

DESEMPENHO DE TUBULÕES ASSENTES EM SOLO TROPICAL NO PLANALTO CENTRAL DO BRASIL

PERFORMANCE OF CAISSONS LAYING ON TROPICAL SOIL IN THE CENTRAL PLATEAU OF BRAZIL

Mota, Neusa M.B., *FEUP, Porto, Portugal, neusa.mota@icloud.com**

Albuquerque, Paulo J. R., *UNICAMP, Campinas, Brasil, pjra@unicamp.br*

Ferreira, Regina M., *UNICAMP, Campinas, Brasil, regina.marya@hotmail.com*

**autor para correspondência*

RESUMO

Este artigo apresenta um estudo experimental sobre o comportamento de cinco tubulões em um solo laterítico tropical no Planalto Central, DF, Brasil. Os tubulões apresentam diâmetro do fuste de 0,6 m, diâmetro da base de 1,2 m e 1,3 m e comprimentos de 8,9 a 14,4 m. Foram realizadas provas de carga estática à compressão para investigar o comportamento dos tubulões. Os resultados da carga vs deslocamento e suas interações com o solo tropical foram medidos e avaliados. Foi feita uma análise das linhas de transferência de carga dos tubulões a partir dos dados de carga vs deslocamento empregando a metodologia de Camapum de Carvalho et al. (2008, 2010). Os resultados apontaram para uma constância da transferência de carga ao longo do fuste, com uma contribuição significativa da parcela de resistência do atrito lateral desenvolvido para uma fração do deslocamento necessário para sua mobilização. Destaca-se a acurácia do emprego da metodologia, identificando a região de domínio do atrito lateral, ponta e plastificação da fundação, confirmando as previsões dos autores para um solo tropical do Distrito Federal.

ABSTRACT

This article presents an experimental study on the axial behavior of five caissons in a tropical lateritic soil in the Central Plateau, Federal District, Brazil. The caissons have a shaft diameter of 0.6 m, base diameters of 1.2 m and 1.3 m and lengths from 8.9 to 14.4 m. Static load tests were carried out to investigate the axial behavior. Load vs displacement results and their interactions with the tropical soil were measured and evaluated. An analysis of the load transfer was carried out from the load vs displacement data using the methodology of Camapum de Carvalho et al. (2008, 2010). The results pointed to a constancy of the load transfer along the shaft, with a significant contribution of the resistance portion of the lateral friction developed for a portion of the necessary displacement for its mobilization. The accuracy of the methodology is highlighted, identifying the domain of skin friction, tip and plastification of the foundation, confirming the authors' predictions for a tropical soil in the Federal District.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil emprega-se tubulão em muitas obras, sobretudo devido a aspectos econômicos e de desempenho geotécnico, pois se trata de uma alternativa de fundação simples, econômica e com possibilidade de uso de equipamentos leves, e em solo poroso apresenta facilidade para escavação e estabilidade em cortes verticais. Tais vantagens são possíveis devido à estabilidade nas escavações e ausência do lençol freático.

Entretanto, mesmo com a expressiva quantidade de obras executadas em tubulões, são poucos os trabalhos sobre o comportamento por meio de provas de carga estática. Isto ocorre devido à peculiaridade deste tipo de fundação, visto que a mobilização do atrito lateral é desenvolvida a partir de pequenos deslocamentos, podendo ocasionar um excesso de carga no fuste antes que possa ser transferida para a base.

Para conhecimento dos regimes de tensão e deformação ao longo do fuste do tubulão, com base na prova de carga estática, Camapum et al. (2008, 2010) propuseram uma metodologia levando-se em consideração o comportamento característico de cada solo e seus mecanismos de interação entre o elemento de fundação. Trata-se de uma importante ferramenta para análise de provas de carga, sem instrumentação ao longo do fuste. Silva (2011) e Castro Neto et al. (2019), aplicaram a referida metodologia em solo tropical, validando as previsões obtidas do método.

No presente artigo aplica-se a metodologia de Camapum et al (2008, 2010) para análise dos resultados de cinco provas de carga estáticas em tubulão, com alargamento de base, executadas em solo tropical do Distrito Federal, em que procura-se obter a capacidade de carga lateral, ao longo do fuste, e na base dos tubulões.

Para Albuquerque (2001), a complexidade em compreender o mecanismo de distribuição de carga para avaliar a carga de base e a distribuição do atrito lateral, as características, fundamentam a necessidade da utilização de provas de carga. Estes ensaios permitem verificar aspectos importantes como a capacidade de carga e os deslocamentos do elemento de fundação.

