

APRESENTAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE PROVA DE CARGA MONITORADA EM PERFIL METÁLICO PARA FUNDAÇÃO DE PRÉDIO ALTO NA CIDADE DE BELÉM-PA

Júlio Augusto de Alencar Jr., M.Sc., Ph.D. – Prof. Associado
U.F.Pa – julioalencar.1957@gmail.com

Remo Magalhães de Souza, M.Sc, Ph.D.; Sócio/Diretor Técnico
Dynamis Techne; remo@dyntech.com.br

Cristiano Comin, Mestrando em Eng^a Civil; Eng^o Civil
Dynamis Techne; Cristiano.comin@dyntech.com.br

Gabriel Soto Banha, Eng^o Civil
Solos Consultoria e Projetos Geot. Ltda; solosconsultoria@gmail.com

Eduardo Tagliarini, Graduando em Eng^a Civil
Dynamis Techne; tagliarini@gmail.com

RESUMO:

O trabalho apresenta os resultados do monitoramento de uma estaca tipo perfil metálico durante prova de carga estática. A estaca, cravada para fundação de edifício de 30 andares na cidade de Belém do Pará, tem 30m de comprimento total, sendo 29m cravados. A instrumentação foi realizada com medidores de deformação elétricos (*electric strain gages*) em 04 níveis ao longo do comprimento da estaca e o carregamento final atingiu 225tf, correspondente a, aproximadamente, 1.6 vezes a carga de trabalho da estaca.

A estratigrafia do solo, no local de cravação da estaca foi determinada por sondagem SPT executada próximo à estaca testada, e mostra que a ponta da estaca está assente em camada de areia compacta. O monitoramento mostrou que a transferência de carga para o solo aconteceu quase que totalmente por atrito lateral tendo menos de 20% do carregamento chegado à ponta da estaca. O recalque residual, após o descarregamento, foi praticamente nulo, o que indica que a deformação do solo abaixo da ponta da estaca ficou restrito à sua parcela elástica, o que se mostrou coerente com as medições de carga feita pela instrumentação ao longo do fuste da estaca.

ABSTRACT:

The paper presents the results of monitored static load test of a steel pile. The pile was driven for the foundation of a 30 store building in the city of Belém, State of Para. The pile is 30m long and driven 29m below ground surface. The monitoring was made using electric strain gages in four different levels along the pile shaft, and the maximum load reached 225 tons, which is, approximately, 1.6 times its working load.

The soil stratigraphy in the area near the pile was determined by Standard Penetration Tests survey executed close to the pile, and it shows that the pile toe is founded in compact sand. The monitoring showed that the transference of the load occurred almost completely by lateral friction, with less than 20% of the total load reaching the pile toe. The residual settlement, after unloading, was nearly zero, what indicates that the deformation of the soil under the pile toe was almost completely elastic, which is in accordance with the monitoring results along the pile shaft.

INTRODUÇÃO:

O dimensionamento geotécnico de estacas, cravadas, escavadas ou injetadas, pressupõe, necessariamente, o conhecimento da distribuição de tensões ao longo de seu fuste e na ponta. A hipótese assumida para tal distribuição é determinante para o cálculo de capacidade de carga e recalque da estaca. O grau de acerto desses valores está diretamente ligado e condicionado ao grau de acerto da hipótese assumida para a distribuição de tensões ao longo da estaca.

Apesar de ser elemento de importância fundamental para o entendimento e previsão do comportamento de estacas, o estudo da distribuição de tensões em estacas tem sido pouquíssimo estudado, prevalecendo as estimativas de comportamento com base em correlações puramente empíricas, o que compromete as previsões de capacidade de carga e de recalque. Mas, especialmente, a estimativa de recalques, onde não se aplica o conceito de fator de segurança, e não se pode, como no caso de cálculo de capacidade de carga em relação à

ruptura, simplificar o problema assumindo-se a condição de ruptura ao longo de uma superfície, na qual se pode definir uma distribuição de tensões com base em um critério de ruptura, tipo Mohr-Coulomb, por exemplo, e após calculada a carga máxima, dividi-la por um fator de segurança.

Assim, na grande maioria dos casos o recalque de estacas não é calculado, assumindo-se a hipótese de que aumentando-se o coeficiente de segurança em relação à ruptura, reduz-se necessariamente o recalque. Isto além de não ser necessariamente verdade, não possibilita a quantificação do recalque. E mesmo quando se calcula os recalques, utilizando processos com certo nível de sofisticação matemática, como por exemplo o proposto por Aoki e Lopes (1975), com frequência, usa-se como distribuição de tensões ao longo do fuste, valores baseados em métodos semi empíricos, baseados unicamente no SPT e tipo de solo, os quais, como é de amplo conhecimento, não são confiáveis para esse fim, além de se proporem a prever ruptura, e portanto, implicam um outro nível e outra distribuição de tensões.

