

## **ESTUDO DO EMPREGO DE ESTACAS METÁLICAS EM TRILHOS FERROVIÁRIOS USADOS, NA CIDADE DE VITÓRIA - ES**

### **STUDY OF THE USE OF METALLIC PILES IN USED RAILWAY TRACKS, IN THE CITY OF VITÓRIA - ES**

Belarmino, José, *INBEC, Espírito Santo, Brasil, josec.eng@gmail.com*

Aguiar, Marcos, *IFCE, Ceará, Brasil, marcosporto@ifce.edu.br*

Monteiro, Fernando, *Unichristus, Ceará, Brasil, fernando.monteiro@unichristus.edu.br*

Barata, Luiz, *IFCE, Ceará, Brasil, luiz.kaua09@aluno.ifce.edu.br*

Prado, Giliane, *IFCE, Ceará, Brasil, giliane.castro@outlook.com*

#### **RESUMO**

O presente trabalho mostra uma análise do desempenho de estacas metálicas fabricadas a partir de trilhos ferroviários, com base em informações e resultados de ensaios em obras executadas na cidade brasileira de Vitória, no estado do Espírito Santo, cidade que apresenta estratigrafia típica de solo representada por aterros diversos sobre argila marinha. O objetivo do estudo é compreender aspectos de viabilidade quanto ao uso desse tipo de solução em solo semelhante ao encontrado na cidade de Vitória e seu comportamento em relação às características estabelecidas em projeto. Para chegar aos resultados do estudo, foram analisadas provas de carga estática (PCE), realizadas em dois grupos de estacas, e provas de carga dinâmica (PDA), para três grupos de estacas. Os dados levantados foram consultados em análise de relatórios de empresas construtoras e executoras de fundações na região, a fim de entender sua eficiência quanto à carga de trabalho, flambagem e percentual da carga mobilizada absorvida pela resistência de ponta e por atrito lateral. Respeitando a NBR 13208 (ABNT, 2007), que cita os procedimentos para PDA, a avaliação ocorreu seguindo o método numérico CAPWAP com análise dos golpes selecionados, tensões máximas e suas respectivas profundidades abaixo dos sensores de deslocamento.

#### **ABSTRACT**

The present paper shows an analysis of the performance of steel piles made from railroad tracks, based on information and test results in works executed in the Brazilian city of Vitória, in the state of Espírito Santo, a city that presents typical soil stratigraphy represented by several embankments over marine clay. The objective of the study is to understand feasibility aspects related to the use of this type of solution in soil similar to that found in the city of Vitória and its behavior in relation to the characteristics established in the project. To arrive at the results of the study, Static Load Tests (SLT) were analyzed for two groups of piles, and Dynamic Load Tests (DLT) for three groups of piles. The data collected was consulted in the analysis of reports from construction companies and foundation builders in the region, in order to understand their efficiency with respect to working load, buckling, and percentage of the mobilized load absorbed by tip resistance and lateral friction. Respecting NBR 13208 (ABNT, 2007), which quotes the procedures for DLT, the evaluation occurred following the CAPWAP numerical method with analysis of selected blows, maximum stresses and their respective depths below the displacement sensors.

## 1. INTRODUÇÃO

Os trilhos metálicos, empregados comumente na composição de malhas ferroviárias atuantes no processo de escoamento em larga escala da produção de diversos materiais no Brasil, conferem também uma alternativa notável como solução de fundação profunda em obras de construção civil. De acordo com a ABNT (2022), que aborda o projeto e a execução de fundações, estacas metálicas fabricadas a partir de trilhos ferroviários representam uma alternativa viável como fundação e são capazes de atender as demandas estabelecidas em projeto.

A presente pesquisa foi delimitada à cidade brasileira de Vitória-ES que apresenta subsolo heterogêneo com estratigrafia típica representada por aterros diversos, constituídos sem controle ao longo do processo de urbanização, constituição e expansão da cidade, sobre solo composto basicamente por argila marinha. Em áreas costeiras, como a localidade investigada, não é usual a utilização de estacas metálicas, pois há uma certa hesitação por parte da comunidade técnica em relação à sua aplicação e eficácia. Há questionamentos sobre a escolha desse tipo de fundação devido ao seu custo de aquisição, falta de expertise em relação aos materiais utilizados nos trilhos ferroviários, além de um conhecimento limitado sobre aspectos importantes como o comportamento frente à corrosão, flambagem e solda de emenda de talas e chapa de topo.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Capacidade de carga

Para estabelecer a capacidade de carga em projetos de fundação com o emprego de estacas metálicas, deve-se obedecer fatores previstos na ABNT (2022) e o dimensionamento deve ocorrer conforme a ABNT (2008), que aborda o projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. O Quadro 1 mostra, segundo Velloso e Lopes (2010), a carga máxima de acordo com o tipo de perfil metálico empregado.

