

DATA: 18 DE OUTUBRO 2013  
HORÁRIO: 8H 30 ÀS 18H  
LOCAL: CLARION HOTEL  
BELO HORIZONTE



## CRAVAÇÃO COM MARTELO HIDRÁULICO

### Ivan Vianna

Iniciou relatando a evolução dos equipamentos de cravação de estacas ao longo do tempo, indo desde o bate estacas projetado por Leonardo Da Vinci, passando pelos bate estacas ingleses do século XVIII, demais bate estacas tipo queda livre, bate estacas a vapor, a diesel e chegando aos modernos martelos hidráulicos desenvolvidos nos anos 70 e aperfeiçoados na década de 90. Fez em seguida um histórico das principais Formulas Dinâmicas de Cravação a partir de 1825 (Holandeses), ENR (1888) Hiley (1925), Dinamarqueses (1957) quando as cargas de estacas eram baixas, os martelos eram tipo queda livre ou vapor ou diesel e não era possível medir eficiência do sistema martelo-estaca-solo. Comentou sobre o enorme trabalho desenvolvido na década de 30 por um grupo de engenheiros geotécnicos de então, incluindo Terzaghi, Proctor, Peck, Casagrande sobre Formulas Dinâmicas que resultou em publicações da ASCE em 1941 sem que houvesse um consenso além de que suas aplicações não eram precisas. Em 2011, esse trabalho foi ressaltado na publicação de Likins, Fellenius e Holtz que concluem pelo uso de PDA e método CAPWAP para melhor avaliação de capacidade de carga de estaca. Faz um exercício numérico com a Formula de Brix aplicando o fator de eficiência 2 quando se usa o martelo hidráulico ao invés do martelo queda livre. Conclui citando a NBR 6122 onde as fórmulas dinâmicas baseadas na NEGA visam principalmente assegurar a homogeneidade das estacas cravadas, informa que o critério de REPIQUE em todas as estacas toma tempo, oferece riscos e não deveria ser usado para avaliação de carga; sugere desenvolvimento de trabalhos usando ensaios PDA somados ao monitoramento real da energia de cravação em estacas piloto para estabelecer critérios confiáveis na determinação de comprimento cravado.

### Marcelo Bois

O palestrante apresentou inicialmente os principais modelos e fabricantes dos martelos hidráulicos em uso no Brasil. Mostrou exemplos de aplicações em diferentes situações nas construções brasileiras e descreveu a forma construtiva de cada modelo. Foi mostrado o funcionamento típico de um martelo hidráulico, descrevendo os movimentos e sistema de cravação no manual e automático. Depois houve uma comparação do funcionamento específico de cada tipo de martelo hidráulico, mostrando pontos fortes e fracos de cada modelo. Apresentou um gráfico comparando a velocidade de transferência de energia no impacto com um pilão de aço x chumbo com carcaça de aço. Relacionou os diversos componentes mecânicos presentes na parte inferior do martelo e a sua participação na transferência de energia entre o pilão e a estaca. No final, salientou a importância do desenho do capacete de modo a melhorar a eficiência da cravação e controlar a velocidade da transferência de energia.

## Prof. Alexandre Gusmão

A palestra apresentou inicialmente um pequeno histórico do uso de martelos hidráulicos na região nordeste do Brasil, com alguns casos de obras (produtividade, provas de carga estática e PDA). Foi apresentado um retrato atual do mercado na região nordeste, com destaque para dados de disponibilidade de equipamentos, preços praticados pelas empresas, aspectos positivos e negativos dos equipamentos. Os números mostraram que há uma grande concentração de equipamentos em empresas sediadas em Pernambuco e no Ceará. A experiência de várias obras mostrou que a paralisação das estacas não deve ser feita apenas com base no conceito tradicional da nega, que se mostrou extremamente conservador. Propõe-se que sejam realizados os ensaios de controle (provas de carga estática e/ou ensaios de carregamento dinâmico) nas primeiras estacas da obra, para calibrar modelos de controle baseados no diagrama de cravação das estacas. Por fim, foi apresentada uma proposta para incorporação aos martelos hidráulicos de sistemas de controle tipo PDA, que permitam que se tenha cada estaca com carga garantida.