Não há possibilidade de entender-se, e prever-se, o comportamento de estacas, de forma precisa, sem o conhecimento da distribuição de tensões ao longo de seu comprimento. Por outro lado, tem-se atualmente ampla disponibilidade de medidores de deformação e equipamentos que possibilitam, através do monitoramento de estacas, o conhecimento dessa distribuição. Assim, consideramos fundamental, e, na realidade, a única maneira, para que se possa evoluir no entendimento do comportamento de estacas, investir-se tempo e recursos no monitoramento de estacas em campo. Tais conhecimentos promoverão maior nível de precisão das previsões, e maior economia nos projetos.

O presente trabalho apresenta os resultados de prova de carga estática, de carregamento lento, em conformidade com a Norma Brasileira NBR 12131-2006, em estaca tipo perfil metálico, cravada para fundação de prédio de 30 pavimentos, na cidade de Belém, com medição de carregamento em 04 níveis ao longo do fuste da estaca, por instalação de medidores de deformação elétricos (*strain gages*) e compara os resultados obtidos com o perfil de sondagem SPT executada próxima à estaca testada. Além disso, o artigo apresenta algumas informações práticas que poderão ser úteis aos profissionais que desejem instrumentar estacas do mesmo tipo.

PERFIL ESTRATIGRÁFICO DA ÁREA PRÓXIMA À ESTACA TESTADA

Sondagem tipo SPT executada a aproximadamente 3m da estaca testada é apresentada na figura 01:

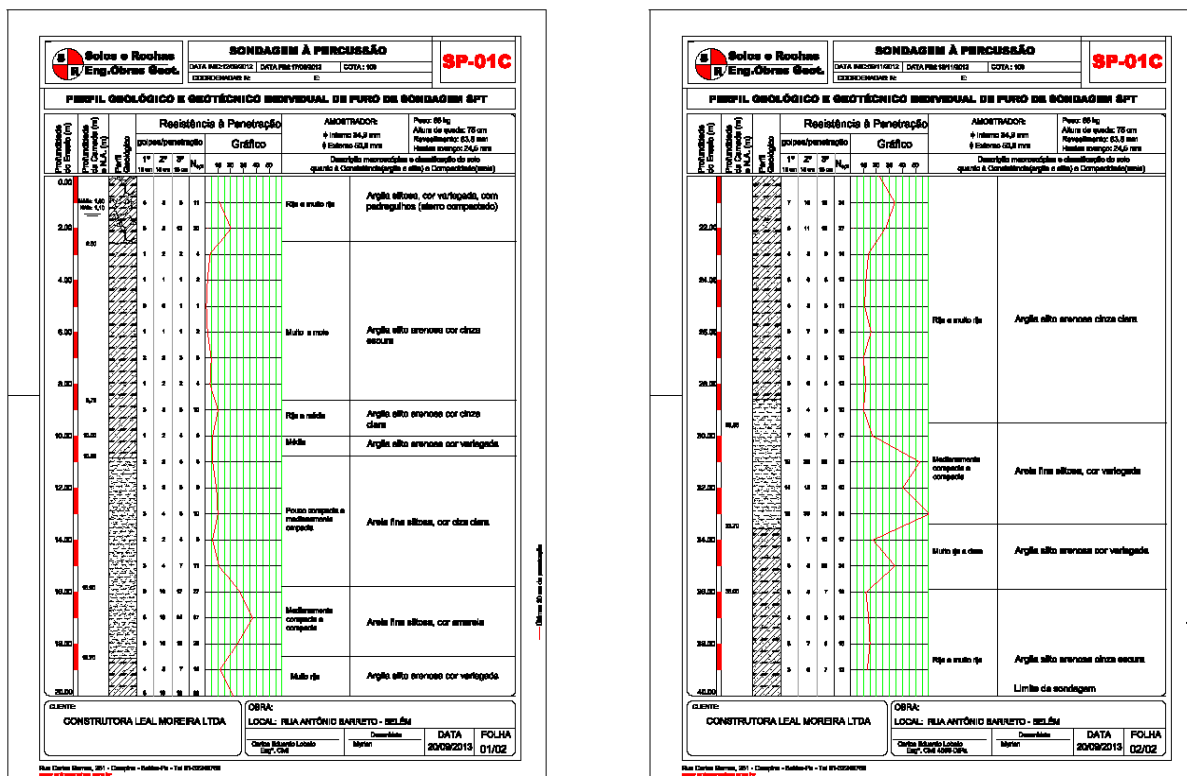


Figura 1 – Sondagem próxima à estaca testada

INSTRUMENTAÇÃO E MONITORAMENTO:

A estaca instrumentada é constituída por perfis metálicos laminados padrão ASTM A572 Gerdau 50, do tipo HP310x79, de fabricação da Gerdau Açominas, com comprimento total de 30m, sendo 29m cravados.

Para aferição da parcela de resistência devido ao atrito lateral na estaca ao longo da profundidade, instrumentou-se a mesma dividindo-se em 5 (cinco) seções, sendo a primeira localizada a 2,0m da ponta da estaca e as demais divididas a cada 6,0m, conforme ilustrado pela figura 5.

