



tiny.cc/gebpit

ENSAIO PIT: FUNCIONA?



geotecnia
e brasil

26 de janeiro

18:30

APOIO



CLUBE DE ENGENHARIA

PALESTRANTE:
DSc. SÉRGIO PARAÍSO

MODERADOR:
DSc. SUSSUMU NIYAMA



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 OBTIDOS É DECISIVA PARA O SUCESSO DO TRABALHO REALIZADO.

A EXPERIÊNCIA TEM MOSTRADO AO LONGO DOS ANOS QUE APREDE-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 ANALISADOS NÃO SE AJUSTAM ÀS SIMULAÇÕES NUMÉRICAS DOS SINAIS TÍPICOS DOS MANUAIS, TANTO DE INTEGRIDADE QUANTO DE DEFEITOS.

Sérgio C. Paraíso
PhD,IST.UTL

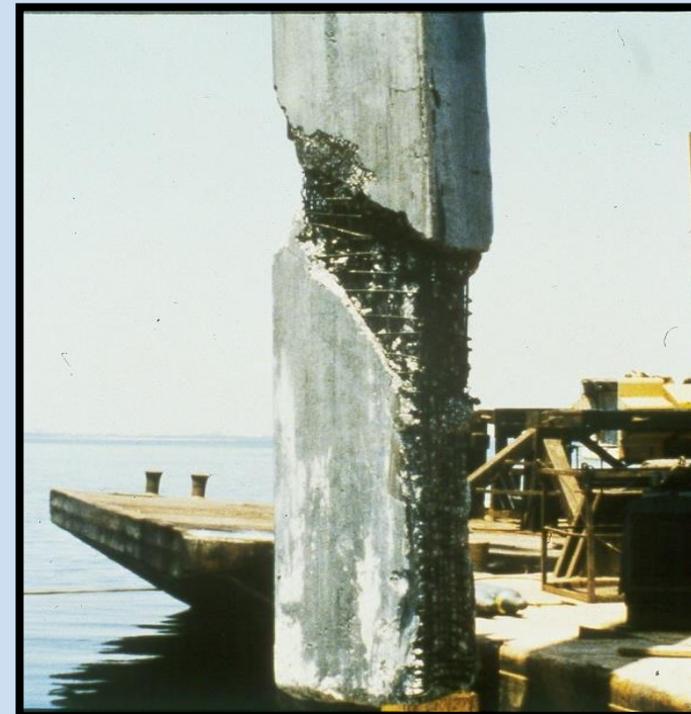


ENSAIO NÃO DESTRUTIVO PARA AVALIAÇÃO DA INTEGRIDADE ESTRUTURAL DE ELEMENTOS DE FUNDAÇÃO PROFUNDA



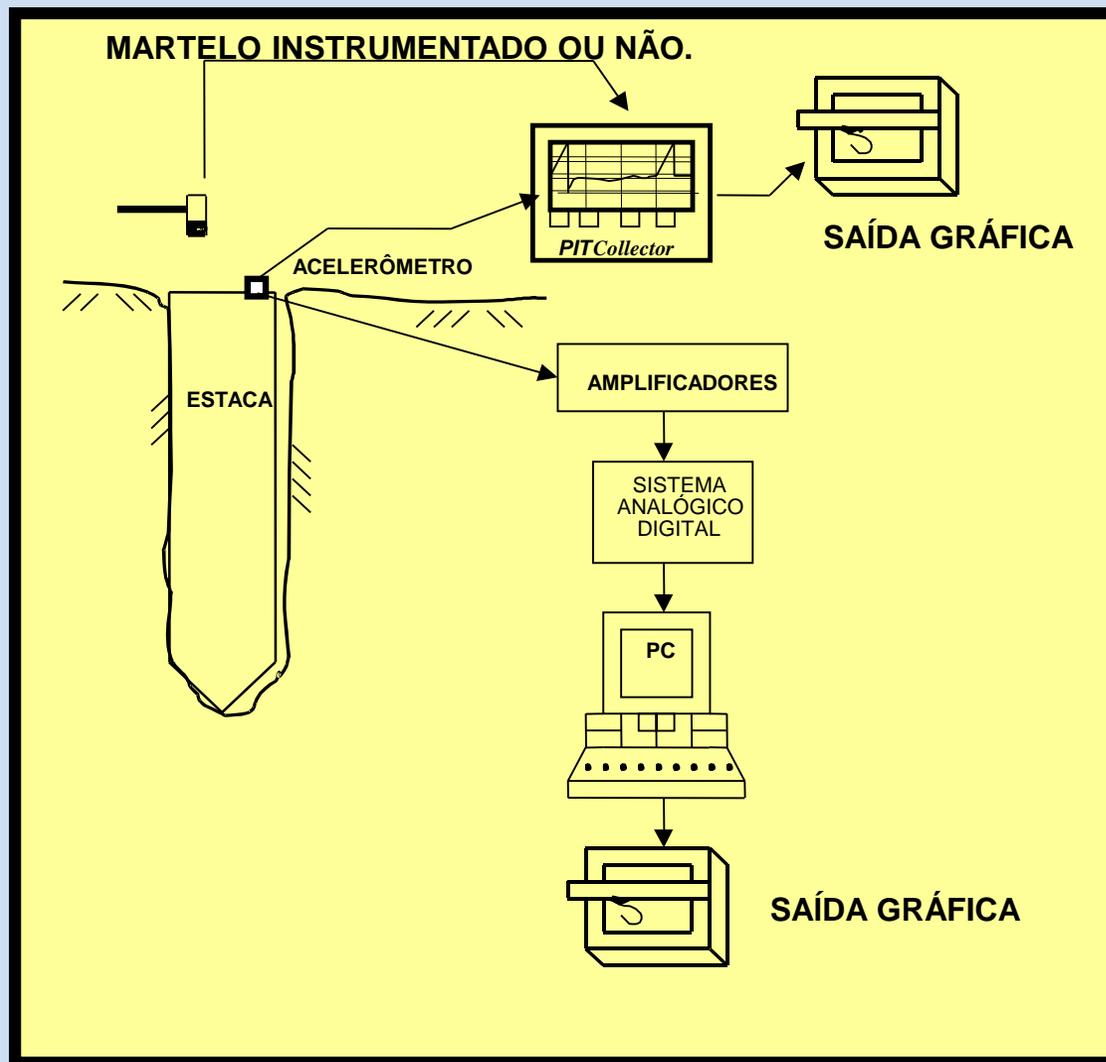
Por que testar?

- controle da qualidade
- reduzir riscos
- **Identificar defeitos**



EQUIPAMENTO PIT : PILE INTEGRITY TESTER

TECNOLOGIA PILE DYNAMICS INC. – NORMA DE REFERÊNCIA: ASTM DESIGNATION D-5882-07





Designation: D 5882 – 07
**Standard Test Method for
Low Strain Impact Integrity Testing of Deep
Foundations**

4. Significance and Use

4.1 Low strain impact integrity testing provides acceleration or velocity and force (optional) data on slender structural elements (that is, structural columns, driven concrete piles, cast in place concrete piles, concrete filled steel pipe piles, timber piles, etc.). **The method works best on solid concrete sections, and has limited application to unfilled steel pipe piles, H piles, or steel sheet piles.** These data assist evaluation of pile integrity and pile physical dimensions (that is, cross-sectional area, length), continuity, and consistency of the pile material, although evaluation is approximate and not exact. This test method will not give information regarding the pile bearing capacity.



VERSÃO 1990 – DOS – 640K RAM



VERSÕES A PARTIR 2000 - WINDOWS - 16 MB RAM

26/01/2023



PIT – SISTEMA WIRELESS
TECNOLOGIA Pile Dynamics Inc

Sérgio C. Paraíso



TIPOS DE MARTELOS (Hand Held Hammer)



ACESSÓRIOS PIT



Os acessórios do PIT incluem martelos de mão em vários tamanhos, instrumentados ou não. Os martelos instrumentados podem ser tradicionais (com cabos) ou sem fio (o modelo sem fio tem um único tamanho). Os acelerômetros para uso com o PIT são projetados para acoplagem na cabeça ou no lado da estaca, e podem também ser tradicionais ou sem fio (o modelo sem fio é para acoplagem somente na cabeça da estaca).

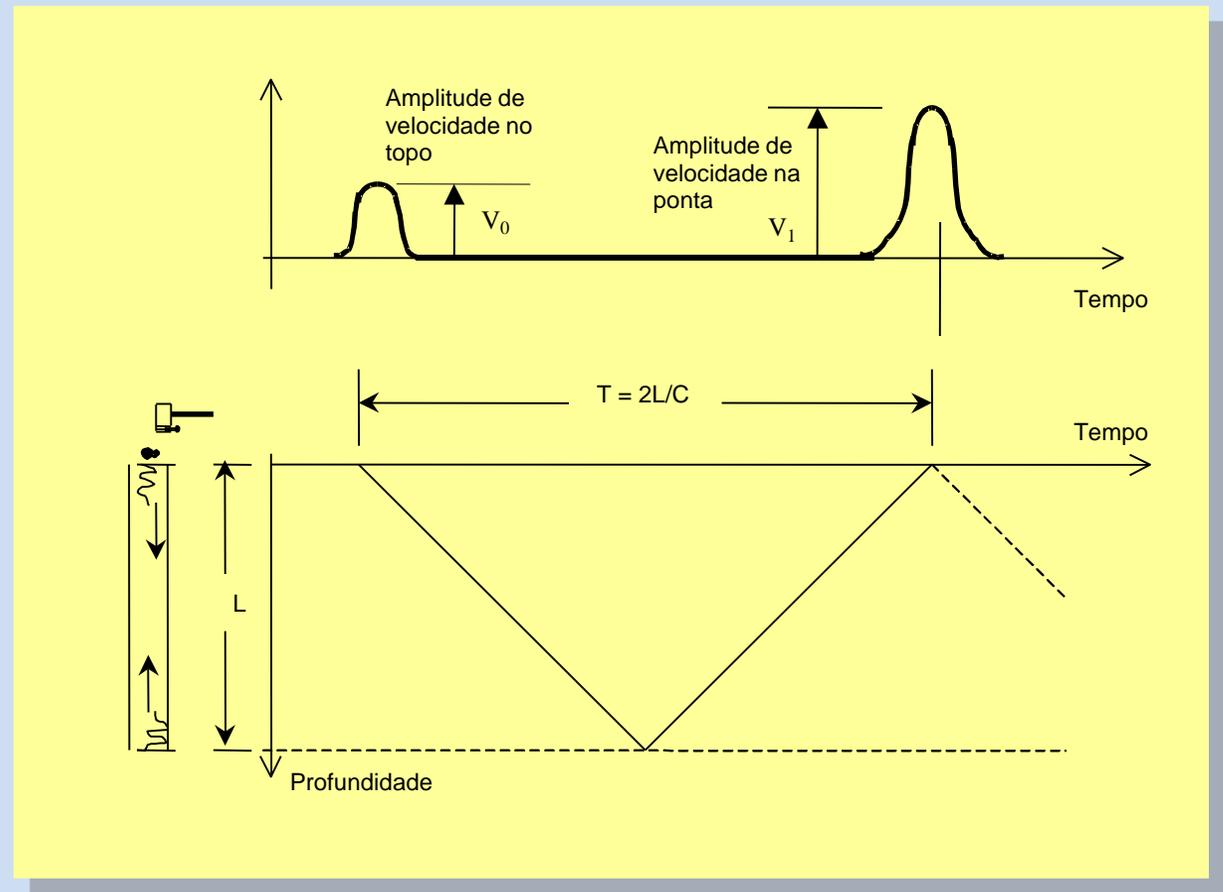
- ① *martelo instrumentado tradicional de 4 kg**
- ② *martelo simples de 1,5 kg (disponível também em 0,5 kg e 4 kg)*
- ③ *acelerômetro para fixação lateral*
- ④ *acelerômetro para fixação no topo*
- ⑤ *martelo instrumentado tradicional de 0,5 kg (disponível também em 1,5 kg)*
- ⑥ *acelerometro sem fio*
- ⑦ *martelo instrumentado sem fio*

** todos os pesos são aproximados*

TECNOLOGIA Pile Dynamics Inc

PRINCÍPIO BÁSICO DO ENSAIO DE P.I.T.

Impacto e instalação do acelerômetro no topo da estaca



$$T = \frac{2L}{C}$$

em que:

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

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

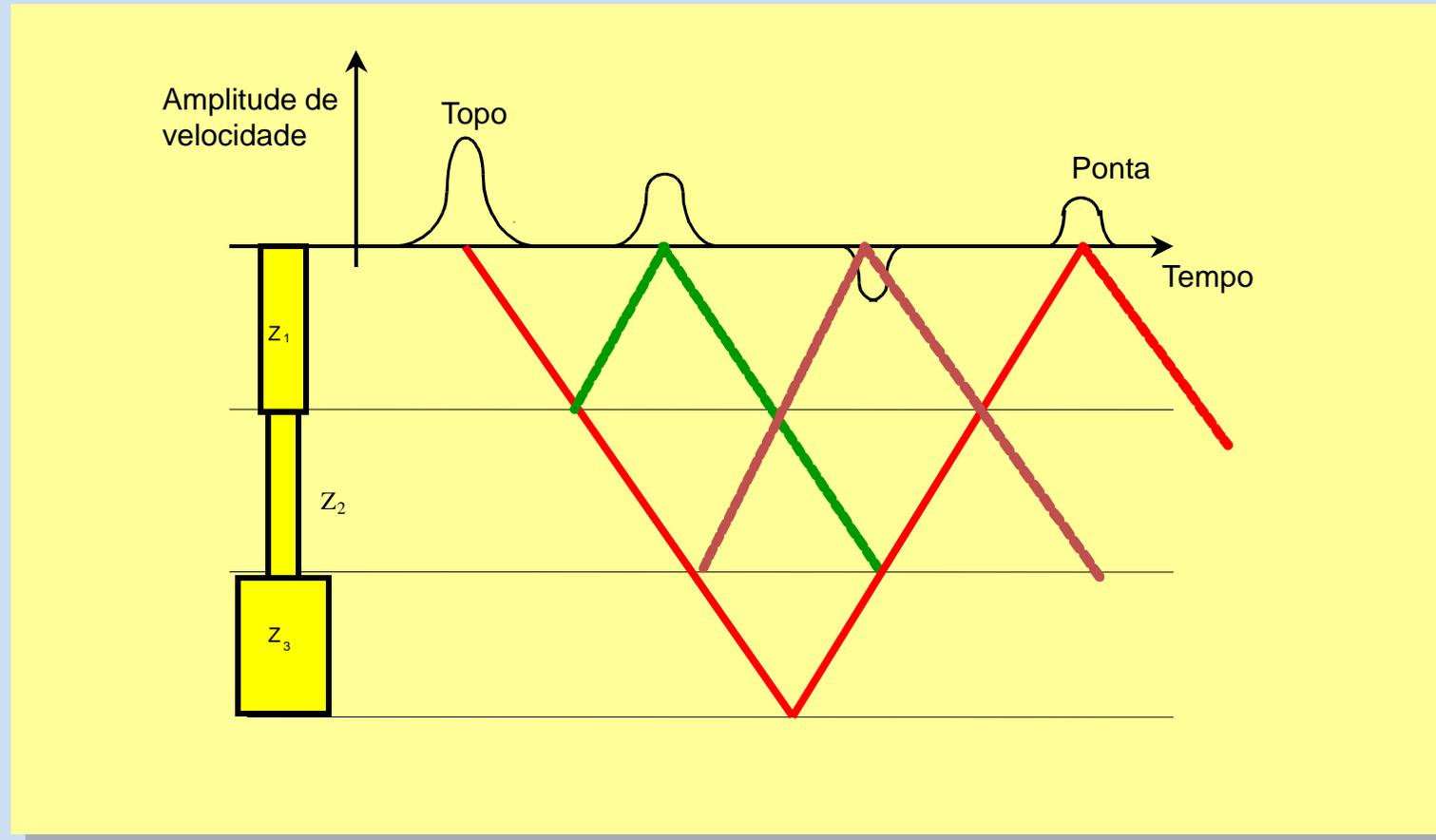
C = velocidade de propagação da onda compressiva de baixa intensidade
($C_{\text{CONC}} = 3,5 - 4,2\text{m/ms}$) ou ($C_{\text{CONC}} = 3500 - 4200\text{m/s}$).

- Adota-se, preliminarmente, o valor de 4,0m/ms como velocidade média para início de análise e diagnóstico (CASO DE CONCRETO).

$$Z = \frac{E A}{C} \Rightarrow A \sqrt{E \rho} = \rho \cdot C \cdot A$$

- 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⁻²)

REPRESENTAÇÃO TÍPICA DE AMPLITUDE DE VELOCIDADE COM VARIAÇÃO DE IMPEDÂNCIA AO LONGO DA PROFUNDIDADE



Tem-se, ainda, que C em um material homogêneo, é dada pela relação:

$$C = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \Rightarrow C = \sqrt{\frac{E G}{\gamma}}$$

- E — Módulo de elasticidade (tf/m²)
- ρ — Massa específica, (tf x seg² x m⁻²)
- G — Aceleração da gravidade (m/seg²)
- γ — Peso específico (tf/m³)

$$\rho = \frac{\gamma}{G}$$

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

The results are graphically represented in Fig. 1.

