



Anais do 51º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2009
Outubro / 2009
ISBN
@ 2009 - IBRACON



Tomografia de estacas: exemplos de utilização no controle de qualidade de fundações profundas

Pile tomography: examples of application on deep foundations quality control

Kormann, A. C. M. (1); Thá, P. C. (2); Debas, L. F.(2); Martins, A. R.(2)

(1) Doutor, Eng. Civil, Fugro In Situ Geotecnia/ Universidade Federal do Paraná;

(2) Mestre, Eng. Civil, Fugro In Situ Geotecnia;

(2) Eng. Civil, Fugro In Situ Geotecnia;

(2) Mestre, Eng^a. Civil, Fugro In Situ Geotecnia

Fugro In Situ Geotecnia: Av Pres. Kennedy, 2975 CEP 80610-010 Curitiba – Paraná

Resumo

Estacas moldadas *in loco* são uma solução freqüente na engenharia de fundações. Muitas vezes, os elementos assumem grandes dimensões e um número reduzido de estacas tende a ser utilizado para absorver os carregamentos, de modo que a garantia da qualidade da concretagem é fundamental para o sucesso de um projeto. A avaliação da integridade de fundações profundas tem seguido internacionalmente uma tendência do uso de métodos indiretos e não-destrutivos, baseados em fundamentos de emissão e recepção de ondas acústicas. O presente trabalho traz uma breve descrição do ensaio *cross-hole* em estacas e da metodologia de análise conhecida como tomografia. Essa tecnologia, disponível no mercado nacional, constitui-se em um importante procedimento para a verificação da qualidade de fundações profundas. Sua aplicação é ilustrada com dois casos de obra.

Palavra-Chave: Cross Hole, Tomografia em Estacas

Abstract

Bored piles are a common solution in the Foundations Engineering. In many times the elements reach big dimensions and a few number of piles are used to distribute the load of the structure, thus the quality warranty of the concrete placement operation is fundamental to the project safety. The evaluation of integrity of deep foundations has followed a worldwide tendency of the use of indirect and non-destructive methods, based on the fundamentals of emission and reception of sound waves. The present study presents a brief description of the cross-hole test in piles and of the analysis methodology known as tomography. This technology, available in Brazil, is an important tool for the evaluation of the quality of deep foundations. It's use is illustrated with two site cases.

Keywords: Cross Hole test, Pile Tomography



1 Introdução

Em fundações profundas, a verificação da qualidade dos elementos produzidos constitui-se em um desafio, pois os mesmos normalmente encontram-se inseridos no terreno. Ao contrário das peças que compõem a superestrutura de uma obra, as fundações tendem a ser acessíveis apenas ao longo de extensões limitadas. A avaliação do estado físico dos elementos – por exemplo, uniformidade e continuidade do material constituinte e geometria (seção transversal e comprimento) – não é uma tarefa simples.

Uma fundação profunda pode ser inspecionada, por exemplo, mediante a simples escavação do terreno. Esse procedimento – obrigatório no caso das estacas moldadas *in loco* (ABNT, 1996) – tem como vantagem permitir a observação direta das condições de algumas estacas da obra. Entretanto, a limitação da profundidade que pode ser alcançada leva, na maioria das vezes, apenas a um exame parcial do fuste. Outros procedimentos envolvem o uso de técnicas de sondagens rotativas, para a extração de testemunhos do concreto das estacas, ou mesmo provas de carga estáticas ou dinâmicas.

Para a avaliação da integridade estrutural de fundações profundas, a tendência internacional tem contemplado o desenvolvimento de métodos indiretos e não-destrutivos, que se baseiam principalmente em fundamentos de emissão e recepção de ondas acústicas (Kormann, 2002). São exemplos dessas técnicas o ensaio de integridade de estacas (*Pile Integrity Test - PIT*) e o *cross-hole* (*Cross Hole Sonic Logging - CSL*). O objetivo deste trabalho é apresentar uma breve descrição do ensaio *cross-hole* e da técnica de tomografia de estacas, ilustrando sua aplicação com o caso de obra do viaduto Jacu-Pêssego em São Paulo (Antoniutti Neto *et al.*, 2004; Beim *et al.*, 2005) e das fundações de uma siderúrgica no Rio de Janeiro.

1.1 Execução e Princípios Básicos do Ensaio *Cross Hole* e da Tomografia em Estacas

O ensaio *cross-hole* em estacas tem como objetivo a verificação da qualidade da concretagem do fuste (e.g. Brettmann e Frank, 1996; Paikowski, 2000). A tecnologia envolve a geração de pulsos elétricos em uma unidade de controle e aquisição de dados. Em uma sonda transmissora, os pulsos são convertidos em ondas ultra-sônicas, as quais são captadas por uma sonda receptora e convertidas novamente em sinais elétricos. A resposta da sonda receptora é filtrada em torno de sua frequência de ressonância, procedimento que permite minimizar o ruído eletrônico. O ensaio é normatizado pela ASTM D 6760.

