

AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE ESTACAS SOLO-CIMENTO PARA CONSTRUÇÕES DE PEQUENO PORTE¹

Lorrany Melo

Graduanda do 10º período do curso de Engenharia Civil do UNIPAM.
E-mail: lorranyomelo@yahoo.com.br

Nágela Mayla

Graduanda do 10º período do curso de Engenharia Civil do UNIPAM.
E-mail: nagelamayla@gmail.com

Renata Melo

Professora do curso de Engenharia Civil do UNIPAM.
E-mail: renataom@unipam.edu.br

RESUMO: O solo-cimento é uma composição de solo, cimento e água homogeneizados, reaproveitando o solo escavado das estacas, reduzindo o gasto de cimento, que, quando é acrescido ao solo, aumenta sua resistência. Neste trabalho, foi utilizada essa mistura composta por solo-cimento para composição de estruturas de fundações do tipo estacas para casas térreas de até 60m², analisando o rompimento dos corpos de prova com 7, 14 e 28 dias de cura. Os dados de tensão dos corpos de prova foram obtidos através do rompimento. No final, foi calculada a tensão superficial das estacas para os diâmetros de 25 e 30 cm.

PALAVRAS-CHAVE: Solo-cimento. Resistência. Tensão. Estacas. Classificação dos solos.

ABSTRACT: The soil is a composition of soil, cement and water homogenized, reappearing the soil excavated from the cuttings, taking advantage of the use of cement, which is added to the soil of its resistance. This set has support for samples of structures of samples of thermal areas of up to 60m², analyzing the impact of the specimens with 7, 14 and 28 days of cure. The stress data of the specimens were obtained by breaking. At the end, a surface tension of the cuttings was calculated for the diameters of 25 and 30 cm.

KEYWORDS: Soil-cement. Resistance. Tension. Cuttings. Classification of soils.

INTRODUÇÃO

O recalque é um fenômeno que ocorre devido à diminuição de volume do solo, quando submetido a uma sobrecarga. O recalque pode ser uniforme, ocorrendo em todo o perímetro da edificação, ou diferencial, em que parte da construção sofre

¹ Trabalho apresentado na área temática 1 - Novas tecnologias e ferramentas para gestão empreendedora, do XIV Congresso Mineiro de Empreendedorismo, realizado de 5 a 7 de novembro de 2018.

rebaixamento, causando diferença de nível. Esse tipo de recalque faz com que surjam patologias na edificação, como trincas e fissuras, muitas vezes prejudiciais à estrutura.

Os solos colapsíveis estão mais sujeitos ao recalque pelo fato de possuírem alto índice de vazios. Esse tipo de solo possui baixo grau de saturação e tem, em sua composição, grãos de areia e silte; quando submetido a um acréscimo de umidade, sofre um rearranjo brusco em sua estrutura, causando redução de volume.

O tipo de fundação a ser escolhida para determinada construção leva em consideração o N_{SPT} obtido no laudo de SPT (*Standard Penetration Test*), juntamente com o tipo de solo e o custo/benefício oferecido por cada tipo de fundação.

Em alguns casos, a escolha da fundação nem sempre é aquela que possui o menor custo/benefício. Casas de pequeno porte, quando apoiadas em solos moles sem resistência mecânica adequada, levam a opções de custo maior. Quando se utiliza de fundações profundas em pequenas construções, onde os carregamentos são pequenos, não se utiliza de toda capacidade nominal oferecida pela estaca. Nesse caso, a estaca tem a função de transferir os carregamentos provenientes da edificação a solos mais profundos com maior resistência mecânica, já que o solo superficial não possui características necessárias para receber os carregamentos da edificação.

Os materiais empregados atualmente em estacas são o concreto, o aço e a madeira. As estacas de concreto são de longe as mais utilizadas, pela sua gama de tipologias e por ser a mais tradicional. As estacas de aço e de madeira são menos utilizadas. A madeira, por ser um material natural extraído da natureza, possui procedimentos que são burocráticos para obtenção de licença de extração, além de ter restrição quanto à sua utilização. As estacas de aço possuem valor elevado e, por esse motivo, não são comumente utilizadas.

