

Ensaio PIT; Funciona?

Sérgio C. Paraíso
Principal Executivo, Geomec, Belo Horizonte, Brasil,
sergioparaiso@geomec.com.br

Cláudia Maria Cunha da Costa
Diretoria Técnica, Geomec, Belo Horizonte, Brasil,
claudia@geomec.com.br

Cassia Maria Dinelli de Azevedo
Gestão Técnico-comercial, Geomec, Belo Horizonte, Brasil,
Cassia.azevedo@geomec.com.br

RESUMO: PIT (Pile Integrity Testing) é um ensaio não destrutivo cuja finalidade específica é avaliar integridade estrutural de elementos de fundações profundas. Também conhecido como Low Strain Method, este tipo de ensaio caracteriza-se por impacto de baixa deformação utilizando martelo de mão, acelerômetro de alta sensibilidade e coletor de dados para captação e armazenamento dos sinais de aceleração convertidos em sinais de velocidade. O ensaio permite o controle da qualidade, preferencialmente em estacas moldadas in loco, com amostragem aleatória e elevada quantidade de ensaios realizados em um dia. Apresenta-se neste trabalho casos de obras onde estacas moldadas in loco, tipo Hélice Contínua, Raiz, Strauss, Franki, Escavadas com fluido estabilizante, foram submetidas ao ensaio PIT devidamente interpretado, e os Reflectogramas obtidos confrontados com investigações de campo, através de escavações periféricas até a anomalia identificada, documentadas fotograficamente e através de medições realizadas in loco nos elementos de fundação testados. Particularidades construtivas de cada tipo de estaca testado são comentadas objetivando esclarecer as condições de fronteira entre anomalias e danos estruturais. O trabalho abrange conceitos teóricos, vantagens e limitações, visão do executor do ensaio e contribuição para normatização.

PALAVRAS-CHAVE: : Estacas, Ensaio, PIT, Danos, Anomalias, Normas.

ABSTRACT: PIT (Pile Integrity Testing) is a non-destructive test and performs foundation investigation and also known as Low Strain Dynamic Test, providing assurance of structural integrity of deep foundations. The PIT is performed quickly, potentially making it possible to test every pile on a job site with no pre-planning required. The PIT test consists of attaching one or two accelerometers to a foundation and using a hand-held hammer to impact the pile top. The PIT collects the acceleration data and displays curves that reveal any significant changes in cross section that may exist along the shaft. The impact of the hammer generates a stress wave that propagates down the foundation and reflects back up. The accelerometer collects data that reveals the pattern of wave propagation and reflection. Piles without defects typically show a reflection from the pile toe at the expected time, which corresponds to the pile length. If a defect is present along the shaft, its size and location affect the propagation and reflection time of the wave. This paper presents “cases” of job sites with dangerous defects in Continuous Flight Auger Piles, Franki Piles, Root Piles, Strauss Piles, Bored Piles, Driven Concrete Piles and all of them submitted to the PIT test. The Reflectograms (velocity signals) were compared against field investigations in order to check and validate the PIT test. Construction features of each pile tested were discussed and considered during the analyses of the Reflectograms. This paper also covers theoretical concepts, advantages and limitations, view of the Tester Engineer and contribution for PIT standardization.

KEYWORDS: Pile, Test, PIT, Defects,

1 Introdução

O ensaio PIT (Pile Integrity Testing) é um ensaio não destrutivo objetivando fundamentalmente avaliar a integridade estrutural de elementos de fundações profundas. É também conhecido como “Low Strain Method”, teste de integridade com impacto de baixa deformabilidade e padronizado conforme a norma ASTM Designation: D 5882 – 07, Standard Test Method for Low Strain Impact Integrity Testing of Deep Foundations, considerada internacionalmente como a principal referência para este tipo de ensaio.

