COMUNICAÇÃO TÉCNICA
(cópia apenas para consulta)

Nº 177562

Engineering geophysics

Otávio Coaracy Brasil Gandolfo

Palestra apresentada no minicurso pré congresso do 17th. Internacional Congresso f the Brazilian Gepphysical Society, 08-11 nov., 2021. 409 slides

A série "Comunicação Técnica" compreende trabalhos elaborados por técnicos do IPT, apresentados em eventos, publicados em revistas especializadas ou quando seu conteúdo apresentar relevância pública.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A - IPT
Av. Prof. Almeida Prado, 532 | Cidade Universitária ou
Caixa Postal 0141 | CEP 01064-970
São Paulo | SP | Brasil | CEP 05508-901
Tel 11 3767 4374/4000 | Fax 11 3767-4099

www.ipt.br

17 th International Congress of the Brazilian Geophysical Society & Expogef

Digital Revolution: Expanding the limits of Geophysics

08-11 November 2021 - Online Event

SBGf

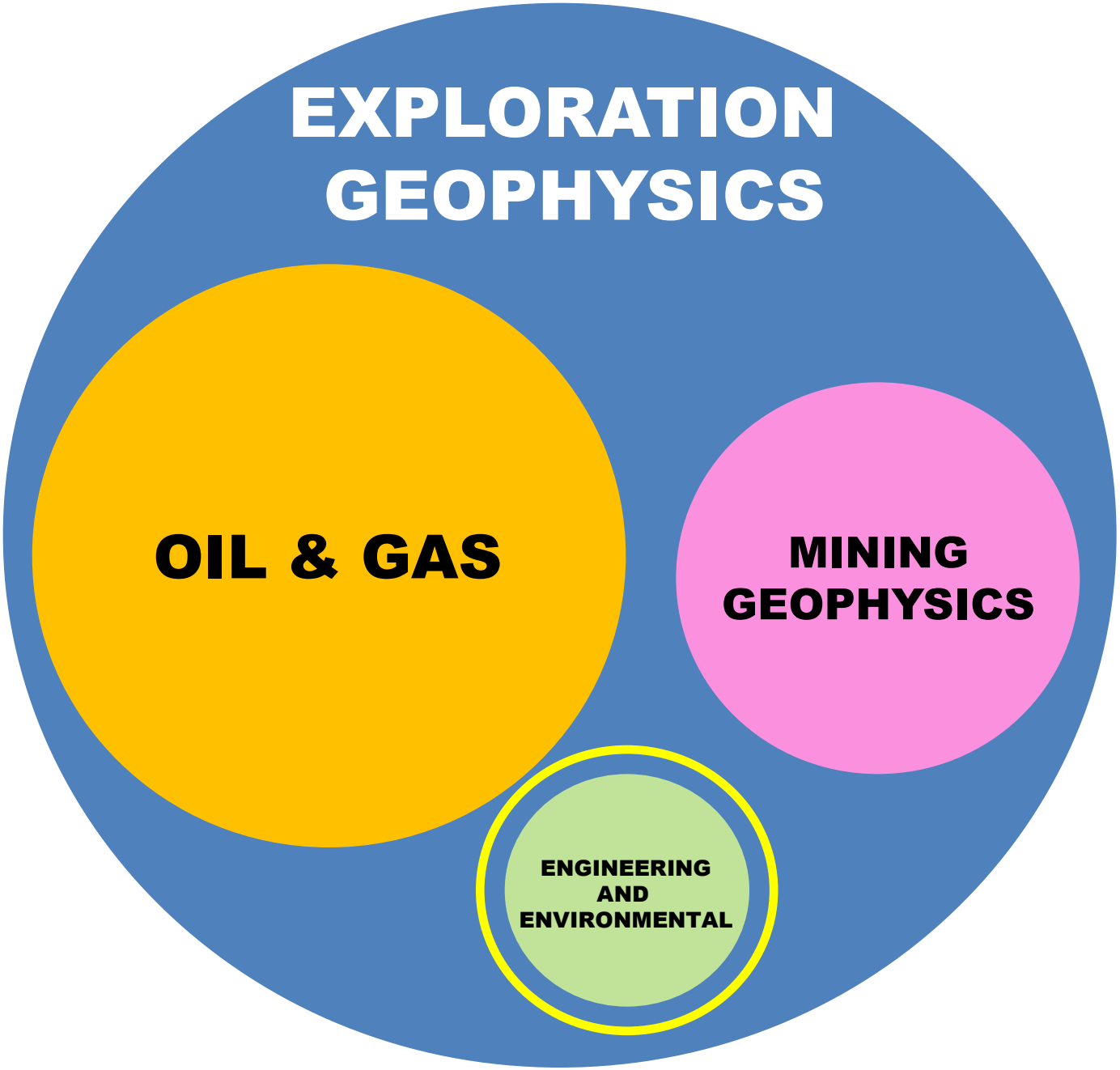
ENGINEERING GEOPHYSICS

Otávio Coaracy Brasil Gandolfo

gandolfo@ipt.br

ipt INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS

CIDADES, INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE
Seção de Investigações, Riscos e Gerenciamento Ambiental

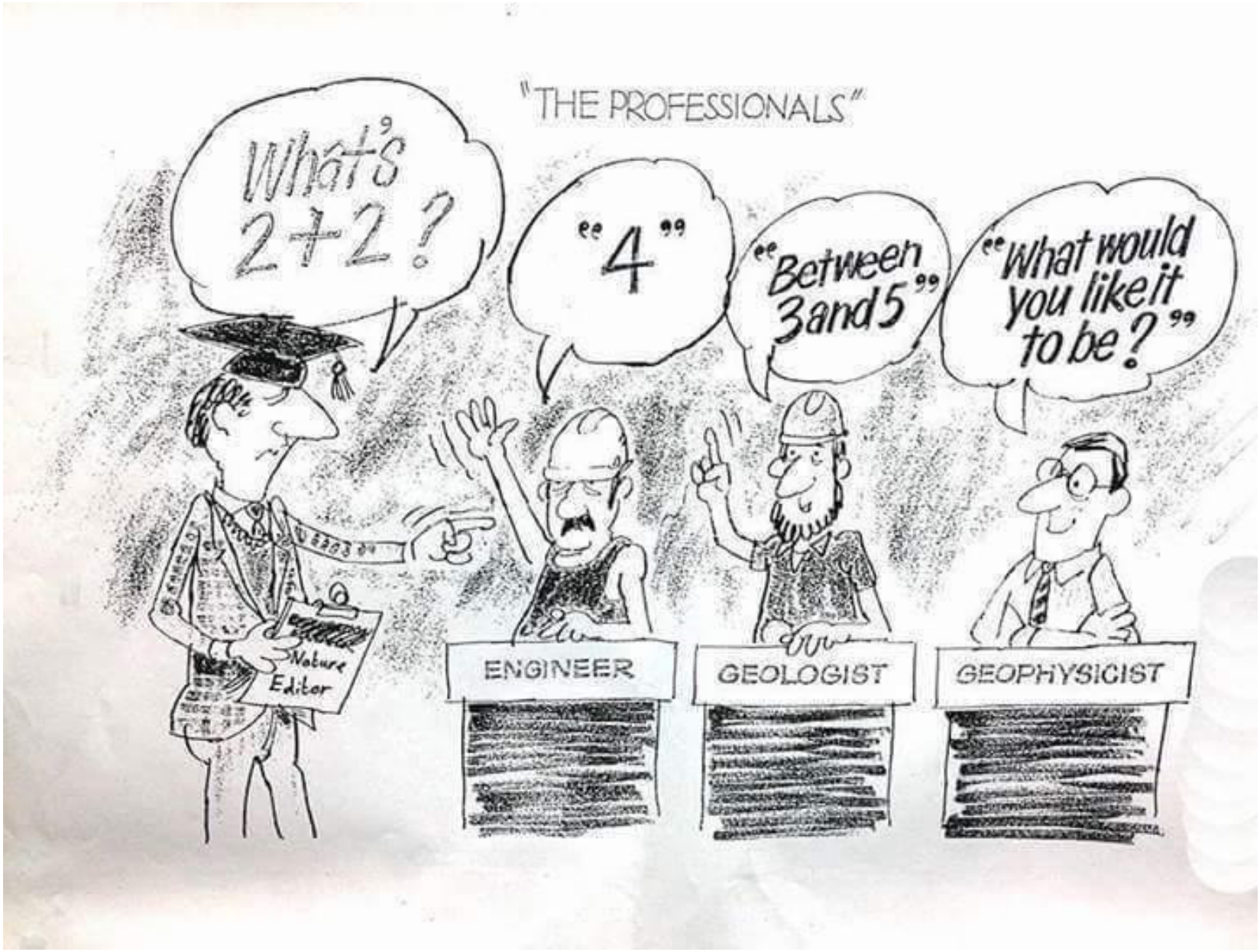

EXPLORATION GEOPHYSICS
OIL & GAS
MINING GEOPHYSICS
ENGINEERING AND ENVIRONMENTAL

Toda obra de Engenharia Civil / Geotécnica
é realizado na superfície ou na subsuperfície do terreno, interagindo diretamente com solos e/ou rochas

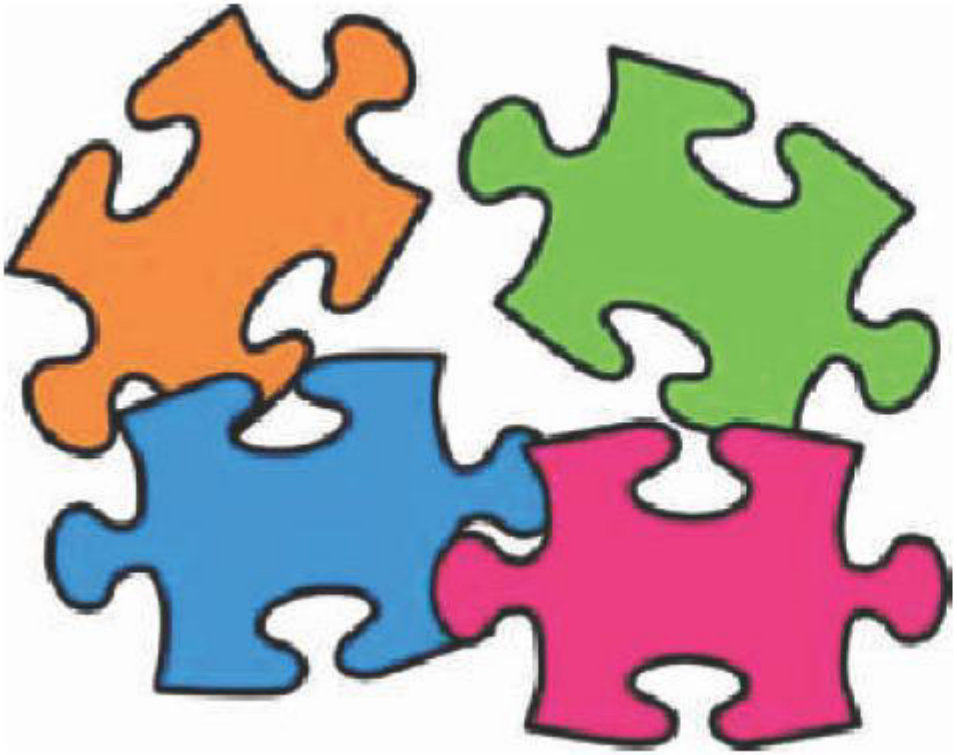
✓ O engenheiro gosta de números, correlações, e precisa de resultados

✓ A geofísica, para atender a engenharia, deve mostrar resultados mais “quantitativos” do que “qualitativos” para atender estas demandas

✓ A geofísica deve falar uma linguagem que o engenheiro entenda


"THE PROFESSIONALS"
What's 2+2?
"4"
"Between 3 and 5"
"What would you like it to be?"
Nature Editor
ENGINEER
GEOLOGIST
GEOPHYSICIST

Para se alcançar resultados mais assertivos na investigação de uma área, devem ser utilizados dois (ou mais) métodos geofísicos de maneira conjunta e integrada

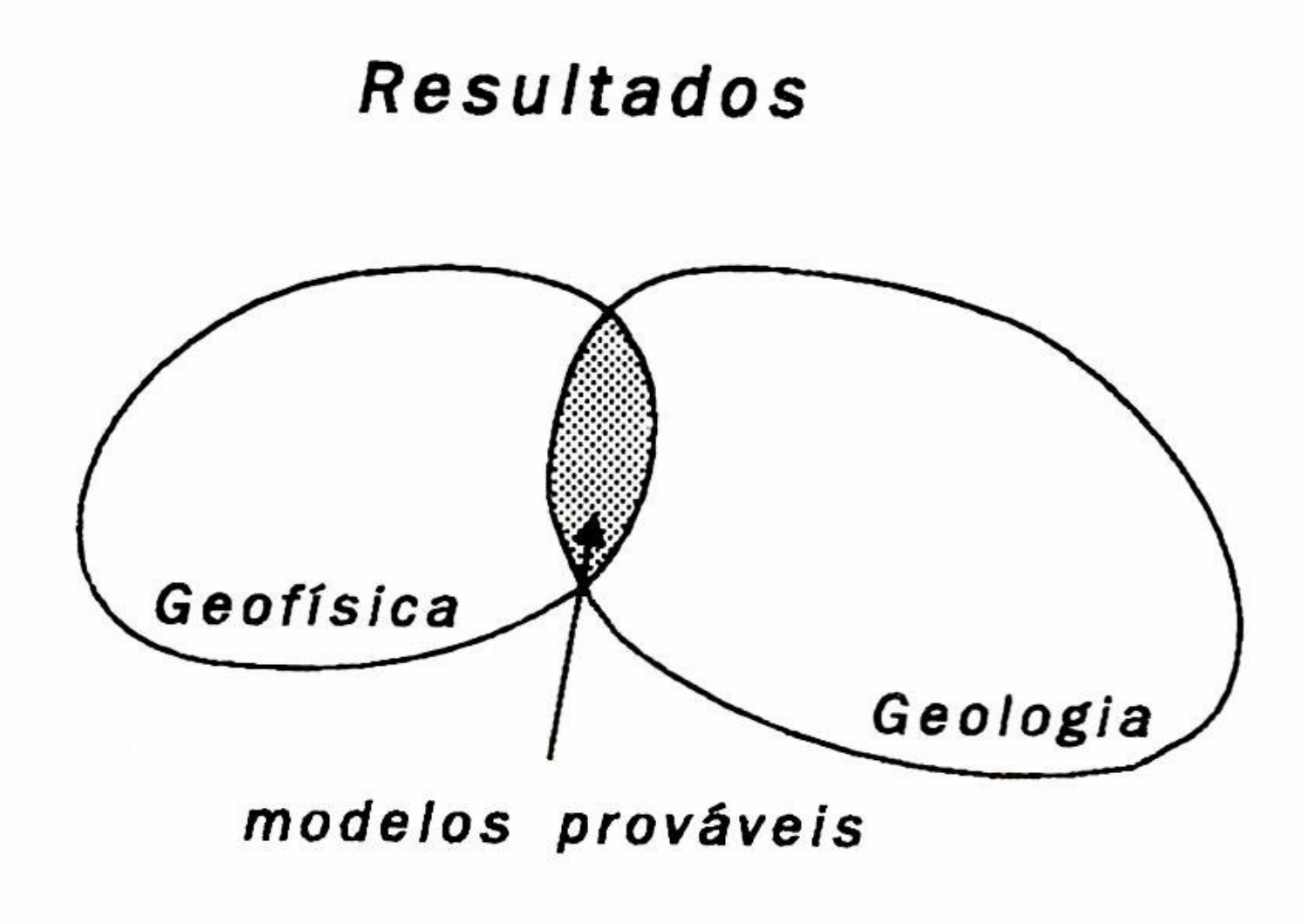


Which is the right geophysical tool?

We solve the puzzle for you. Choose the right 'combination' of geophysical tools

Fonte: PARSAN

Os métodos geofísicos não atuam isoladamente (informações diretas são necessárias)



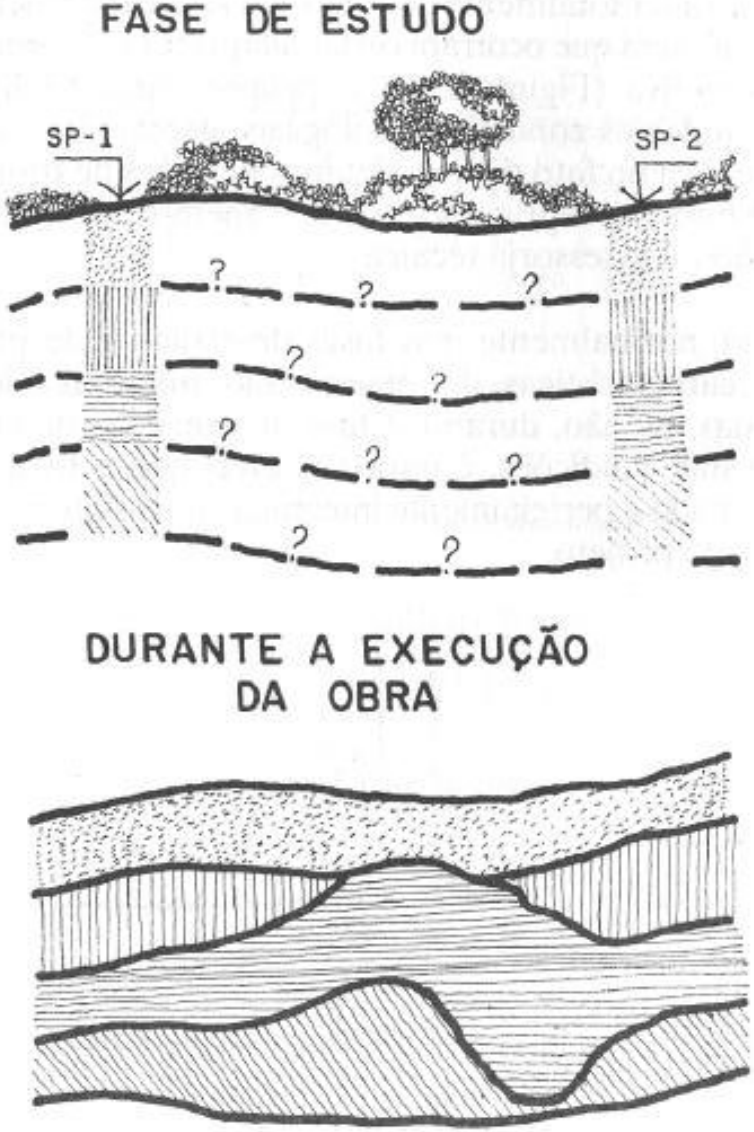


FIGURA V.10 - Exemplo de alteração do perfil previsto na fase de estudos para o perfil real obtido durante a execução da obra

Fonte: TALUDES DE RODOVIAS - Orientação para diagnóstico e soluções de seus problemas. DER, 1991.

A mesma interface pode ser identificada por ≠ métodos geofísicos

1) Embasamento cristalino sob uma bacia sedimentar

→ interface sísmica, elétrica, magnética e gravimétrica

2) Nível d´água subterrâneo

→ interface elétrica e sísmica

Algumas propriedades investigadas pelos métodos geofísicos (**resistividade elétrica**, **módulos elásticos**, **densidade**, **permissividade dielétrica**) possuem relação com diversos índices físicos da mecânica dos solos

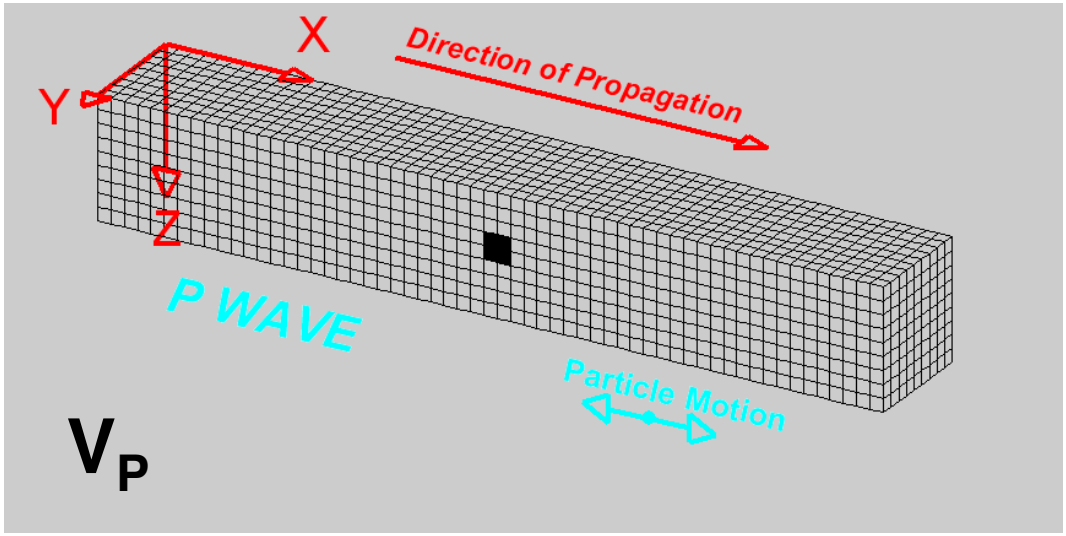
$$\text{umidade} \Rightarrow w \; ou \; h = \frac{P_W}{P_S}$$

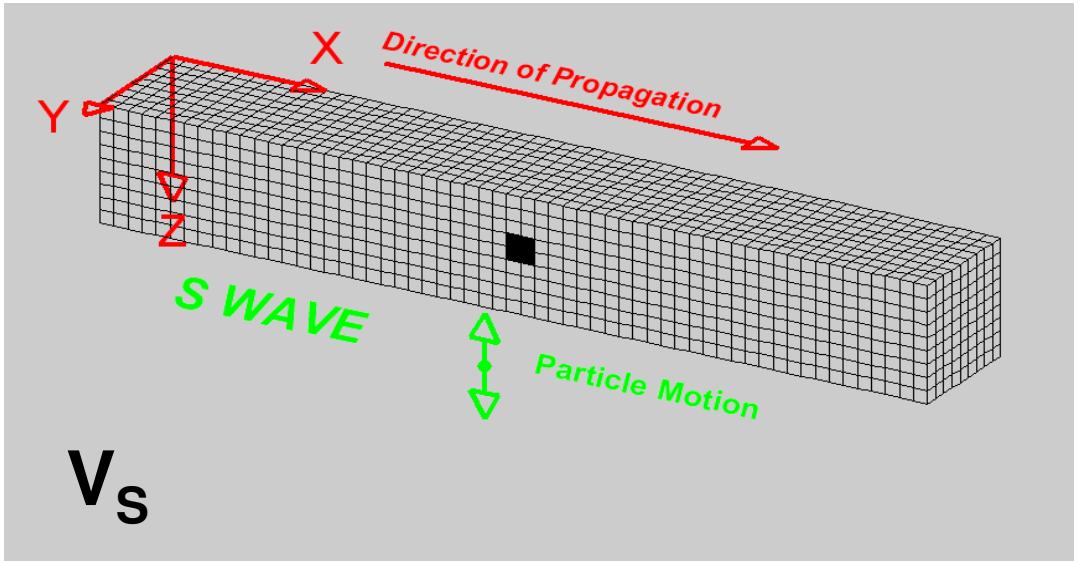
$$\text{índice de vazios} \Rightarrow e = \frac{V_V}{V_S}$$

$$\text{porosidade} \Rightarrow \eta = \frac{V_V}{V_T}$$

$$\text{grau de saturação} \Rightarrow S = \frac{V_W}{V_V}$$

P_W = peso da água
P_S = peso dos sólidos
V_V = volume de vazios
V_S = volume dos sólidos
V_W = volume de água
V_T = volume total





V_P, V_S e ρ (densidade ou massa específica)

Módulos elásticos dinâmicos

Relações entre os módulos dinâmicos com V_P e V_S

$$\nu = \frac{\left(\frac{V_P}{V_S}\right)^2 - 2}{2\cdot\left(\frac{V_P}{V_S}\right)^2 - 2} = \frac{\left(V_P^2 - 2\cdot V_S^2\right)}{2\cdot\left(V_P^2 - V_S^2\right)}$$

(coeficiente de Poisson dinâmico)

$$E = V_P{}^2 \cdot \rho \cdot \frac{(1-2\nu)\cdot(1+\nu)}{(1-\nu)} = 2\cdot V_S^2 \cdot \rho \cdot (1+\nu)$$

(módulo de Young dinâmico)

$$G = \rho \cdot V_S{}^2$$

(módulo de cisalhamento dinâmico)

V_P e V_s → Medidos pelos ensaios sísmicos

ρ (massa específica) → Conhecida ou estimada

$$\rho = \gamma_N / g$$

Exemplo (solo): 1800 kg/m^3 / 1,8 g/cm^3 / 18 KN/m^3

Tópicos:

- Determinação da profundidade do topo rochoso
- Avaliação do grau de escarificabilidade de maciços terrosos e rochosos
- Localização de falhas
- Determinação da profundidade do nível d´água
- Solos moles
- Identificação de matacões
- Determinação da espessura de aterros
- Compactação de solos
- Investigação em área de construção de túneis
- Localização de dutos e tubulações
- Solos tropicais: lateríticos / saprolíticos
- Investigação de estruturas de concreto e pavimentos
- Perfilagem de poços na geologia de engenharia
- Determinação da profundidade de fundações

MÉTODOS GEOFÍSICOS:

- SÍSMICOS (REFRAÇÃO, MASW, REFLEXÃO)
- ENSAIOS SÍSMICOS EM FUROS DE SONDAGENS: CROSSHOLE, DOWNHOLE e UPHOLE
- ELETRORRESISTIVIDADE
- GPR
- MAGNETOMETRIA
- GRAVIMETRIA
- PERFILAGEM DE POÇOS

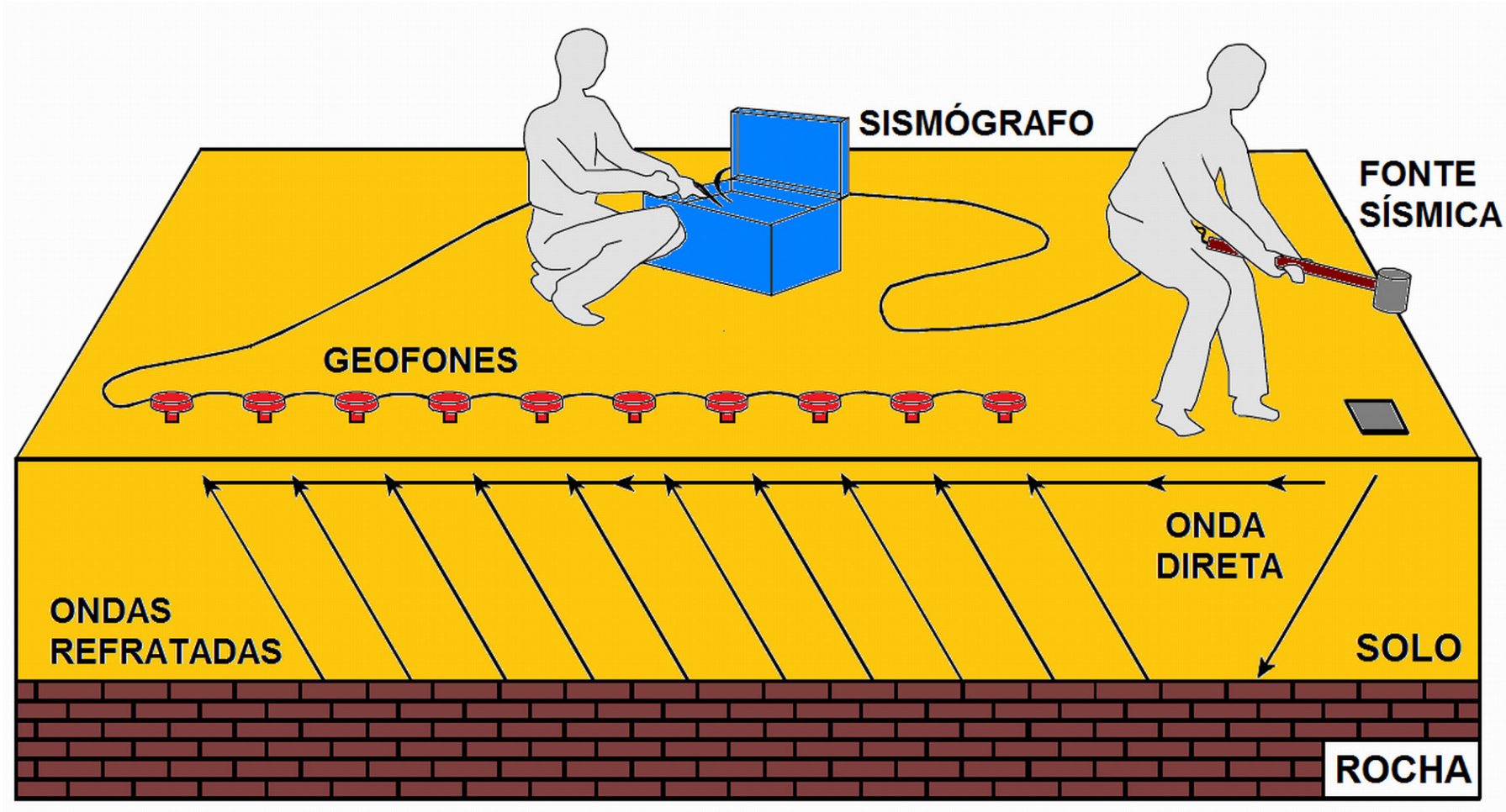
Volume XXVII APRIL, 1962 Number 2

GEOPHYSICS

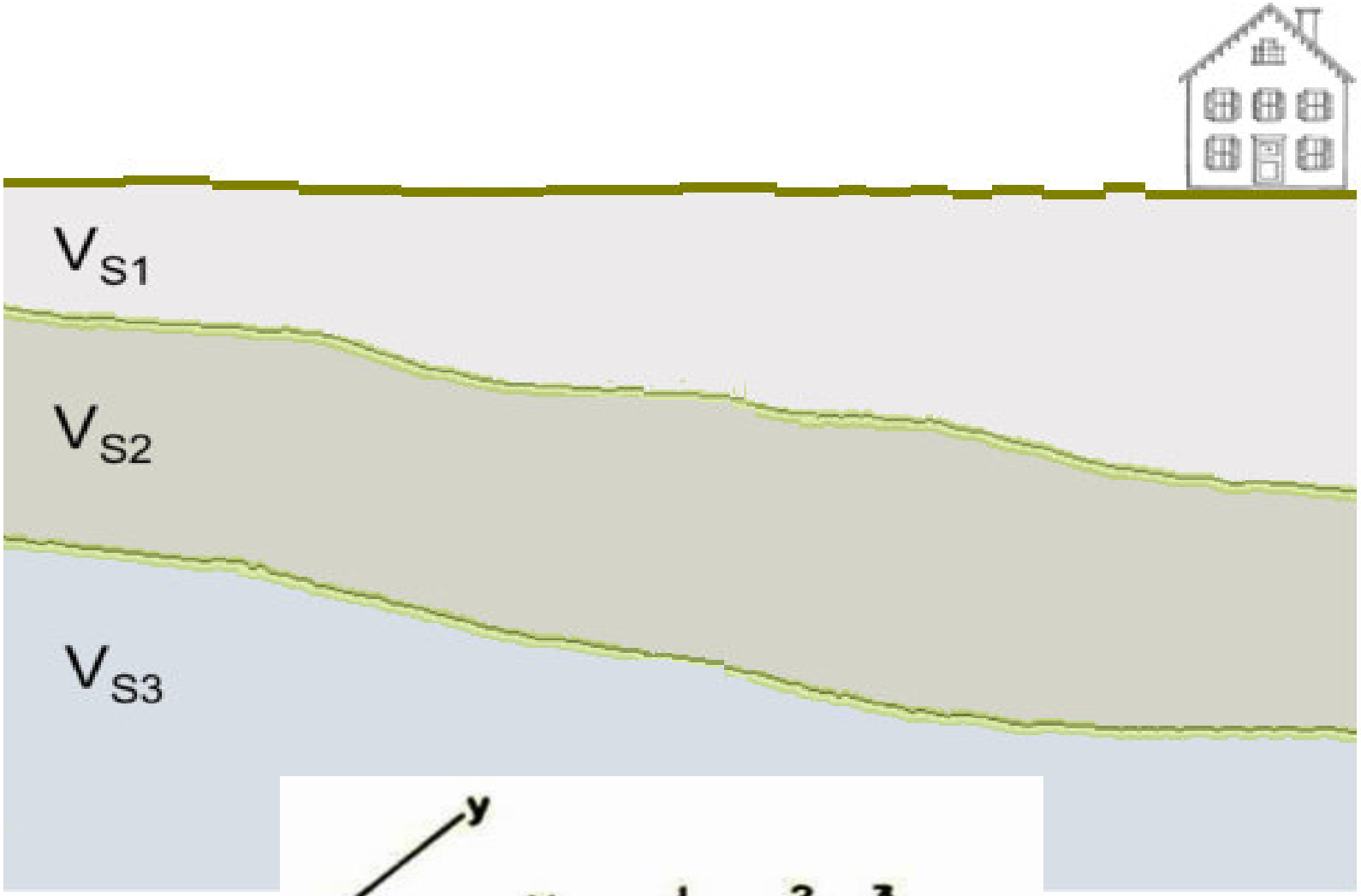
GEOPHYSICS, "GEOPHYSICS," AND ENGINEERING*

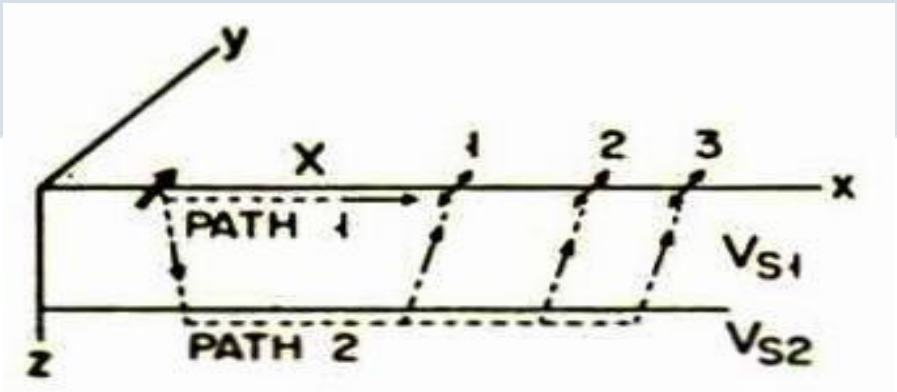
Of the various geophysical methods, those involving the propagation of seismic waves are among the most important in engineering studies.

SÍSMICA DE REFRAÇÃO



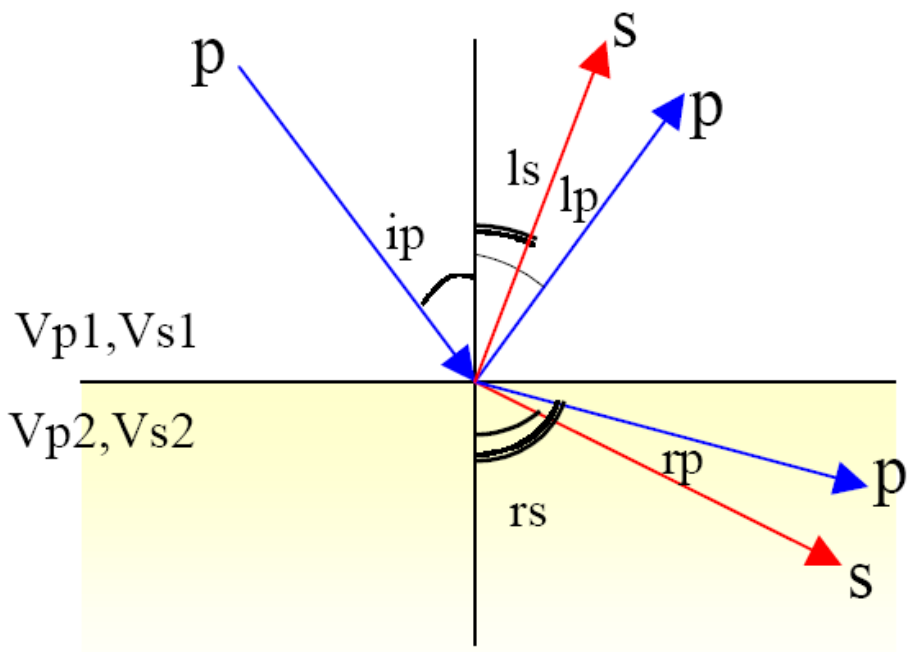
Refração utilizando onda S

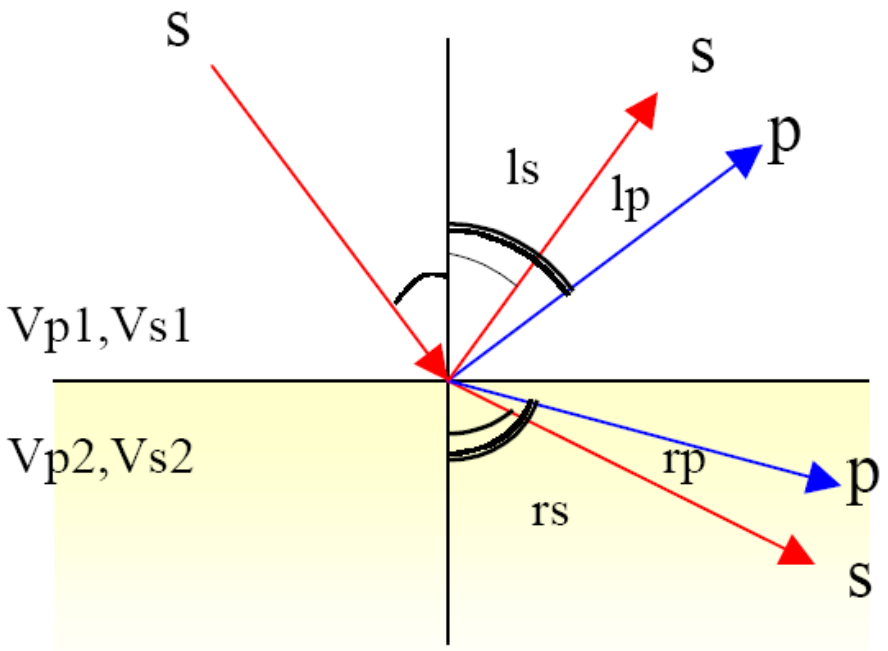




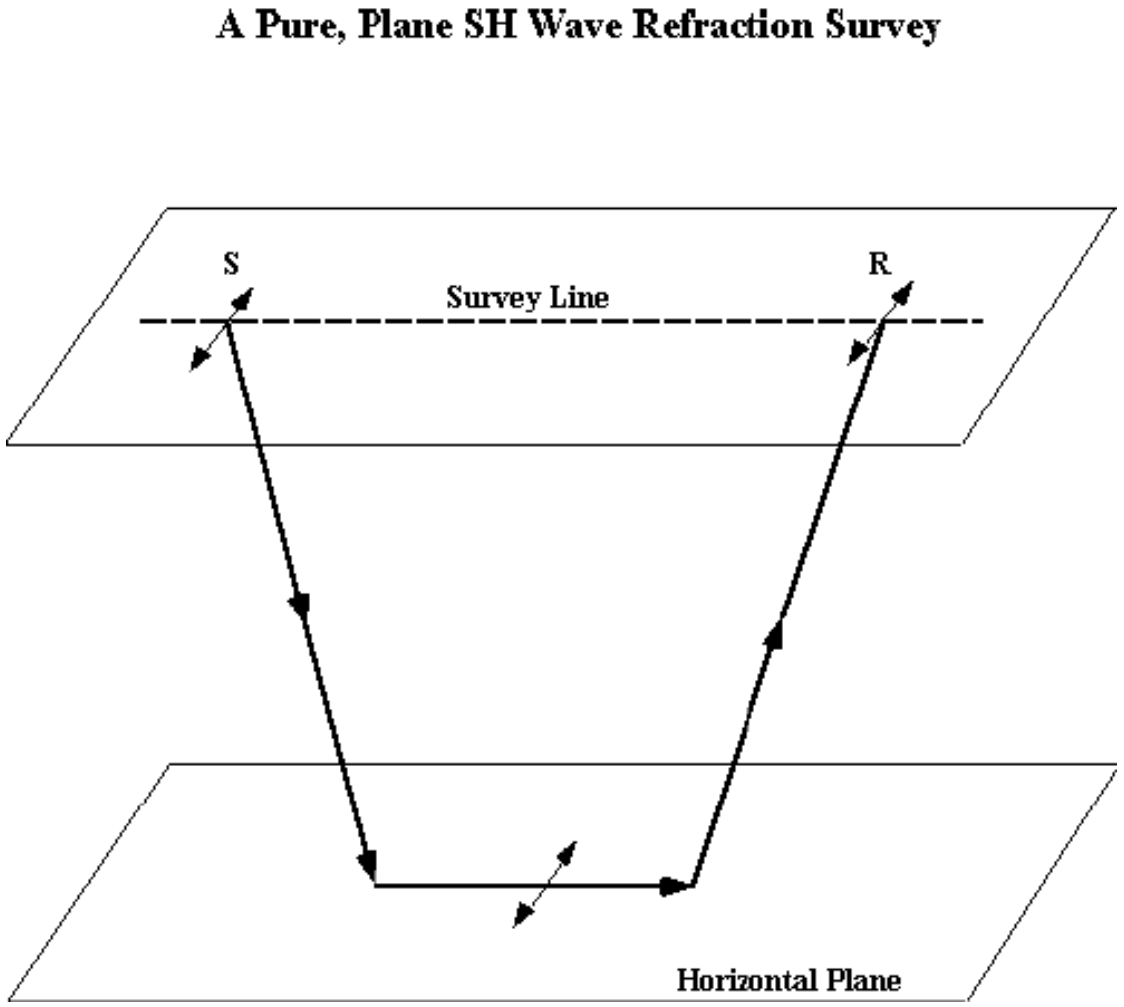
P → S_V

S_V → P


p
s
p
ls
lp
ip
Vp1,Vs1
Vp2,Vs2
rp
p
rs
s

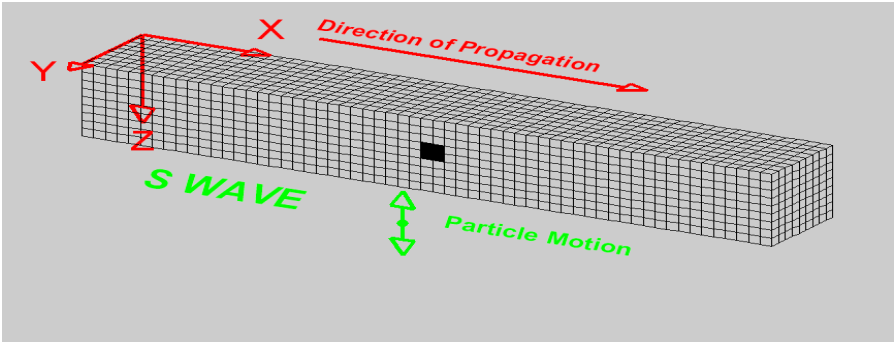

s
s
p
ls
lp
Vp1,Vs1
Vp2,Vs2
rp
p
rs
s

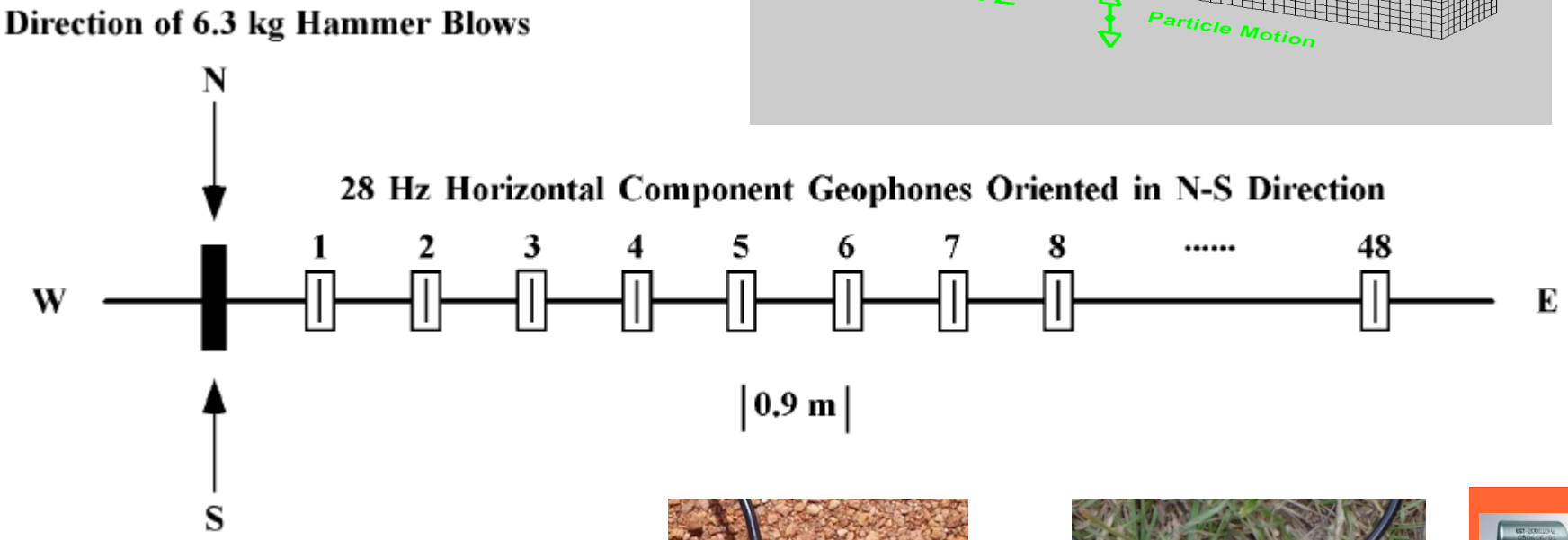
Onda SH refrata e reflete apenas ondas SH (não há conversão para outros tipos) em uma interface horizontal



SH = ondas cisalhante (S) polarizada horizontalmente

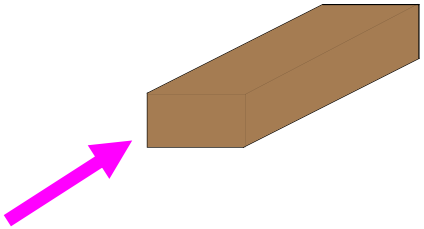
Refração com onda S

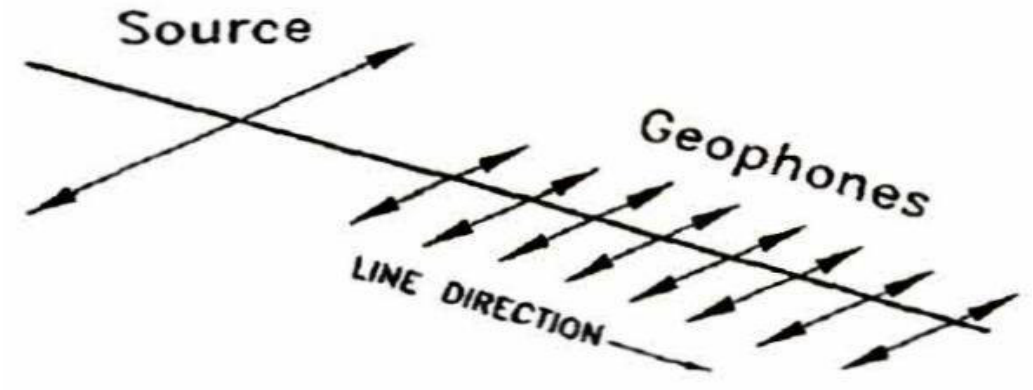


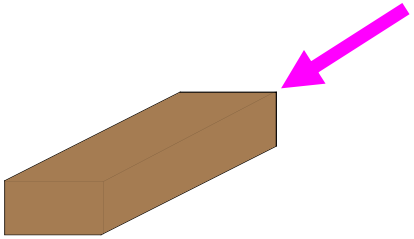


Geofones de componente horizontal, sendo necessário o nivelamento e o correto posicionamento de cada geofone