Em tubulões, as provas de carga estática têm a finalidade de comprovar a capacidade do elemento de resistir à carga axial para a qual foi projetada e auferir informações detalhadas dos recalques, a fim de obter valores de resistência por atrito lateral e resistência de base. No Brasil, as provas de carga estática são normalizadas pela NBR 16903 (ABNT, 2020), em substituição a NBR 12131 (ABNT, 2006) que pode ser aplicada a todos os tipos de estacas, tanto verticais como inclinadas, independente do processo de execução e instalação no terreno.

2. ESTUDO EXPERIMENTAL

Na região do Distrito Federal há uma notável predominância das argilas siltosas lateríticas porosas residuais, sobrejacentes a um manto rochoso constituído por quartzitos, ardósias, filitos e siltitos. A textura e composição mineralógica desses solos são função da rocha subjacente e dos processos de intemperismo, como a laterização.

No local de estudo, foram executadas cinco sondagens de simples reconhecimento - SPT, conforme a NBR 6484 (ABNT, 2021), para caracterizar as condições do local. A estratigrafia do solo é apresentada na figura 1. Uma camada de argila arenosa vermelha (solo laterítico), muito mole a mole, com espessura de até 5m e N_{SPT} entre 2 e 6 golpes cobre um grande depósito de areia siltosa, com valores de N_{SPT} de até 30 golpes. A camada final é caracterizada por uma areia siltosa, intercalando com um silte argiloso, compacto a muito compacto e valores de N_{SPT} constantes a partir dos 14 m de profundidade (solo residual) na maioria dos furos apresentados. O lençol freático foi encontrado a uma profundidade de 13 m abaixo da superfície.

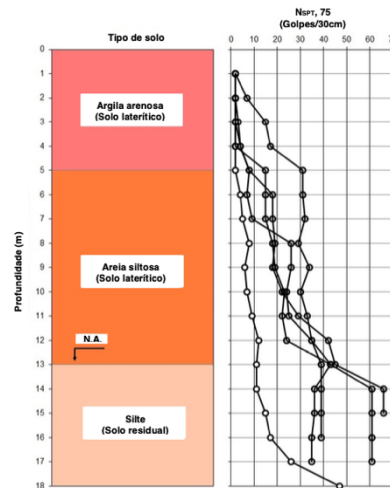


Figura 1 – Perfil do solo da área de estudo

Para o estudo experimental foram realizadas cinco provas de carga estáticas identificadas como PC04, PC05, PC10, PC11 e PC12, em tubulões com diâmetro de fuste de 0,6 m e bases de 1,2 m (PC10; PC11 e PC12) e 1,3 m (PC04 e PC05). As profundidades dos tubulões foram PC04 = 10,1 m; PC05 = 14,4 m; PC10 e PC11 = 8,9 m e PC12 = 14,4 m e para execução utilizou-se uma perfuratriz sobre caminhão para a escavação do fuste e alargamento da base manualmente. O concreto utilizado para preenchimento foi de 35 MPa. A figura 2 mostra a distribuição das provas de carga na área de estudo e a figura 3 apresenta detalhe do tubulão tipo ensaiado.

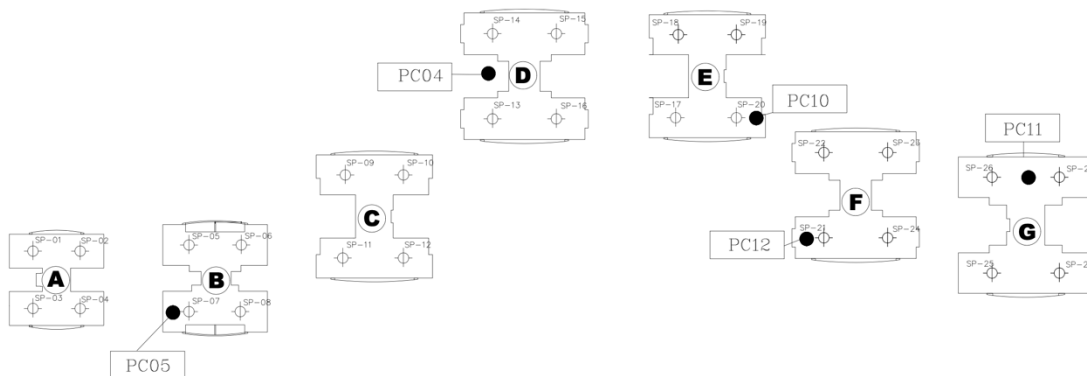


Figura 2 – Distribuição das provas de carga no empreendimento

O sistema de reação contou com uma viga metálica ancorada em dois tubulões de reação, com diâmetro de fuste 1 m sem alargamento da base, afastados 2,65 m eixo a eixo do tubulão ensaiado, conforme figura 4. Os comprimentos variaram entre 8 a 18 m, preenchidos com concreto de 30 MPa.