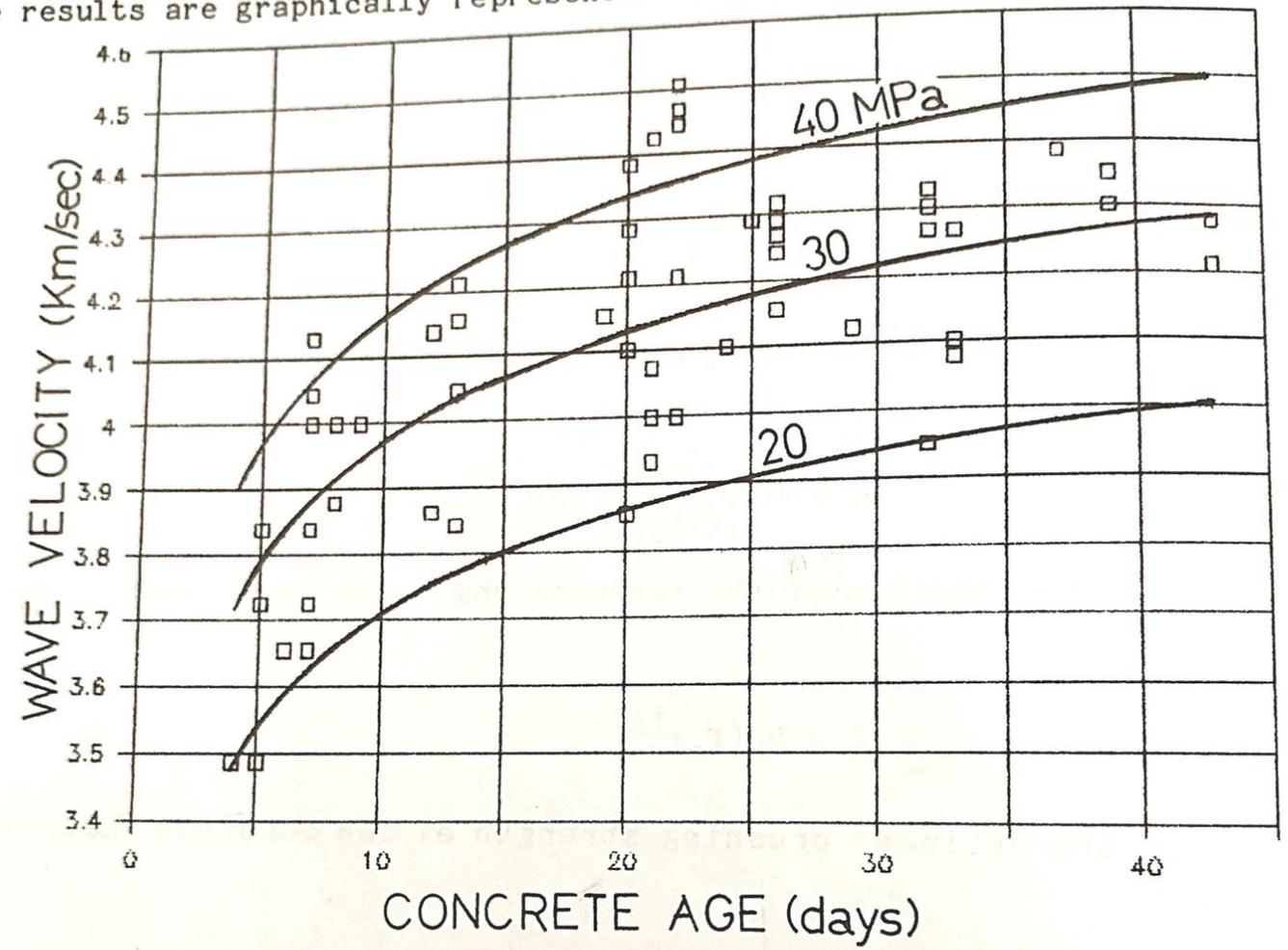
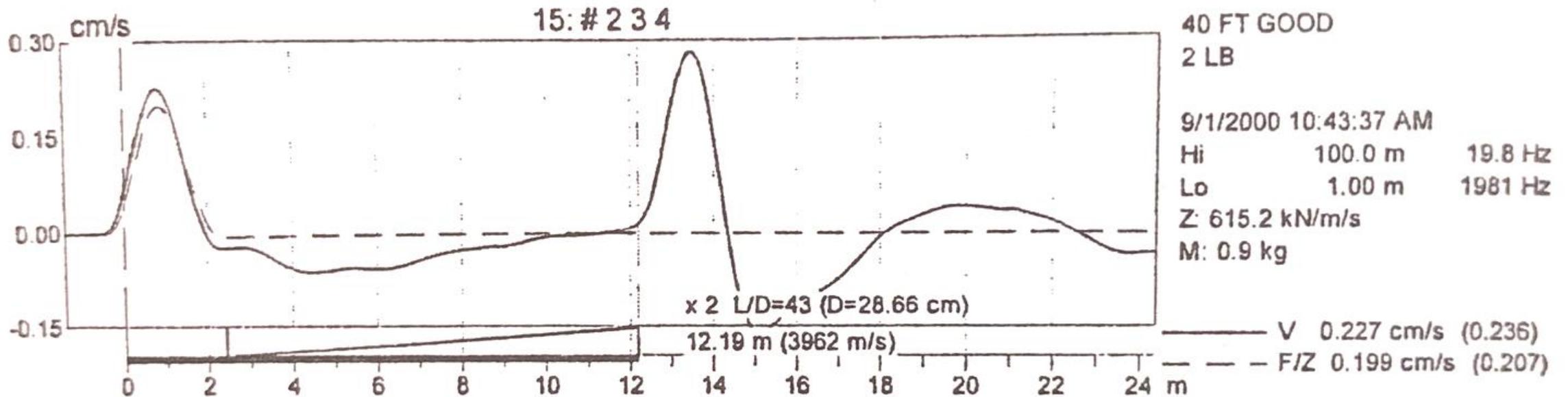


Fig. 1 - Wave velocity as a function of concrete grade and age

REFLECTOGRAMA TÍPICO

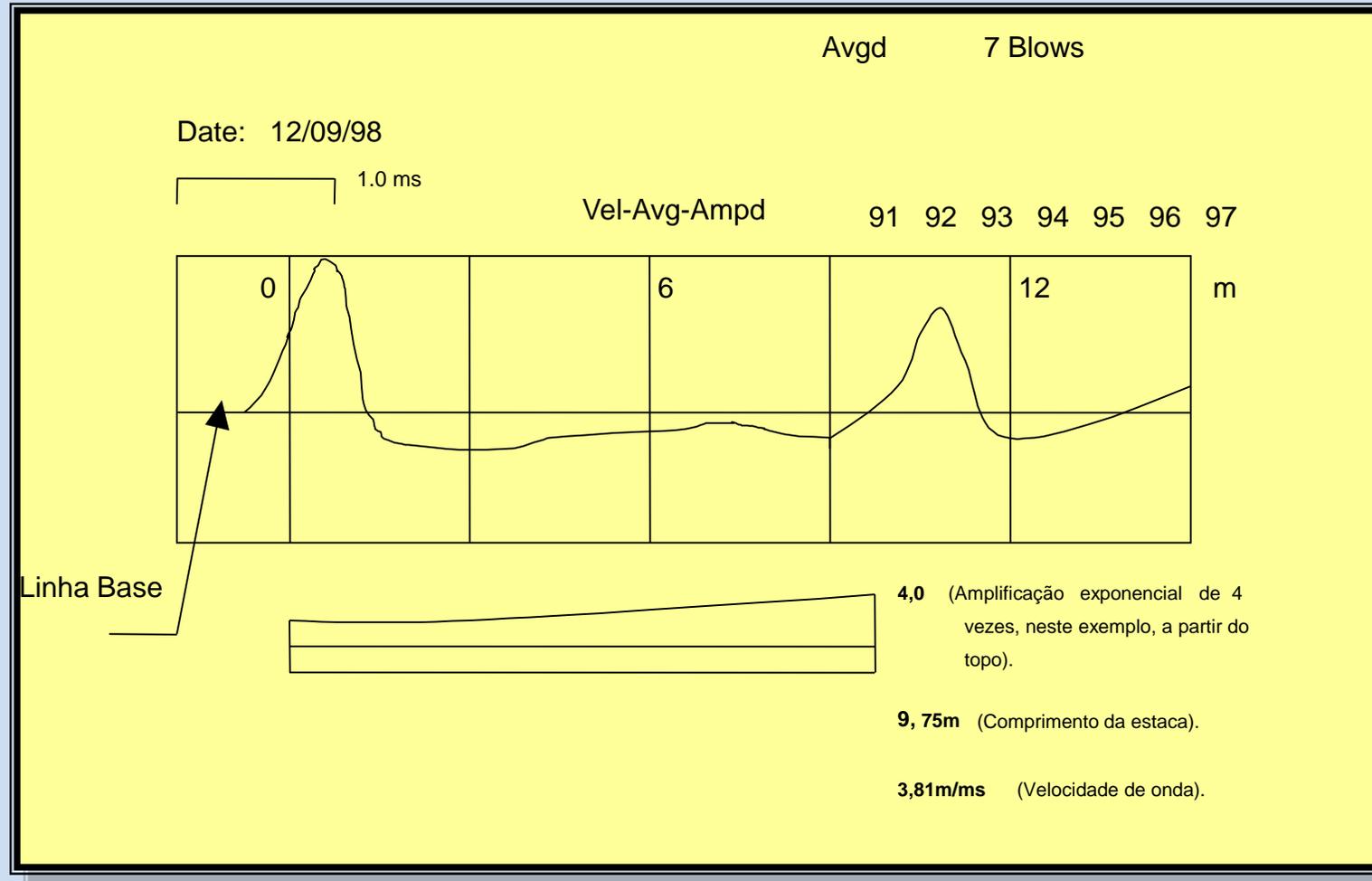


Single Plot of Velocity vs Time (Length)

PIT-W USER'S MANUAL

SINAIS DE VELOCIDADE TÍPICOS

Estaca íntegra



CONDIÇÕES PARA ENSAIO, PREPARO DAS ESTACAS E PROCEDIMENTOS DE CAMPO PARA AQUISIÇÃO DE DADOS

- 1) Corte do concreto final de concretagem da estaca, até encontrar concreto de boa qualidade, por inspeção visual (não necessariamente até a cota de arrasamento);**
- 2) Preparo do topo da estaca, assegurando-se que a superfície encontre-se lixada em pontos convenientemente escolhidos e limpa (material livre retirado);**
- 3) Subdivisão da seção da estaca (em quatro quadrantes e núcleo central);**
- 4) Medida do perímetro da estaca no topo de ensaio;**

- 5) Fixar o acelerômetro, garantindo boa aderência, através do uso de cera tipo *Petrowax*, em superfície seca;**
- 6) Testar estacas com pelo menos 7 dias após concretagem;**
- 7) 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.**
- 8) Informação do comprimento da estaca: nível de ensaio-ponta da estaca.**
- 9) Tipo de estaca a ser ensaiada**

Discos para o desbaste do concreto da estaca



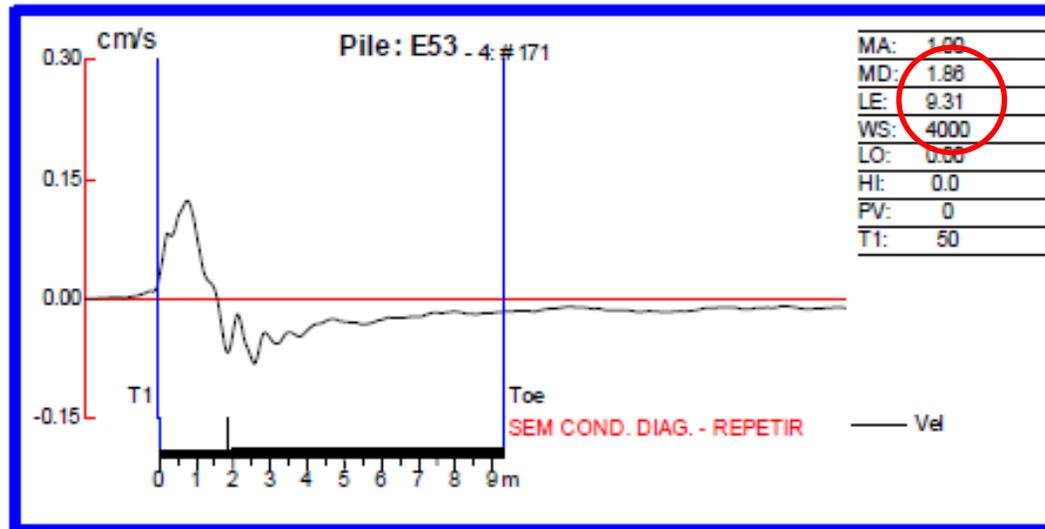
- Ao lado encontra-se a foto do disco de desbaste Norton BDA 65 – Linha Super – indicado para desbastar materiais não ferrosos e não metálicos



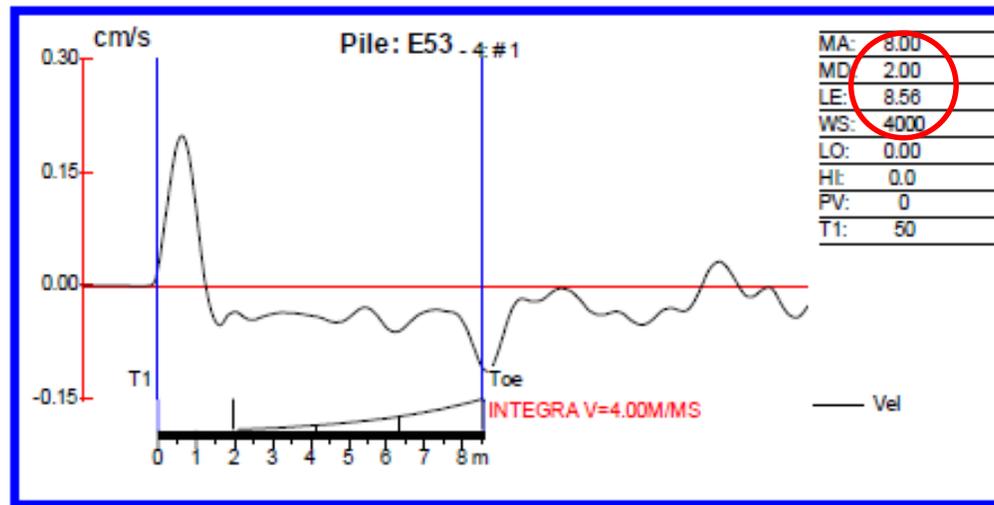
- Como alternativa pode ser usado o disco de desbaste Norton BDA 670 – Linha Maxi – indicado para desbastar pedras, granitos e mármore em geral

PREPARO DO TOPO DA ESTACA

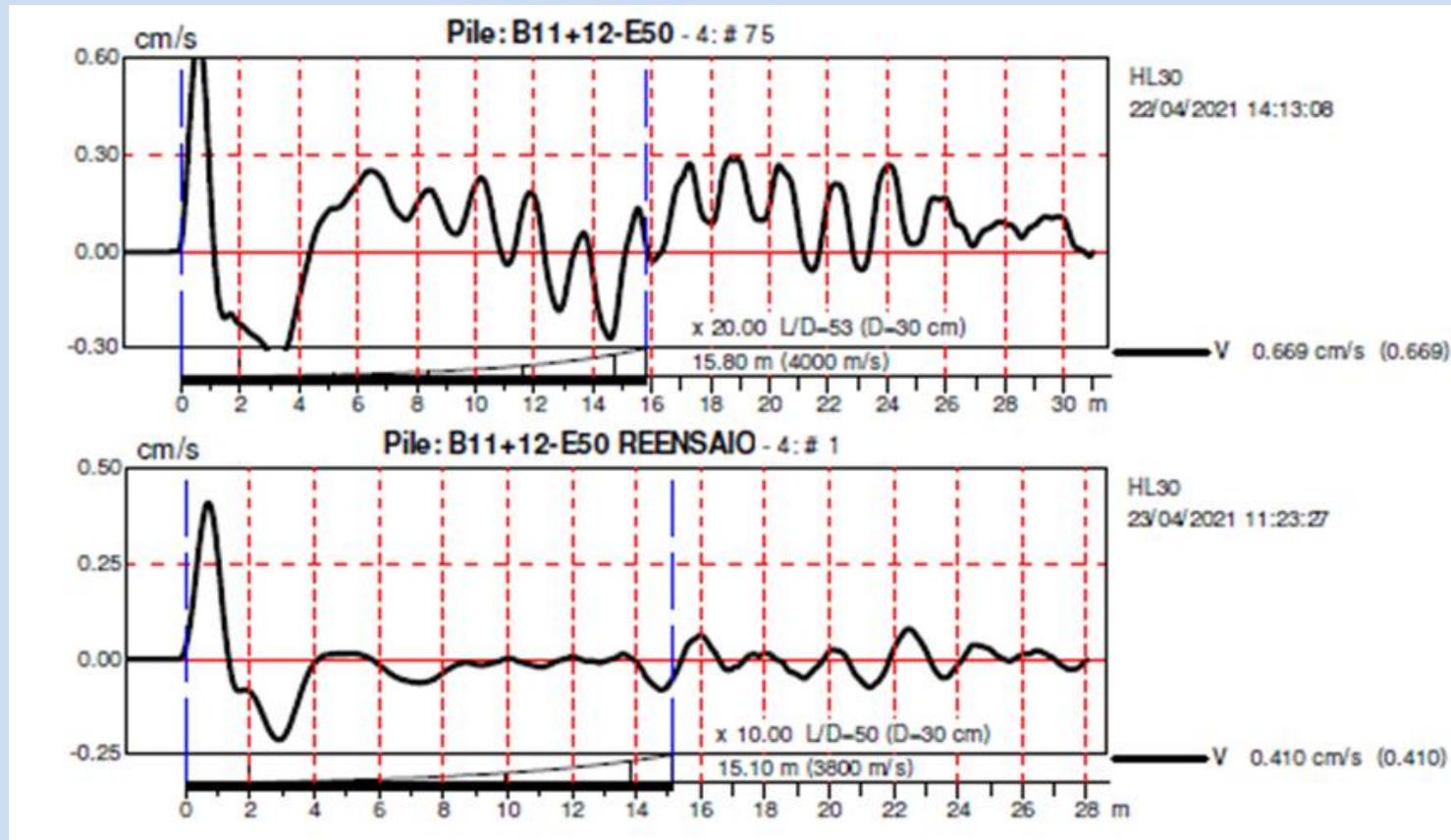




E53
Estaca mal preparada
(concreto ruim)

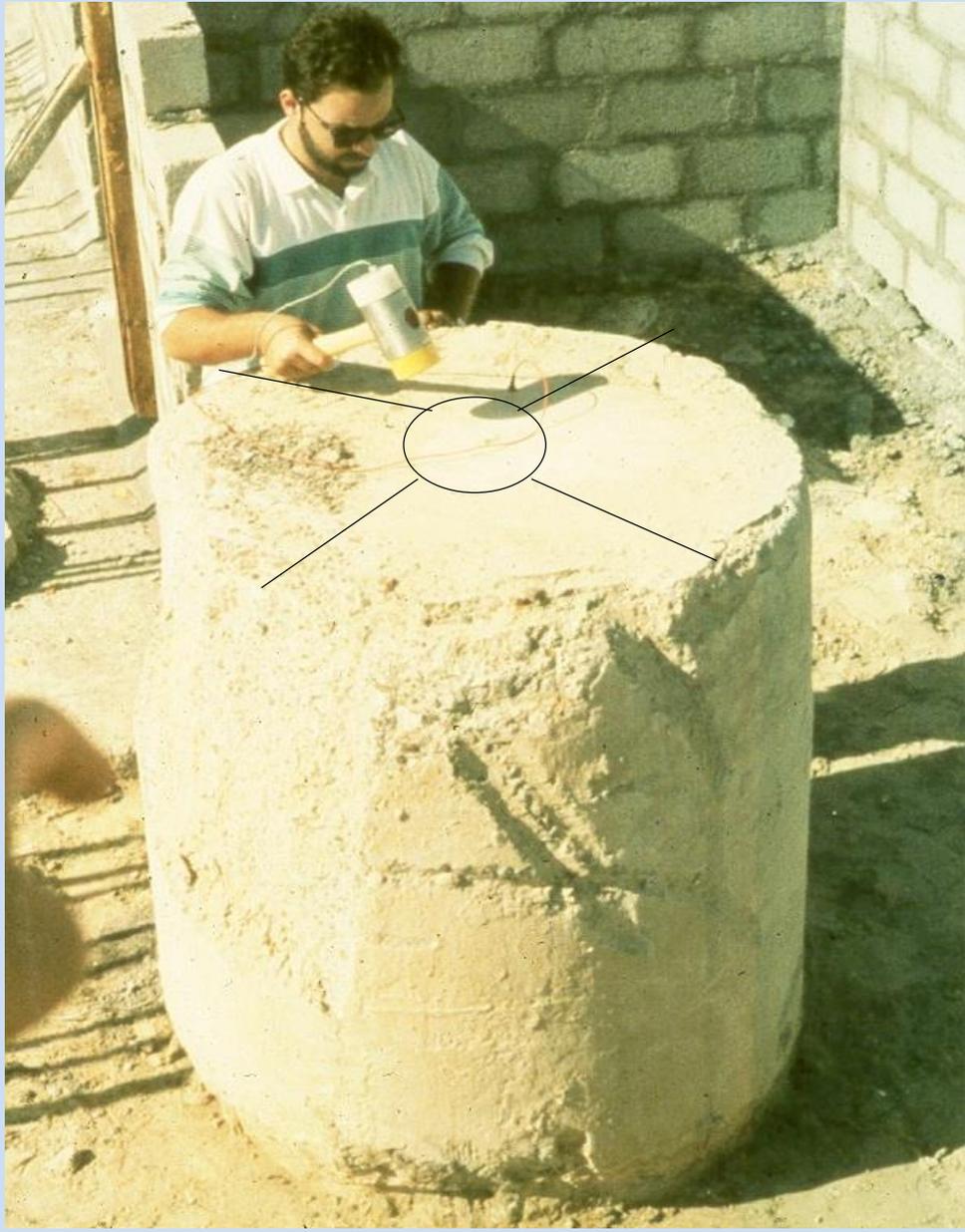


E53
Estaca bem preparada
(corte 75 cm)



B11+12 - E50
Estaca mal preparada
(concreto ruim)

B11+12 - E50
Estaca bem preparada
(corte 70 cm)



Subdivisão da Seção da Estaca em quadrantes e núcleo central. Obrigatório diâmetro ≥ 80 cm.