Para apuração de dados, em cada seção acima descrita, instalou-se 03 (três) extensômetros de resistência elétrica (*strain gages*), sendo 01 (um) extensômetro (SG - *Strain Gage*) a prova d'água instalado na alma do perfil, próximo à mesa do elemento, disposto de modo a obter as deformações da estaca no sentido longitudinal; e 02 (dois) extensômetros convencionais, também instalados na alma do perfil, próximo à mesa do elemento (na posição oposta e simétrica ao outro extensômetro), dispostos de modo a obter as deformações da estaca no sentido longitudinal e transversal (0° e 90°) (Figura 2).

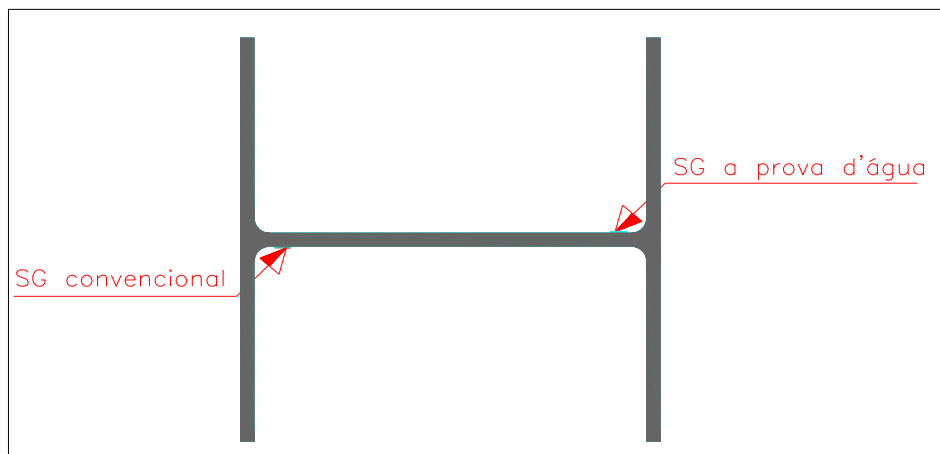


Figura 2 - Disposição dos sensores nas seções da estaca

PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS E RESULTADOS:

Para início, instalou-se os sensores (*strain gages*) buscando-se seguir um procedimento rigoroso e especial para total proteção dos mesmos, pois além de sofrerem impactos durante a cravação, o elemento de fundação ficou totalmente abaixo do nível d'água do terreno. Para a instalação, a superfície foi lixada previamente de modo a ficar isenta de poeira e oxidação, em seguida colou-se os sensores com adesivo tipo cianoacrilato. Prosseguiu-se assim com a aplicação de uma camada de adesivo epóxi (Figura 3), em seguida executou-se uma segunda proteção composta de borracha de silicone e massa plástica. Com os sensores protegidos, passou-se os cabos dos mesmos através de eletrodutos flexíveis e fixou-se os mesmo com massa plástica ao perfil. Por último, utilizou-se lã de vidro e uma chapa metálica para proteção tanto dos sensores quanto dos eletrodutos (Figura 4).



Figura 3 - Proteção dos sensores a prova d'água



Figura 4 - Proteção dos cabos

A Figura 5 exibe uma vista esquemática da instrumentação e da proteção realizada nos sensores e a Tabela 2 apresenta a nomenclatura e identificação dos sensores instalados. Apesar de todas proteções realizadas nos sensores, alguns foram danificadas durante o processo de cravação dos perfis devido sua alta sensibilidade a impactos, porém todos sensores danificados foram identificados e os resultados que serão apresentados referem-se apenas aos sensores em perfeito funcionamento.

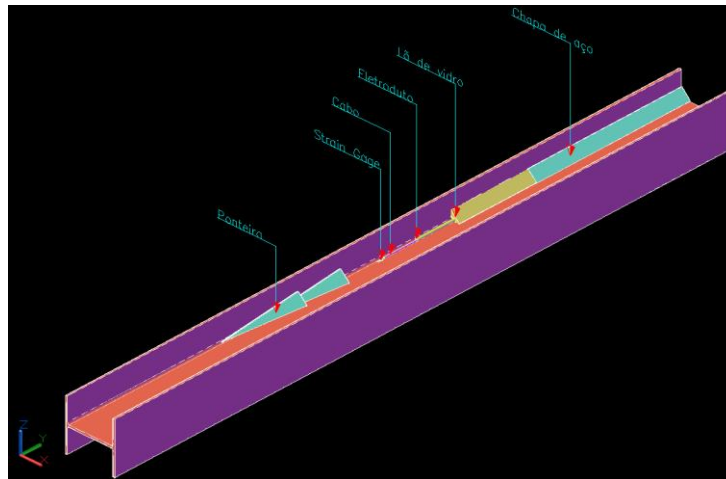


Figura 5 - Vista esquemática do processo de insumentação

Com o sistema de monitoramento pronto, iniciou-se a cravação dos perfis metálicos, processo este que durou do dia 31/10/2013 a 05/11/2013.

