

Estaca RAP Modificada

Tales Moreira de Oliveira

Universidade Federal de São João Del Rei, Ouro Branco, Brasil, talesciv@gmail.com

Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil

Caroline Baia Rodrigues Nunes

Universidade Federal de São João Del Rei, Ouro Branco, Brasil, c.br.nunes@gmail.com

Maicon de Ávila Fernandes

Universidade Federal de São João Del Rei, Ouro Branco, Brasil, maiconavila89@gmail.com

Maria Teresa Ferreira

Universidade Federal de São João Del Rei, Ouro Branco, Brasil, mariateresaferp@gmail.com

Pietro Cardoso do Nascimento

Universidade Federal de São João Del Rei, Ouro Branco, Brasil, pietropc@gmail.com

Sabrina Andrade Rocha

Universidade Federal de São João Del Rei, Ouro Branco, Brasil, sabrina-andrade@outlook.com

Thaís Viviane de Souza

Universidade Federal de São João Del Rei, Ouro Branco, Brasil, thais.viviane.souza@gmail.com

Debora Oliveira de Matos

Universidade Federal de São João Del Rei, Ouro Branco, Brasil, deboraomatos@gmail.com

Leandro Neves Duarte

Universidade Federal de São João Del Rei, Ouro Branco, Brasil, leandro.duarte@ufsj.edu.br

Claudio Henrique de Carvalho Silva

Universidade Federal de São João Del Rei, Ouro Branco, Brasil, silvac@ufv.br

RESUMO: A estaca RAP (Rammed Aggregate Pier) foi desenvolvida nos EUA pela empresa Geopier® e é uma estaca de agregado compactado em um pré-furo realizado no solo onde a compactação do agregado é realizada por um pilão. A estaca é capaz de reforçar e melhorar as propriedades do solo circunvizinho, o seu processo executivo aumenta a resistência e rigidez do agregado compactado no interior do furo e pressiona-o lateralmente contra matriz do solo gerando tensões radiais. Obtêm-se assim o melhoramento do solo e uma excelente ligação com o solo circundante, proporcionando o controle de recalques, e significativo incremento na capacidade de carga geotécnica. Visando esta linha de trabalho propôs-se um estudo aprofundado desta estaca, porém com o desenvolvimento de um modelo de estaca que atenda edificações de médio porte, bem como desenvolver um processo executivo simplificado permitindo sua larga aplicação em edificações. A referida estaca foi construída em pequeno diâmetro, 15 cm, e executada com escória em substituição ao agregado natural britado. Assim, desenvolveu-se um método de execução utilizando o sistema de percussão do ensaio de sondagem tipo SPT, determinou-se a granulometria do agregado e testou-se o seu comportamento por meio de ensaios de prova de carga direta.

1 INTRODUÇÃO

A estaca RAP (Rammed Aggregate Pier), cujo sistema construtivo fora patenteado nos EUA pela empresa Geopier®, consiste em um modelo de estaca constituída de agregado compactado e construída por um processo de compactação, utilizando um pilão implementado há uma escavadeira, que aplica uma elevada energia de compactação sobre um material granular, disposto dentro de um furo previamente executado com trado sobre o solo e sem uso de tubo guia ou revestimento, sendo as camadas de agregado lançadas com um avanço vertical, realizado a cada 30 cm, apresentando diâmetro geralmente em torno de 60 cm, mas sendo possível a realização de outros diâmetros como, por exemplo, 45, 75 e 90 cm (IONESCU & BECK, 2010), (PITT et al., 2003) e (HANDY et al., 1999).

A estaca RAP tende a apresentar um custo viável, e devido sua forma de atuação no solo, chama bastante atenção, pelo fato de que as áreas construtivas que compõe os atuais centros urbanos tendem a apresentar de baixa a média competência tendo em vista que as edificações existentes na maioria das vezes já ocupam as áreas mais competentes. (IONESCU & BECK, 2010), (PITT et al., 2003) e (HANDY et al., 1999).

A estaca RAP é então indicada para ser aplicada como reforço de solos siltosos (ML, MH), argilosos (CL, CH), solos abaixo do nível freático, argilas arenosas (SC) e siltes arenosos (SM), que possam ser escavados mantendo-se íntegro o interior do furo, previamente executado.