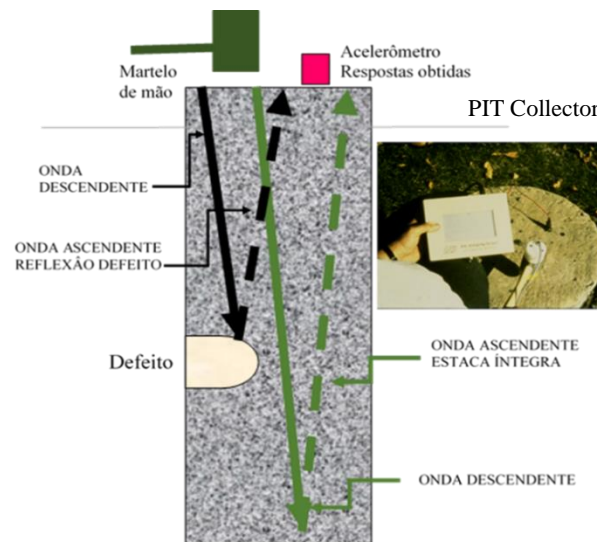


Figura 1. Esquema do Ensaio PIT e Reflexões Típicas.

Por que testar?

Identificar defeitos
controle da qualidade
reduzir riscos



Figura 2. Patologias Identificáveis Através do Ensaio PIT.

2 Descrição do Ensaio.

O ensaio PIT é materializado utilizando-se um pequeno instrumento de impacto (martelo de mão com as extremidades de impacto providas com material resiliente), acelerômetro de alta sensibilidade e um coletor de dados (Pile Integrity Tester), especialmente idealizado para captação e armazenamento dos sinais de aceleração que serão convertidos em sinais de velocidade pela integração da aceleração. O acelerômetro é instalado no topo da estaca por meio de um material aglutinante viscoso rotineiramente chamado Petrowax e ou cera similar tipo AK22. Através de uma sequência de golpes no topo de ensaio, ondas compressivas de baixa deformação são geradas e os registros de velocidade com as reflexões de topo e ponta e ou de descontinuidade ao longo do fuste são mostrados permitindo assim a análise de integridade estrutural.

O produto final é a obtenção dos “Reflectogramas” em formatação gráfica dos sinais de velocidade obtidos que caracterizam as condições de integridade ao longo da profundidade. Tipicamente, as figuras 3 e 4 representam estacas íntegras e com dano estrutural, respectivamente.

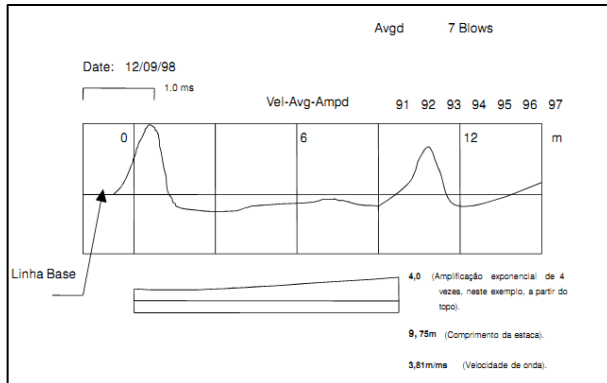


Figura 3. Reflectograma Estaca Inteira.

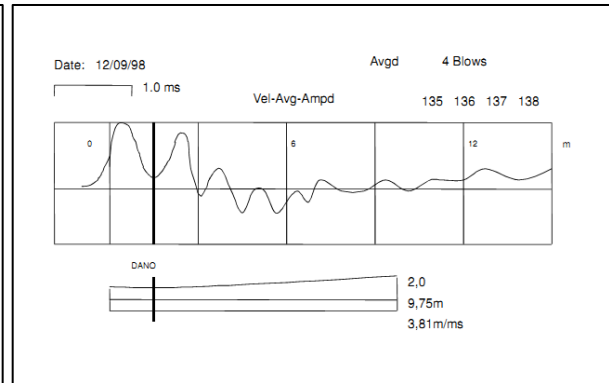


Figura 4. Reflectograma Estaca com Anomalia.