Os dois tubulões de reação tinham tirante ao longo de todo seu comprimento e trabalhavam como elementos tracionados, com capacidade de tração de pelo menos 50% superior a máxima carga prevista para a prova de carga, com distância mínima entre o sistema de reação e o tubulão ensaiado de três vezes o diâmetro da maior seção transversal, conforme NBR 16903 (ABNT, 2020).

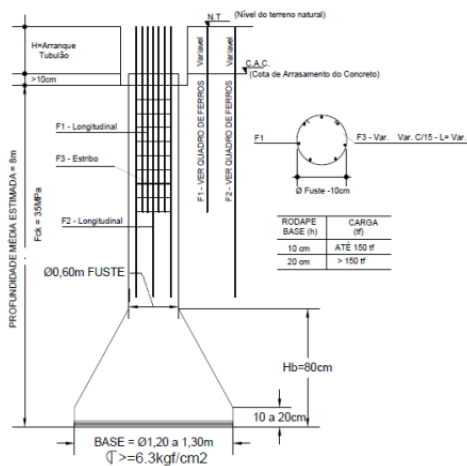


Figura 3 – Perfil genéricos dos tubulões.

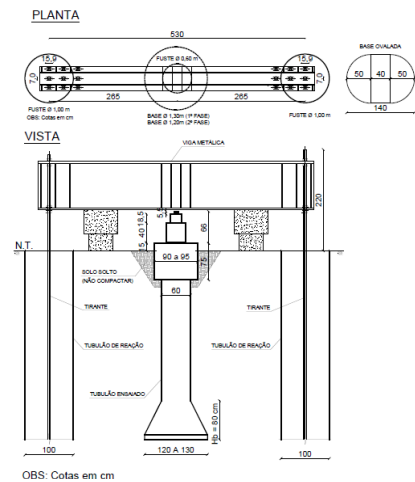


Figura 4 – Sistema de reação

Para aplicação da carga, utilizou-se um macaco hidráulico com capacidade de 2000 kN. A leitura da carga aplicada foi feita com célula de carga elétrica e unidade de leitura de marca com capacidade de 2000 kN. Para a leitura dos deslocamentos, utilizaram-se seis extensômetros, sendo quatro no topo, diametralmente opostos, e dois nas laterais, conforme figuras 5a e 5b.



Figura 5a – Vista geral.



Figura 5b – Vista detalhada

3. RESULTADOS E ANÁLISES

A metodologia proposta por Camapum de Carvalho et al. (2008, 2010), analisa o coeficiente de recalque/deslocamento (α) plotado em relação as cargas e se baseia no ensaio de adensamento em laboratório. Os coeficientes são extraídos do gráfico plotado em escala logarítmica em tratamento semelhante ao ensaio de adensamento,

para cada carregamento, da parte final linear das curvas de recalque (mm) em função do tempo.

O gráfico resultante apresenta três segmentos de reta, onde o primeiro trecho define o início das deformações plásticas do sistema fuste-solo, ou seja, o domínio do atrito. O segundo trecho é caracterizado pela mobilização da ponta e o terceiro representa início das deformações plásticas do solo na ponta da estaca (Figura 6).

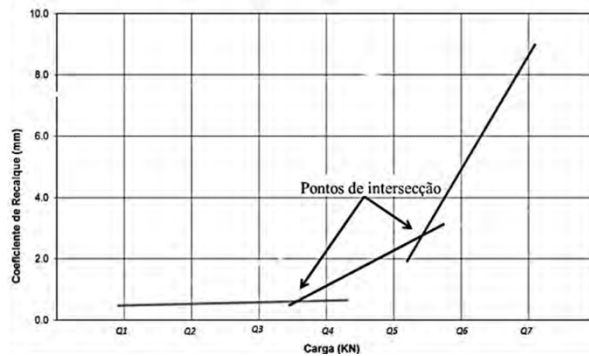


Figura 6 – Carga vs coeficiente de recalque (Camapum et al. 2010)

A partir dos resultados das provas de carga, foram possíveis obter os gráficos em termos de recalque último medido em função da carga aplicada. Para a PC04 na carga de 1050 kN (Figura 7); PC05 na carga de 680 kN (Figura 8); PC10 na carga de 1100 kN (Figura 9); PC11 na carga de 850 kN (Figura 10) e PC12 na carga de 1300 kN (Figura 11). As mudanças de comportamento ficam mais evidentes em função do logaritmo da carga.