DANOS E ANOMALIAS DETECTÁVEIS NO ENSAIO P.I.T.:

- **Juntas frias, descontinuidade e/ou seccionamento pleno de seção;**
- **Alargamento/estreitamento de seção;**
- **Mudanças nas propriedades dos materiais que constituem a estaca;**
- **Intrusões de solo significativas (5 a 10%, ou mais, do diâmetro da estaca);**
- **Determinação do provável comprimento (dispersões da ordem de ± 5 a 10%);**
- **Emendas (caso de estacas pré-fabricadas de concreto, madeira e, eventualmente, moldadas in loco);**
- **Concreto de má qualidade;**
- **Fissuras transversais na seção de fuste.**

VANTAGENS

- **Ensaio rápido, não destrutivo e de baixo custo, possibilitando testar até todas as estacas de uma 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 e de grande mobilidade, garantindo fácil acesso às estacas a ensaiar.**
- **Possibilidade de ensaio a qualquer tempo sem programação prévia**

LIMITAÇÕES

- **Não verifica:**
 - capacidade de carga geotécnica;
 - fragmentos na ponta da estaca;
 - pequenas intrusões de material externo;
 - fissuras paralelas ao eixo longitudinal da estaca;
 - microfissuras.
- regiões de “sombra”, caso o acelerômetro não seja posicionado convenientemente;
- ensaio na lateral de fuste;
- Estacas inclinadas;
- Estacas de aço;
- Estacas pré-fabricadas de concreto (emendas e seção vazada);
- Efeito de “damping” em solos de elevada resistência lateral;
- Estacas com grande variabilidade de seção (micro estacas injetadas à alta pressão);
- Relação $\frac{L}{D} > 50$, onde L = comprimento e D = diâmetro.

ENSAIO PADRÃO (TOPO “LIVRE”)





Martelo convencional

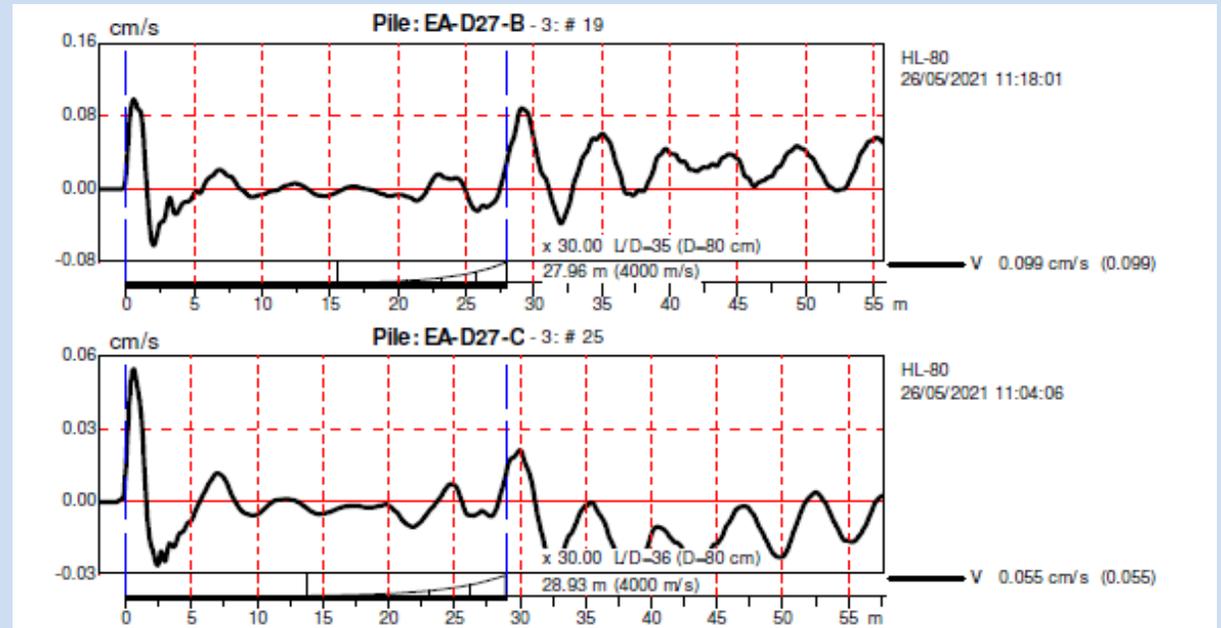


Martelo Instrumentado



ENSAIO NA LATERAL DE FUSTE – NA GRANDE MAIORIA DOS CASOS TESTADOS: NÃO CONCLUSIVO

ENSAIO CAPELA (ABERTURA NO FUSTE)



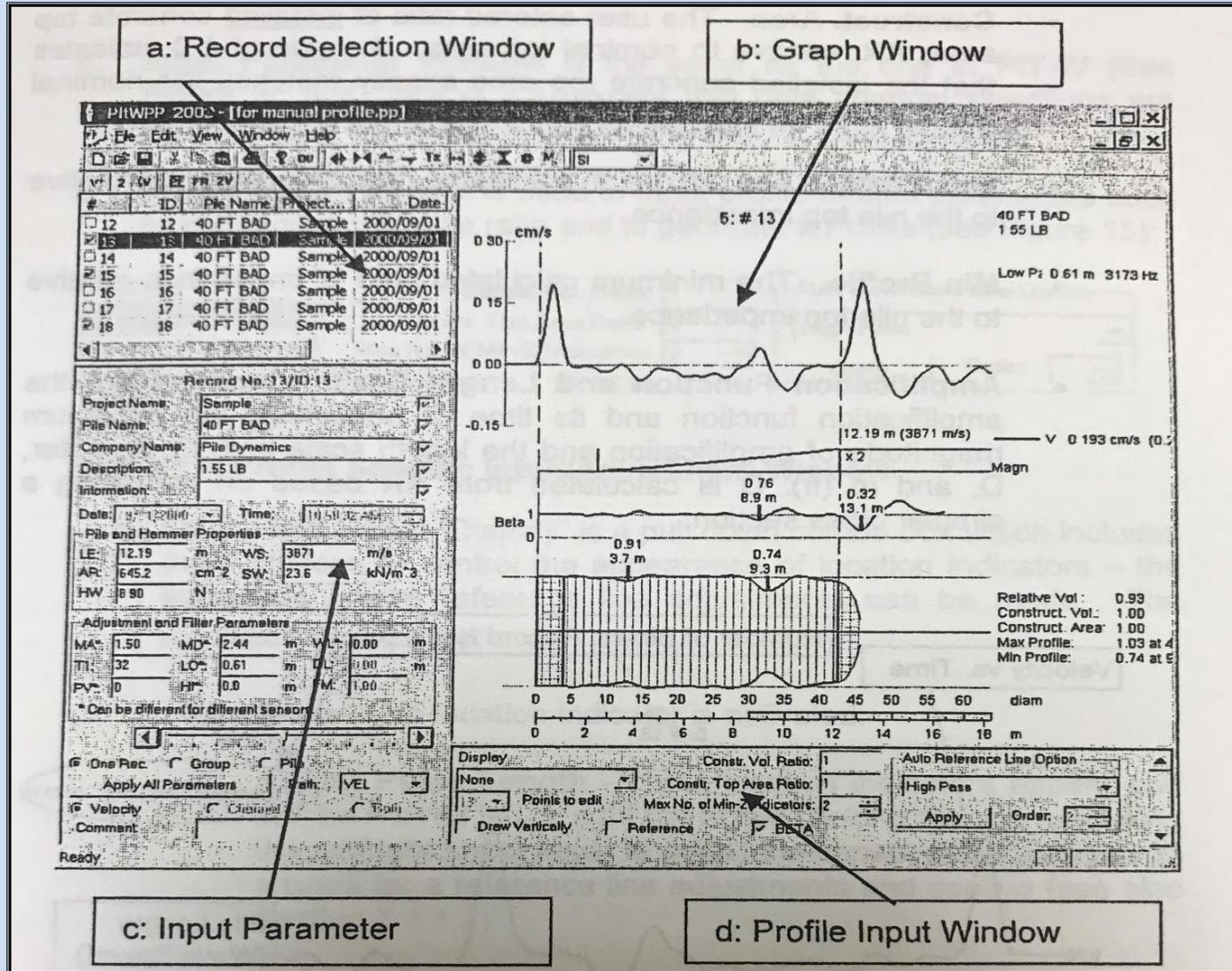
ENSAIO CONCLUSIVO

DIAGNÓSTICO

Informações adicionais necessárias para diagnóstico:
Investigação Geotécnica de campo (sondagens SPT, outros ensaios etc)
Fichas individuais do controle da execução das estacas ensaiadas

- Estaca Íntegra (monolítica);
- Garantia de integridade até X metros;
- Velocidade de onda abaixo do limite inferior de 3500 m/s, entretanto monolítica ;
- Sem condição de diagnóstico, reflexões randômicas do sinal de velocidade. Sugere inspeção da região próxima ao topo, escavação periférica;
- Estacas com anomalias e ou dano estrutural. Escavação para verificação do “dano” e/ou anomalia, quando as condições geotécnicas assim o permitirem. Principalmente em casos observados próximos ao topo. Investigação através de sondagem rotativa.
- Em qualquer caso, exceto em estacas íntegras, sugere-se sempre que possível reensaiar estacas em tempos distintos;
- O Reflectograma que caracteriza o padrão de integridade das estacas da obra deverá ser referência para diagnóstico.

PIT - PROFILE



a: Record Selection Window

#	ID	Pile Name	Project...	Date
<input type="checkbox"/>	12	40 FT BAD	Sample	2000/09/01
<input checked="" type="checkbox"/>	13	40 FT BAD	Sample	2000/09/01
<input type="checkbox"/>	14	40 FT BAD	Sample	2000/09/01
<input checked="" type="checkbox"/>	15	40 FT BAD	Sample	2000/09/01
<input checked="" type="checkbox"/>	16	40 FT BAD	Sample	2000/09/01
<input type="checkbox"/>	17	40 FT BAD	Sample	2000/09/01
<input type="checkbox"/>	18	40 FT BAD	Sample	2000/09/01

b: Graph Window

5: # 13

40 FT BAD
1.55 LB

Low P: 0.61 m 3173 Hz

cm/s

0.30
0.15
0.00
-0.15

12.19 m (3871 m/s)

0.193 cm/s (0.5)

Magn

Beta

1
0

0.76
8.9 m

0.32
13.1 m

0.91
3.7 m

0.74
9.3 m

0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 diam

0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 m

Relative Vol: 0.93
Construct. Vol: 1.00
Construct. Area: 1.00
Max Profile: 1.03 at 4
Min Profile: 0.74 at 5

c: Input Parameter

Record No.: 13/13

Project Name: Sample

Pile Name: 40 FT BAD

Company Name: Pile Dynamics

Description: 1.55 LB

Date: 9/1/2000 Time: 11:51:32 AM

Pile and Hammer Properties

LE: 12.19 m WS: 3871 m/s

AR: 645.2 cm² SW: 23.6 kN/m³

HW: 8.90 N

Adjustment and Filter Parameters

MA: 1.50 MD: 2.44 m WL: 0.00 m

TI: 32 LO: 0.61 m DL: 0.00 m

PV: 0 HI: 0.0 m M: 1.00

* Can be different for different sensors

One Rec Group Pile

Apply All Parameters Path: VEL

Velocity Comment

Display: None

Constr. Vol. Ratio: 1

Constr. Top Area Ratio: 1

Max No. of Min-Z Indicators: 2

Auto Reference Line Option: High Pass

Draw Vertically Reference BETA

Apply Order

d: Profile Input Window

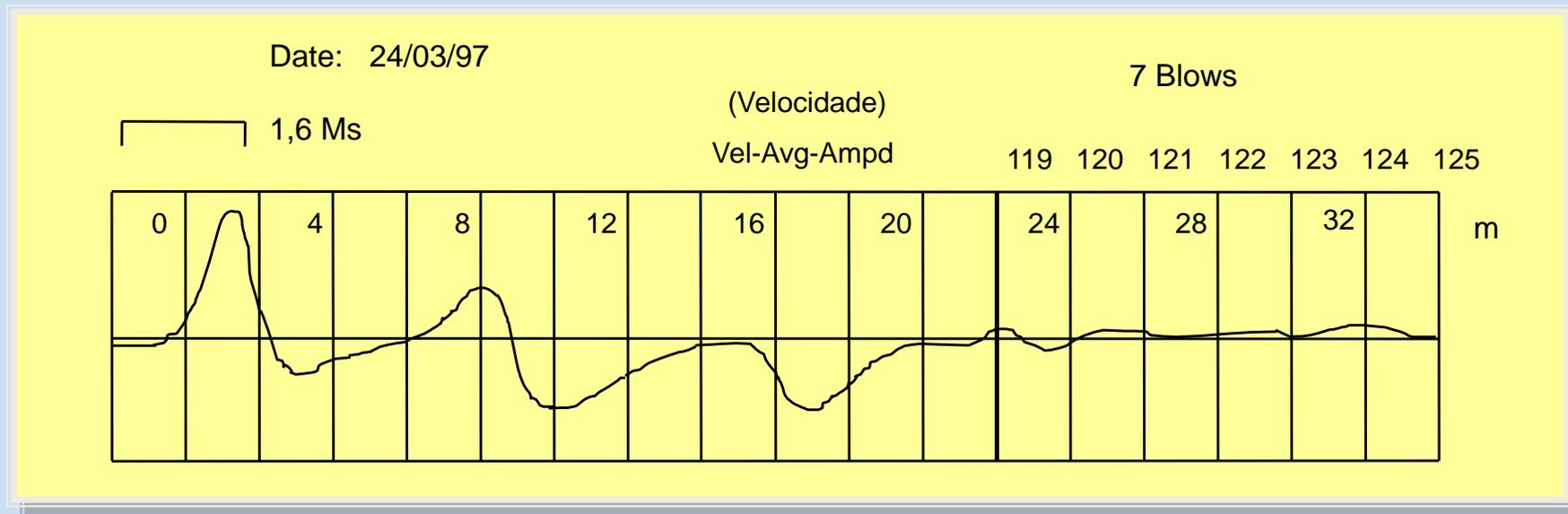
PIT-W Manual



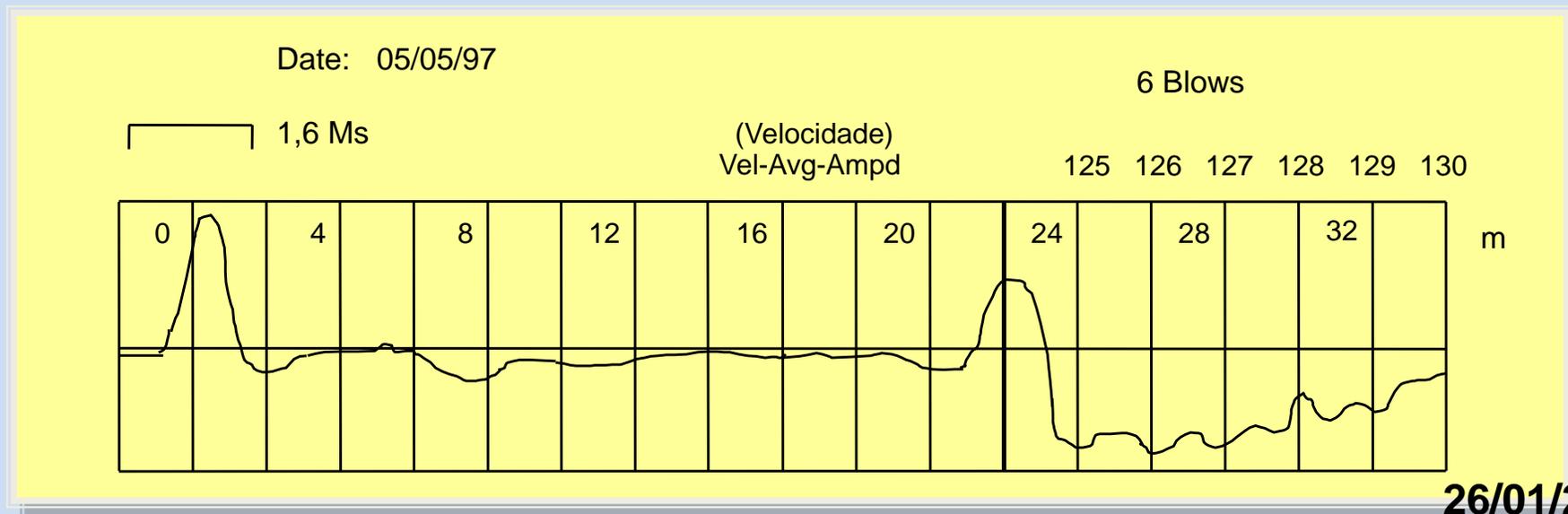
PATOLOGIA NAS FUNDAÇÕES CASOS DE OBRAS

**REGISTRO FOTOGRÁFICO
ESCAVAÇÕES DE INSPEÇÃO REALIZADAS PARA
CONFIRMAÇÃO DE DIAGNÓSTICO**

Estaca ensaiada 10 dias após concretagem (Hélice Contínua).