Para que o ensaio seja realizado com sucesso, os seguintes procedimentos devem ser observados com importância:

- Preparo do topo de ensaio da estaca assegurando-se que a superfície se encontra lixada e lisa em pontos convenientemente escolhidos e isenta de material livre depositado;
- Nos casos de estacas de grande diâmetro, subdividir a seção da estaca em quatro quadrantes e núcleo central e preparados conforme o item acima;
- Medida do perímetro da estaca no topo de ensaio;
- Corte do concreto do final de concretagem da estaca até concreto de boa qualidade por inspeção visual e não necessariamente até a cota de arrasamento;
- Fixação do acelerômetro com garantia de total aderência no topo de ensaio em superfície seca;
- Testar estacas com pelo menos 7 dias após concretagem;
- No caso de estacas pré-fabricadas de concreto, com emendas, de seção cheia, deverão ser informados os comprimentos dos elementos associados na vertical topo-ponta.

3 Conceitos Teóricos

O programa PIT integra os registros de aceleração para obter a curva de variação da velocidade contra o tempo, ao longo da profundidade para cada golpe aplicado no topo da estaca, conforme as figuras 5 e 6. Os registros de boa qualidade são selecionados pelo operador devidamente qualificado e experiente em engenharia de fundações.

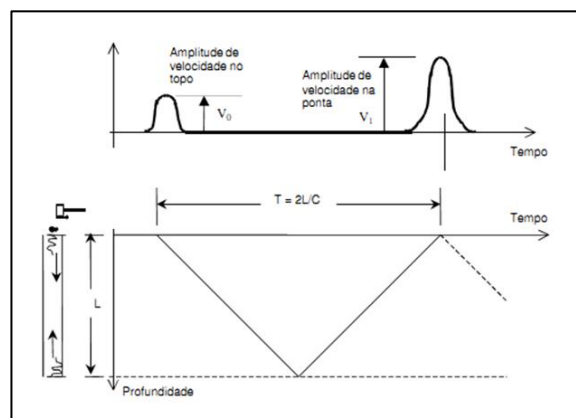


Figura 5. Impacto e Reflectograma Típico.

O tempo necessário para que a onda de tensão de baixa magnitude percorra a estaca topo-ponta-topo é relacionado com o comprimento da estaca e a velocidade de propagação da onda, conforme equação 1.

$$T = \frac{2L}{C} \quad (1)$$

T = tempo gasto pela onda para percorrer a estaca TOPO-PONTA-TOPO;

L = comprimento da estaca (do acelerômetro à ponta da estaca);

C = velocidade de propagação da onda compressiva de baixa intensidade (Tabela 1).

Tem-se ainda que C em um material homogêneo, é dada pela equação 2.

$$C = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \rightarrow C = \sqrt{\frac{EG}{\gamma}} \quad (2)$$

- E — Módulo de elasticidade (tf/m²)
- ρ — Massa específica, (tf x seg² x m⁻⁴)
- G — Aceleração da gravidade (m/seg²)
- γ — Peso específico (tf/m³)

A tabela 1 resume os valores típicos de velocidade de onda para alguns materiais específicos.

Tabela 1. Valores Médios de Velocidade para Diferentes Materiais.

MATERIAL	AÇO	CONCRETO	MADEIRA	JET GROUTING
C (m/s)	5.120	4.000	4.450	2.000

A verificação da integridade estrutural é realizada examinando-se a forma da curva de variação de velocidade com o tempo e profundidade. Qualquer variação de impedância (Z) ocorrida ao longo da estaca pode ser identificada com uma brusca variação de amplitude de velocidade. Um aumento de impedância causa uma queda de amplitude de velocidade e uma diminuição causa um aumento de amplitude da velocidade. A impedância é, portanto, função de três parâmetros: módulo de elasticidade do material da estaca, peso específico deste material e área da seção transversal. Esta relação encontra-se representada na equação 3.