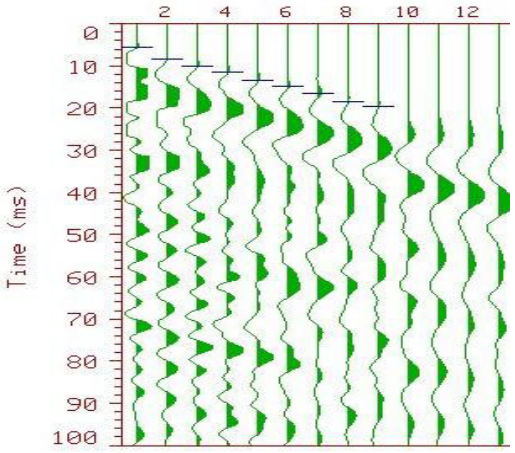
Refração com onda S

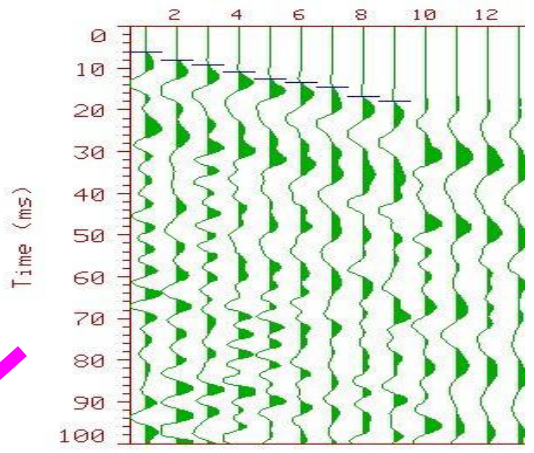


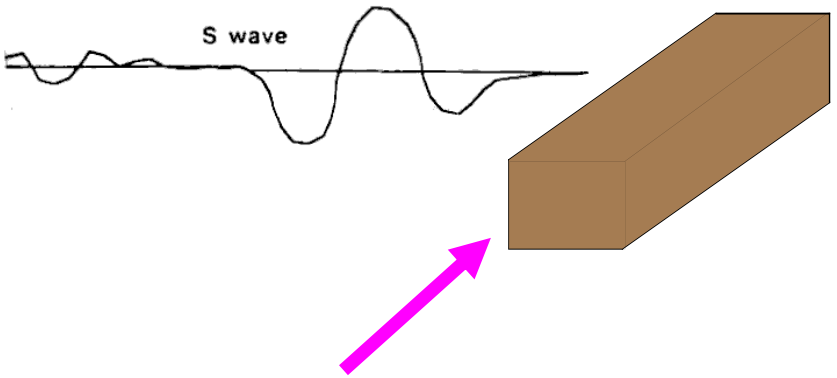


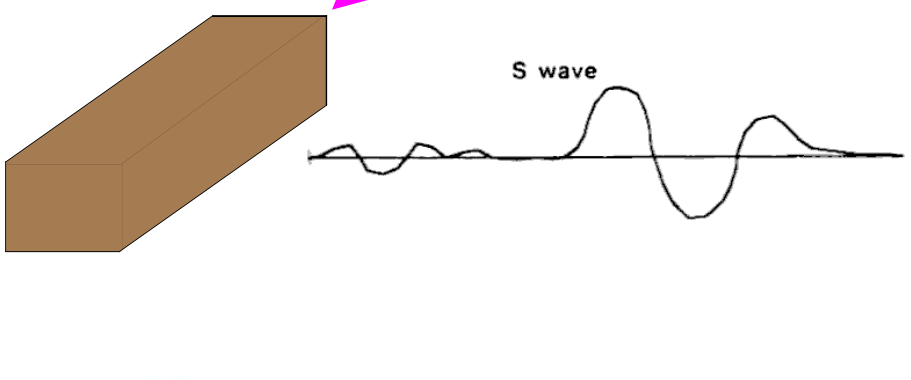


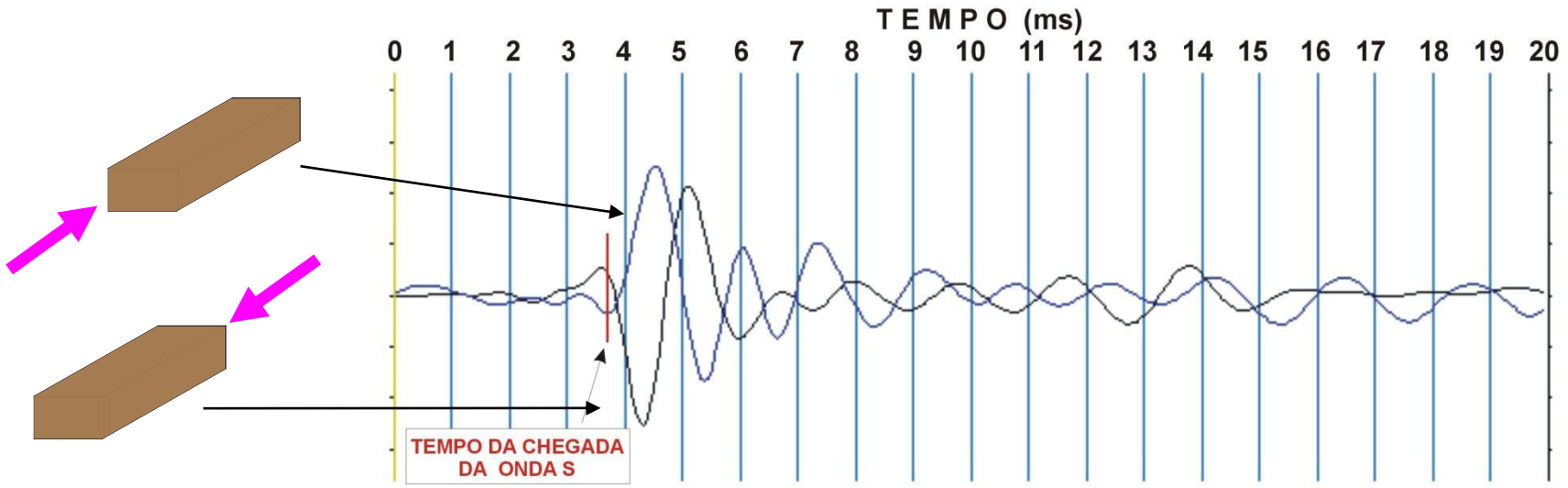
Inversão de polaridade


2 4 6 8 10 12
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
Time (ms)

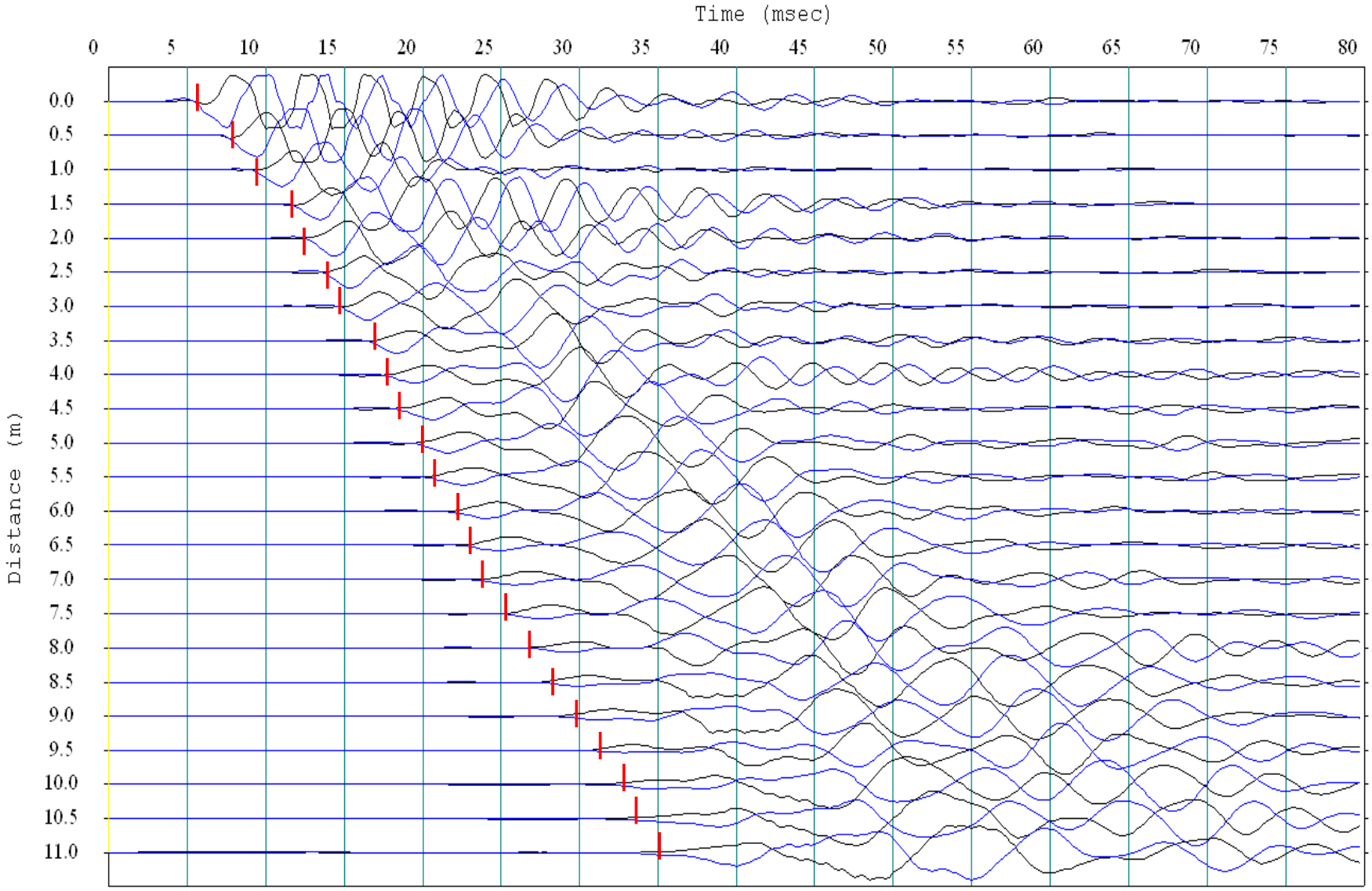

2 4 6 8 10 12
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
Time (ms)

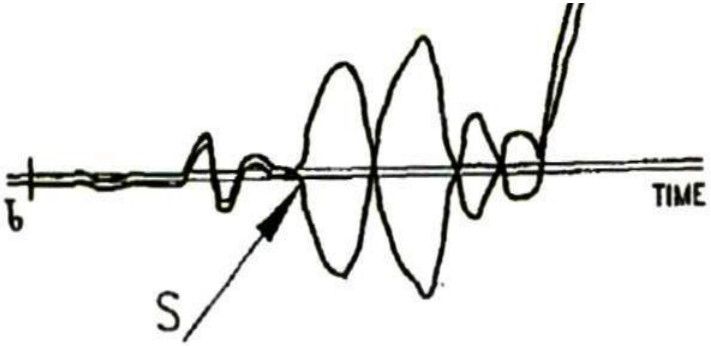

S wave

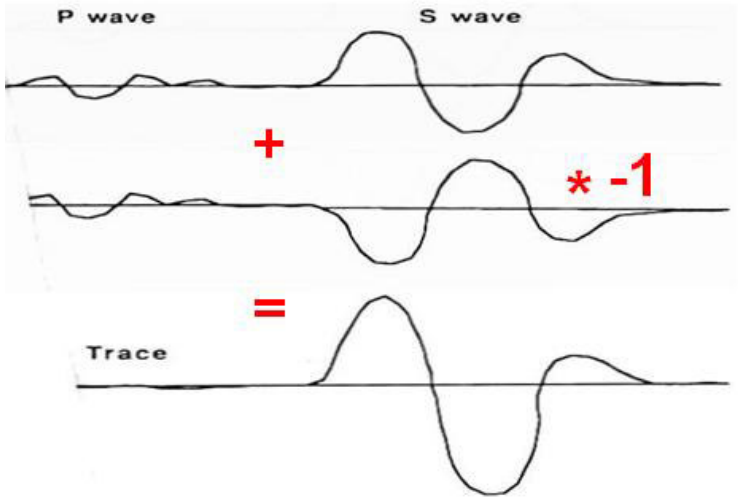

S wave

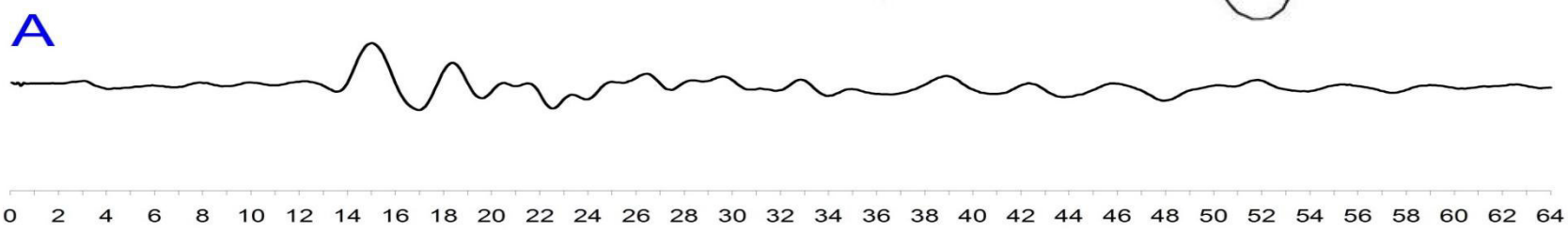

TEMPO (ms)
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
TEMPO DA CHEGADA
DA ONDA S

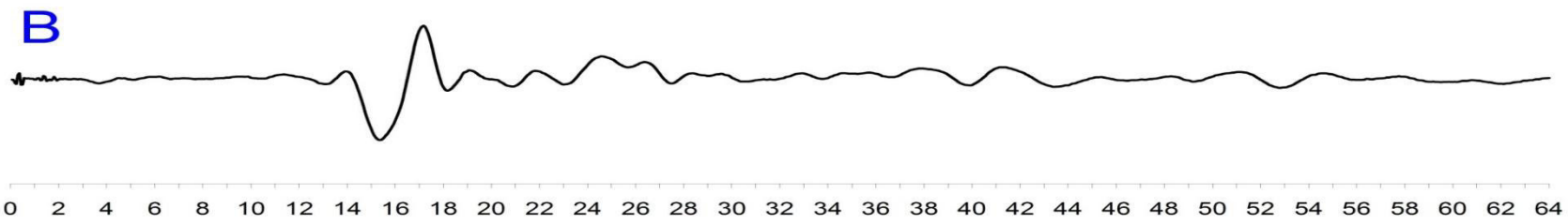
Sismograma (onda S)

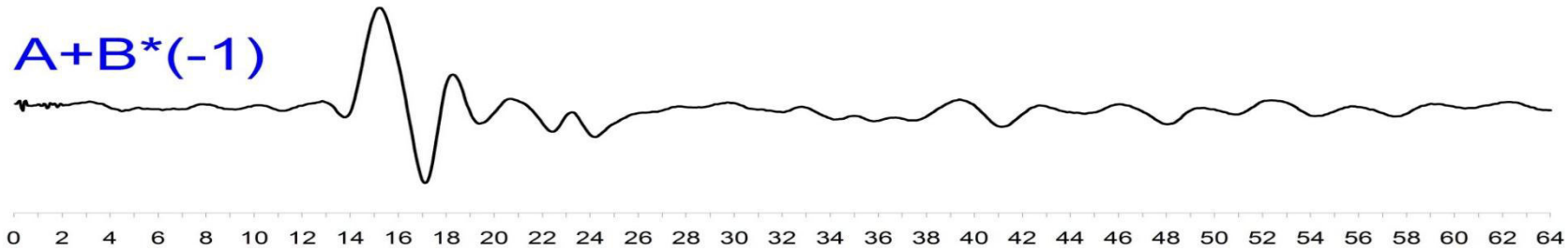



TIME
S


P wave
S wave
+
* -1
=
Trace


A
0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 42 44 46 48 50 52 54 56 58 60 62 64


B
0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 42 44 46 48 50 52 54 56 58 60 62 64


A+B*(-1)
0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 42 44 46 48 50 52 54 56 58 60 62 64

O valor de V_S representativo para uma determinada área, considerando-se um meio estratificado, pode ser calculado pela equação:

$$V_S = \frac{\sum_{i=}^{n} d_i}{\sum_{i=}^{n} \frac{d_i}{V_{si}}}$$

V_{Si} = velocidade da onda S na i-ésima camada (m/s)
d_i = espessura da i-ésima camada (m)
i = índice que representa uma camada do modelo entre 1 e n

Fonte: BSSC. 2003. NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures (FEMA 450) - Part 1: Provisions. Disponível em **http://www.nehrp.gov/pdf/fema450provisions.pdf**

V_{S30}

Os 30 metros superiores são os melhores indicadores para a velocidade da onda de cisalhamento. como um importante critério nos projetos de estruturas de construções que necessitam proteção sísmica

Utiliza-se o parâmetro V_{S30}, que representa a velocidade média das ondas transversais nos 30 primeiros metros a partir da superfície

Tabela 2 — Classe do terreno

Classe do terreno	Designação da classe do terreno	Propriedades médias para os 30 m superiores do terreno	
		$\overline{v_s}$	$\overline{N}$
A	Rocha sã	$\overline{v_s} \geq 1\,500$ m/s	(não aplicável)
B	Rocha	$1\,500 \text{ m/s} \geq \overline{v_s} \geq 760$ m/s	(não aplicável)
C	Rocha alterada ou solo muito rígido	$760 \text{ m/s} \geq \overline{v_s} \geq 370$ m/s	$\overline{N} \geq 50$
D	Solo rígido	$370 \text{ m/s} \geq \overline{v_s} \geq 180$ m/s	$50 \geq \overline{N} \geq 15$
E	Solo mole	$\overline{v_s} \leq 180$ m/s	$\overline{N} \leq 15$
	-	Qualquer perfil, incluindo camada com mais de 3 m de argila mole	
F	-	1 Solo exigindo avaliação específica, como: 2 Solos vulneráveis à ação sísmica, como solos liquefazíveis, argilas muito sensíveis e solos colapsíveis fracamente cimentados; 3 Turfa ou argilas muito orgânicas; 4 Argilas muito plásticas; 5 Estratos muito espessos (≥ 35 m) de argila mole ou média.	

Correlações de V_S com o N_{SPT}

Existe uma forte relação entre o valor N_{SPT} (número de golpes em sondagens SPT - *Standard Penetration Test*) com a velocidade de propagação de ondas S (V_S)

Existem um grande número fórmulas empíricas para conversões de valores N_{SPT} para V_S

$$V_S = A \cdot N_{SPT}^{\ B} \qquad V_S = A + B \cdot N_{SPT}$$

Tabela 2 - Correlações: N(SPT) e V_S (*adaptado de* Hanumantharao & Ramana, 2008).

Autor	Correlação	Solo	País
Imai & Yoshimura (1970)$	$Vs = 76.0N^{0.39}$	Todos	Japão
Ohba & Toriumi (1970)$	$Vs = 84.0N^{0.31}$	Aluvião	Japão
Shibata (1970) **	$Vs = 32.0N^{0.50}$	Areias	Japão
Ohta *et al* (1972)$	$Vs = 87.0N^{0.36}$	Areias	Japão
Ohsaki & Iwasaki (1973)	$Vs = 82.0N^{0.39}$	Todos	Japão
Ohsaki & Iwasaki (1973)	$Vs = 59.0N^{0.47}$	Sem coesão	Japão
Imai *et al* (1975) **	$Vs = 90.0N^{0.34}$	Todos	Japão
Imai (1977)	$Vs = 91.0N^{0.34}$	Todos	Japão
Ohta & Goto (1978)	$Vs = 85.3N^{0.35}$	Todos	Japão
JRA (1980) **	$Vs = 100.0N^{0.33}$	Argilas	Japão
JRA (1980) **	$Vs = 80.0N^{0.33}$	Areias	Japão
Imai & Tonouchi (1982)	$Vs = 97.0N^{0.31}$	Todos	Japão
Yokota *et al* (1991) **	$Vs = 121.0N^{0.27}$	Todos	Japão
Seed & Idriss (1981) **	$Vs = 61.0N^{0.50}$	Todos	USA
Seed *et al* (1983)	$Vs = 56.4N^{0.50}$	Areias	USA
Sykora & Stokoe (1983)	$Vs = 106.7N^{0.27}$	Granulares	USA
Fumal & Tinsley (1985)	$Vs = 152 + 5.1N^{0.27}$	Areais	USA
Sykora & Koester (1988)	$Vs = 63.0N^{0.43}$	Holoceno - cascalho	USA
Sykora & Koester (1988)	$Vs = 132.0N^{0.32}$	Pleistoceno - cascalho	USA
Lee (1990)	$Vs = 57.0N^{0.49}$	Areias	USA
Lee (1990)	$Vs = 114.0N^{0.31}$	Argilas	USA
Lee (1990)	$Vs = 106.0N^{0.32}$	Siltes	USA
Rollins *et al* (1998a, b)	$Vs = 63.0(N_{60})^{0.43}$	Holocene - cascalho	USA
Rollins *et al* (1998a, b)	$Vs = 132.0(N_{60})^{0.32}$	Pleistocene - cascalho	USA
Rollins *et al* (1998a, b)	$Vs = 222.0N^{0.06}$	Aterro recente	USA

Andrus *et al* (2004)	$Vs1cs = 87.8(N_{1,60cs})^{0.25}$	Todos	USA
Pitikilas *et al* (1992)	$Vs = 155.1N^{0.17}$	Aterro de detritos	Grécia
Pitikilas *et al* (1992)	$Vs = 162.0N^{0.17}$	Ateria siltosa	Grécia
Pitikilas *et al* (1992)	$Vs = 165.7N^{0.19}$	Argilas moles	Grécia
Pitikilas *et al* (1992)	$Vs = 357.5N^{0.19}$	Argilas rijas	Grécia
Kalteziotis *et al* (1992)~	$Vs = 76.2N^{0.24}$	Todos	Grécia
Kalteziotis *et al* (1992)~	$Vs = 76.6N^{0.45}$	Coesivos	Grécia
Kalteziotis *et al* (1992)~	$Vs = 49.1N^{0.50}$	Sem coesão	Grécia
Athanasopoulos (1995)	$Vs = 107.6N^{0.36}$	Todos	Grécia
Raptakis *et al* (1995)	$Vs = 123.4N^{0.29}$	Areiafofa	Grécia
Raptakis *et al* (1995)	$Vs = 100.0N^{0.24}$	Area meio densa	Grécia
Raptakis *et al* (1995)	$Vs = 105.7N^{0.33}$	Argilas moles	Grécia
Raptakis *et al* (1995)	$Vs = 184.2N^{0.17}$	Argilas rijas	Grécia
Raptakis *et al* (1995)	$Vs = 192.4N^{0.13}$	Cascalho	Grécia
Jafari *et al* (1997) **	$Vs = 22.0N^{0.85}$	Todos	Iran
Jafari *et al* (2002)	$Vs = 27.0N^{0.73}$	Argilas	Iran
Jafari *et al* (2002)	$Vs = 22.0N^{0.77}$	Siltes	Iran
Jafari *et al* (2002)	$Vs = 19.0N^{0.85}$	Solo bem graduado	Iran
Chein *et al* (2000)	$Vs = 22.0N^{0.76}$	Areias siltosa	Taiwan
Kayabali (1996)	$Vs = 175 + 3.75N$	Granulares	Turquia

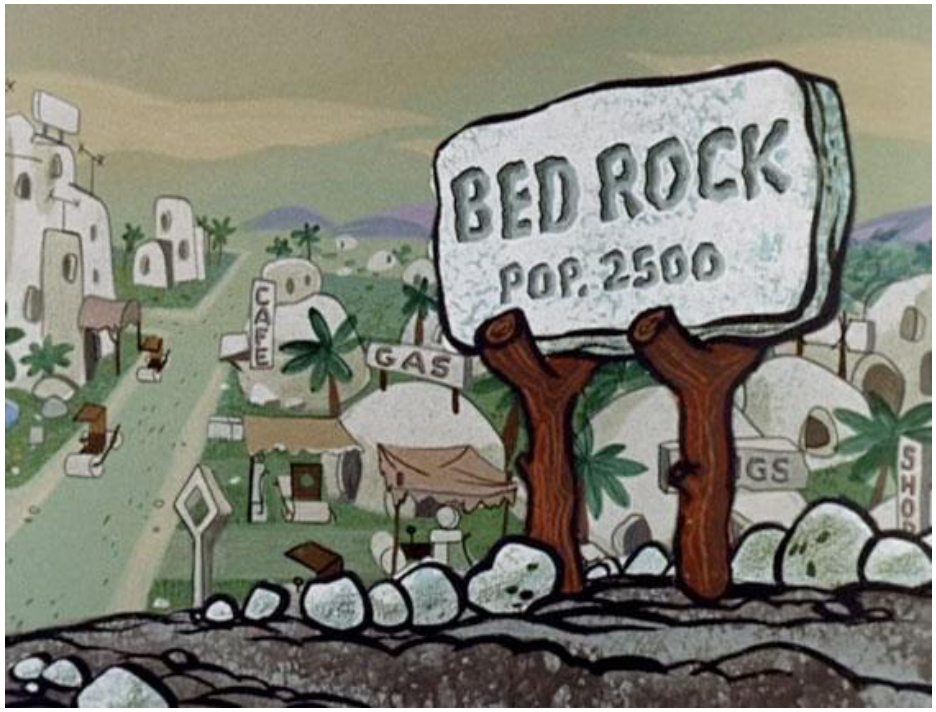
$Adotado de Ohsaki & Iwasaki (1973);
**Adotado de Jafari *et al*(2002);
~Adotado de Athanasopoulos (1995).

Fonte: Pedrini, R.A.A. 2012. DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA PARA SÍSMICA UP-HOLE EM CONJUNTO COM O ENSAIO SPT. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO (FEB/UNESP – BAURU-SP)

Determinação da profundidade do topo rochoso

Using Geophysics to Determine Depth to Bedrock

Depth to solid rock, or "bedrock", is an important consideration in many construction and engineering applications.



Determinação da profundidade do topo rochoso (*bedrock*)

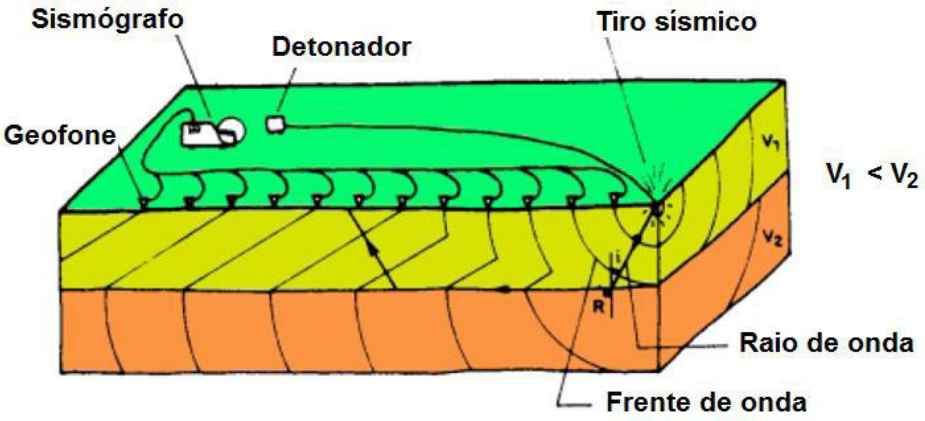
Fonte: Valdir Silva. Desmonte de rochas. Oficina de Textos.

Aplicações

✓Grandes obras (UHE, viadutos): as fundações devem estar apoiadas em rocha firme

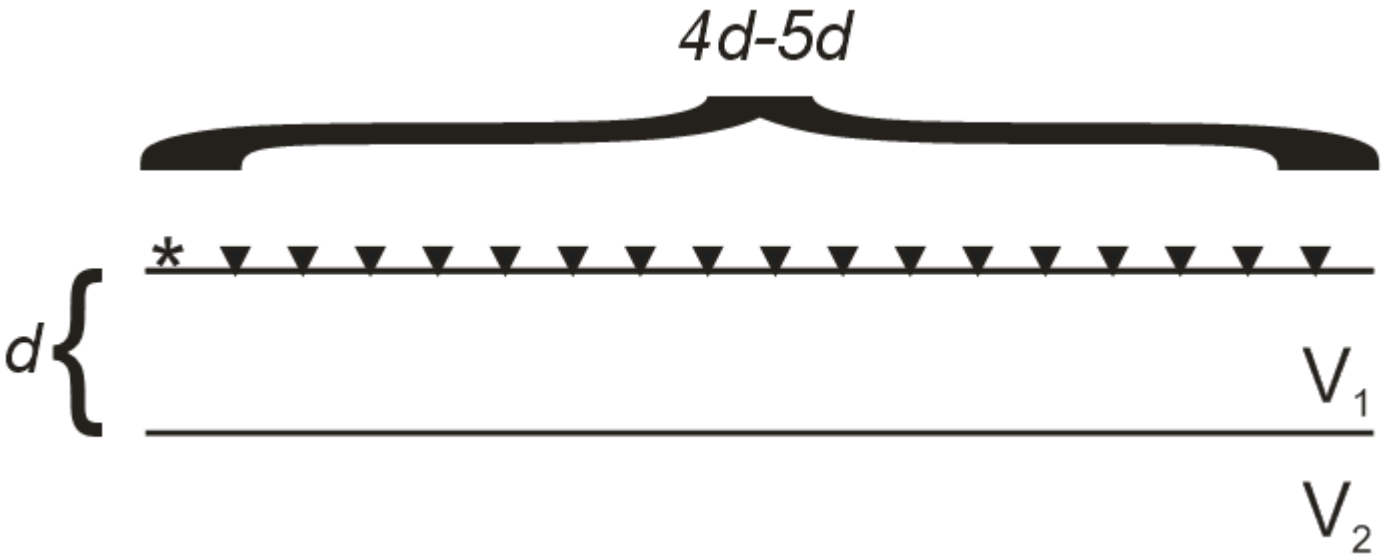
✓ Pedreiras: estimativa do volume do solo (estéril) que deverá ser removido para a lavra do maciço rochoso

Sísmica de Refração



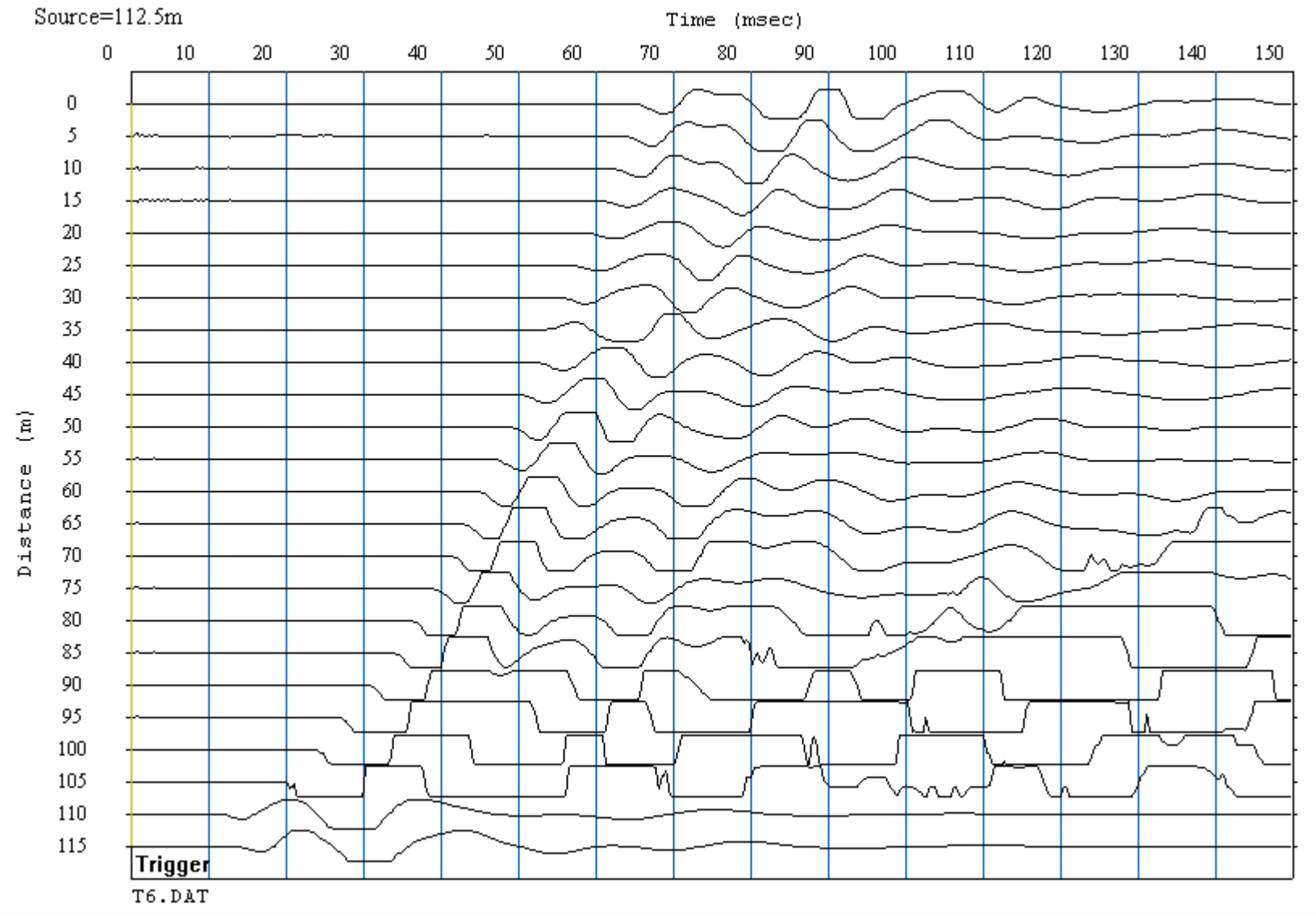
Regra prática:

⇒ comprimento do arranjo = 4x a 5x profundidade a ser investigada

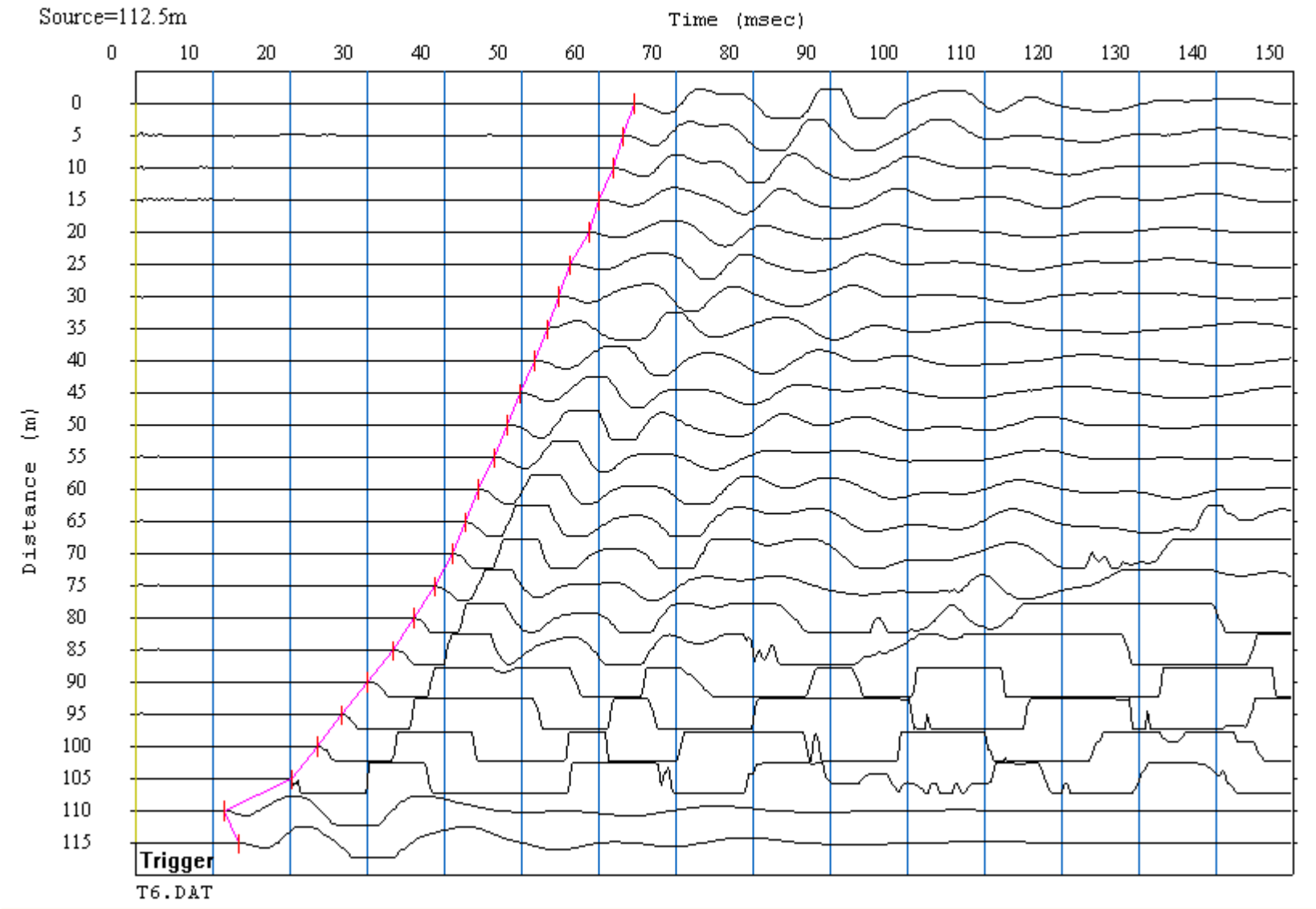


Ex. Marreta (profundidade < 30 m)

→ Base sísmica 115 m (24 geofones espaçados de 5 m)

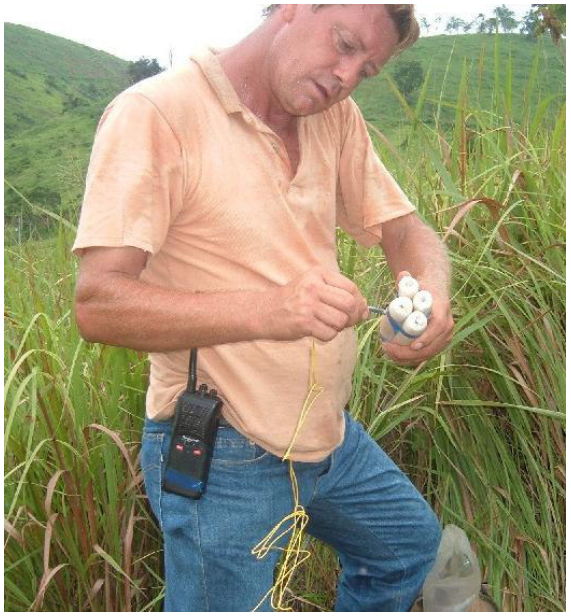


SISMOGRAMA OBTIDO EM UM LEVANTAMENTO DE SÍSMICA DE REFRAÇÃO COM MARRETA



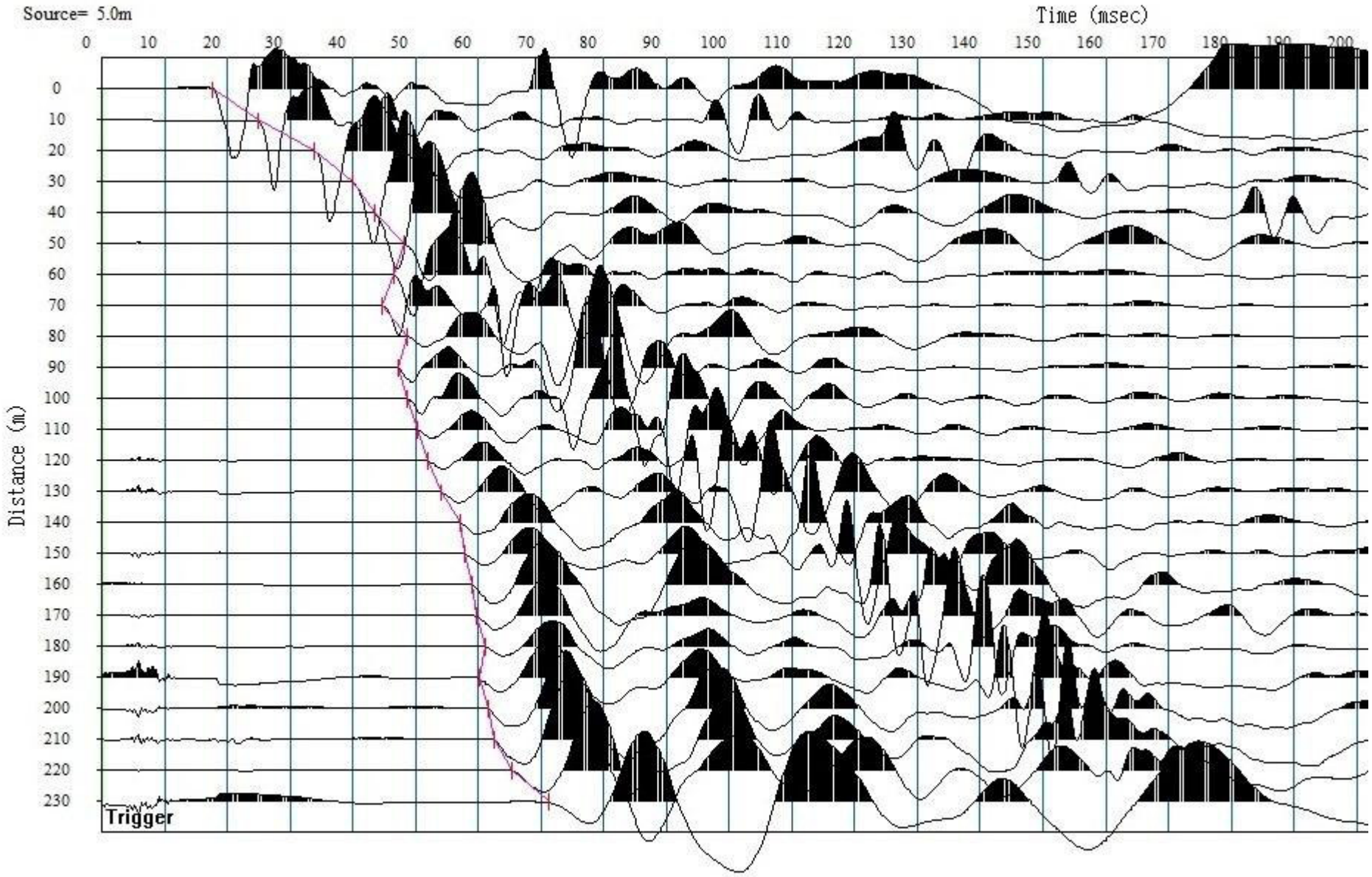
LEITURA DOS TEMPOS DE CHEGADA DA ONDA SÍSMICA (PRIMEIRA QUEBRA), PROCEDIMENTO CONHECIDO COMO "PICAGEM"

Para investigação de maiores profundidades (>30 m, 40 m) utilizando o método da Sísmica de Refração ⇒ explosivos

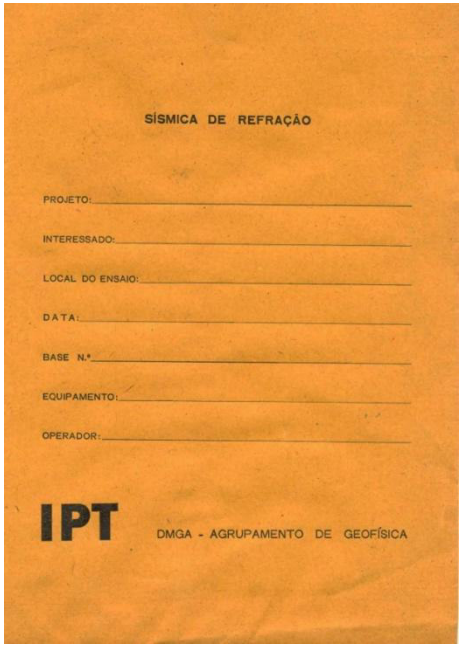


SISMOGRAMA ADQUIRIDO COM EXPLOSIVO

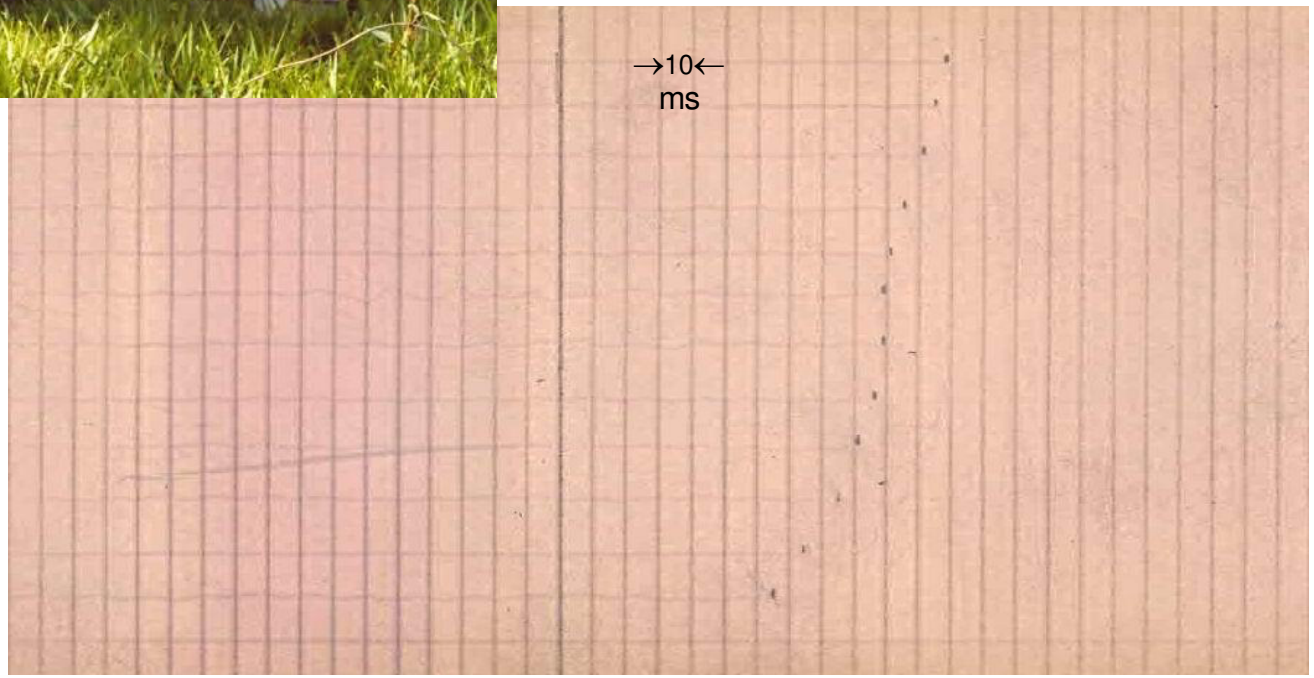
(Base sísmica = 230 m, 24 geofones espaçados de 10 m)



SISMÓGRAFO ANALÓGICO RS-2 (12 canais)

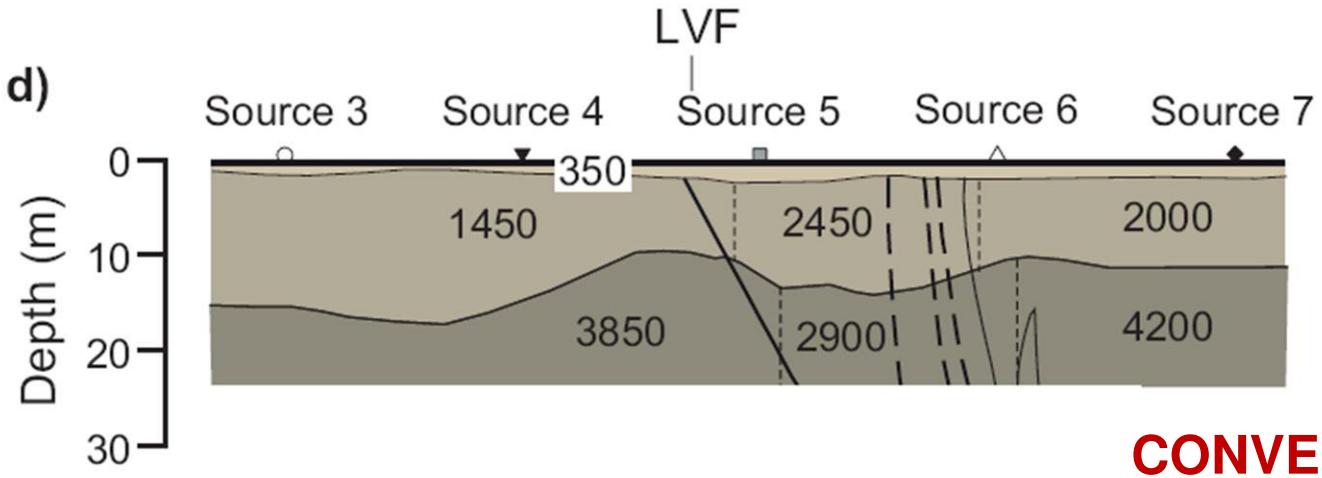


SISMÓGRAFO ANALÓGICO RS-2 (12 canais)

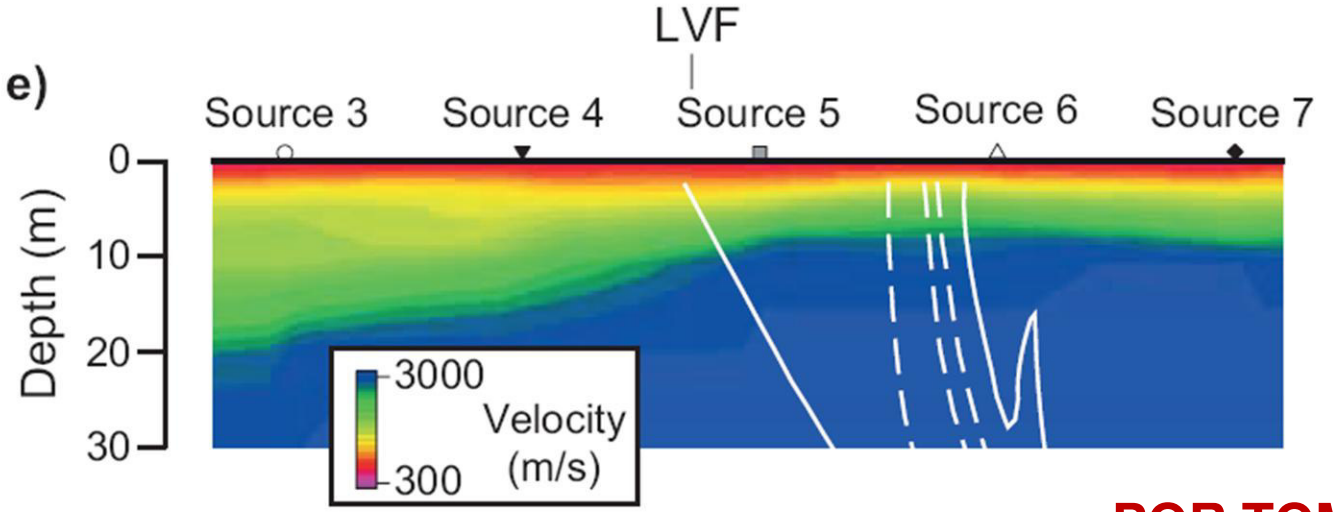


Sismograma em papel foto-sensível

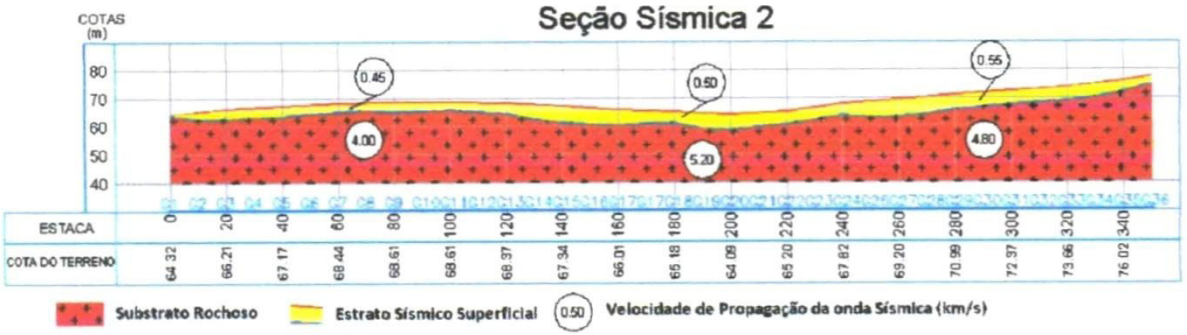
FORMA DE APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DE UMA SEÇÃO DE SÍSMICA DE REFRAÇÃO



CONVENCIONAL

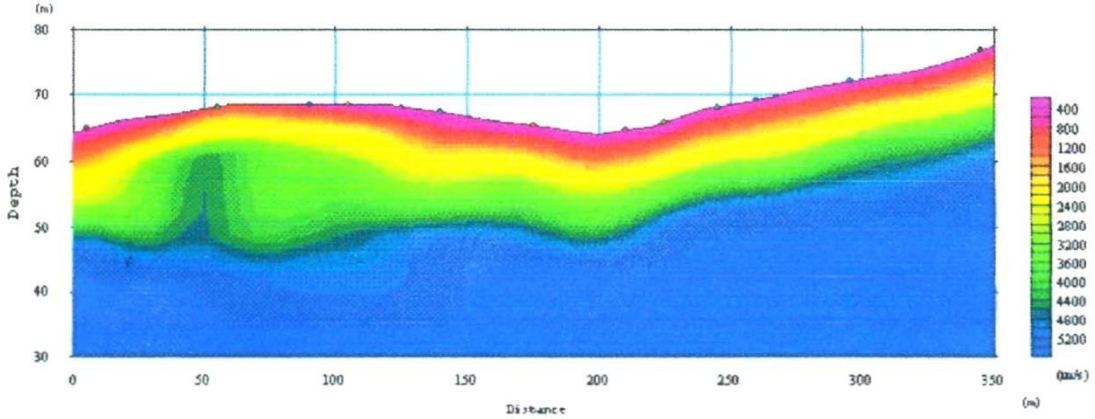


POR TOMOGRAFIA



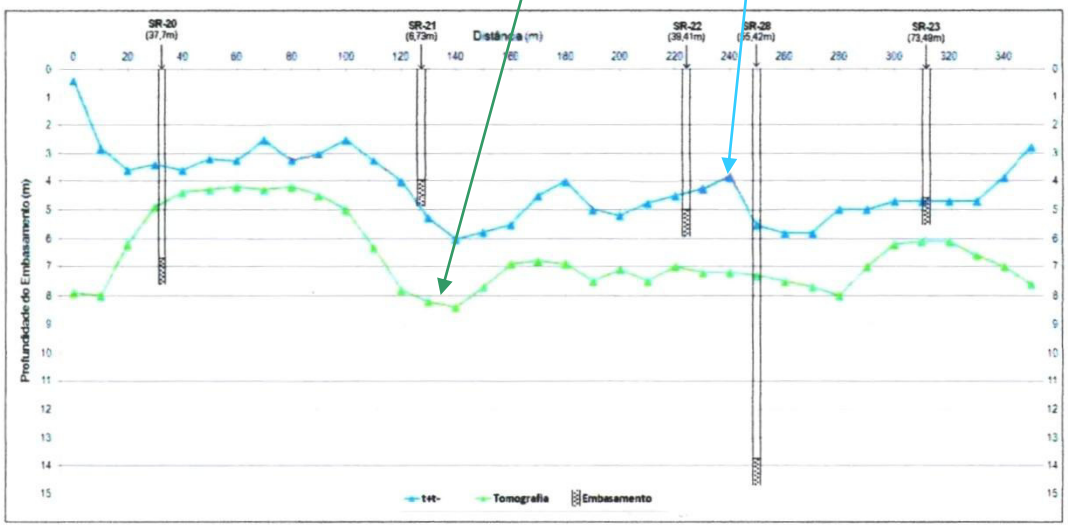
Seção sísmica gerada pelo método T+T-.