Nem sempre a escolha das fundações leva a uma alternativa com menor custo, principalmente em casas com até 60 m² de edificação; sempre tem um peso relativamente maior em consequência se as fundações necessitarem atingir grandes profundidades.

Segundo Silva (1994, p.18), “Como para os carregamentos típicos dessas obras, não se necessita de toda a capacidade estrutural de uma estaca de concreto; novos materiais estão sendo pesquisados para que as fundações de pequeno porte sejam integralmente aproveitadas, diminuindo o custo da construção”.

O intuito não é somente econômico; a pesquisa também está visando a impactos ambientais de forma que consiga amenizá-los. A engenharia precisa e necessita de cuidados especiais com o meio ambiente de tal maneira que possa cooperar com as futuras gerações.

Uma alternativa para esses tipos de materiais utilizados é a estaca de solo-cimento. A estaca de solo-cimento é composta por solo, cimento e água. De acordo com Silva (1994), o solo-cimento apresenta módulo de deformação menor que o do concreto, contribuindo com maior atrito lateral da estaca em relação ao solo.

Visando à substituição dos materiais convencionais utilizados atualmente em estacas, viu-se relevância em desenvolver um estudo em que se possa analisar o benefício econômico e técnico das estacas de solo-cimento.

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar a utilização de fundações com solo-cimento para construções de pequeno porte.

Os objetivos específicos do trabalho são os seguintes: analisar os traços de proporções de solo e cimento; classificar o solo de acordo com a sua granulometria; verificar a resistência à compressão da mistura solo-cimento e comparar os dados encontrados nos ensaios como proposto nas bibliografias pesquisadas.

DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

O experimento realizado foram ensaios de compressão das amostras moldadas em laboratório. Foi preciso coletar 150 kg de solo, a uma profundidade de 1,5m. A amostra foi colocada em bandejas e levada para o laboratório de Mecânica dos Solos do Centro Universitário Patos de Minas, na Rua Major Gote.

No laboratório, foram feitas diversas análises como granulometria do solo, plasticidade, liquidez, massa específica e moldagem dos corpos de prova. Primeiramente, foi feita a granulometria; a amostra foi caracterizada de acordo com a predominância de partículas encontradas no peneiramento, em conformidade com a ABNT NBR 7181 (2016). Observou-se que a maioria das partículas variava de 0,07 a 1,3 mm de diâmetro, sendo classificada como areia fina.

Neves (2003, p. 275) afirma que “normalmente, os solos mais arenosos estabilizam-se com menores quantidades de cimento. Todavia, a presença da argila na composição do solo é necessária para dar à mistura de solo-cimento, quando umedecida e compactada, coesão suficiente para a imediata retirada do molde, além da resistência inicial”.

Nos ensaios de limite de liquidez ABNT NBR 6459 (2016) e plasticidade ABNT NBR 7180 (2016), verifica-se se a amostra tende a ser saturada ou plástica. Para a amostra em estudo, foi encontrado um limite de liquidez de 42% e índice de plasticidade de 2,03, sendo classificado como um solo ligeiramente plástico. A massa específica do solo encontrada foi de 1,41g/cm³. Com esses ensaios acima citados, foram obtidos índices para classificação na AASHTO, tabela de classificação rodoviária. Nessa classificação do solo, remeteu-se a um solo A-1b, areia.

Depois de encontrada a classificação do solo, foram moldados os corpos de prova, com acréscimo de cimento de 6%, 9% e 12%. Foi seguido o procedimento de moldagem de acordo com ABNT NBR 12024 (2012), utilizando 2,5 kg de solo para cada corpo de prova. Para compactação do solo, foram realizadas três camadas, compactando-as com 26 golpes cada, utilizando o soquete de 2,5 kg. Os corpos de prova foram deixados em câmara úmida, sendo imerso em água 4 horas antes do rompimento. Eram rompidos três corpos de prova para cada teor de cimento, obedecendo-se a seu tempo de cura, que foi de 7,14 e 28 dias.

