



## Influência da Resistência da Argamassa para a Capacidade de Carga de Estacas Raiz Embutidas em Rocha

Thays Car Feliciano de Oliveira

Eng.<sup>a</sup> civil, Sollium Consultoria em Geotecnia, Cascavel-PR, Brasil, [engenharia@solliumgeotecnia.com.br](mailto:engenharia@solliumgeotecnia.com.br)

Alex Sandro da Silva Cordeiro

Eng. civil, Fungeo Fundações e Geologia, Cascavel-PR, Brasil, [engenhariafungeo@fungeo.com.br](mailto:engenhariafungeo@fungeo.com.br)

Leandro Reginato

Engenheiro civil, Fungeo Fundações e Geologia, Cascavel-PR, Brasil, [engenharia@fungeo.com.br](mailto:engenharia@fungeo.com.br)

Vinicius Lorenzi

Diretor de engenharia, Sollium Consultoria em Geotecnia, Cascavel-PR, Brasil, [vinicius@fungeo.com.br](mailto:vinicius@fungeo.com.br)

Gerson Angelo Lorenzi

Geólogo, Sollium Consultoria em Geotecnia, Cascavel-PR, Brasil, [gerson@fungeo.com.br](mailto:gerson@fungeo.com.br)

**RESUMO:** O desempenho da argamassa das estacas raiz vem apresentando inconformidades técnicas, conforme levantamento realizado para casos de obras na região oeste do Paraná. Tais ocorrências estão associadas ao método de preparo da argamassa, *in loco*, e à adoção da resistência mínima normativa (20MPa), comprometendo a performance final das estacas. Portanto, o objetivo deste trabalho foi analisar o comportamento de estacas raiz executadas com argamassa usinada fck 30MPa. Para tanto, utilizou-se um estudo de caso de obra de duas torres residenciais em Cascavel-PR, cuja fundação foi projetada em estacas raiz diâmetro 45cm, embutimento em rocha basáltica sã de 5,0m e carga de trabalho de 2500kN. Para validação da carga de projeto foram executados dois ensaios de prova de carga estática (PCE) lenta até a ruptura. Os resultados das PCE comprovam a carga de trabalho idealizada em projeto. Ademais, as estacas foram testadas com diferentes idades de cura da argamassa, 13 e 26 dias, respectivamente e, observou-se uma relação direta da carga máxima suportada pela estaca com a resistência da argamassa. Os resultados obtidos apontam para um bom desempenho das estacas raiz diante do uso de argamassa usinada, bem como possibilidade de maiores capacidades de carga conforme aumento da resistência da argamassa.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fundações, prova de carga estática, ruptura, estaca raiz, capacidade de carga, argamassa.

**ABSTRACT:** Mortar performance of root pile has been presenting technical nonconformities, according to a survey carried out in constructions in the western region of Paraná. Such occurrences are associated with the mortar preparation method, *in loco*, and with use of normative minimum compressive strength (20MPa), which compromises the final performance of the piles. Therefore, this work aims to analyze the behavior of root piles made with machined mortar fck 30 MPa. For that, a case study of two residential towers in Cascavel-PR was used, whose foundations were designed in root piles diameter 45cm, embedded in sound basaltic rock in 5,0m and with design loads of 2500kN. In order to validate the design load, two slow static load test tests (PCE) were carried out until failure. PCE results indeed confirmed the design load adopted

Aponte a câmera do seu  
smartphone para o  
QR Code ao lado e salve o  
evento na sua agenda.



in the project. Furthermore, the piles were tested with different mortar curing ages, 13 and 26 days, respectively, and a direct relation was observed between the maximum load supported by the pile and the mortar resistance. Results indicated good performance of root piles when machined mortar is used, as well as the possibility of greater bearing capacity as the mortar resistance increases.

**KEYWORDS:** Foundations, static load test, rupture, root pile, bearing capacity, mortar.

## 1 Introdução

A solução técnica em estacas raiz para fundações vem se difundindo, dada a versatilidade deste tipo de fundação em ultrapassar camadas do substrato de elevada resistência, incluindo alteração de rocha, matacões e rochas sãs. Este tipo de estaca é amplamente aplicado em diversos tipos de obras, sendo alguns exemplos os de reforço de fundações (FISCINA; ALBUQUERQUE, 2019), túneis (DING *et al.*, 2017), obras com carregamentos elevados (SCHPUN; QUERELLI, 2019) e casos convencionais de obras cujo topo rochoso encontra-se em pequenas profundidades (GARCIA; ALBUQUERQUE; MELO, 2013).