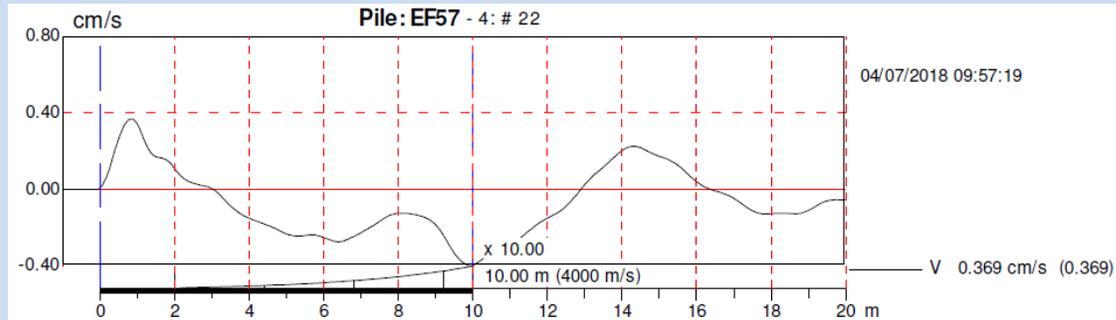


Estaca ensaiada 52 dias após concretagem.



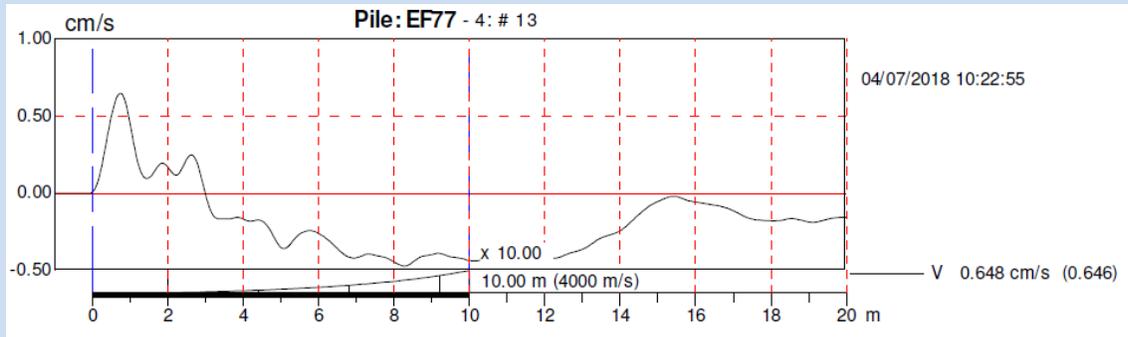
Estacas Hélice Contínua Monitorada

EF 57 - BROCAS NA ESTACA, PROFUNDIDADE 1,50M / 2,00M



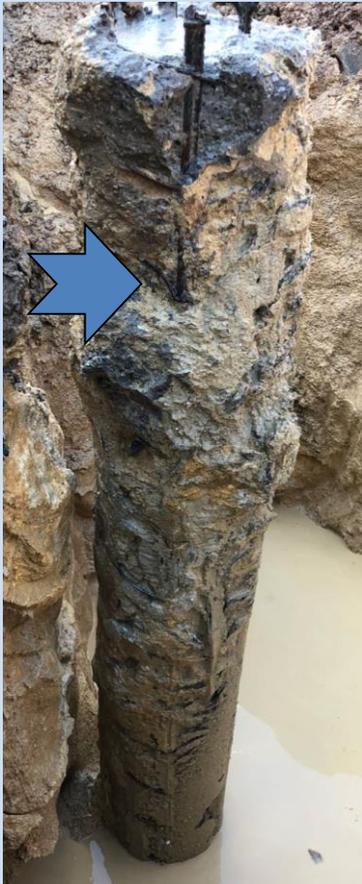
HÉLICE ϕ 400 mm



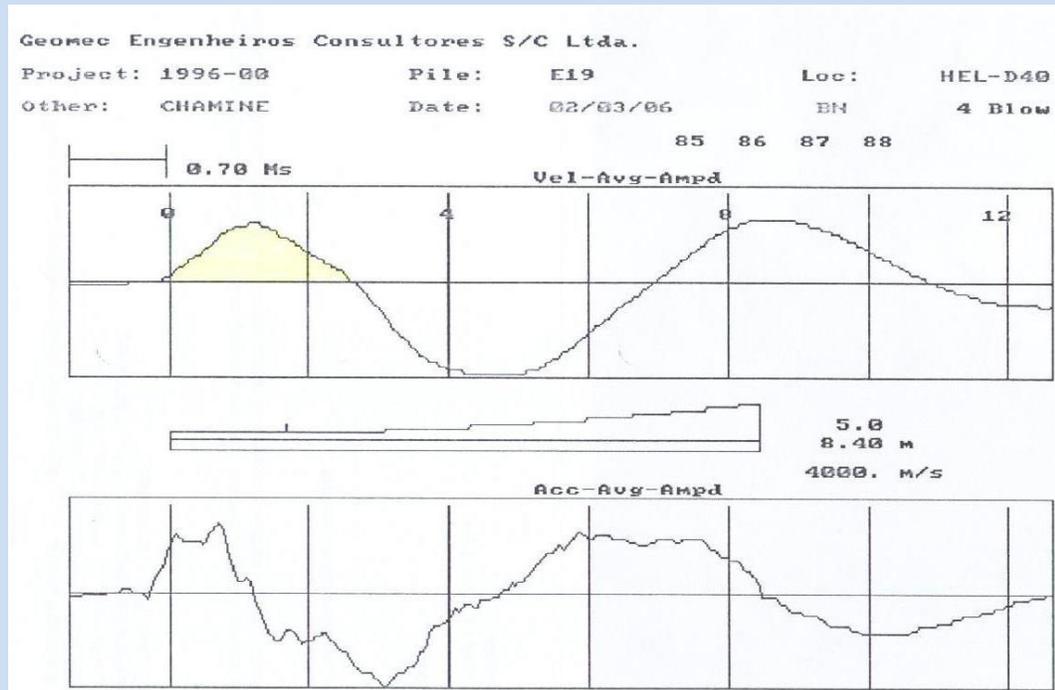


EF 77 - ARMAÇÃO EXPOSTA

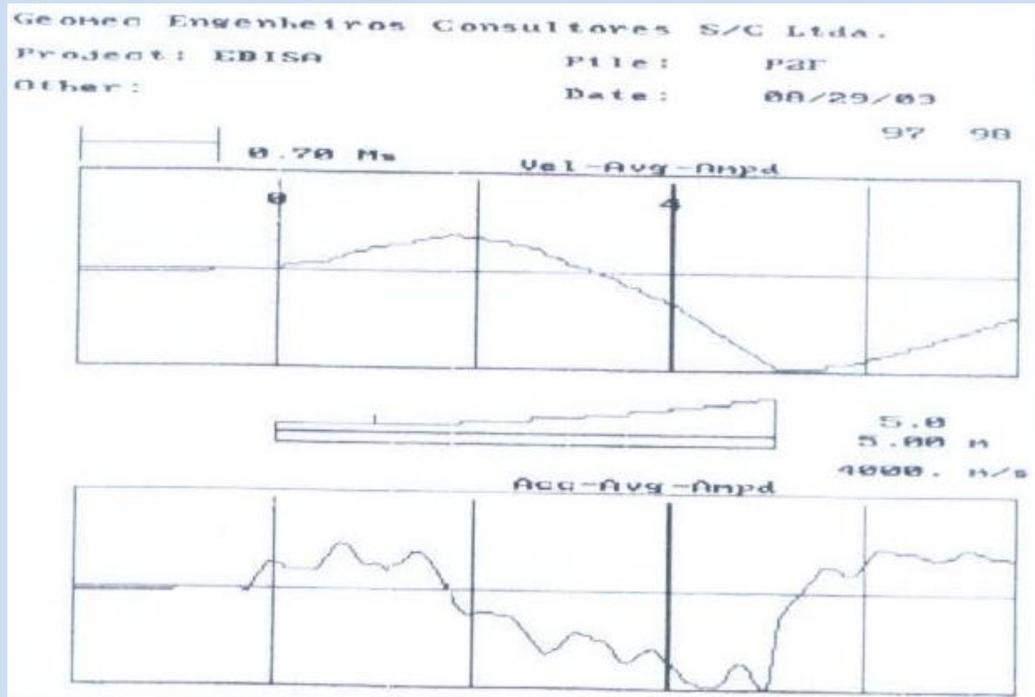
HÉLICE ϕ 400 mm



Estaca Hélice Contínua – Ø 40cm Redução de seção significativa

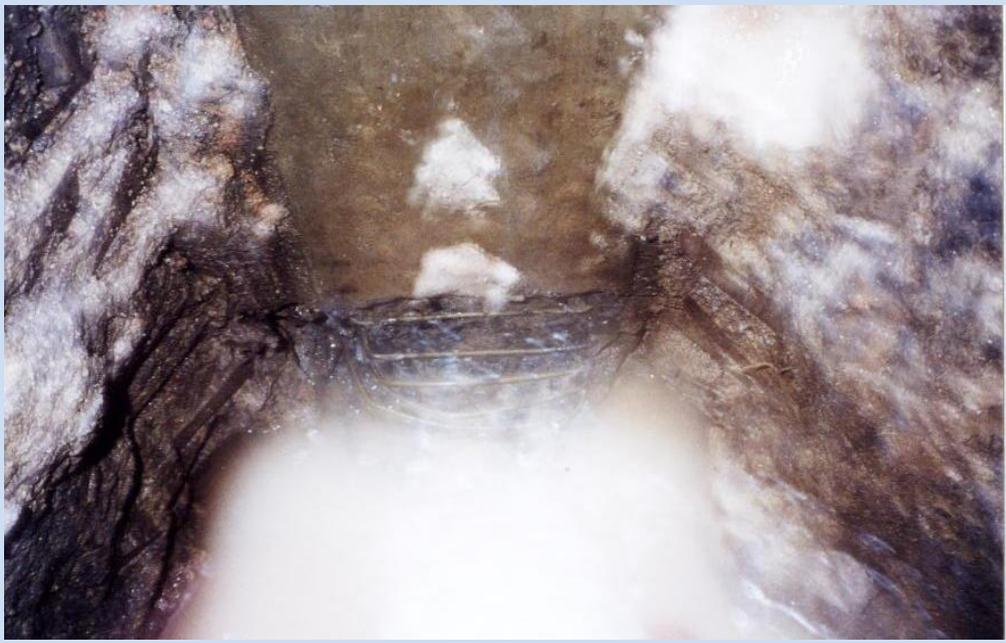
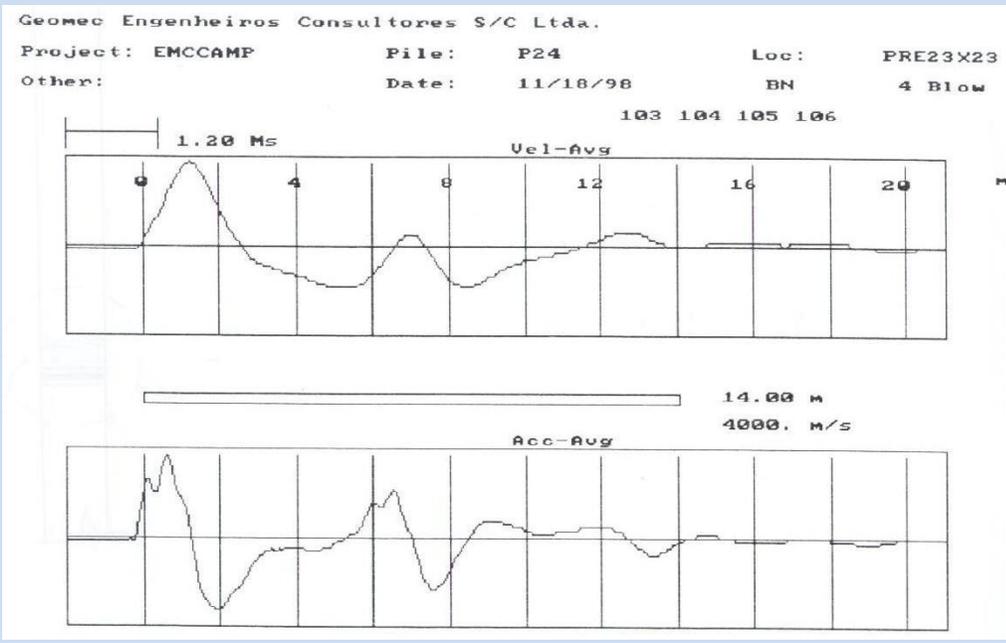


Estaca Premoldada de concreto – Próximo ao topo Seção Quadrada

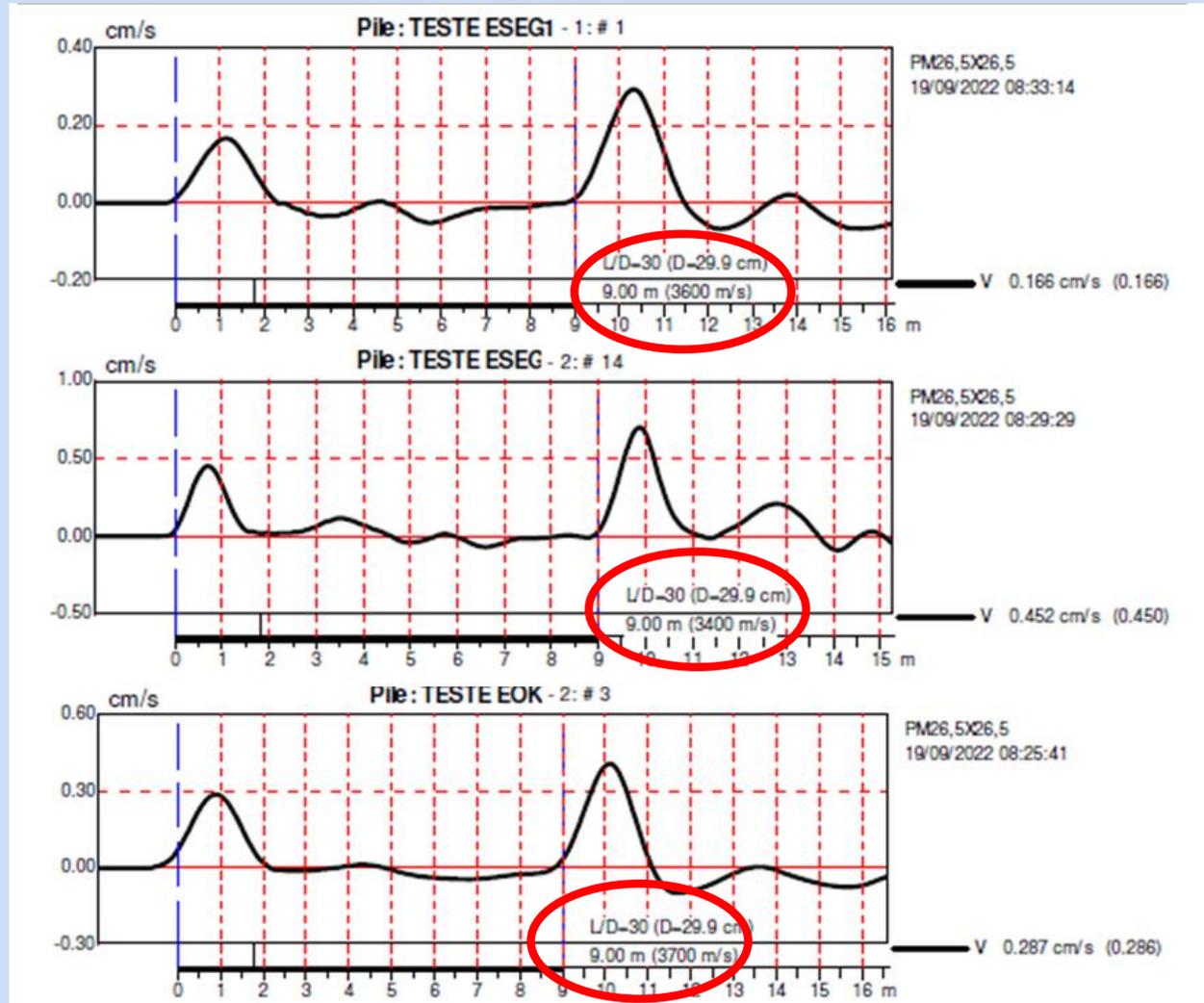




Estaca Premoldada de concreto – Dano próximo a emenda (6.0 m.) Seção Quadrada (23x23)cm



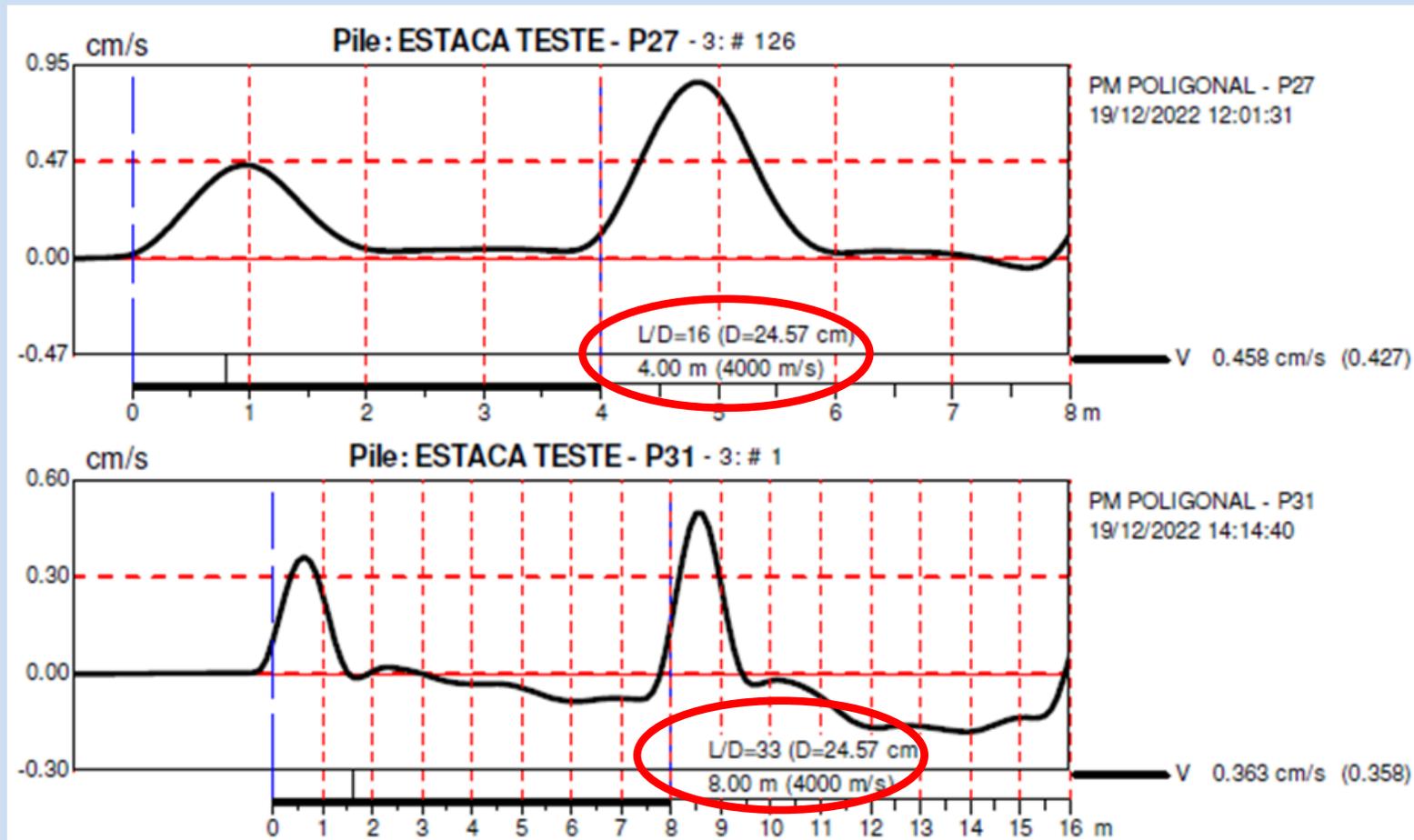
Estaca Premoldada de concreto – Seção Quadrada (26,5x26,5)cm Elemento estrutural deitado - Qualificação do Concreto