A estaca é capaz de reforçar e melhorar as propriedades dos solos, o seu processo executivo aumenta a resistência e rigidez do agregado compactado no interior do furo e pressiona-o lateralmente contra matriz do solo gerando tensões radiais. Obtêm-se assim o melhoramento do solo e uma excelente ligação com o solo circundante, proporcionando o controle de recalques, e significativo

incremento na capacidade de carga geotécnica, sendo possível atingir valores da ordem de 500 kPa e com um sistema de baixa vibração que pode chegar a profundidades moderadas, em torno de 15 metros. No Brasil este modelo de fundação já é oferecido pela empresa Tecnosonda.

Visando esta linha de trabalho e buscando trazer contribuições geotécnicas ao meio brasileiro, trabalhou-se com objetivo de desenvolver um modelo de estaca que atenda edificações de médio porte, bem como um processo executivo simplificado que possa ser abrangente. Outro fator relevante é a grande disponibilidade de escória de aciaria na região onde se insere o desenvolvimento deste trabalho. Assim sendo, estudou-se uma estaca RAP modificada, executada com escória de aciaria em substituição ao agregado natural britado e sendo construída com pequeno diâmetro, 15 cm, além disto, desenvolveu-se um método de execução utilizando o sistema de percussão do ensaio tipo SPT.

Neste contexto, apresentam-se alguns parâmetros geotécnicos relativos à interação solo-estaca deste modelo proposto de fundação.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Campo Experimental

O campo experimental onde se desenvolveu esta pesquisa compõe-se de um solo silto argilo arenoso, representativo dos solos residuais de gnaiss com variações de cores entre marrom a rosa variegada com traços marcantes de feldspato. Localizado na região do Alto Paraopeba, Ouro Branco, MG, no campus Alto Paraopeba da Universidade Federal de São João Del Rei, rodovia MG 443, km 7.

2.2 Agregado

Como agregado para construção das estacas empregou-se escória de aciaria, oriunda dos

fornos elétrico da Vallourec & Sumitomo Tubos do Brasil - VSB. Sendo britada e fornecida a este trabalho pela empresa de beneficiamento de resíduos siderúrgicos Letek Minas.

2.3 Metodologia

Inicialmente desenvolveu-se uma campanha de investigação a trado, abrangendo uma área total de 2.500,00 m², onde se executaram furos com profundidade de 4 m, visando determinar uma porção desta área que apresentasse tátil visualmente materiais similares do ponto de vista geotécnico. Chegou-se então a uma porção de 297 m², definindo assim o campo experimental para esta pesquisa. Posteriormente complementando-se a campanha de sondagem a trado e buscando a garantia da homogeneidade requerida para delimitação do campo experimental, executou-se 4 sondagens a percussão (SPT).

Para construção das estacas utilizou-se um trado tipo concha com 15 cm de diâmetro para execução de um pré-furo até a profundidade de 2,4 m, que corresponde a um comprimento igual a 3 vezes o diâmetro “D” da placa rígida de 80 cm, ou seja, uma profundidade que ultrapassa o bulbo de tensões referente a 10% da carga aplicada, visto que buscou-se simular nos ensaios de prova de carga, a ação de sapatas assentes sobre a estaca RAP Modificada, e conforme Duarte (2012) trabalhando-se com uma profundidade de superior a do bulbo de tensões da sapata, obtém-se um conjunto sapata estaca trabalhado sobre um viés técnico e econômico.

Para compactação da escória, no interior do furo previamente executado confeccionou-se uma base metálica circular rígida de aproximadamente 15 cm de diâmetro a qual foi solidarizada uma luva metálica rosqueada em que é possível realizar junção de hastes de 2” conforme Figura 1. Estas hastes tratam-se da canaria utilizada no ensaio de SPT, sendo possível, por exemplo, a colocação da cabeça de bater, elemento de aço utilizado para receber os golpes do martelo.

A escória utilizada na confecção das estacas foi primeiramente testada em laboratório para 3 diferentes granulometrias, formuladas pela

proposta de Fuller Talbot:

$$p = 100 \left(\frac{d}{D} \right)^n \quad (1)$$

Onde: “p” é porcentagem da fração com grãos de diâmetro menor que “d”, “D” é o diâmetro máximo dos grãos constituintes do material, “d” o diâmetro para qual se deseja determinar a % passante e “n” o coeficiente que depende das peculiaridades granulométricas do material.