Monitorou-se todo o processo de cravação através dos sensores instalados e descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Nomenclatura e descrição dos sensores instalados nos perfis

Nome do Sensor	Identificação/Descrição
SEC1 SGN 0	Extensômetro instalado na seção 1 em sentido longitudinal.
SEC1 SGN 90	Extensômetro instalado na seção 1 em sentido transversal.
SEC1 SGPA	Extensômetro resistente à água instalado na seção 1 longitudinalmente.
SEC2 SGN 0	Extensômetro instalado na seção 2 em sentido longitudinal.
SEC2 SGN 90	Extensômetro instalado na seção 2 em sentido transversal.

SEC2 SGPA	Extensômetro resistente à água instalado na seção 2 longitudinalmente.
SEC3 SGN 0	Extensômetro instalado na seção 3 em sentido longitudinal.
SEC3 SGN90	Extensômetro instalado na seção 3 em sentido transversal.
SEC3 SGPA	Extensômetro resistente à água instalado na seção 3 longitudinalmente.
SEC4 SGN 0	Extensômetro instalado na seção 4 em sentido longitudinal.
SEC4 SGN 90	Extensômetro instalado na seção 4 em sentido transversal.
SEC4 SGPA	Extensômetro resistente à água instalado na seção 4 longitudinalmente.
SEC5 SGN 0	Extensômetro instalado na seção 5 em sentido longitudinal.
SEC5 SGN 90	Extensômetro instalado na seção 5 em sentido transversal.
SEC5 SGPA	Extensômetro resistente à água instalado na seção 5 longitudinalmente.
SEC6 SGN 0	Extensômetro instalado na seção 6 em sentido longitudinal.
SEC6 SGN 90	Extensômetro instalado na seção 6 em sentido transversal.
SEC6 SGPA	Extensômetro resistente à água instalado na seção 6 longitudinalmente.

Com o término da cravação da estaca, procedeu-se com o arrasamento da mesma. Com o intuito de confirmar as propriedades mecânicas do aço do perfil utilizado, como o módulo de elasticidade e o coeficiente de Poisson extraiu-se do perfil remanescente 3 espécimes (corpos de prova), sendo dois corpos de prova da mesa do perfil e um da alma.

Após extração os corpos de prova foram devidamente fresados, para atender a norma NBR 6152 – Materiais metálicos – Ensaio de tração à temperatura ambiente. Na Figura 6, pode-se observar o formato final do corpo de prova a ser ensaiado. Após instalação dos, colocou-se três em cada face dos corpos de prova (sendo dois sensores elétricos e um ótico), Figura 7.

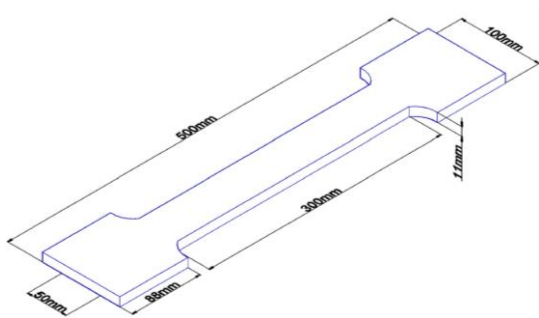


Figura 6 - Visão isométrica do corpo de prova

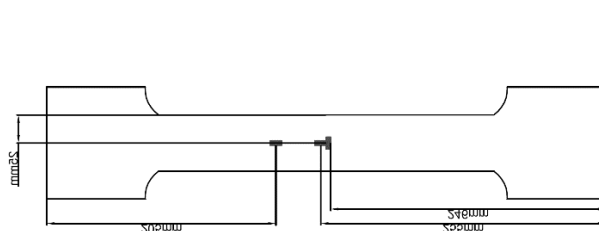


Figura 7 - Croqui dos sensores instalados nos corpos de prova

Executou-se o ensaio nos corpos de prova através de máquina universal em laboratório, sendo aplicadas cargas no intervalo de 2 toneladas até o limite de 20 toneladas. Calculou-se assim diversos módulos de elasticidade para cada um dos sensores instalados no corpo de prova e plotou-se todos os resultados em um gráfico de dispersão linear. De posse desses valores, realizou-se um estudo de regressão linear com o objetivo de se obter valores representativos de módulo de elasticidade, em cada estágio de carregamento. Obteve-se assim módulos de elasticidade variando entre 203,89GPa (para carregamento de 2.000Kgf) a 205,69GPa (para

o carregamento de 20.000Kgf). Esta diferença deve-se principalmente a maior dispersão dos dados no início do carregamento decorrente da falta de retilindade e acomodação do corpo de prova na máquina de ensaio.