O transmissor e o receptor operam no interior de tubos preenchidos com água, previamente incorporados à fundação durante a concretagem. Para garantir uma “varredura” completa do interior do fuste, são empregados tubos dispostos em círculo



Anais do 51º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2009
Outubro / 2009

ISBN
@ 2009 - IBRACON



(geralmente um tubo para cada 25-30 cm de diâmetro), os quais são instalados próximos à periferia da estaca e ao longo de todo seu comprimento. Na Figura 1 é mostrado um esquema de funcionamento do ensaio. Os tubos podem ser metálicos ou de PVC, sendo usualmente fixados na própria armadura da fundação. Para garantir uma boa aderência com o concreto, é recomendado preencher os tubos com água por ocasião da moldagem do fuste.

A execução do ensaio envolve o posicionamento do transmissor e do receptor na porção inferior de dois tubos. Em seguida, faz-se com que as sondas percorram simultaneamente a estaca, registrando-se continuamente a profundidade, o tempo transcorrido entre a emissão do pulso e sua chegada no receptor e a energia do sinal recebido. O movimento ascendente das sondas dentro dos tubos se dá mediante o acionamento manual ou mecânico de cabos apropriados. O ensaio é repetido diversas vezes, selecionando-se novas combinações de tubos. Com isso, possíveis regiões defeituosas poderão ser mapeadas espacialmente - ao longo da profundidade e também por “quadrante”. Em estacas de menor diâmetro, é possível executar o ensaio posicionando-se o emissor e o receptor em um único tubo (*single hole testing*).

Os sinais monitorados em campo são analisados com *softwares* específicos (e.g. Pile Dynamics, 2004). A interpretação é efetuada com base no tempo de transmissão do pulso de ultra-som. O princípio físico consiste no fato de que a presença de material de má qualidade no fuste retardará ou impedirá a chegada do sinal emitido. Muitos dos fatores que podem causar um atraso na chegada do pulso de ultra-som – tais como intrusões de solo (ou lama bentonítica), concreto de baixa qualidade ou formação de vazios – levam também a uma diminuição da energia do sinal transmitido, de modo que esta grandeza também é considerada na análise. É possível ainda combinar os dados obtidos para vários pares de tubos instalados na estaca, visualizando-se os resultados em duas ou três dimensões. Esse tipo de tratamento (e.g. GeoTomo, 2003) - que facilita a identificação de defeitos e confere ao ensaio uma interpretação objetiva – é conhecido como *tomografia*.

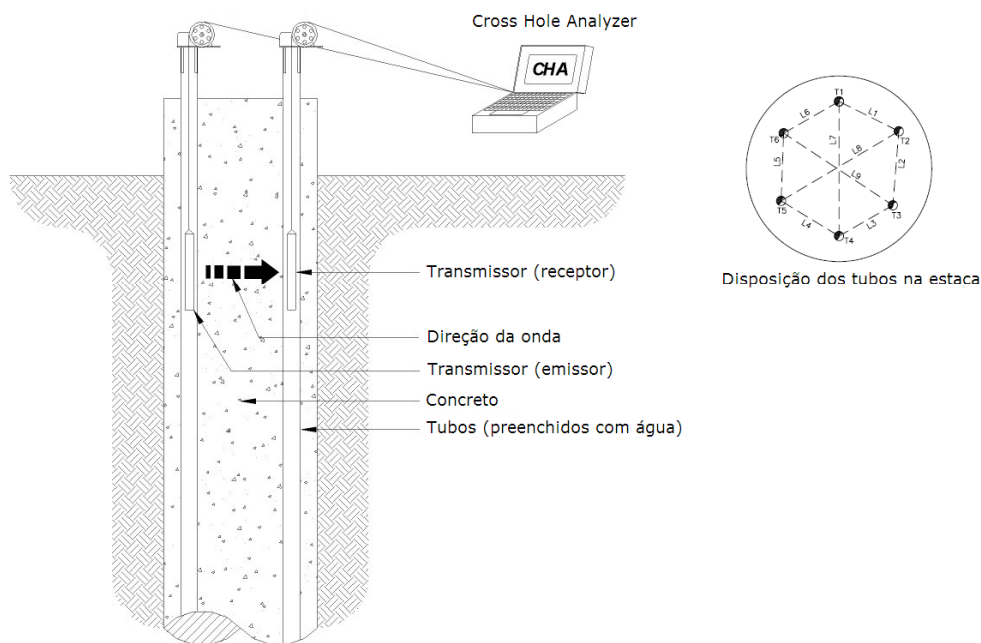


Figura 1 – Esquema de funcionamento do ensaio

2 Exemplos de Utilização

A seguir serão mostrados dois casos reais de utilização do *cross hole* para a avaliação de integridade de estacas escavadas. Um primeiro caso trata da obra em que a tecnologia foi introduzida no Brasil, em 2004, na obra das fundações do viaduto Jacú-Pessêgo, em São Paulo. O segundo, refere-se às fundações de uma siderúrgica no Rio de Janeiro.