$T_+ - T_-$



modelo invertido pela tomografia. O erro RMS é 2,45.

Inversão por tomografia



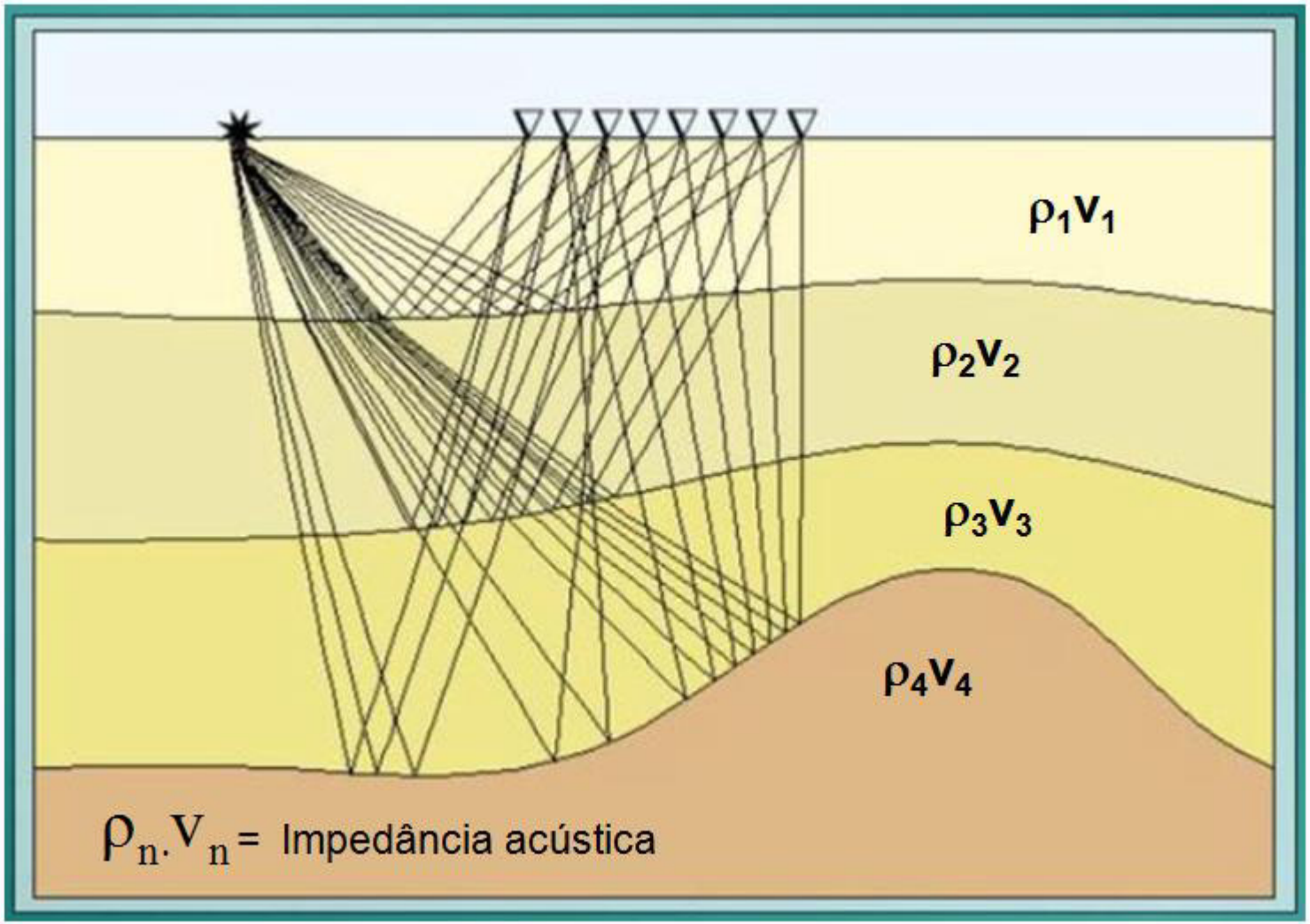
(AHE) Santo Antônio

Rio Madeira

Porto Velho - RO

Fonte: Marques, F.C. 2008

Topo rochoso mais profundo que 30 m, 40 m
$\Rightarrow$ Sísmica de Reflexão



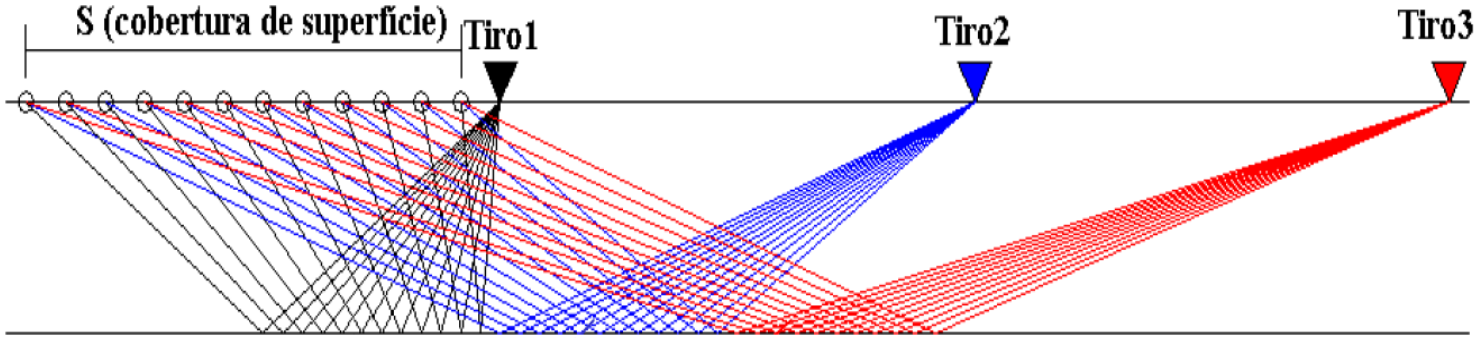
Sísmica de Reflexão

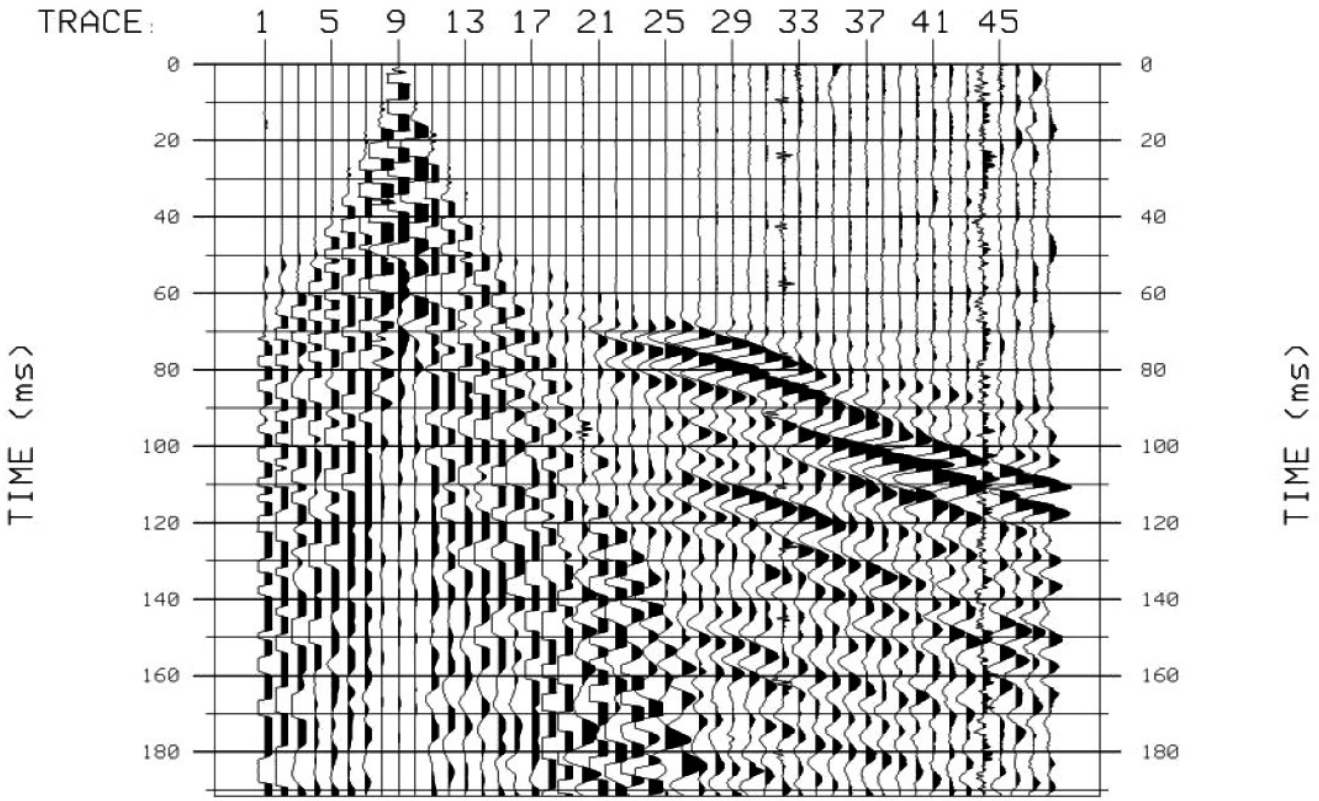
I) Análise de ruído (*walkaway noise test*)

II) Aquisição de dados utilizando as técnicas:

- Aquisição "*common offset*" (afastamento comum)
- Aquisição CMP ("*common mid point*")

Análise de ruído (*walkaway noise test*)





Malagutti et al, 1999

Dado adquirido com a técnica “common offset”

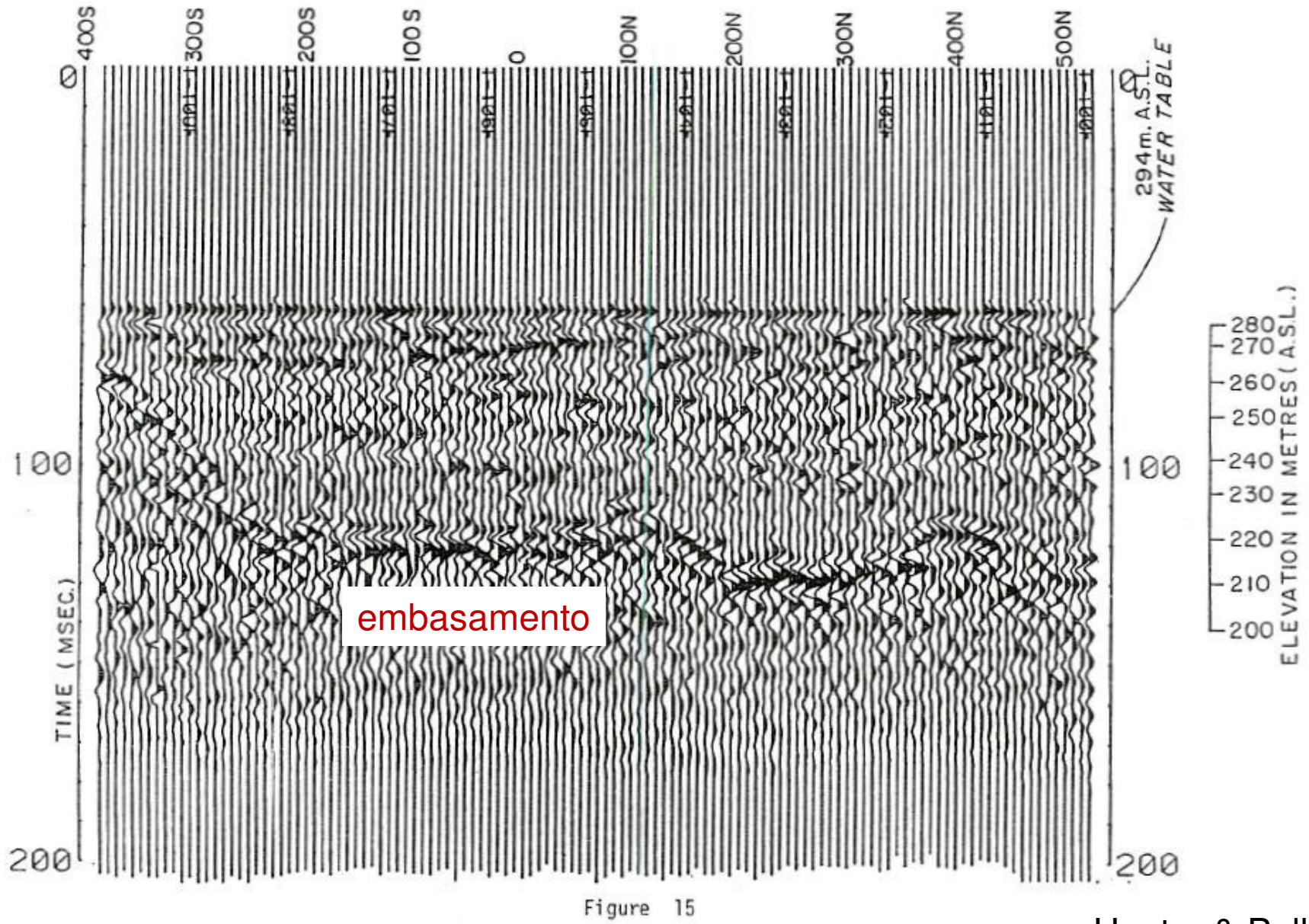
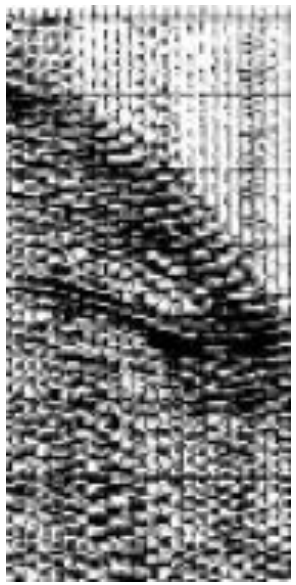
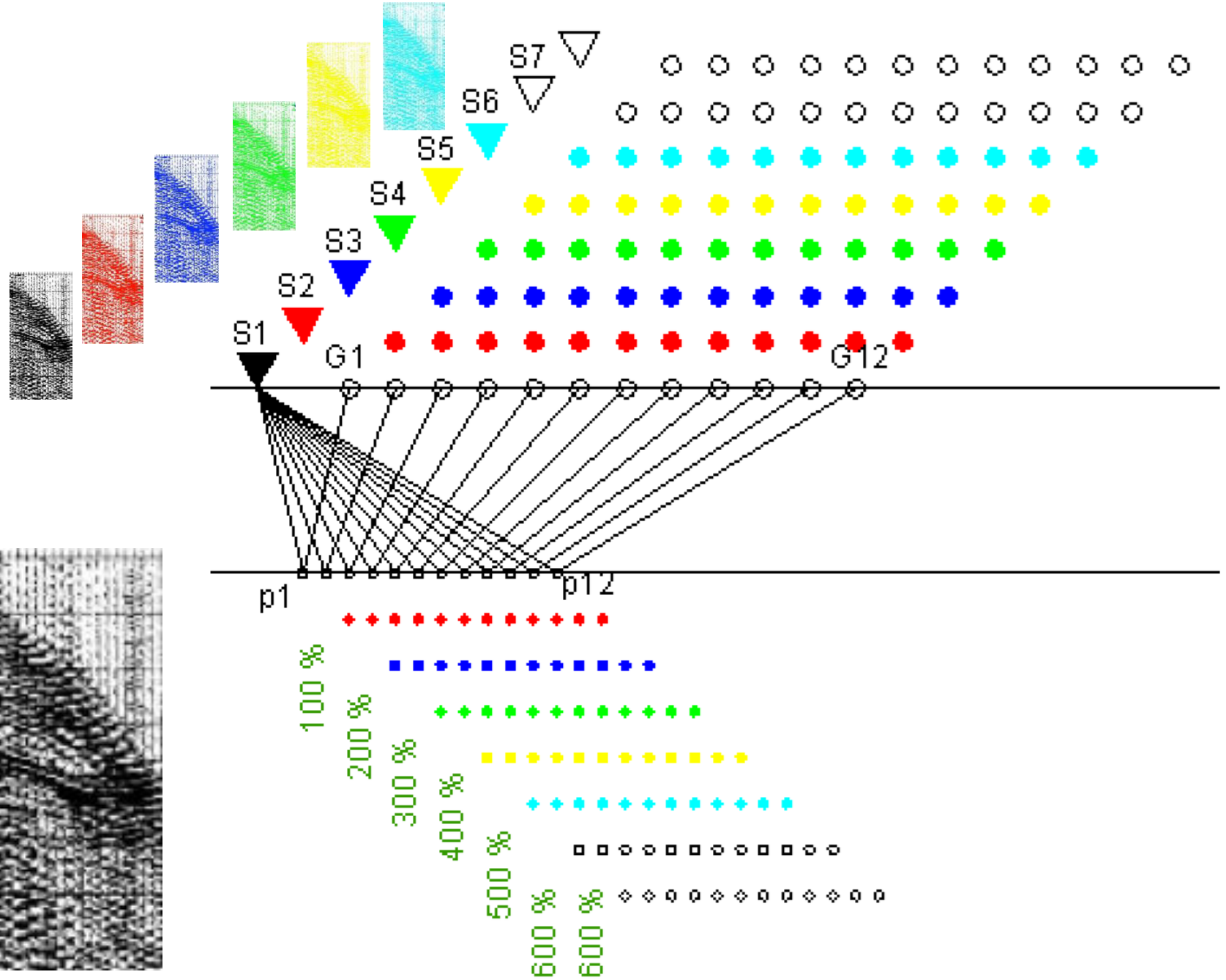


Figure 15

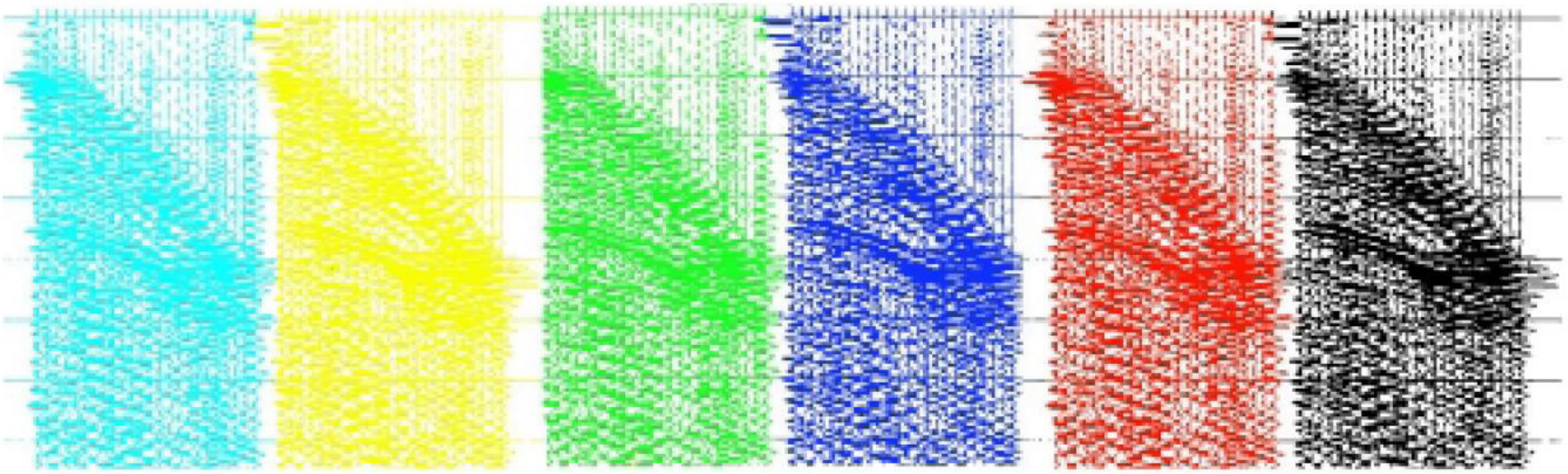
Hunter & Pullan

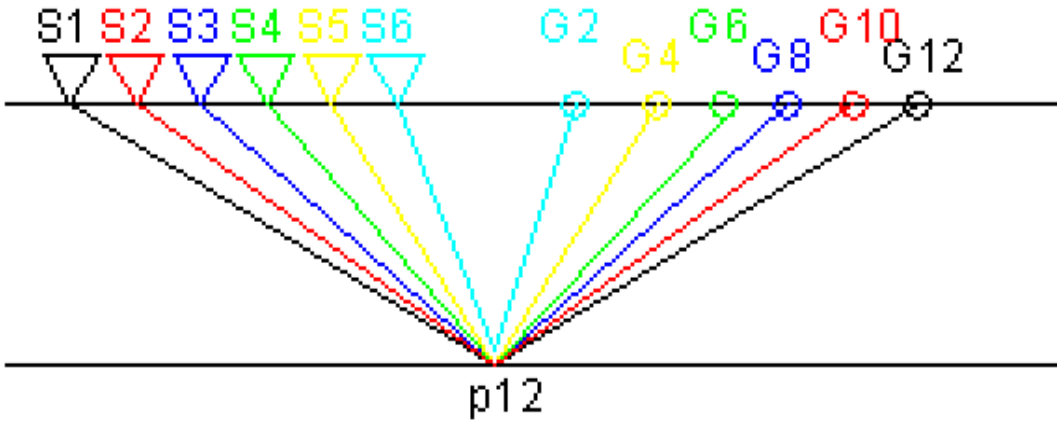
Aquisição de dados utilizando a técnica CMP ("*common mid point*")



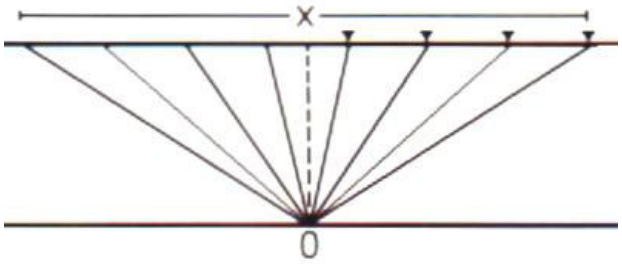


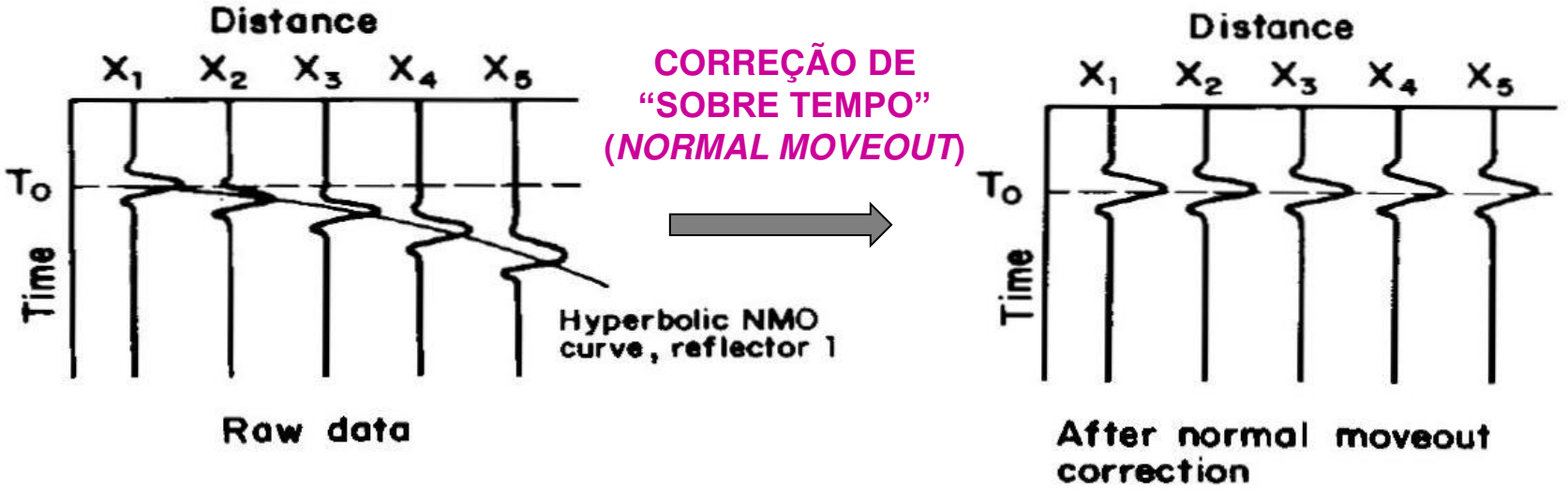
Aquisição de dados utilizando a técnica CMP ("*common mid point*")





Aquisição de dados utilizando a técnica CMP ("*common mid point*")





Dado adquirido com a técnica CMP (“common mid point”)

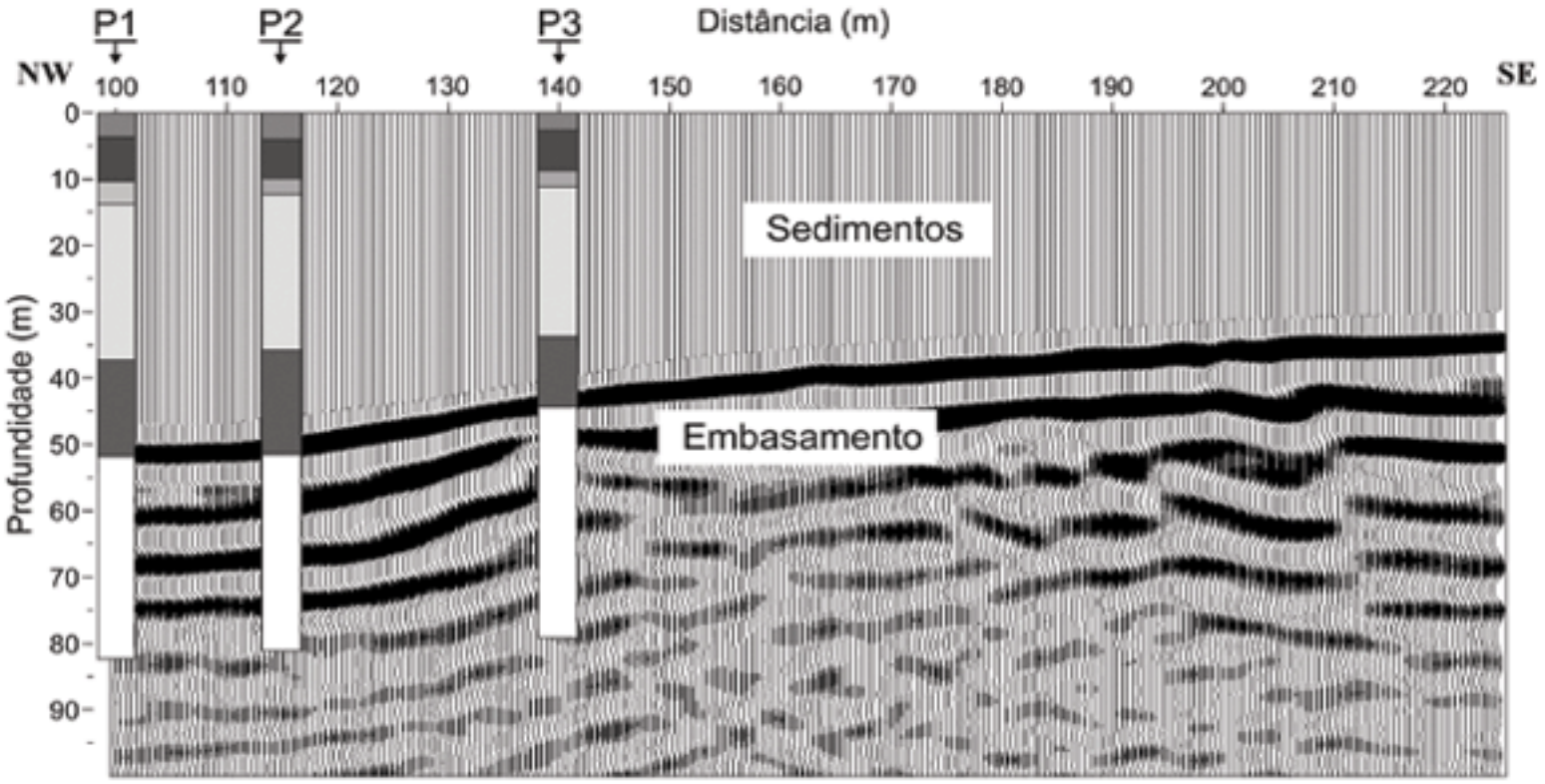


Figura 5 – Perfil de reflexão sísmica em profundidade, com as colunas litológicas dos poços sobrepostas.

Figure 5 – *Seismic reflection profile in depth, with the wells lithologic columns overlapping.*

Revista Brasileira de Geofísica
Print version ISSN 0102-261X

Rev. Bras. Geof. vol.22 no.3 São Paulo Sept./Dec. 2004

http://dx.doi.org/10.1590/S0102-261X2004000300004

Investigações geofísicas de superfície e de poço no sítio controlado de geofísica rasa do IAG-USP

Jorge Luís Porsani[I]; Welitom Rodrigues Borges[II]; Vagner Roberto Elis[III]; Liliana Alcazar Diogo[IV]; Francisco Yukio Hiodo[V]; Antonio Marrano[VI]; Carlos Alberto Birelli[VII]

Município de Vazante - MG

Objetivo:

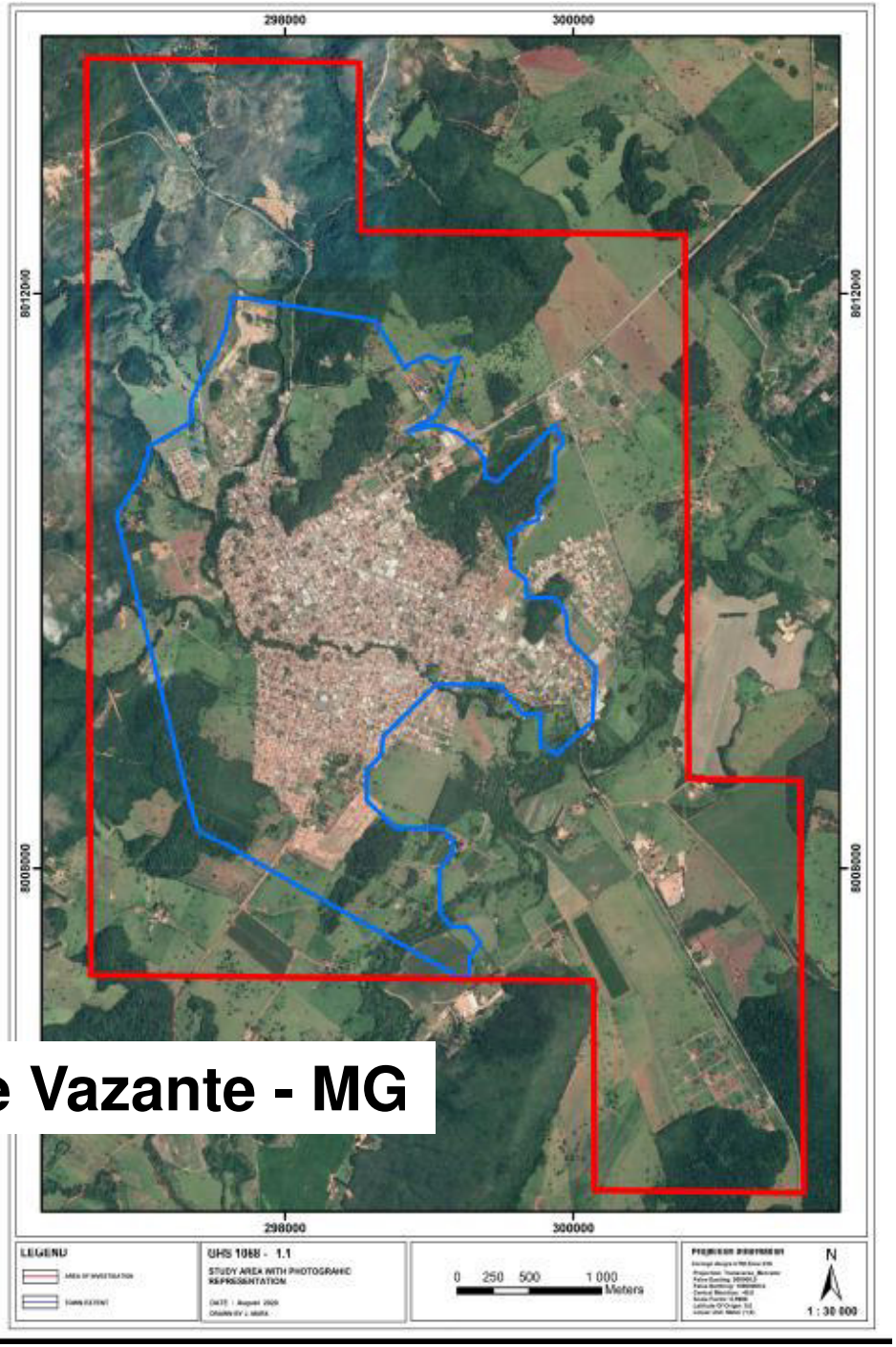
a) determinação da profundidade do topo rochoso (rocha dolomítica)

b) determinação da natureza e espessura do material de cobertura

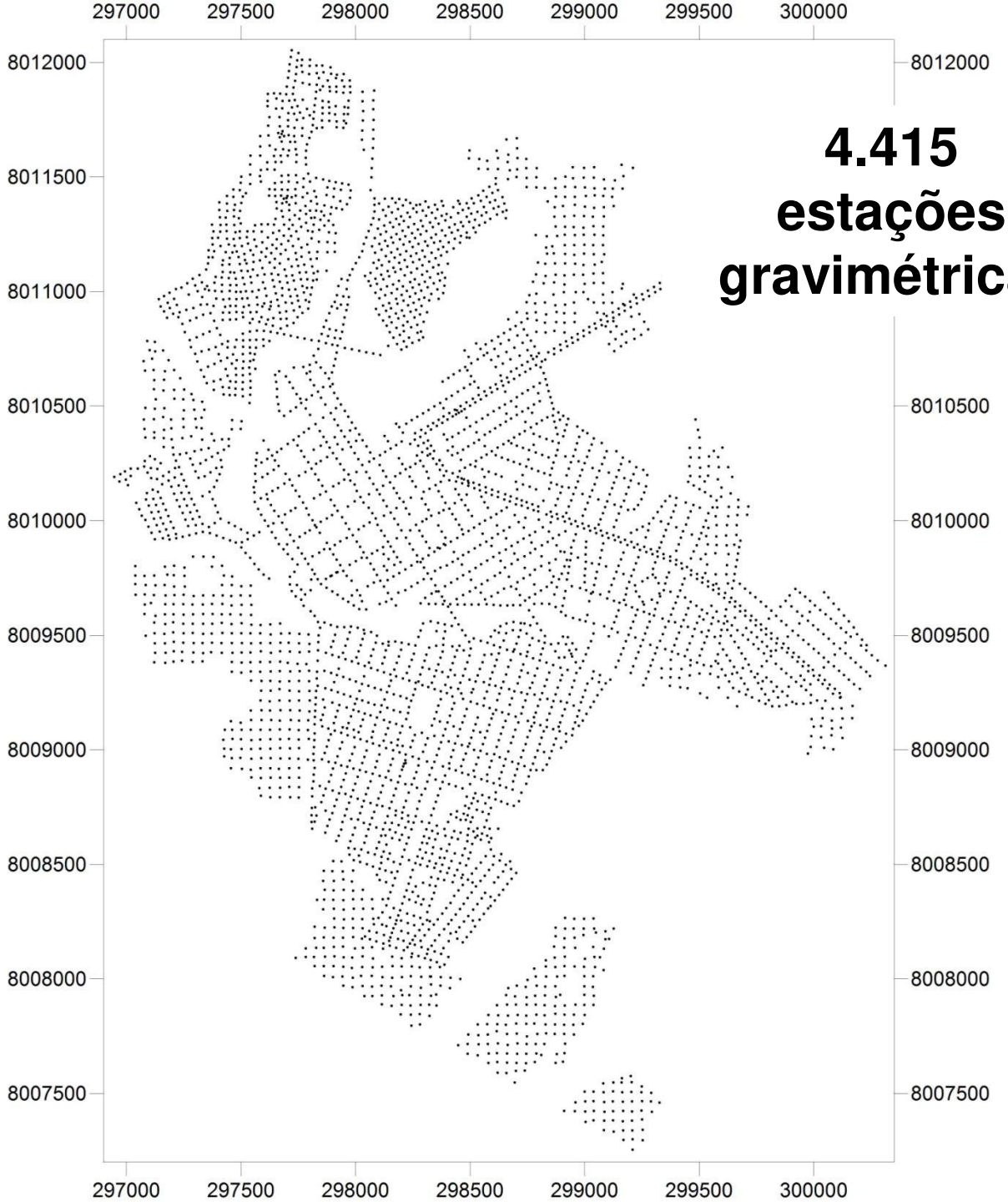
Métodos: microgravimetria e sondagens rotativas

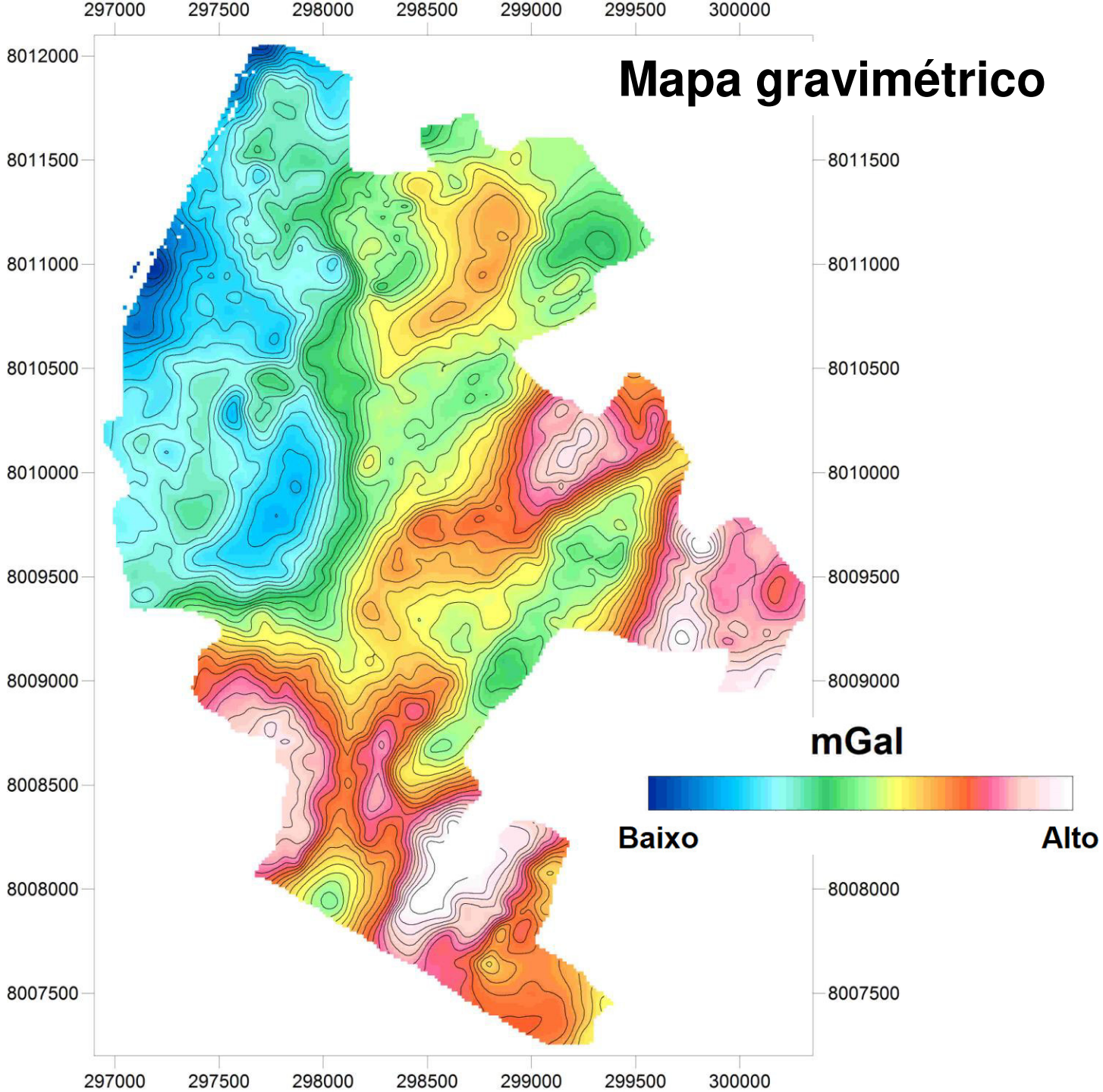
- ✓ 4.415 estações gravimétricas
- ✓ 28 sondagens rotativas

Executora: VGI (África do Sul)