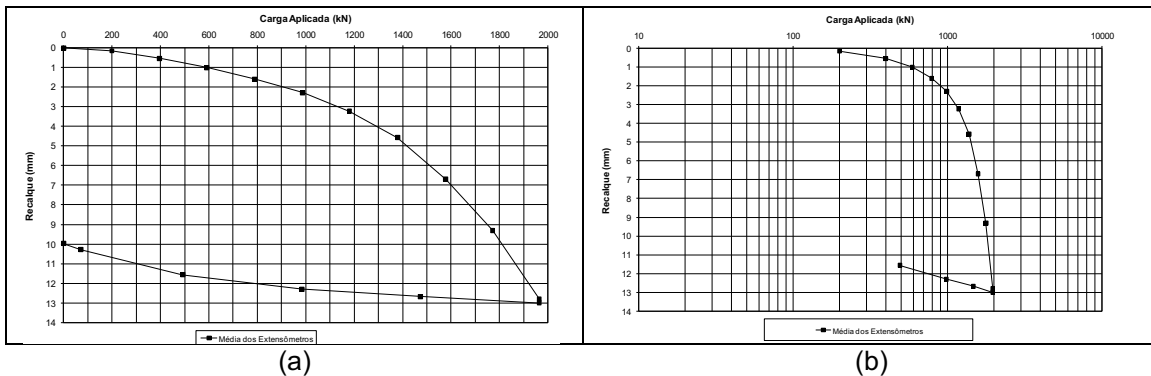


Figura 7 – Curva carga vs deslocamento convencional (a) e logaritmo (b) – PC 04

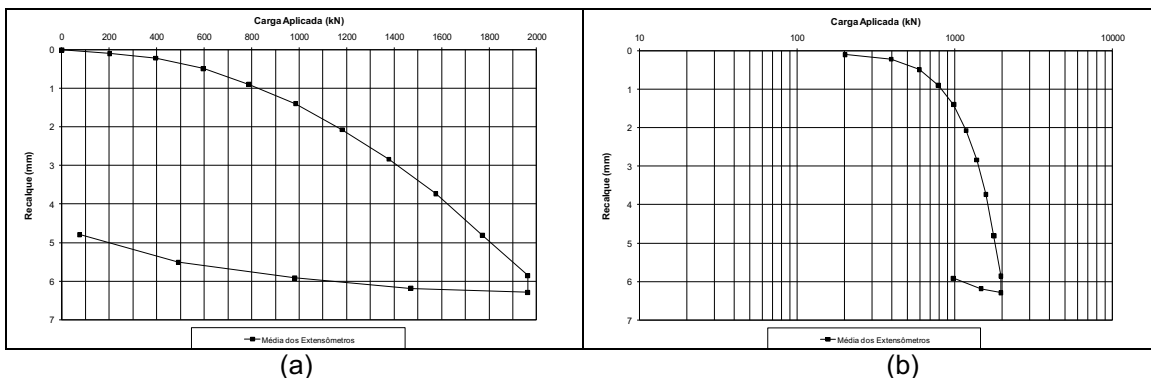
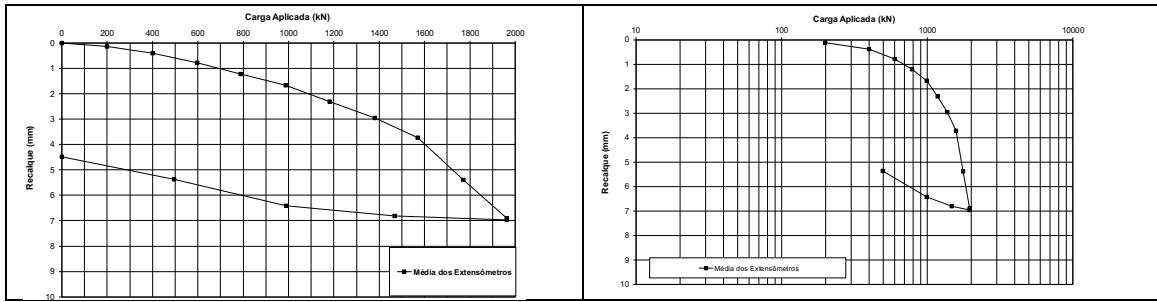
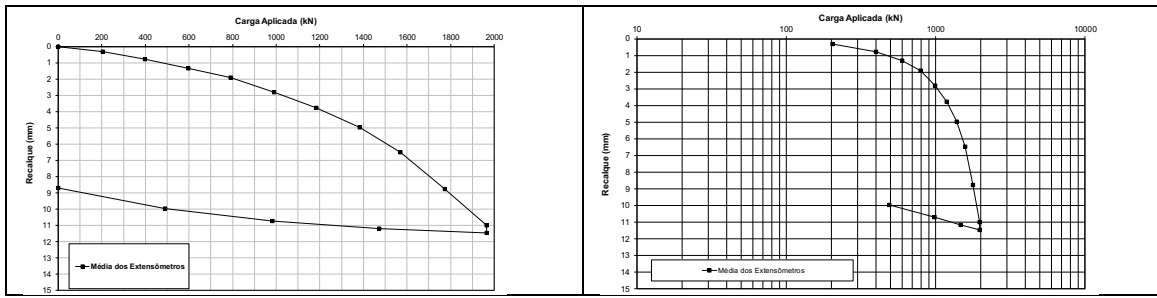