Inicialmente a técnica contava com pequenos diâmetros e execução em solo, porém com os avanços das tecnologias, maiores diâmetros passaram a ser introduzidos, bem como maquinário e ferramental para perfuração deste tipo de estacas em rochas. Atualmente encontram-se recomendações técnicas de cargas máximas para as estacas raiz entre 1800 a 2000 kN para o Ø45cm (FALCONI; NIYAMA; ORLANDO, 2016), o máximo diâmetro previsto na NBR 6122 (ABNT, 2022): Projeto e execução de fundações.

O uso de elevadas capacidades de carga para as estacas raiz está relacionado com o desempenho estrutural do elemento, portanto as propriedades da argamassa, principalmente a resistência à compressão e o dimensionamento adequado da armadura, são determinantes para o desempenho satisfatório das estacas, como evidenciado na equação (1)<sup>1</sup> pelas variáveis  $f_{cd}$  e  $A_s$ .

$$N_{m\acute{a}x} = 0,85 \cdot A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{yd} \quad (1)$$

Em que:  $N_{m\acute{a}x}$  resistência máxima do elemento de concreto armado (a este valor ainda aplica-se um fator de segurança, para projetos),  $A_c$  área da seção de concreto,  $f_{cd}$  resistência de cálculo do concreto à compressão,  $A_s$  área de aço,  $f_{yd}$  resistência de cálculo do aço.

No entanto, tem-se verificado em diversos casos de obras no oeste do Paraná, onde o uso de argamassa confeccionada em obra é predominante, resultados de resistência característica aos 28 dias para este material abaixo de 20 MPa, fck mínimo normativo, o que compromete o desempenho das estacas. Portanto, de forma a aprimorar o controle de qualidade das obras em estacas raiz, passou-se a recomendar o uso de argamassa usinada, tal como relatado por Schpun e Querelli (2019), visando assegurar uma melhor qualidade da mistura e, conseqüentemente, a resistência estrutural das estacas.

Além disso, outra recomendação que passou-se a adotar em projetos mais recentes, foi o uso de fck 30 MPa para a argamassa das estacas, visto que a processo usinado possibilita atingir tal resistência ou, inclusive, resistências superiores. Desta forma, há uma possibilidade de uso de

<sup>1</sup> Dimensionamento preliminar levando em conta somente o efeito de cargas de compressão. Equação extraída de Alonso (2010).



cargas de trabalho para as estacas superiores às recomendações técnicas da literatura. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi a análise do desempenho de estacas raiz Ø45cm executadas com argamassa 30 MPa usinada, a partir da realização de ensaios de prova de carga estática (PCE) lenta nas estacas, até sua ruptura. Foram realizados dois ensaios de PCE, uma das estacas com cura da argamassa de 13 dias, e outra com 26 dias. Tais estacas compõem o estudo para projeto de duas torres residenciais de grande porte, a serem construídas em Cascavel-PR, e a carga de trabalho idealizada foi de 2500 kN/ estaca.

Este trabalho será dividido em duas seções principais: (i) inicialmente serão relatados dois casos de obras considerando o uso de argamassa das estacas raiz confeccionada em obra (*in loco*), para contextualizar a proposta do trabalho; (ii) na sequência, serão apresentados os resultados detalhados de um estudo de caso com uso de argamassa usinada para as estacas raiz, conforme especificações do parágrafo anterior (estacas raiz Ø45cm submetidas a testes de PCE).

## 2 Desempenho da argamassa de estacas raiz confeccionadas *in loco*

Visando contextualizar a proposta deste trabalho, apresentam-se alguns dados de obra quanto ao desempenho da argamassa das estacas raiz diante do uso de dosagens confeccionadas *in loco*. Os dados foram fornecidos pela empresa Fungeo Fundações e Geologia, executora de fundações no oeste do Paraná. Detalhes das obras não serão apresentados devido à questões de sigilo de dados.

### 2.1 Estudo de caso 1

O primeiro estudo de caso (EC) apresentado trata-se de uma obra na qual foram executadas estacas raiz Ø45cm com confecção de argamassa *in loco*, por betoneira/ misturador. No procedimento também foram utilizadas peneira e bandeja para homogeneização da mistura, antes do bombeamento.