Com
Microfissuras

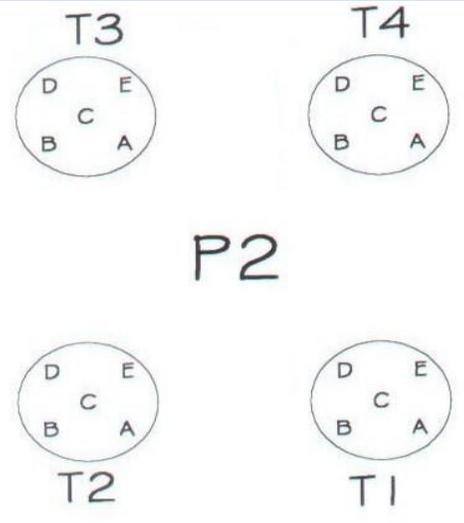
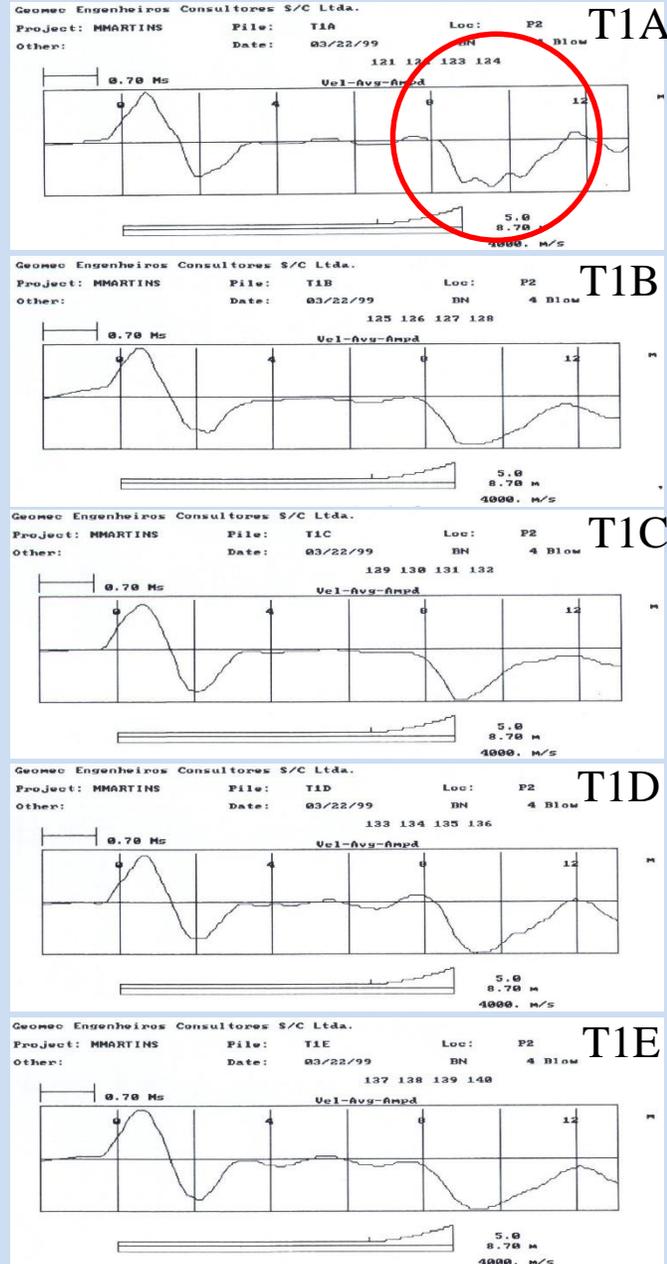
Estaca Premoldada de concreto – Poligonais P27 e P31

Elemento estrutural deitado - Qualificação do Concreto



**Sem
Microfissuras**

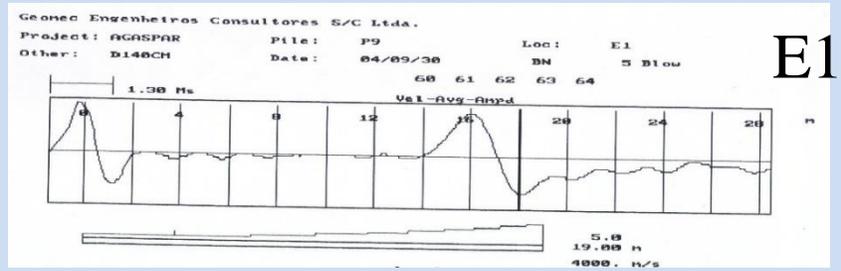
Tubulão ar comprimido PONTE RIO TAQUARI RIO GRANDE DO SUL



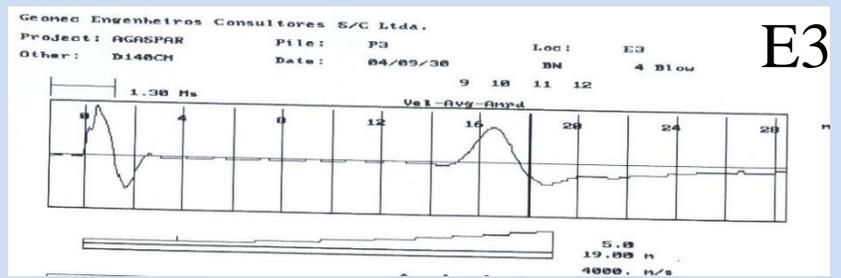
Øfuste 160cm
Øbase 300cm
Verificação do
alargamento de base