Foram demonstrados em tabelas e gráficos a resistência à compressão dos teores moldados, análises em função do tempo, percentual de ganho de resistência em função do solo puro e comparativo de qual melhor diâmetro de estacas a ser adotado para casas térreas com até 60m².

A primeira análise a ser feita foi em relação à resistência que os corpos de prova suportavam. Ocorreram oscilações em relação às resistências em todos os teores de dosagem, mas pode-se observar que, em todos os gráficos, não se tem tendência de evolução linear, mas varia próximo de um determinado valor de pico

máximo e médio.

O solo puro ensaiado obteve uma tensão média de 0,026 kN/cm² aos 7 dias de cura. O Quadro 1 mostra os valores de tensão suportado para cada corpo de prova com teor de 6% de adição de cimento.

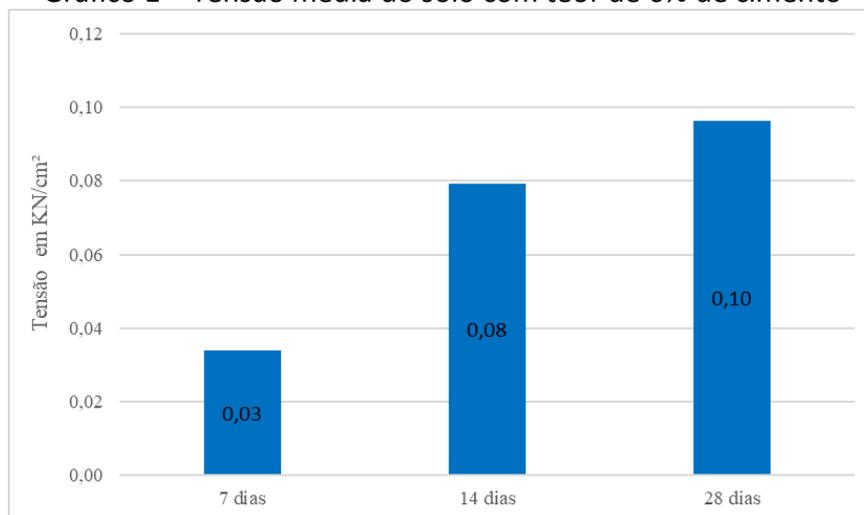
Quadro 1 – Tensão de todos os corpos de prova com 6% de cimento

Teor de cimento	Idade (dias)	Tensão (KN/cm ²)
6%	7	0,054
6%	7	0,027
6%	7	0,021
6%	14	0,067
6%	14	0,066
6%	14	0,105
6%	28	0,102
6%	28	0,083
6%	28	0,104

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Os valores para cada idade mostram uma tendência linear de aumento das tensões, à medida que vão aumentando os dias de rompimento da amostra, as relações de similaridade com valores obtidos que não apresentam picos de tensão mantendo uniformidade nos valores de tensão. O Gráfico 1 mostra a tensão do solo-cimento com 6% de teor de cimento aos 7, 14 e 28 dias.

Gráfico 1 – Tensão média do solo com teor de 6% de cimento



Fonte: dados da pesquisa, 2018.

De acordo com o Gráfico 1, houve um ganho de tensão média dos corpos de prova ao longo dos dias de cura. Esse aumento de tensão mostra a efetividade do teor mínimo indicado pela ABNT NBR 12024 (2012), chegando aos 28 dias com tensão maior que aos 7 dias.

O Quadro 2 mostra os valores de tensão suportados para cada corpo de prova

com teor de 9% de adição de cimento.