A trajetória de propagação da velocidade em função do tempo com a profundidade indica as características de integridade de uma determinada estaca confinada no solo. A localização de um possível dano é verificada a partir do tempo decorrido entre o início do golpe e a variação de velocidade que caracteriza o dano, considerando-se a velocidade característica de propagação da onda de tensão do material que constitui a estaca em questão. A experiência tem mostrado que as variações de impedância estão muito mais relacionadas às variações de seção do que em relação ao peso específico e ao módulo de elasticidade. Evidentemente dever-se-á considerar nos diagnósticos dos sinais de velocidade o processo construtivo da estaca, aspectos geotécnicos de implantação, características dos materiais e qualidade dos sinais aquisitados. Variações de peso específico e de módulo podem resultar em velocidades aquém das esperadas para o tipo de material que constitui o elemento estrutural de fundação

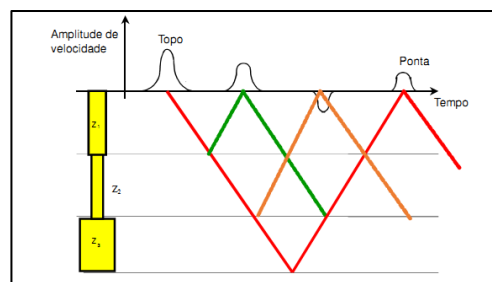


Figura 6. Representação Típica de Amplitude de Velocidade com Variação de Impedância ao longo da Profundidade.

$$Z = \frac{EA}{C} \rightarrow A\sqrt{E\rho} = \rho \cdot C \cdot A \quad (3)$$

- Z — Impedância (tf x seg x m-1)
- E — Módulo de elasticidade (tf/m²)
- C — Velocidade de Onda (m/seg)
- A — Área da seção transversal (m²)
- ρ — Massa específica (tf x seg² x m-4)

4 Vantagens e Limitações

O ensaio de integridade PIT aplica-se em qualquer tipo de elemento estrutural de fundação em concreto moldado in loco e ou pré-fabricado, e destina-se fundamentalmente para avaliação de integridade estrutural.

Vantagens principais:

- Ensaio rápido, não destrutivo e de baixo custo, possibilita testar todas as estacas da obra;
- Capacidade média de ensaios de 50 a 80 estacas/dia;
- Interferência mínima no andamento da obra;
- Para execução do ensaio, é necessário apenas que o topo das estacas esteja acessível e razoavelmente liso e limpo;
- Identificação de anomalias e ou danos estruturais em tempo real possibilitando ações imediatas de investigação de campo e ajustes de projeto;
- Equipamento leve, portátil de grande mobilidade, garante acesso às estacas a ensaiar.
- Possibilidade de ensaio a qualquer tempo, sem programação prévia.

Limitações:

- Não verifica a capacidade de carga geotécnica;
- Não verifica fragmentos na ponta da estaca;
- Não verifica pequenas intrusões de material externo;
- Não verifica fissuras paralelas ao eixo longitudinal da estaca;
- Não verifica microfissuras;
- Regiões de “sombra”, caso o acelerômetro não seja posicionado convenientemente.
- Efeito de “damping” em solos de elevada resistência;
- Estacas com grande variabilidade de seção (microestacas injetadas a alta pressão);
- Relação L/D > 50, em que: L = comprimento e D = diâmetro;
- Estacas de Aço em razão do elevado índice de esbeltez e
- Estacas pré-moldadas com múltiplas emendas, e de seção vazada