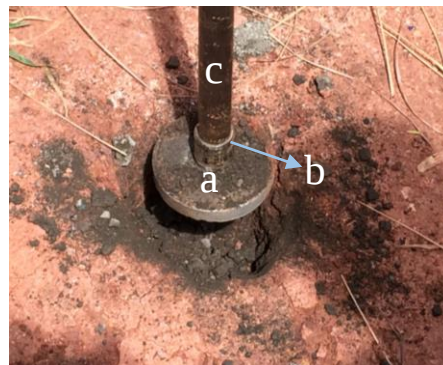


Figura 1 – (a) Sapata de compactação; (b) luva para ligação as hastes metálicas de 2” e (c) Haste metálica de 2”.

Utilizando “n” igual a 0,4; 0,5 e 0,6 com o uso de peneiras em aberturas variando entre 25; 19; 6,30; 2; 0,425 e 0,075 mm rejeitando o material retido na peneira de 25 mm e o material passante na peneira de 0,075 mm, compôs-se as diferentes granulometrias para este estudo, em seguida para cada granulometria, determinou-se a umidade ótima e o peso específico aparente seco máximo por meio do ensaio de compactação na energia intermediária, com a obtenção destes parâmetros realizou-se o ensaio Califórnia Bearing Ratio (CBR), determinando-se a granulometria a ser aplicada nas estacas com base na melhor resposta ao ensaio de CBR.

Para confecção das estacas dispôs-se 30 cm de escória dentro do furo previamente aberto, em seguida posicionou-se a haste com a base rígida sobre a camada de escória lançada e realizou-se 17 golpes do martelo SPT, mantendo-se a altura de queda de 75 cm, o que confere uma energia similar a intermediária do ensaio de compactação. Esta sequência de lançamento de escória (30 cm), seguido de compactação foi realizada até completar o furo

com escória compactada, conforme indicado na Figura 2, sendo que a compactação pode ser realizada tanto manualmente como mecanicamente, assim como a perfuração que pode ser executada utilizando trado manual ou do tipo mecânico portátil.

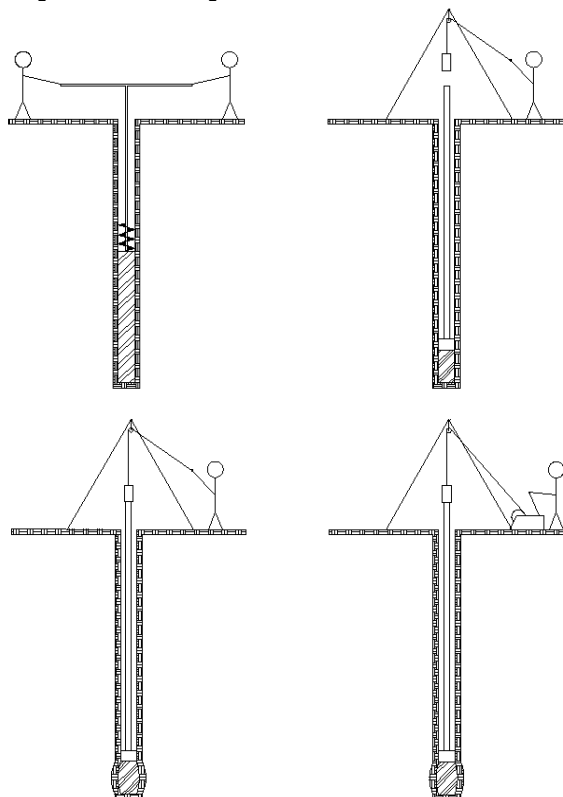


Figura 2 - Processo executivo da estaca RAP-Modificada

Sobre estacas previamente executadas realizou-se provas de carga, com a seguinte organização e objetivos: i) Ensaio de prova de carga direta, determinação da capacidade de carga do solo; ii) Prova de carga direta sobre uma estaca; iii) Determinação da capacidade de carga lateral, uma estaca foi executada sobre uma camada de isopor rígido que posteriormente foi dissolvido com o uso de acetona pura PA, assim ao executar um ensaio de prova de carga direta sobre a estaca foi possível determinar a contribuição da capacidade de carga lateral; iv) Determinação da capacidade de carga de uma sapata assente sobre uma estaca RAP modificada, executou-se um ensaio de prova de carga, sobre uma placa rígida de 80 cm assente sobre uma estaca.