Quadro 2 – Tensão de todos os corpos de prova com 9% de cimento

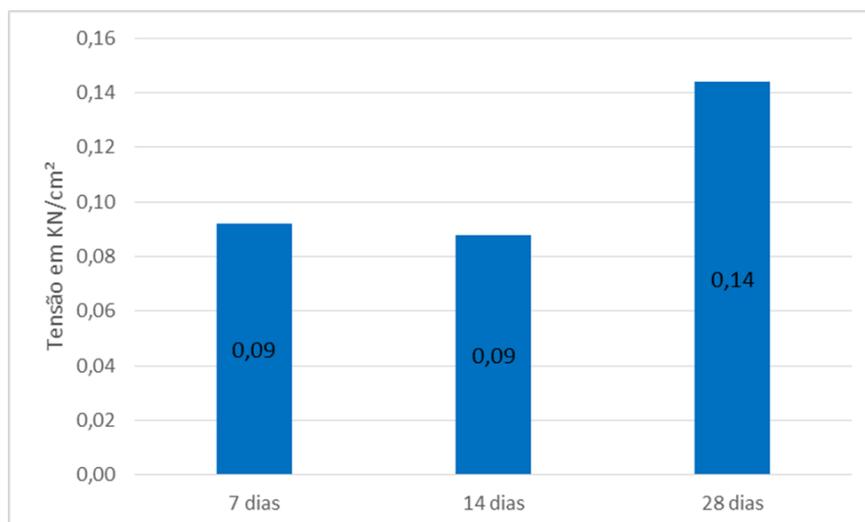
Teor de Cimento	Idade (dias)	Tensão (KN/cm ²)
9%	7	0,148
9%	7	0,052
9%	7	0,076
9%	14	0,06
9%	14	0,133
9%	14	0,07
9%	28	0,204
9%	28	0,156
9%	28	0,072

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Para o teor de 9% de adição de cimento, o rompimento de todos os corpos de prova é demonstrado no Quadro 2. Pode-se analisar que, a cada idade, têm-se dois corpos de prova com valores de tensão muito próximos e um diferente; aos 7 dias apresentou-se um primeiro corpo de prova com 0,052 e um segundo com 0,076KN/cm² e apenas um em discrepância, que foi o de 0,148 KN/cm², que é o dobro dos dois resultados obtidos; já para a idade de 14 dias, também pode-se observar o mesmo comportamento de dois corpos de prova com tensões muito próxima, que foi de 0,06 e 0,07KN/cm² e a terceira amostra com 0,133KN/cm².

Para os 28 dias, ocorreu a mesma incidência; dessa vez o pico de tensão minorou, pois obteve-se um corpo de prova com 0,072KN/cm², e os dois outros com valores bem maiores de 0,204 e 0,156KN/cm². O Gráfico 2 demonstra a tensão dos corpos de prova com um teor de cimento de 9%.

Gráfico 2 – Tensão Média do solo com teor de 9% de cimento

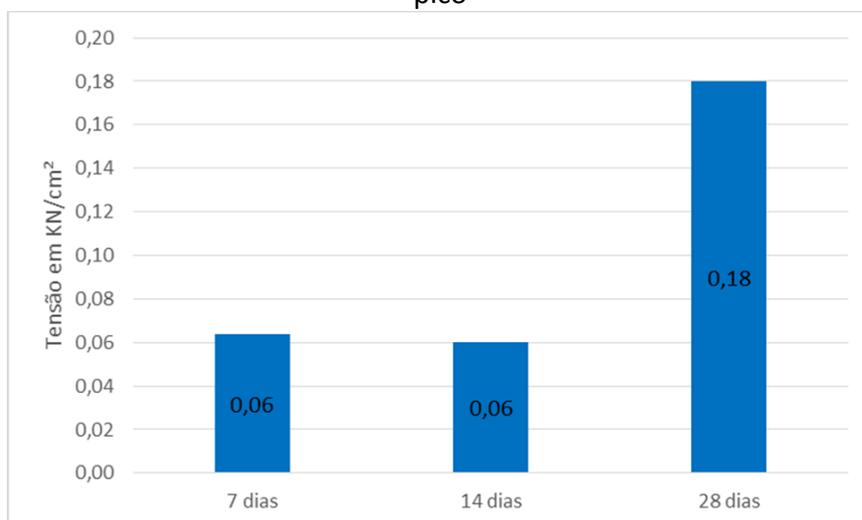


Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Para os corpos de prova com teor de cimento de 9%, houve um aumento insignificante de tensão média de rompimento com 7 e 14 dias; já para a idade de 28 dias, aumentou a tensão de suporte.