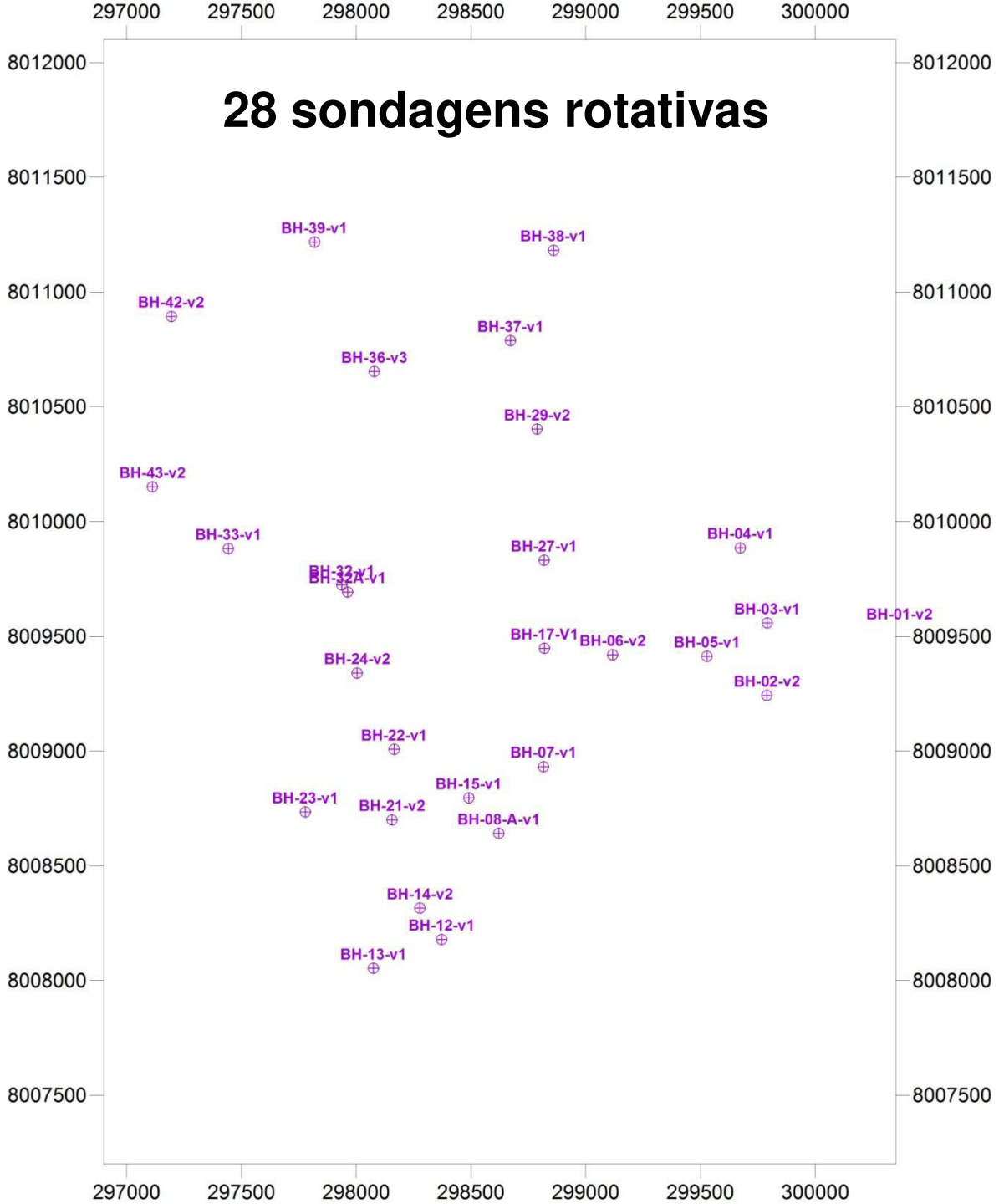


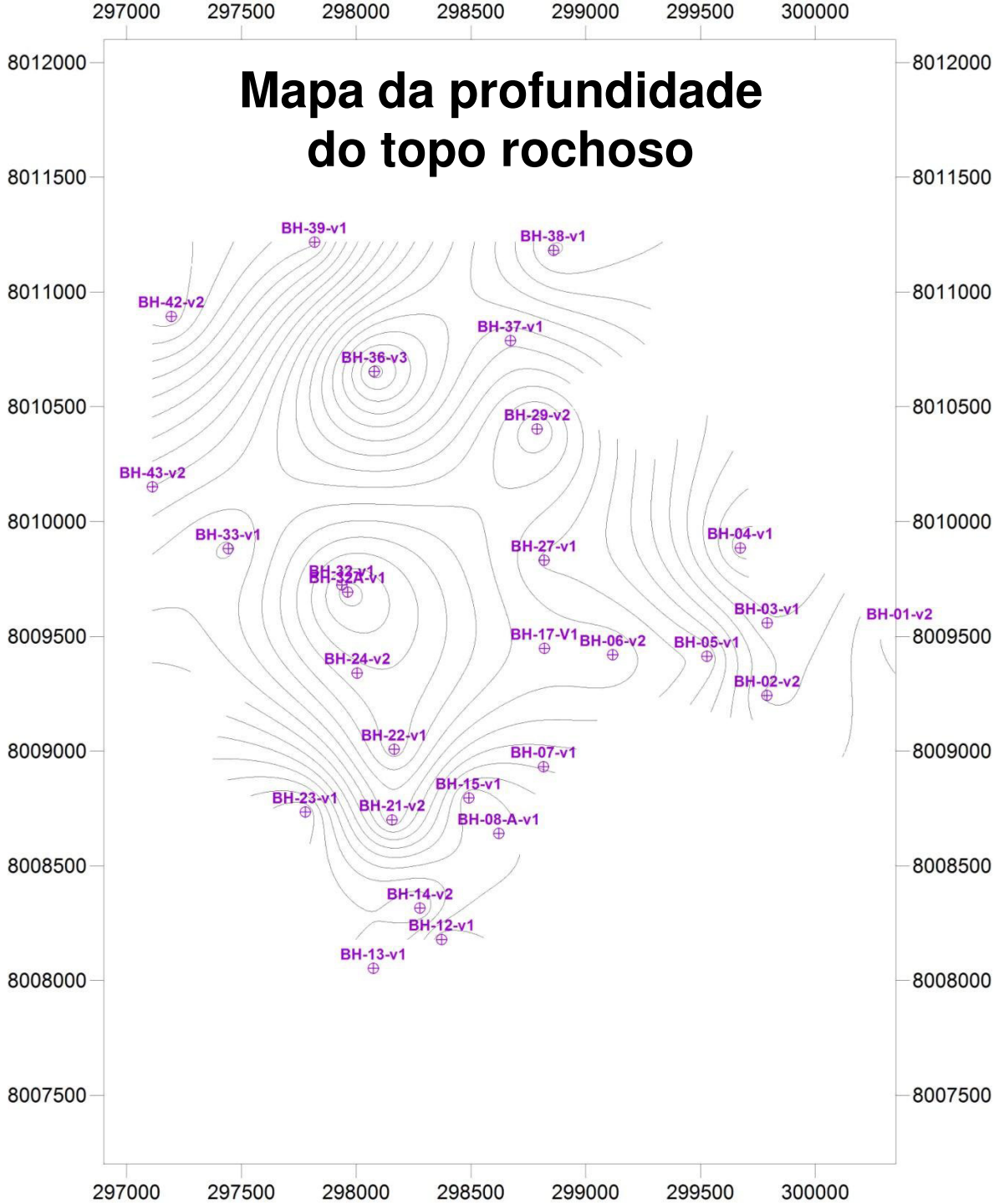
Município de Vazante - MG

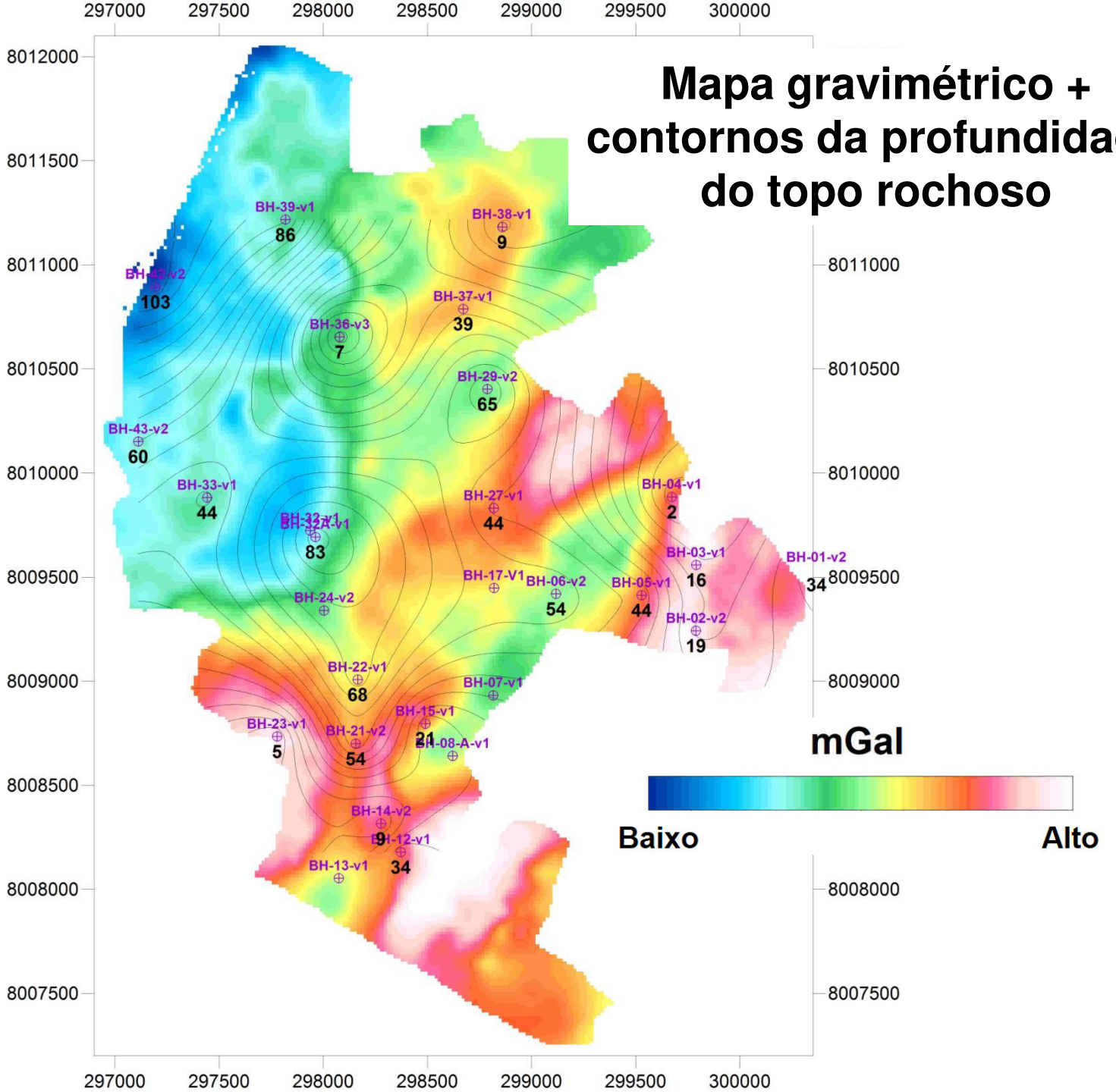

297000
297500
298000
298500
299000
299500
300000
8012000
8011500
8011000
8010500
8010000
8009500
8009000
8008500
8008000
8007500
4.415
estações
gravimétricas


Mapa gravimétrico
297000
297500
298000
298500
299000
299500
300000
8012000
8011500
8011000
8010500
8010000
8009500
8009000
8008500
8008000
8007500
mGal
Baixo
Alto

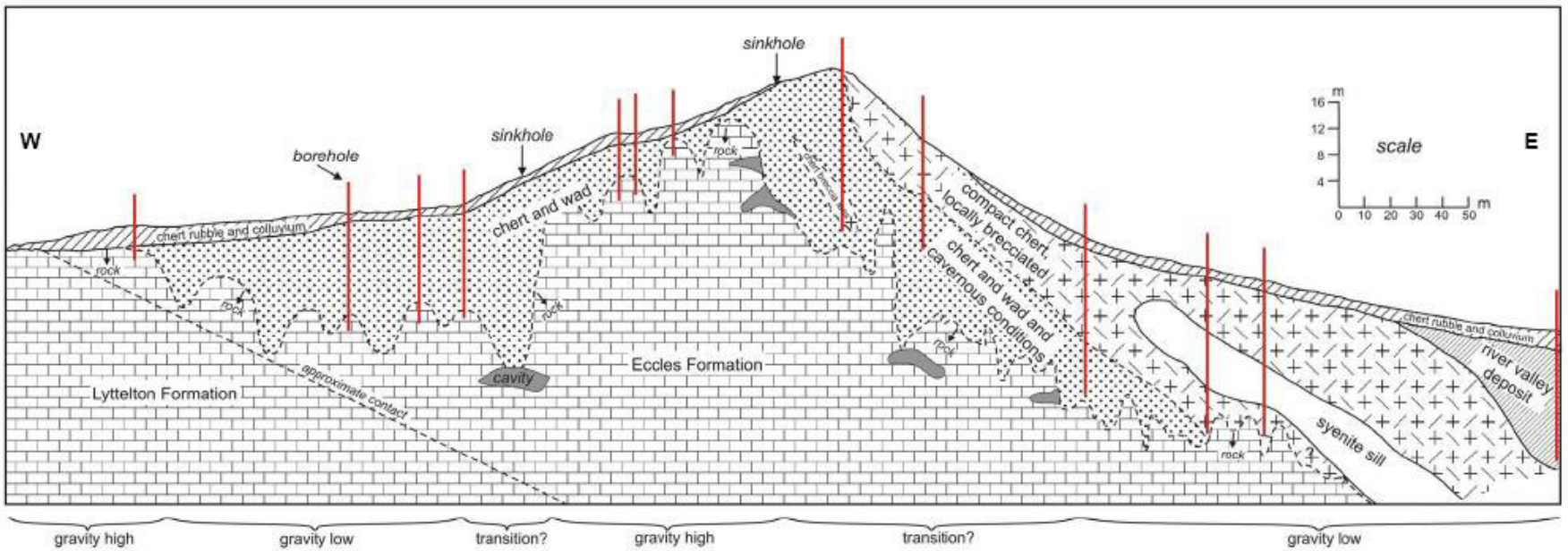
Sondagens rotativas


28 sondagens rotativas
297000
297500
298000
298500
299000
299500
300000
8012000
8011500
8011000
8010500
8010000
8009500
8009000
8008500
8008000
8007500
BH-39-v1
BH-38-v1
BH-42-v2
BH-37-v1
BH-36-v3
BH-29-v2
BH-43-v2
BH-33-v1
BH-27-v1
BH-04-v1
BH-32-v1
BH-32A-v1
BH-03-v1
BH-01-v2
BH-17-V1
BH-06-v2
BH-05-v1
BH-24-v2
BH-02-v2
BH-22-v1
BH-07-v1
BH-15-v1
BH-23-v1
BH-21-v2
BH-08-A-v1
BH-14-v2
BH-12-v1
BH-13-v1

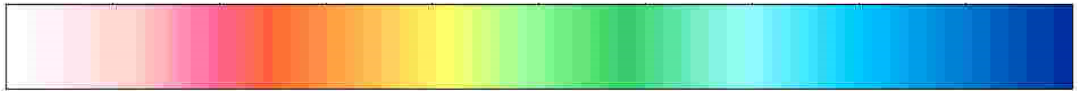

Mapa da profundidade
do topo rochoso
297000
297500
298000
298500
299000
299500
300000
8012000
8011500
8011000
8010500
8010000
8009500
8009000
8008500
8008000
8007500
BH-39-v1
BH-38-v1
BH-42-v2
BH-37-v1
BH-36-v3
BH-29-v2
BH-43-v2
BH-33-v1
BH-27-v1
BH-04-v1
BH-32-v1
BH-32A-v1
BH-03-v1
BH-01-v2
BH-17-V1
BH-06-v2
BH-05-v1
BH-24-v2
BH-02-v2
BH-22-v1
BH-07-v1
BH-15-v1
BH-23-v1
BH-21-v2
BH-08-A-v1
BH-14-v2
BH-12-v1
BH-13-v1


Mapa gravimétrico + contornos da profundidade do topo rochoso
297000
297500
298000
298500
299000
299500
300000
8012000
8011500
8011000
8010500
8010000
8009500
8009000
8008500
8008000
8007500
BH-39-v1
86
BH-38-v1
9
BH-42-v2
103
BH-37-v1
39
BH-36-v3
7
BH-29-v2
65
BH-43-v2
60
BH-33-v1
44
BH-27-v1
44
BH-04-v1
2
BH-32A-v1
83
BH-03-v1
16
BH-01-v2
34
BH-17-V1
BH-06-v2
54
BH-05-v1
44
BH-24-v2
BH-02-v2
19
BH-22-v1
68
BH-07-v1
BH-15-v1
21
BH-23-v1
5
BH-21-v2
54
BH-08-A-v1
BH-14-v2
9
BH-12-v1
34
BH-13-v1
mGal
Baixo
Alto

Idealized cross-section A – B



mGal



PERCUSSION DRILLING REPORT — BOREHOLE N°: BH-39-v1 — SHEET 2 OF 3

LOCALITY: VAZANTE URBAN PERIMETER

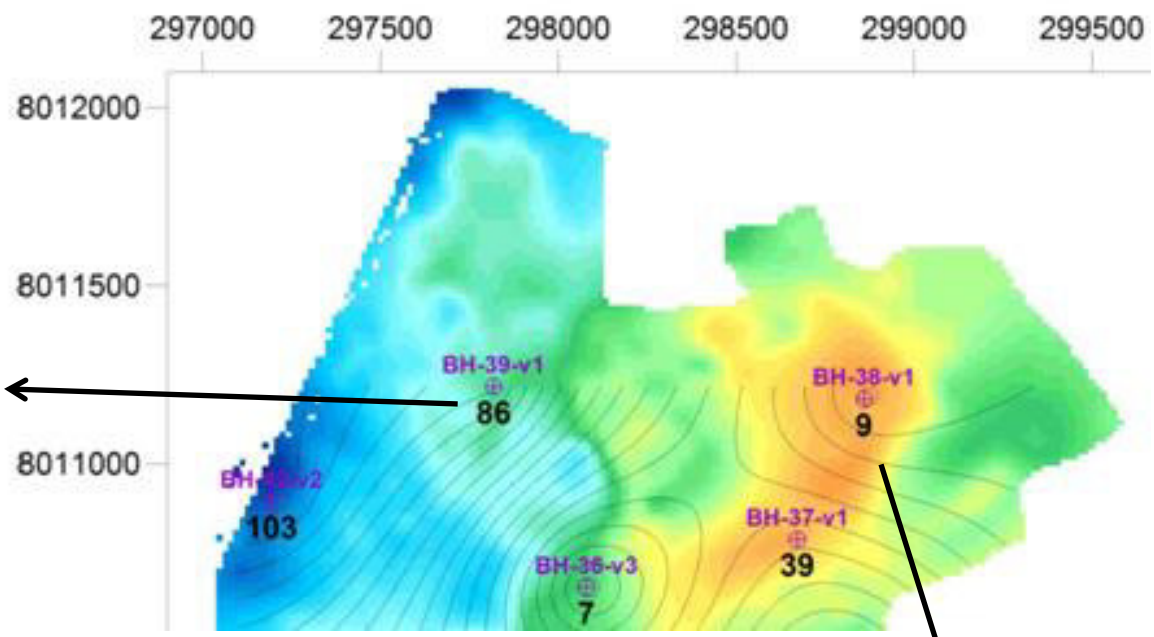
CO-ORDINATES: X= 297818 Y= 8011217 — COLLAR ELEV: 673m mamsl — WATER LEVEL: 51m

COMPANY: NEXA RESOURCES

DATE COMPLETED: 16/12/2020

The "Geological Column" is diagrammatic and it is not intended nor implied to represent the precise geological strata at the depths indicated.

PENETRATION (min.sec/metre)	DEPTH	GEOLOGY	KEY REFERENCE / DESCRIPTION
0.55			15-47m: Gray layered WEATHERED MARL
0.36			
0.48			
0.50			
0.51	45		
0.52			
1.00			
1.03			47-50m: Light brown clayish soft SAPROLITE
1.10			
0.58	50		
0.57			50-56m: Brown sandy-clay hard SAPROLITE with quartz fragments
0.50			
0.53			
1.20			
1.15	55		
1.17			
1.19			56-59m: Light brown clayish soft SAPROLITE
1.26			
1.31			
1.15	60		59-71m: Gray layered WEATHERED MARL
1.18			
1.26			
0.53			
1.04			
0.54	65		
0.58			
1.20			
1.15			
1.40			
1.36	70		
1.41			
1.20			71-75m: Brown sandy-clay hard SAPROLITE with quartz fragments
1.49			
1.21			
1.21	75		
1.50			75-78m: Gray layered DOLOMITE (hard rock)
3.36			
3.16			
0.00			78-86m: Cavity
0.00	80		



BH-39

Topo = 86 m

PERCUSSION DRILLING REPORT — BOREHOLE N°: BH-39-v1 — SHEET 3 OF 3

LOCALITY: VAZANTE URBAN PERIMETER

CO-ORDINATES: X= 297818 Y= 8011217 — COLLAR ELEV: 673m mamsl — WATER LEVEL: 51m

COMPANY: NEXA RESOURCES

DATE COMPLETED: 16/12/2020

The "Geological Column" is diagrammatic and it is not intended nor implied to represent the precise geological strata at the depths indicated.

PENETRATION (min.sec/metre)	DEPTH	GEOLOGY	KEY REFERENCE / DESCRIPTION
0.00			78-86m: Cavity
0.00			
0.00			
0.00			
0.00	85		
0.00			
3.15			86-92m: Gray layered marl (hard rock)
3.20			
3.46			
3.48	90		
3.52			
3.56			

86 m

BH-38

Topo = 9 m

PERCUSSION DRILLING REPORT — BOREHOLE N°: BH-38-v1 — SHEET 1 OF 1

LOCALITY: VAZANTE URBAN PERIMETER

CO-ORDINATES: X= 298859 Y= 8011182 — COLLAR ELEV: 687m mamsl — WATER LEVEL: Dry

COMPANY: NEXA RESOURCES

DATE COMPLETED: 04/12/2019

The "Geological Column" is diagrammatic and it is not intended nor implied to represent the precise geological strata at the depths indicated.

PENETRATION (min.sec/metre)	DEPTH	GEOLOGY	KEY REFERENCE / DESCRIPTION
0.20			0m - 9m: Reddish clayish soft magnetic TRANSPORTED SOIL
0.22			
0.25			
0.30			
0.25	5		
0.40			
0.50			
1.01			
1.15			
2.05	10		9-15m: Pink DOLOMITE (hard rock)
2.01			
2.30			
2.30			

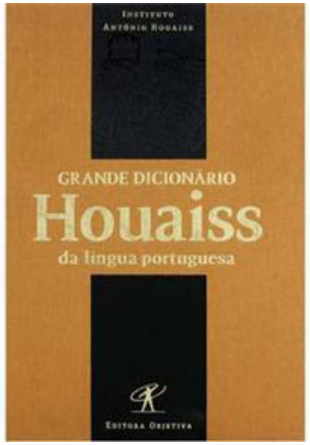
9 m

Avaliação do grau de escarificabilidade de maciços terrosos e rochosos

Avaliação do grau de escarificabilidade de maciços terrosos e rochosos

⇒ **Aplicações em obras envolvendo escavação e movimentação de terra**

Avaliação do grau de escarificabilidade de maciços terrosos e rochosos



Escarificar: revolver superficialmente (o solo), por meio de escarificador

Escarificador: conjunto de dentes ou discos que se adapta a um trator para cortar e revolver a terra superficialmente

Avaliação do grau de escarificabilidade de maciços terrosos e rochosos

Escarificabilidade (***Rippability***):

Facilidade com que o solo (ou rocha) pode ser mecanicamente escavado

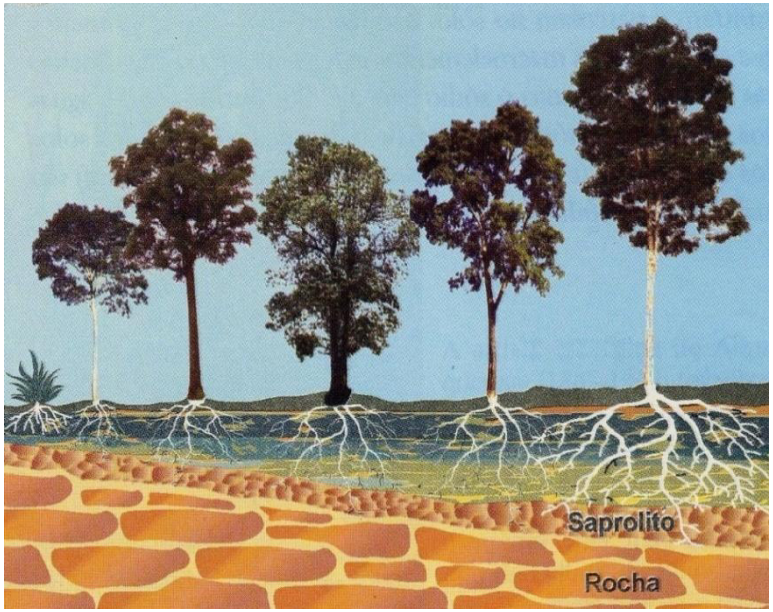
Avaliação do grau de escarificabilidade de maciços terrosos e rochosos

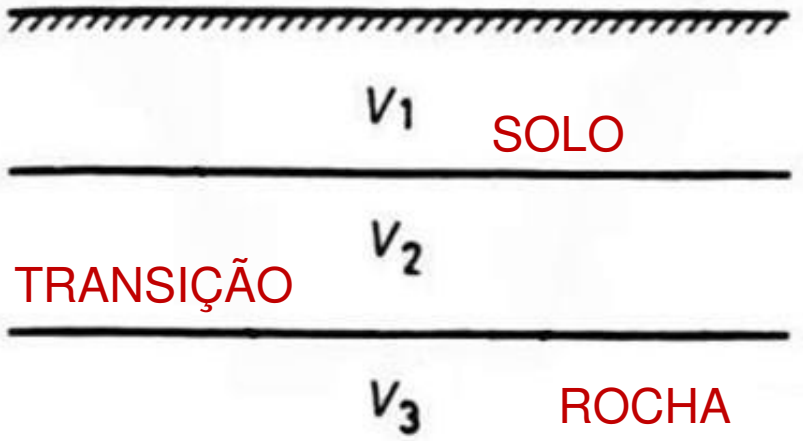
Parâmetro utilizado: velocidade da onda P compressional (V_P)

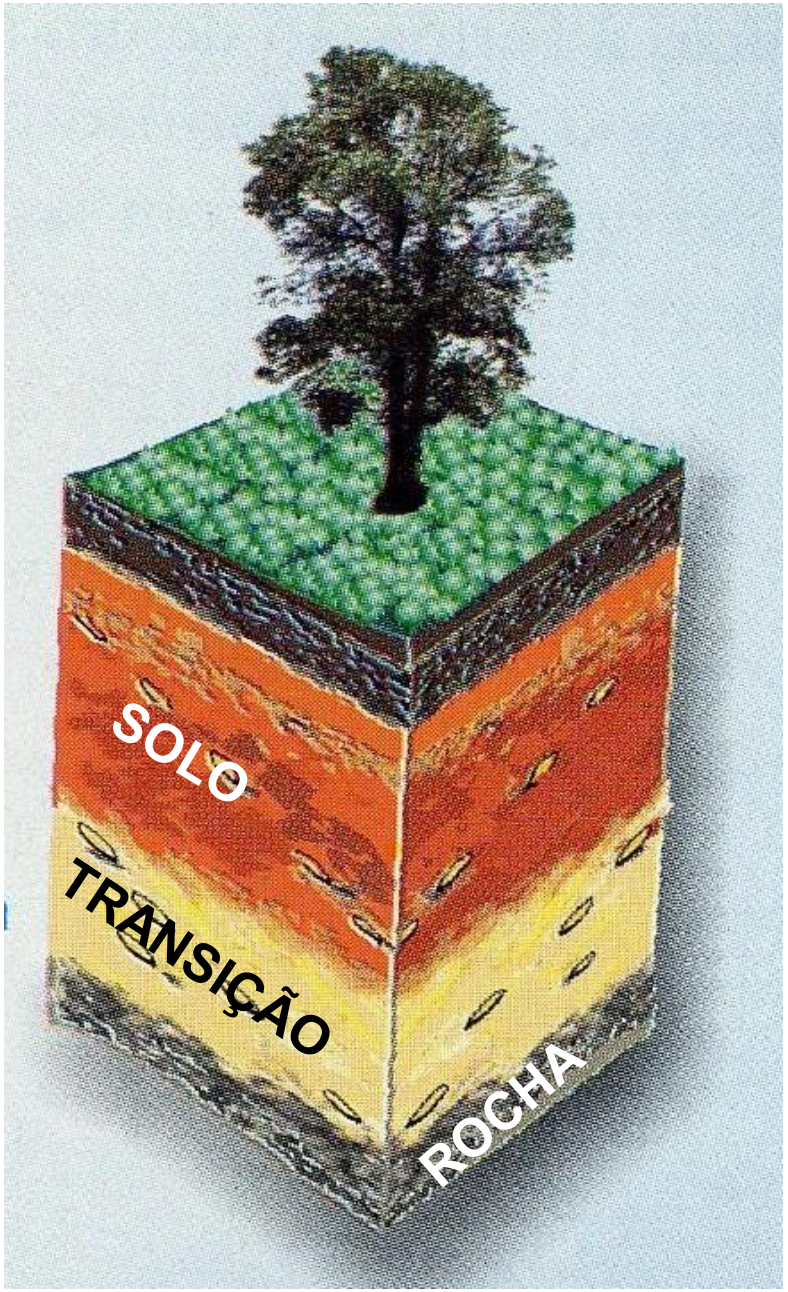
Solo: pode ser escavado mecanicamente (pá, picareta, máquinas de terraplenagem)
→ Apresenta baixos valores de velocidades de ondas sísmicas

Rocha: removida com o uso de explosivos
→ Apresenta valores altos de velocidades

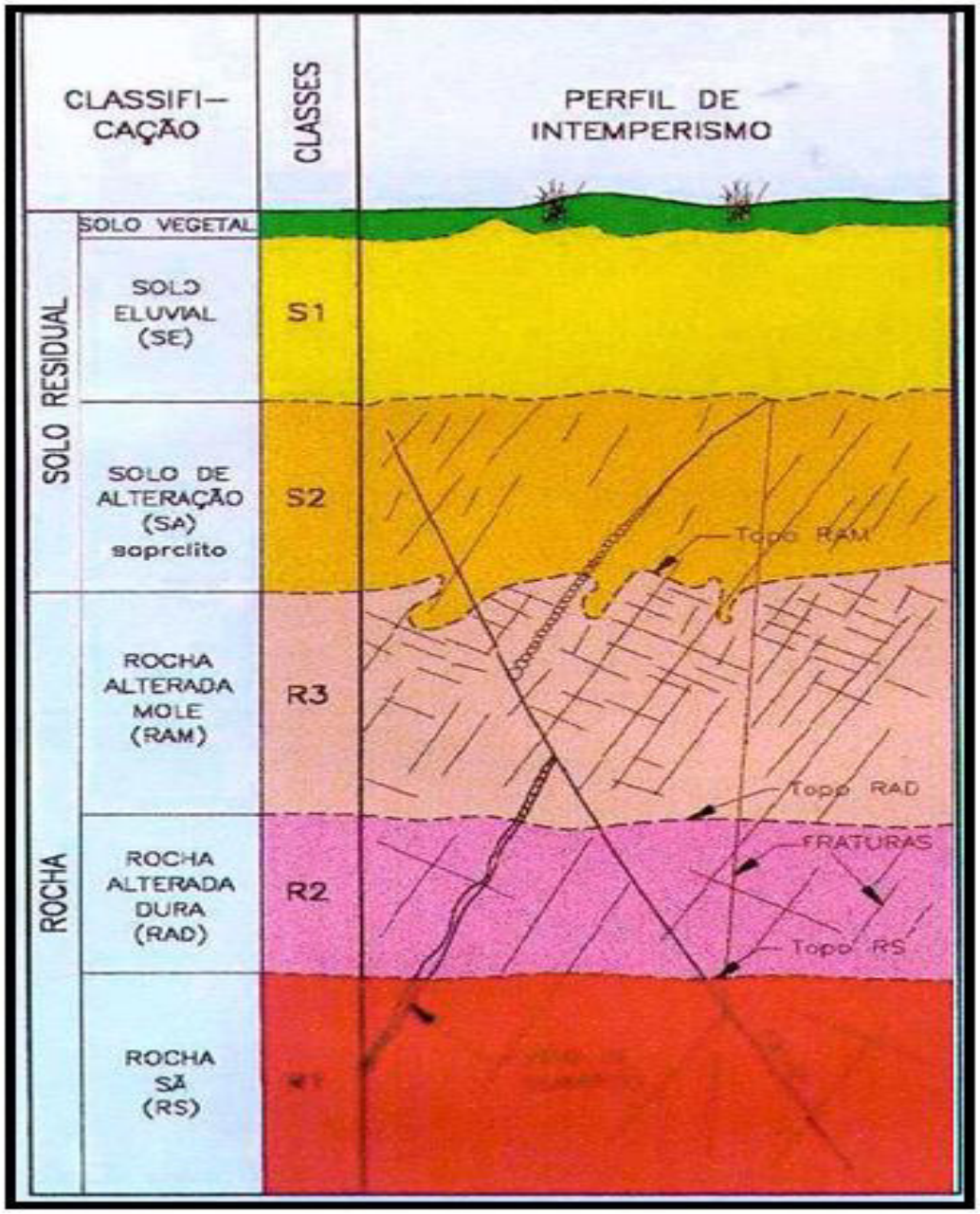
Material de transição: apresenta valores intermediários de velocidades





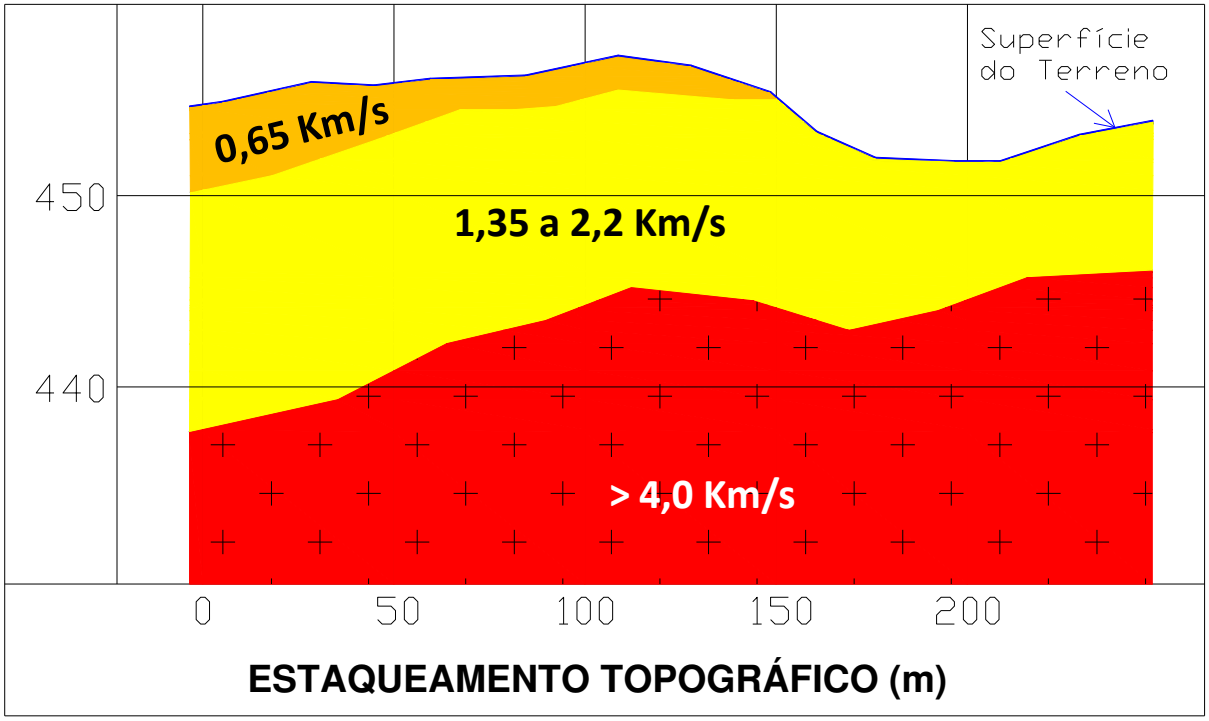


O método da Sísmica de Refração pressupõe um modelo de velocidades crescentes com a profundidade $V_1 > V_2 > V_3$



Fonte: Vaz, L. F. - Classificação genética dos solos e dos horizontes de alteração de rochas em regiões tropicais. Revista Solos e Rochas, v.19, n. 2, p. 117-136, ABMS/ABGE, São Paulo, SP, 1996

SEÇÃO SÍSMICA - PERFIL A - A'



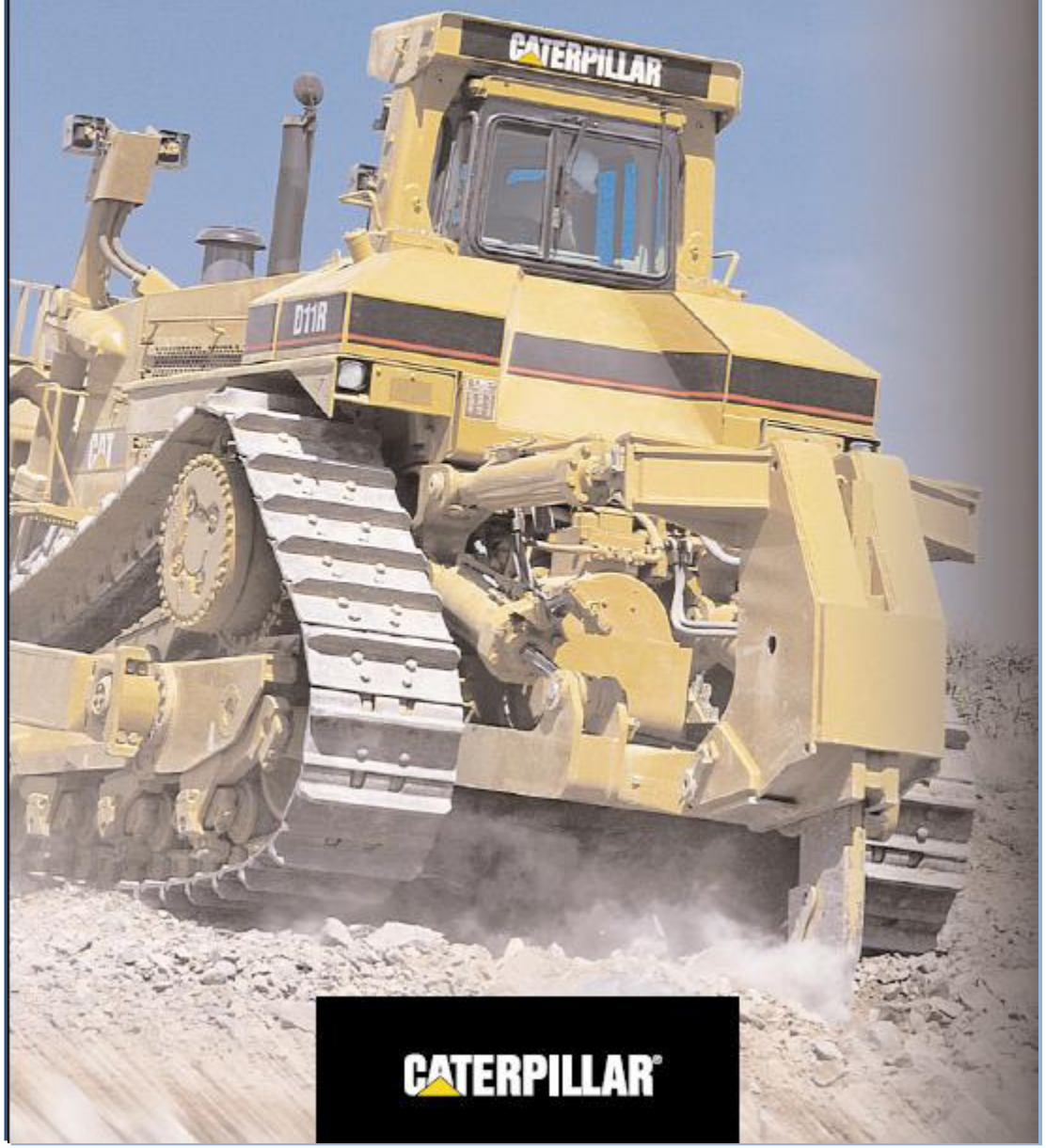
Solos Residuais e/ou transportados pouco Compactos (Velocidades sísmicas até 0,65 km/s)

Solos Residuais Compactos e/ou Rocha Alterada/Fraturada (Velocidades sísmicas de 1,35 a 2,2 km/s)

Rocha Cristalina de alta Sanidade (Velocidades sísmicas superiores a 4,0 km/s)

Twelfth Edition

HANDBOOK OF RIPPING

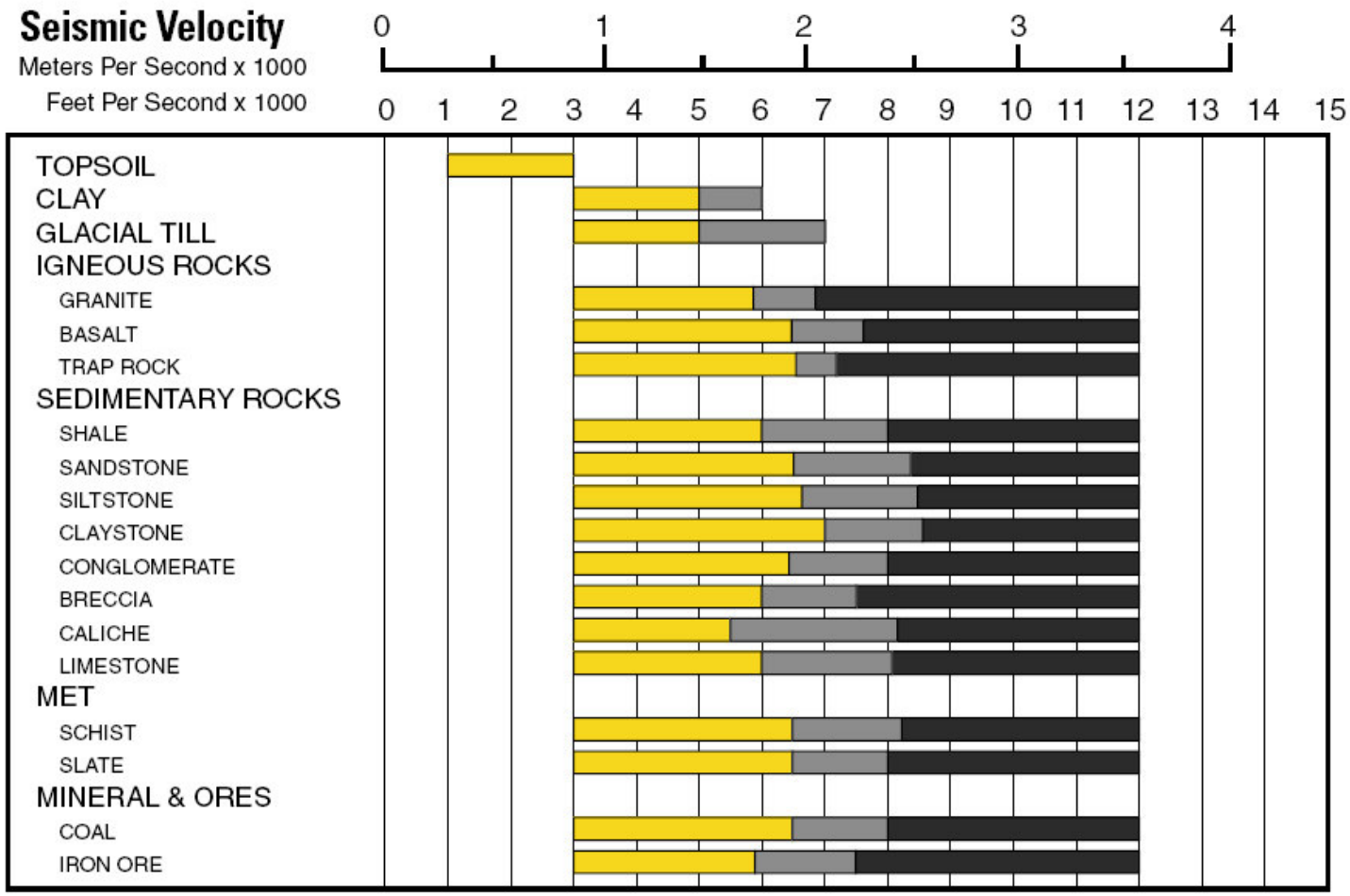


CATERPILLAR®

GRAU DE ESCARAFICABILIADE → VARIA DE ACORDO COM ESCARIFICADOR UTILIZADO

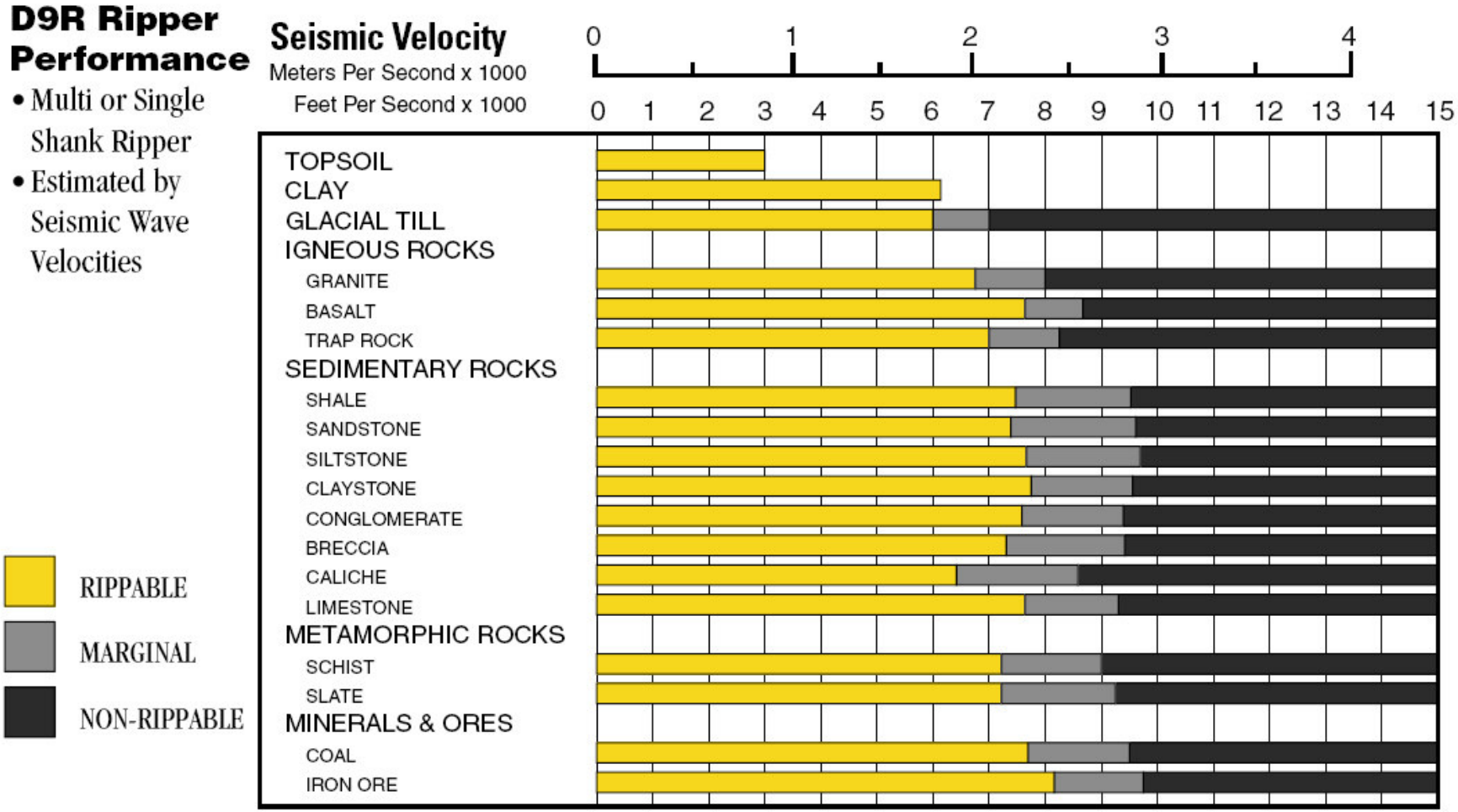
D8R Ripper Performance

- Multi or Single Shank No. 8 Series D Ripper
- Estimated by Seismic Wave Velocities



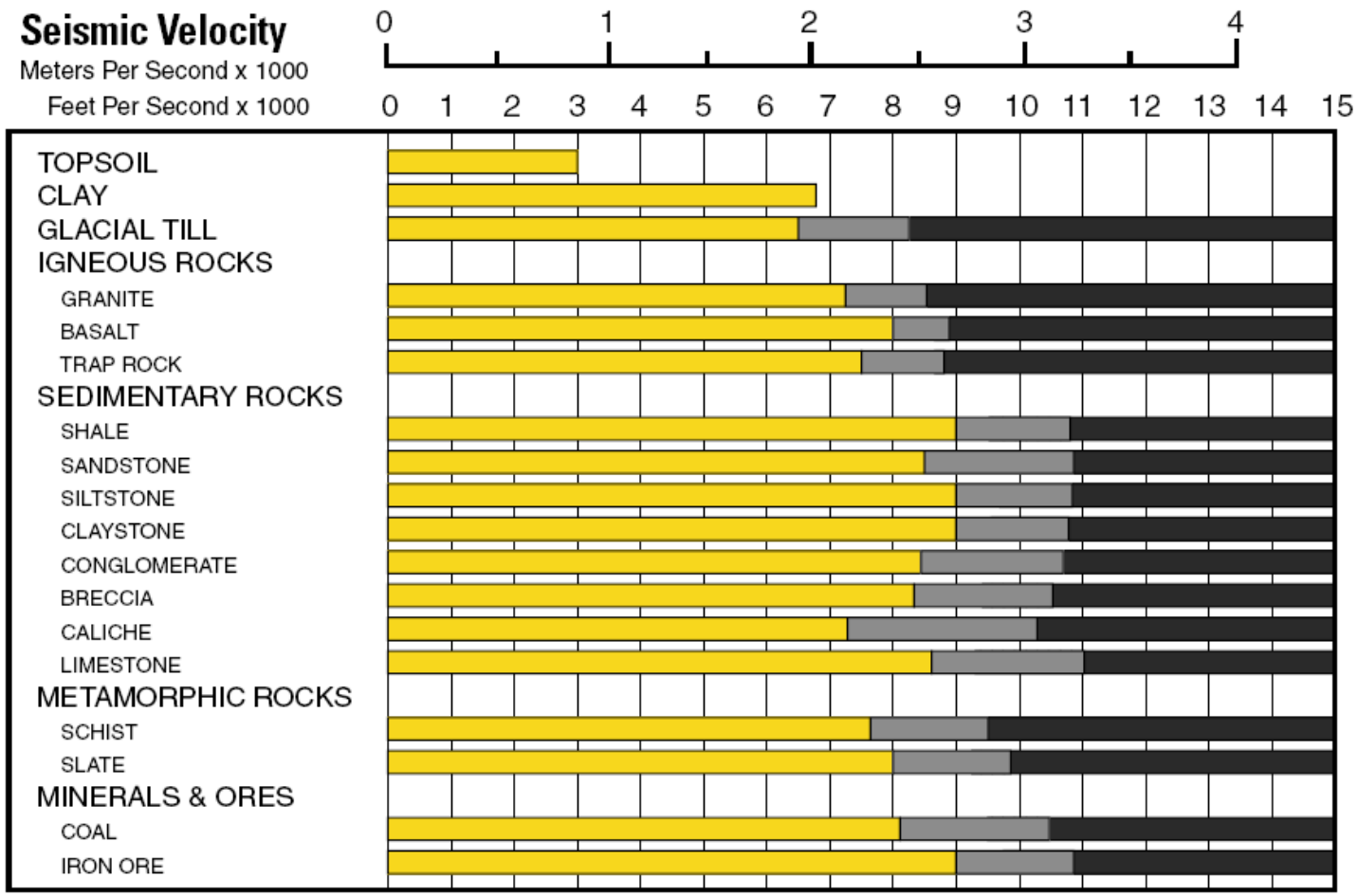
D9R Ripper Performance

- Multi or Single Shank Ripper
- Estimated by Seismic Wave Velocities



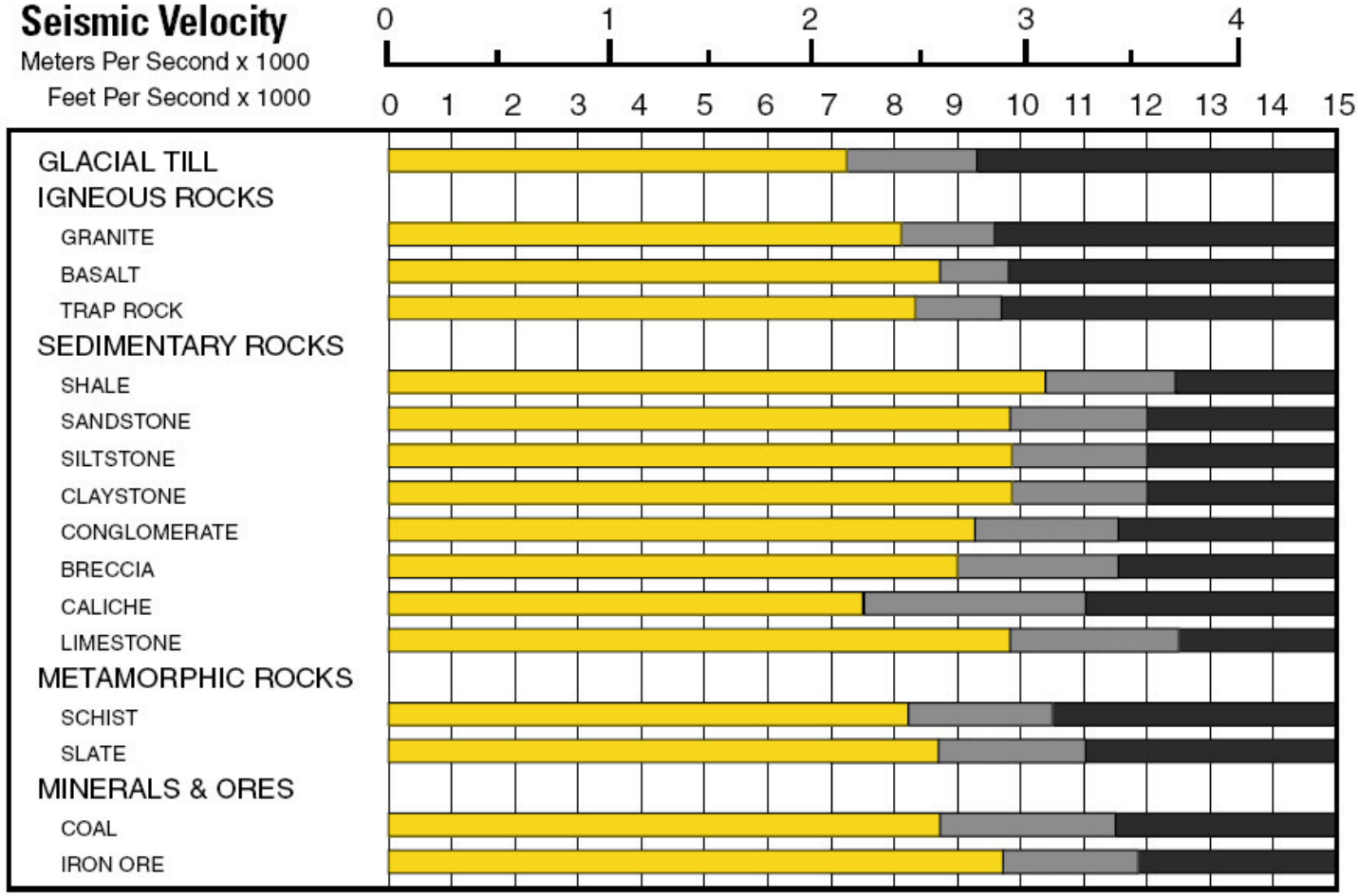
D10R Ripper Performance

- Multi or Single Shank Ripper
- Estimated by Seismic Wave Velocities



D11R Ripper Performance

- Multi or Single Shank Ripper
- Estimated by Seismic Wave Velocities



Correlação entre as velocidades de propagação e a escarificabilidade dos materiais.