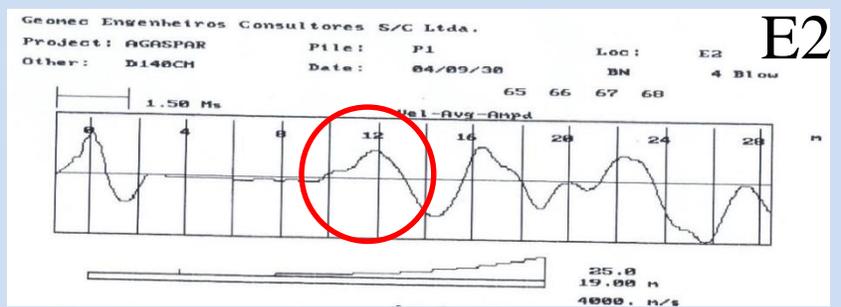
DOLPHIN Ø 140 cm – L/D = 13.50



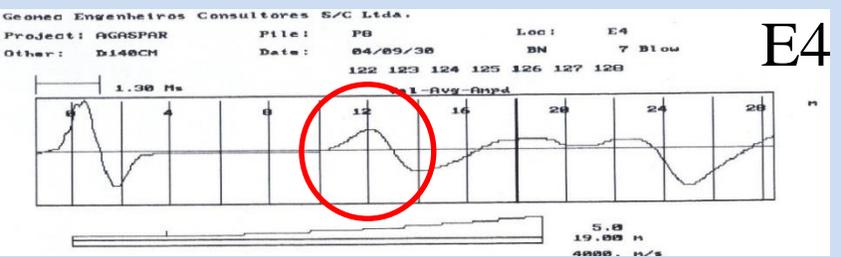
E1



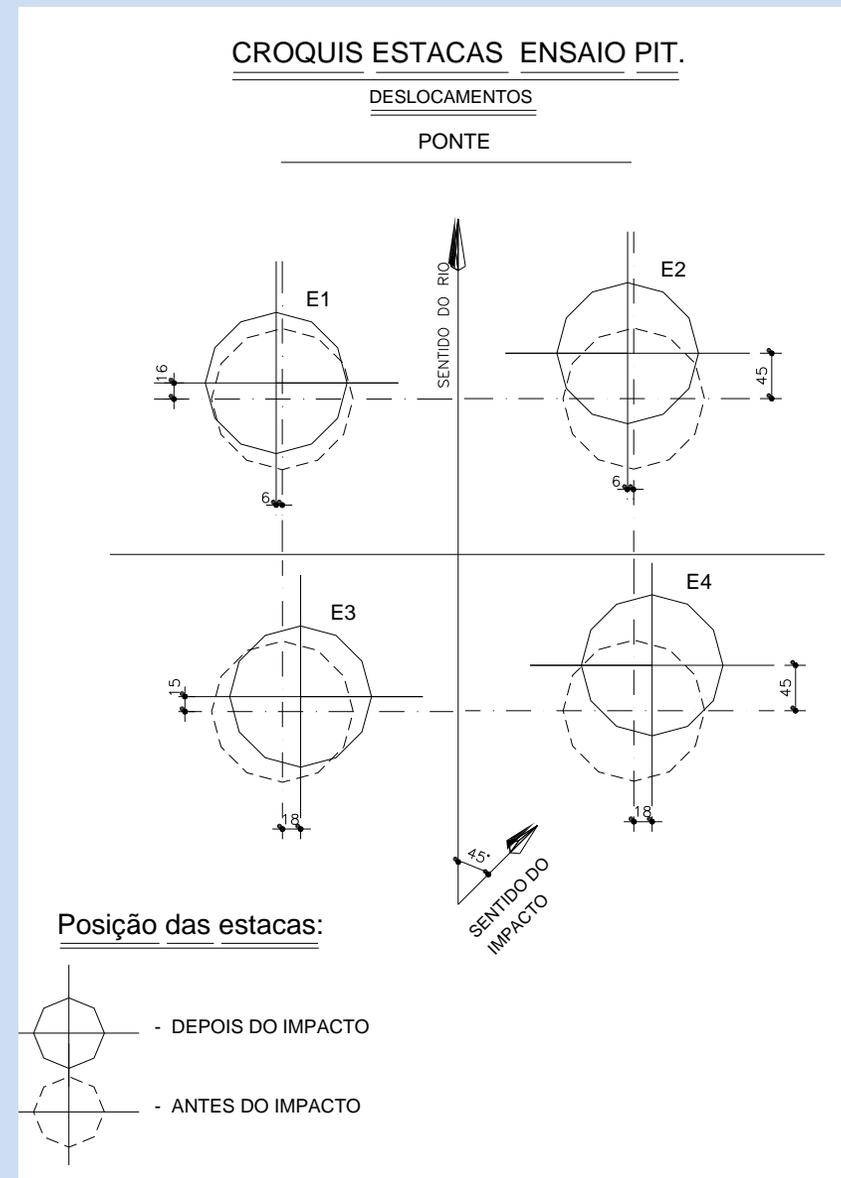
E3



E2



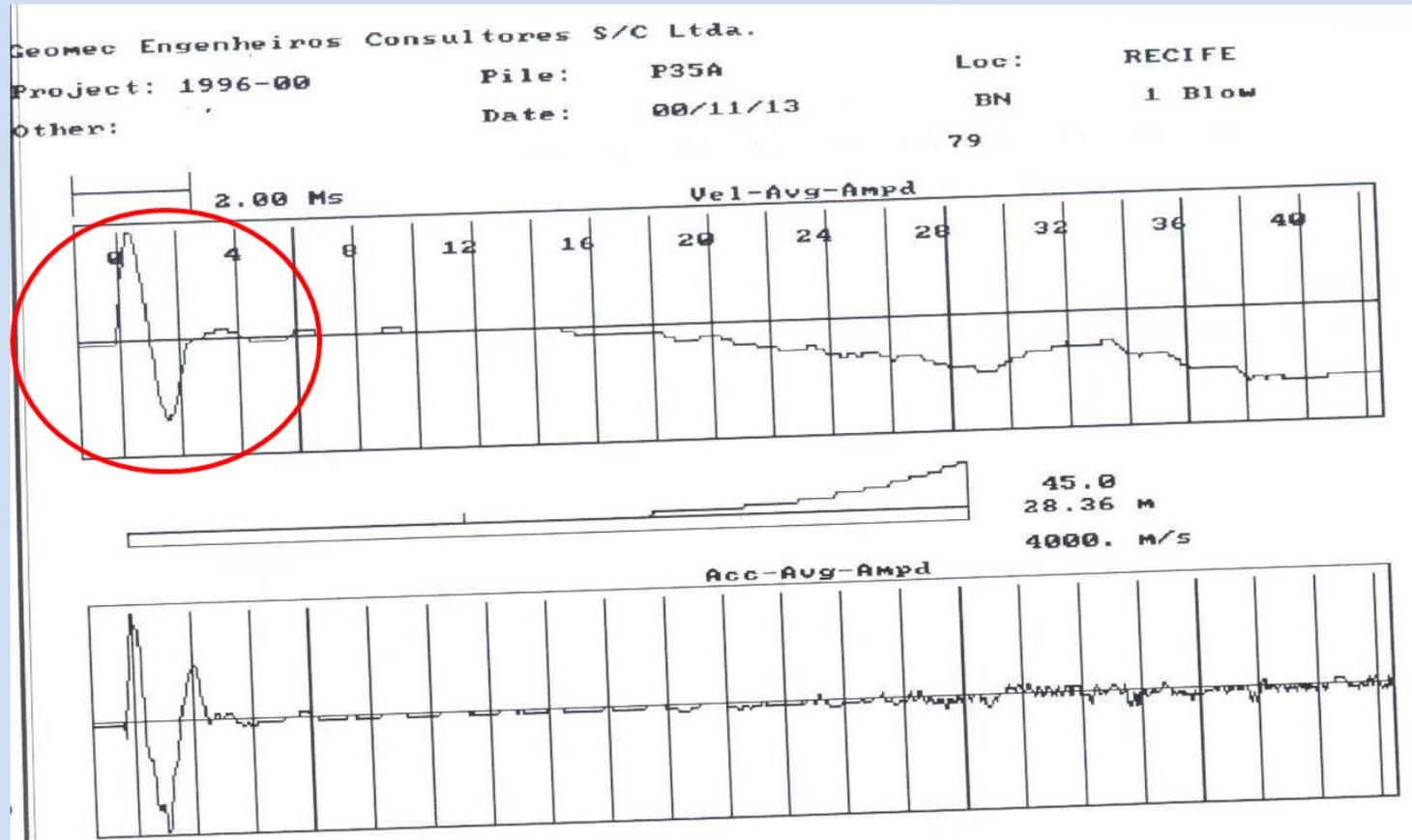
E4



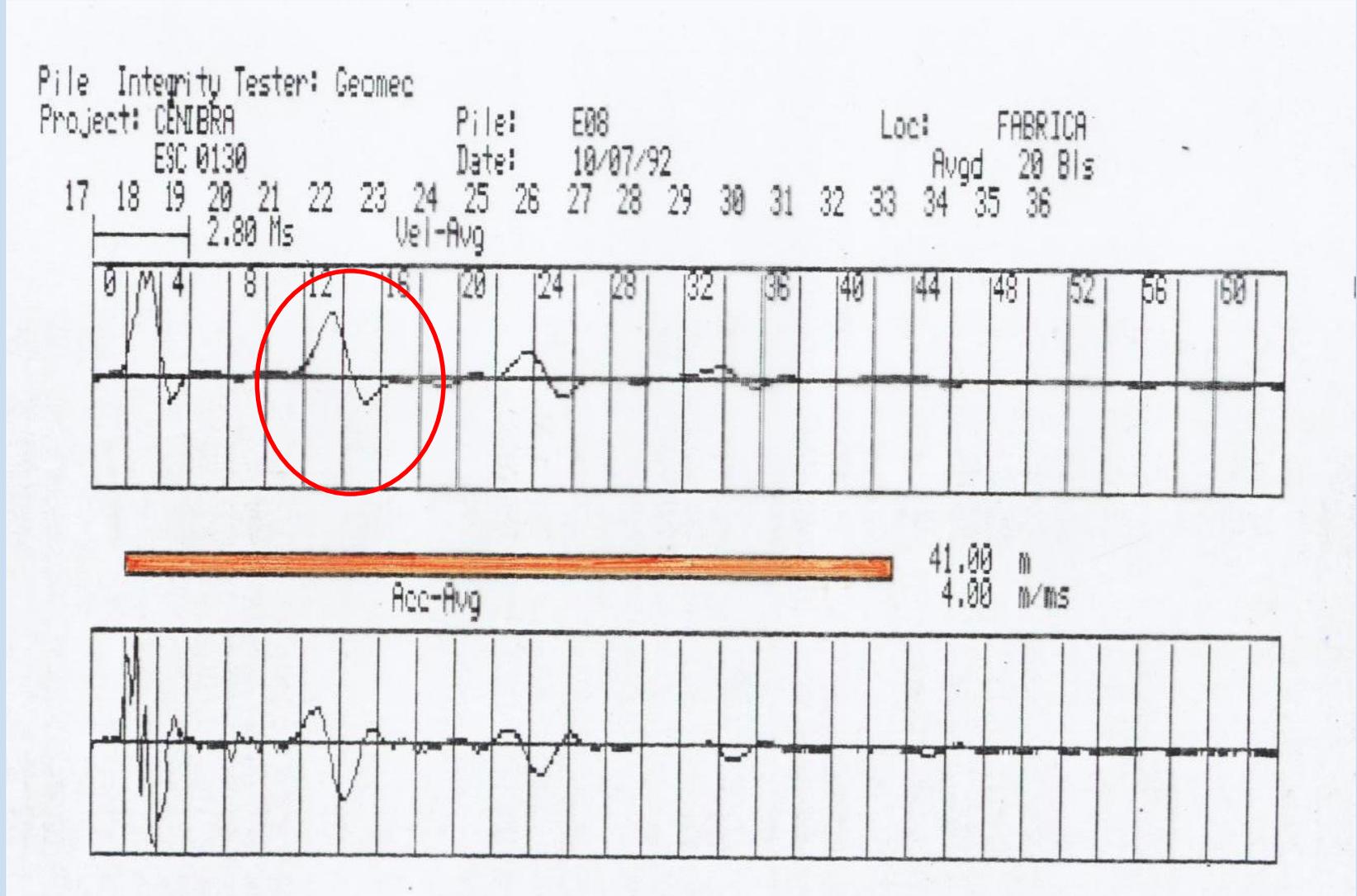


DOLPHIN Ø 140 cm

Estaca Escavada de grande diâmetro – Ø 1,50m

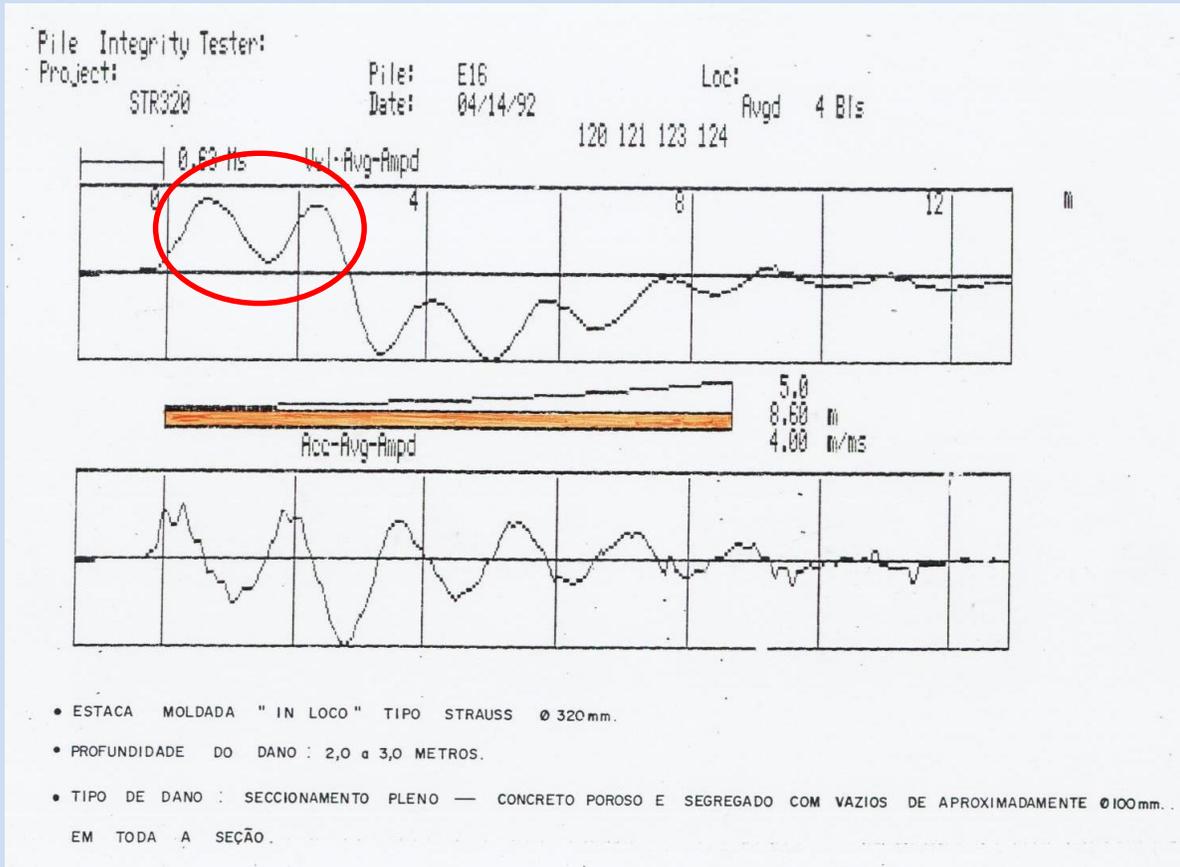


Estaca Escavada de grande diâmetro - Ø 1,30m



**Concreto segregado contaminado com lama bentonítica e solo –
Investigação através de escavação lateral encamisada**

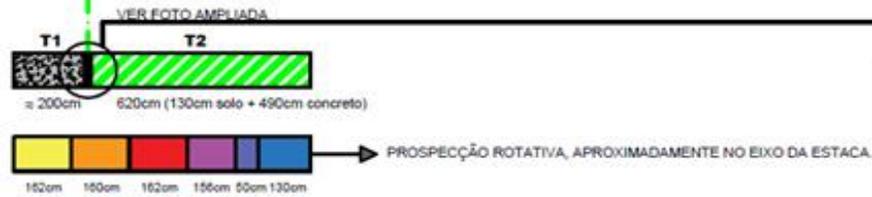
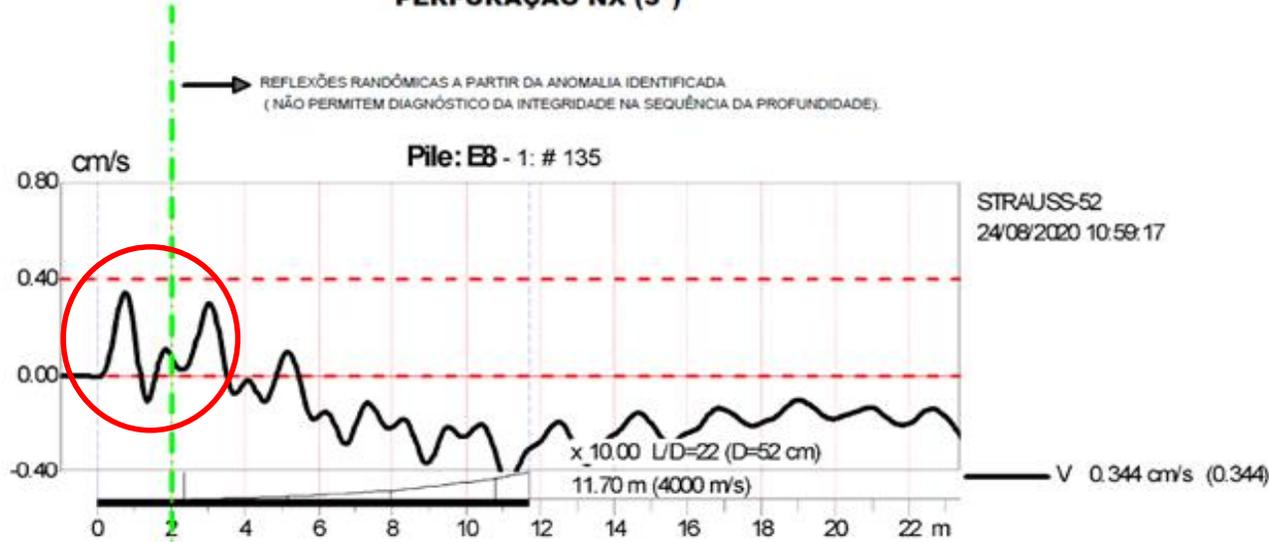
Estaca Tipo Strauss



Estaca Tipo Strauss

ROTATIVA NO EIXO ESTACA E8

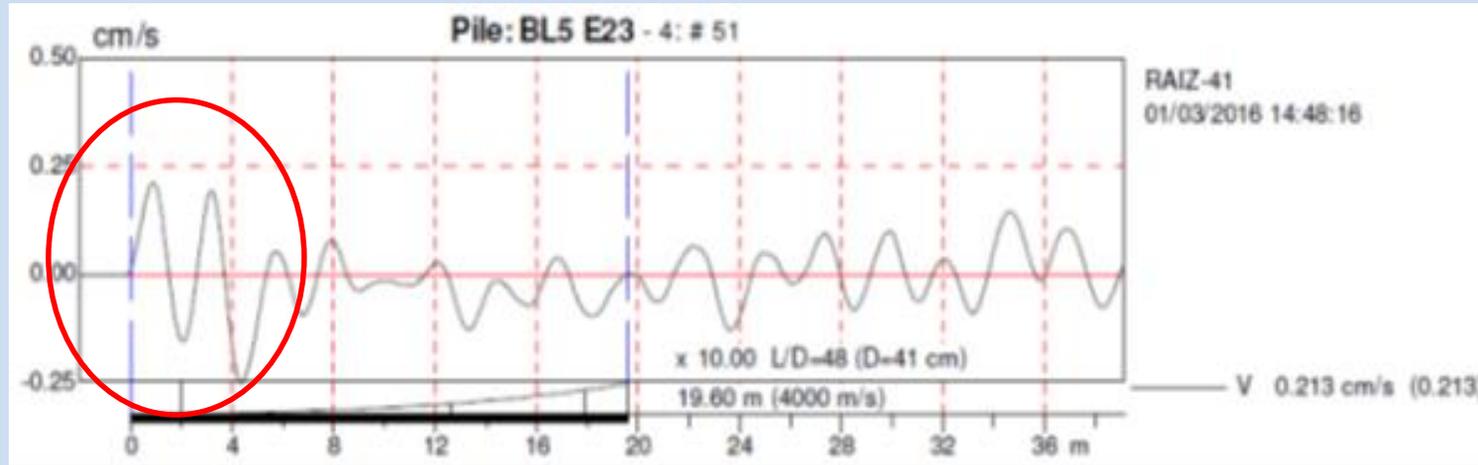
PERFURAÇÃO NX (3")



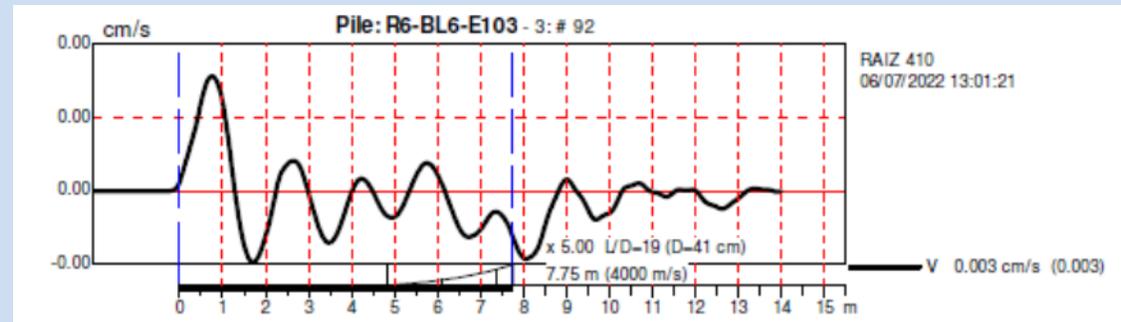
LEGENDA					
	T1: CONCRETO		1ª MANOBRA		4ª MANOBRA
	T2: PROVÁVEL DESVIO DE PERFURAÇÃO ???		2ª MANOBRA		5ª MANOBRA
	JUNTA FRIA (ANOMALIA) CONCRETO CONTAMINADO COM MATERIAL DELETÉRIO		3ª MANOBRA		6ª MANOBRA



Estaca Tipo Raiz



Estaca Tipo Raiz



Estaca Tipo Raiz – Outras anomalias

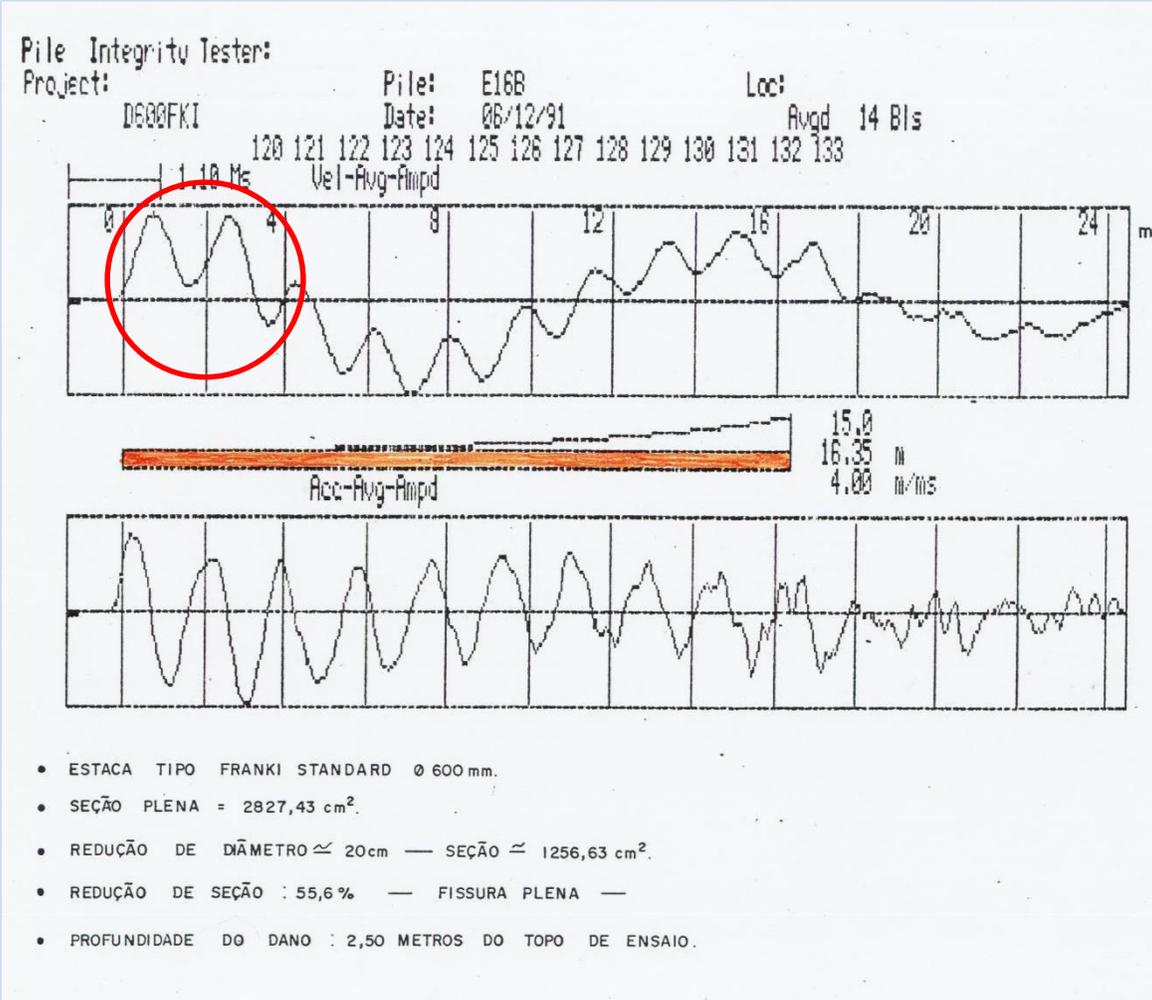






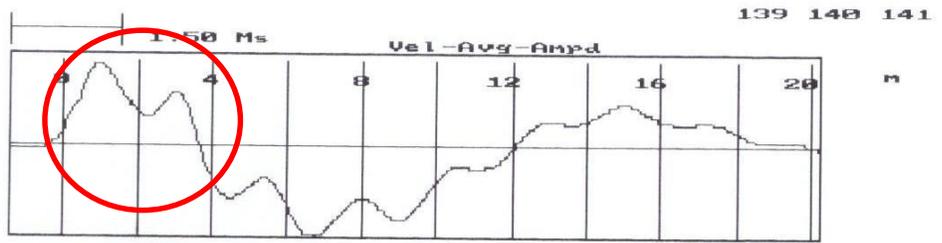


Estaca Tipo Franki Standard

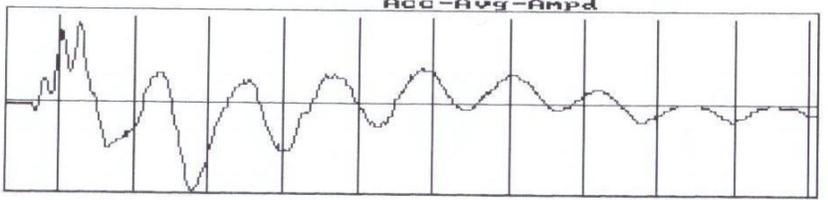


Estaca Tipo Franki Standard - Ø 350mm

Geomec Engenheiros Consultores S/C Ltda.
 Project: 1996-00 Pile: E31 Loc: RES.ELEV
 Other: 350MM Date: 04/09/03 BN 3 Blow



2.0
 13.50 m
 4000. N/s



Estaca Tipo Franki Standard - \varnothing 350mm

Geotec Engenheiros Consultores S/C Ltda.