2.2 Viaduto Jacú - Pessêgo

A técnica da tomografia de estacas pôde ser empregada de forma pioneira no Brasil no Viaduto Jacú-Pêssego, empreendimento da Empresa Municipal de Urbanização (EMURB) localizado junto à Rodovia Ayrton Senna (Antoniutti Neto *et al.*, 2004; Beim *et al.*, 2005). Para evitar transtornos no trânsito local, o projeto do viaduto previu uma construção paralela à via, sobre um único apoio, sendo o posicionamento definitivo obtido mediante a rotação em torno de seu eixo, após a execução.

O perfil geológico-geotécnico da área caracteriza-se pela presença de aluviões sobrejacentes a um pacote típico do terciário da Bacia Sedimentar de São Paulo. Após um horizonte orgânico superficial, tem-se a presença de estratos arenosos medianamente compactos a muito compactos, com cerca de 11 m de espessura. Em seguida, ocorrem camadas argilosas de consistência bastante dura, com a ocorrência de argilito/siltito na

base das prospecções. Os dados do ensaio de cone mostram resistências de ponta elevadas, compatíveis com os números de golpes do SPT. O nível d'água está localizado a cerca de 8,0 m da cota de arrasamento das estacas.

A fundação do apoio central - destinado a receber cargas elevadas - consistiu em 30 estacas escavadas com lama bentonítica, as quais possuíam um diâmetro de 1,60 m e comprimentos variando entre 22,0 e 25,0 m. Durante a execução das fundações, quatro estacas foram especialmente preparadas para o ensaio *cross-hole*, com o posicionamento de tubos de PVC com 50 mm de diâmetro nominal.

No caso em questão, a extremidade inferior dos tubos de PVC terminava juntamente com as barras da armadura vertical, um pouco acima da cota da ponta da estaca. Na Tabela 1 são apresentados dados da instrumentação, empregando-se uma convenção usual que consiste em identificar como tubo nº 1 o mais próximo do norte geográfico, com a numeração crescendo no sentido horário. Deve-se notar que, embora tenham sido utilizados até quatro tubos (estaca E9) por razões de ordem prática, uma quantidade ainda maior permitiria uma investigação mais completa.

Tabela 1. Dados das estacas monitoradas com o ensaio *cross-hole*.

Estaca	Comprimento das estacas (m)	Comprimento dos tubos (m)			
		1	2	3	4
(-)	(m)				
E7	25,35	22,80	22,83	22,89	-
E9	24,85	22,65	22,62	22,65	22,71
E11	25,85	23,04	23,11	23,06	-
E15	25,20	22,98	23,04	22,98	-

A Figura 2 mostra detalhes do equipamento e da execução do ensaio. A Figura 3 ilustra os resultados dos ensaios *cross-hole* da estaca E9. Nessa figura, são indicados os dados de energia e do tempo de chegada do pulso de ultra-som, representando-se também esquematicamente as condições da estaca, com base na interpretação dos sinais. As medições permitiram detectar um pequeno defeito em torno de 3,5 m de profundidade, que aparece entre os tubos 2-4, 3-4 e 4-1. Uma leve atenuação da intensidade de resposta do pulso de ultra-som é perceptível próximo ao topo, fenômeno que normalmente se reduz à medida que ocorre uma boa aderência entre os tubos e concreto.

Os sinais da estaca E9 também foram analisados com o programa de tomografia *TomoSonic*, sendo que os resultados podem ser observados na Figura 4. Para essa análise, considerou-se que velocidades de onda menor do que 3000 m/s correspondiam a concreto de má qualidade, premissa estabelecida com base na resistência característica à compressão do concreto (18 MPa). A tomografia indicou um comprometimento de apenas 2 % da seção transversal, a 3,5 m do topo.