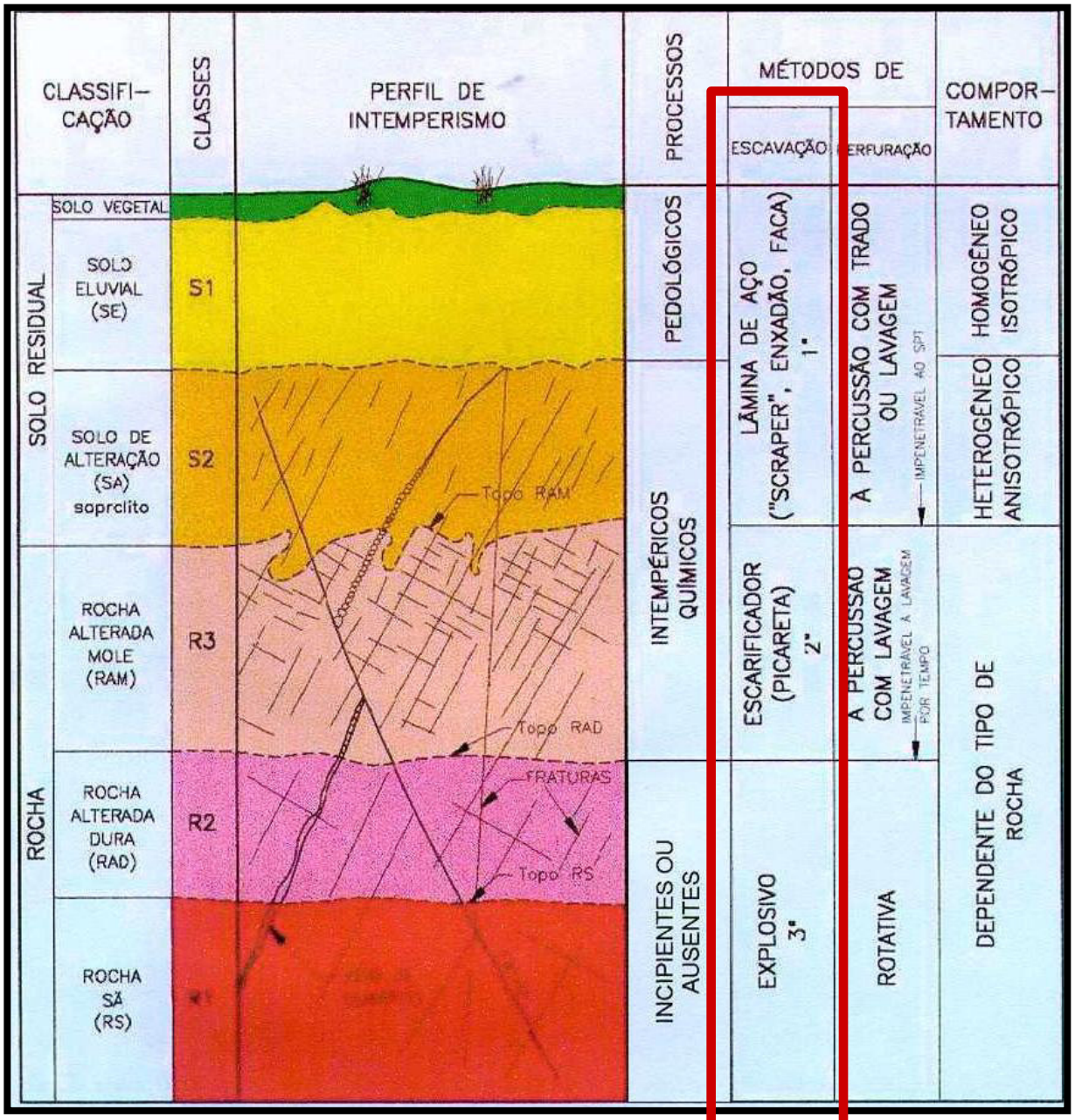
Trator com ripper (escarificador) na faixa de 200/300HP, com peso de 30 a 45 t

Velocidade de propagação (m/s)	Escarificação	Equipamento	Classificação provável
0 – 450	não necessita	equipamentos normais	1ª Categoria
450 – 900	escarificação leve	trator com ripper	transição
900 –1200	escarificação média	trator com ripper	2ª Categoria
1200 – 1500	escarificação pesada	trator com ripper	2ª Categoria
1500 – 1800	escarificação muito pesada	ripper e/ou explosivo	2ª Categoria c/ explosivo
> 1800	não escariável	p/ desmonte de rocha	3ª Categoria

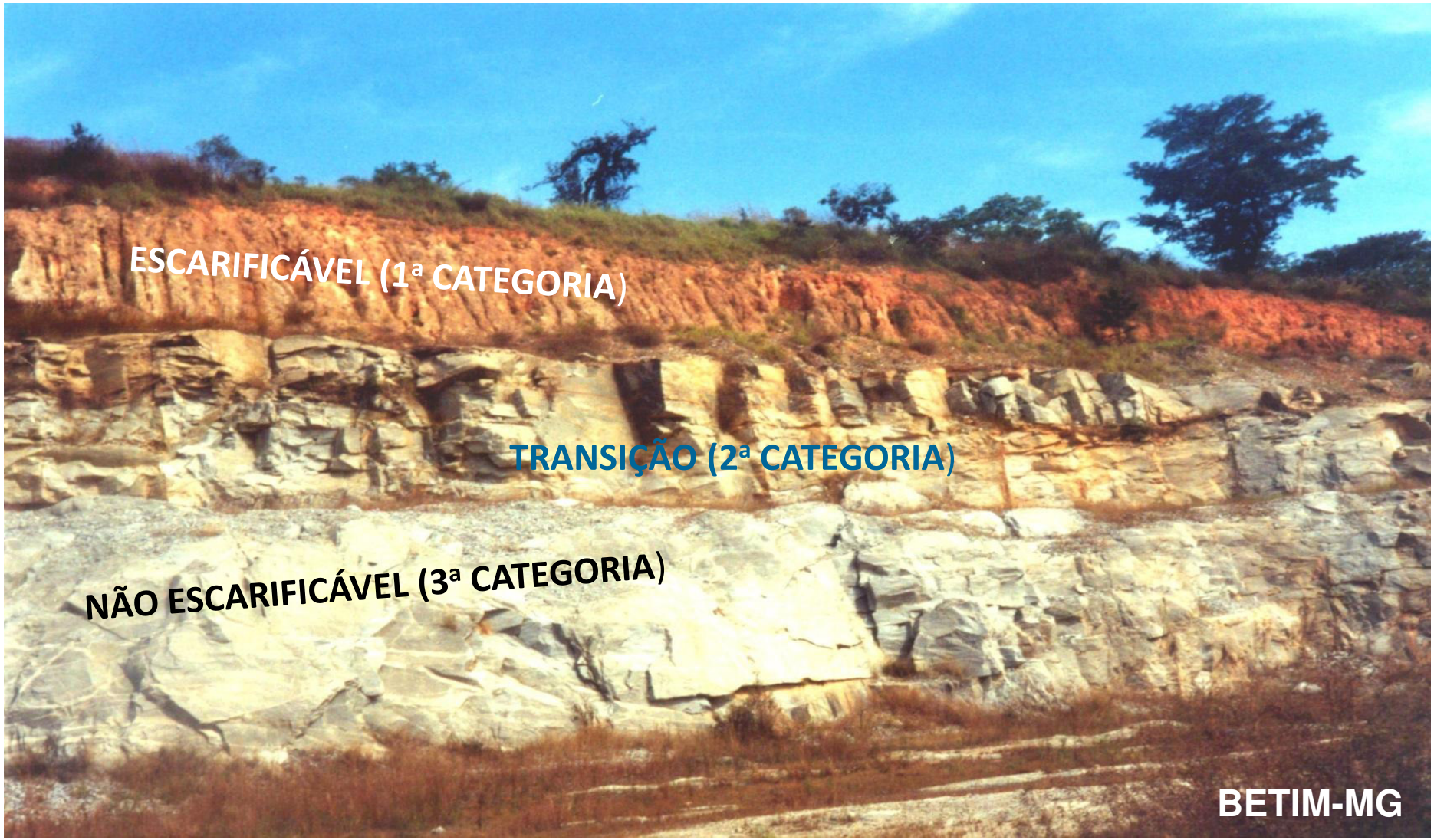
Classificação mais genérica e conservadora (Caltrans)

Velocity (m/s)	Rippability
< 1050	Easily Ripped
1050 – 1500	Moderately Difficult
1500 – 2000	Difficult Ripping
> 2000	Unrippable

Table 3.9: Caltrans rippability chart (adapted from Leeds 2002). Note: Limited to Caterpillar D9 series.



Fonte: Vaz, L. F. - Classificação genética dos solos e dos horizontes de alteração de rochas em regiões tropicais. Revista Solos e Rochas, v.19, n. 2, p. 117-136, ABMS/ABGE, São Paulo, SP, 1996


ESCARIFICÁVEL (1ª CATEGORIA)
TRANSIÇÃO (2ª CATEGORIA)
NÃO ESCARIFICÁVEL (3ª CATEGORIA)
BETIM-MG

Avaliação do grau de escarificabilidade de maciços terrosos e rochosos

Fatores que influenciam o grau de escarificabilidade de um maciço rochoso:

- Tipo de rocha: ígneas/metamórficas x sedimentares
- Grau de intemperismo
- Qualidade do maciço (descontinuidades exercem grande influência): RQD-Rock Quality Designation (Deere et al., 1967); Rock Mass Rating (Bieniawski, 1978); Q-System (Barton et al., 1974)

Rock Quality Designation (*RQD*)	Classification of Rock Quality
0 – 25%	Very Poor
25% – 50%	Poor
50% – 75%	Fair
75% – 90%	Good
90% – 100%	Excellent

Table 3.10: Classification of rock quality based on *RQD* (ASTM D6032).

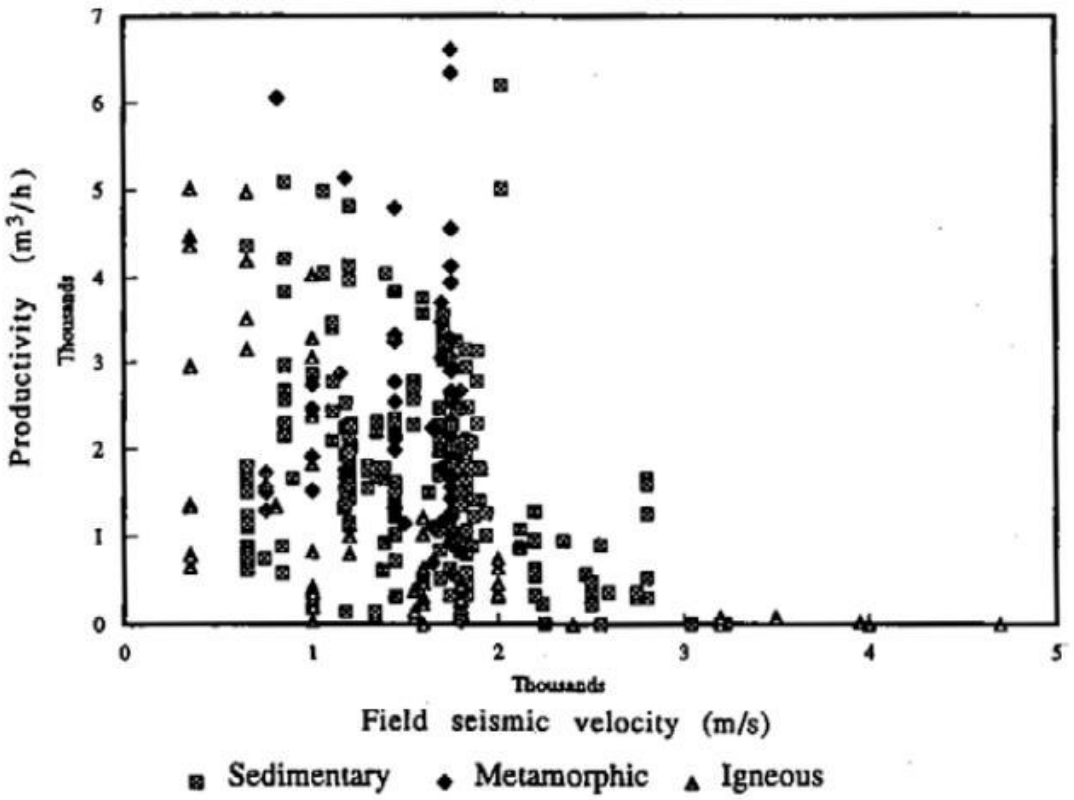


Figure 3.23: Case history data used for regression analysis of productivity versus V_P in MacGregor et al. (1994).

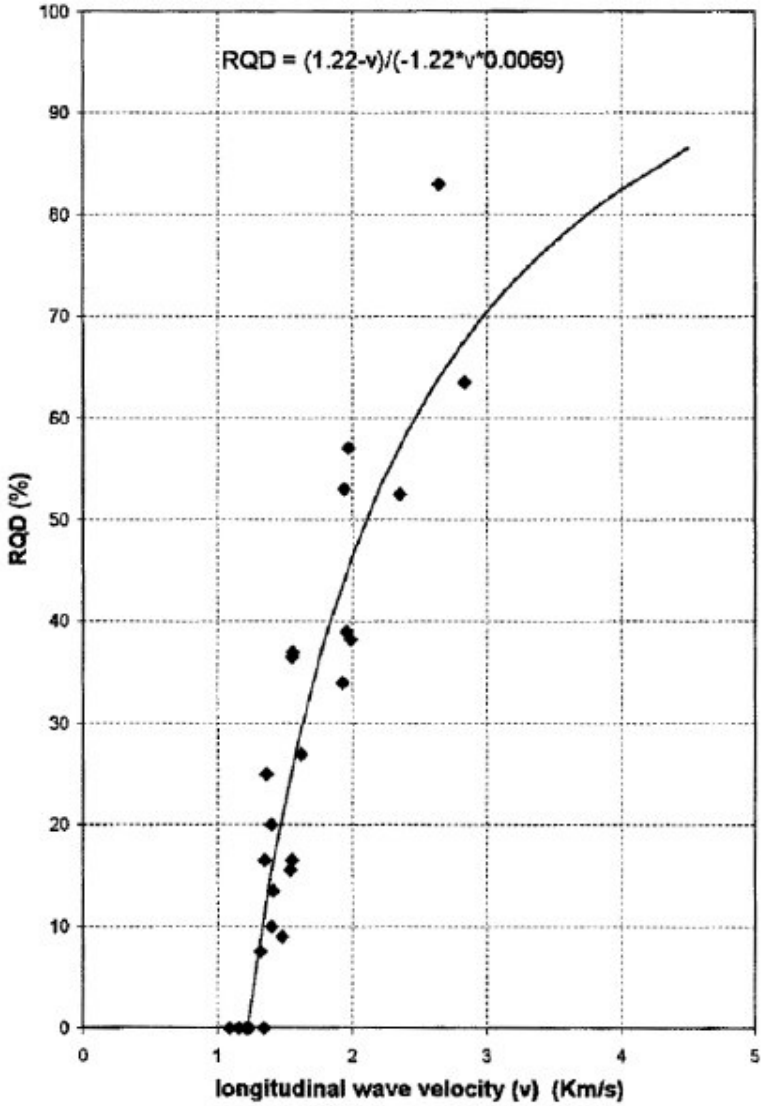


Figure 3.29: Relationship between V_P and *RQD* for heavily fractured calcareous rock masses in southern Italy (Budetta et al. 2001).

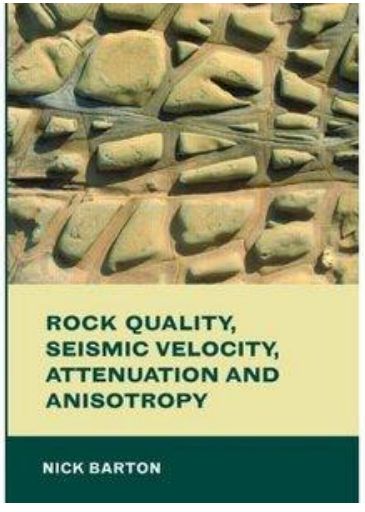
Avaliação da qualidade de maciços rochosos

$V_P \Leftrightarrow$ RQD (Rock Quality Designation) & C ("jointing factor")

Empirical relationship between jointing factor (C), seismic velocity (V_p), and the rock quality designation (RQD) of crystalline rocks from northern Sweden. (After Helfrich, 1971.)

Degree of separation	C	V_p (m/s)	RQD
Rock without joints	0.65–1	>4500	very good
Rock with few joints	0.45–0.65	4000–4500	good
Rock with joints	0.30–0.45	3500–4000	moderate
Rock with numerous joints	0.15–0.30	3000–3500	bad
Strongly jointed rock	0.00–0.15	<3000	very bad

$$V_P \approx 3{,}5 + \log Q$$



Fonte: BARTON, N., 2007, Rock Quality, Seismic Velocity, Attenuation and Anisotropy: Taylor & Francis, London, 729 p.

A Estimativa do RQD pode ser feita, por exemplo, comparando-se a velocidade da onda sísmica V_P:

$V_{p,f}$ - em amostra intacta de rocha (laboratório)

$V_{p,0}$ - no maciço rochoso "in situ"
(com presença de descontinuidades, etc)

$$RQD = \left(\frac{V_{p,f}}{V_{p,0}}\right)^2 x\ 100\%$$

Medidas de V_P e V_S em amostras de rochas

PUNDIT (Ultrasonic Pulse Velocity)

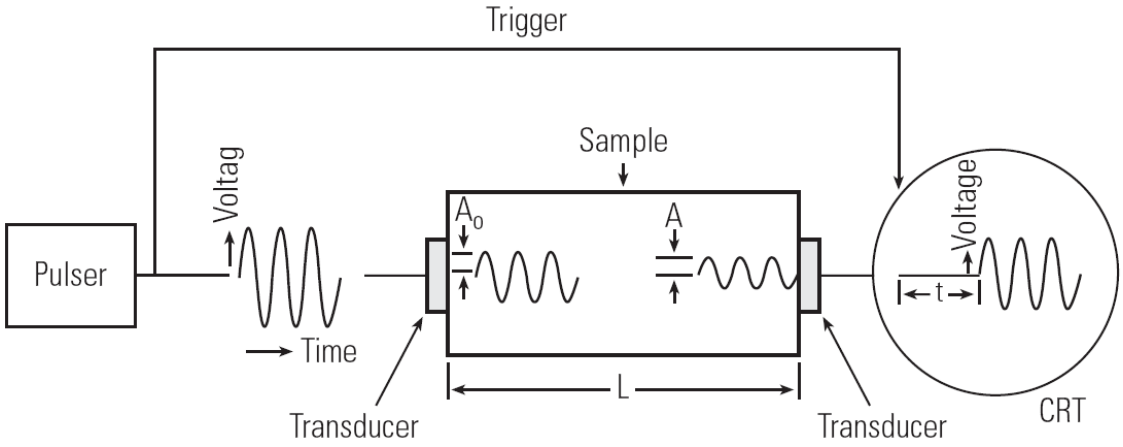


Fig. 18.1 The laboratory setup for the measurement of acoustic properties of rock samples. Adapted from Timur [1].

Medidas de V_P e V_S em amostras de rochas

GEOLOGICAL, GEOPHYSICAL, GEOTECHNICAL SERVICES AND INSTRUMENTS

OYO

ULTRASONIC VELOCITY MEASURING SYSTEM FOR ROCK SAMPLE

SonicViewer-SX

- Transducers
  P-wave transducer: 200KHz
  500khZ
  S-wave transducer: 100KHz

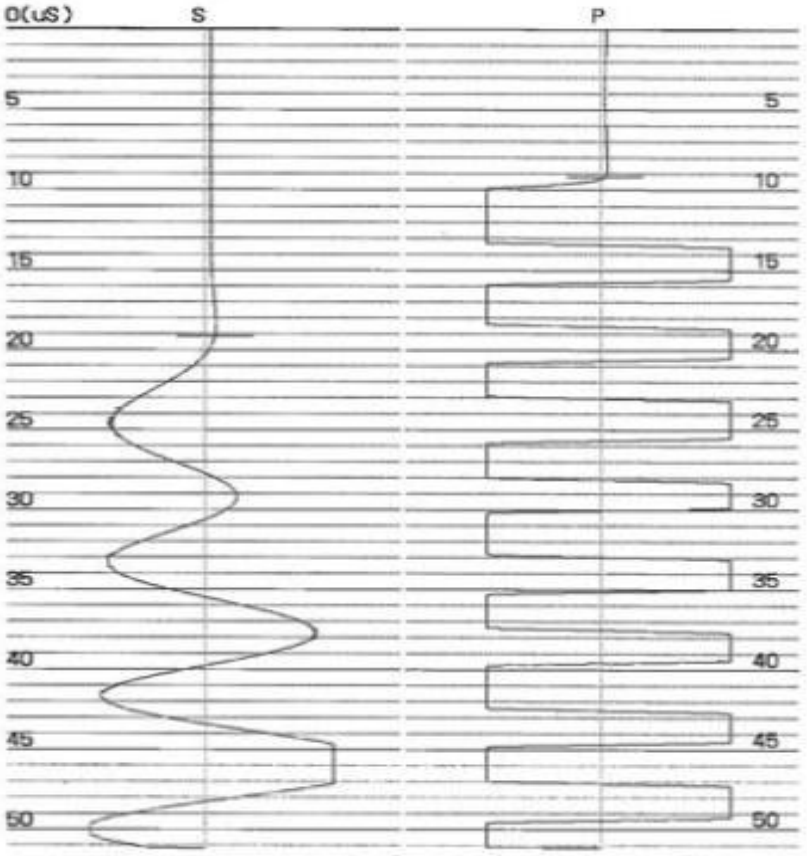
OYO

Sonic Viewer-SX

Ver 1.03E 99/02/01

P-wave ID.No. : 101
S-wave ID.No. : 102
Length : 5.01(cm)
Density : 2.650(g/cm3)
P-time : 9.20(uS)
S-time : 19.15(uS)
P-velocity : 5448(m/S)
S-velocity : 2618(m/S)
Poisson's ratio(νd) = 0.350
Shear modulus(Gd) = 1.85e+05 (kgf/cm2)
Elastic coefficient(Ed) = 5.00e+05 (kgf/cm2)

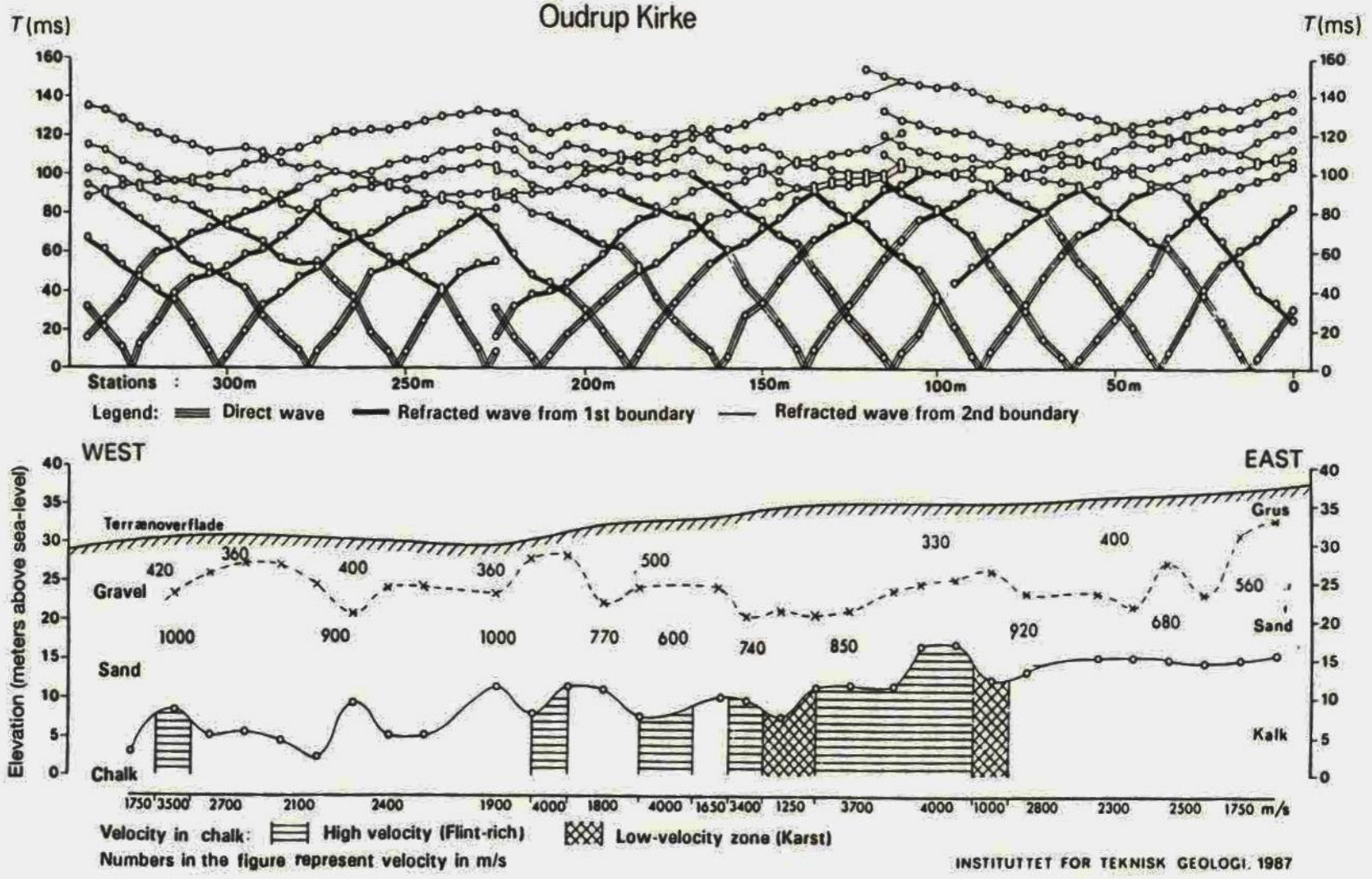
Medidas de V_P e V_S em amostras de rochas



$$\nu = \frac{\left(\frac{V_P}{V_S}\right)^2 - 2}{2\cdot\left(\frac{V_P}{V_S}\right)^2 - 2} = \frac{\left(V_P^2 - 2\cdot V_S^2\right)}{2\cdot\left(V_P^2 - V_S^2\right)}$$

$$G = \rho \cdot V_S^{\,2}$$

$$E = V_P^{\,2} \cdot \rho \cdot \frac{(1-2\nu)\cdot(1+\nu)}{(1-\nu)} = 2\cdot V_S^2 \cdot \rho \cdot (1+\nu)$$



Seismic refraction profile in an area of Quaternary sedimentary deposits, Oudrup Kirke, Denmark. Interpretation of the travel-time curves indicated the presence of three layers corresponding to the gravel, sand, and chalk formations. Note the relatively large lateral velocity changes in the chalk. (After Klitten, 1987.)

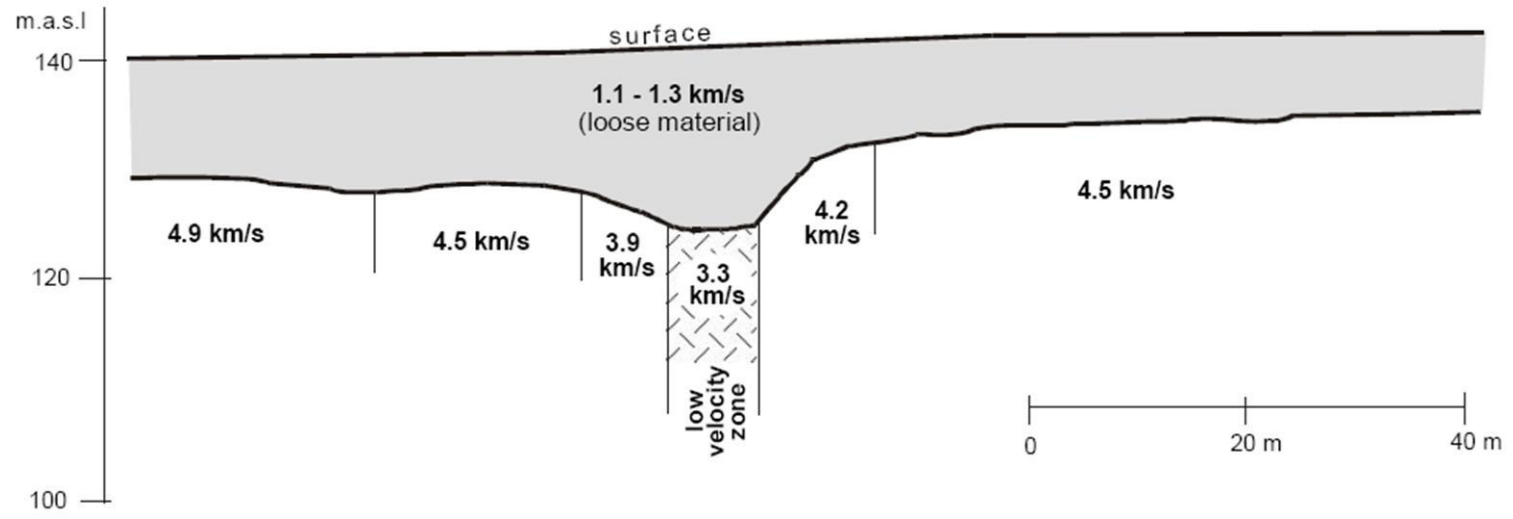


Fig. 5 The velocities measured in the refraction seismic profile in dolomite.

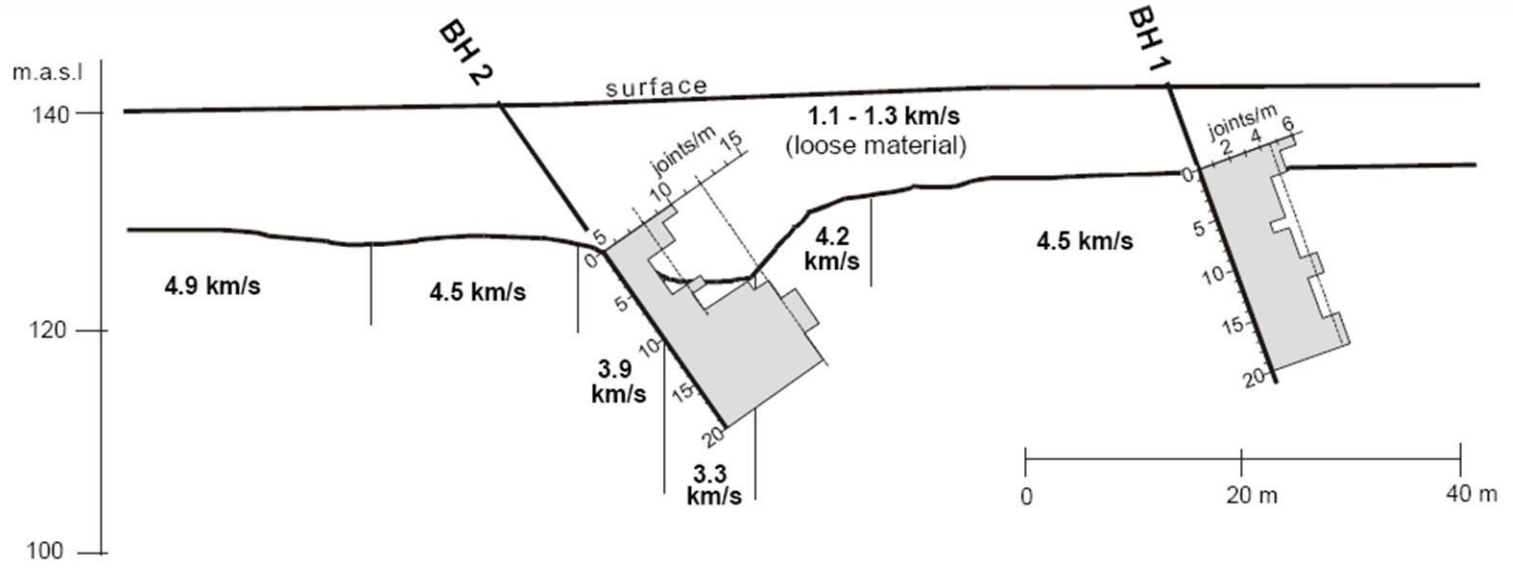
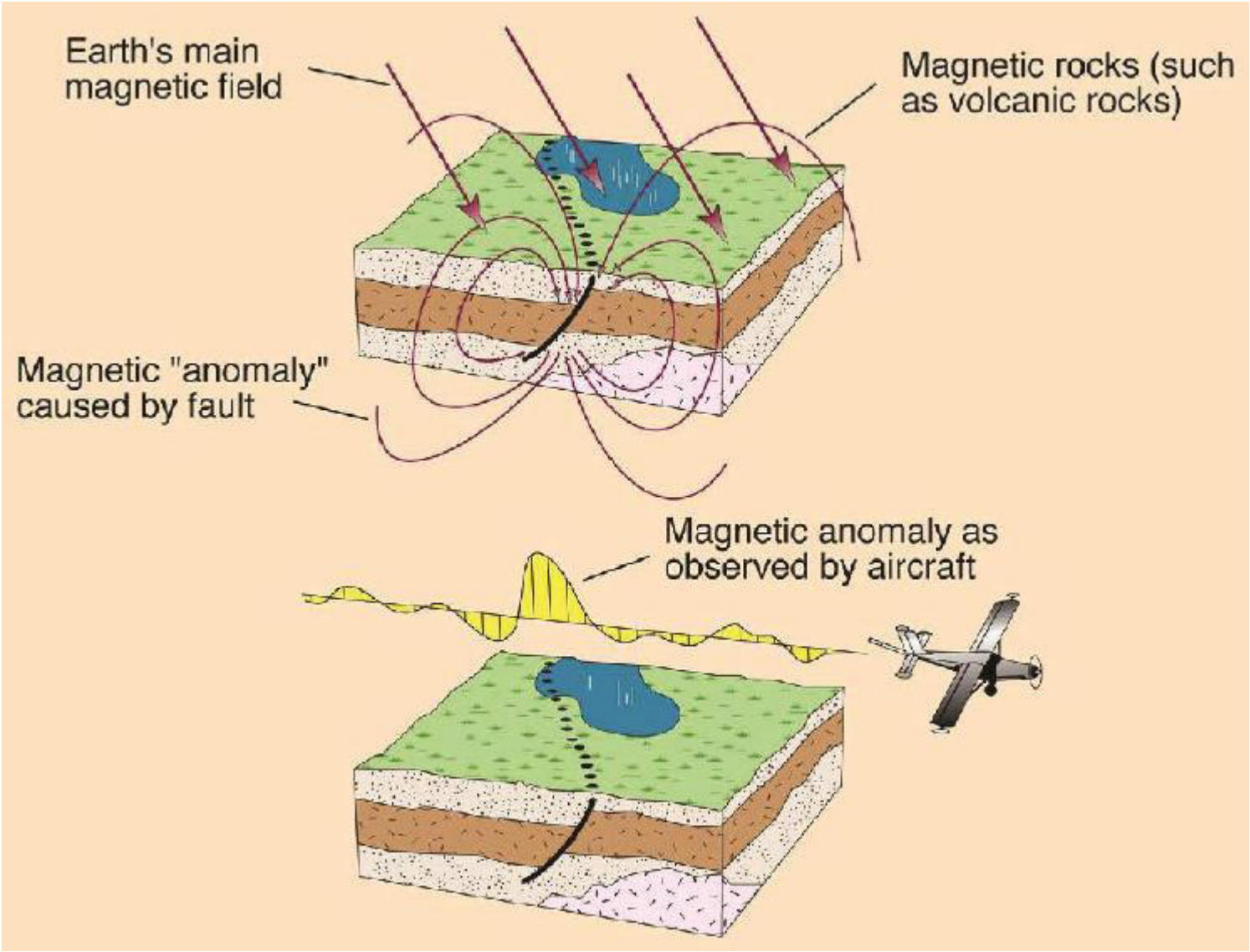
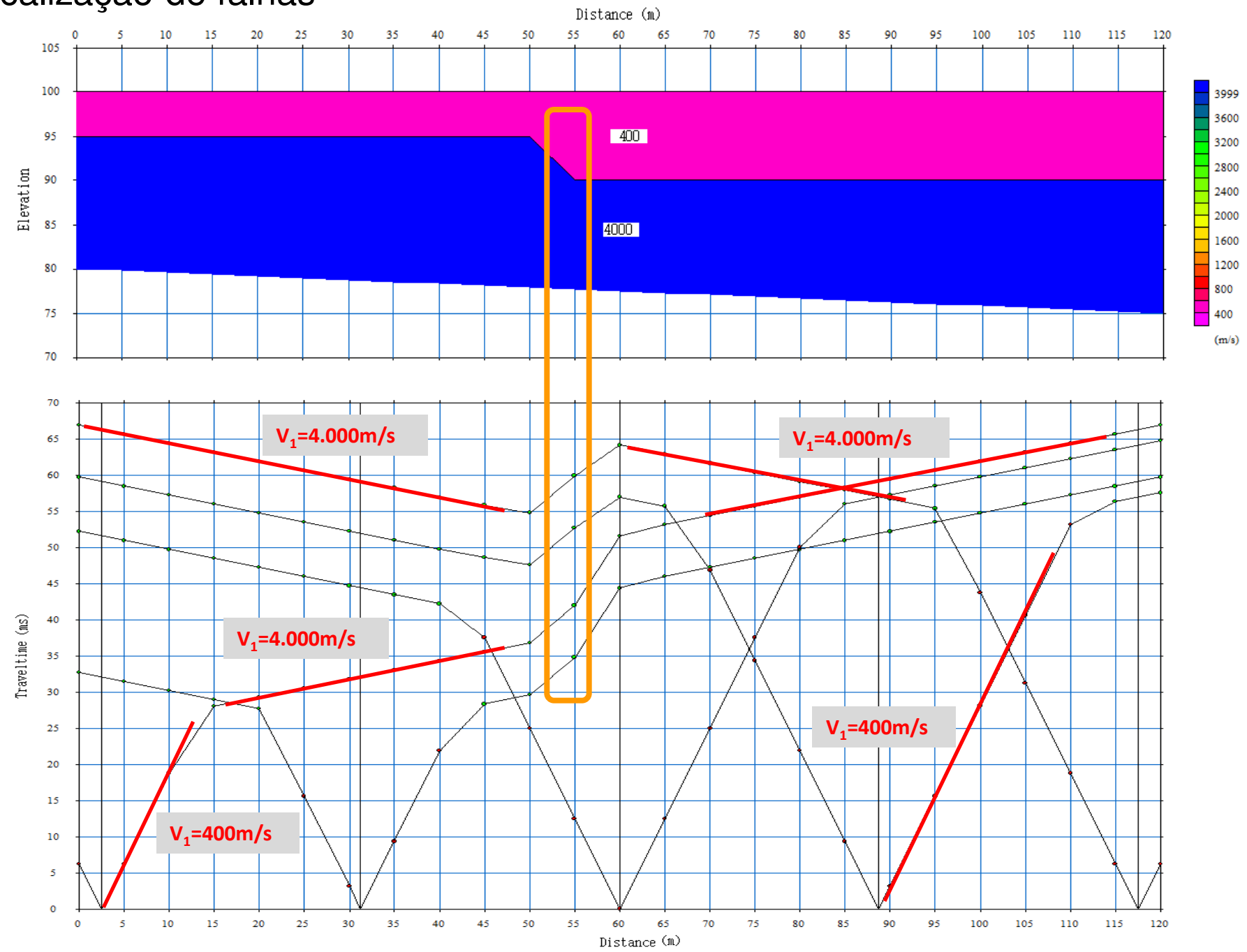


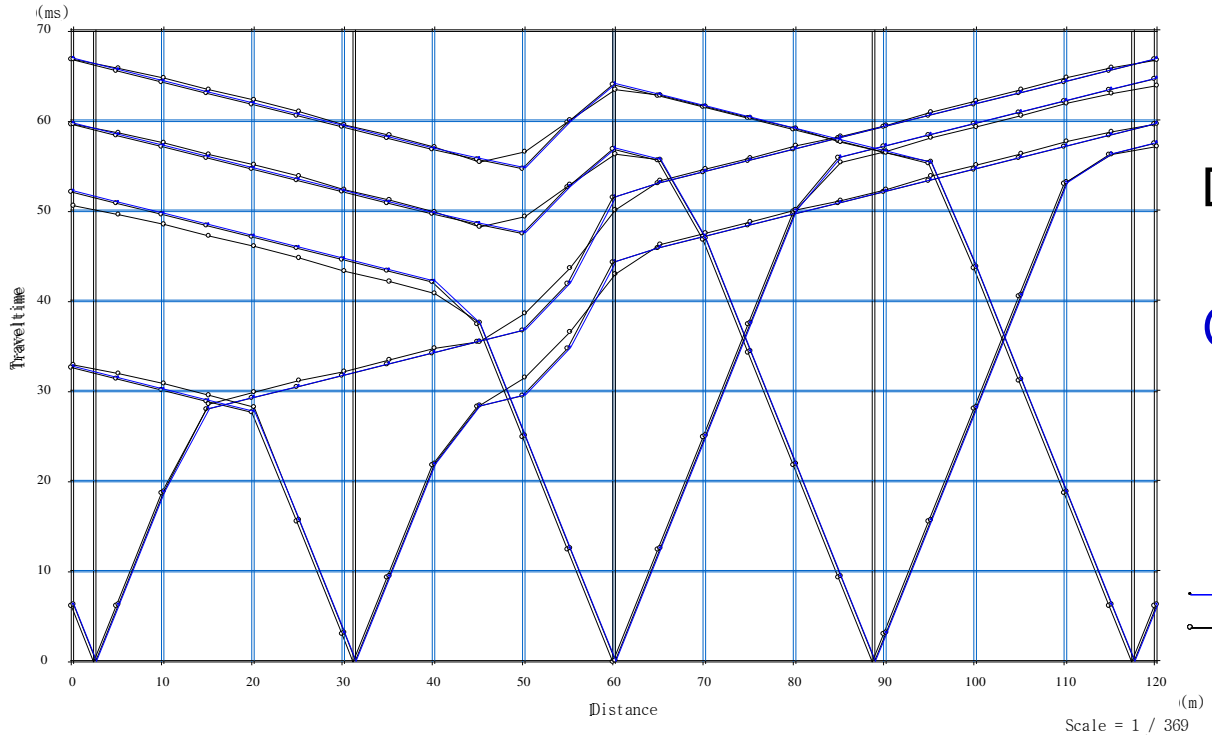
Fig. 6 Seismic refraction profile and core drilling results.