Project: 1996-00

Pile: E41

Loc: RES.ELEV

3 Blow

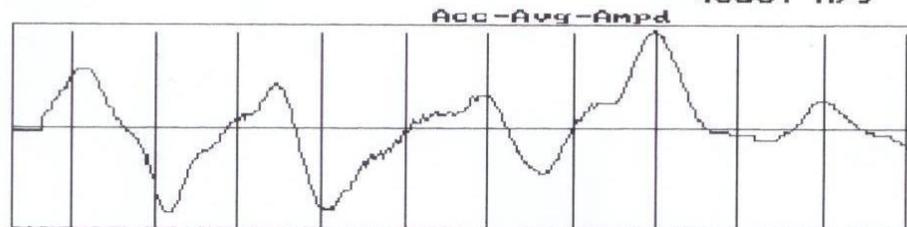
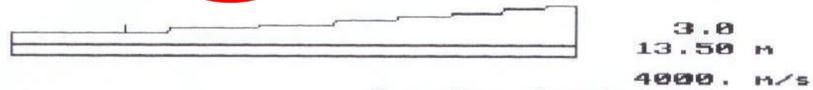
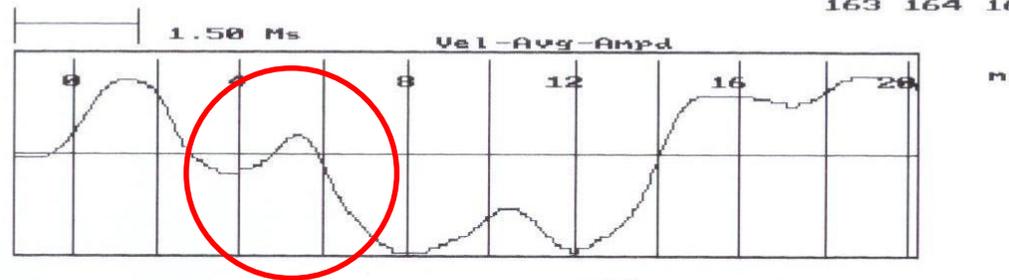
Other: 350MM

Date: 04/09/03

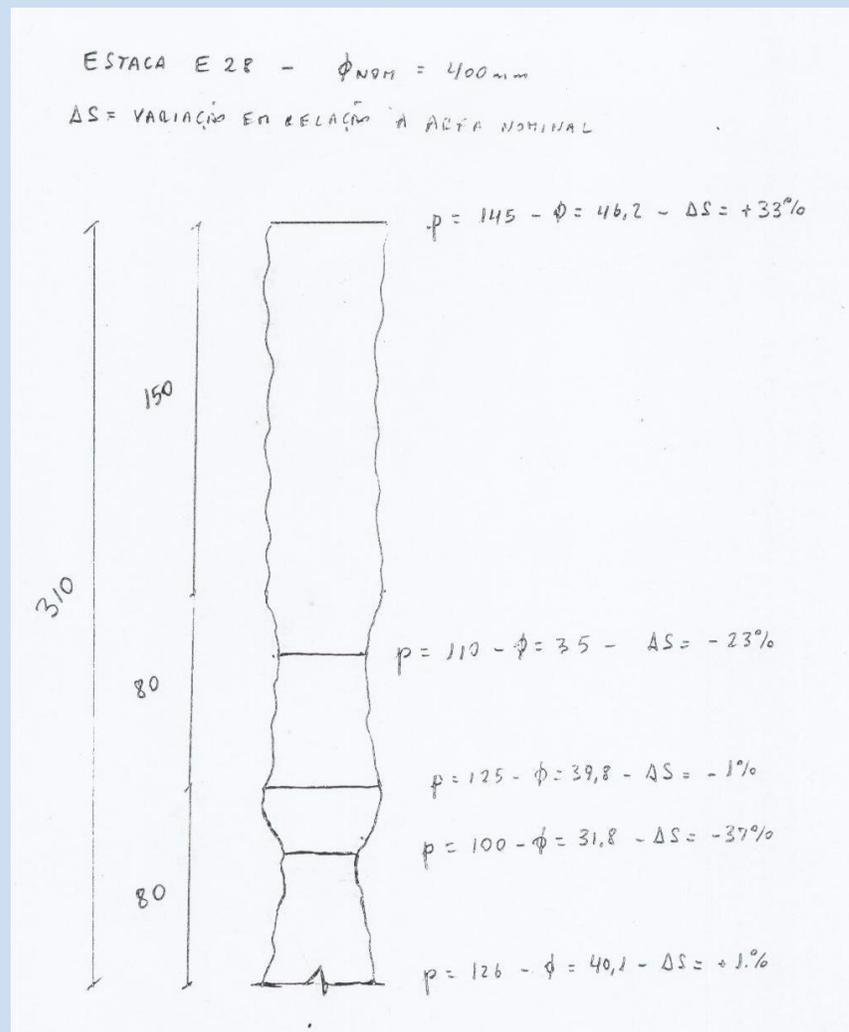
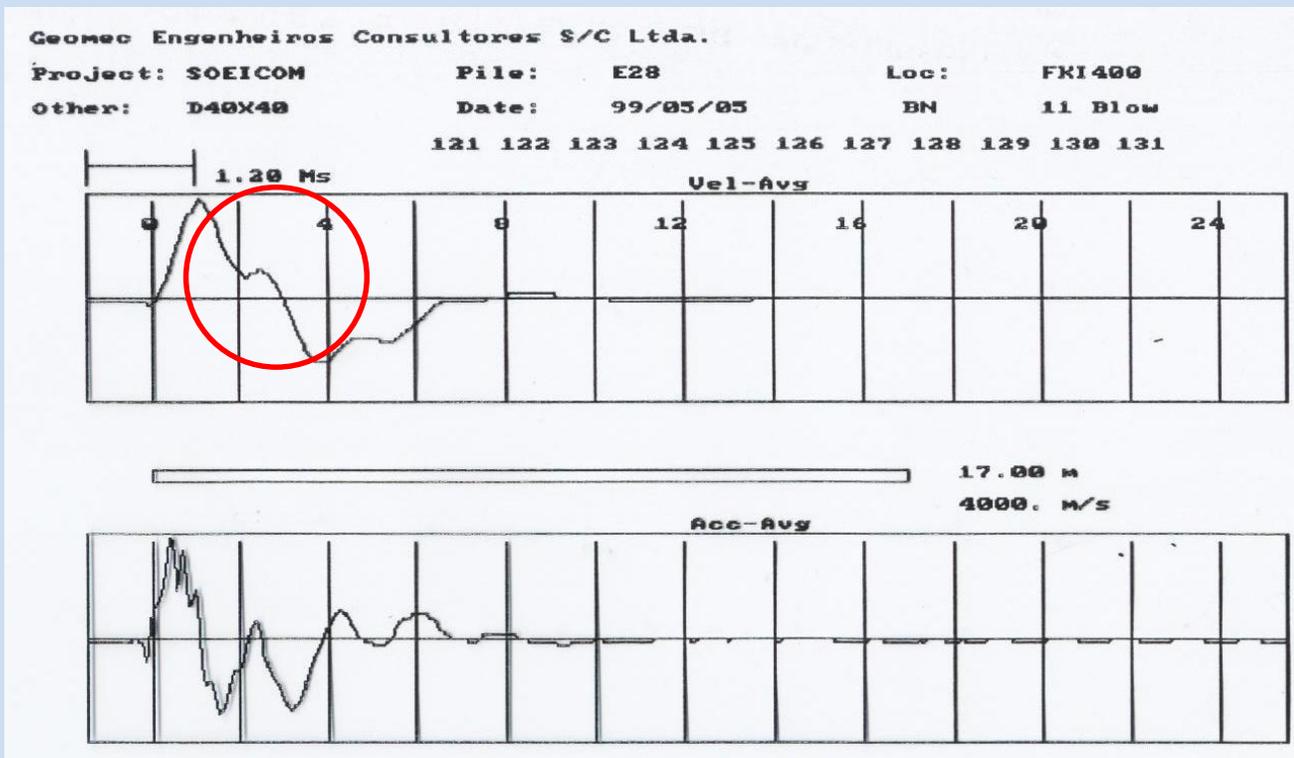
BN

3 Blow

163 164 165

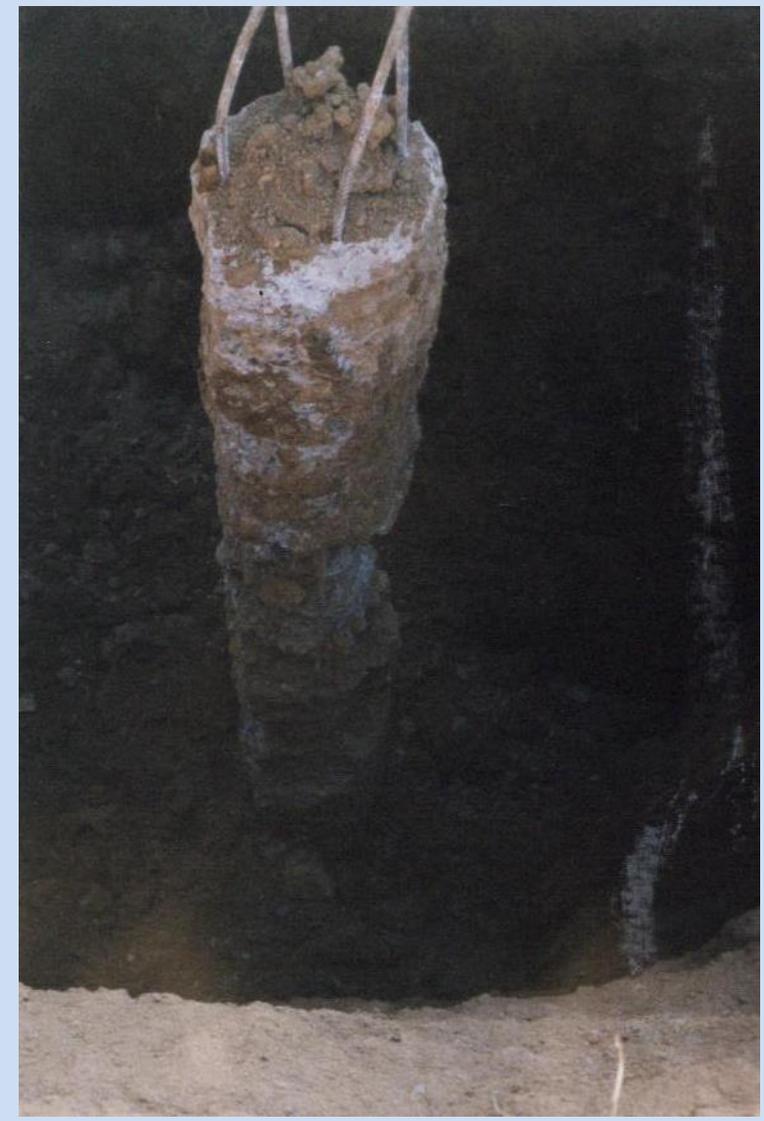
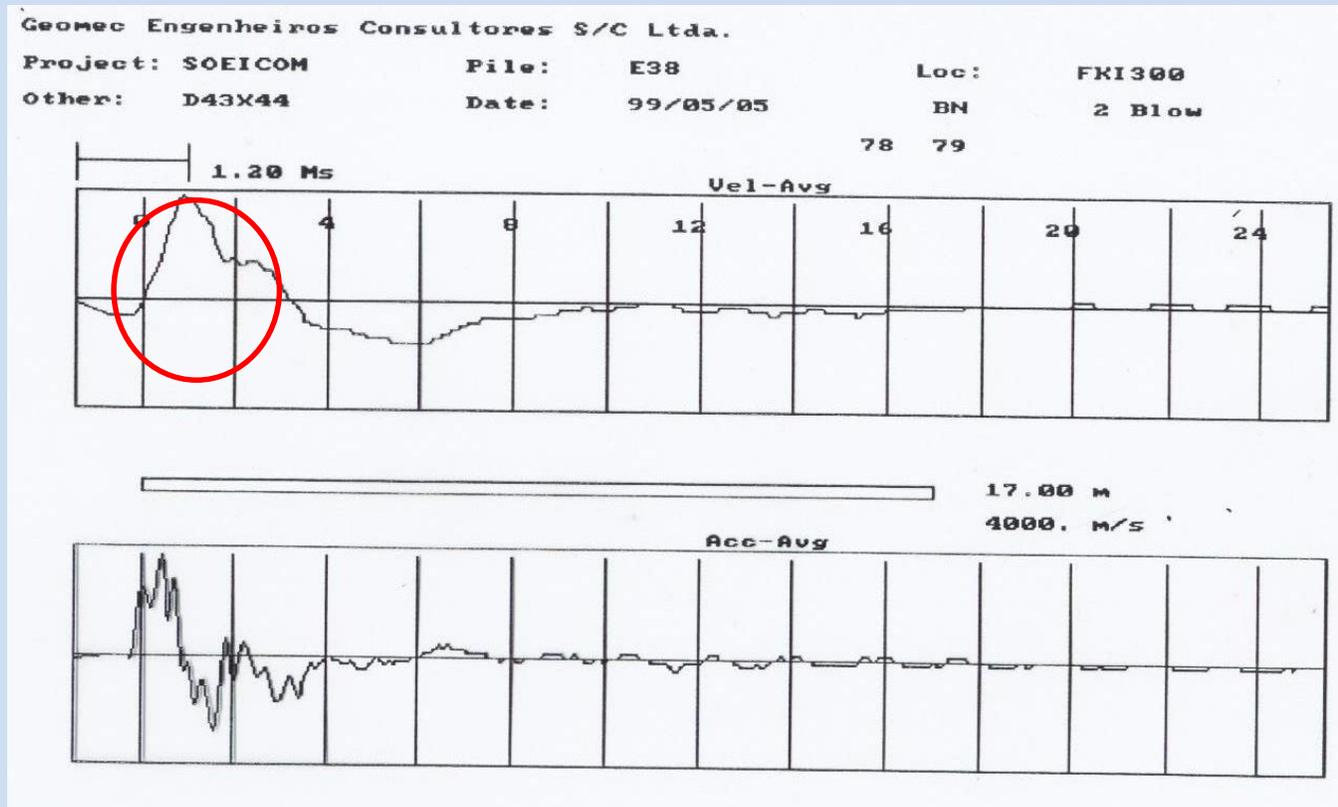


Estaca Tipo Franki Standard - \varnothing 400mm



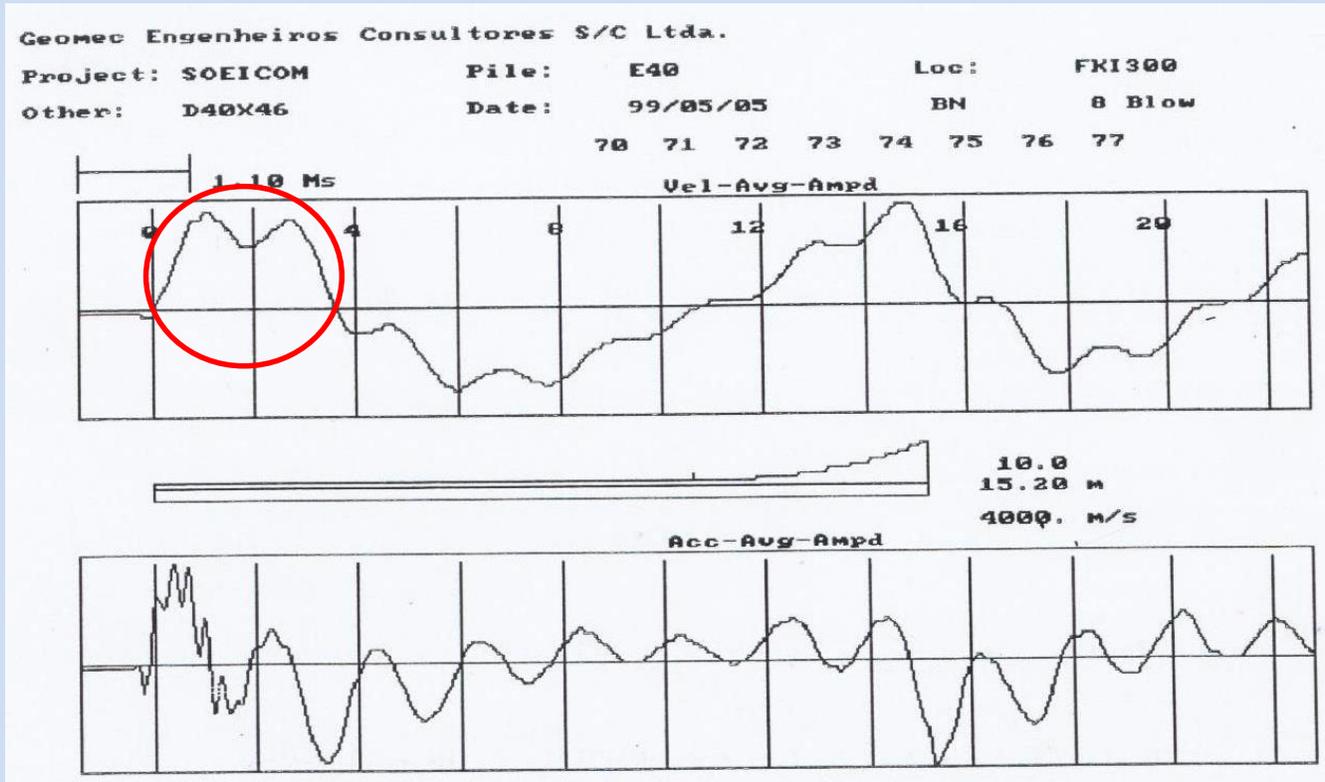


Estaca Tipo Franki Standard - Ø 350mm





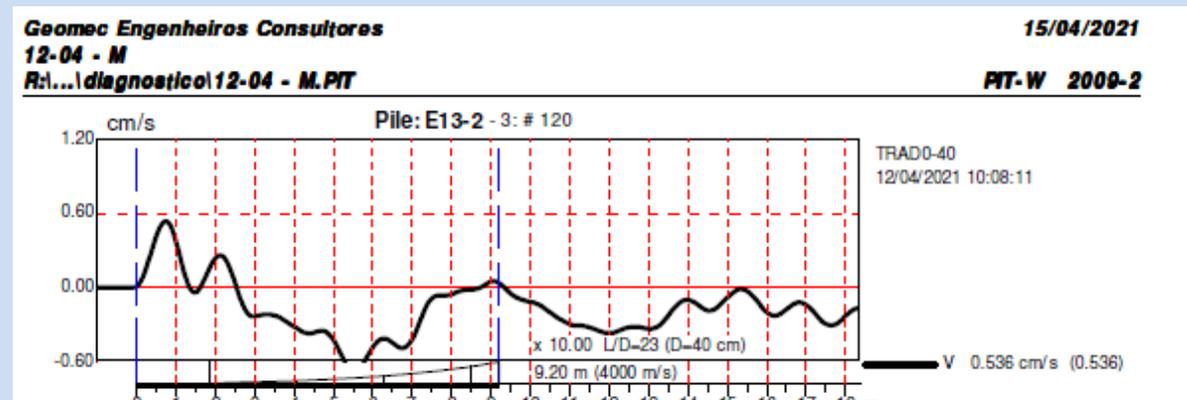
Estaca Tipo Franki Standard - \varnothing 350mm