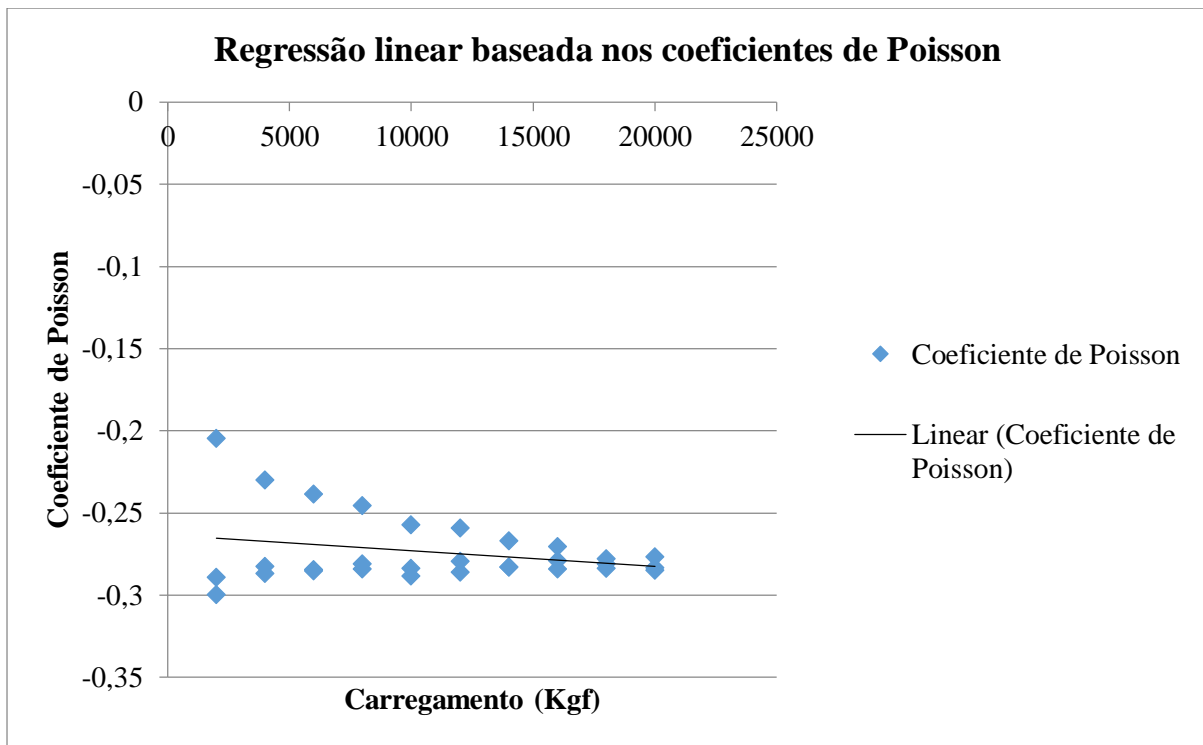


Figura 8 – Gráfico de dispersão e regressão linear dos coeficientes de Poisson

Nos dias 17/02/2014 e 18/02/2014 executou-se a prova de carga estática na estaca monitorada. Montou-se uma estrutura de reação a fim de se aplicar o carregamento com o macaco hidráulico e foram utilizados relógios comparadores a fim de obter-se os deslocamentos no topo da estaca. As deformações ao longo da estaca obtiveram-se a partir de aquisição dos dados dos sensores, utilizando-se o sistema de aquisição automático.

Na figura 9 pode-se observar os valores de deformação em função do carregamento para cada sensor instalado ao longo da estaca durante a prova de carga, em seguida observa-se na Figura 10 os valores de deformação já durante o processo de descarregamento e encerramento da prova de carga.