3 RESULTADOS

Conforme metodologia disposta em 2.2 apresenta-se os resultados dos ensaios de Sondagem a Trado (Tabelas 1, 2 e Legenda), Sondagem a Percussão (Tabelas 3, 4, 5 e 6), Granulometria (Figura 3), Compactação e CBR (Tabela 7). Para as provas de carga sobre: placa, estaca, estaca sem ponta e placa assente sobre estaca, têm-se as Figuras 4, 5, 6 e 7 respectivamente.

Tabela 1. Resultado da sondagem a Trado

PROF. (m)	ST 01		ST 02		ST 03		ST 04	
	Cor	Gr.	Cor	Gr.	Cor	Gr;	Cor	Gr.
0,0 - 0,5	1	213	4	213	4	213	4	213
0,5 - 1,0	2	213	4	213	4	213	4	213
1,0 - 1,5	3	213	4	213	4	213	4	213
1,5 - 2,0	4	213	4	213	4	213	4	213
2,0 - 2,5	1	213	4	213	4	213	4	213
2,5 - 3,0	2	213	4	213	4	213	4	213
3,0 - 3,5	2	213	4	213	4	213	4	213
3,5 - 4,0	2	213	4	213	4	213	4	213

Tabela 2. Resultado da sondagem a Trado

PROF. (m)	ST 05		ST 06		ST 07		ST 08	
	Cor	Gr.	Cor	Gr.	Cor	Gr;	Cor	Gr.
0,0 - 0,5	5	213	2	213	4	231	4	231
0,5 - 1,0	6	213	2	213	4	231	4	231
1,0 - 1,5	7	213	2	213	4	231	4	231
1,5 - 2,0	5	213	2	213	4	231	4	231
2,0 - 2,5	6	213	2	213	4	231	4	231
2,5 - 3,0	4	213	8	213	4	231	4	231
3,0 - 3,5	3	213	4	213	4	231	4	231
3,5 - 4,0	3	213	4	213	4	231	4	231

Legenda:

Cor			
Rosa Avermelhado	1	Bege	5
Rosa	2	Marrom Claro	6
Marrom Escuro	3	Roxo Claro	7
Marrom	4	Rosa Escuro	8
Granulometria			
Areia	1	Silte	2
Argila	3		
Texto			
Prof.: Profundidade		Gr.: Granulometria	

Tabela 3. Resultado da sondagem a Percussão – Furo 01

Camada	N _{SPT- 30cm}	Tipo de Solo
Sondagem a Percussão - SPT -01		
1	15	Rosa avermelhado
2	17	Rosa avermelhado
3	13	Rosa avermelhado
4	13	Rosa
5	20	Rosa

Tabela 4. Resultado da sondagem a Percussão – Furo 02

Camada	N _{SPT- 30cm}	Tipo de Solo
Sondagem a Percussão - SPT -02		
1	10	Marrom
2	10	Marrom
3	15	Marrom
4	16	Marrom
5	22	Marrom

Tabela 5. Resultado da sondagem a Percussão – Furo 03

Camada	N _{SPT- 30cm}	Tipo de Solo
Sondagem a Percussão - SPT -03		
1	13	Rosa
2	10	Rosa
3	14	Rosa
4	20	Rosa
5	21	Rosa

Tabela 6. Resultado da sondagem a Percussão – Furo 04

Camada	N _{SPT- 30cm}	Tipo de Solo
Sondagem a Percussão - SPT -04		
1	11	Marrom
2	8	Marrom
3	8	Marrom
4	8	Marrom
5	7	Marrom

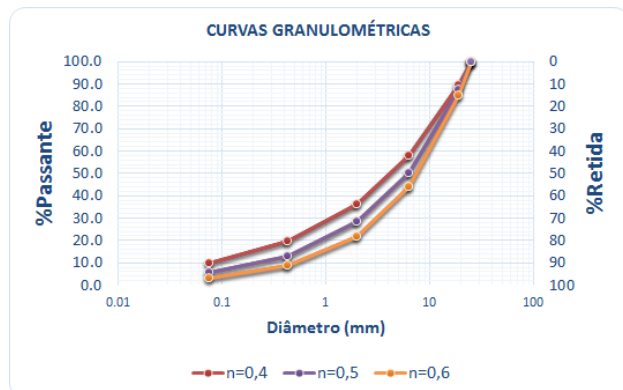


Figura 3. Distribuição granulométrica, dos agregados

segundo a formulação de Fuller Talbot.