No Gráfico 3, na média de tensões, desprezando os valores discrepantes para o rompimento de 7 dias, foi retirado o valor de tensão de 0,148 KN/cm² e feita a média dos dois outros valores, que foram muito próximos. Aos 14 dias, foi desprezado o valor de 0,133 KN/cm² e realizou-se a média com os dois outros valores restantes, aos 28 dias realizou-se a média dos dois corpos de prova próximos e retirou-se o valor de 0,072 KN/cm². Assim, o Gráfico 3 mostra os valores de tensão média de duas amostra para cada idade.

Gráfico 3 – Tensão Média do solo com teor de 9% de cimento desprezando valores de pico



Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Percebe-se que, para as idades de 7 e 14 dias, continuam obtendo valores de tensão com uma similaridade muito próxima e, aos 28 dias de cura, apresenta um aumento na tensão média suportada. Os valores apresentados no Gráfico 2 e no Gráfico 3 indicam que a tensão média final aos 28 dias não sofre alteração que altere o comportamento do solo. O Quadro 3 indica as tensões de todos os corpos de prova com 12% de cimento.

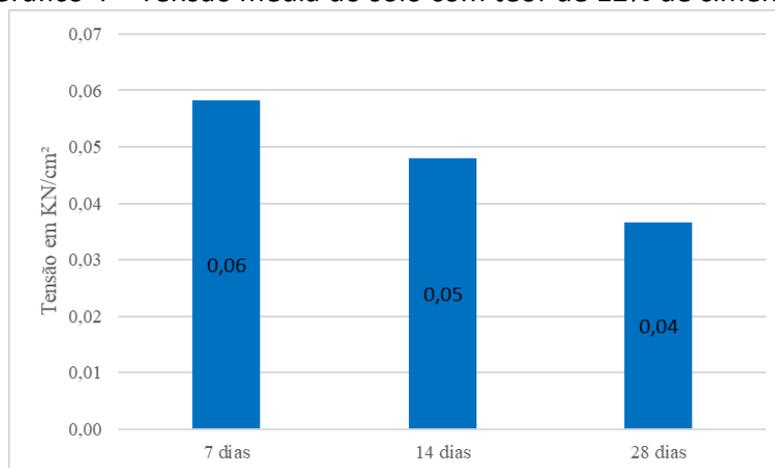
Quadro 3 – Tensão de todos os corpos de prova com 12% de cimento

Teor de Cimento	Idade (dias)	Tensão (KN/cm ²)
12%	7	0,098
12%	7	0,046
12%	7	0,031
12%	14	0,078
12%	14	0,033
12%	14	0,033
12%	28	0,065
12%	28	0,015
12%	28	0,03

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Conforme mostrado no Quadro 3, os corpos de prova com as mesmas idades de cura não apresentam valores parecidos de tensão, oscilando em todos os corpos de prova, assim dificultando a análise média das tensões.

O Gráfico 4 exibe os resultados da média de tensões encontrados no ensaio de compressão com 12% de adição de cimento.

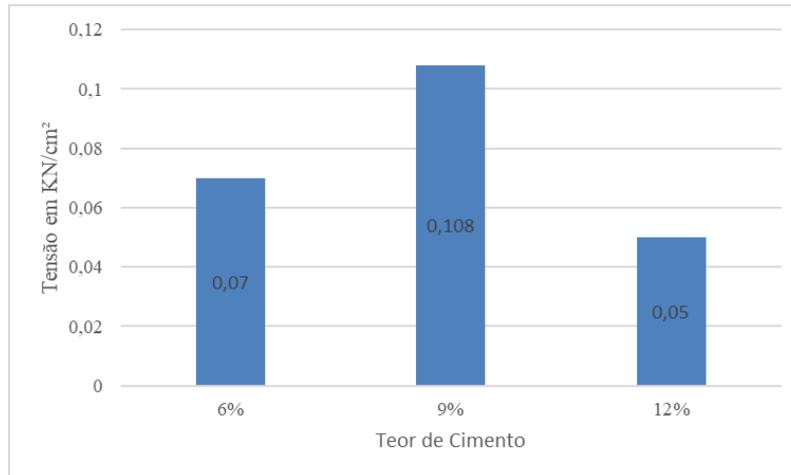
Gráfico 4 – Tensão média do solo com teor de 12% de cimento