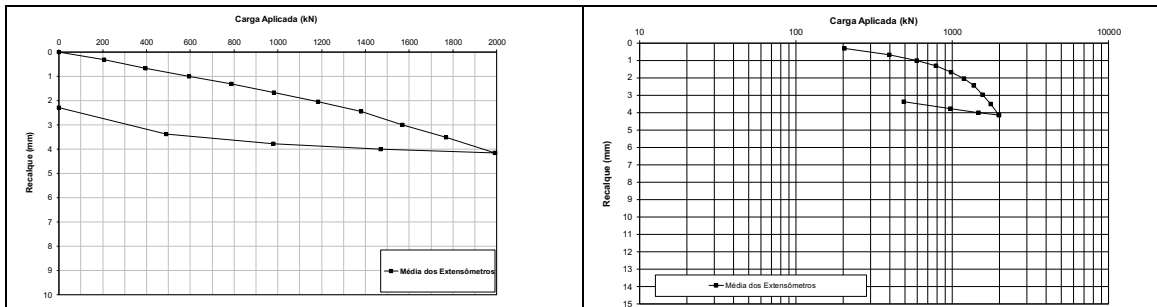
Figura 8 – Curva carga vs deslocamento convencional (a) e logaritmo (b) – PC 05



(a) (b)
 Figura 9 – Curva carga vs deslocamento convencional (a) e logaritmo (b) – PC 10



(a) (b)
 Figura 10 – Curva carga vs deslocamento convencional (a) e logaritmo (b) – PC 11



(a) (b)
 Figura 11 – Curva carga vs deslocamento convencional (a) e logaritmo (b) – PC 12

Na Figura 12 mostra as curvas carga vs recalque indicando as linhas de tendência e suas equações nos trechos verificados. Estes gráficos são ilustrativos e auxiliares, e têm como finalidade uma melhor compreensão da aplicação da metodologia.