5 Casos de Obras – Investigações de Campo e Validação do Ensaio PIT

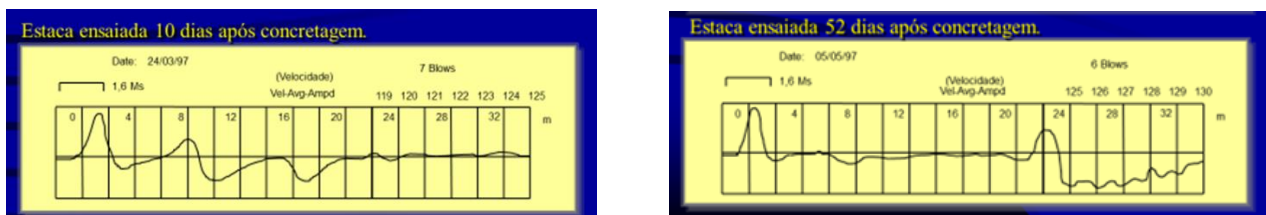


Figura 7. Estaca Ensaída com 10 e 52 Dias após Concretagem.

A Figura 7 caracteriza estaca Hélice Contínua ensaiada em diferentes períodos de tempo, a partir da concretagem, observando-se que no tempo mais cedo (10 dias) havia amplitude de velocidade positiva

indicando provável anomalia. Aos 52 dias apresentou-se íntegra concluindo-se que o concreto ainda se encontrava com ganho de resistência com o tempo.

Observa-se na Figura 8 dano estrutural em estaca Hélice Contínua, cujo Reflectograma mostra amplitude de velocidade no topo com amortecimento e extensão de área indicando anomalia estrutural confirmada pela investigação de campo.

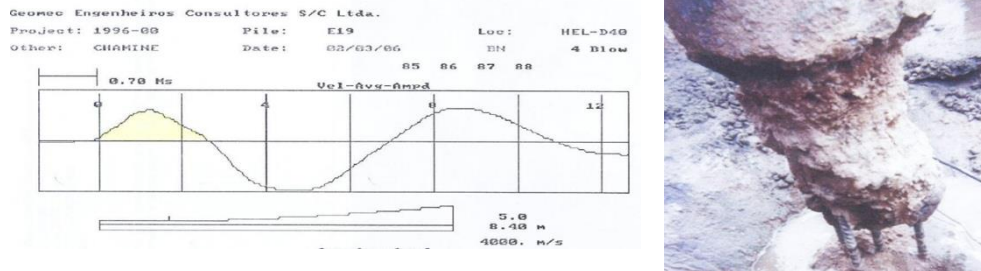


Figura 8. Estaca Hélice Contínua com Dano Estrutural.

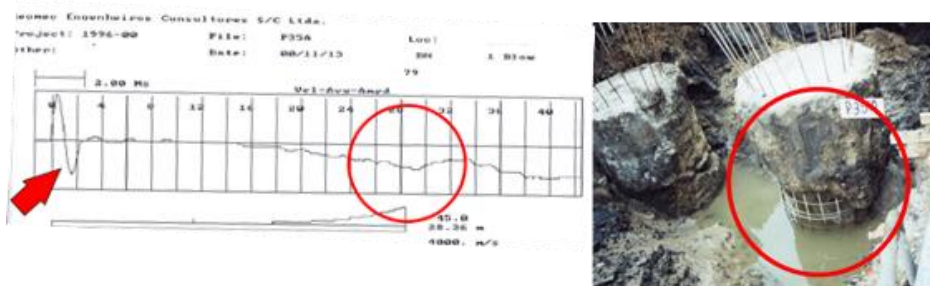


Figura 9. Estaca Escavada com Lama Bentonítica - Dano Estrutural próximo ao Topo.

Verifica-se com importância na Figura 9, que o Reflectograma evidencia “aparentemente” integridade estrutural com reflexão de ponta. Entretanto a reflexão negativa logo após reflexão de topo e na mesma proporção de amplitude indicava comportamento atípico. A escavação mostrou a existência de descontinuidade de fuste preenchida com areia compacta e contaminada pela lama bentonítica.

O Reflectograma da Figura 10 (Pré-moldada) apresenta reflexão de topo com extensão de área lateral indicando superposição de reflexões positivas em razão de dano estrutural muito próximo ao topo.

