



Análise das Alterações e Avanços das Normas de Provas de Carga em Fundação Profunda (ABNT NBR 16.903:2020) e Fundação Direta (ABNT NBR 6489:2019)

Paulo José Rocha de Albuquerque
Professo Associado, FECFAU/Unicamp, Campinas, Brasil, pjra@unicamp.br

Graziela Santolia da Silva
Engenheira Civil, APG, São Paulo, Brasil, gsantoliadasilva@gmail.com

RESUMO: A normatização de um procedimento se faz pela necessidade da padronização, qualificação e organização, de maneira que um determinado experimento possa ser realizado de forma adequada e compreensível. Todo o processo de construção, revisão ou atualização passam por uma sistemática de discussão entre os atores que têm por diretriz o consenso entre as partes. Neste sentido foi instalada no dia 02/06/2015, a Comissão de Estudos Especiais - Solos (CEE 221 ABNT), com o escopo de revisar / atualizar normas técnicas de solos. Dentre estas, as normas de provas de carga em fundações profundas e direta. Desta forma, este artigo tem por objetivo destacar os principais tópicos que foram alterados e os avanços nos procedimentos das normas supra. Tais procedimentos foram amplamente discutidos e reavaliados com base na expertise brasileira e internacional, além das análises de resultados experimentais de provas de carga obtidos dos vastos bancos de dados gerados a partir de 2010 (ABNT NBR 6122). Serviram como documentos orientadores, normas internacionais como ASTM, BS, DIN etc. As novas versões trouxeram maiores esclarecimentos aos usuários, pois detalham pontos importantes como: nomenclatura, critérios de calibração, esclarecimento dos procedimentos e de paralisação dos ensaios.

PALAVRAS-CHAVE: Normas Técnicas, Provas de Carga, Fundações Rasas, Fundações Profundas

ABSTRACT: The normalization of a procedure is made by the need for standardization, qualification and organization, so that a particular experiment can be carried out in an appropriate and understandable way. The whole process of construction, revision or updating goes through a systematic discussion between the actors whose guideline is consensus between the parts. In agreement, the Special Studies Commission - Soils (CEE 221 ABNT) was installed on February 06th, 2015, with the scope of reviewing / updating technical soil standards. Among these, the standards of load tests in deep and shallow foundations. Therefore, this article aims to highlight the main topics that have been changed and the advances in the procedures of the load test standards in deep and shallow foundation. The standards were extensively discussed and re-evaluated based on Brazilian and international expertise, in addition to the analysis of experimental results obtained from the vast databases generated since 2010 (ABNT NBR 6122). International standards such as ASTM, BS, DIN etc. served as guiding documents. The new versions have brought greater clarification to users, as they detail important points such as: nomenclature, calibration criteria, clarification of procedures and stoppage of tests.

KEYWORDS: Technical Standards, Load Tests, Shallow Foundations, Deep Foundations

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





1 Introdução

As provas de carga estáticas são um processo importante para avaliar o desempenho das fundações novas e existentes. São técnicas empregadas para a determinação da capacidade de carga, deslocamentos, transferência de carga, verificar suposições de projeto etc. Existem vários ensaios de avaliação de fundações, além das provas de carga estáticas, como o ensaio de carregamento dinâmicos que utilizam cargas de impacto ou impulso para avaliar o comportamento da fundação e ensaios não destrutivos que avaliam a integridade e a qualidade das fundações sem submetê-las a cargas significativas (LINKINS, 2015).

Para que estes ensaios tenham uma padronização há a necessidade de que se criem regras e diretrizes de maneira simplista que possam ser seguidos em todo o território que se faça abranger. Uma norma serve como ponto de referência para que se tenha uma uniformidade, qualidade, segurança e confiabilidade em todos os setores de atuação. Os padrões técnicos são desenvolvidos e mantidos por organizações de padronização, indústrias, agências governamentais ou órgãos reguladores. Esses padrões geralmente são baseados em consenso entre as partes interessadas, incluindo especialistas, representantes da indústria, academia e outras partes. As normas técnicas abrangem várias áreas:

- Segurança: deve-se garantir a segurança das pessoas, propriedades e do meio ambiente, estabelecendo diretrizes para mitigação de riscos, prevenção de acidentes e cumprimento das normas de segurança.
- Desempenho: definem os critérios mínimos de desempenho que os produtos ou sistemas devem atender para garantir segurança, confiabilidade ou interoperabilidade. Esses padrões se concentram nos resultados ou requisitos funcionais, em vez de especificar requisitos detalhados de projeto ou construção.
- Produto: especificam requisitos e características para produtos específicos, como dimensões, critérios de desempenho, materiais, recursos de segurança ou métodos de teste.
- Processo: os padrões de processo fornecem diretrizes para processos específicos de fabricação, teste ou operação. Eles descrevem as melhores práticas, procedimentos ou metodologias para garantir consistência, eficiência e qualidade
- Compatibilidade: garantia a interoperabilidade e a comunicação perfeita entre diferentes produtos, sistemas ou tecnologias. Eles definem especificações técnicas, protocolos ou interfaces que permitem que diferentes componentes trabalhem juntos de forma eficaz.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo apresentar um panorama do emprego das normas de provas de carga estáticas em fundações rasas e profundas, iniciando por um breve histórico da evolução das regulamentações no Brasil, das alterações ocorridas e a cronologia, bem como o estado atual que regem tais procedimentos

2 Contexto Histórico

Não se sabe exatamente quando se iniciaram, pois são difíceis de identificar devido aos poucos registros históricos disponíveis. É provável que os primeiros ensaios ainda que de forma muito simplistas, foram na construção da Roma antiga, tendo em vista seus avançados conhecimentos em técnicas avançadas em engenharia, com o emprego de fundações profundas. Acredita-se que os primeiros testes foram na construção dos aquedutos, pontes e edifícios monumentais. Naquela época os construtores frequentemente utilizavam da tentativa e erro,

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



conhecimento empírico e observações visuais para avaliar a estabilidade e capacidade de carga das fundações (JACKSON *et al.*, 2009).

Nos séculos XVIII e XIX, com o avanço das práticas de engenharia, os testes de carga tornaram-se mais reconhecidos e documentados, que incluem a construção de pontes, como a Ponte de Ferro em Coalbrookdale, Inglaterra em 1779, onde foi feito um ensaio de carga para avaliar a estabilidade estrutural, sendo um desses exemplos que representam instâncias iniciais de testes de carga na construção de fundações (BRITANNICA, 2021). As técnicas e métodos usados durante esses períodos eram rudimentares em comparação com as práticas padronizadas e tecnologias avançadas empregadas hoje.

As provas de carga evoluíram significativamente ao longo do tempo com o desenvolvimento de princípios científicos, padrões de engenharia e a introdução de equipamentos e instrumentação especializados. No início do século XX, os engenheiros reconheceram a necessidade das provas de carga em fundações para garantir sua integridade estrutural e desempenho. Os primeiros testes de carga foram conduzidos usando aplicações de carga estática simples, normalmente com o uso de macacos ou cargueiras.

Os avanços na tecnologia contribuíram para a evolução com o uso de células de carga, transdutores de deslocamento, extensômetros elétricos, inclinômetros etc, usados para medir carga, deformação, deflexão e outros parâmetros durante o teste. Com relação as análises de dados, com a disponibilidade de ferramentas baseadas em computador, os dados coletados durante o ensaio podem ser processados e interpretados com mais eficiência. Os pesquisadores continuam a explorar novos métodos e técnicas de teste de carga para melhorar a compreensão do comportamento da estaca e otimizar os processos de projeto e construção.

No Brasil, a primeira norma de provas de carga foi publicada em 1951 - NB20 “Prova de Carga à Compressão de Estacas Verticais”. Com relação a norma sobre provas de carga em fundação direta, mesmo após consulta à ABNT, não foi possível registrar o ano específico da publicação, mas é de conhecimento que foi publicada entre os anos de 1950 e 1960 – NB 27 “Prova de Carga Direta Sobre Terreno de Fundação”. Destaca-se que à época, a ABNT não registrava o ano de publicação nos documentos. A Figura 1 mostra a evolução das publicações das normas de provas de cargas em fundações profundas e de fundação direta na Figura 2.

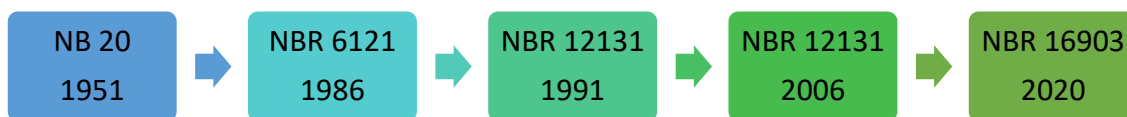


Figura 1 – Evolução das publicações da norma de provas de carga em fundação profunda.