Quadro 1 - Capacidade de Carga Admissível em Estacas Metálicas		
Perfil	Tipo / Dimensão	Carga Máxima (kN)
Trilhos usados $\sigma \cong 80$ MPa  (verificar grau de desgaste e alinhamento)	TR 25	200
	TR 32	250
	TR 37	300
	TR 45	350
	TR 50	400
	2 TR 32	500
	2 TR 37	600
	3 TR 32	750
Perfis I e H - Aço A36  Descontados 1,5 mm para corrosão e aplicada $\sigma = 120$ MPa	3 TR 37	900
	I 8" (203 mm)	300
	I 10" (254 mm)	400
	I 12" (305 mm)	600
	2 I 10"	800
Perfis H - Aço A572 Descontados 1,5 mm e aplicada $\sigma = 175$ MPa	2 I 12"	1200
	H 6" (152 mm)	400
	H 200 mm	700
	H 200 mm	1000
	H 250 mm	1200
	H 310 mm	1500
	H 310 mm	2000

Para um adequado dimensionamento das estacas, deve-se considerar o desconto para a área de sacrifício de corrosão na superfície que estará em contato com o solo, conforme previsto no Quadro 2, sugerido pelo item 8.6.7 da ABNT (2022).

As estacas de aço que estiverem total e permanentemente enterradas, independentemente da situação do lençol d'água, dispensam tratamento especial desde que seja descontada a espessura indicada no Quadro 2. No entanto, a ABNT (2022) não especifica qualquer recomendação referente à vida útil da fundação em relação aos valores de espessura de sacrifício mencionados no Quadro 2.

Ainda nesse contexto, a ABNT (2013) preconiza diretrizes para a análise do desempenho de sistemas estruturais, recomendando que os sistemas que compõem edificações residenciais necessitam atingir os requisitos mínimos de desempenho. Dentre os sistemas, o estrutural deve atender a uma vida útil de projeto (VUP) mínima de 50 anos.

Quadro 2 - Espessura de Sacrifício devida à Corrosão	
Classe	Espessura mínima de sacrifício (mm)
Solos em estado natural e aterros controlados	1,0
Argila orgânica; solos porosos não saturados	1,5
Turfa	3,0
Aterros não controlados	2,0
Solos contaminados	3,2

Para estacas em que o topo estiver acima do nível do solo, torna-se obrigatória a proteção da parte sobrepujante com camisa de concreto ou outro recurso de proteção, ou ainda aumentar a área de sacrifício.

### 3. DADOS ANALISADOS

#### 3.1. Provas de Carga Estática (PCE)

Com o propósito de aprimorar a caracterização e detalhamento dos resultados encontrados no estudo, serão expostas a seguir análises de duas provas de carga estática (PCE) consultadas em relatórios elaborados por empresas encarregadas de projetos de fundações na cidade de Vitória-ES, realizadas de acordo com a ABNT (2006). Os referidos relatórios foram descritos com maiores detalhes por Belarmino (2017).

##### 3.1.1. Primeiro Grupo de Estacas Analisado

A primeira análise teve como base uma prova de carga estática executada em Novembro de 1997, na obra Capitania dos Portos com localização na Avenida Nossa Senhora dos Navegantes, Praia do Suá.

A estaca submetida a prova de carga é classificada como 1TR37, suporta uma carga de trabalho de 300 kN e foi cravada no solo em uma profundidade de 31,11 m. O solo no local da cravação é composto de argila marinha e argila arenosa com fragmentos de conchas, com consistência muito mole a 20 m de profundidade. Conforme as normas, a base da estaca foi apoiada em um material impenetrável com presença de rocha alterada.

Durante o ensaio, utilizou-se o sistema de cargueira, tendo em vista a falta de outras opções à época como sistema de reação, conforme a Figura 1. A prova de carga em questão foi executada sem ocorrência de ruptura do sistema solo-estaca e obteve-se os dados descritos na Figura 2 que apresenta a curva carga *versus* recalque obtidos na prova de carga estática (PCE) para o grupo de estacas analisado.