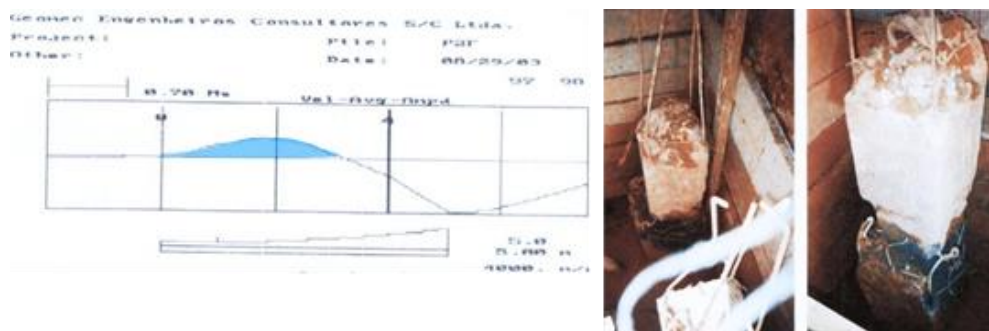


Figura 10. - Dano Estrutural - Estaca Pré-moldada Quadrada.

O Reflectograma apresentado na Figura 11 (Franki) caracteriza dano estrutural logo após a reflexão de topo seguido de reflexões randômicas mostrando redução de seção significativa (55%), confirmada com medições in loco.

A Figura 12 (Franki) mostra dano estrutural e estreitamento de seção e o Reflectograma específico que caracteriza estas anomalias.

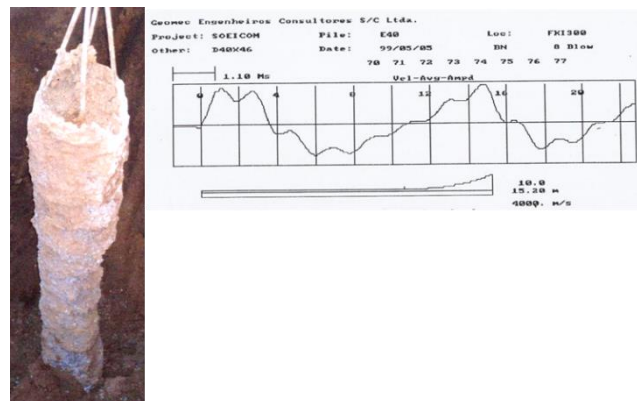
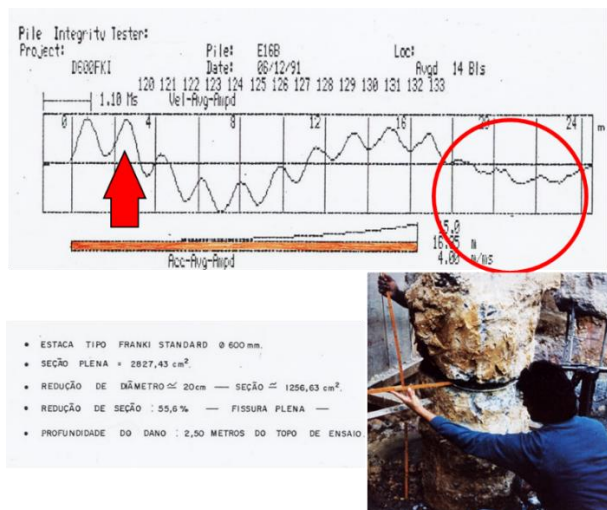


Figura 11.- Dano Estrutural - Estaca Franki 600 mm.

Figura 12. - Dano Estrutural Estreitamento Seção

O Reflectograma da Figura 13 (Raiz) caracteriza variações de seção atípicas próximo ao topo que conduziram à necessidade de investigação de campo conforme ilustra a foto de referência.