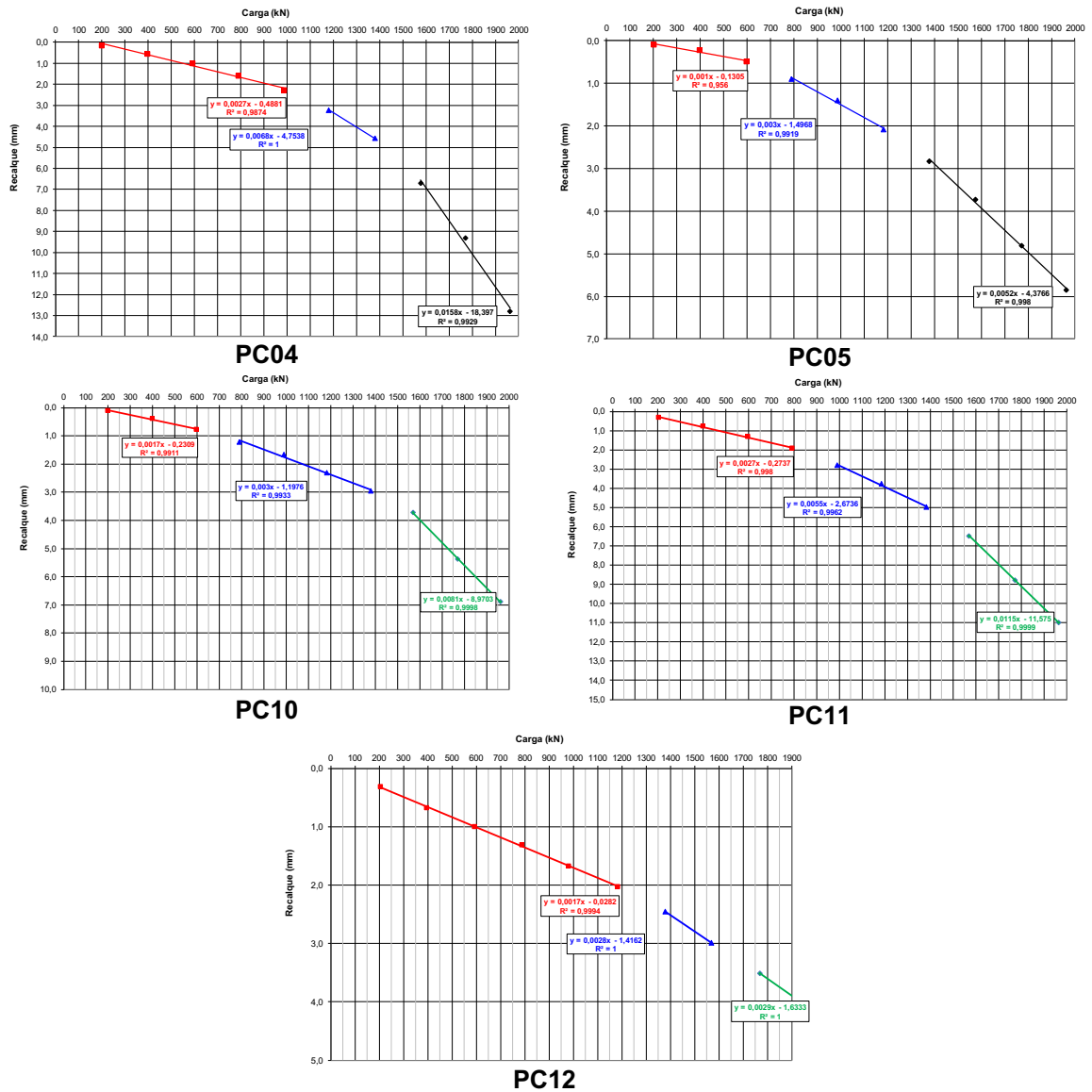


Figura 12 - Curva carga vs deslocamento - Equações dos trechos destacados

As Figuras 13 a 16 mostram os recalques imediatos acumulados e os recalques por adensamento e/ou secundário acumulados em função das cargas aplicadas para as provas de carga. Para a PC12, não foi possível à análise do recalque imediato e secundário em função do pequeno deslocamento apresentado.

As curvas indicam, de modo aproximado, as mudanças no comportamento dos tubulões. O conjunto bloco de coroamento e fuste começam a trabalhar até o 1º ponto de intersecção, sofrendo pequenos recalques com o carregamento aplicado. A partir deste carregamento o conjunto bloco de coroamento, fuste e base começam a trabalhar de modo integrado.

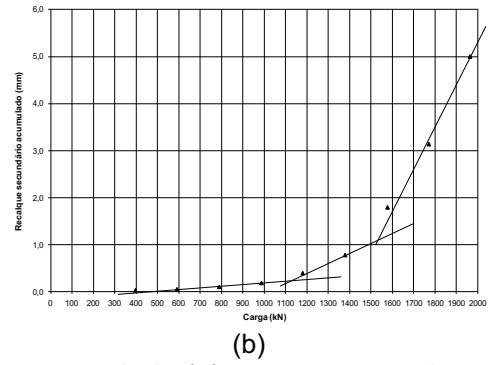
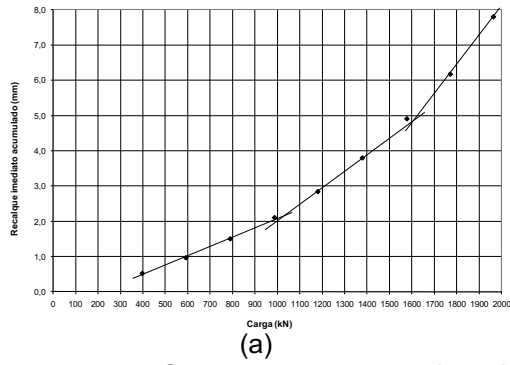


Figura 13 – Curvas carga vs recalque imediato acumulado (a) e carga vs recalque secundário acumulado (b) – PC 04