O traço utilizado para a argamassa foi de 600kg/m<sup>3</sup> de Cimento CP II 32, 1499,4 kg/m<sup>3</sup> de areia média e 330 litros/m<sup>3</sup> de água (fator a/c = 0,55), ou seja, dentro das especificações normativas.

Para esta obra tomou-se como referência uma amostragem de 32 estacas (representativas), nas quais observou-se que em 50% das estacas não foi atingido o fck mínimo de projeto e normativo, de 20 MPa. Ou seja, 16 das 32 estacas apresentaram resistências inferiores, conforme resumido na Tabela 1.

Tabela 1. Resumo de estacas com inconformidades no fck da argamassa – EC1.

| Descrição das estacas                    | Quantidade (unid) | Porcentagem |
|--|-------------------|-------------|
| Amostragem total                         | 32,0              | 100,0%      |
| Atingem 90% do fck (18 a 20 MPa)         | 5,0               | 15,6%       |
| Atingem de 80 a 90% do fck (16 a 18 MPa) | 7,0               | 21,9%       |
| Atingem de 70 a 80% do fck (14 a 16 MPa) | 1,0               | 3,1%        |
| Atingem de 60 a 70% do fck (12 a 14 MPa) | 3,0               | 9,4%        |

Observa-se que uma quantidade expressiva de estacas (com relação à amostragem) apresentam resistências baixas, o que de fato compromete o desempenho das estacas e, em alguns casos, pode ocasionar a necessidade de reforços.

Aponte a câmera do seu  
smartphone para o  
QR Code ao lado e salve o  
evento na sua agenda.





## 2.1 Estudo de caso 2

Na segunda obra apresentada foram executados os diâmetros Ø25cm, Ø31cm e Ø41cm, também com confecção da argamassa *in loco*, procedimento análogo ao primeiro estudo de caso apresentado, com o mesmo traço da argamassa. Um resumo dos casos com inconformidades é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Resumo de estacas com inconformidades no fck da argamassa – EC2.

| Descrição das estacas                    | Quantidade (unid) | Porcentagem |
|--|-------------------|-------------|
| Amostragem total                         | 117,0             | 100,0%      |
| Atingem 90% do fck (18 a 20 MPa)         | 9,0               | 7,7%        |
| Atingem de 80 a 90% do fck (16 a 18 MPa) | 16,0              | 13,7%       |
| Atingem de 70 a 80% do fck (14 a 16 MPa) | 13,0              | 11,1%       |
| Atingem de 60 a 70% do fck (12 a 14 MPa) | 3,0               | 2,6%        |

No caso desta obra a amostragem foi de 117 estacas, nas quais 41 apresentaram inconformidades (35,0 %). Notou-se, que alguns dos fatores que contribuíram para estas ocorrências foram a alteração da “área de injeção” no decorrer da obra, de forma que alguns processos deixaram de ser seguidos, tais como: cobertura dos materiais (cimento e areia) para diminuição de umidade; peneiramento do agregado miúdo, ocasionando contaminação; armazenagem adequada do cimento, o que causou o processo de formação de grumos (“empedramento”), associado ao início da pega, em alguns casos.

Devido a estes fatores, durante a confecção da argamassa ocorreu uma dosagem incorreta da relação de água/cimento. Além disso, outras inconformidades que podem ocorrer em obra, as quais devem ser observadas, são o tempo inadequado (menor) para homogeneização da mistura, bem como a moldagem inadequada dos corpos de prova (CPs) para os testes de resistência; este último procedimento deve seguir as recomendações da NBR 6122 (ABNT, 2022).

## 2.3 Comentários Gerais

Os dados apresentados indicam a importância de incorporar procedimentos e boas práticas nos canteiros para possibilitar um controle mais rigoroso das argamassas, quando produzidas em obra. Algumas destas boas práticas são: (i) a utilização de equipamentos que possam atender as pressões de injeção e o tempo de mistura; (ii) acondicionamento dos materiais em locais recomendados, para não haver variações na confecção de argamassa, a exemplo fatores a/c distintos aos normativos; (iii) ao realizar coletas de CPs (para controle tecnológico) seguir os procedimentos orientados pelas normas vigentes; e, por fim, (iv) o responsável técnico deverá realizar orientações periódicas à equipe, a fim de assegurar as padronizações e qualidade na execução.