Tabela 7. Resultado do ensaio de Compactação para as diferentes granulometrias.

Compactação e CBR				
Granulometria	Umidade ótima (W _{ot}), (%)	Peso específico aparente seco Máximo (γ _{dmáx}), (kN/m ³)	Índice de Suporte Califórnia (ISC), (%)	Exp. de CBR (%)
n=0,4	4,5	15,5	158	2,30
n=0,5	2,88	15,5	193	3,55
n=0,6	3,98	15,6	100	3,16

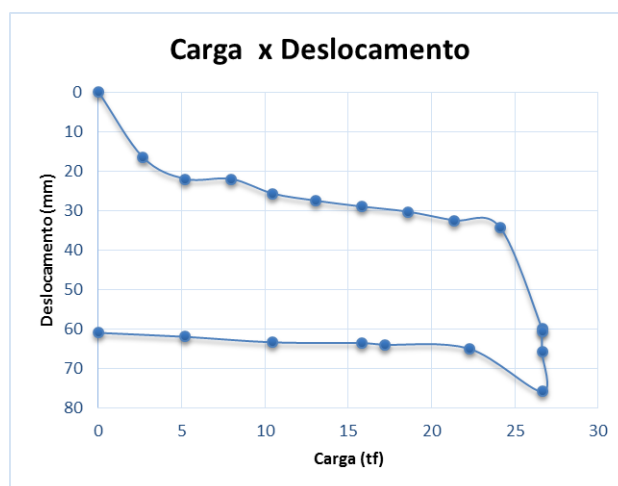


Figura 4 – Resultado de prova de Carga em placa com diâmetro igual 80 cm, sobre o solo.

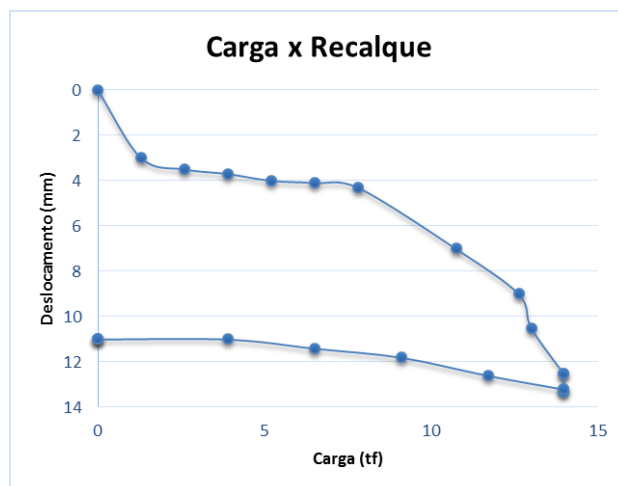


Figura 5 – Resultado de Prova de Carga em estaca RAP-Modificada.

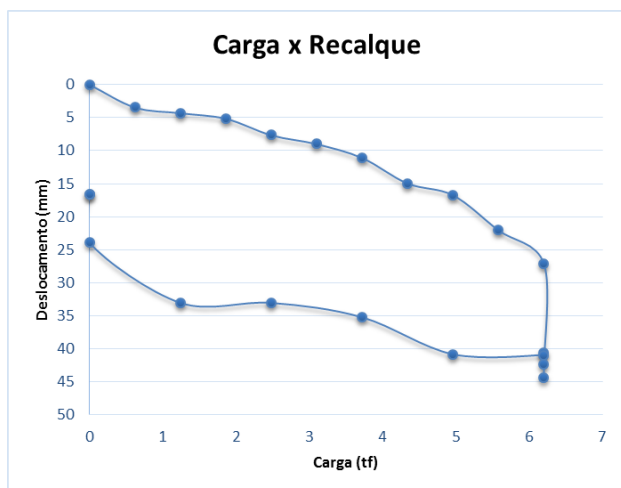


Figura 6 – Resultado de Prova de Carga em estaca RAP-Modificada sem resistência de ponta.