Figura 2 – Evolução das publicações da norma de provas de carga em fundação direta.

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



3 Prova de Carga em Fundação Direta (ABNT NBR 6489/2019)

É a Norma que especifica o método de ensaio para prova de carga estática para fins de fundações diretas, ou seja, elementos de fundação cuja base está assentada em profundidade inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação. Compreende todos os requisitos para execução, registro e apresentação.

O ensaio consiste na aplicação de esforços estáticos axiais de compressão em uma placa, cuja rigidez deve ser equivalente à da fundação prevista e deve ter diâmetro ou lado mínimo de 0,30 m. O ensaio deve ser levado até pelo menos o dobro da tensão admissível prevista para o terreno ou até o deslocamento máximo estabelecido pelo projetista. Tensão admissível essa a máxima adotada em projeto que, aplicada ao terreno pela fundação direta, atenda os coeficientes de segurança predeterminados aos estados limites últimos (ruptura) e de serviço (deslocamentos e vibrações).

A configuração típica da aparelhagem de aplicação de carga com escavação no terreno é ilustrada na Figura 3.

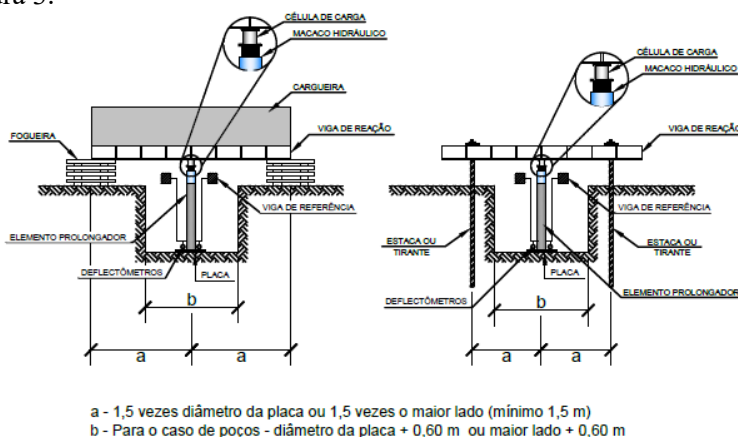


Figura 3 – Esquema de montagem do ensaio com escavação (modificado de ABNT NBR 6489/2019)

A configuração típica da aparelhagem de aplicação de carga sem escavação no terreno é ilustrada na Figura 4.

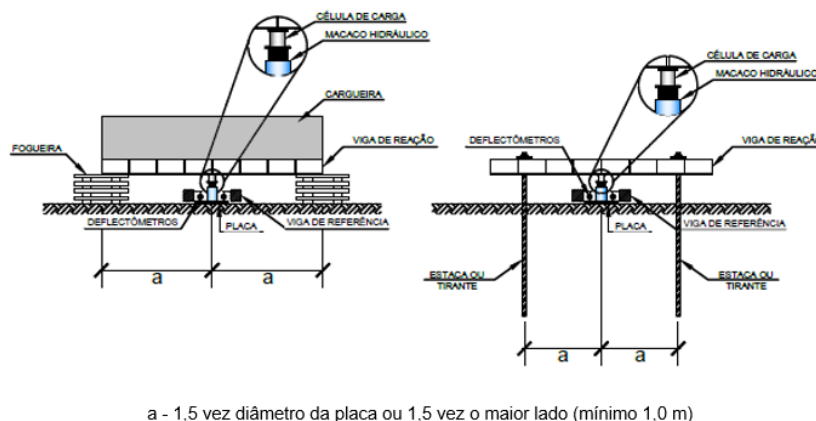


Figura 4 – Esquema de montagem do ensaio sem escavação (modificado de ABNT NBR 6489/2019)

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





À critério do projetista, a prova de carga pode ser executada por meio de um dos seguintes processos:

- Carregamento lento;
- Carregamento rápido;
- Carregamento misto tipo 1 (lento seguido de rápido);
- Carregamento misto tipo 2 (rápido seguido de lento);
- Carregamento cíclico, lento ou rápido.

Os métodos de ensaio possibilitam traçar a curva tensão-deslocamento e estimar os parâmetros de deformabilidade (coeficiente de reação vertical e módulo de deformabilidade) e de resistência (tensão admissível) do solo em análise.