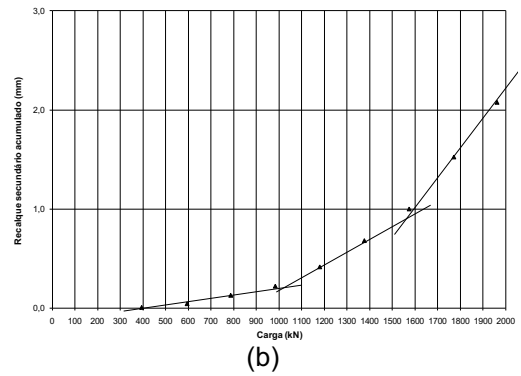
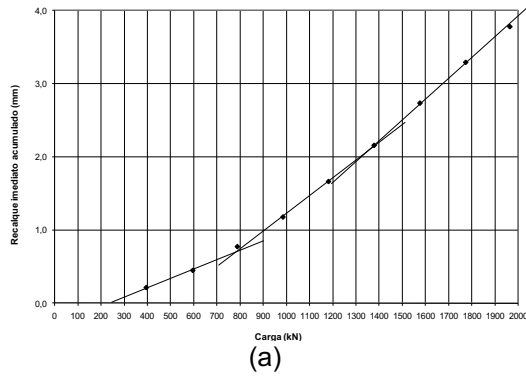


Figura 14 – Curvas carga vs recalque imediato acumulado (a) e carga vs recalque secundário acumulado (b) – PC 05

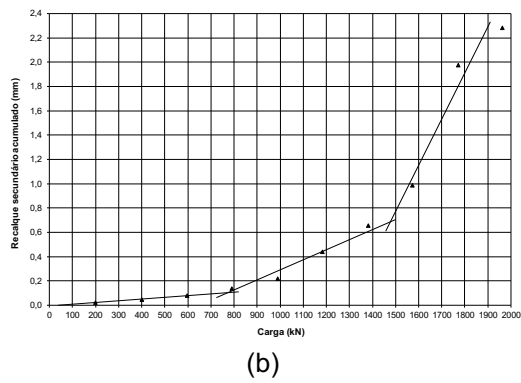
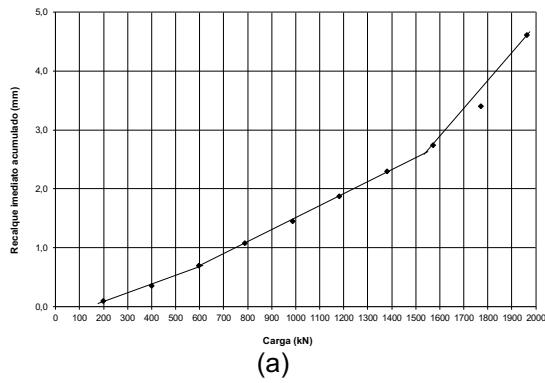


Figura 15 – Curvas carga vs recalque imediato acumulado (a) e carga vs recalque secundário acumulado (b) – PC 10

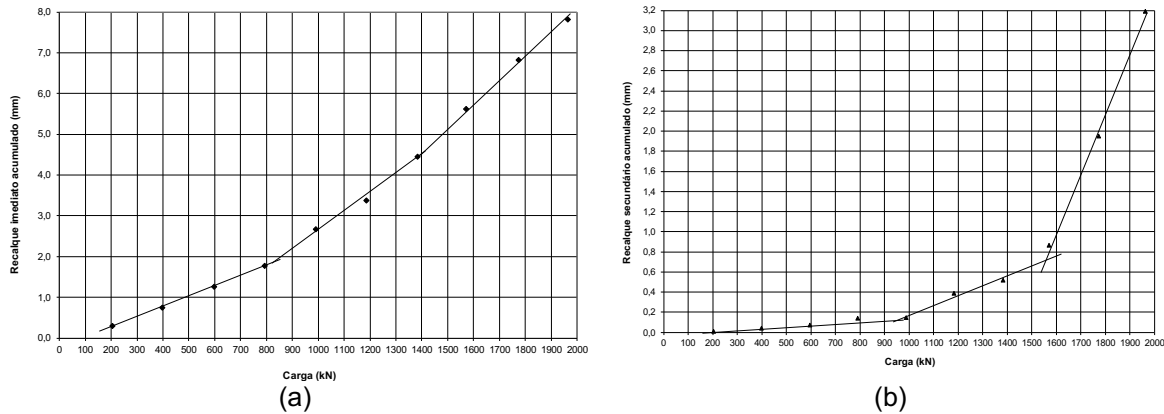


Figura 16 – Curvas carga vs recalque imediato acumulado (a) e carga vs recalque secundário acumulado (b) – PC 11

Analisando os gráficos mostrados nas Figuras 12 a 15, são indicadas quatro situações que mostram o comportamento da fundação (tubulão e bloco de coroamento), conforme mostra o Quadro 1.