Ademais, cabe ressaltar a importância do procedimento de moldagem dos CPs, realizado diariamente nas obras para os testes de resistência à compressão, pois este pode ser outro ponto de divergência nos dados. Ou seja, é possível que os resultados entregues nos testes de resistência a partir dos CPs não correspondam com a situação de real desempenho da argamassa nas estacas. Nesse sentido, inclusive, recomenda-se, na NBR 6122/2022, que a argamassa utilizada para a moldagem de corpos de prova deve ser coletada a partir da mangueira de injeção de argamassa, na boca da estaca em execução. Não se recomenda a retirada de argamassa de misturadores, nem argamassas de início de injeção da mangueira de injeção, nem argamassas retiradas do transbordamento de injeção de uma estaca, sob pena de se obter resultados de resistência não representativos da argamassa utilizada.

Aponte a câmera do seu  
smartphone para o  
QR Code ao lado e salve o  
evento na sua agenda.



Tendo em vista a ocorrência de situações nas quais o controle da obra é mais desafiador, ou então para obras mais críticas, tem-se a solução da argamassa usinada, conforme estudo de caso que será relatado na seção subsequente.

### 3 Estudo de caso 3 – obra com argamassa usinada

Diante de ocorrências semelhantes às relatadas na seção 2 de resistência das argamassas abaixo das especificações mínimas normativas (e de projeto), passou-se a difundir o uso de argamassa usinada 30 MPa para as estacas raiz na região, principalmente em obras cuja carga de trabalho das estacas corresponde à estrutural.

#### 3.1 Metodologia

O estudo de caso do uso de argamassa usinada trata-se de uma obra em estacas raiz executada em Cascavel-PR, cujos resultados apresentados tem o objetivo de difundir as experiências para fins técnicos e acadêmicos na área de fundações. Portanto, a obra e construtora não serão identificados, para proteção de dados das partes interessadas.

A metodologia de estudo foi dividida em duas etapas principais, sendo elas: (1) compilação dos dados do estudo de caso quanto à geologia, particularidades do projeto, dados de execução das estacas e da prova de carga; e, (2) interpretação dos resultados.

##### 3.1.1 Geologia local

O município de Cascavel-PR encontra-se sobre a formação Paranapanema, do grupo Serra Geral, supergrupo São Bento, caracterizada por derrames de basalto *pahaehoe* espessos e inflados. Tais unidades litoestratigráficas são do cretáceo inferior (era mesozoica), com cerca de 145 milhões de anos (BESSER; BRUMATTI; SPISILA, 2021). Diante dos processos de intemperismo, os derrames basálticos estão associados à formação de solos argilosos, conforme foi confirmado nas sondagens SPT e rotativas realizadas no terreno. A Figura 1 apresenta um perfil simplificado de duas sondagens, as mais próximas dos locais de realização dos ensaios de PCE.

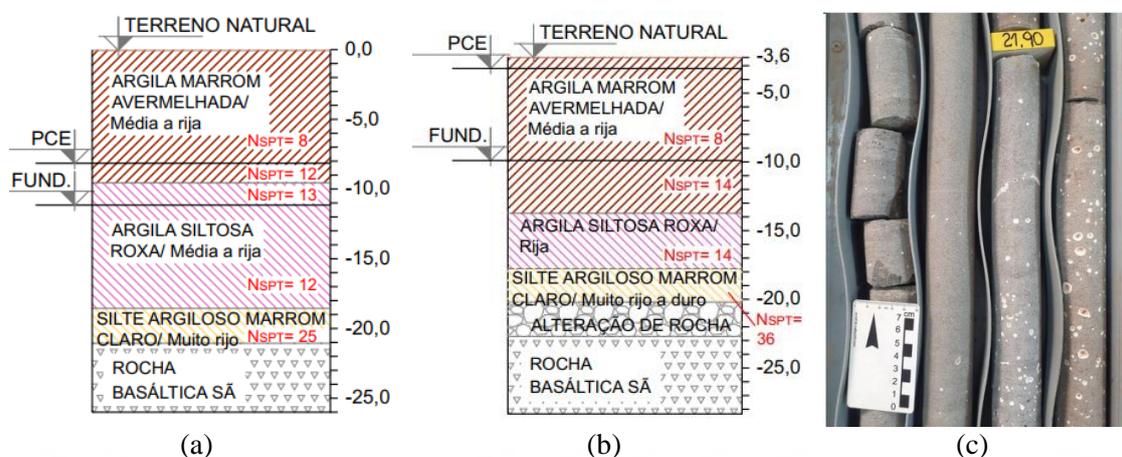


Figura 1. Perfil simplificado das sondagens. (a) PCE-1. (b) PCE-2. (c) Detalhe da rocha.