Localização de falhas


Earth's main magnetic field
Magnetic rocks (such as volcanic rocks)
Magnetic "anomaly" caused by fault
Magnetic anomaly as observed by aircraft

Localização de falhas



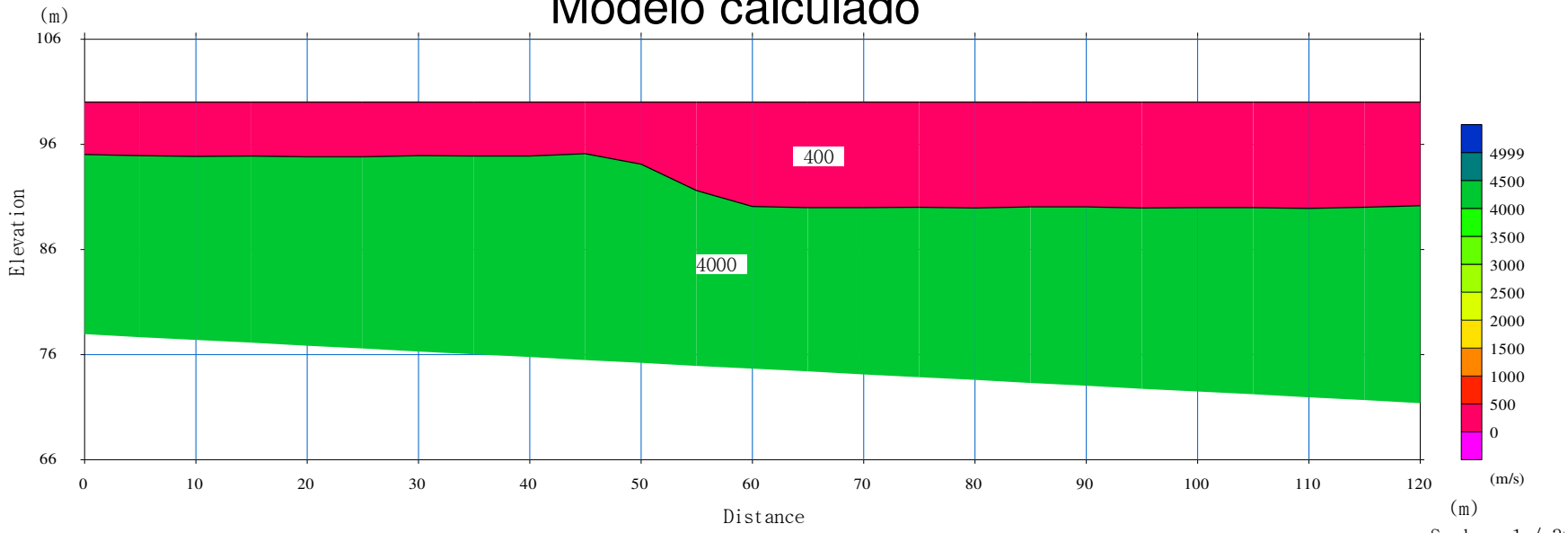


Dado de campo

+

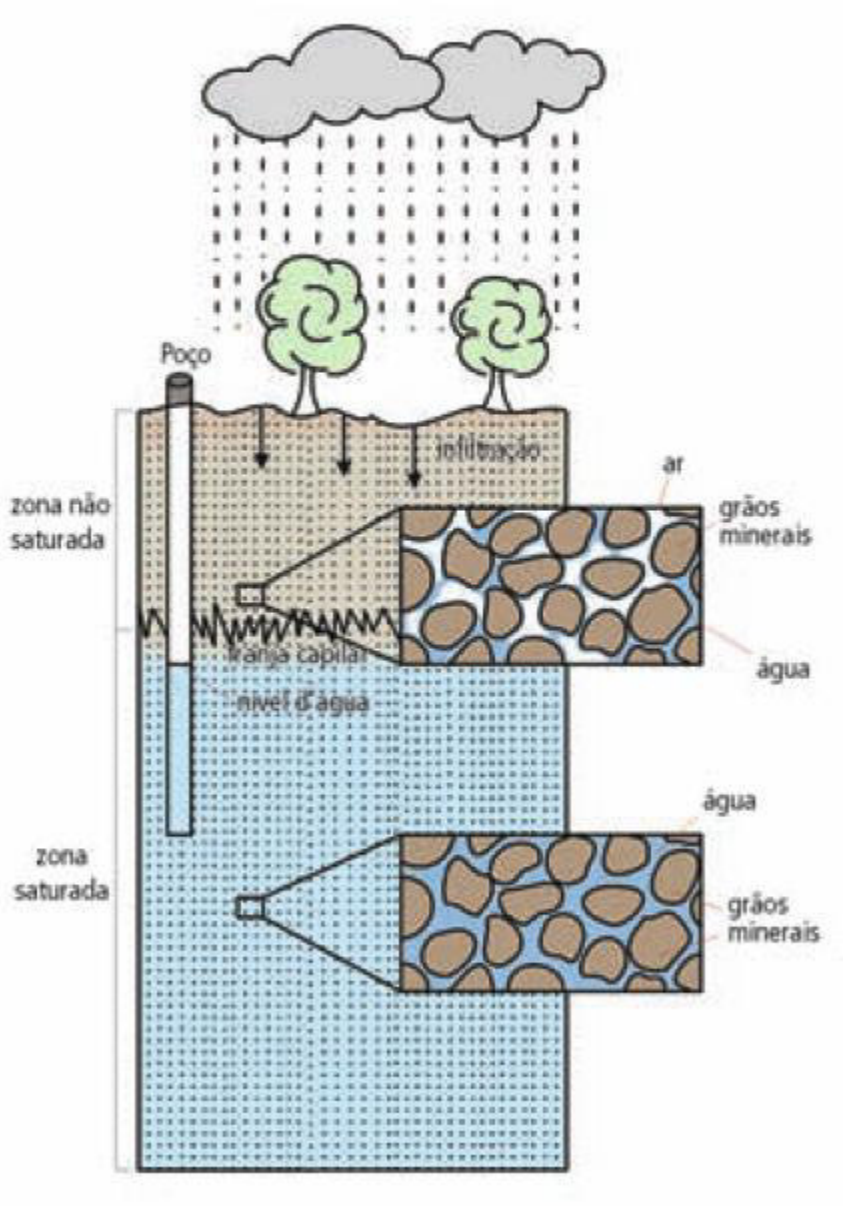
Curva ajustada por inversão

Modelo calculado



Determinação da profundidade do nível d´água

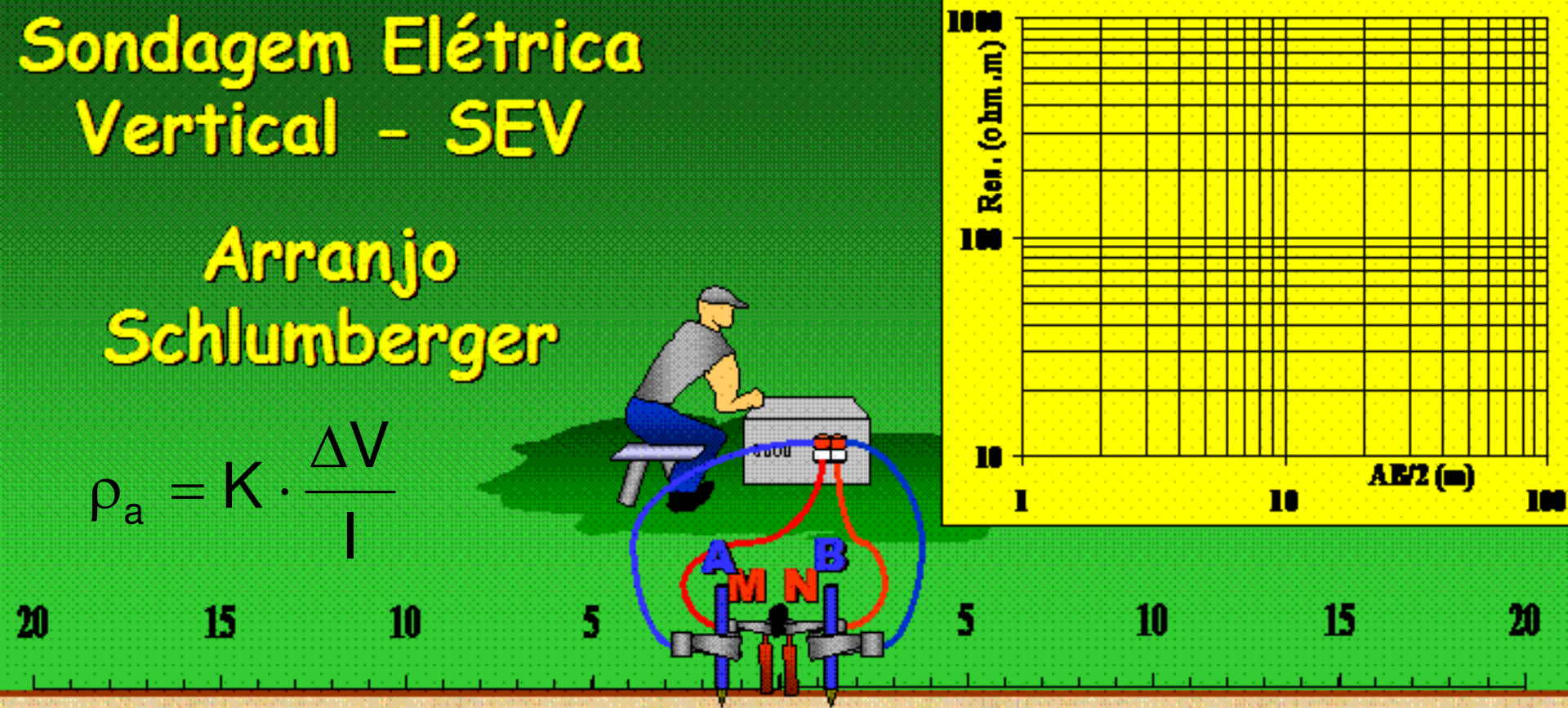
Distribuição da água em subsuperfície



Sondagem Elétrica Vertical - SEV

Arranjo Schlumberger

$$\rho_a = K \cdot \frac{\Delta V}{I}$$



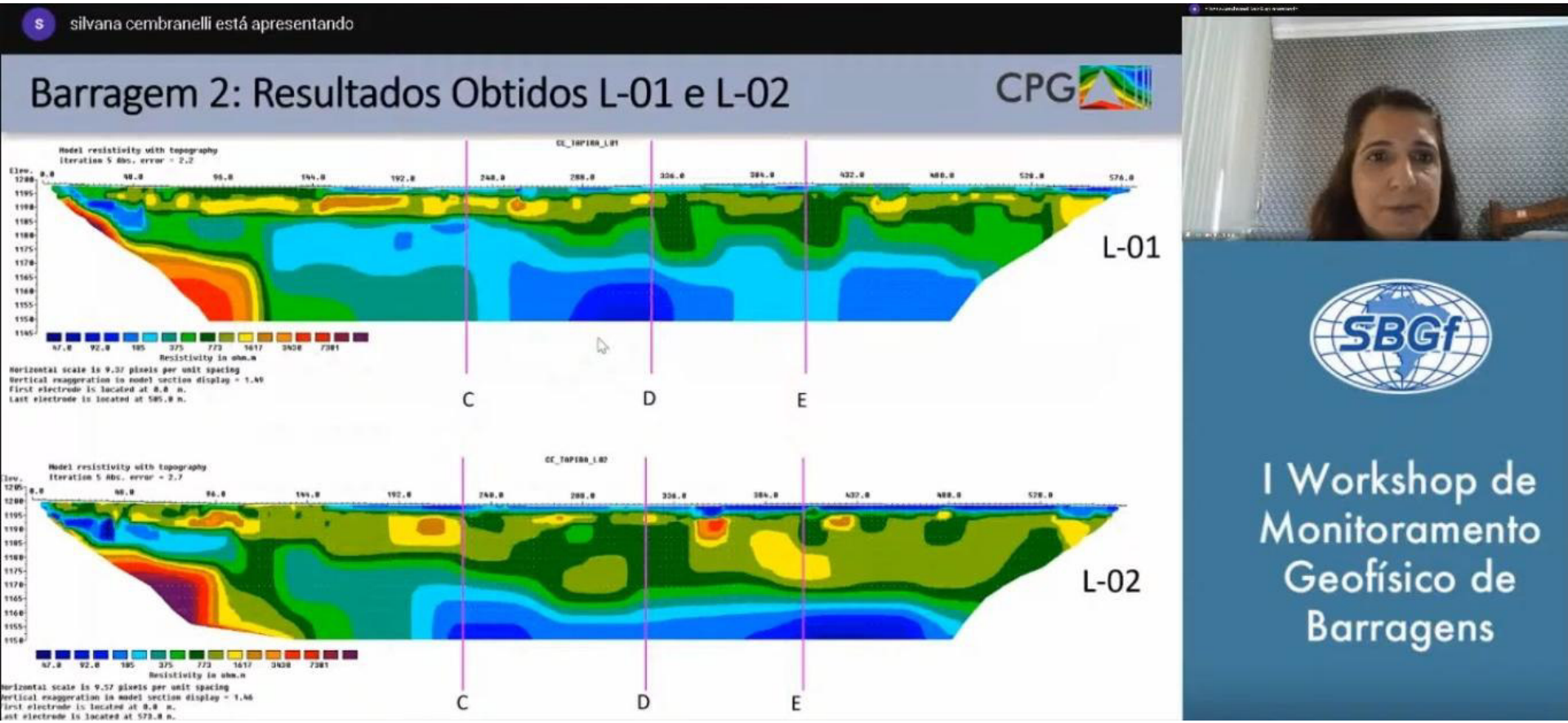
ZONA NÃO SATURADA

N.A.

ZONA SATURADA

ROCHA SÃ

unesp
Braga, A.C.O.



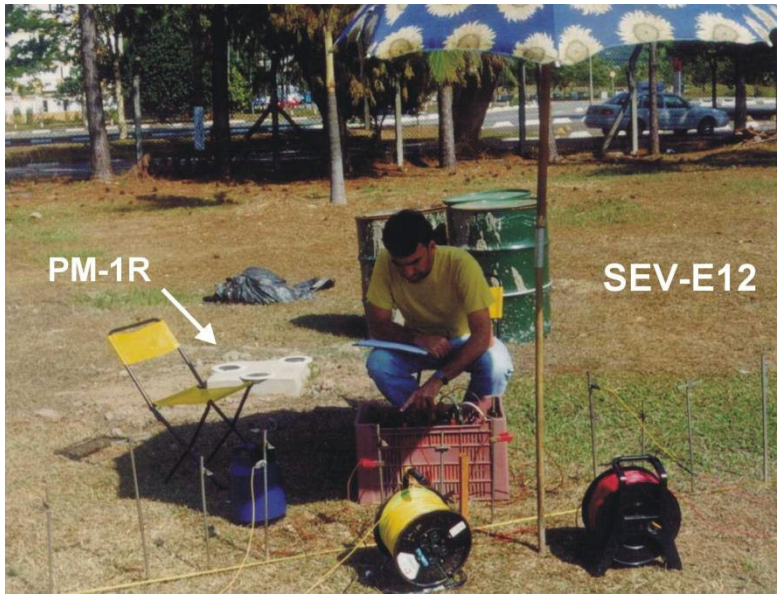
Palestra: Silvana Cembranelli (UFRJ)
A utilização de estudos geofísicos em barragens

- Eletrorresistividade (SEV e CE, vários espaçamentos)
- Método EM
- GPR
- Trincheira
- Poços de monitoramento

PM-2R
ARRANJO D-D
AB = MN = 1m

GPR

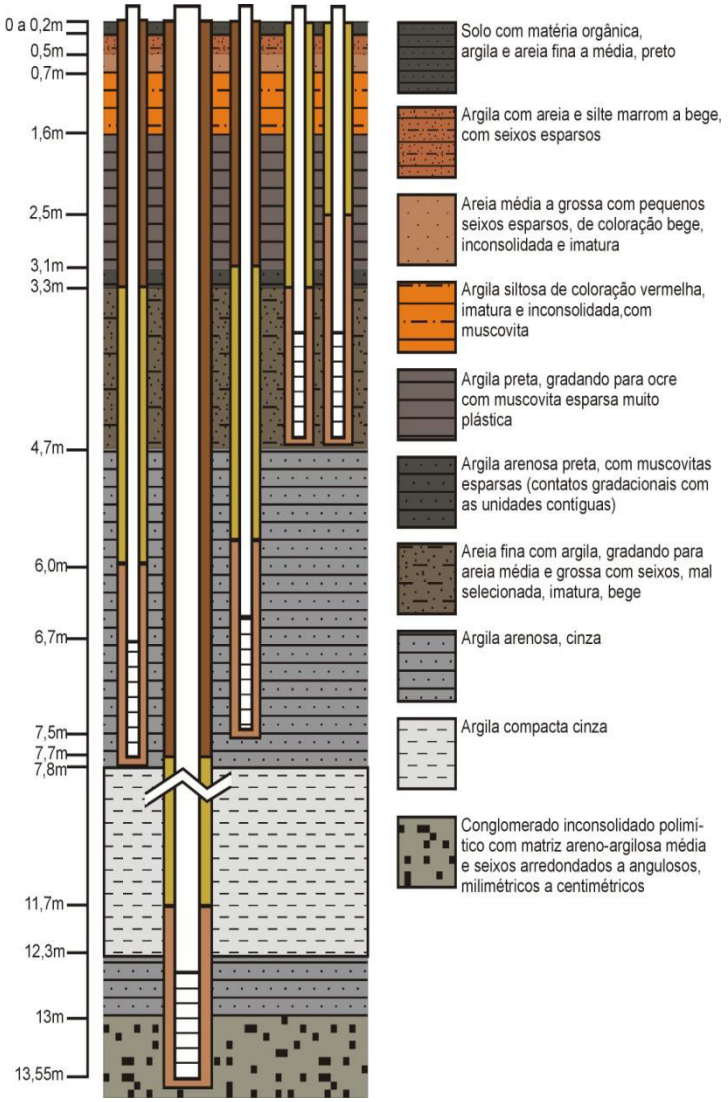
ARRANJO D-D
AB = MN = 2m
PM-2R


PM-1R
SEV-E12

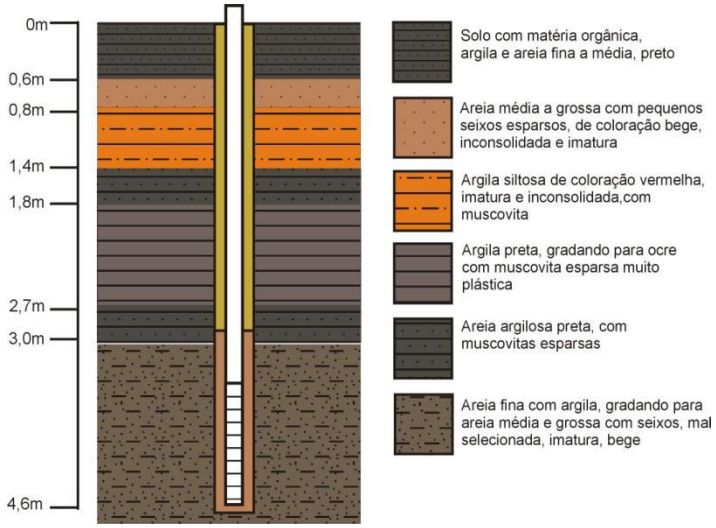
EM-31

Informações diretas (poços de monitoramento)

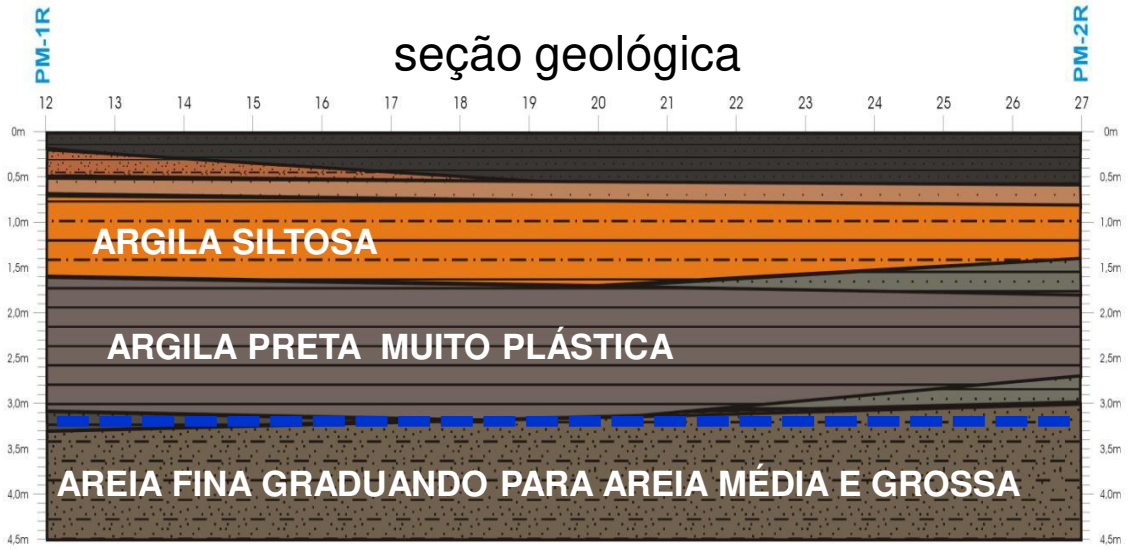
PM-1R



PM-2R

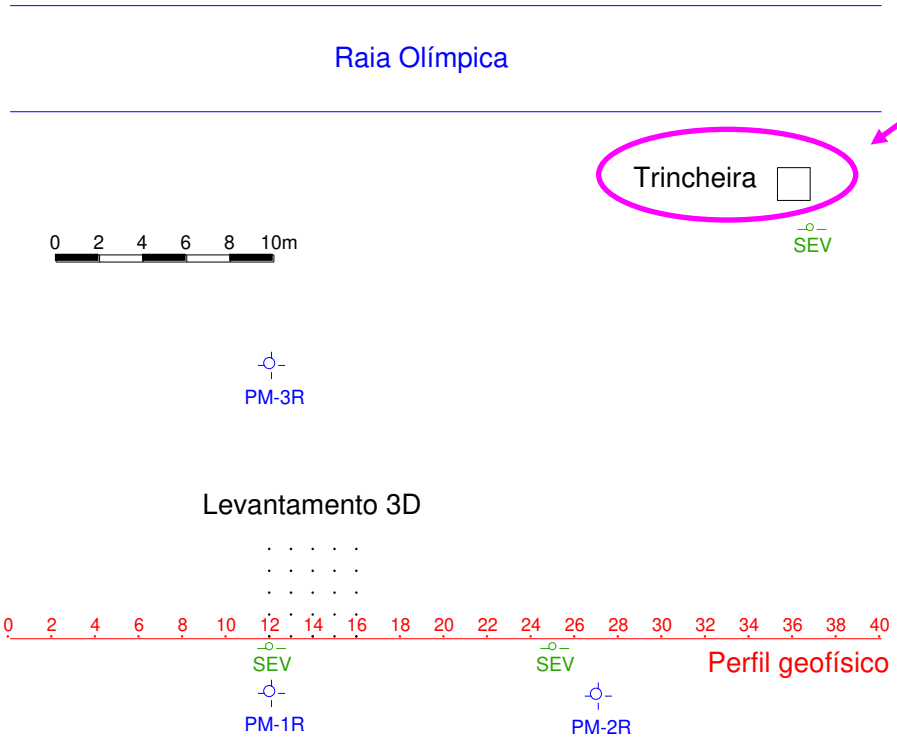


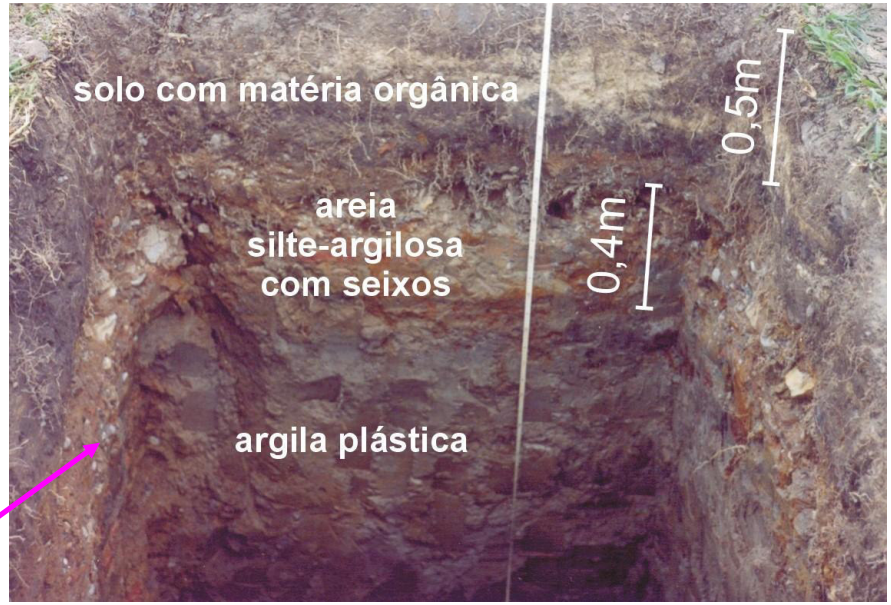
seção geológica

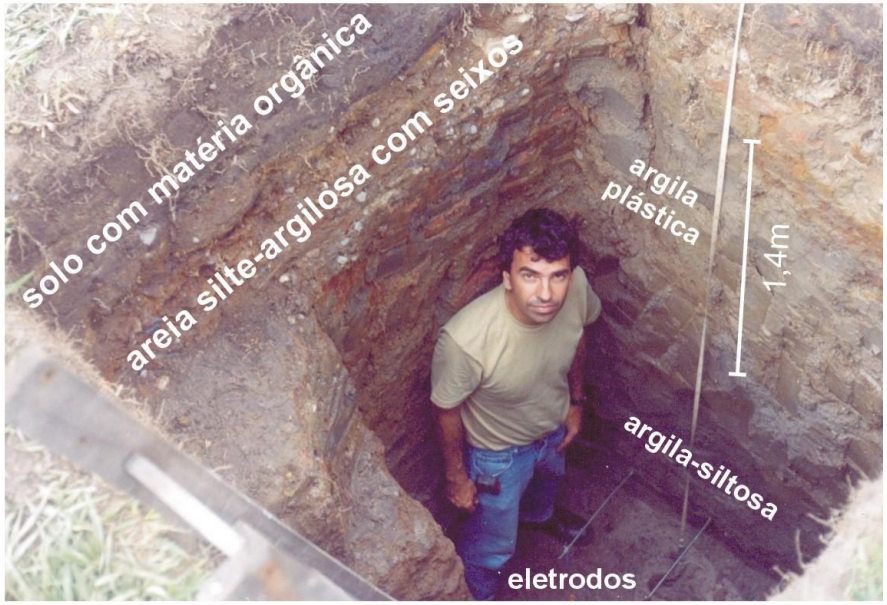


N.A. = 3,3 m

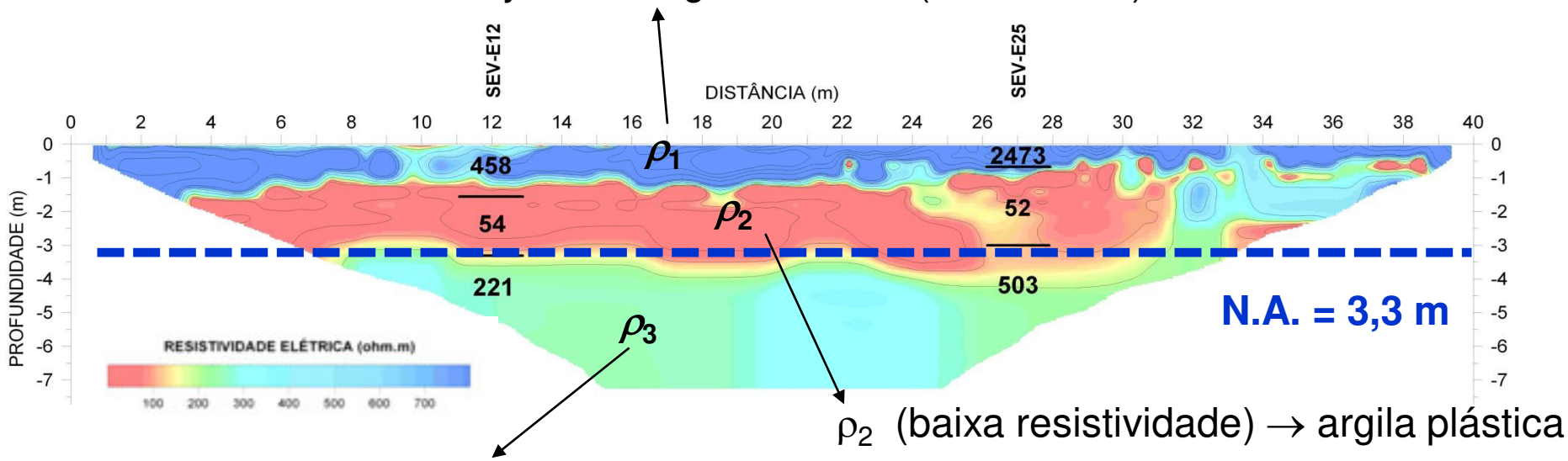
Informações diretas (trincheira)





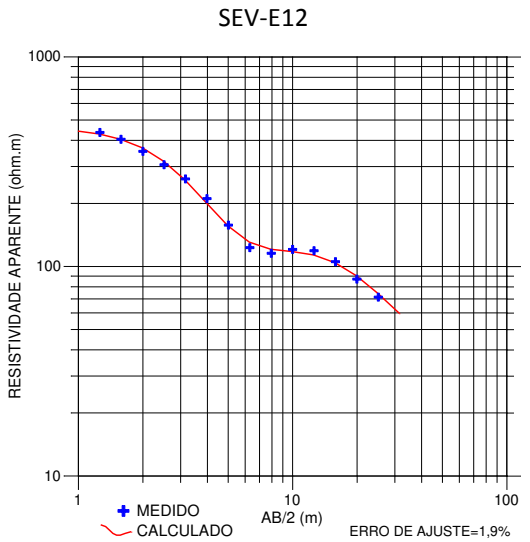


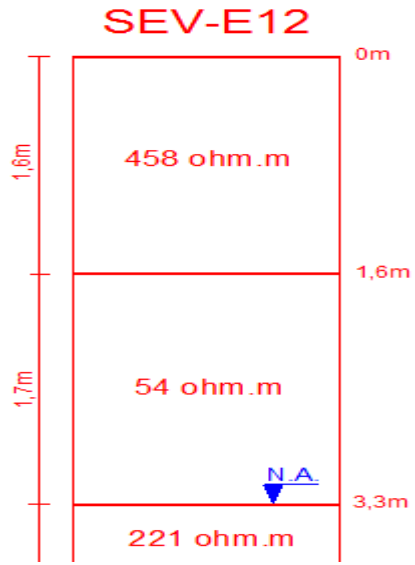
ρ_1 (resistividade alta) → solo superficial com matéria orgânica e horizonte subjacente argilo-arenoso (com seixos), seco



ρ_2 (baixa resistividade) → argila plástica

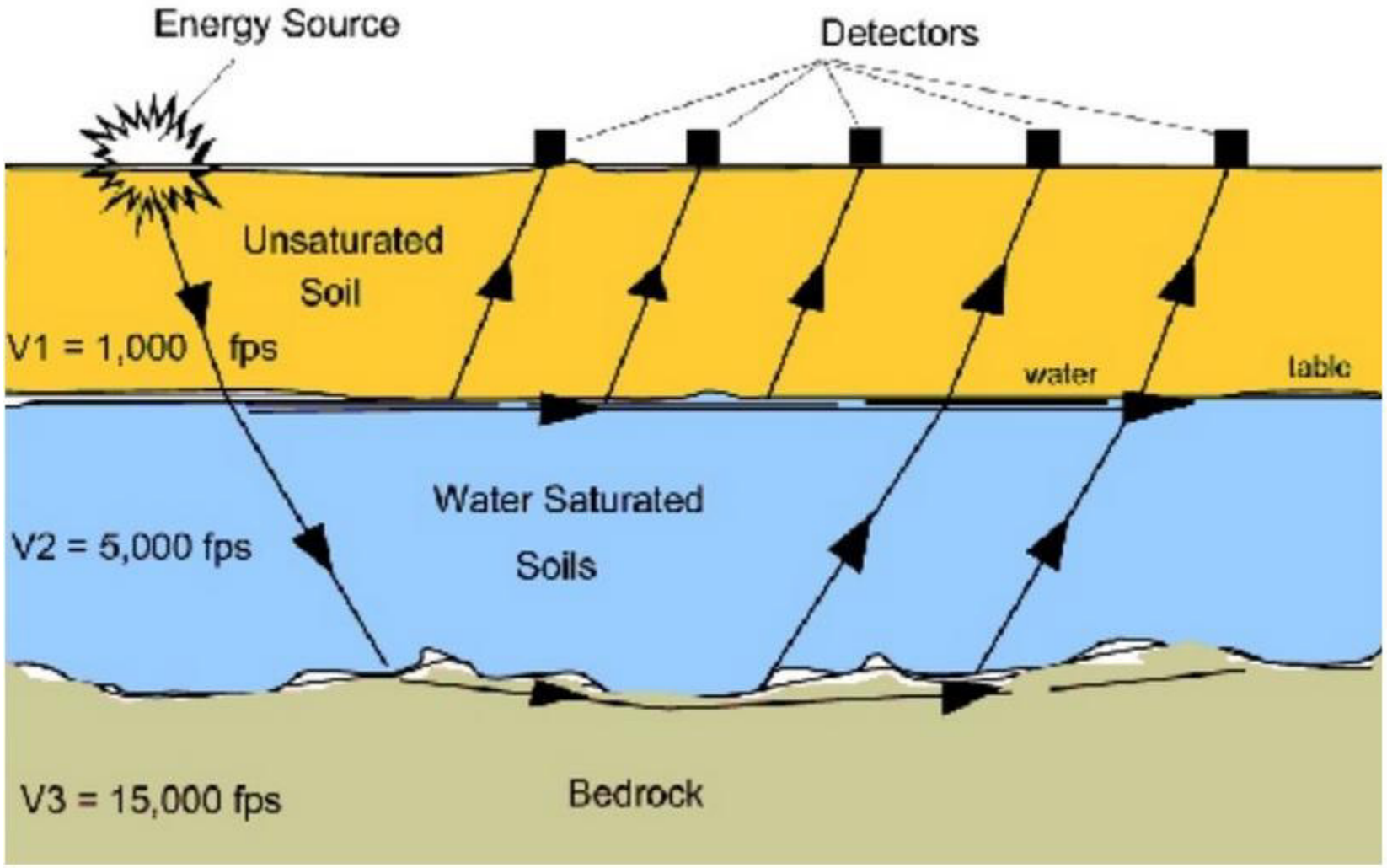
3ª camada (ρ_3, resistividade volta a subir) → areia fina gradando para frações mais grossas na base



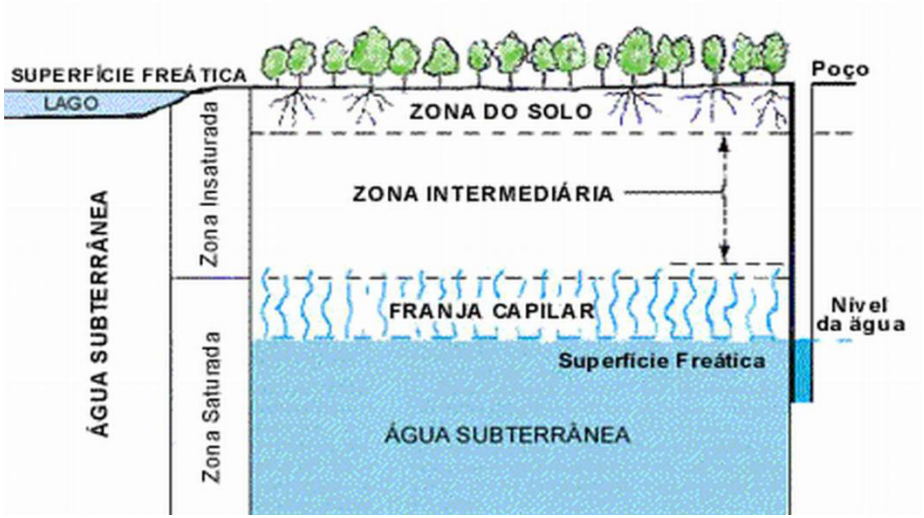


⇒ N.A. na subida da curva da SEV

Determinação da profundidade do N.A. com o método da Sísmica de Refração



Abaixo do nível d'água (zona saturada) a velocidade de propagação da onda P (V_P) é governada pelos fluidos que preenchem os poros do solo, não mais pela matriz do solo



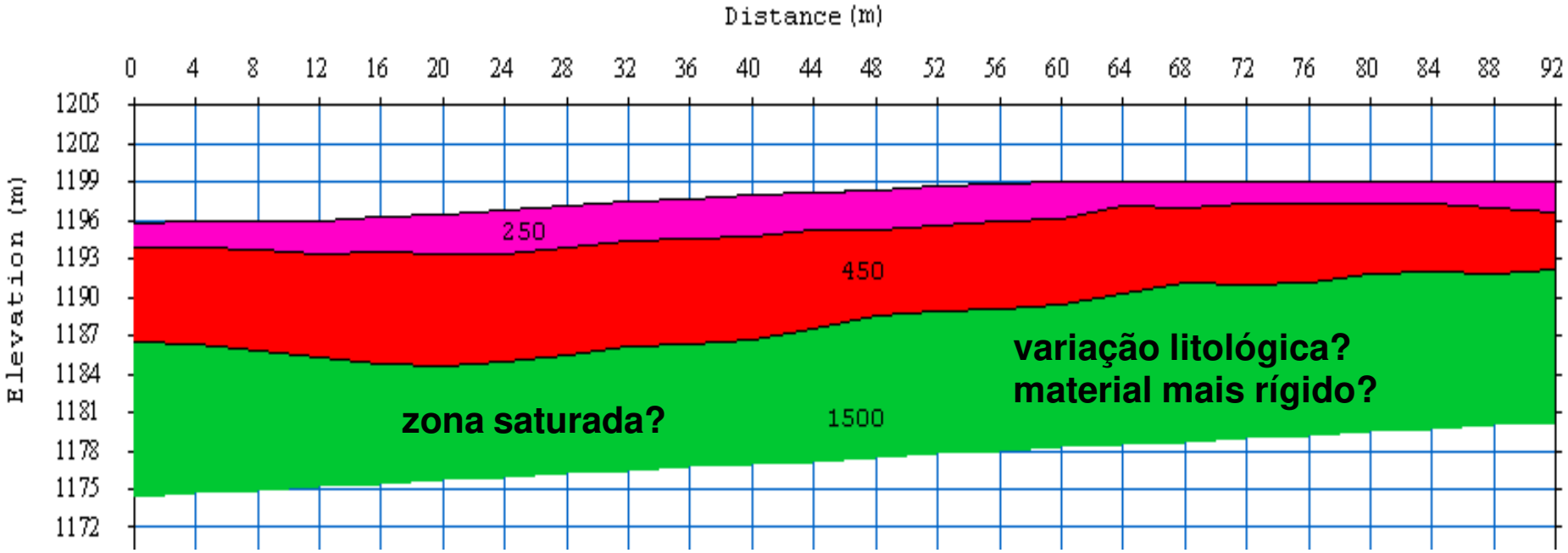
Como a velocidade da onda compressional na H_20 varie entre 1400 m/s a 1700 m/s (depende da temperatura, salinidade etc), no ambiente saturado $\Rightarrow V_P$ ~1500 m/s

V_P (água) $\cong$ 1500m/s $\Rightarrow V_P >>>> V_s \Rightarrow \upsilon \rightarrow$ 0,48 a 0,49

Sísmica de Refração com onda P

Pode ocorrer ambiguidade na interpretação dos resultados

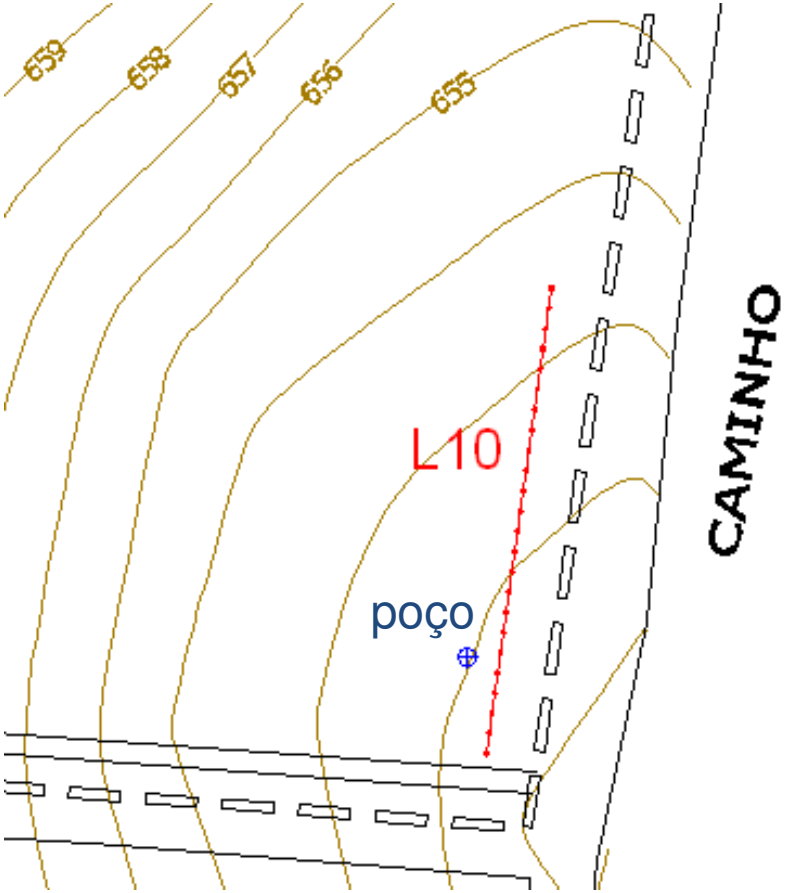
Aumento de $V_P \Rightarrow$ saturação do terreno ou mudança litológica?



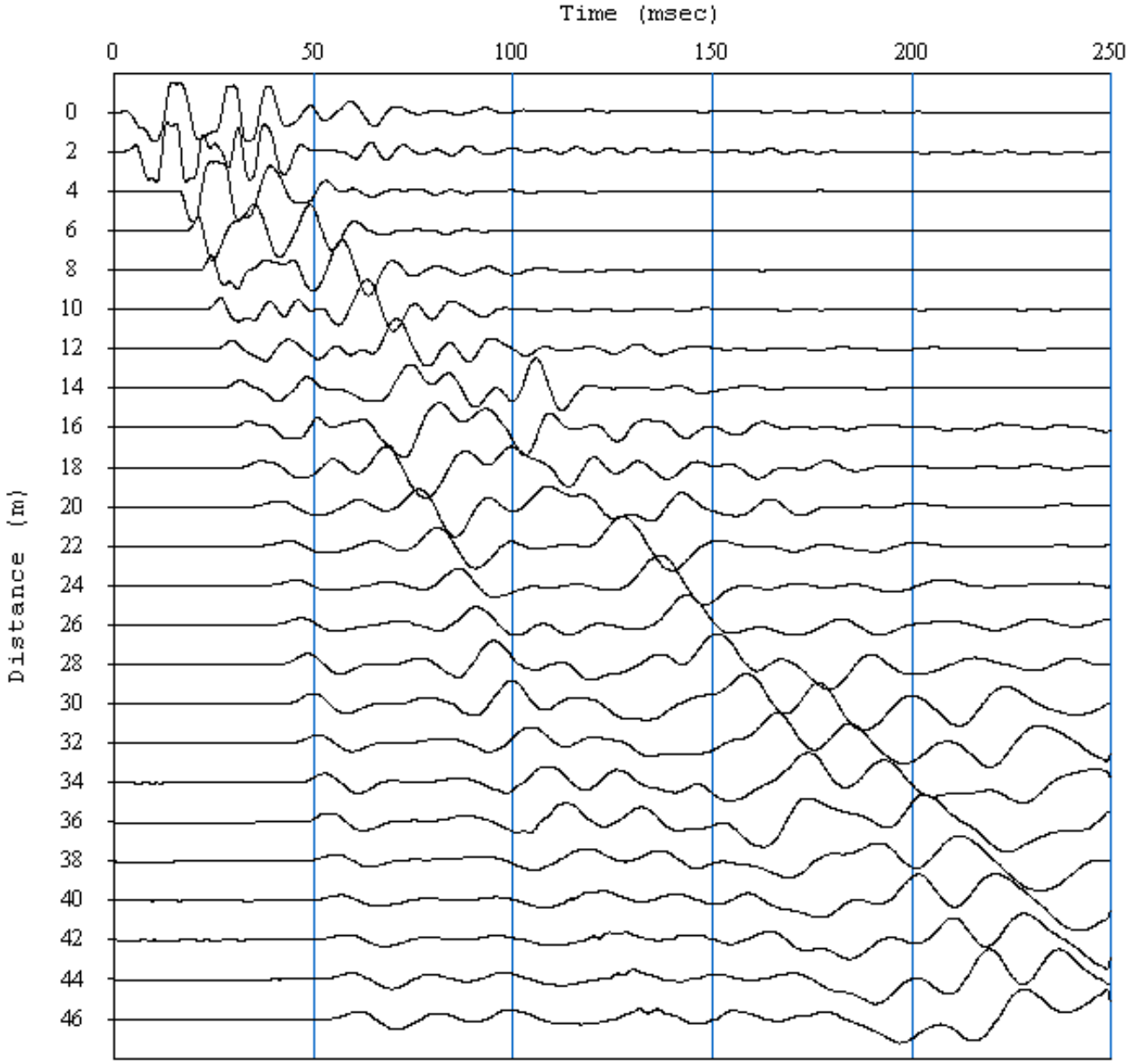
Local: Itapira-SP

Geologia: solos residuais de gnaisses e migmatitos
(siltes arenosos com coloração variegada)

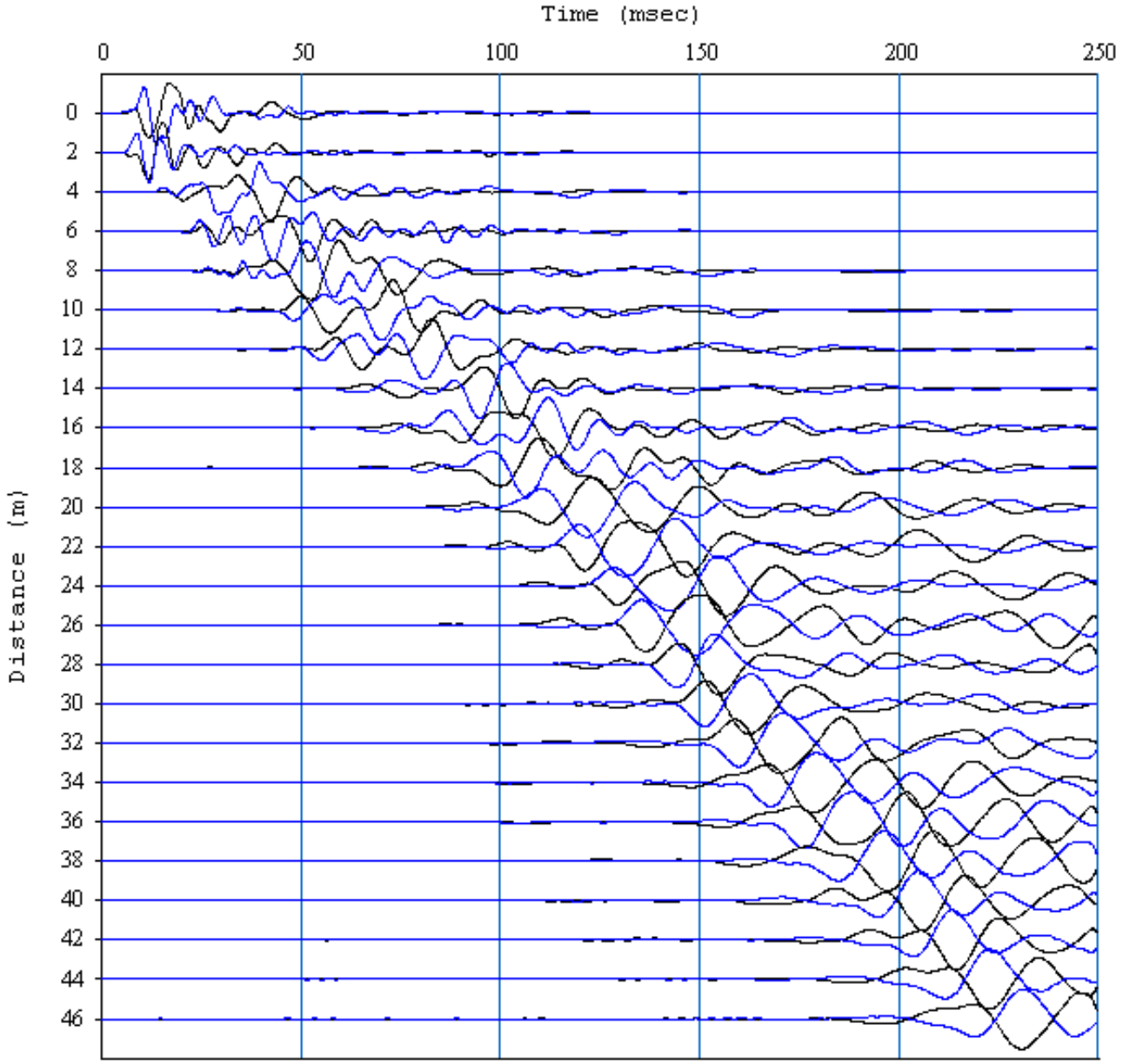
Profundidade do nível d'água = 4 metros
(informação obtida em um poço existente próximo à linha sísmica)



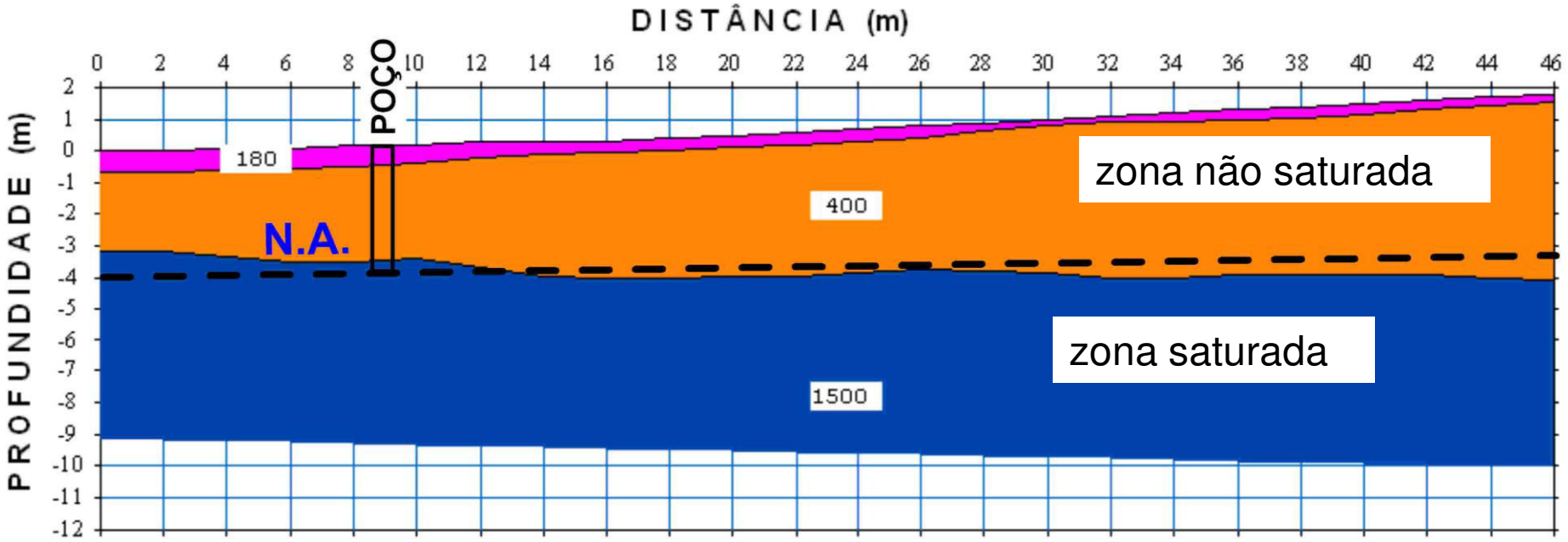
Sismograma (onda P)



Sismograma (onda S)



Resultado obtido com Refração (onda P)



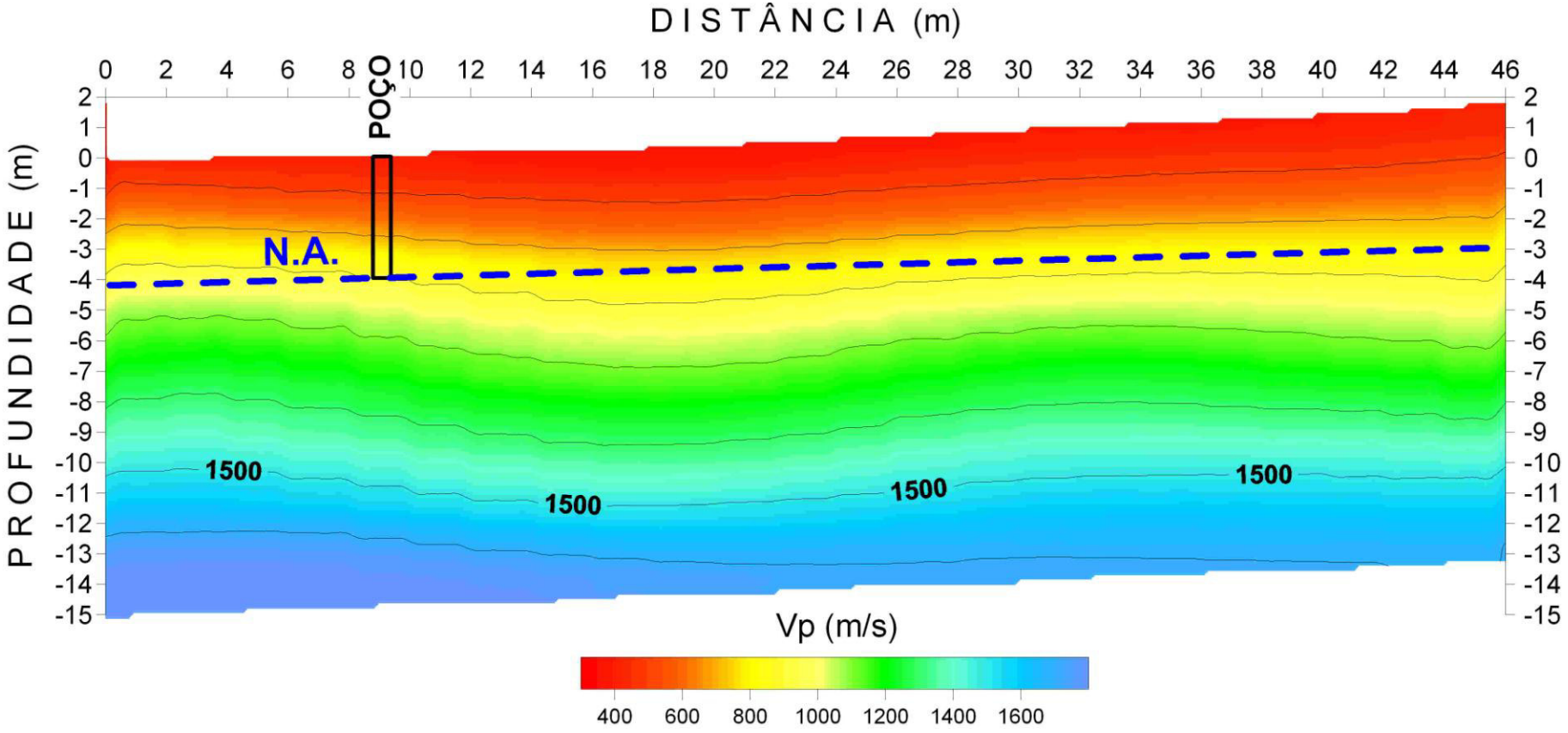
E se a profundidade do nível d'água não fosse conhecida?