Figura 1 – Montagem da Cargueira Utilizada na Prova de Carga Estática

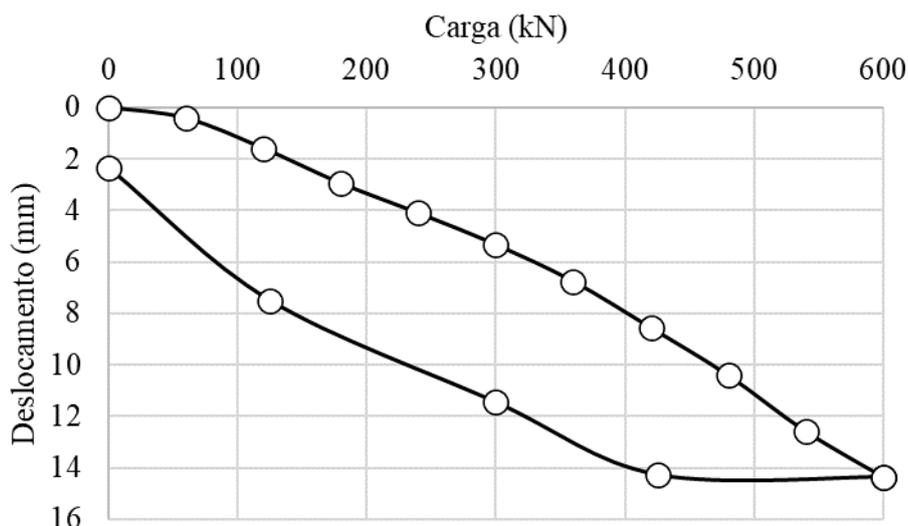


Figura 2 – Curva carga *versus* recalque – PCE

Como resultado da prova de carga para a carga máxima ensaiada de 600 kN, não houve flambagem na estaca, o deslocamento máximo foi de 14,7 mm e o deslocamento residual verificado no trecho de descarregamento foi de 2,3 mm.

### 3.1.2. Segundo Grupo de Estacas Analisado

A segunda análise teve como referência a prova de carga estática executada em setembro de 2012, na obra do Shopping Moxuara, localizada na rodovia BR 262, Km 5, Cariacica, no estado do Espírito Santo. A estaca em trilho ferroviário ensaiada tem classificação 1TR68, carga de trabalho de 700 kN e comprimento cravado com 12 m de profundidade. Observou-se, nos resultados para a prova de carga estática, que a estaca não sofreu flambagem e registrou deslocamento máximo de 0,66 mm, com carga máxima de 1400 kN e deslocamento residual na descarga igual a zero.

### 3.2. Provas de Carga Dinâmica (PDA)

A norma ABNT (2007) que preconiza ensaios de carregamento dinâmico, orienta que os procedimentos de análise a serem utilizados para a interpretação dos dados da prova de carga dinâmica (PDA) devem ser aqueles reconhecidamente consagrados a nível nacional e/ou internacional.

Particularmente, para avaliar a capacidade de carga, têm-se os seguintes métodos: método simplificado, do tipo CASE e método numérico, do tipo CAPWAP. Ainda segundo a ABNT (2007), os resultados obtidos nos ensaios pelo método simplificado, devem ter pelo menos uma análise do tipo CAPWAP.

Os quadros a serem apresentados nesse estudo configuram um resumo de informações geométricas para cada uma das estacas tipo trilho ferroviário, como: comprimentos executados; registro com a sequência de golpes realizados nas estacas durante os ensaios; e nega das estacas.

Os resultados da prova de carga dinâmica (PDA) foram obtidos utilizando a análise CAPWAP dos golpes selecionados, assim como as tensões máximas atuantes nas estacas e suas respectivas profundidades abaixo dos sensores.

Maiores detalhes sobre os resultados apresentados podem ser encontrados em Belarmino (2017). Para a obtenção dos resultados utilizados no estudo, a seguir são apresentados dados de três provas de carga dinâmica em estacas de trilhos do tipo 1TR68 a partir de obras executadas na cidade de Vitória-ES.

#### 3.2.1. Terceiro Grupo de Estacas Analisado

A prova de carga dinâmica para o terceiro grupo de estacas analisado foi executada em 05 de agosto de 2013, na rua João Batista Parra 500, Enseada do Suá, Vitória-ES, para a construção do Hotel Go In.