4 Prova de Carga em Fundação Profunda (ABNT NBR 16903/2020)

É a Norma que especifica prescreve a metodologia para execução da de carga estática em fundações profundas, que se aplica a todos os tipos de estacas, verticais ou inclinadas, independentemente do processo de execução e de instalação no terreno, inclusive tubulões. É empregada às provas de carga que utilizam o critério de cargas controladas e compreende todos os requisitos para execução, registro e apresentação.

O ensaio consiste na aplicação de esforços, que podem ser tração, compressão ou flexo-compressão, nas direções vertical, horizontal ou inclinada e registrar os deslocamentos correspondentes.

Devem ser realizadas à partir da medida das cargas aplicadas, através de célula de carga ou manômetro instalado no conjunto hidráulico, dos deslocamentos do topo da estaca com defletores e do tempo de realização de cada medida.

O sistema de reação para provas de carga à compressão pode ser com plataforma carregada (cargueira), com elementos de tração constituídos de estacas ou tirantes, ou a própria estrutura da edificação. As vigas de referência são limitadas a 12 m de comprimento.

Na execução da prova de carga, a estaca deve ser carregada até a carga de ensaio, atendendo aos requisitos dos fatores de segurança dos carregamentos de acordo com a ABNT NBR 6122/2022. Caso se pretenda estabelecer correlações entre os resultados fornecidos pela prova de carga e outros ensaios *in-situ*, estes ensaios devem ser em número não inferior a três.

À critério do projetista, a prova de carga pode ser executada por meio de um dos seguintes processos:

- Carregamento lento;
- Carregamento rápido;
- Carregamento misto (lento seguido de rápido);
- Carregamento cíclico, lento ou rápido.

5 Diferenças gerais entre as últimas versões das normas

Todas as normas elaboradas e revisadas pela Comissão de Estudos Especiais - Solos (ABNT CEE 221), têm como padrão a introdução do termo “Solo” na nomenclatura das normas.

A principal diferença nas versões é que foi estabelecido um padrão de apresentação dos métodos entre as normas irmãs, de prova de carga direta e profunda, além da inserção de itens

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





padrões que a própria ABNT definiu, tais como Escopo em português e inglês, Referências Normativas e Termos e definições.

Foi introduzido um maior detalhamento e precisão com relação à calibração e capacidade de aferição dos aparelhos e foi incluída a menção ao uso de células de carga. Os equipamentos devem ser calibrados por laboratório acreditado, instituição integrante da RBC (Rede Brasileira de Calibração) e não por entidade reconhecida e autorizada pelo INMETRO.

5.1 Diferenças entre as normas de Prova de Carga em Fundação Direta - 1984 e 2019

A norma anterior citava apenas um método de ensaio (carregamento lento). A norma atual de 2019 adicionou outras cinco possibilidades, a critério do projetista, carregamento rápido, carregamento misto tipo 1 (lento seguido de rápido) ou tipo 2 (rápido seguido de lento) e carregamento cíclico (lento ou rápido). Seguem outras diferenças observadas (Tabela 1).

Tabela 1. Comparação entre as versões - fundação direta.

1984	2019
<p><u>Item 2a)</u> A cota da superfície de carga deverá sempre ser a mesma que a das eventuais bases das sapatas da futura fundação.</p>	<p><u>Item 4.3.5</u> A cota da superfície carregada deve ser preferencialmente a mesma que a maioria das eventuais bases de maior importância da futura fundação. Caso não seja, o projetista deve levar em consideração esta condição.</p>
<p><u>Item 2a)</u> A placa para aplicação das cargas ao solo deverá ser rígida, e terá uma área não inferior a 0,5 m², será colocada sobre o solo em seu estado natural e devidamente nivelado, ocupando a área total do fundo de um poço. A relação entre a largura e a profundidade do poço.</p>	<p><u>Item 4.2.1.2</u> A placa para aplicação das cargas ao solo deve ter rigidez equivalente à da fundação prevista (concreto armado ou aço) e deve ter diâmetro ou lado mínimo de 0,30 m.</p> <p><u>Item 4.3.7</u> A placa deve estar apoiada em superfície nivelada. Se necessário, para efeito de nivelamento, pode-se colocar um colchão de areia ou lastro de concreto magro sob a placa com a menor espessura necessária para formar um apoio uniforme (máximo 2,5 cm).</p>
<p><u>Item 2a)</u> A relação entre a largura e profundidade do poço para a prova deve ser a mesma que a entre a largura e a profundidade da futura fundação;</p>	<p><u>Item 4.3.8</u> Caso seja necessário abrir um poço para alcançar a cota de apoio, o seu diâmetro deve ser no mínimo igual ao da placa mais 0,60 m e sua profundidade não superior a 1,2 m. Para valores superiores a este deve ser verificado o efeito da sobrecarga e do sistema de reação na realização do ensaio.</p>

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





Tabela 1. Comparação entre as versões - fundação direta (continuação).