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



Por meio da sondagem SPT (valores apresentados na Figura 1 em termos de  $N_{SPT}$  médio, por camada) verificou-se a presença de argila marrom avermelhada nos horizontes superficiais (0 a -10m), argila siltosa roxa em um horizonte intermediário (-10 a -18m) e silte argiloso marrom claro sobre a camada rochosa. A descrição da sondagem rotativa indicou a presença de rocha basáltica sã (A0), muito coerente (C1), em geral pouco fraturada (F1) e em algumas regiões com estrutura amigdaloidal.

### 3.1.1 Projeto de fundação

O estudo de caso é constituído por duas torres residenciais com altura de cerca de 119m desde o nível térreo, com estrutura de concreto moldado *in loco*. As cargas dos pilares para as fundações atingem magnitudes de até 72000 kN (7200 tf) de compressão e 163000 kN · m (16300 tf · m) de momento, no caso mais crítico.

Considerando o perfil geológico-geotécnico da área, a geometria dos pilares e o espaço disponível para o projeto das fundações, estudos preliminares indicaram que a solução mais viável técnica e economicamente seria em estacas raiz. O projeto foi realizado em estacas Ø45cm com embutimento mínimo em rocha basáltica sã de 5,0m, mais o comprimento em solo, que foi da ordem de 6,0 a 9,0m no geral, considerando as diferentes cotas de arrasamento das estacas, a partir do último subsolo.

Estipulou-se em projeto a obrigatoriedade de realização de ensaio de prova de carga estática (PCE) previamente à liberação da execução das estacas das torres, para validação do uso de carga de trabalho ( $F_t$ ) de 2500 kN (250 tf), superior aos casos convencionais de obra.

Na Figura 2 é possível observar uma implantação geral da obra, bem como a locação dos ensaios de PCE e dos pontos de sondagem ilustrados na Figura 1.

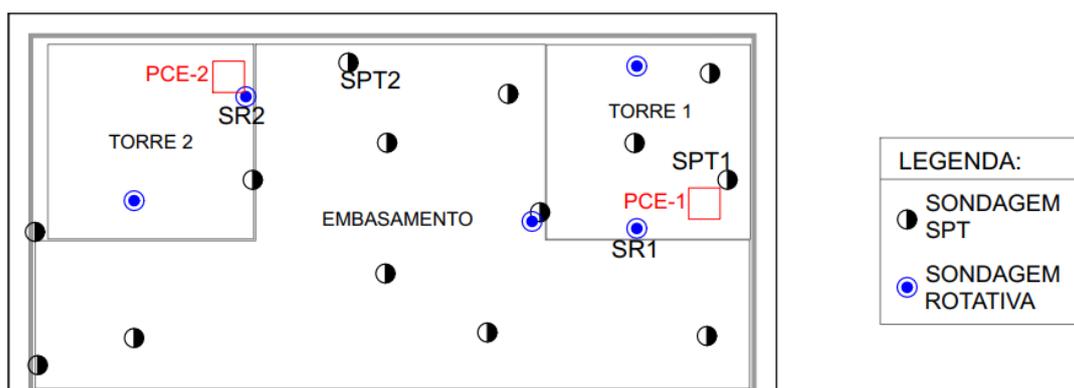


Figura 2. Implantação geral da obra.

As armaduras utilizadas nas estacas teste da PCE foram de 8 Ø25,0 mm, estribos de Ø8,0mm espaçados 15cm (Figura 3).

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



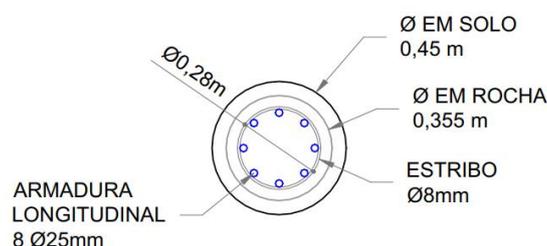


Figura 3. Seção transversal das estacas raiz Ø45.