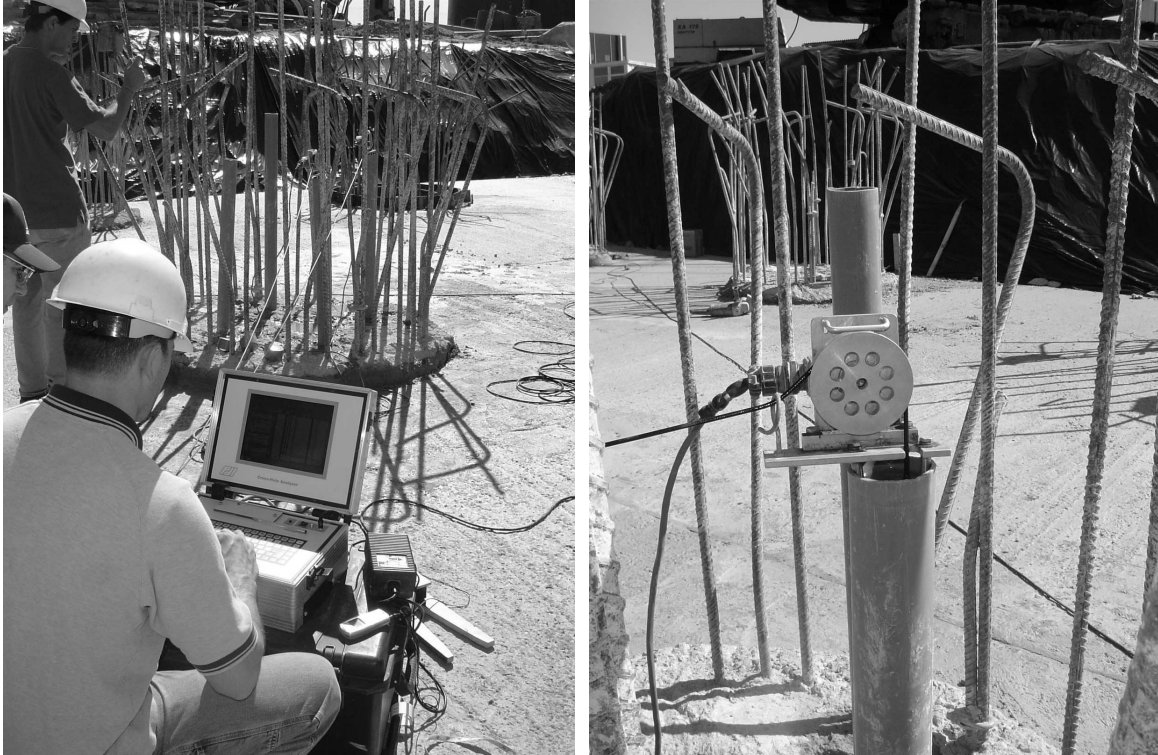
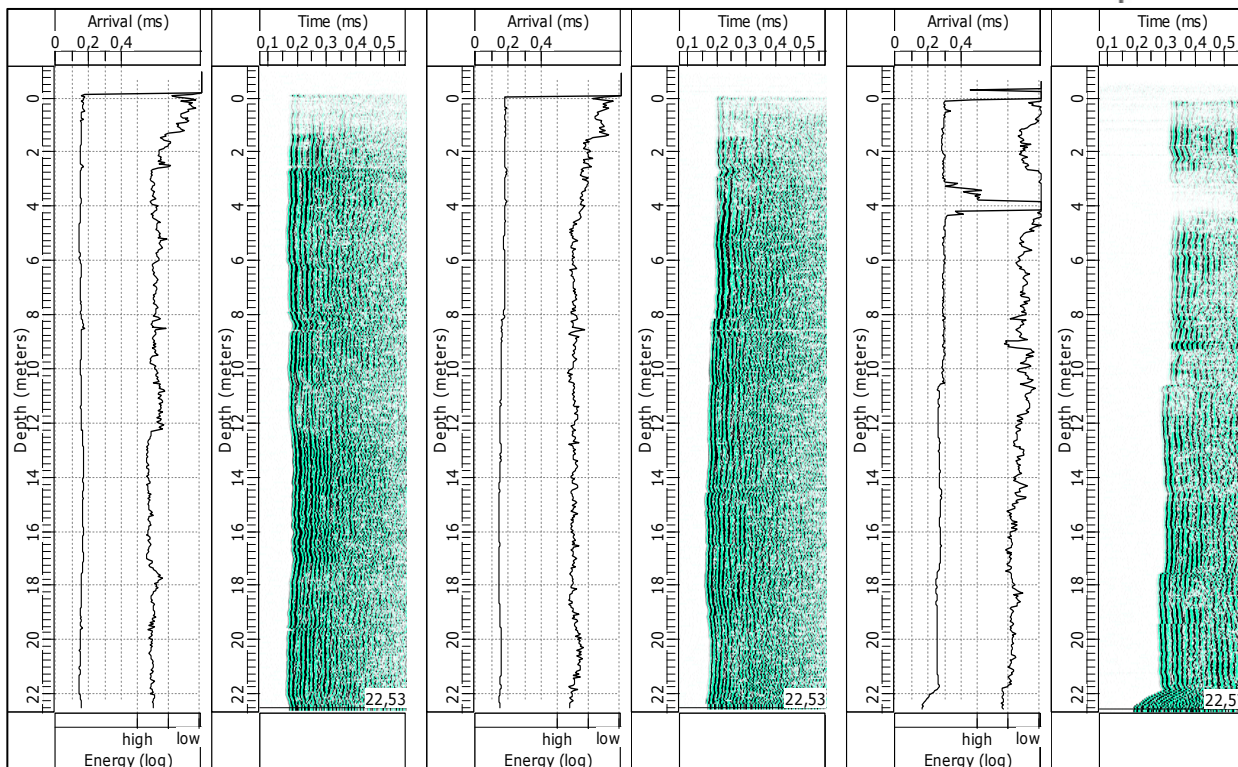