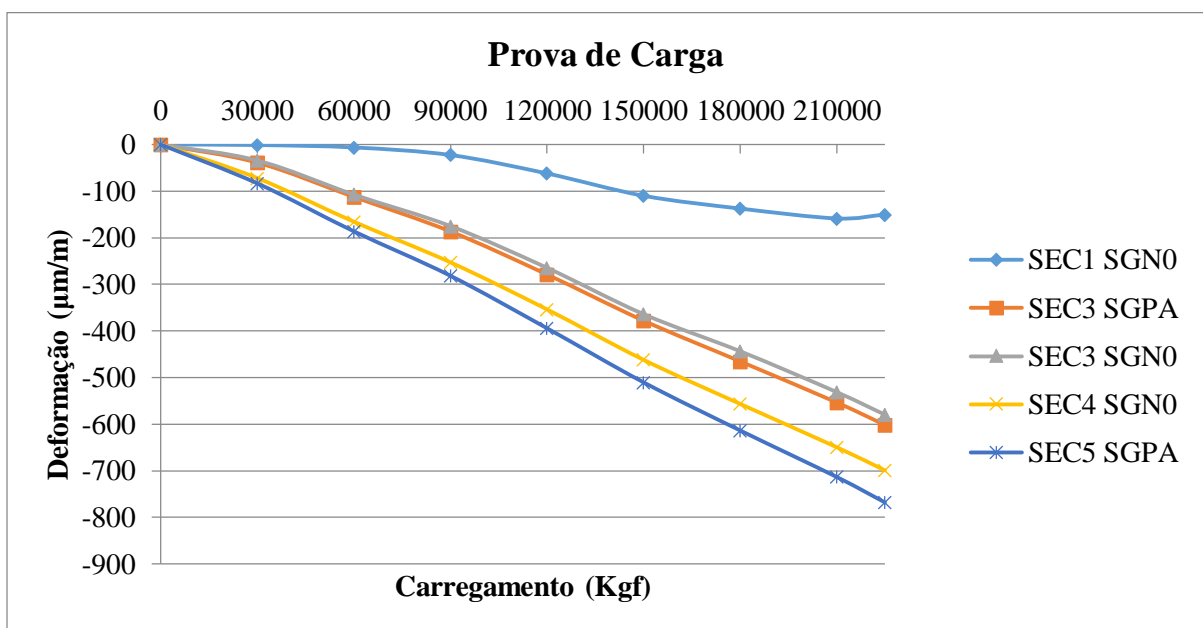


Figura 9 - Gráfico de deformação da estaca de acordo com a profundidade em função do carregamento

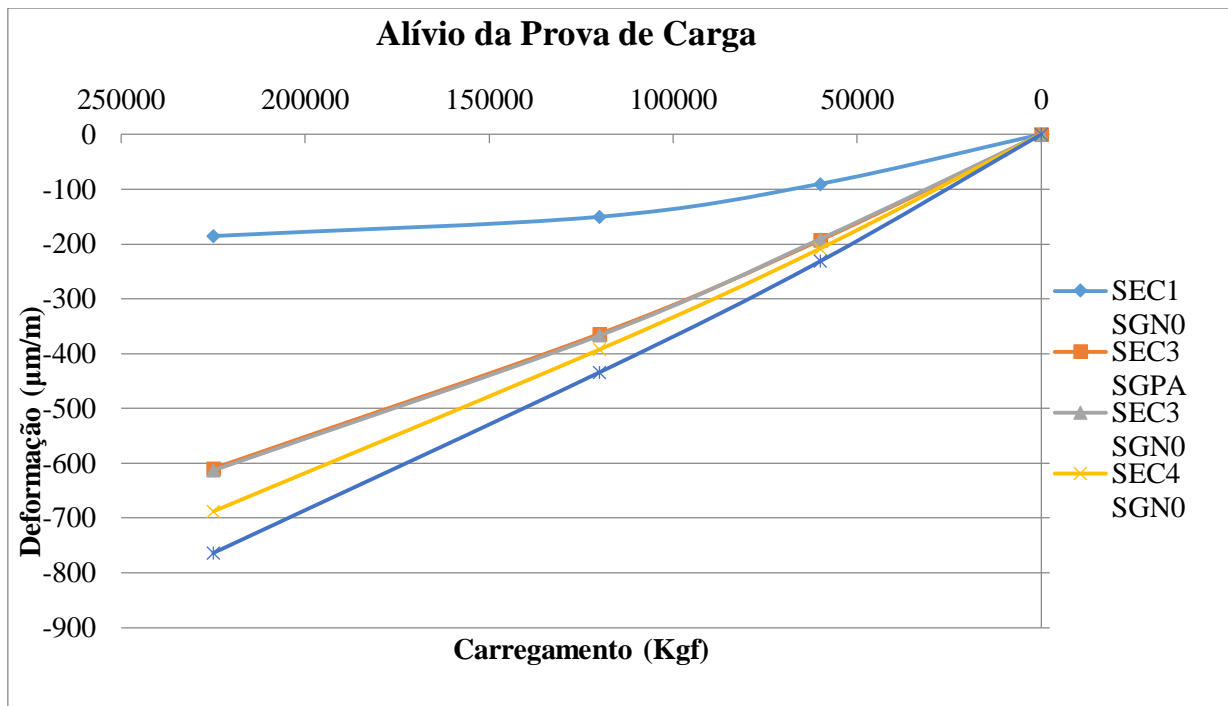


Figura 10 - Gráfico de deformação da estaca de acordo com a profundidade em função do descarregamento

Os coeficientes de Poisson nas seções instrumentadas em função do carregamento aplicado na prova de carga podem ser observados na Figura 11. Com todos os dados coletados determinou-se uma relação entre a profundidade e a carga atuante em cada ponto monitorado na estaca para cada nível de carregamento aplicado, conforme pode ser observado na Figura 12.