Quadro 1 – Cargas identificadas nas fases dos carregamentos

Prova de carga	Situação 1	Situação 2	Situação 3	Situação 4
PC 04	1030 kN	1600 kN	1125 kN	1530 kN
PC 05	790 kN	1380 kN	980 kN	1570 kN
PC 10	590 kN	1540 kN	780 kN	1485 kN
PC 11	840 kN	1405 kN	950 kN	1570 kN

Situação 1 – Carga com a qual tem-se o início do trabalho do fuste e bloco de coroamento (ocorrendo poucos recalques)

Situação 2 – Valor em que se inicia a contribuição do conjunto bloco de coroamento, fuste e base de modo integrado até a carga indicada

Situação 3 - Nos recalques por adensamento e/ou secundário acumulados em função das cargas aplicadas no tubulão, observou-se que o bloco de coroamento e fuste começam a trabalhar com pequenos recalques até próxima a carga assinalada.

Situação 4 - Após a carga indicada na situação 3, o conjunto bloco de coroamento, fuste e base concorrem de modo integrado até aproximadamente carga indicada.

A partir dos carregamentos do conjunto solo-estrutura dos tubulões, indicou-se sinais de plastificação global, o que não significa necessariamente a ruptura dos tubulões, apenas aponta para a carga a partir da qual os recalques passam a ser mais relevantes.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados das provas de carga aplicando a metodologia de Camapum de Carvalho et al. (2008, 2010) foram analisados os gráficos de recalque imediato e secundário acumulados em função da carga aplicada para cinco provas de carga em tubulão. O conjunto das análises permitiu verificar que a metodologia apresenta boa acurácia, identificando a região de domínio do atrito lateral, ponta e plastificação do solo na mobilização da fundação como um todo, bloco de coroamento, fuste e base dos tubulões, dependendo do nível de deformação e das regiões.

Ao comparar os resultados obtidos pelo método de Camapum de Carvalho et al. (2008), pode-se afirmar que há uma aproximação das cargas, confirmando as previsões dos autores para um solo tropical do Distrito Federal. Portanto, o método constitui numa ferramenta importante para a análise das cargas mobilizadas ao longo do fuste e base de tubulões.

É importante salientar que a análise dos resultados não se restringe à determinação da capacidade de carga, mas vai além, estabelecendo os domínios do atrito, ponta e plastificação.

Destaca-se a importância de mais estudos sobre o emprego da metodologia que possibilite comparação das análises de provas de cargas convencionais, utilizando o método, com resultados de provas de carga instrumentadas.

REFERÊNCIAS

- ABNT NBR -6484 (2001). Solo — *Sondagens de simples reconhecimentos com SPT – Método de ensaio*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 17p.
- ABNT NBR 12131 (2006). Solo — *estacas – prova de carga estática – Método de ensaio*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 8p.
- ABNT NBR 16903 (2020). Solo — *Prova de carga estática em fundação profunda*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 11p.
- Albuquerque, P.J.R. (2001). *Estaca escavadas, hélice contínua e ômega: estudo do comportamento à compressão em solo residual de diabásio, através de provas de carga instrumentadas em profundidade*. Tese de Doutorado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, SP, 260 p.
- Camapum de Carvalho, J., Silva, C.M.; Aquino, F.R.; Aguiar, L.A.; Mota, N.M.B; Albuquerque, P. J. R. (2010). *Análises dos Resultados de Provas de Carga Estáticas sobre Fundações Profundas*. In: COBRAMSEG, 2010, Gramado, RS. Engenharia Geotécnica para o Desenvolvimento: Inovação e Sustentabilidade. São Paulo: ABMS, v. 1, v. 1, p. 1-8.
- Camapum de Carvalho, J., Silva, C.M.; Paolucci, H.V.N.; González, Y.V; Valencia, L.A.L. (2008). Considerações sobre à análise dos resultados de provas de carga estáticas. In: Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia - SEFE, 6, 2008, São Paulo. Anais... São Paulo: ABMS. v. 1, p. 355-369.
- Castro Neto, J.R.; Faustino, C.L.; Albuquerque, P.J.R. (2019) *Avaliação da Transferência de Carga em Profundidade de Estacas Hélice Contínua com Base no Conceito do Adensamento Unidimensional*. In: Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia - SEFE, 9, 2019, São Paulo. Anais... São Paulo: ABMS. p. 1-9.
- Silva, C.M. (2011). Energia e Confiabilidade Aplicadas aos Estaqueamentos Tipo Hélice Contínua. Tese de Doutorado, Publicação G.TD - 070/11, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 311p.