3ª camada: ✓ Zona saturada (mesma litologia da camadas superiores)?

✓ Mudança litológica ?

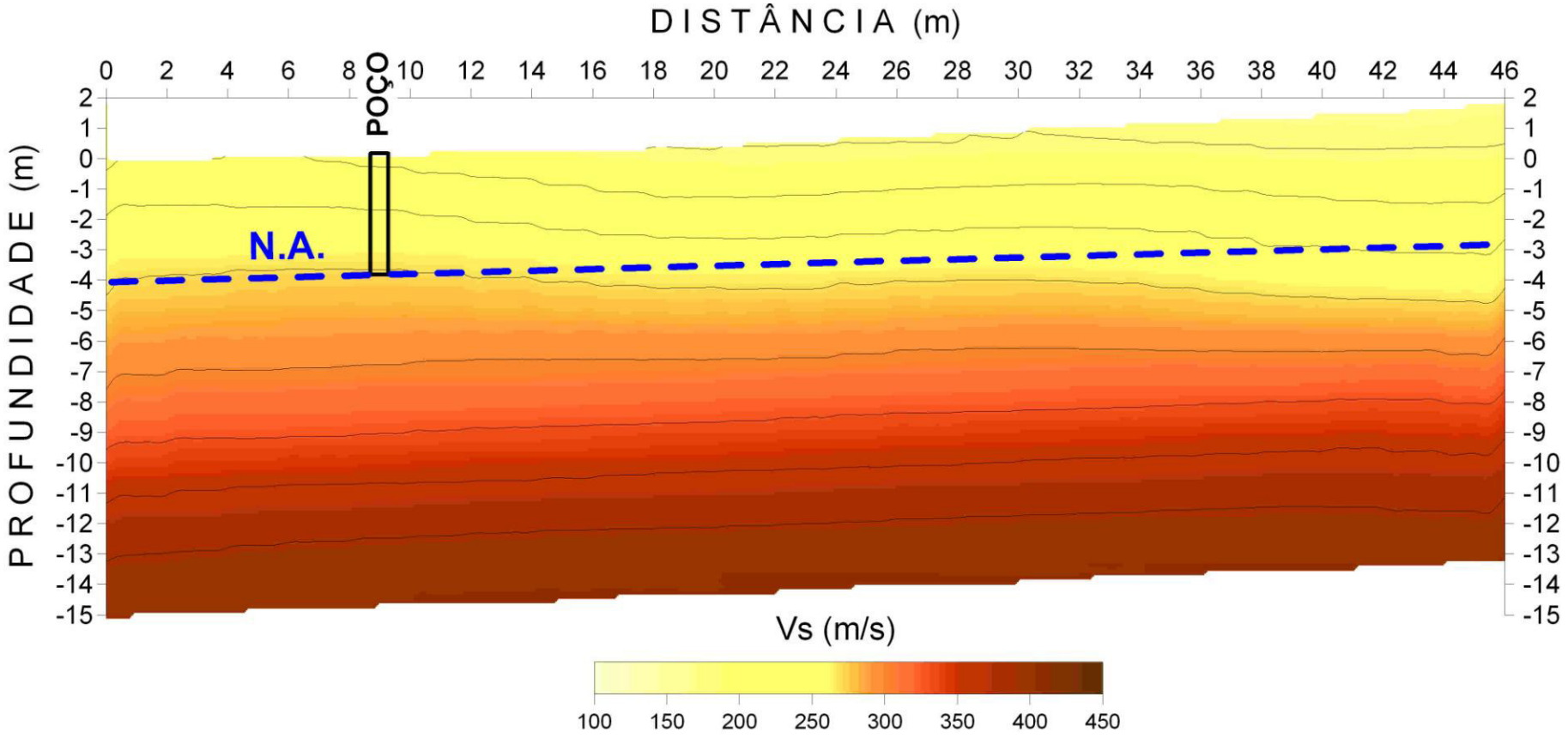
Análise conjunta os dados de Refração Sísmica (ondas P + ondas S)

Seção modelada (inversão por tomografia das ondas P)



Análise conjunta os dados de Refração Sísmica (ondas P + ondas S)

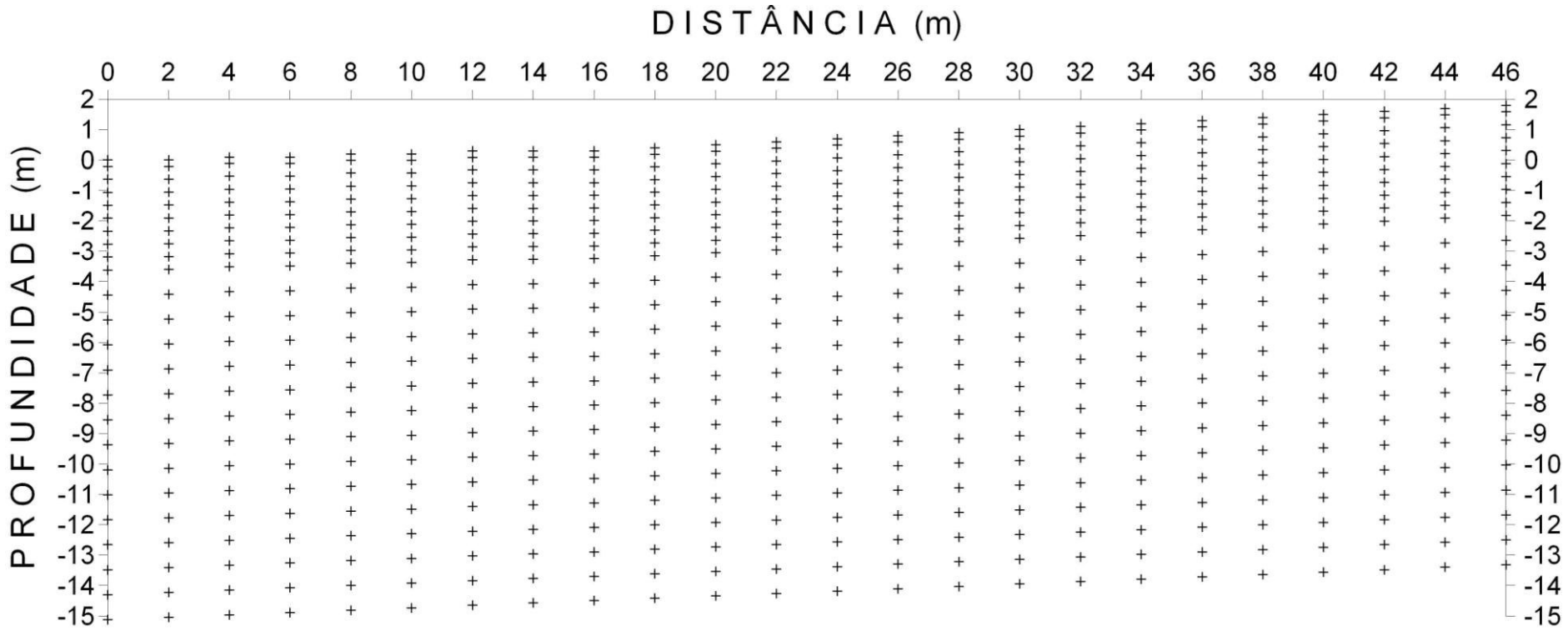
Seção modelada (inversão por tomografia das ondas S)



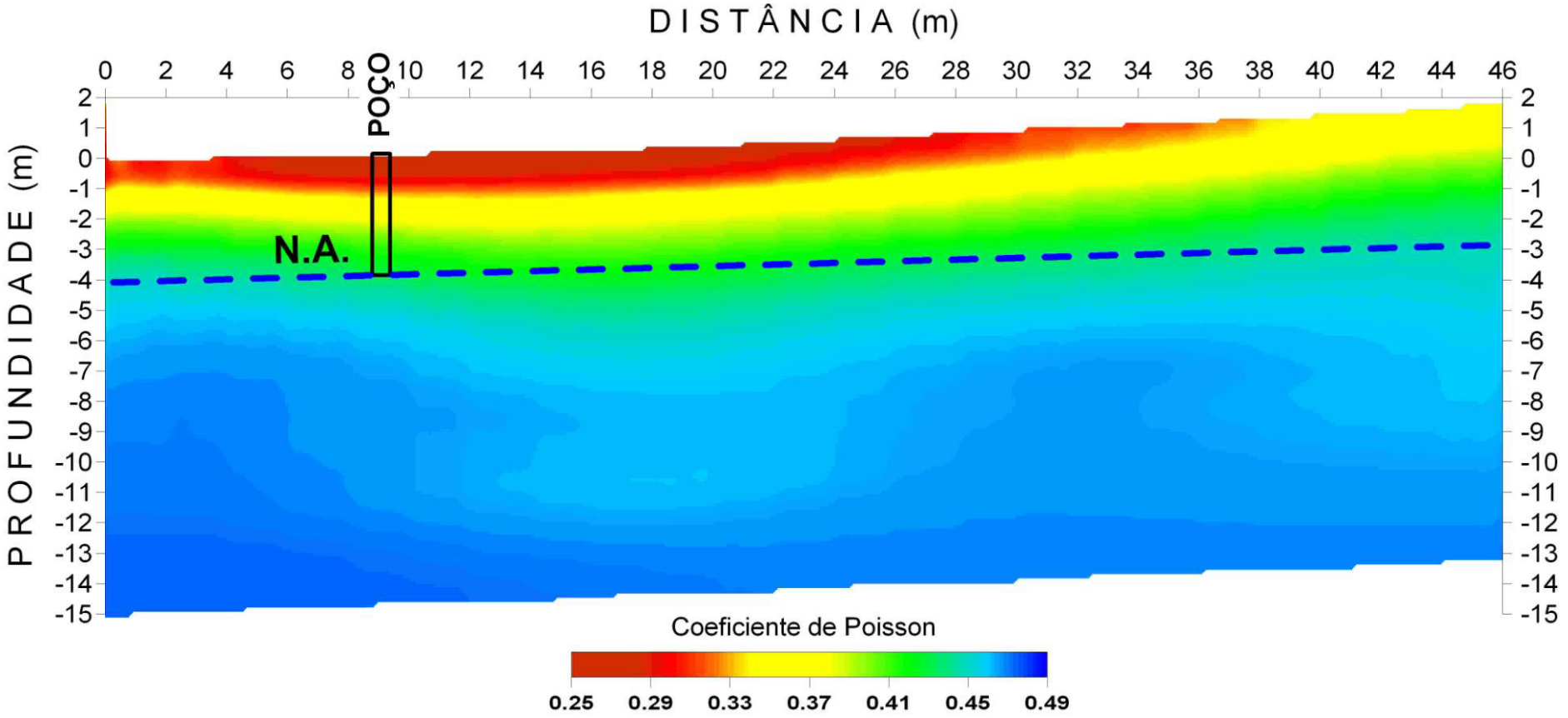
Análise conjunta os dados de Refração Sísmica (ondas P + ondas S)

Coeficiente de Poisson dinâmico (υ)

$$\nu = \frac{\left(\frac{V_P}{V_S}\right)^2 - 2}{2\left(\frac{V_P}{V_S}\right)^2 - 2}$$

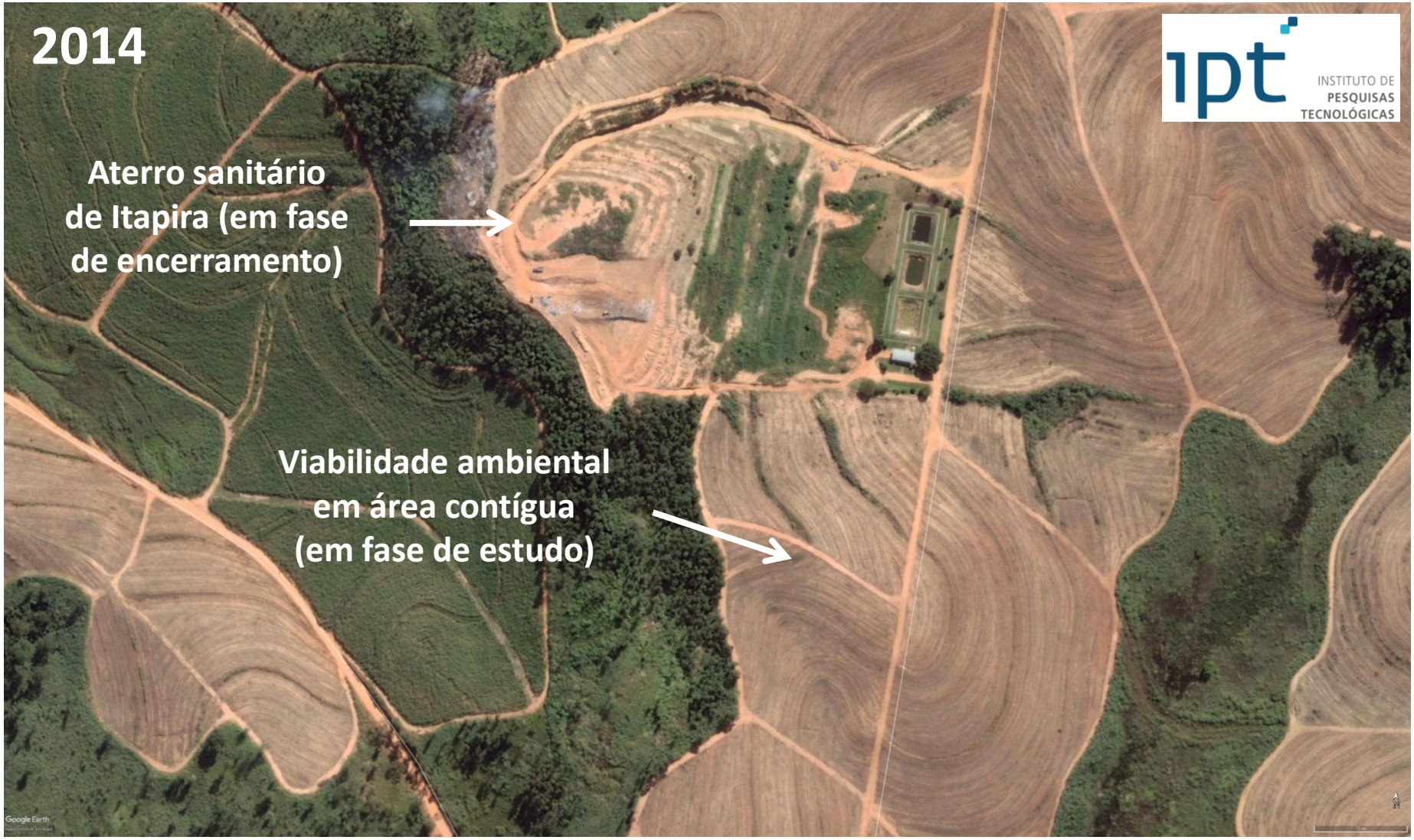


Análise conjunta os dados de Refração Sísmica (ondas P + ondas S)



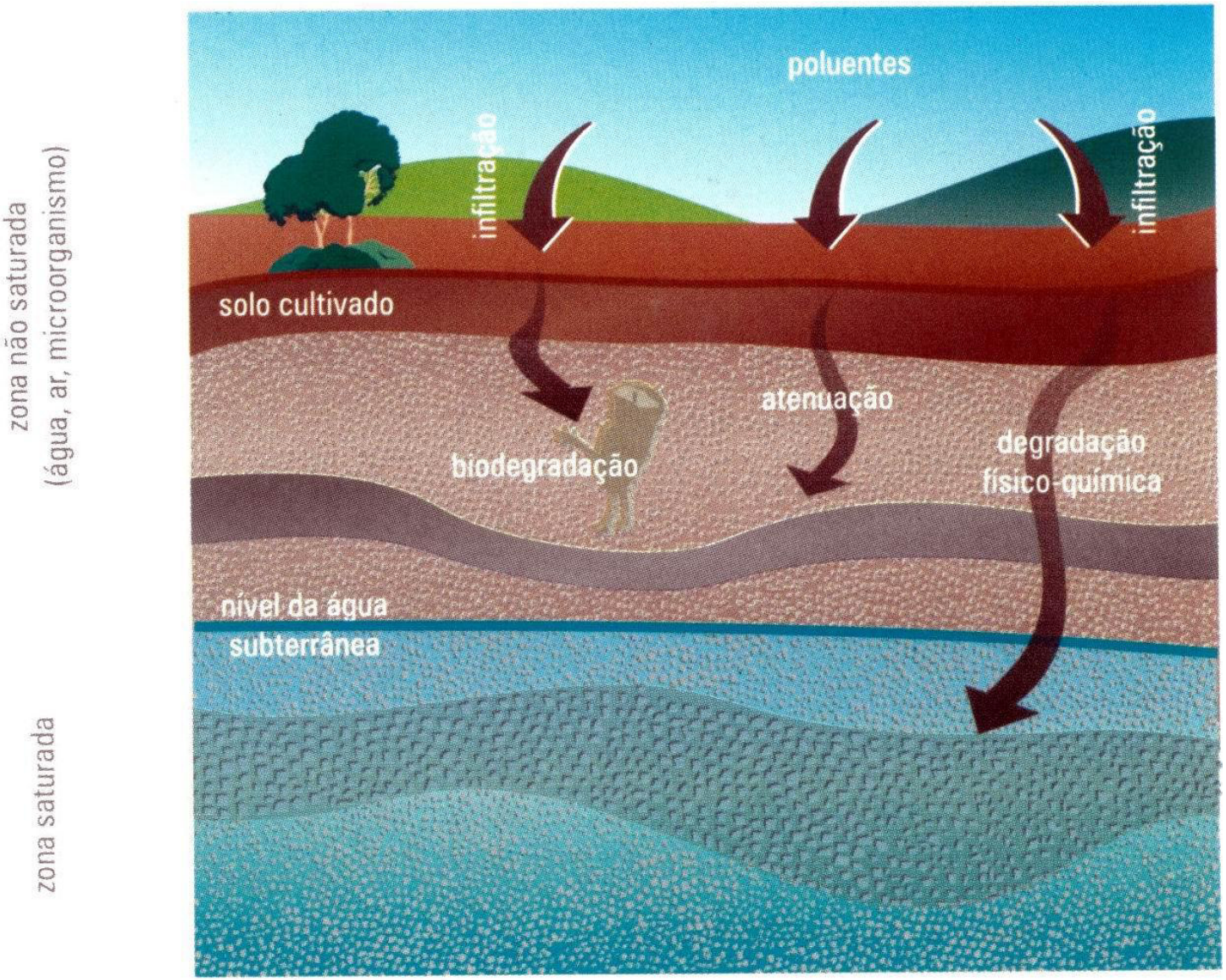
Valores superiores a 0,45 (quando a razão V_P/V_S supera 3,4) indicam a saturação do terreno

ESCOLHA DE NOVA ÁREA PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO
Local: Itapira-SP

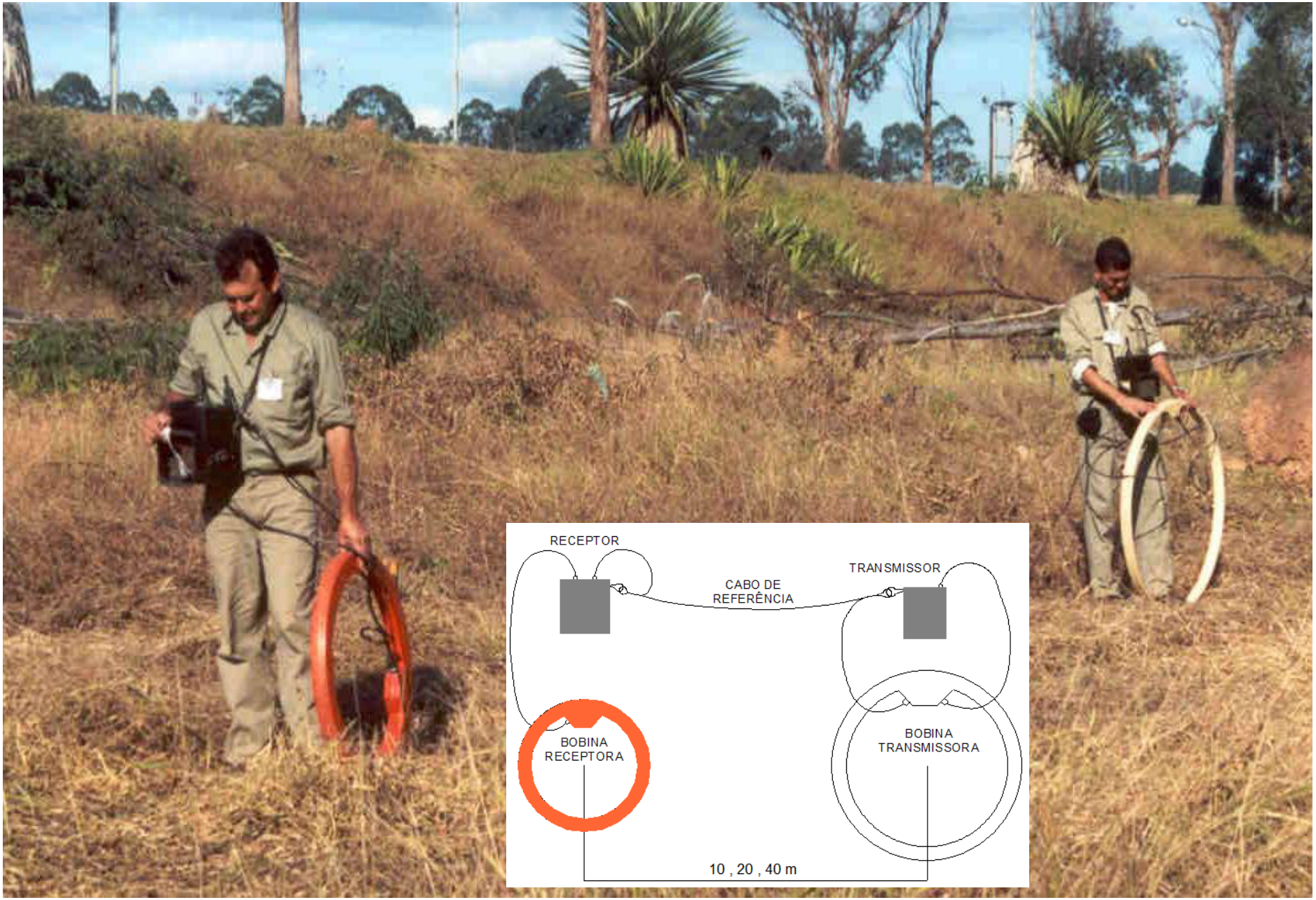


ESCOLHA DE NOVA ÁREA PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO
Local: Itapira-SP

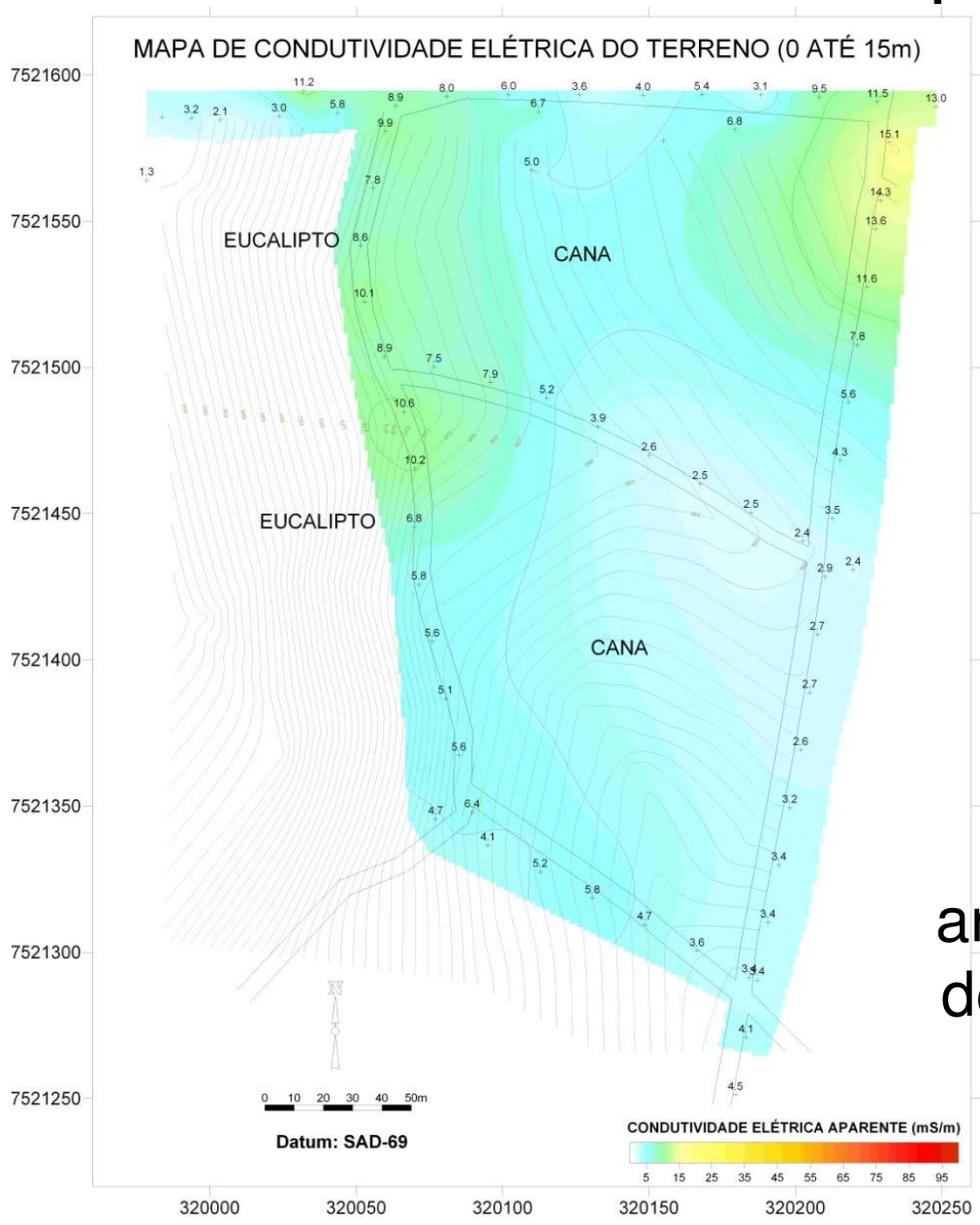
Nível d´água profundo (zona não saturada com espessura significativa): condição recomendada para a área de implantação de um aterro sanitário



EM 34 (GEONICS)



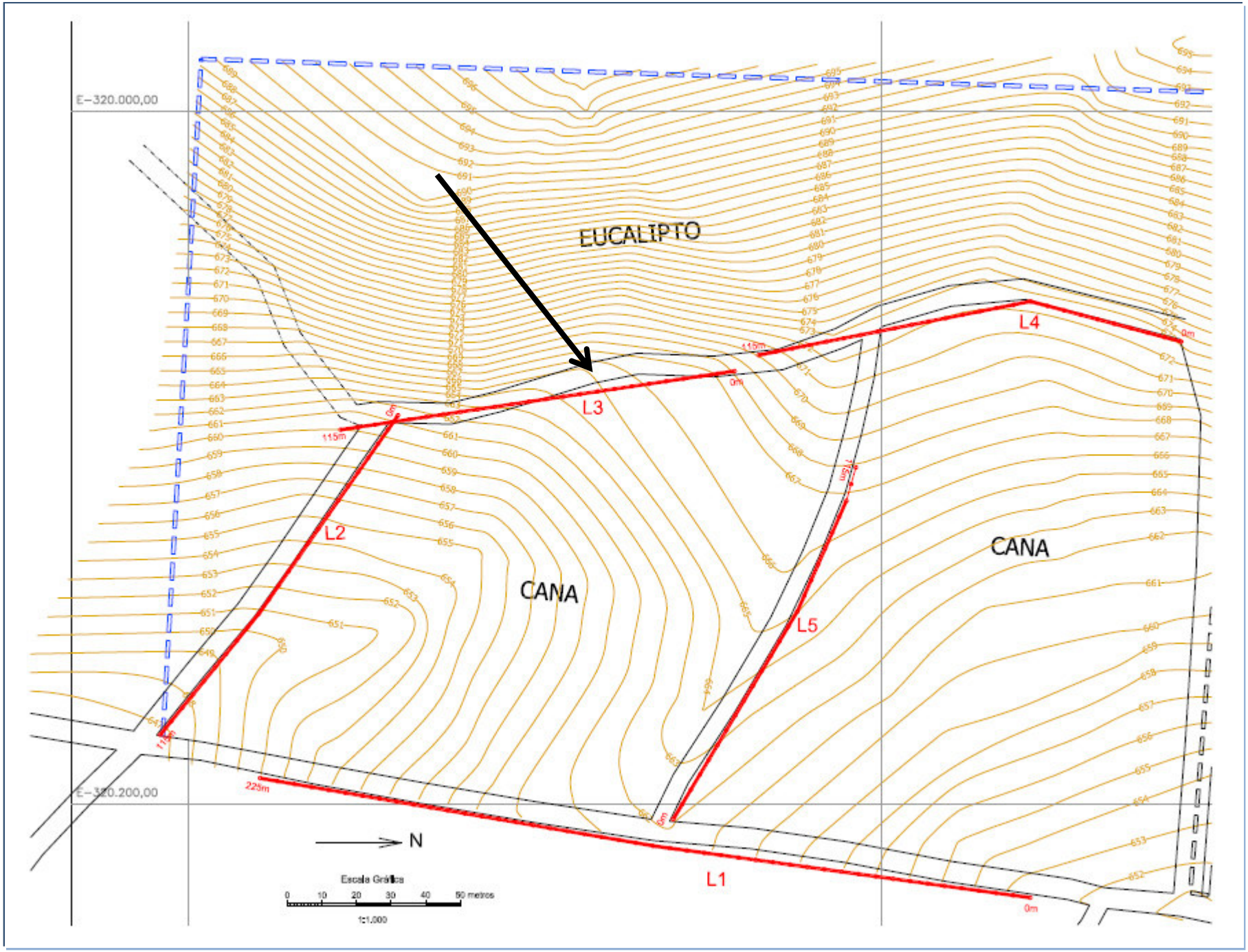
ESCOLHA DE NOVA ÁREA PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO
Local: Itapira-SP

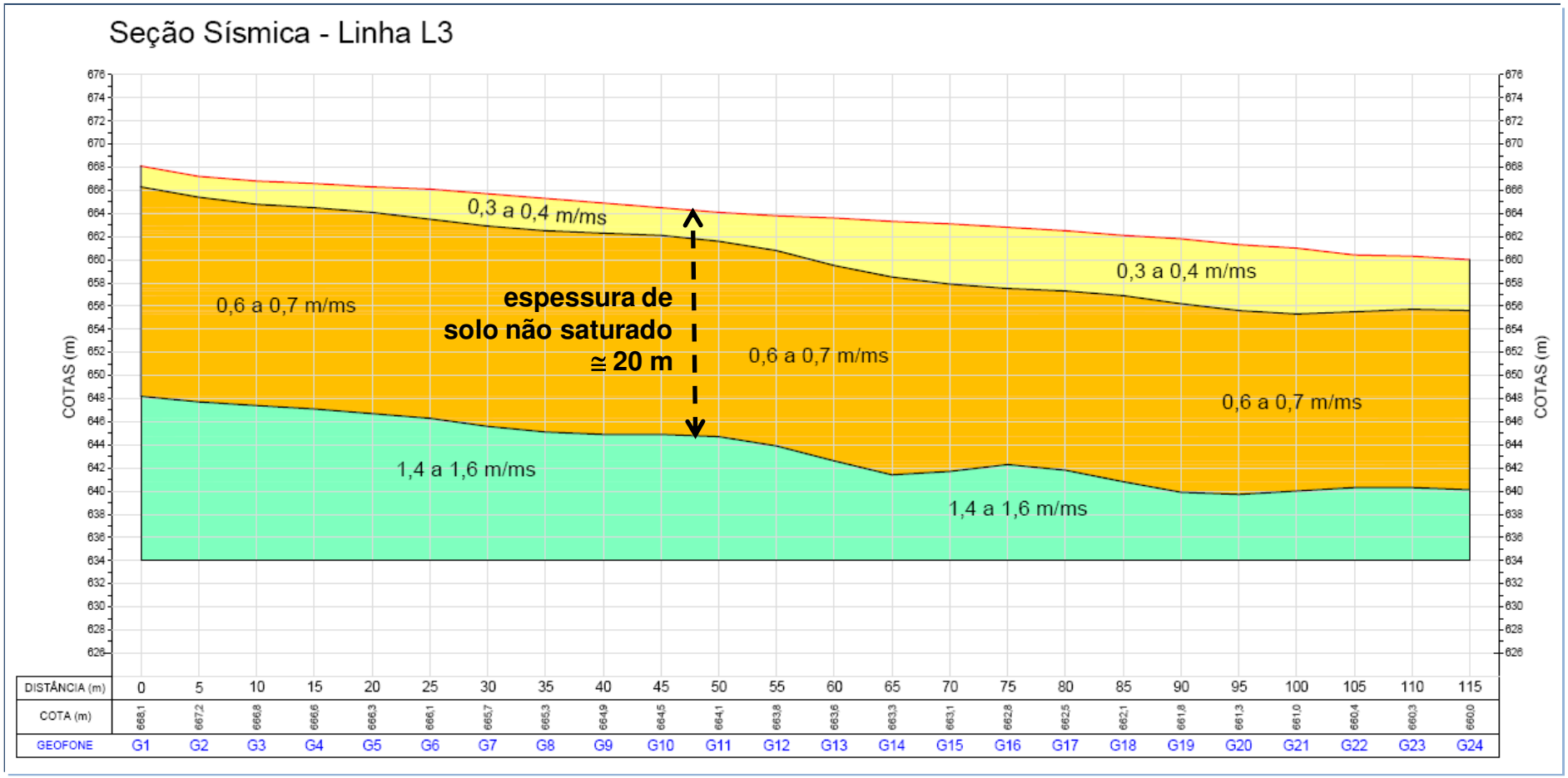


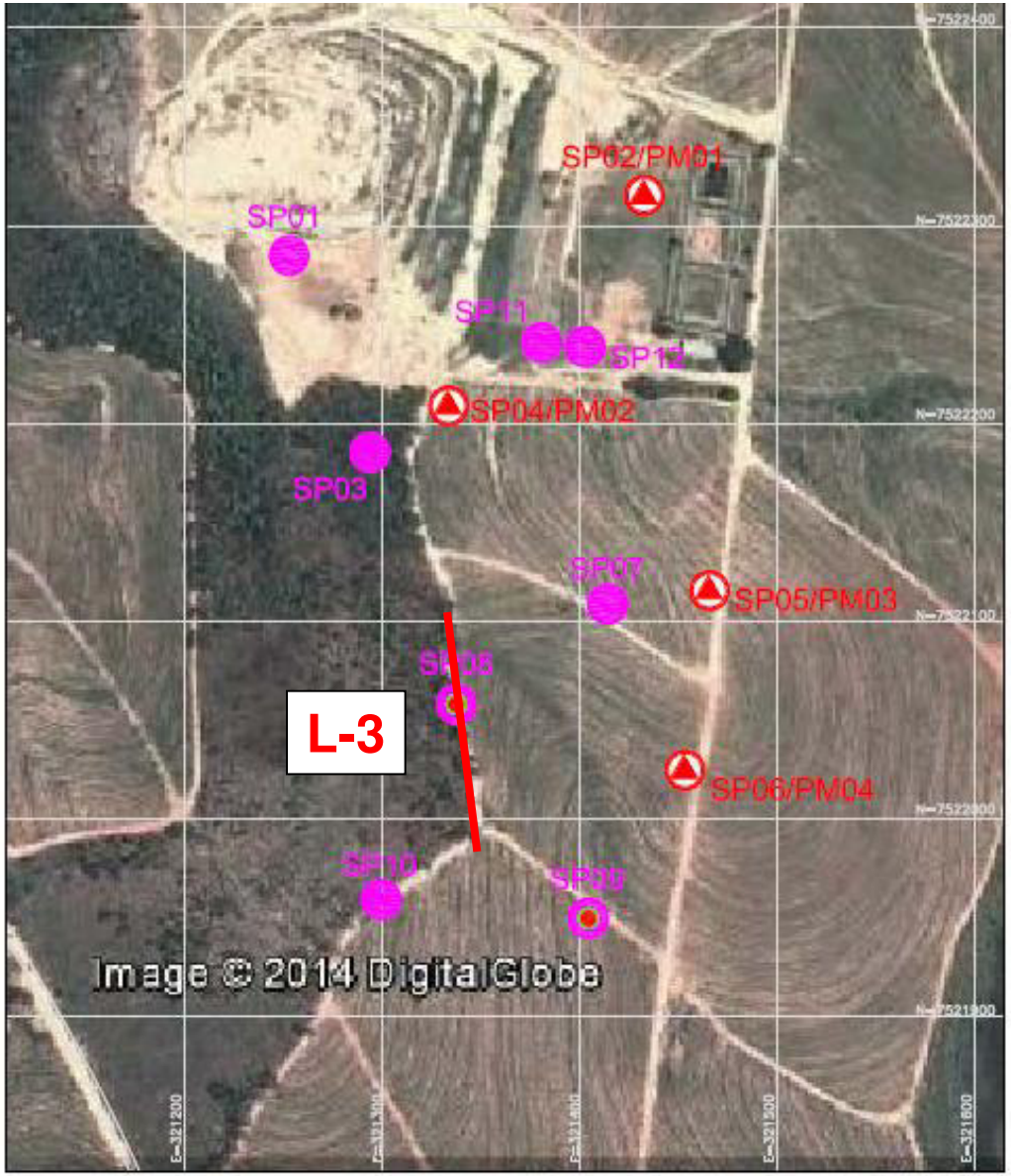
Condições
de "background" do terreno
antes da implantação do aterro
determinadas pelo método EM

Baixos valores de σ
até ~15m

Itapira-SP


E-320.000,00
E-320.200,00
EUCALIPTO
CANA
CANA
L1
L2
L3
L4
L5
115m
225m
0m
N
Escala Gráfica
0 10 20 30 40 50 metros
1:1.000


Seção Sísmica - Linha L3
COTAS (m)
0,3 a 0,4 m/ms
0,6 a 0,7 m/ms
espessura de
solo não saturado
≅ 20 m
0,6 a 0,7 m/ms
0,3 a 0,4 m/ms
0,6 a 0,7 m/ms
1,4 a 1,6 m/ms
1,4 a 1,6 m/ms
DISTÂNCIA (m)
COTA (m)
GEOFONE
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95 100 105 110 115
668.1 667.2 666.8 666.6 666.3 666.1 665.7 665.3 664.9 664.5 664.1 663.8 663.6 663.3 663.1 662.8 662.5 662.1 661.8 661.3 661.0 660.4 660.3 660.0
G1 G2 G3 G4 G5 G6 G7 G8 G9 G10 G11 G12 G13 G14 G15 G16 G17 G18 G19 G20 G21 G22 G23 G24



Fonte: GoogleEarth

PLANTERRA Ambiental

BOLETIM DE SONDAGEM À PERCUSSÃO - SPT

SP08

CLIENTE: IPT

LOCAL: ITAPIRA

ESC.: DATA: 24/02/2014 PAG. Nº: REF. Nº: RESPONSÁVEL: Noberto

COORD.: E: 7521371 N: 320028 COTA: ***

PENETRAÇÃO — INICIAL — FINAL

I (1º e 2º)	F (2º e 3º)
7	5
4	4
6	7
7	7
7	9
6	9
7	12
10	18
15	22
16	23
14	18
19	29
20	28
21	31
23	35
25	35
25	38
19	30
21	34

ALTURA DE QUEDA = 75cm
MASSA MARTELO = 65kg
REVESTIMENTO Ø = 76,2mm
AMOSTRADOR Ø1 = 34,9mm Ø2 = 50,8mm

PROF.	PERFIL	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS
0,85	1	ARGILA SILTO-ARENOSA, PLÁSTICA, MARROM
2,50	2	ARGILA SILTO-ARENOSA, PLÁSTICA, MARROM, MOLE
2,84	3	PEDREGULHO, FRIÁVEL, VERMELHO, COMPACTO
	4	ARGILA SILTOSA, PLÁSTICA, VERMELHA, MOLE
5,50	5	
	6	SILTE ARGILOSO, PLÁSTICO, VERMELHO, MOLE
7,50	7	
7,80	8	PEDREGULHO, FRIÁVEL, VERMELHO,
	9	
	10	
	11	
	12	
	13	SILTE ARENOSO, PLÁSTICO, AMARELO, POUCO
	14	
	15	
	16	
16,90	17	
17,05	18	PEDREGULHO, FRIÁVEL, AMARELO, COMPACTO
	19	SILTE ARENOSO, PLÁSTICO, AMARELO, POUCO
20,00	20	

AVANÇO: TC

REV.:

NA: 19,60 (21/02)

COTA EM RELAÇÃO AO R.N.: -5,000 / -10,000 / -15,000 / -20,000

PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA (m)	INICIAL	FINAL
	19,60	19,60
	20/01	01/02

SIMBOLOGIA

- AMOSTRA NÃO RECUPERADA
- AMOSTRA INDEFORMADA
- AMOSTRA INDEFORMADA NÃO RECUPERADA
- O AMOSTRADOR PENETROU Ncm SOB O PESO DAS HASTES+BATENTE

ENSAIO DE LAVAGEM (cm)

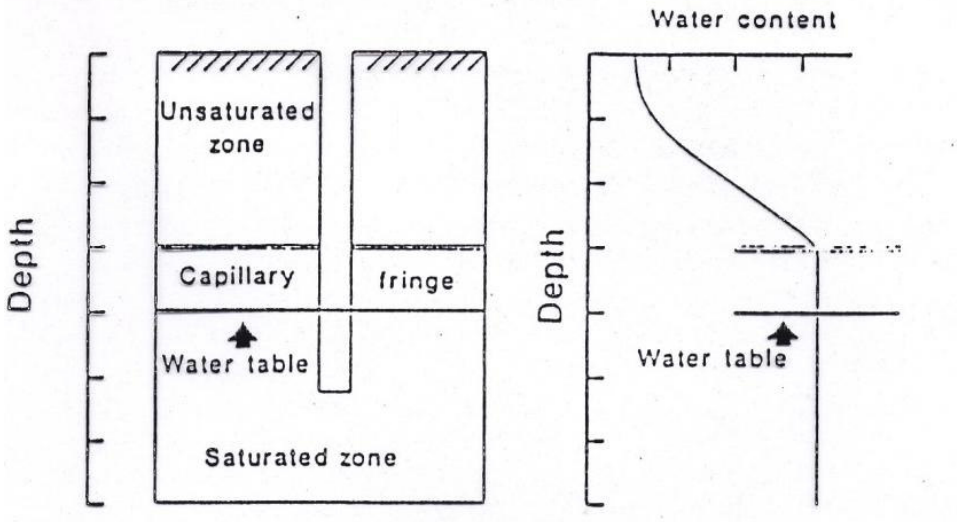
1º 10min	
2º 10min	
3º 10min	

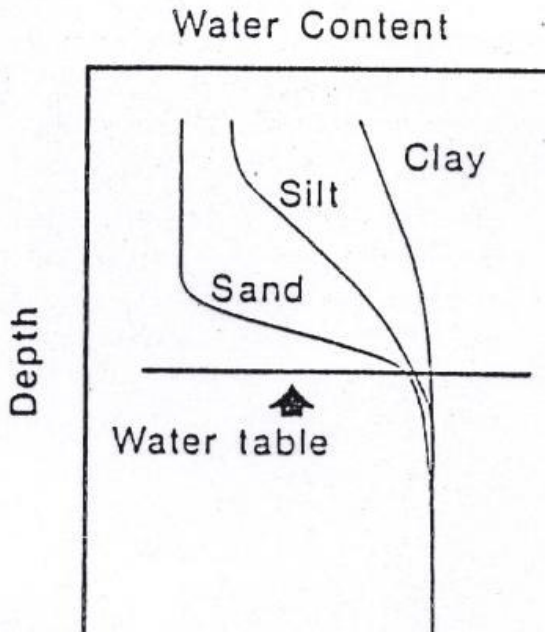
TC: Trado Concha TH: Trado Helicoidal CA: Circulação de Água R: Revestimento NA: Nível D'água

N.A = 19,6m

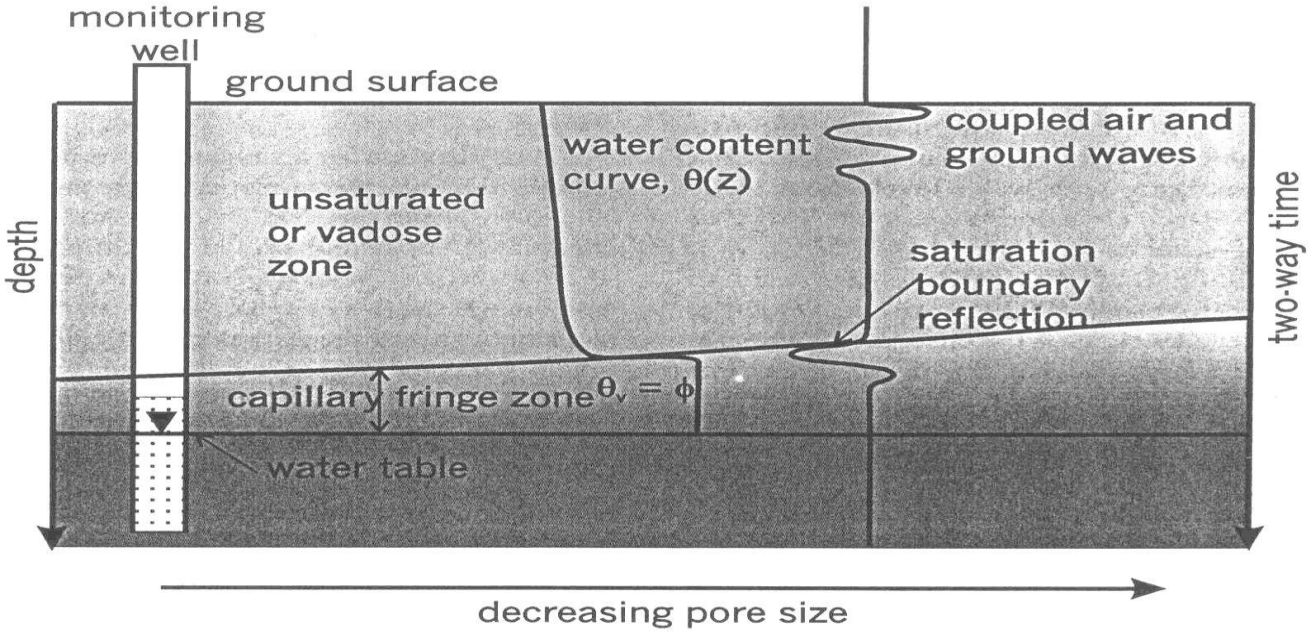
ESCOLHA DE NOVA ÁREA PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO
Local: Itapira-SP