## Fred Falconi

Á apresentação destacou a enorme quantidade de obras e de provas de carga estáticas realizadas com martelo hidráulico na Baixada Santista. Foram realizadas 3 provas de carga em estacas instrumentadas em profundidade com strain gages quando se pode verificar, mais uma vez, que o critério de estabelecer negas para estacas longas não é recomendável. Foi verificado também que o perímetro para se calcular a capacidade de carga em estacas H ou I é o colado e que a carga na ponta da estaca é desprezível ou nula. O sucesso na realização das provas de carga estática permitiu ao autor junto com o colega Wanderley Perez Jr, o estabelecimento de uma fórmula para o cálculo de capacidade de carga de estacas metálicas longas na Baixada Santista. Utilizando os dados estabelecidos pelo Profs. Massad e Teixeira (88, 90, 2003) para os parâmetros geotécnicos das argilas marinhas de vaza, flúvio-lagunares e transicionais chegou-se ao seguinte critério:

$PR = PL + PP$ , onde:

$$PL = U \times \sum(L \times fs)$$

$U$ .....Perímetro colado da estaca [m]

$L$ .....Espessura da camada [m]

$fs$ .....Adesão [tf/m<sup>2</sup>]

$fs = 0,21 \times N$  em areias sendo  $N$  a média dos  $N_{spt}$  da camada de areia e

$fs$  em argilas marinhas  $N$  médio < 2  $fs = 2$  tf/m<sup>2</sup>

$2 < N$  médio < 4  $fs = 3$  tf/m<sup>2</sup>

$4 < N$  médio < 6  $fs = 6$  tf/m<sup>2</sup>

$PP = A_{circ} \times K$ ;

$A_{circ}$  = área circunscrita

$K$  Varia em função do SPT do solo

$10 < N < 30 \rightarrow 200 < k < 400$  tf/m<sup>2</sup>

$40 < N < 60 \rightarrow 1000 < k < 4000$  tf/m<sup>2</sup>,

Onde  $N$  = média dos  $N$  SPTs na ponta e 1,0m abaixo

Com a experiência acumulada na Baixada Santista pode-se utilizar a solução técnica com extrema garantia e qualidade em obra comercial na Barra da Tijuca no Rio de Janeiro em espessa camada de solo extremamente mole seguido de solo muito competente. Foram cravadas com martelo hidráulico mais de 3.500 estacas com comprimentos entre 24 e 30 m e cargas elevadas comprovadas com a realização de 7 provas de carga estáticas e 35 ensaios de carregamento dinâmico, todos com excelente resultado. As provas de carga estáticas tanto quanto os ensaios dinâmicos mostraram que as estacas tiveram comportamento basicamente elástico. A obra está em fase final de acabamento.

### **Sergio C. Paraiso**

Em sua apresentação realizou uma retrospectiva sobre sistemas de impacto utilizados na cravação de elementos estruturais de fundações profundas também citando conferências e congressos nacionais e internacionais acrescido ainda de experiência pessoal e informações do banco de dados Geomec, abordando os seguintes tópicos principais:

Breve histórico da cravação de estacas, cravação offshore, Martelos queda livre, diesel, pneumático, ar comprimido e Martelos vibratórios, The 9th International Conference on Testing and Design Methods for Deep Foundations -2012, Kanazawa, Japan, que relata a cravação de estaca tubular de aço de 22 m de diâmetro com utilização de martelos vibratórios, Conceito de energia de martelo e de energia transferida em estacas, Avaliação do desempenho de martelos: hidráulico, diesel, pneumático/vapor e queda livre em função da relação da energia potencial disponível e da energia líquida transferida nas estacas pré-moldadas de concreto e aço em conformidade com experiência brasileira - fonte: Geomec e dados internacionais - Fonte: GRL Engineers, Inc (USA), Análise crítica comparativa entre martelos queda-livre, diesel e hidráulicos, Tensões dinâmicas admissíveis na cravação e casos de patologias estruturais de cravação, Calibração do sistema martelo – estaca – solo através da análise WEAP (Wave Equation Analysis of Pile Driving), Controle rigoroso da cravação e pós cravação utilizando a tecnologia de ensaio de carregamento dinâmico – PDA e apresentação da calibração da formulação Energy Approach Equation - PAIKOWSKY (SW 1992 - 2000) considerando a amostragem de mais de 1.000 casos analisados para estacas pré-moldadas de concreto e de aço, especificamente para martelos hidráulicos.

Finalizando Sergio C. Paraiso apresentou questões ambientais relativas a PPV (Pick Particle Velocity) e poluição sonora confrontando com os código de Hong Kong, normas inglesas e abordagem do Congresso internacional Foundation Congress and Equipment Expo Orlando- Florida-USA.