Ademais, outro requisito de projeto foi a argamassa usinada, de 30 MPa. Para a dosagem dessa argamassa adotou-se consumo de cimento  $650 \text{ kg/m}^3$ , CP II F40,  $1133 \text{ kg/m}^3$  de área média com módulo de finura 1,4 a 1,5,  $312 \text{ kg/m}^3$  de água potável (i.e., fator  $a/c = 0,48$ ).

A resistência à compressão das argamassas foi atestada por meio de ensaios realizados em equipamento universal de ensaios classe 1, fabricante EMIC. Os corpos de prova (CPs) moldados a partir da mesma mistura injetada nas estacas possuíam dimensões  $5 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ , cilíndricos, e foram preparados para ensaio por retificação e cura úmida. O teste foi realizado conforme procedimentos da NBR 7215 (ABNT, 2019).

### 3.1.3 Ensaio de PCE

O ensaio de prova de carga nas estacas foi realizado em nível superior ao final de implantação das estacas, conforme detalhado na Figura 1, devido ao cronograma de obra, no qual os resultados eram demandados para finalização do projeto, sem a necessidade de paralização dos serviços na obra. Na Tabela 3 apresenta-se um resumo do ensaio, com características das estacas, carregamentos e os dados de resistência à compressão da argamassa das estacas na data de ensaio.

Tabela 3. Características das estacas ensaiadas.

|       | Ø<br>(m) | Prof.<br>Solo (m) | Prof.<br>Alt. (m) | Prof.<br>Rocha (m) | $F_t$<br>(kN) | $F_{m\acute{a}x}$<br>(kN) | Tempo<br>cura | $f_{c_j}$ arg.<br>(MPa) |
|-------|----------|-------------------|-------------------|--------------------|---------------|---------------------------|---------------|-------------------------|
| PCE-1 | 0,45     | 12,0              | 0,0               | 5,0                | 2500          | 5000                      | 13 dias       | 24,0                    |
| PCE-2 | 0,45     | 17,0              | 2,5               | 5,0                | 2500          | 5000                      | 26 dias       | 37,0                    |

Alt.: alteração;  $F_t$ : carga de trabalho;  $F_{m\acute{a}x}$ : carga máxima projetada para a PCE;  $f_{c_j}$  arg.: resistência característica da argamassa para o tempo de cura.

O ensaio realizado foi do tipo lento e seguiu as prescrições da NBR 16903 (ABNT, 2020) quanto à montagem do sistema, magnitudes dos estágios de carga e estabilização dos deslocamentos.

Aponte a câmera do seu  
smartphone para o  
QR Code ao lado e salve o  
evento na sua agenda.



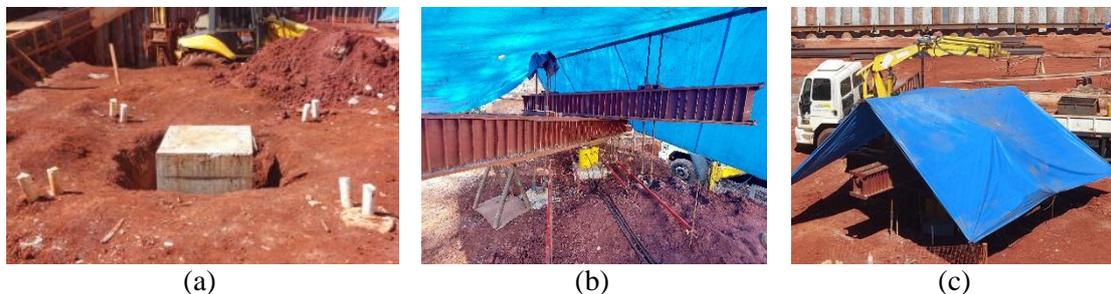


Figura 4. Sistema para ensaio de PCE. (a) Estacas teste e de reação. (b) Sistema de reação. (c) Proteção às intempéries.

Cada estaca de reação, prevista para uma tração máxima de  $5000/4 = -1250$  kN foi armada integralmente com duas (02) monobarras INCO 45D (Ø44mm).

Ressalta-se que todos os instrumentos de medição (manômetro e relógios comparadores) utilizados para o ensaio encontravam-se devidamente calibrados. O ensaio não foi realizado pelos autores deste artigo, foi contratado pela construtora e os dados foram disponibilizados.