As estacas trilho do tipo 1TR68 ensaiadas possuem comprimentos cravados entre 4,8 e 21,0 m, sendo a carga de trabalho máxima para as estacas simples de 605 kN e a carga de trabalho máxima para estacas duplas soldadas (2TR68) igual à 895 kN, com características detalhadas no Quadro 3. A prova de carga foi executada sem registro de rupturas do sistema solo-estaca com a utilização de pilão com peso de 20 kN. As cargas mobilizadas nas estacas ensaiadas foram maiores que duas vezes a carga de projeto. Durante o ensaio, para todas as estacas, não foram observadas nenhuma redução de integridade estrutural que fosse capaz de comprometer sua utilização e viabilidade, conforme os valores obtidos a seguir nos Quadros 4, 5 e 6 para cada uma das estacas.

Quadro 3 - Característica das Estacas Ensaaiadas

Estaca	Seção nominal do trilho	Comprimento no solo (m)	Comprimento abaixo dos sensores	Carga de projeto (kN)	Sondagens próximas
E - 01A	1 TR 68	21,0	21,9	500	SP 110
E - 06D	1 TR 68	7,1	7,5	290	SP 07
E - 07C	1 TR 68	17,6	18,1	605	SM 106
E - 15A	1 TR 68	17,6	18,1	315	SP 01
E - 18C	1 TR 68	11,3	11,4	525	SM 104
E - 21B	2 TR 68	4,8	5,1	895	SM 21

Quadro 4 - Capacidade de Carga Mobilizada CAPWAP - PDA

Estaca	Número de golpes	Altura de Queda do pilão (m)	Nega dos golpes (mm)	Carga Mobilizada RMX (kN)	DMX (mm)	EMX (kN/m)
E - 01A	4	0,8	0	1100	11	7,3
E - 06D	5	1,0	0	1160	10	10,3
E - 07C	8	1,2	0	1360	13	14,9
E - 15A	5	0,5	0	1050	6	2,9
E - 18C	6	1,1	1	1220	11	9,9
E - 21B	3	0,6	0	2440	2	2,1

Quadro 5 - Capacidade de Carga Mobilizada CAPWAP - PDA

Estaca	Número de golpes	Carga mobilizada Ru (kN)	Atrito lateral		Ponta	
			Carga (kN)	Carga (%)	Carga (kN)	Carga (%)
E - 01A	4	1100	640	58	460	42
E - 06D	5	1670	650	39	1020	61
E - 07C	8	1360	910	67	450	33
E - 15A	5	1050	800	76	250	24
E - 18C	6	1220	420	34	800	66
E - 21B	3	2440	1350	55	1090	45

Quadro 6 - Tensões Máximas CAPWAP - PDA

Estaca	Tensão de Compressão (MPa)	Tensão de Tração (MPa)
E - 01A	106	28,5
E - 06D	213	31,9
E - 07C	166	32,3
E - 15A	90	11,9
E - 18C	150	23
E - 21B	26,1	6

### 3.2.2. Quarto Grupo de Estacas Analisado

Para o quarto grupo de estacas analisado, foi executada uma prova de carga dinâmica em 12 de janeiro de 2016, com localização na avenida Leitão da Silva, Gurigica, Vitória-ES, realizada para a construção do Edifício Comercial - Pietra Hotéis. O Quadro 7 descreve o detalhamento característico das estacas ensaiadas. A prova de carga ocorreu sem que houvesse a ruptura do sistema solo estaca com a utilização de um pilão com 20 kN.

Quadro 7 - Característica das Estacas Ensaçadas - PDA

Estaca	Seção nominal do trilho	Comprimento no solo (m)	Comprimento abaixo dos sensores	Carga de projeto	Sondagens próximas
E - AP40	1 TR 68	9,50	10,10	62	SP 05
E - BP122	1 TR 68	10,20	10,75	47,5	SP 06
E - CP41	1 TR 68	9,85	10,45	62	SP 05
E - CP42	1 TR 68	6,80	7,40	56	SP 05
E - AP109	1 TR 68	13,30	13,50	60	SP 02
E - FP47	1 TR 68	11,20	11,85	62	SP 02
E - DP118	1 TR 68	9,20	9,85	60	SP 06
E - FP125	1 TR 68	9,30	10,45	60	SP 06
E - B136	1 TR 68	9,15	9,75	60	SP 06
E - B131	1 TR 68	8,70	10,30	60	SP 06
E - AP23	1 TR 68	13,10	13,50	60	SP 02

As cargas mobilizadas nas estacas ensaiadas foram maiores do que duas vezes a carga de projeto. Para todas as estacas ensaiadas, não foi observada nenhuma redução de integridade estrutural que comprometa a utilização da estaca. Para cada resultado obtido durante o ensaio, tem-se dispostos os Quadros 8, 9 e 10.