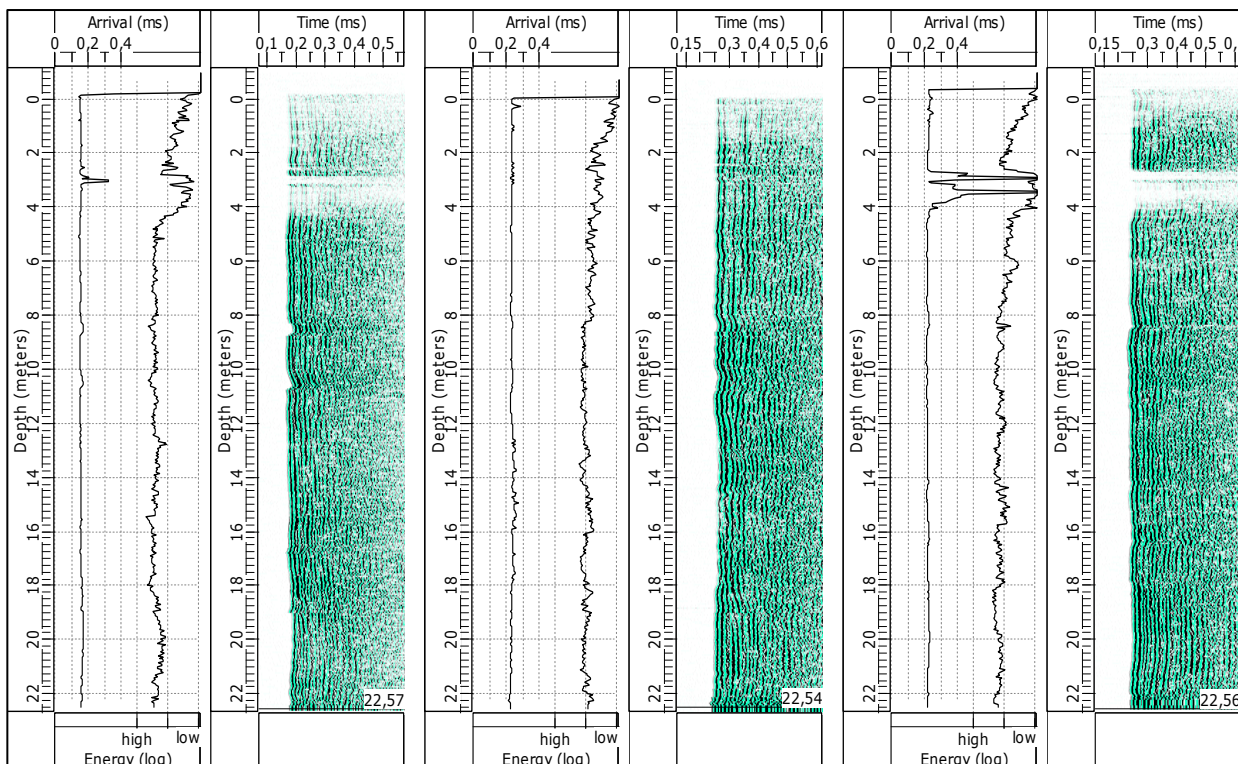
Figura 2 – Execução do ensaio *cross hole*