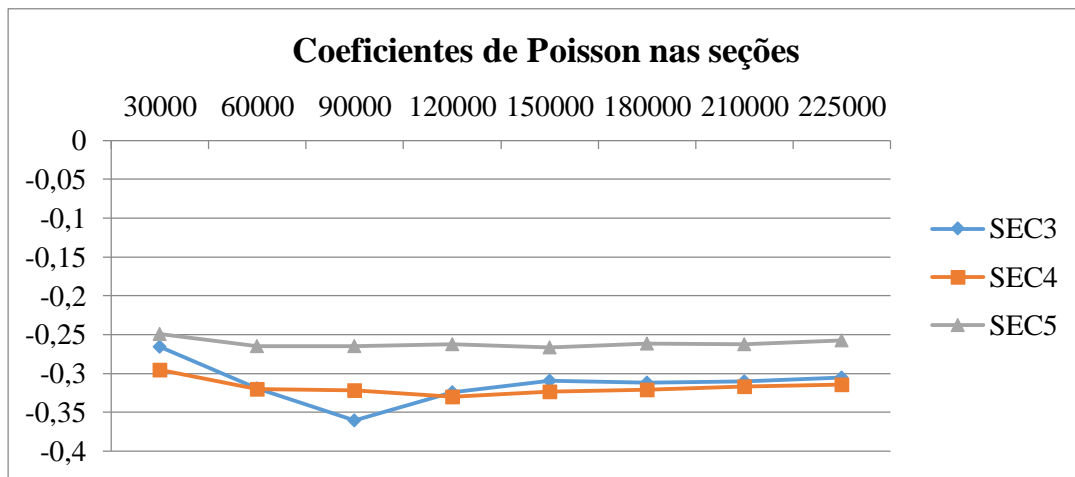


Figura 11 - Coeficientes de Poisson nas seções instrumentadas referentes ao carregamento na prova de carga

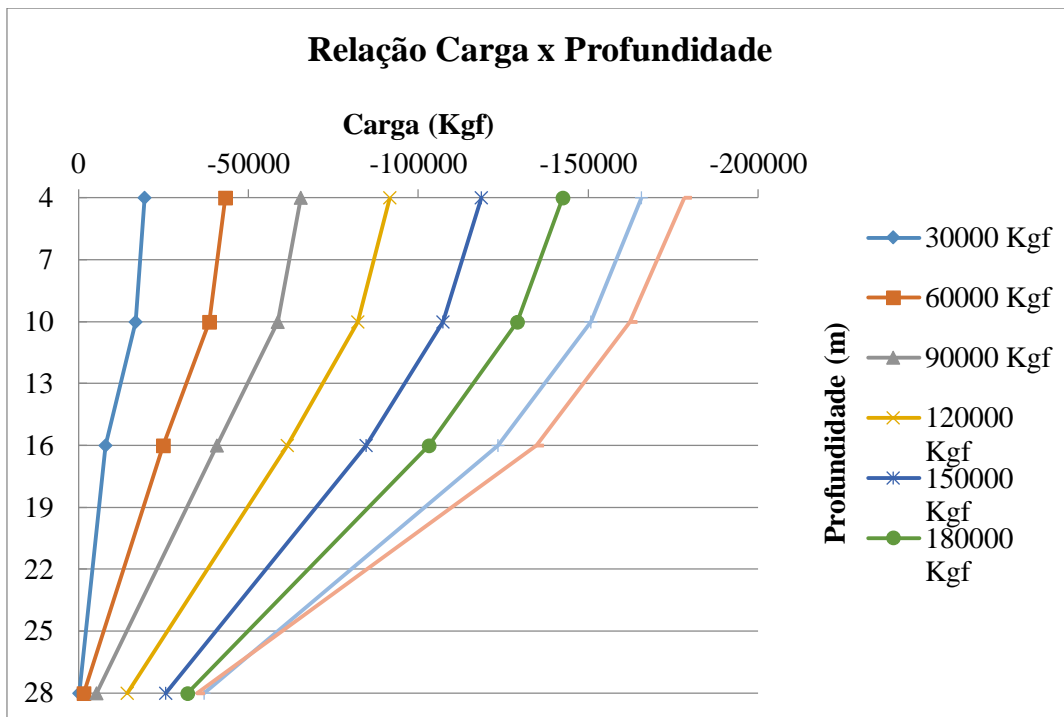


Figura 12 - Gráfico de relação carga x profundidade

Calculou-se também o encurtamento elástico da estaca em função de cada carregamento aplicado durante a prova de carga. Para isto, estimaram-se as deformações nos trechos intermediários (entre as seções instrumentadas) a partir de interpolação linear dos valores medidos. Posteriormente, o encurtamento elástico foi determinado a partir da integração das deformações médias nas seções ao longo da estaca. Na Figura 13 apresenta-se o gráfico que ilustra o encurtamento elástico em milímetros em função do carregamento aplicado.