A amplitude lateral da reflexão do pico de topo seguida de reflexão negativa como mostrado no Reflectograma da Figura 14 sugere dano estrutural e variação de seção e confirmado através da investigação de campo.

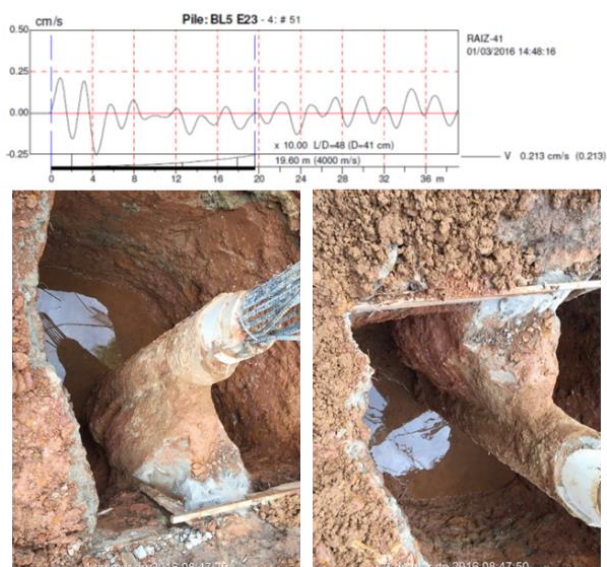


Figura 13. – Anomalia em Estaca Raiz Φ 410 mm

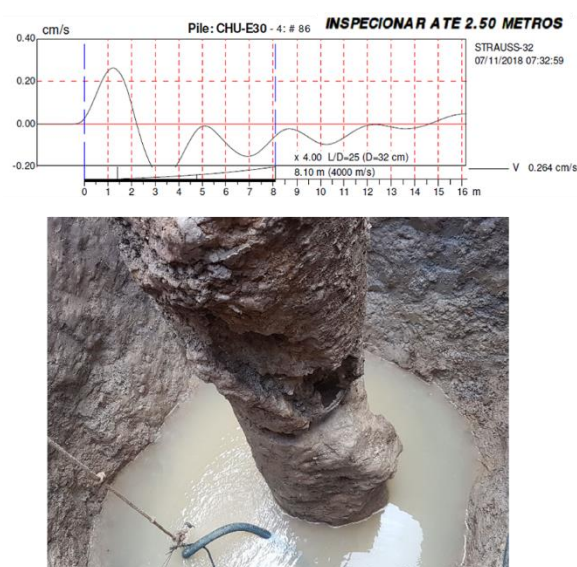


Figura 14. Estaca Straus - Dano e Variação de Seção.

A Figura 15 mostra resultados de ensaios PIT em estacas escavadas no diâmetro de 1,40 metros com camisa de aço perdida, as quais sofreram impacto lateral de embarcação pesada provocando deslocamentos laterais significativos. As estacas com maior deslocamento (E2 e E4) apresentaram Reflectogramas caracterizando dano estrutural na profundidade de 12,0 metros. As estacas (E1 e E3) com menor deslocamento apresentaram-se íntegras com nítida reflexão de topo e ponta.