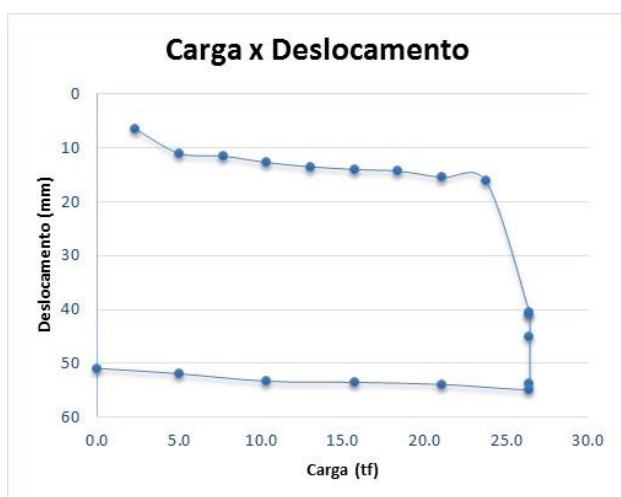


Figura 7- Prova de Carga em placa de diâmetro igual a 80 cm, assente sobre solo melhorado com uma estaca RAP-Modificada.

4 DISCUSSÃO

Verifica-se que o solo em toda área se apresenta com características similares, tendo apenas uma variação de cor, comum aos solos residuais de gnaiss conforme Tabelas 1 e 2. Os valores de SPT indicam que o campo experimental, apresenta uma resistência compatível a aquela requerida para as propostas de estudo da estaca RAP Modificada, possuindo $N_{SPT, \text{ médio}}$ até 4 metros de profundidade igual a 12, atendendo, portanto, a premissa inicial de solo com média competência. Uma análise estatística simplificada indica um desvio padrão da amostra na ordem de 2,65 e um coeficiente de variação igual a 21,14%, sendo, portanto, inferior a 25% e conforme Olivieri (2003),

podendo ser classificado como razoavelmente homogêneo.

Sugere-se por este trabalho, a utilização de uma granulometria compatível com aquela apresentada na Figura 3, para $n = 0,5$, pois, nas condições ótimas de compactação, na energia intermediária, esta granulometria contínua apresentou melhor estabilidade, segundo o resultado do ensaio de CBR como pode ser visto na Tabela 7.

A energia intermediária fora escolhida pelo fato de que ao ser convertida para o processo executivo utilizando o martelo do SPT, faz-se necessário a execução de 17 golpes, por camada que são possíveis de serem executados utilizando força braçal.

O solo do campo experimental para o ensaio de prova de carga sobre placa apresentou carga de ruptura na ordem de 26 tf e uma carga admissível da ordem de 10 tf com 25 mm de recalque.

Conforme é possível verificar, ao se introduzir apenas uma estaca, promove-se o melhoramento do solo trazendo o recalque da ordem de 76 mm para 55 mm na carga de ruptura e de 25 mm para 12 mm na carga admissível conforme Figuras 4 e 7.

Quanto à estaca RAP-Modificada a mesma é capaz de suportar uma carga admissível da ordem de 6 tf e que a relação entre a carga de ponta e a carga por atrito lateral é da ordem de 50% conforme Figuras 5 e 6.

5 CONCLUSÕES

Os resultados ora apresentados, trata de um trabalho ainda em andamento, mas pode-se verificar que para as condições geotécnicas do campo experimental, executando-se à estaca RAP-Modificada segundo a metodologia proposta por este trabalho, com granulometria para $n=0,5$, e energia intermediária de compactação, consegue-se obter um melhoramento do solo, obtendo-se uma nova possibilidade de fundação, que possui ainda viés sustentável ao se utilizar de escória de aciaria.

AGRADECIMENTOS

ARCOS Engenharia, VSB, Letek Minas e FAPEMIG.

REFERÊNCIAS

- Duarte, L. N. (2012) *Avaliação do Comportamento Solo-estrutura de Elementos de Fundação tipo Sapata Estaqueada*, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG.
- Handy, R.L., Fox, N.S., and K.J. Wissmann. (1999). *Short Aggregate Piers Reinforce Soils Near Tunnels*. Geotechnical Special Publication No. 90: Geo-Engineering for Underground Facilities, ASCE, pp. 1039-1047
- Ionescu, B., Beck, A. (2010). Soil Improvement by Geopier® Aggregate Piers. In: *International Scientific Conference - CIBv*, Braşov. p. 264 – 268.
- Olivieri, J. C. (2003). Programa Interlaboratorial. *Proposta de Modelo para Interpretação de Resultados de Análises Químicas*, Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 133 p.
- Pitt, John M., White, D. J., Gaul, A. and Hoevelkamp, K. (2003). *Highway applications for rammed aggregate piers in Iowa soils*. Iowa DOT Project TR-443.