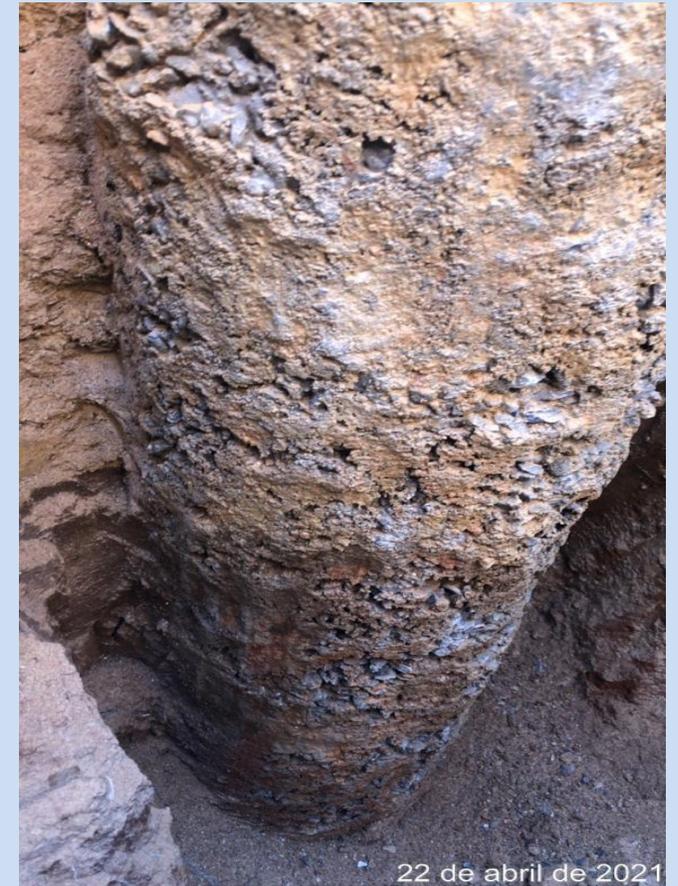


Estaca Trado Mecânico

E13-2



Estaca Trado Mecânico - Outras anomalias



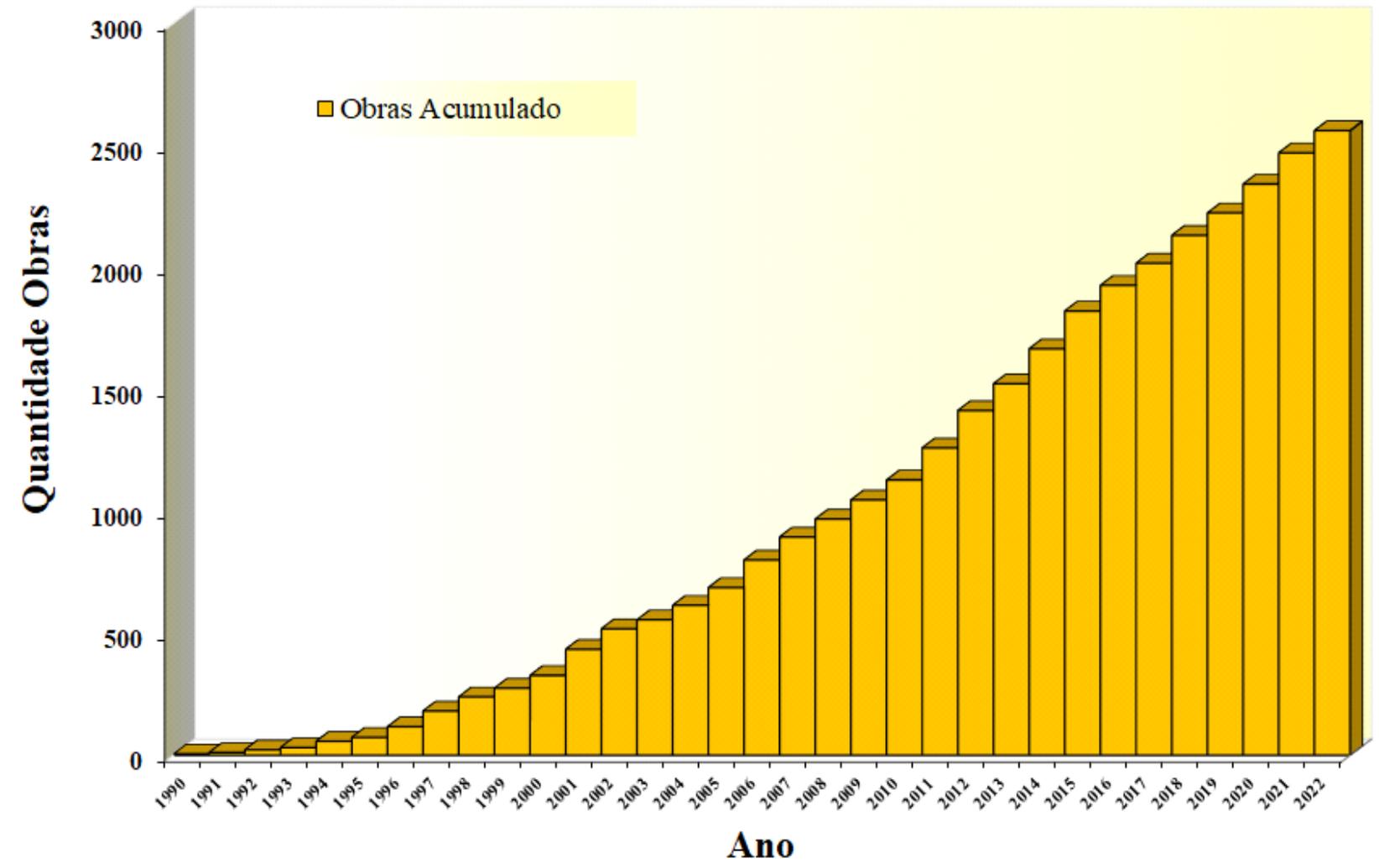
PATOLOGIAS ESTRUTURAIS IDENTIFICADAS NO ENSAIO PIT

BANCO DE DADOS GEOMECC 1990 -2022



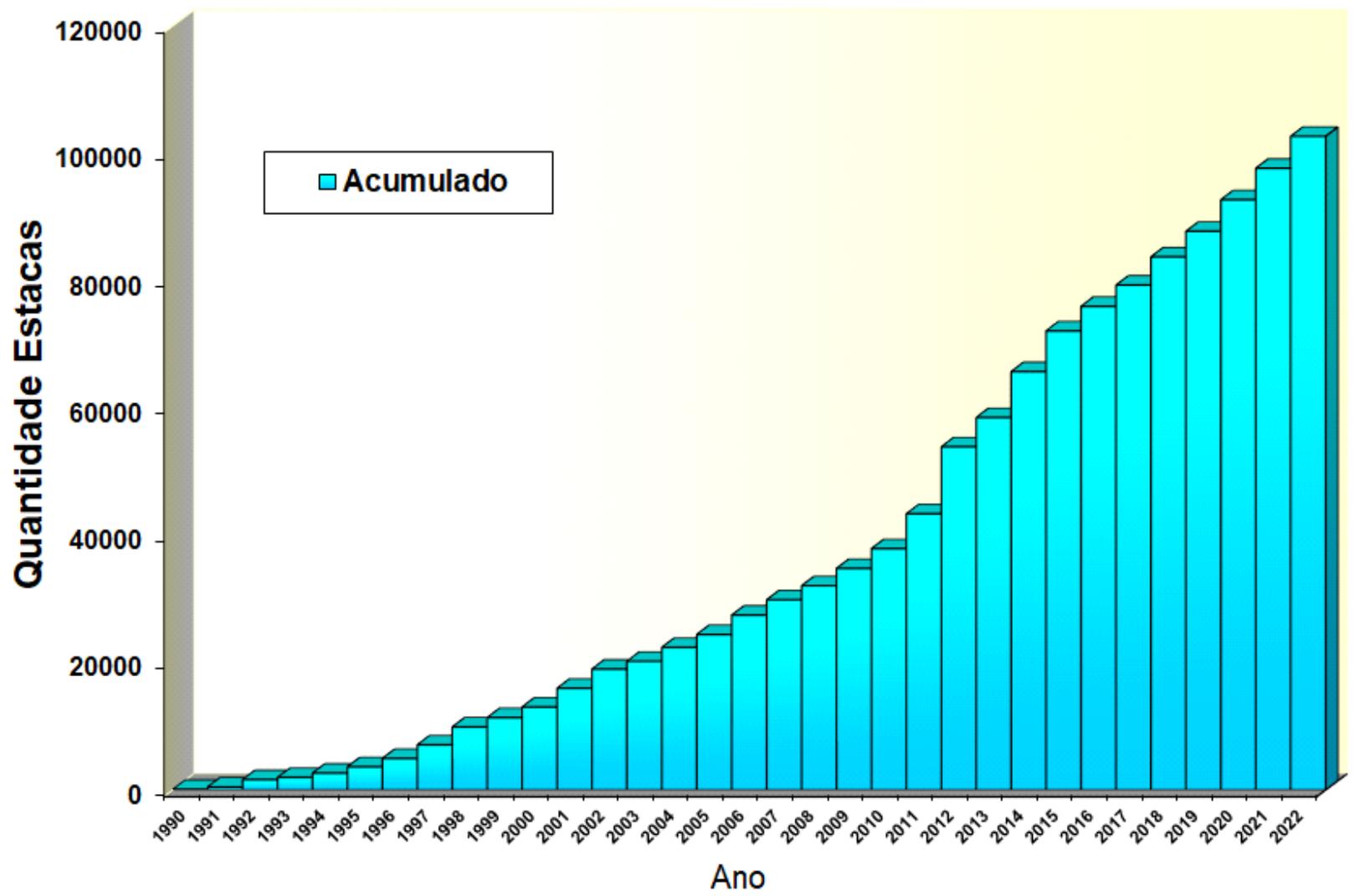
PIT - Pile Integrity Testing

Obras Até 31/12/2022 - Total 2.559

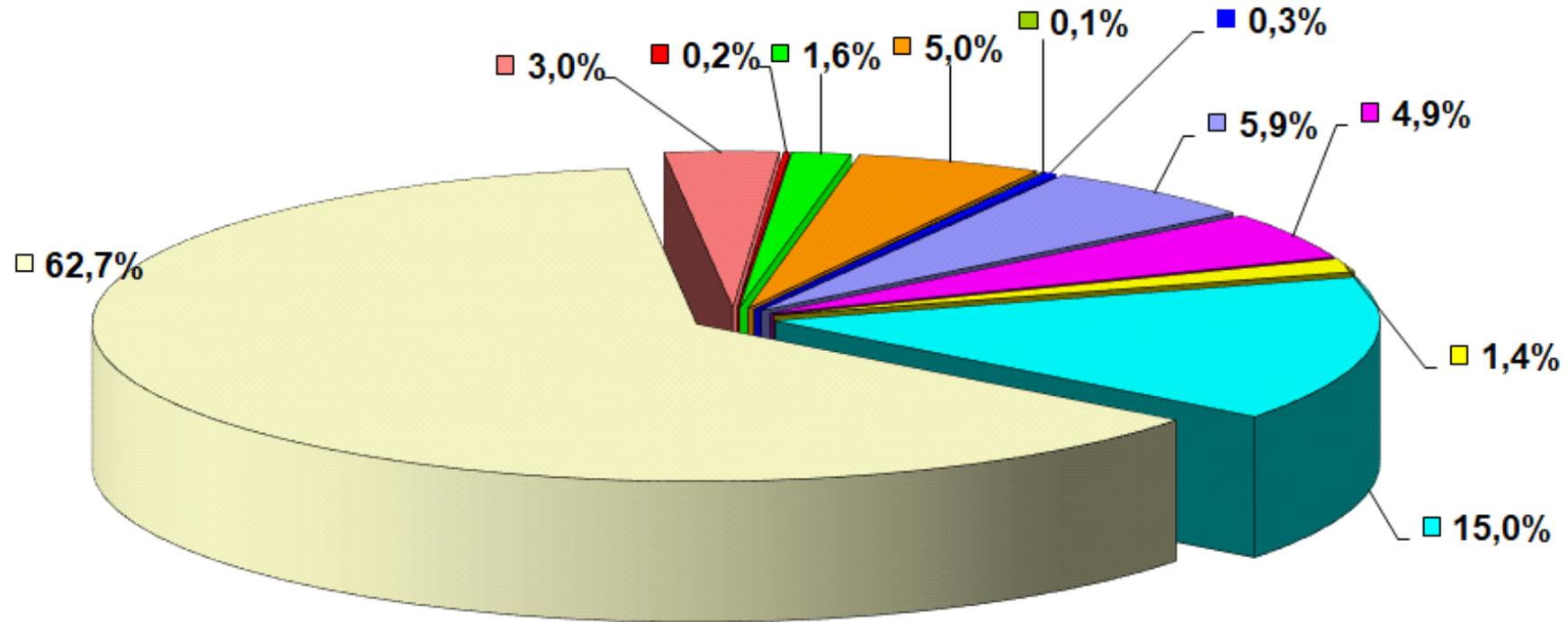


PIT - Pile Integrity Testing

Estacas Ensaaiadas - Acumulado até 31/12/2022 - Total 102.643



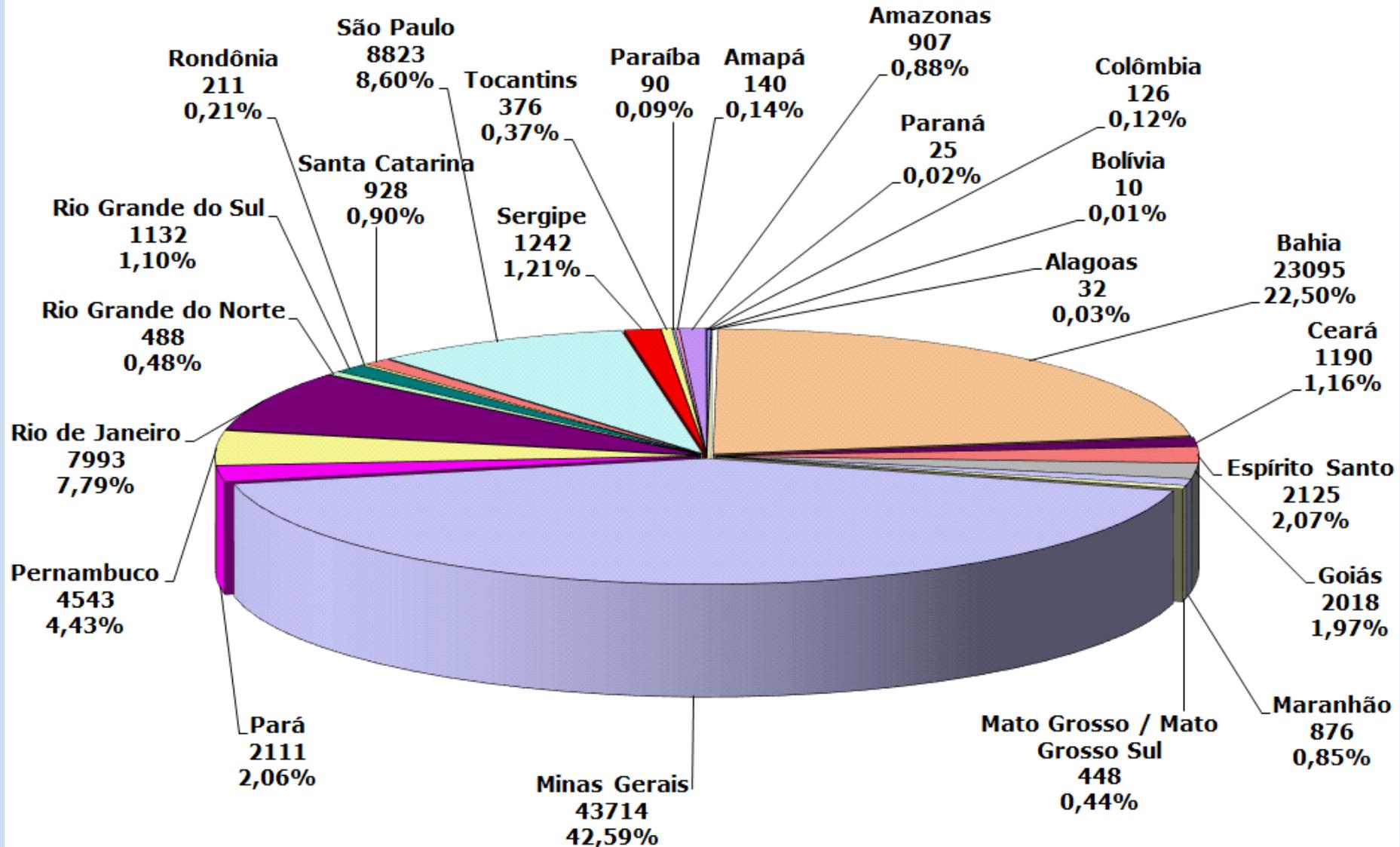
PIT - Pile Integrity Testing Distribuição Tipos de Estacas Ensaaiadas Acumulado até 31/12/2022



FRANKI - 6092	PRÉ-MOLDADA DE CONCRETO - 4994
TRILHO (até 2005) - 1410	RAIZ - 15349
HÉLICE CONTÍNUA - 64375	ESCAVADA COM FLUIDO ESTABILIZANTE- 3130
TUBULÃO - 163	STRAUSS - 1622
TRADO MECÂNICO - 5101	VIBREX-FRANKI - 83
HÉLICE DE DESLOCAMENTO - 324	

PIT - Pile Integrity Testing

Estacas Ensaçadas Até 31/12/2022 - Total 102.643





PIT			
1990 - 2022 (Banco de Dados Geomec)			
Tipo de Estaca	Qe (ensaios)	Qa (anomalias)	Qa/Qe (%)
Hélice Contínua	64375	9656	15
Raiz	15349	3070	20
Trado Mecânico	5101	612	12
Escavada com Fluido Estabilizante	3130	501	16
Strauss	1622	341	21
Franki	6092	914	15
Pré-moldada de Concreto	4994	600	12

DESCRIÇÃO DAS ANOMALIAS IDENTIFICADAS

Estacas Hélice Contínua

- Anomalias de estreitamentos, alargamentos e seccionamentos de seção nos casos de perfuração em solos arenosos de granulometria fina submersos e em solos moles submersos;
- “Embricamento” do concreto no final da armadura da estaca resultando em “amplitude” da reflexão de velocidade das partículas, entretanto, quase sempre, íntegra com reflexão de ponta definida. Nestes casos foram realizados Ensaio ECD e PCE para confirmação da integridade da estaca;
- Alargamentos e estreitamentos no trecho de utilização de prolonga, em solos de média a baixa resistência;
- Solos de características arenosas sem a manifestação do NA, efeito de Higroscopia, perda de água de amassamento do concreto, resultando em regiões de concreto poroso com baixa velocidade de onda;
- Aspectos de velocidade crítica de perfuração e velocidade de extração do trado são vetores de anomalias estruturais identificadas.

Estacas Raiz

- **Transição solo – rocha. Um dos principais vetores de sérios danos estruturais identificados;**
- **Solos arenosos submersos e solos moles submersos, alargamentos, estreitamentos e comunicação entre os fustes de estacas adjacentes;**
- **Alteração do processo executivo padrão das estacas Raiz, tais como, insuficiência do revestimento metálico, utilização de fluidos estabilizantes etc conduzindo a danos estruturais e anomalias ;**
- **Argamassa de baixa qualidade resultando em velocidade de onda fora dos padrões aceitáveis;**
- **Quase sempre com alargamento de topo em forma de cálice.**
- **Anomalias de seção, ou seja, estreitamentos e alargamentos, entretanto íntegras.**

Estacas Strauss

- Seccionamento de seção em razão do processo executivo (escavação e concretagem);
- Contaminação do concreto com intrusão de solo e materiais deletérios;
- Concreto pouco denso resultando em velocidade de onda abaixo dos padrões aceitáveis;

Trado Mecânico

- **Segregação do concreto (concreto poroso) com baixa velocidade de onda em razão das alturas de queda de lançamento;**
- **Juntas frias por interrupção de concretagem, ou seja, muitas vezes não contínua;**
- **Insuficiência de profundidade por deposição de resíduo de escavação na ponta, não removido, apresentando diferença entre a profundidade escavada e efetivamente concretada, mostrando a reflexão de ponta aquém do esperado;**

Premoldada de Concreto Seção Plena

- **Garantia de integridade do último elemento cravado ;**
- **Perdas de energia nas emendas dificultando a verificação da continuidade de fuste ;**
- **Sempre patologia de “quebra”;**

Estacas Tipo Franki

- **Variações de seção ao longo da profundidade;**
- **Descontinuidade de fuste ao longo da profundidade;**
- **Patologias estruturais na transição fuste – base (separação);**
- **Concreto poroso ao longo da profundidade (mal compactado).**

Congressos Stress Wave 1981 - 2018



Mais de 200 artigos publicados sobre a execução e interpretação de Reflectogramas considerando a litologia de solos e rochas, tipos de estacas e metodologia de execução.

CONSIDERAÇÃO FINAL

Ensaio de PIT é uma ferramenta qualificada a avaliar a integridade física de estacas, desde que bem utilizada e interpretada.

Sérgio C. Paraíso
sergioparaiso@geomec.com.br
www.geomec.com.br