(a) Tubos 1-2

(b) Tubos 2-3

(c) Tubos 3-4

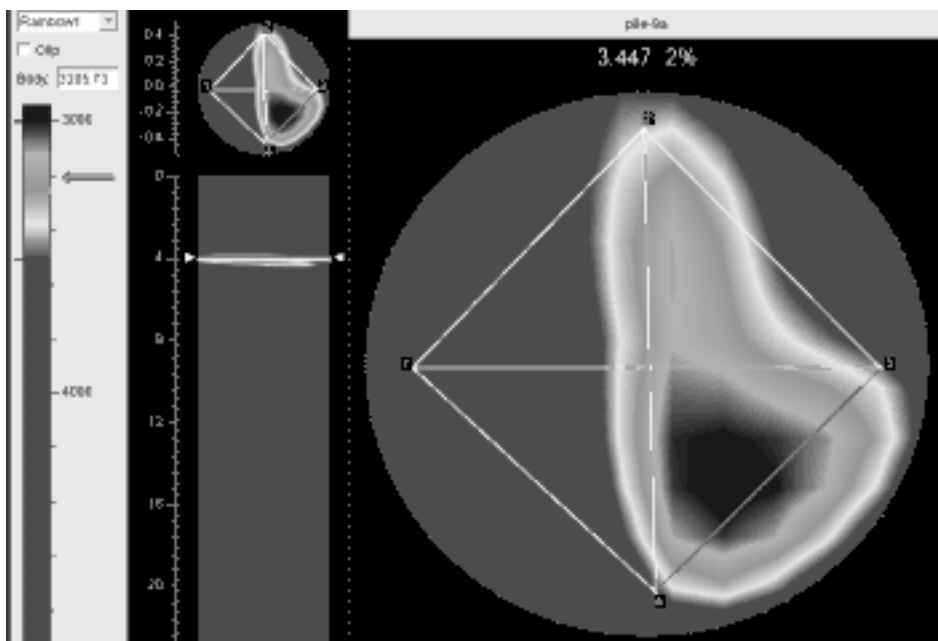


(d) Tubos 4-1

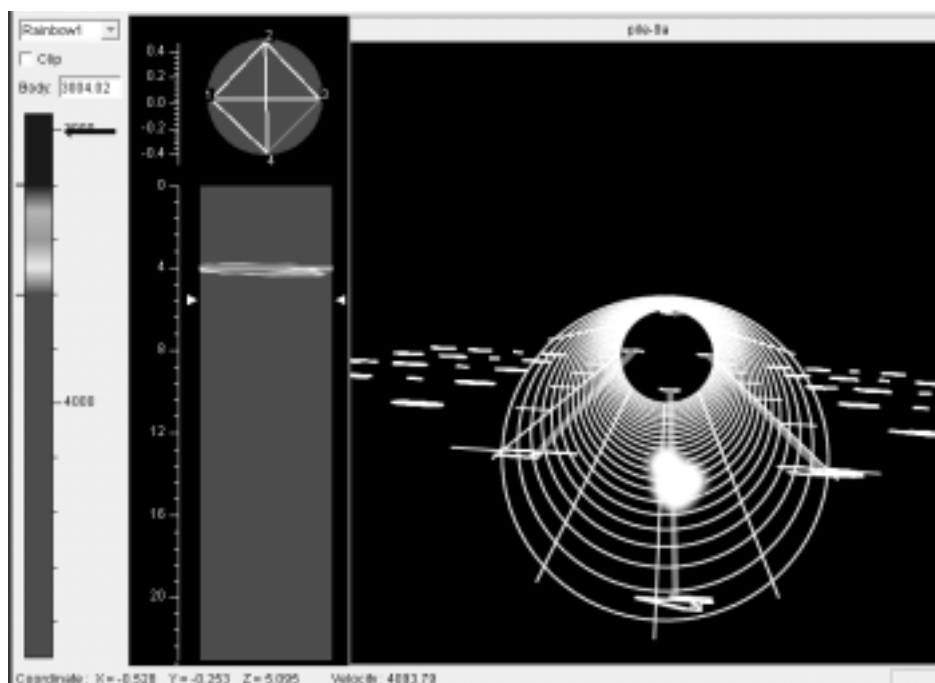
(e) Tubos 1-3

(f) Tubos 2-4

Figura 3 – Ensaio *cross hole*, gráficos de tempo de chegada do pulso e energia – estaca E9.
 ANAIS DO 51º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - CBC2009 – 51CBC000



(a) Seção transversal a 3,4 m do topo.



(b) Vista da estaca em três dimensões.

Figura 4 - Dados da tomografia da estaca E9 – programa *TomoSonic* (GeoTomo, 2003).

2.3 Siderúrgica no Rio de Janeiro

Neste caso de obra, foram ensaiadas duas estacas pertencentes às fundações do alto forno de uma siderúrgica no Rio de Janeiro. Tratam-se de estacas escavadas com 2 m de diâmetro e comprimento total de aproximadamente 50 m.

O perfil geotécnico do local consiste em um aterro granular de 2 m de espessura sobre uma sucessão de camadas de argila orgânica e areia de aproximadamente 40 m de espessura. Após as camadas de solo há cerca de 1 m de rocha alterada, seguida por rocha sã.

As estacas foram escavadas com diâmetro de 2 m e revestimento metálico até a cota de início da rocha alterada. A partir daí, a escavação prosseguiu com diâmetro de 1,8 m em rocha sã por cerca de 8 m. Isso significa que as estacas possuem 40 m de comprimento com diâmetro de 2 m e os últimos 10 m de comprimento com 1,8 m de diâmetro. As estacas foram providas com seis tubos para descida dos sensores do *cross hole*, cada um indo até a ponta da estaca. Na Tabela 2 são mostradas as características das estacas ensaiadas.

Tabela 2. Dados das estacas ensaiadas.

Estaca	Comprimento da estaca (m)	Comprimento dos tubos (m)					
		1	2	3	4	5	6
(-)	(m)						
E16	50,05	51,00	50,83	50,90	50,92	51,01	51,16
E22	~50,00	49,89	49,85	49,85	49,61	49,84	49,73

A Figura 5 mostra os tempos de chega do pulso e a energia da onda entre os tubos 3 e 5 e 1e 4 para a estaca E22. A Figura 6 e a Figura 7 mostram o resultado da tomografia para a mesma estaca.

Como resultado dos ensaios, a estaca E 16 apresentou uma heterogeneidade local entre 16,5 m e 17,4 m abaixo do topo e a estaca E 22 apresentou um fuste mais homogêneo, com algumas porções localizadas de concreto com menor rigidez. Ambas as estacas apresentaram uma velocidade média de onda de 4000 m/s, o que indica concreto de boa qualidade.