### 3.2 Resultados e discussão

Os resultados dos ensaios das PCEs de fato indicaram a possibilidade do uso de carga de trabalho (i.e., carga admissível para projeto) de 2500 kN para as estacas raiz Ø45cm. Um resumo dos resultados pode ser observado na Figura 5 e na Tabela 4.

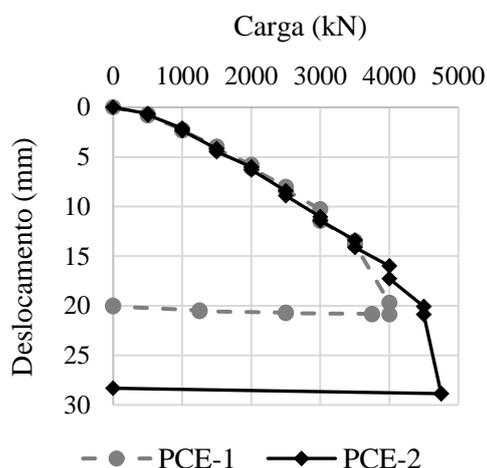


Figura 5. Resultados da PCE.

Tabela 4. Resultados da PCE.

| Estágio             | PCE-1      |               | PCE-2      |               |
|---------------------|------------|---------------|------------|---------------|
|                     | $F_i$ (kN) | $\delta$ (mm) | $F_i$ (kN) | $\delta$ (mm) |
| $F_t$               | 2500,0     | 8,35          | 2500,0     | 8,89          |
| $F_{m\acute{a}x-e}$ | 4000,0     | 20,89         | 4750,0     | 28,86         |
| Descarga            | 0,0        | 19,99         | 0,0        | 28,30         |

$F_t$ : carga de trabalho;  $F_{m\acute{a}x-e}$ : carga máxima atingida no ensaio;  $F_i$ : carga correspondente a cada estágio;  $\delta$ : deslocamento.

No caso do ensaio PCE-1, atingiu-se  $1,6 \cdot F_t$ , ou seja, o valor mínimo necessário para uso de carga de projeto de 2500 kN conforme a norma, que possibilita uso de fator de segurança mínimo de 1,6 diante da realização de ensaios de carga. O ensaio PCE-2, por sua vez, atingiu  $1,9 \cdot F_t$ , resistiu a 750 kN a mais (18%) em comparação ao primeiro ensaio.

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



Diante disto, observou-se uma relação da resistência da argamassa das estacas com a carga máxima atingida em ensaio. Para a estaca da PCE-1, a argamassa havia atingido somente 13 dias de cura, com  $f_{c_j}$  de 24 MPa; no caso da PCE-2,  $f_{c_j}$  era de 37 MPa para 26 dias de cura (Tabela 3).

Ademais, aplicando-se o cálculo de resistência estrutural das estacas, Eq. (1), observa-se que o valor máximo de carga atingido no ensaio era, de fato, esperado, considerando a resistência à compressão efetiva das argamassas (de 24 MPa e 37 MPa). Tais resultados são ilustrados na Figura 6.

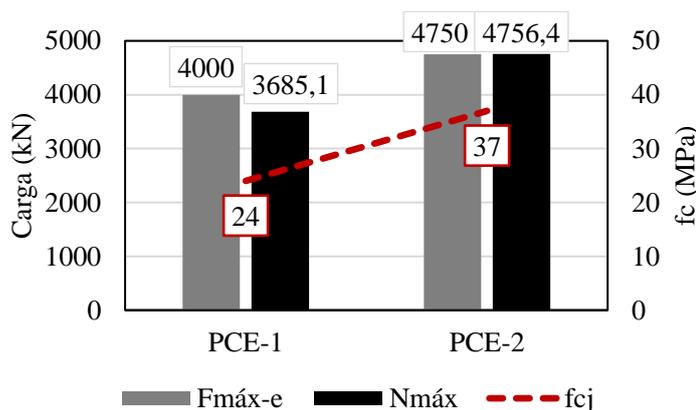


Figura 6. Comparação entre carga máxima dos ensaios e a resistência da argamassa.

Para o cálculo de  $N_{máx}$  adotou-se o valor  $f_{c_j}$  para a resistência da argamassa e aplicou-se o coeficiente de ponderação da resistência de 1,6, conforme previsto em norma. A mesma abordagem foi realizada por Schupun e Querelli (2019).