1984	2019
<p><u>Item 2</u> Os recalques devem ser medidos por extensômetros sensíveis a 0,01 mm, colocados em dois pontos diametralmente opostos da placa. Os dispositivos de referência para medidas de recalque devem estar livres da influência dos movimentos da placa, do terreno circunvizinho, do caixão ou das ancoragens; seus apoios devem achar-se a uma distância igual a pelo menos 1,5 vez o diâmetro ou lado da placa, medida a partir do centro desta última;</p>	<p><u>Item 4.2.1.5</u> Os deslocamentos devem ser medidos por deflectômetros ou transdutores de deslocamento, com precisão mínima de 0,01 mm e curso mínimo de 50 mm dispostos em quatro pontos instalados em dois eixos ortogonais da placa. Devem estar livres da influência do terreno circunvizinho, da cargueira ou das ancoragens. Seus apoios devem estar a uma distância igual ou maior a 1,5 vez o diâmetro ou lado da placa (maior lado), com no mínimo 1,0 m, medida a partir do centro desta última.</p>
<p><u>Item 3b)</u> Em cada estágio de carga, os recalque serão lidos imediatamente após a aplicação desta carga e após intervalos de tempo sucessivamente dobrados (1, 2, 4, 8, 15 minutos, etc.).</p>	<p>Retirada a obrigatoriedade de leitura no minuto 1.</p>
<p><u>Item 3c)</u> O ensaio deve ser levado até pelo menos observar-se um recalque total de 25 mm ou até atingir-se o dobro da taxa admitida para o solo;</p>	<p>Retirado o limite de 25 mm, o deslocamento máximo é estabelecido pelo projetista.</p>

5.2 Diferenças entre as normas de Prova de Carga em Fundação Profunda - 2006 e 2020

A Tabela 2 mostra os detalhes nas diferenças entre as normas.

Tabela 2. Comparação entre as versões - fundação profunda.

2006	2020
Norma cancelada NBR 12131	Novo número NBR 16903
<p><u>Item 3 - Ensaio</u> A prova de carga consiste, basicamente, em aplicar esforços estáticos à estaca e registrar os deslocamentos correspondentes. Os esforços aplicados podem ser axiais, de tração ou de compressão, ou transversais.</p>	<p><u>Item 4 - Descrição do ensaio</u> A prova de carga estática consiste em aplicar esforços à fundação profunda e registrar os deslocamentos correspondentes. Os esforços aplicados podem ser tração, compressão ou flexo-compressão, nas direções vertical, horizontal ou inclinada.</p>
<p><u>Item 3.2.2 Dispositivos para as medições</u> A célula de carga devem ter certificado de calibração com prazo de vigência não superior a seis meses. Os manômetros com leitura máxima superior a 80 MPa (800 kgf/cm²) devem ser dotados de escala com leituras máximas de 1 MPa (10 kgf/cm²), e aqueles com leitura máxima abaixo de 80 MPa, de escala com leitura máxima de 0,5 MPa (5 kgf/cm²).</p>	<p><u>Item 5.1 Célula de carga</u> A calibração da célula de carga não deve ser superior a vinte e quatro meses. O manômetro analógico deve ter uma escala de leitura adequada ao carregamento de forma que o menor incremento de carga a ser aplicada no ensaio, seja representado por pelo menos duas marcas da escala. Os manômetros, analógicos ou digitais, devem ser dotados de escala com leituras máximas de 0,5 MPa (5 kgf/cm²).</p>

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



Tabela 2. Comparação entre as versões - fundação profunda (continuação).

