., (1981), “Comparação de Estacas de Concreto e de Solo-cimento Plástico” em *Projeto Final de Curso de Engenharia civil da Universidade de Brasília*.
- Berberian, D. e Arkan, D. (1990) Provas de Carga Instrumentadas. Projeto final de curso Universidade de Brasília.
- Berberian (2003), “Execução de Estacas de Solo-cimento Plástico Auto-adensável para as Fundações dos Pisos em Radiers da Fábrica de Remédios UNILAB”. *Relatório Técnico 40.600. Dep. de Pesquisa Científica Infrasolo*.
- Camapum J.C., e Cortopassi R. IX COMBRASEF Cong. Brasileiro de Eng. De Fundações (1987), “Solo Cimento na habitação popular”. São Paulo, SP. ABCP, 2ª edição, EC – pp. 4 a 14.
- Camapum, J.C., e Cortopassi, R. (1990), IX COMBRANSEF congresso brasileiro de engenharia de fundação.
- Camapum de Carvalho et al (1990), “Análise do comportamento do solo-cimento plástico para uso em fundações”.
- Cortopassi, R. S. (1989). Solo Cimento Plástico para Fundações de Baixo Custo no Distrito Federal, *Relatório de Estágio Supervisionado, UnB, Brasília, DF 43 p*.

- Segantini, A.A.S. (1994). *Utilização de solo-cimento em estacas apiloadas para obras de pequeno porte*. Campinas, SP. Dissertação de Mestrado, FEAGRI, UNICAMP, 96p.
- Segantini, A.A.S. (2000). *Utilização de solo-cimento em estacas apiloadas para obras de pequeno porte*. Campinas, SP. Dissertação de Doutorado, FEAGRI, UNICAMP, 1-206p.
- Segantini et al (1999), “Re-ensaio de estacas apiloadas confeccionadas em solo-cimento”. *Ilha Solteira, SP. FEIS, UNESP, Relatório trienal de atividades*.