Quadro 8 - Capacidade de Carga Mobilizada CAPWAP - PDA

Estaca	Carga de projeto (kN)	Número de golpes	Altura de Queda do pilão (m)	Nega dos golpes (mm)	Carga Mobilizada RMX (kN)	DMX (mm)	EMX (kN/m)
E - AP40	620	3	0,50	1	1560	10	7,1
E - BP122	475	6	0,80	2	1400	13	9,7
E - CP41	620	7	0,80	2	1440	11	8,5
E - CP42	560	5	0,90	0	1560	11	8,3
E - AP109	600	6	1,20	7	1230	12	10,2
E - FP47	620	5	1,20	3	1570	16	12,7
E - DP118	600	6	0,90	3	1630	13	11,2
E - FP125	600	6	0,90	3	1620	13	12,1
E - B136	600	7	0,90	4	1470	13	09,6
E - B131	600	6	1,00	2	1820	13	12,3
E - AP23	600	5	1,30	11	1260	20	17,9

Quadro 9 - Resultados da Análise CAPWAP - PDA

Estaca	Número de golpes	Carga Mobilizada	Atrito Lateral		Ponta	
		Ru (kN)	Carga (kN)	Carga (%)	Carga (kN)	Carga (%)
E - AP40	4	1360	350	26	1010	74
E - BP122	6	1390	510	37	880	63
E - CP41	7	1440	590	41	850	59
E - CP42	5	1560	320	20	1240	80
E - AP109	6	1230	280	23	950	77
E - FP47	5	1570	520	33	1050	67
E - DP118	6	1640	790	48	850	52
E - FP125	6	1630	410	25	1220	75
E - B136	7	1460	290	20	1170	80
E - B131	6	1820	1100	60	720	40
E - AP23	4	1190	760	64	430	36

Quadro 10 - Tensões Máximas - PDA

Estaca	Tensão de Compressão	Tensão de Tração
	(Mpa)	(Mpa)
E - AP40	174,1	17,2
E - BP122	168	21
E - CP41	178,9	29,9
E - CP42	185,7	26,4
E - AP109	145,1	18,6
E - FP47	170,1	31,7
E - DP118	201,4	19,6
E - FP125	206,7	20
E - B136	178	29,6
E - B131	224,5	37,1
E - AP23	151,6	19

## 3.2.3. Quinto Grupo de Estacas Analisado

Quanto ao quinto grupo de estacas analisado, a prova de carga dinâmica foi executada em 29 de julho de 2016, na avenida Leitão da Silva, Gurigica, Vitória-ES, para a construção do Edifício Comercial - Pietra Hotéis, foram ensaiadas estacas trilha 1TR 68, com profundidades variando entre 21,80 m e 25,50 m e carga de trabalho máxima igual à 600 kN. Ensaio realizado com martelo de 30 kN. Característica das estacas conforme apresentado no Quadro 11.

Observa-se que essas estacas apresentaram resultados de negas entre 1 e 2 mm e 98% e 89% de carga lateral com apenas 20 kN e 80 kN de resistência de ponta. Portanto pode-se afirmar que as estacas atendem satisfatoriamente ao fator de segurança estabelecido em norma. Detalhamento das informações obtidas com o ensaio disposto nos Quadros 12, 13 e 14.

Quadro 11 - Característica das Estacas Ensaçadas - PDA

Estaca	Seção nominal do trilho	Comprimento no solo (m)	Comprimento abaixo dos sensores	Carga de Projeto
E - 39A	1 TR 68	23,7	24,3	60
E - 49A	1 TR 68	23	23,6	60
E - 57C	1 TR 68	22,1	23,3	60
E - 67A	1 TR 68	24,6	25,5	60
E - 70A	1 TR 68	21,6	21,8	60
E - 75A	1 TR 68	23	23,6	60

Quadro 12 - Sequência de Golpes Realizados - PDA

Estaca	Número de golpes	Altura de queda (cm)	Nega por golpe (mm)	Nega total (mm)
E - 39A	2	60/80	0/0	0
E - 49A	2	60/80	0/0	0
E - 57C	4	60/80/100/120	1/2/0/0	3
E - 67A	3	60/80/100	01/01/2000	2
E - 70A	3	60/80/100	0/0/0	0
E - 75A	5	40/60/80/100/120	0/0/1/1/1	3