Cabe ainda ressaltar que ensaios de resistência das argamassas em idades mais avançadas, entre 40 a 65 dias atestam a resistência mínima de 30 MPa, sendo atingidos valores bem superiores, da ordem de até 52 MPa. Ou seja, a resistência mínima de projeto da argamassa das estacas a longo prazo é assegurada.

Ademais, no caso desta obra em específico, tomando-se uma amostragem de 50 estacas, 100% dos resultados de resistência à compressão em CPs cilíndricos 5x10cm resultaram em valores acima do  $f_{ck}$  30MPa de projeto, cumprindo os requisitos de controle tecnológico e aceitação da NBR 12655 (ABNT, 2015), diferente do que ocorreu nos dois casos expostos na seção 2.

#### 4 Considerações finais

Neste trabalho foram apresentados dados de inconformidades no desempenho de argamassas para estacas raiz confeccionadas *in loco*, bem como um estudo de caso de execução de estacas raiz com argamassa usinada. Nesse último caso, da argamassa usinada, foram executadas estacas raiz Ø45cm embutidas em rocha basáltica sã e seu desempenho foi atestado por meio de ensaios de prova de carga estática. Foram executados dois ensaios, sendo a diferença entre eles o período de cura da argamassa das estacas e, conseqüentemente, de sua resistência.

Os resultados indicam que há uma relação direta entre a resistência da argamassa e a carga máxima atingida em ensaio, conforme era esperado considerando-se as relações de resistência dos materiais, sendo que o valor máximo de carga atingido resultou em valor bem próximo ao calculado.

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



Além disso, um aspecto importante apresentado no trabalho é de que os resultados das PCEs possibilitaram a adoção de uma carga admissível de projeto para as estacas raiz Ø45cm de até 2500 kN (250 tf). Cabe ressaltar que tal resultado foi obtido para o contexto geológico estudado, no qual as estacas foram embutidas em rocha basáltica sã de elevada resistência e considerando-se o uso de argamassa usinada fck 30 MPa. Estes dois fatores associados possibilitam o uso de uma carga estrutural para as estacas.

É notório que para a argamassa usinada o processo de execução se dá com maior qualidade devido ao processo de usinagem, que é padronizado, e que para execução de argamassa *in loco* é de suma importância a adoção dos procedimentos padrão preconizados nas normativas vigentes.

## AGRADECIMENTOS

A toda equipe das empresas Fungeo Fundações e Geologia e Sollium Geotecnia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso, U. R. (2010) *Dimensionamento de fundações profundas*. 3. ed. São Paulo: Blucher.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019). NBR 7215. *Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020). NBR 16903. *Solo – Prova de carga estática em fundação profunda*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2022). NBR 6122. *Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2015). NBR 12655. *Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação*. Rio de Janeiro.
- Besser, M. L., Brumatti, M., E Spisila, A. L. (2021) *Mapa geológico e de recursos mineiras do estado do Paraná*. CPRM. Curitiba.
- Ding, H., Su, L., Lai, J., Zhang, Y. (2017) Development and prospect of roots piles in tunnel foundation reinforcement. *The civil Engineering journal*, 26 (3), p. 250-266. DOI: 10.14311/CEJ.2017.03.0022
- Falconi, F. F., Niyama, S., Orlando, C. (2016) *Cap. 6 – Concepção de obras de fundações*. In: *Fundações: Teoria e prática*. 3 ed. São Paulo: PINI. p. 215-224.
- Fiscina, L. F. G., Albuquerque, P. J. R. (2019) Avaliação do risco de fundação de viaduto executado em estaca raiz – Estudo de caso. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA, 9, São Paulo. *Anais... ABEF*.
- Garcia, J. R., Albuquerque, P. J. R., Melo, R. A. A. (2013) Análise experimental e numérica de estacas-raiz parcialmente embutidas em rocha. *REM: R. Esc. Minas*, 66 (4), p. 439-446.
- Schpun, B., Querelli, A. (2019) Estaca raiz  $\phi$ 500 mm: procedimentos executivos, detalhamento e prova de carga estática até 5050 kN. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA, 9, São Paulo. *Anais... ABEF*.

Aponte a câmera do seu  
smartphone para o  
QR Code ao lado e salve o  
evento na sua agenda.