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Os corpos de prova com adição de 12% de teor de cimento obtiveram maiores valores de tensão aos 7 dias de cura e houve um decréscimo de tensão até aos 28 dias de cura. Um fator relevante que prejudicou foi a oscilação dos resultados; como todo o processo de moldagem e cura foram os mesmos feitos para o teor de 6% e 9%, reforça-se a afirmação feita por Neves (2003, p.275): “os solos arenosos estabilizam que menor teor de cimento adicionado a mistura”.

O Gráfico 5 demonstra uma relação de tensão entre todos os corpos de prova 6, 9 e 12% de teor de cimento.

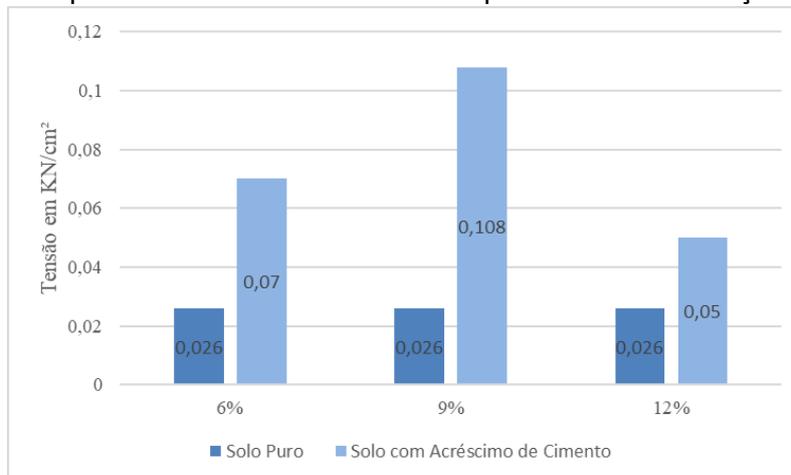
Gráfico 5 – Comparativo entre as tensões médias de todos os corpos de prova com os três teores de cimento



Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Fazendo uma comparação entre os três teores, pode-se concluir que o solo, quando adicionado 9% de cimento, obteve maior tensão média, proporcionando melhores resultados comparados com os outros teores pesquisados. O Gráfico 6 ilustra os valores de tensão com o solo puro e com adição de cimento quando comparados.

Gráfico 6 – Comparativo entre a tensão do solo puro e solo com adições de cimento



Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Conforme o Gráfico 6, percebe-se que adição de cimento no solo coopera para o aumento de tensão do material. Com isso, essa mistura entre solo e cimento se torna benéfica para sustentação de várias obras da construção civil.

Houve um ganho efetivo de 62,85% para o teor de 6%, 75,92% para 9% e 48% para 12% de adição de cimento Portland em relação ao solo puro. Por fim, foram analisadas a carga superficial das estacas de 25 e 30 cm de diâmetro e a carga com aplicação de fator de segurança 2. O Quadro 4 demonstra valores de força máxima para estacas de 25 cm com 28 dias de cura.

Quadro 4 – Resistência de estaca de 25 cm com 28 dias de cura

Teor de Cimento	Tensão Média (KN/cm ²)	Força Max p/ estaca de 25 cm (Tf)	Força Max p/ estaca de 25 cm com fator de segurança (Tf)
6%	0,1	4,91	2,45
9%	0,14	6,87	3,43
12%	0,04	1,96	0,98

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

O Quadro 5 mostra os valores de força suportados pela estaca com diâmetro de 30 cm com 28 dias de cura.