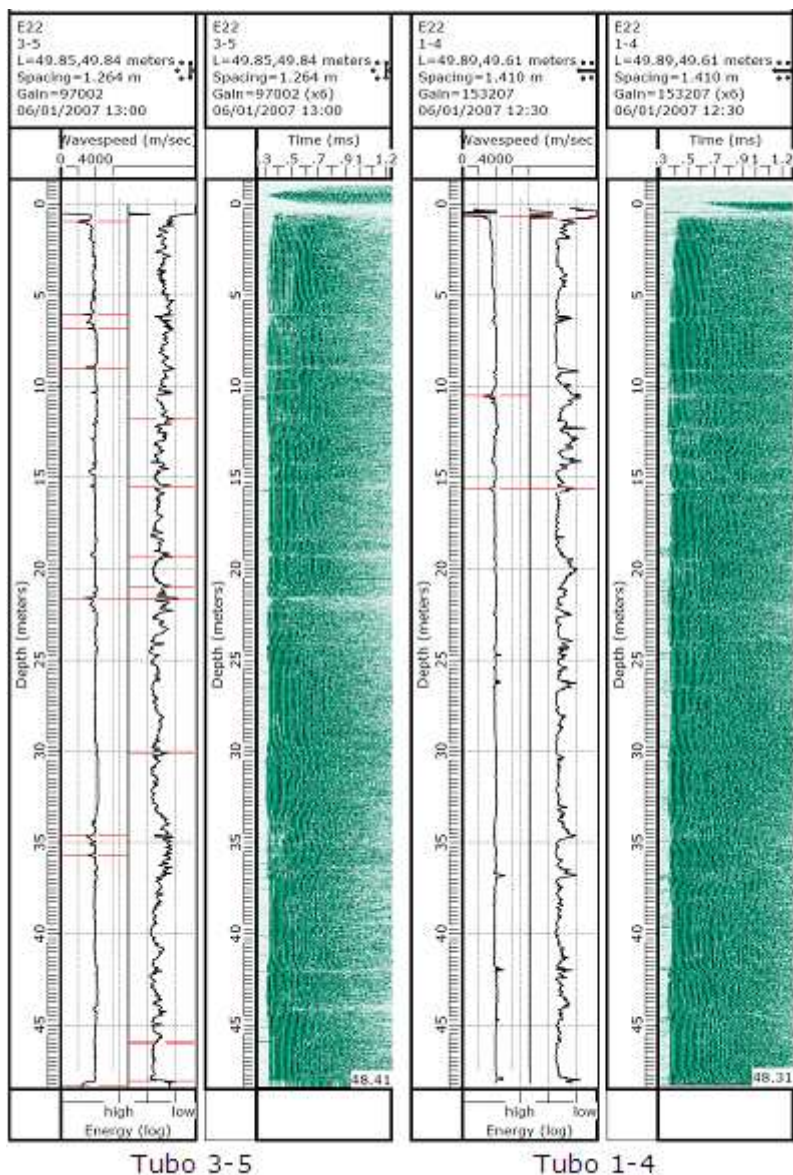


Figura 5 - Ensaio *cross hole*, gráficos de tempo de chegada do pulso e energia – estaca E22