Quadro 13 - Resultados da Análise CAPWAP - PDA

Estaca	Número de golpes	Carga mobilizada (kN)	Atrito Lateral		Ponta	
			Carga (kN)	Carga (%)	Carga (kN)	Carga (%)
E - 39A	2	1274	1195	94	79	6
E - 49A	2	1197	1116	93	81	7
E - 57C	4	1077	1057	98	20	2
E - 67A	3	1246	1145	92	101	8
E - 70A	3	1346	1264	94	82	6
E - 75A	5	932	832	89	100	11

Quadro 14 - Tensões Máximas - PDA

Estaca	Golpes na estaca	Tensão de Compressão (MPa)	Tensão de Tração (MPa)
E - 39A	2	134,6	22,2
E - 49A	2	144,6	37,7
E - 57C	4	137,7	27,4
E - 67A	3	133,2	18,77
E - 70A	3	147,4	20,17
E - 75A	5	122,6	13,2

#### 4. CONCLUSÕES

Com relação ao histórico de estacas metálicas cravadas no solo há mais de 25 anos, observou-se que a corrosão é desprezível visto que a profundidade dos pites era inferior a 0,4 mm e a diminuição da seção transversal não ultrapassou 1% ao longo do tempo. Desta forma, se apresentam como alternativa viável como fundação para regiões marinhas como a estudada.

Com relação aos resultados dos testes de PDA, os mesmos apresentam dados importantes com relação à carga mobilizada durante os testes, aprovando todos os resultados. Observa-se ainda, os percentuais de cargas absorvidas pelo atrito lateral e percentual de carga na ponta da estaca. Em projetos análogos, estacas cravadas em argila mole até a rocha, é comum desprezar o atrito lateral, porém nas provas de cargas executadas na avenida Leitão da Silva (Qaudro 13), observou-se que a média da carga de ponta mobilizada foi igual a 7%, ou seja, através dos métodos convencionais de cálculo a solução com utilização de estacas trilho está subaproveitada.

Quanto à rocha de apoio para a ponta da estaca na extração da nega, é recomendado prévia verificação no terreno de fundação para identificar a existência de solo de alteração, ou solo que ofereça apoio de engastamento suficiente para sustentação total da seção da estaca. O perfil geotécnico dos solos da cidade de Vitória quase não apresenta solos de alteração na rocha de fundação. Para evitar escorregamento da ponta do trilho nas rochas de fundação que se apresentarem inclinadas, sugere-se criar elementos construtivos de redução das abas da estaca com um chanfro e substituir esta seção retirada da ponta da estaca, com chapas soldadas na alma do trilho. Este procedimento poderá evitar concentrações de cargas no patim do trilho, tanto na extração da nega, quanto na atuação da carga mobilizada.

Posto isso, conclui-se que a solução de estacas de trilhos ferroviários analisado no estudo, apresenta-se como solução viável técnica e economicamente em regiões marítimas e costeiras do país, principalmente com o desenvolvimento de métodos de dimensionamento que visem o pleno aproveitamento de suas potencialidades como fundação profunda.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores do presente artigo gostariam de agradecer ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) por apoiar e garantir suporte financeiro na concessão de bolsas de iniciação científica.

#### REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2006). *NBR 12131: Estacas – Prova de carga estática – Método de ensaio*. Rio de Janeiro, Brasil, pp. 16.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2007). *NBR 13208: Estacas - Ensaio de carregamento dinâmico*. Rio de Janeiro, Brasil, pp. 12.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2013). *NBR 15575: Desempenho de edificações habitacionais*. Rio de Janeiro, Brasil, pp. 31.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2022). *NBR 6122: Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro, Brasil, pp. 108.

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2008). *NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios*. Rio de Janeiro, Brasil, pp. 237.
- Belarmino, J, C. (2017). Estudo do Emprego de Estacas Metálicas em Trilhos Ferroviários Usados, na Cidade de Vitória - ES. Monografia (Pós-graduação em Geotecnia) - Universidade Cidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, 61 p.
- Velloso, D.A. e Lopes. F.R. (2010). *Fundações*, 2ª ed., Ed. Oficina de Textos, São Paulo, Brasil, 583 p.