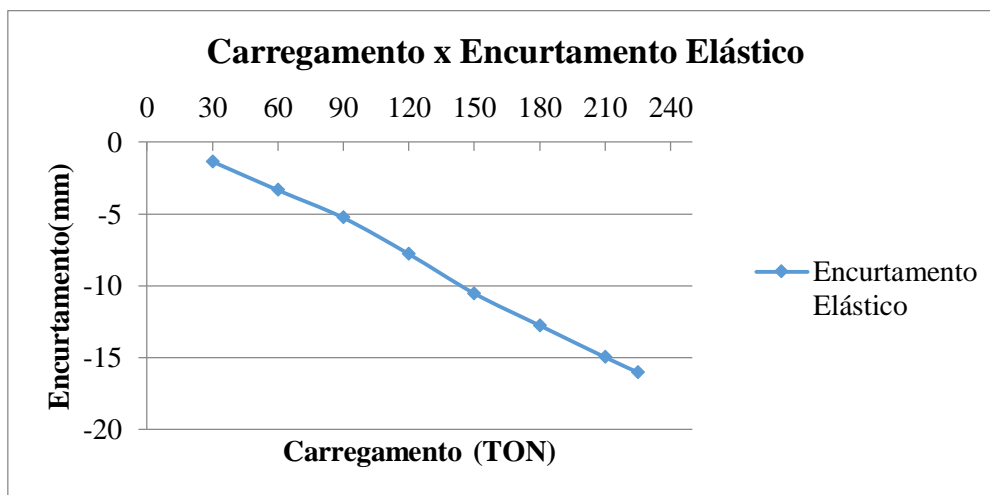


Figura 13 - Relação entre o carregamento e o encurtamento elástico da estaca

CURVA CARGA RECALQUE OBTIDA PELA PROVA DE CARGA ESTÁTICA:

O equipamento de cravação foi bate estacas com martelo à queda livre, de aproximadamente 3tf. A penetração para 10 golpes do martelo no final da cravação foi de 15mm. A prova de carga foi executada após período superior a 30 dias após a cravação.

A curva carga recalque obtida a partir da prova de carga estática está apresenta na figura 14:

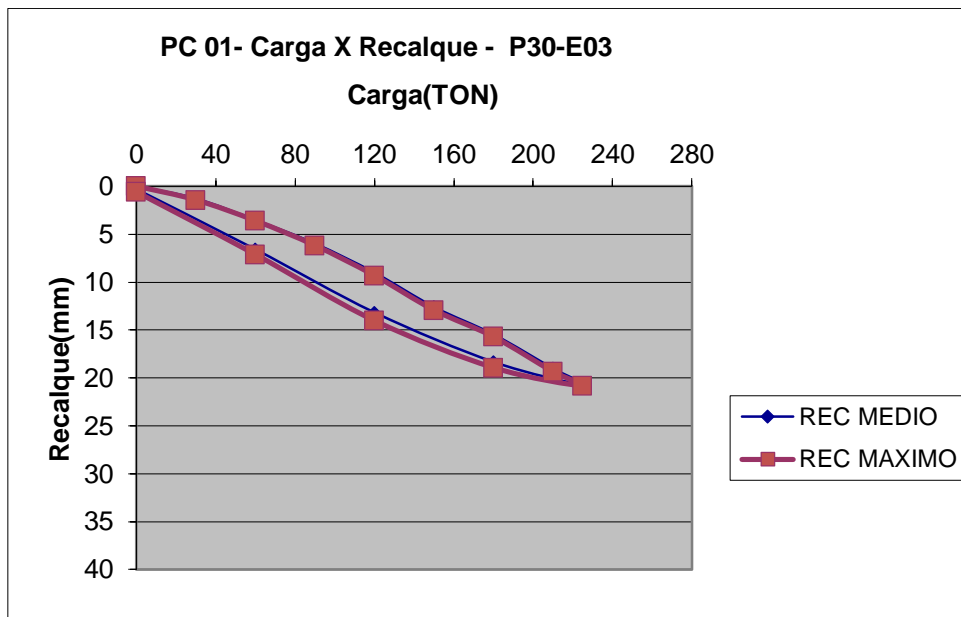


Figura 14 – Curva Carga c recalque

Observa-se pelos resultados que a deformação mobilizada na ponta da estaca restringiu-se à fase elástica, tendo o recalque residual, após o descarregamento, sido praticamente nulo. Isso é coerente com os resultados obtidos pela instrumentação, que indicaram que a 2m acima da ponta, o carregamento medido foi de, aproximadamente, 40 tons. O que significa que a carga mobilizada pela ponta, se mobilizada, foi muito baixa.

CONCLUSÃO:

A instrumentação com extensômetros elétricos de resistência se mostrou bastante apropriada para medição de deformações em seções em diferentes profundidades da estaca metálica, além dos importantes dados que pôde-se obter em laboratório para confirmação das características mecânicas do perfil utilizado, com os dois resultados consegue-se fazer uma comparação entre os dados obtidos.

O processo de proteção dos sensores foi satisfatório, embora alguns extensômetros tenham sido danificados durante o processo de cravação, mesmo com a proteção sendo cuidadosamente realizada, foi possível se estimar o encurtamento elástico para cada estágio de carregamento. Este valor de encurtamento elástico será útil para interpretação dos resultados de deslocamentos no topo da estaca, e permitirá inferir o deslocamento na ponta da estaca.

As medições de carga ao longo da profundidade se mostraram coerentes como o perfil indicado pela sondagem tipo SPT executada próxima à estaca testada. E os resultados da prova de carga estática, indicando o baixo nível de mobilização de resistência de ponta, evidenciado pelo recalque residual nulo, após o descarregamento, corroboram as medições realizadas pela instrumentação.

AGRADECIMENTOS:

Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará

Gerdal Aço Minas S/A

Construtora Leal Moreira Ltda

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

Aoki, N., and Lopes, F.R., 1975, Estimating stresses and settlements due to deep foundations by theory of elasticity

NBR 12131:2006 – Estacas – Prova de carga estática – método de ensaio