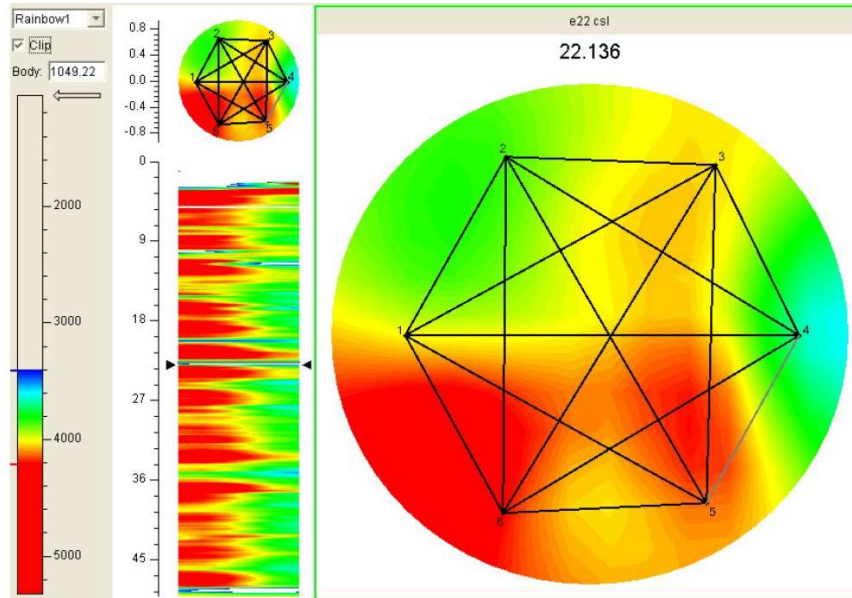


Figura 6 – Tomografia da estaca E22, seção a 22,14 m do topo

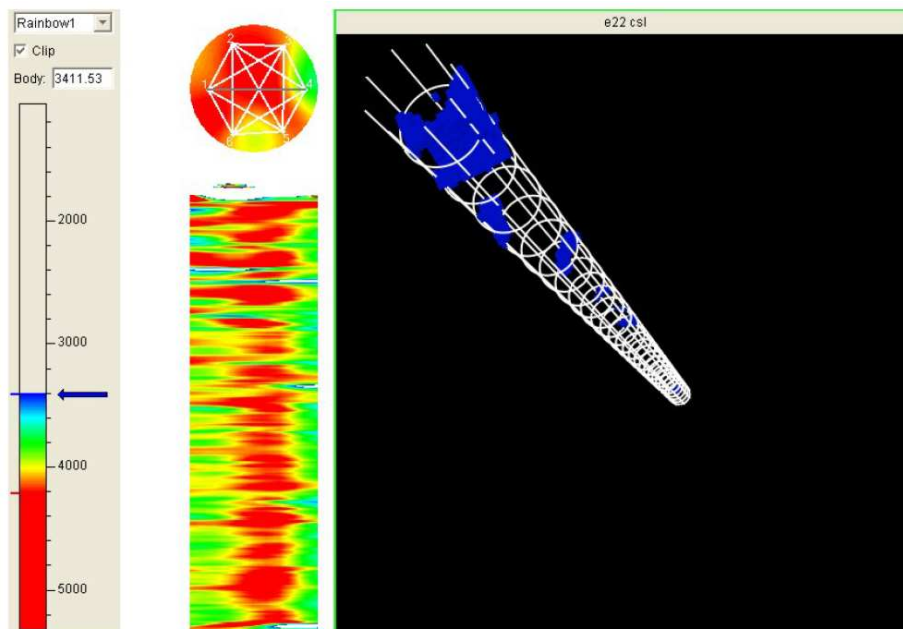


Figura 7 – Perfil 3D da estaca E22



2 Conclusões

O ensaio *cross-hole* e a tomografia de estacas baseiam-se na emissão e recepção de pulsos de ultra-som, empregando-se sondas que percorrem o comprimento da estaca, no interior de tubos previamente instalados. Embora já difundida internacionalmente, essa tecnologia está começando a ser aplicada no Brasil. A sua utilização mostrou-se satisfatória nos dois casos de obra apresentados nesse trabalho. A principal vantagem do ensaio sobre outros métodos não destrutivos, como o PIT (Pile Integrity Test), é a objetividade de sua interpretação, que permite a localização e quantificação da extensão de eventuais anomalias no concreto.

Embora inicialmente concebido para a avaliação da integridade de estacas escavadas, sua aplicação pode ser estendida a elementos estruturais em que exista a necessidade de avaliar em detalhe a qualidade da concretagem.

3 Referências

ANTONIUTTI NETO, L., KORMANN, A. C. M., BEIM, J., MARTINATTI, L. R., DEBAS, L. F.. **Tomografia de estacas: uma nova tecnologia para o controle de qualidade de fundações profundas.** In: SEFE V - Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia, 2004, São Paulo. Anais do SEFE V - Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia. , 2004. v.2. p.341 - 347

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6122:1996 - Projeto e execução de fundações**, Rio de Janeiro, 1996.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8953:1992 – Concreto para fins estruturais – Classificação por grupos de resistência. Classificação**, Rio de Janeiro, 1992.

ASTM (2002). **Standard Test Method for Integrity Testing of Concrete Deep Foundations by Ultrasonic Crosshole Testing, D 6760 – 02**, Estados Unidos.

BEIM, J, DEBAS, L. F., ANTONIUTTI NETO, L, KORMANN, A. C. M., MARTINATTI, L. R.. **Tomography: A New Technology for Quality Control of Deep Foundations.** In: GEO Construction Quality Assurance / Quality Control Technical Conference, 2005, Dallas. Proceedings of the GEO Construction Quality Assurance / Quality Control Technical Conference. Dallas: ADSC, 2005.

BRETTMANN, T. e FRANK, M (1996). **Comparison of Cross Hole and Single Hole Sonic Integrity Logging Methods**, International Conference on the Application of Stress Wave Theory to Piles - StressWave, 1996, Orlando.

GeoTomo (2003). **Software TomoSonic – version 2.2.**



**Anais do 51º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2009**
Outubro / 2009
ISBN
© 2009 - IBRACON



KORMANN, A. C. M. (2002). **Ensaio de Integridade de Estacas**, Workshop Controle de Qualidade de Fundações através de Provas de Carga Dinâmicas e Verificação de Integridade Estrutural, Sinduscon-SP e ABMS, São Paulo.

PAIKOWSKI, S. G., CHERNAUSKAS, L. R., Hart, L. J., EALY, C. D. e DiMILLIO, A. F. (2000). **Examination of a new cross-hole sonic logging system for integrity testing of drilled shafts**, Application of Stress-Wave Theory to Piles - Quality assurance on Land And Offshore Piling, Balkema, Rotterdam.

Pile Dynamics (2004). **Software Cross-Hole Analyzer (CHA) – version 2004.010.**