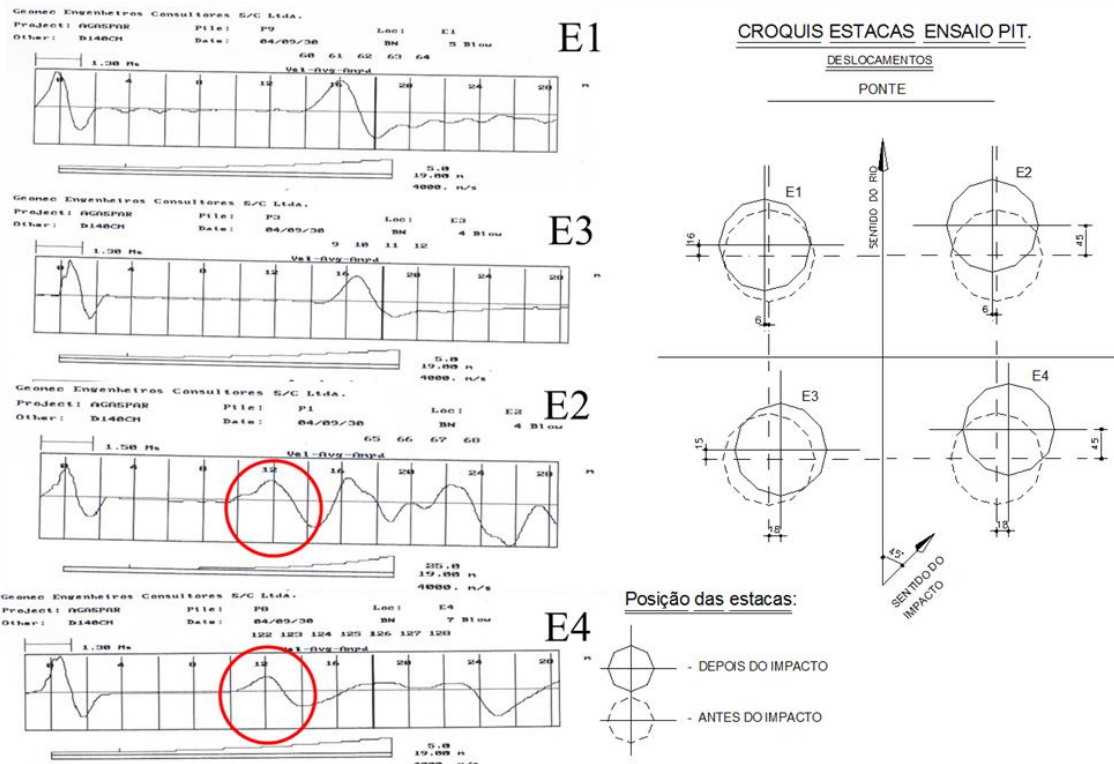


Figura 15. Dano Estrutural em Estacas de Dolphin Provocado por Impacto de Embarcação Pesada.

6 Conclusões

Ensaio PIT; Funciona?: SIM, desde que bem executado e interpretado.

A experiência do executor do ensaio na aquisição dos dados e principalmente do profissional que interpreta os resultados é decisiva para o sucesso do trabalho realizado.

A experiência tem mostrado ao longo dos anos que aprende-se com a tecnologia confrontando os dados obtidos e interpretados com a realidade física, ou seja, confrontando os diagnósticos com as investigações de campo e, em muitos casos os Reflectogramas obtidos não se ajustam às simulações dos sinais típicos dos manuais, tanto de integridade quanto de defeitos.

A norma brasileira NBR 6122-2019 (N.11) sugere como controle de qualidade escavações periféricas aleatórias em 1% do total das estacas para verificação de integridade. Não seria mais técnico, profissional eficiente e vantajoso a realização do ensaio PIT como controle de qualidade e a escavação lateral se restringir aos casos onde o diagnóstico PIT sugerir a necessidade da investigação através de escavação até profundidade realmente necessária?

Para que a tecnologia PIT seja utilizada com qualidade e confiabilidade, no exercício do controle da qualidade, deve-se inexoravelmente estabelecer critérios normativos com a finalidade de padronização da execução do ensaio e da informação dos diagnósticos estabelecidos. Portanto, é urgente que o ensaio PIT seja normatizado no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Geomec Engenheiros Consultores – Banco de Dados Ensaios PIT– 1990 a 2019.

Likins G., Rausche F. (2000) – Recent advances and proper use of PIT low strain pile integrity testing – SW Conference 2000 – 211 p.

Klingmueller O., Kirsch F. (2004) – Review of 25 years of German practice of Pile Integrity Testing and possible developments. SW Conference 2004 – 199 p.