2006	2020
Norma cancelada NBR 12131	Novo número NBR 16903
<p><u>Item 3.2.1 Dispositivo de aplicação de carga</u> O dispositivo de aplicação de carga é constituído por um ou mais macacos hidráulicos alimentados por bombas elétricas ou manuais, atuando contra um sistema de reação estável. O macaco ou macacos utilizados devem ter capacidade ao menos 20% maior que o máximo carregamento previsto para o ensaio e curso do êmbolo compatível com os deslocamentos máximos esperados entre o topo da estaca e o sistema de reação, sendo no mínimo igual a 10% do diâmetro da estaca.</p>	<p><u>Item 5.3 Sistema de aplicação de carga</u> O sistema de aplicação de carga é constituído por um ou mais cilindros hidráulicos alimentados por bombas elétricas ou manuais. O sistema de aplicação de carga deve ter capacidade ao menos 10% maior que a carga máxima prevista para o ensaio. O curso do êmbolo do cilindro deve ser no mínimo igual a 10% do diâmetro equivalente da seção transversal da estaca e não inferior a 50 mm.</p>
<p><u>Item 3.3 Preparação da prova de carga</u> A estaca deve estar situada dentro da área de abrangência da sondagem mais próxima, definida por um círculo com centro no eixo da estaca e raio de 10 vezes seu diâmetro e, no máximo, de 5,0 m.</p>	<p><u>Item 6.1 Caracterização do subsolo</u> A estaca deve estar situada dentro da área caracterizada pelas sondagens e deverá ser locada à critério do projetista.</p>
<p><u>Item 4 Expressão dos resultados</u> Caso se pretenda estabelecer correlações entre os resultados fornecidos pela prova de carga e outros ensaios <i>in-situ</i>, esses ensaios devem ser em número não inferior a três e estar a uma distância não superior a 2,0 m do eixo da estaca.</p>	<p><u>Item 9 Expressão dos resultados</u> Caso se pretenda estabelecer correlações entre os resultados fornecidos pela prova de carga e outros ensaios <i>in-situ</i>, esses ensaios devem ser em número não inferior a três.</p>

6 Considerações Finais

Este artigo teve como objetivo fazer uma um breve histórico e um sucinta apresentação das diferenças ocorridas na publicações da versões das normas de provas de carga em fundação direta e profunda. É importante ressaltar que este artigo não elimina a leitura das referidas normas em seu inteiro teor. Diante do apresentado, pode-se inferir os seguintes aspectos:

- A) Prova de carga em fundação direta (ABNT NBR 6489/2019)
- A possibilidade de realizar os ensaios com diferentes formas, desde o carregamento lento, rápido, misto 1, misto 2 e os dois tipos cíclicos,
 - O emprego de placas com diâmetros superiores a 30 cm de lado ou diâmetro, não somente em elementos de aço, mas também em concreto,
 - Inserção de figuras que possibilitem facilitar as montagens do ensaio, tanto em superfície, quanto em profundidade,
 - A preferência pelo uso de células de carga e deflectômetros digitais,
 - Calibração dos equipamentos por meio da Rede Brasileira de Calibração, de acordo com as normas que prescrevem tais verificações,
- B) Prova de carga em fundação profunda (ABNT NBR 16903/2020)
- O critério de estabilização dos deslocamentos para mudança da carga no ensaios lento, foi limitado em 2h,
 - O prazo de calibração da célula de carga foi ampliado para 24 meses. Calibração dos equipamentos por meio da Rede Brasileira de Calibração, de acordo com as normas que prescrevem tais verificações,

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





- O sistema de aplicação de carga deve ter capacidade ao menos 10% maior que a carga máxima prevista para o ensaio. O curso do êmbolo do cilindro deve ser no mínimo igual a 10 % do diâmetro equivalente da seção transversal da estaca e não inferior a 50 mm.
- Dimensão máxima da viga de referência em 12 m,
- Projeto e o relatório do ensaio devem ter informações detalhadas sobre a montagem, equipamento e execução.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). NBR 6489. *Prova de carga direta sobre terreno de fundação*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2006). NBR 12131. *Estacas - Prova de carga estática: método de ensaio*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019). NBR 6489. *Solo - Prova de carga estática em fundação direta*. 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.
- Britannica, The Editors of Encyclopedia. (2021) "Ironbridge". *Encyclopedia Britannica*, <https://www.britannica.com/topic/Ironbridge-bridge-England>. Accessed 18 July 2023.
- Jackson, M.D.; Barry, J.M.L., Scheetz, E.; Daniel, M. D.; Carl, G.C.; Fabrizio, M.; Massimo, V.; Lucrezia, U. (2009) Assessment of material characteristics of ancient concretes, Grande Aula, Markets of Trajan, Rome, *Journal of Archaeological Science*, v.36-11, p. 2481-2492.
- Linkins, G. (2015) Pile testing – State of the Art. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA - SEFE, 8, 2015, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABEF. p.1-17.

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