Quadro 5 – Resistência de estaca de 30 cm com 28 dias de cura

Teor de Cimento	Tensão Média (KN/cm ²)	Força Max p/ estaca de 30 cm (Tf)	Força Max p/ estaca de 30 cm com fator de segurança (Tf)
6%	0,1	7,07	3,53
9%	0,14	9,89	4,95
12%	0,04	2,83	1,41

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Uma edificação térrea com até 60m² e vão de até 4m possui carga em pilares com cerca de 2 toneladas; assim as estacas calculadas com um teor de 9% de cimento se mostraram satisfatórias, tanto com 25 ou 30 cm de diâmetro. Para uma melhor efetividade, foram demonstradas as cargas suportadas utilizando o fator de segurança de 2, para verificar se ainda assim os diâmetros adotados suportariam as cargas.

Dessa forma, pode-se concluir que, atribuindo o fator de segurança para as estacas com diâmetro de 30 cm, apenas o teor de 12% deixa um pouco a desejar não atingindo a carga mínima, e para as estacas de 25 cm somente o teor de 9% se mostrou satisfatório, assim como para as estacas de diâmetro de 30 cm.

A profundidade deve ser analisada em função do SPT. O estudo deve ser feito de modo a determinar o teor ótimo de solo-cimento e a carga de compressão máxima suportada.

CONCLUSÃO

Constatou-se que a utilização da mistura solo-cimento se mostrou satisfatória para o teor de cimento de 9% para construções de casas de pequeno porte. É um processo alternativo aos métodos convencionais de construção, além de ser sustentável.

Quando se trata de materiais a serem empregados nesse sistema de fundação, há uma economia de matérias-primas convencionais, como brita e areia. Com isso se

torna um sistema mais viável financeiramente. Em construções de casas populares, como as casas do Projeto Minha Casa Minha Vida, há uma restrição orçamentária; dependendo do tipo de terreno, a fundação se torna parte considerável do orçamento. Essa solução traz relevante economia da execução das estruturas de apoio.

Outra questão relevante quanto à confecção das estacas de solo-cimento, é que o solo retirado durante a escavação pode ser utilizado para própria estaca com o percentual de cimento. Quanto às porcentagens do teor de cimento em relação ao solo puro, houve um ganho efetivo de 62,85% para o teor de 6%, 75,92% para 9% e 48% para 12% de adição de cimento Portland.

A granulometria se mostrou algo de grande influência nos resultados de tensões dos corpos de prova. Apesar de ser classificado como um solo de areia, o solo continha partículas muito finas, o que faz com que a mistura do solo, cimento e água forme um tipo de argamassa, porém sem a mesma trabalhabilidade do concreto convencional. Um solo com partículas maiores faria com que essa argamassa fosse menos coesa e mais difícil de trabalhá-la.

Mesmo com essas duas variáveis, água e solo, influenciando a mistura, o fator mais importante que foi mostrado nas tabelas foi o ambiente onde a cura dos corpos de prova foi realizada. Os resultados, após os 28 dias, evidenciam essa influência, resultando em uma diferença significativa na resistência final.

Esse estudo evidencia uma tendência na engenharia, que é a busca por soluções sustentáveis, que agridam menos o meio ambiente, nesse caso utilizando material que seria descartado (solo) e poupando os que seriam utilizados (brita e areia). Novos métodos como esse mostram que construção sustentável é também viável.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 6457**: Preparação do Solo. Rio de Janeiro, ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 6459**: Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 7180**: Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 7181**: Ensaio de Granulometria. Rio de Janeiro, ABNT, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 12023**: Compactação do Solo Cimento. Rio de Janeiro, ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 12024**: Moldagem e Cura dos Corpos de Prova. Rio de Janeiro, ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 12025**: Compressão Simples. Rio de Janeiro, ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 12253**: Dosagem da Mistura. Rio de Janeiro, ABNT, 1992.

NEVES, C. **O uso do solo-cimento em edificações**. A experiência do CEPED. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 13 p.

PINTO, Carlos de Souza. **Curso básico de mecânica dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SILVA, M. T. **Interação solo-estrutura de fundação em estacas de solo-cimento e concreto**. GDM/94. Brasília, DF, Brasil: Universidade de Brasília, 1994.