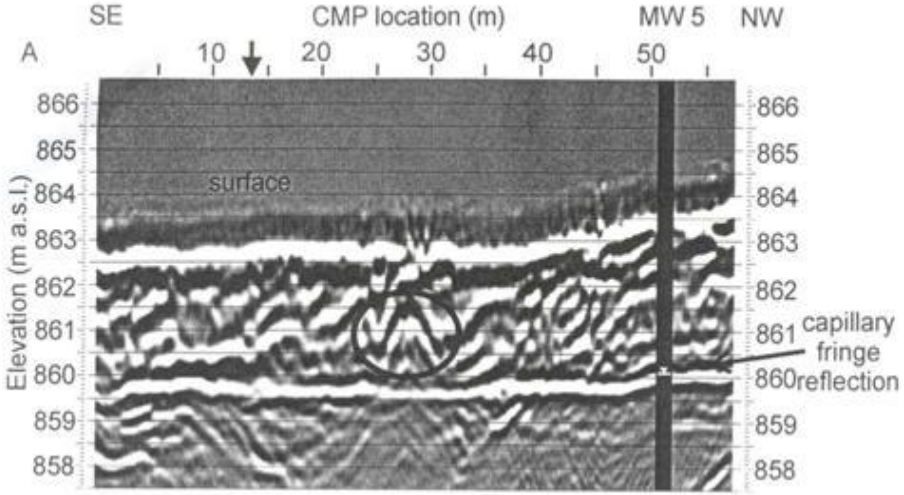
Water Table Transition Zone



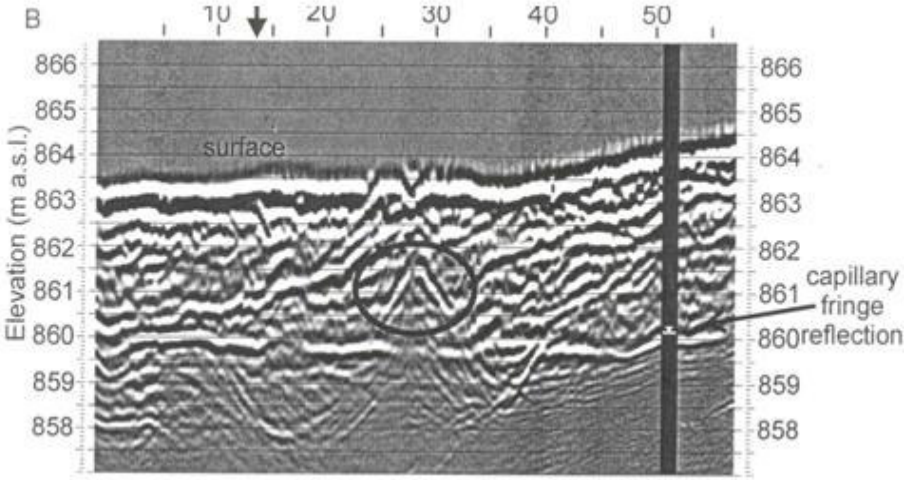


GPR

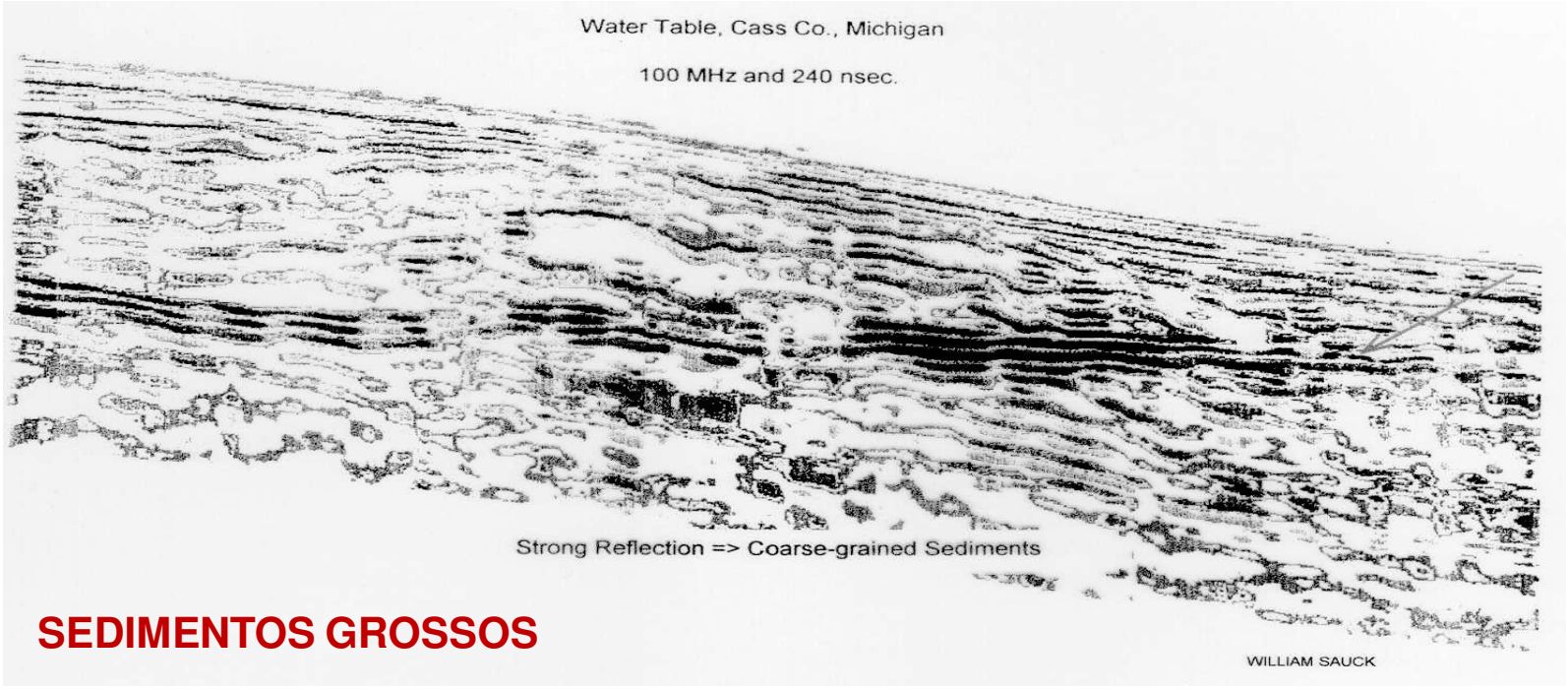


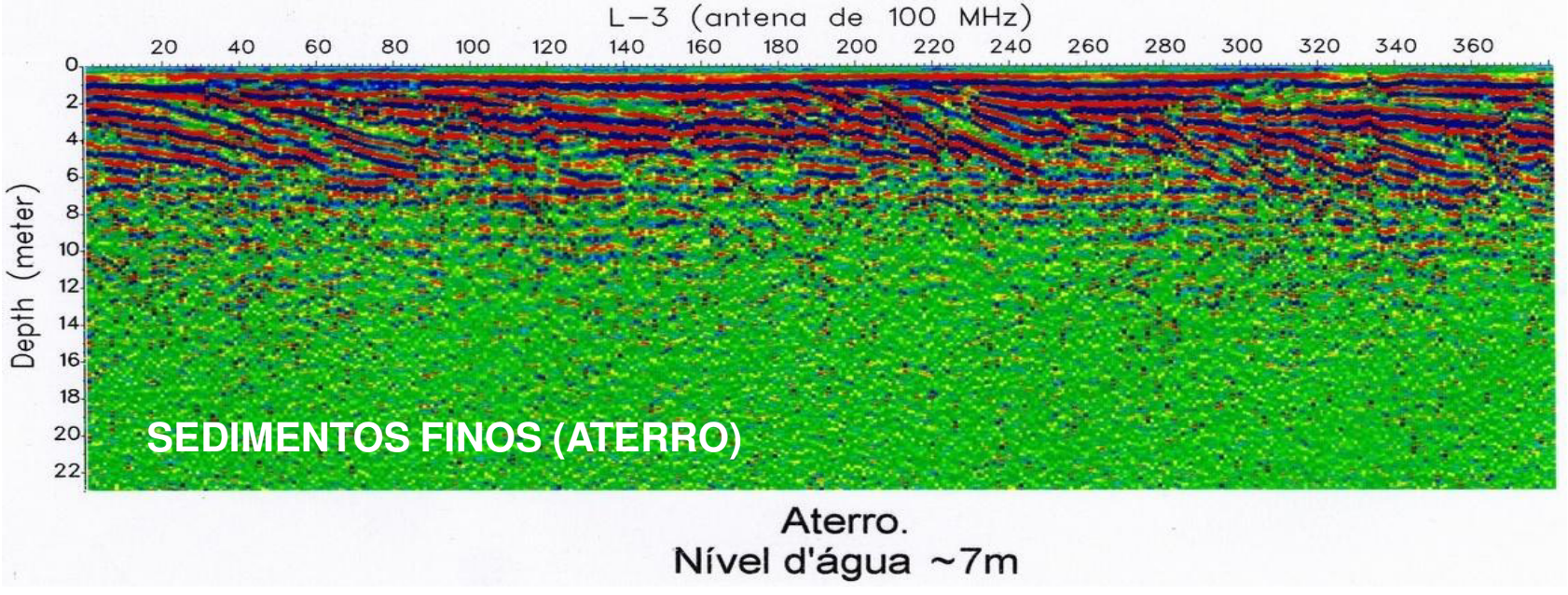


100 MHz



200 MHz


Water Table, Cass Co., Michigan
100 MHz and 240 nsec.
Strong Reflection => Coarse-grained Sediments
SEDIMENTOS GROSSOS
WILLIAM SAUCK


L−3 (antena de 100 MHz)
20 40 60 80 100 120 140 160 180 200 220 240 260 280 300 320 340 360
0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22
Depth (meter)
SEDIMENTOS FINOS (ATERRO)
Aterro.
Nível d'água ~7m

Solos moles

SOLOS MOLES

Fotos: Arquivo pessoal Márcio Almeida

As argilas moles costumam surgir em planícies costeiras e podem chegar a 50 m de espessura

SOLOS MOLES

Ocorrem geralmente em regiões litorâneas e em baixadas, particularmente em áreas de manguezais e de estuários

- alta umidade
- alto índice de plasticidade
- percentual elevado de argila
- elevada compressibilidade
- baixa resistência à penetração (SPT $\leq$ 4)
- baixa resistência ao cisalhamento
- baixa capacidade de suporte

SOLOS MOLES: Métodos para identificação em ensaios de campo

- SPT (N_{SPT} muito baixos, em geral $N_{SPT} \cong 0$)
- Ensaios de palheta (VT-*Vane Test*)
- Piezocone (CPTu)
- Dilatômetro de Marchetti (DMT)
- Ensaios sísmicos (MASW, SCPTu, SDMT)

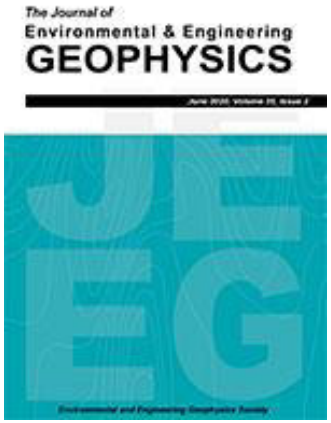
$$G_{máx} = \rho V_s^2$$

Se $\rho = 1{,}5$ g/cm^3
$V_S = 180$ m/s

$\Rightarrow G_{máx} = 48{,}6$ MPa

Soil profile type	Soil profile name/generic description	Shear wave velocity, fsseet/second (m/s)	Standard penetration test (blows/foot)	Undrained shear strength, psf (kPa)
S_A	Hard rock	>5,000 (1,500)	—	—
S_B	Rock	2,500 to 5,000 (760 to 1,500)		
S_C	Very dense soil and soft rock	1,200 to 2,500 (360 to 760)	>50	>2,000 (100)
S_D	Stiff soil profile	600 to 1,200 (180 to 360)	15 to 50	1,000 to 2,000 (50 to 100)
S_E	Soft soil profile	<600 (180)	<15	<1,000 (50)
S_F	Soil requiring site-specific evaluation.			

(From UBC 1997, Table 16-J.)



Journal of Environmental and Engineering Geophysics
Volume 10, Issue 2, Jun 2005

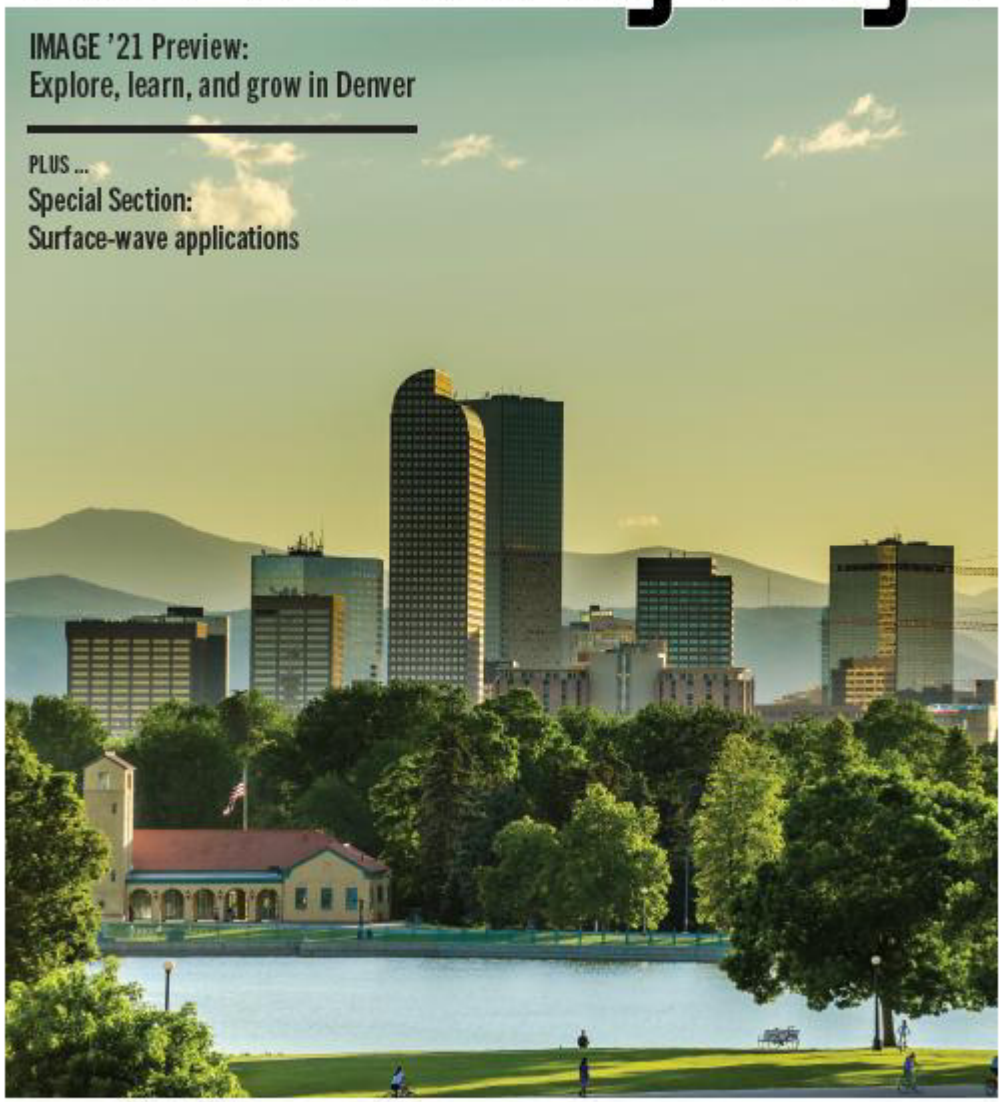
MASW, The Wave of the Future
Editorial

Doug Crice
Geostuff
12996 Somerset Drive
Grass Valley, CA 95945 U.S.A.
Email: dcrice@geostuff.com
http://www.geostuff.com

The Leading Edge®

IMAGE '21 Preview:
Explore, learn, and grow in Denver

PLUS ...
Special Section:
Surface-wave applications



SEG SOCIETY OF EXPLORATION GEOPHYSICISTS

August 2021 · Volume 40, No. 8
ISSN 1070-485X

Métodos sísmicos que utilizam as ondas de superfície

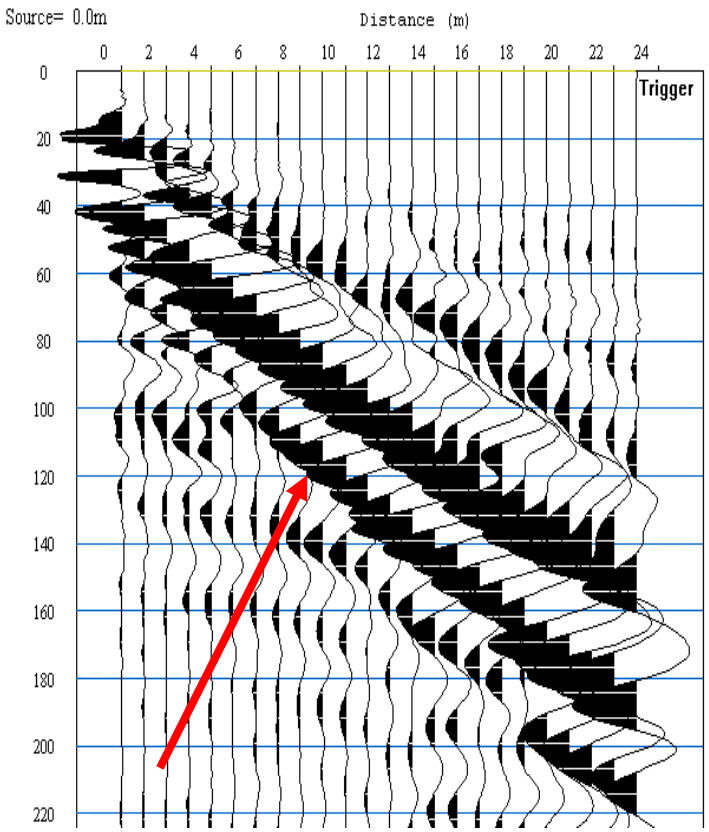
- Baseia-se na natureza dispersiva das ondas de superfície (Rayleigh / Love) em um meio heterogêneo estratificado

- Fornecem o perfil (1D) de velocidade da onda cisalhante (V_S x profundidade)

MASW

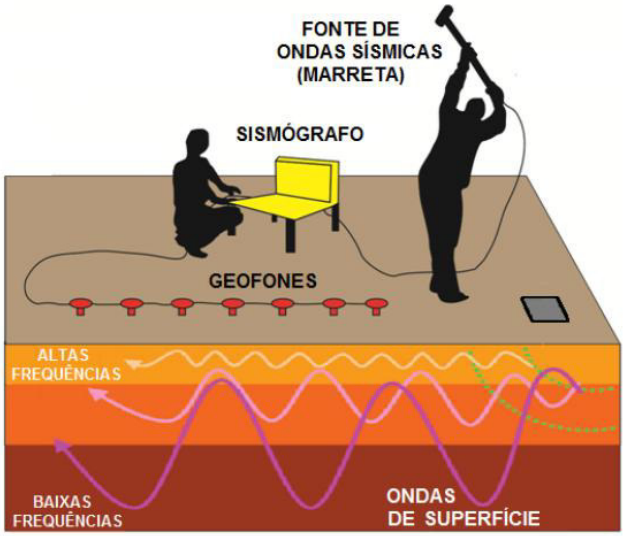
- As velocidades das ondas de superfície variam em função da sua frequência, V=V(*f*), isto é, são **dispersivas**

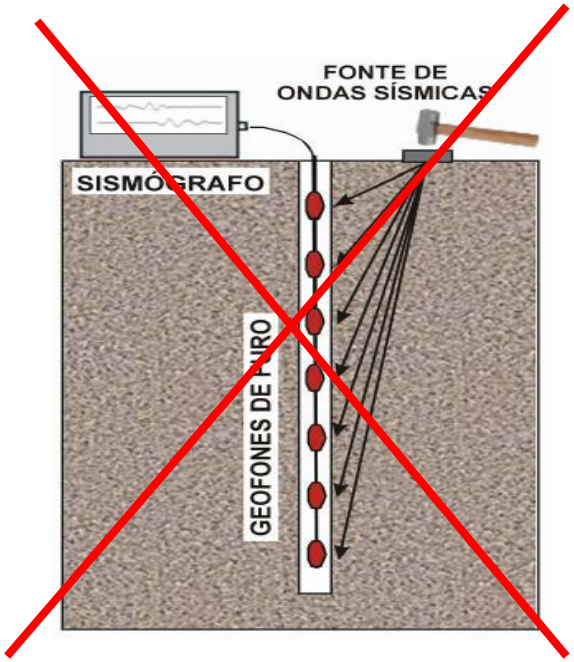
- Na geração de ondas compressionais (ex., impacto de uma marreta), mais de 2/3 da energia gerada é transmitida sob a forma de ondas de Rayleigh



Vantagens de se utilizar o MASW:

I) É um método de superfície





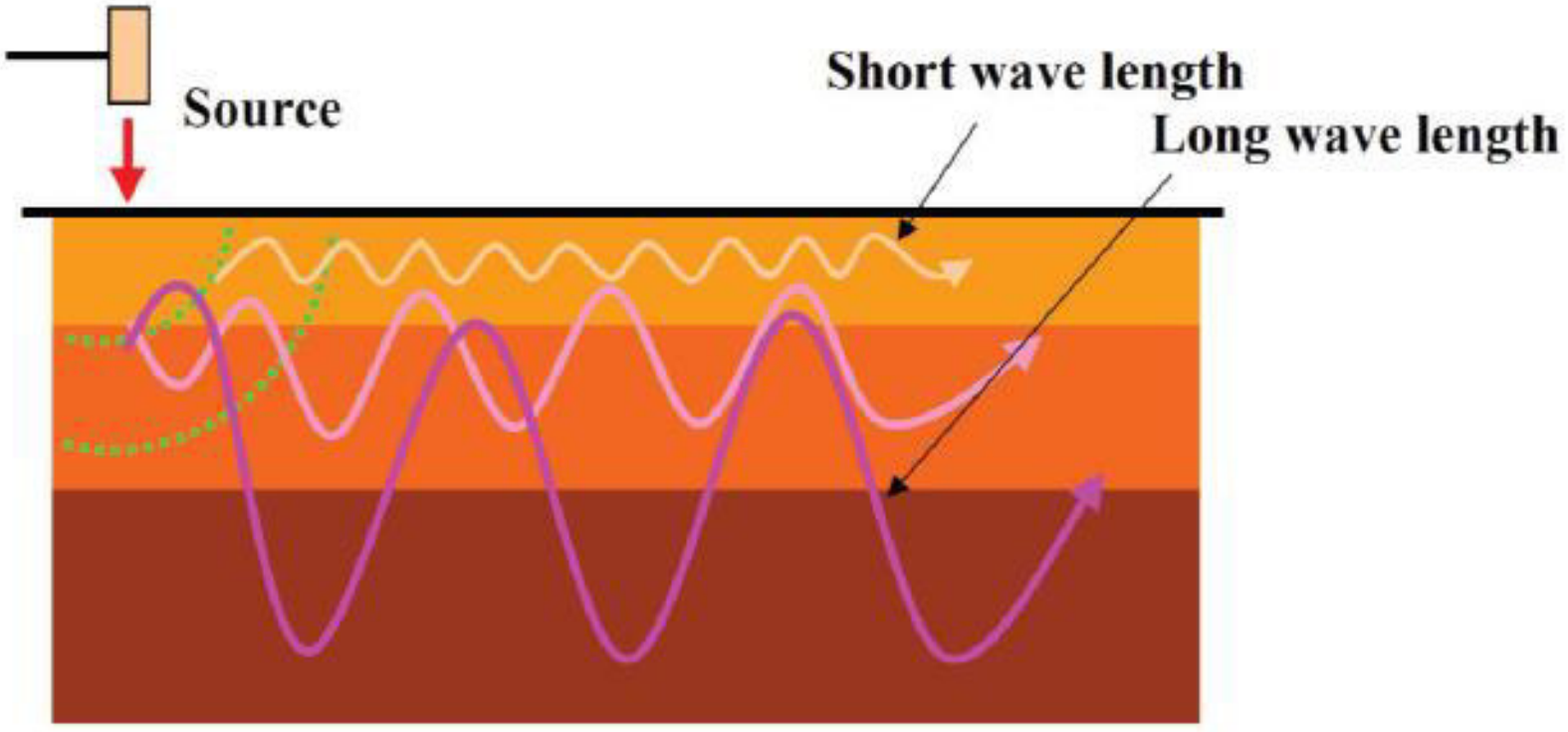
II) É possível realizar levantamentos em locais com presença de ruídos (situação que muitas vezes impossibilitam a execução de um ensaio de Sísmica de Refração, por exemplo)

MASW to Investigate Subsidence in the Tampa, Florida Area

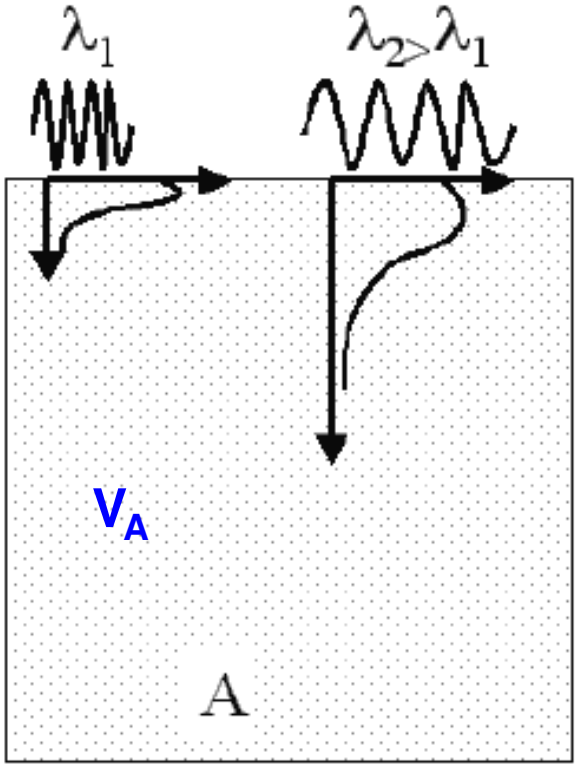
Richard D. Miller
Jianghai Xia
Choon B. Park

Kansas Geological Survey
1930 Constant Avenue
Lawrence, Kansas 66047

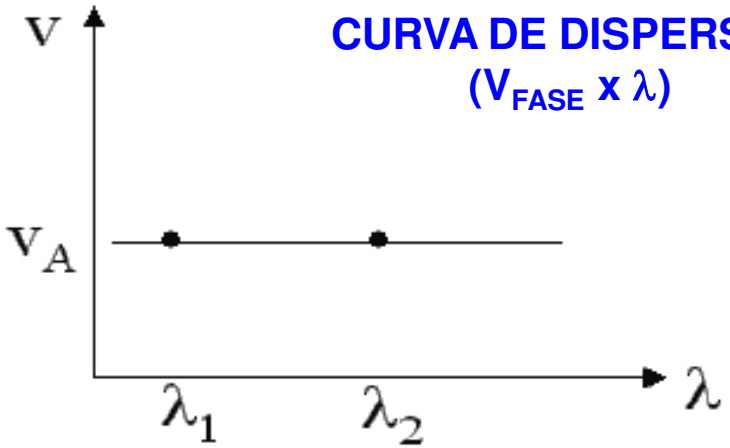
FREQUÊNCIA X PROFUNDIDADE



Em um meio homogêneo as ondas Rayleigh não apresentam dispersão

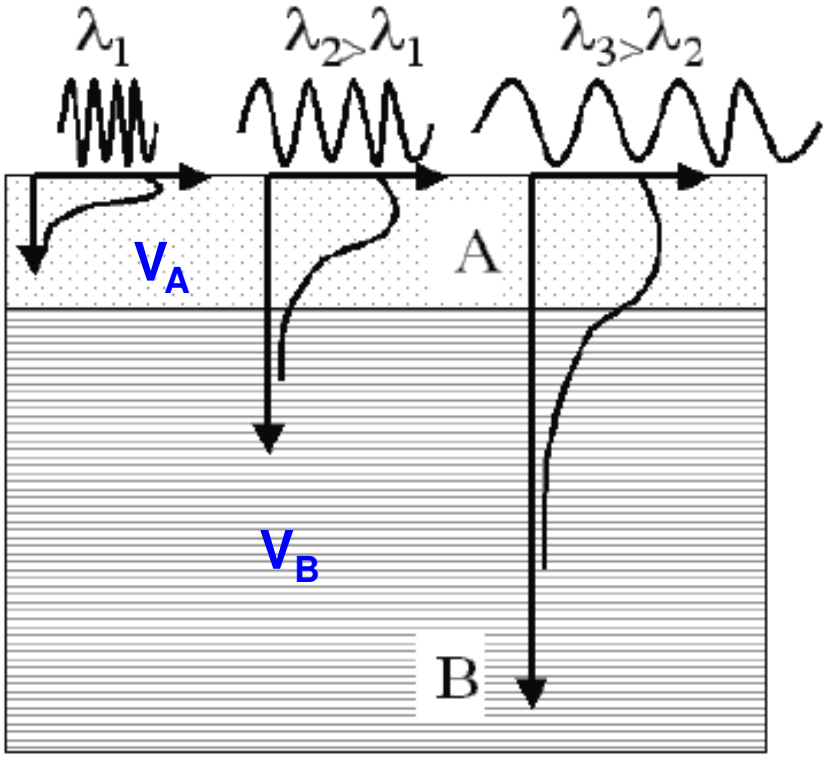


MEIO HOMOGÊNEO



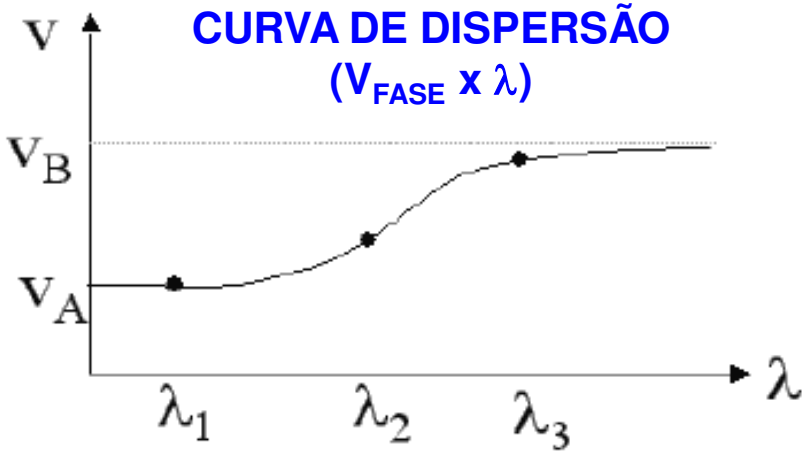
CURVA DE DISPERSÃO
(V_{FASE} x λ)

Contudo, em um meio onde a ρ e as velocidades sísmicas variam com a profundidade, elas tornam-se dispersivas

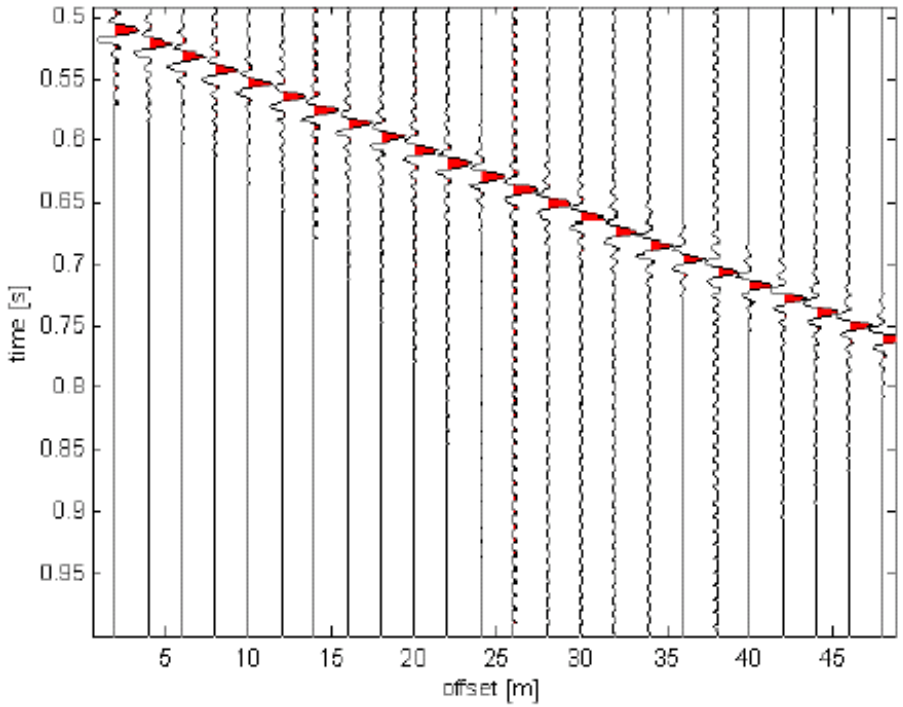


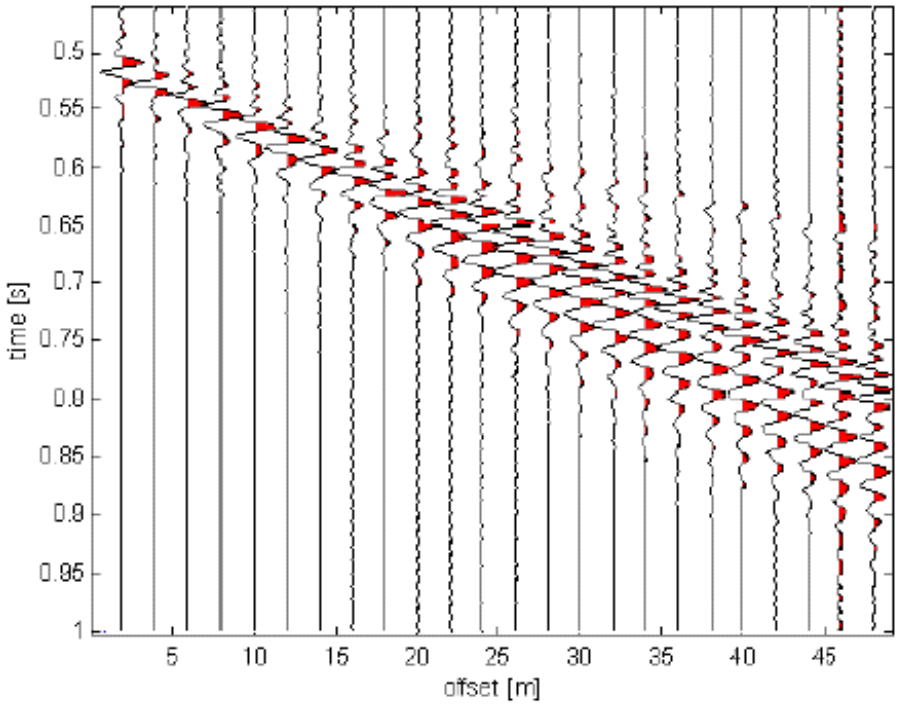
MEIO HETEROGÊNEO

$V_B > V_A$



CURVA DE DISPERSÃO
(V_{FASE} x λ)





MEIO HOMOGÊNEO

↓

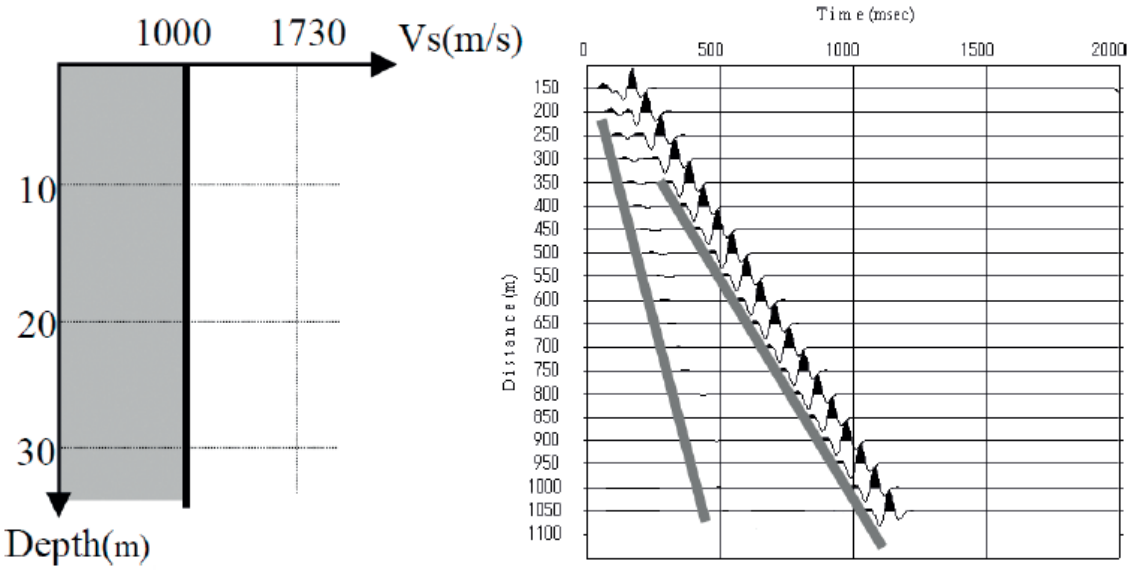
SEM DISPERSÃO
(wavelet não se modifica)

MEIO HETEROGÊNEO

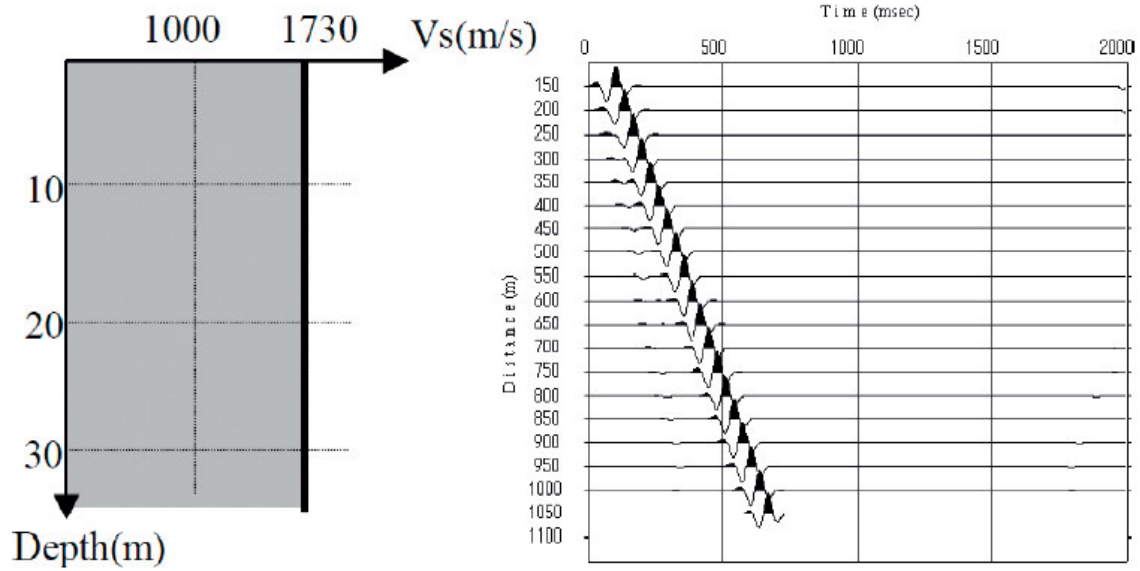
↓

DISPERSÃO

MEIO HOMOGÊNEO ⇒ NÃO OCORRE O FENÔMENO DA DISPERSÃO

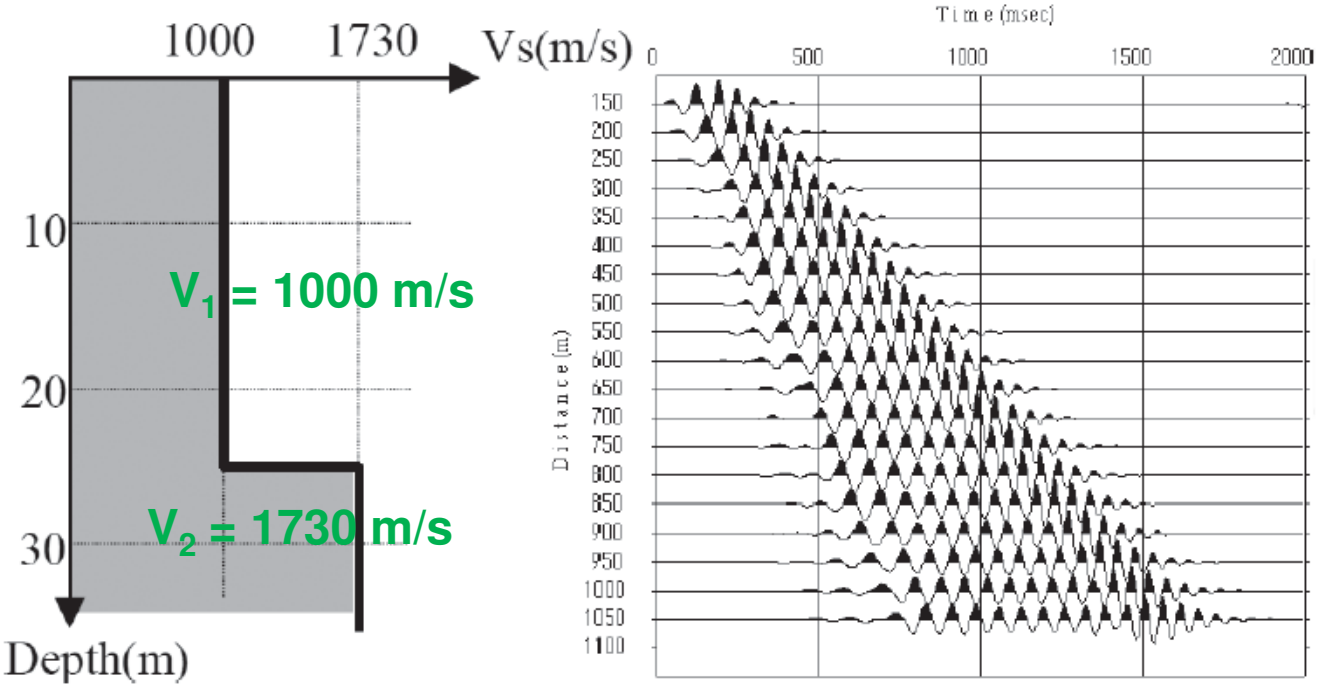


V = 1000 m/s

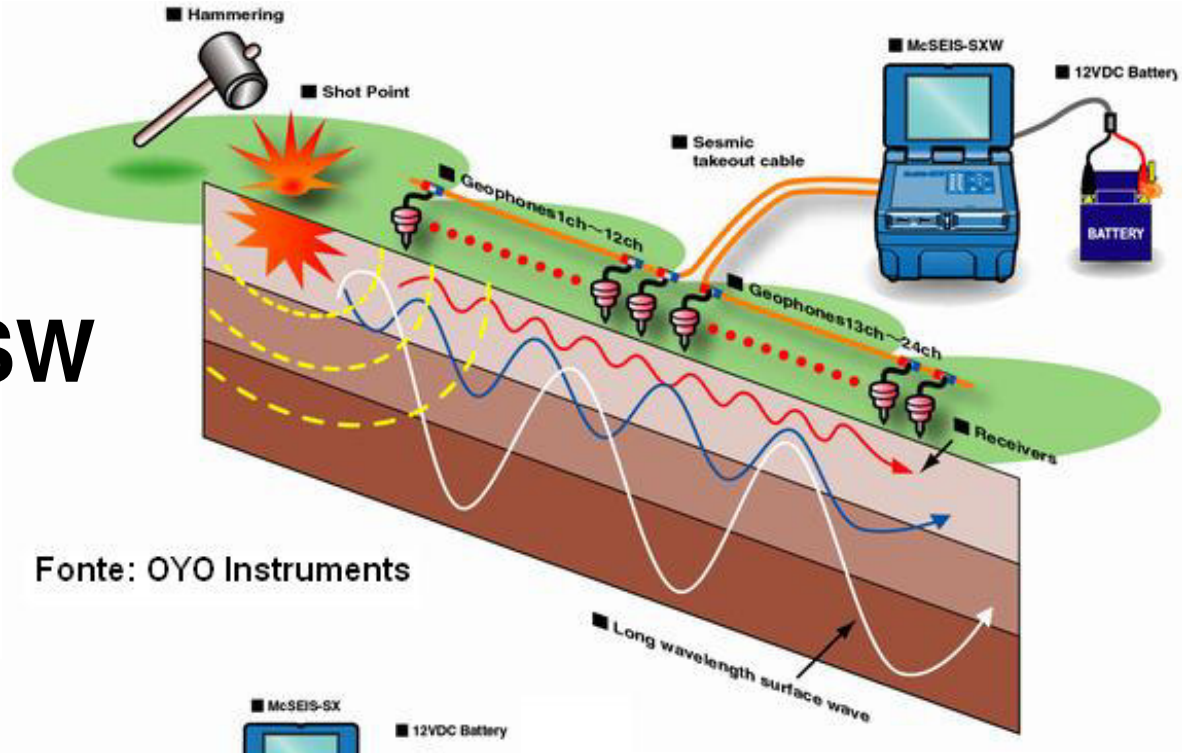


V = 1730 m/s

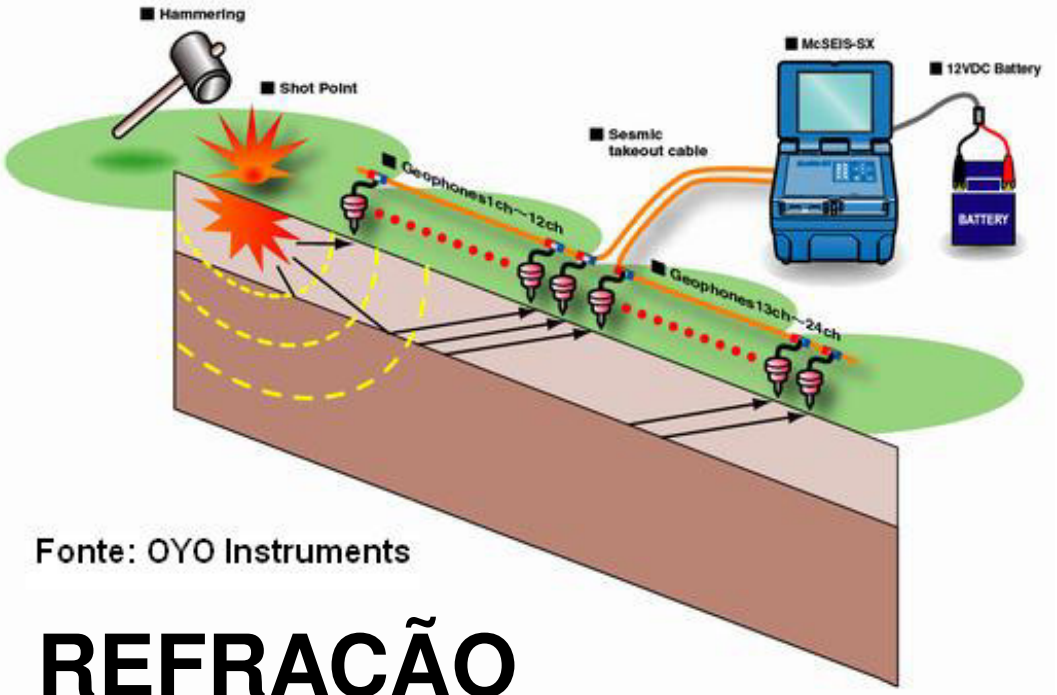
MEIO HETEROGÊNEO ⇒ OCORRE O FENÔMENO DA DISPERSÃO



MASW



Fonte: OYO Instruments



Fonte: OYO Instruments

REFRAÇÃO

⇒ Pode ser utilizado o mesmo arranjo

(mudando apenas alguns parâmetros)

Parâmetros de campo

Fonte: http://www.masw.com/index.html

Recommended Values in ()

Depth (Z_{max})[1] (m)	Source (S)[2] (lb)	Receiver (R)[3] (Hz)	Receiver Spread (RS) (m)				SR Move[6] (dx)			Recording[8]				
			Length[4] (D)	Source Offset[5] (X_1)	Receiver Spacing (dx)		Lateral Resolution[7]			dt[9] (ms)	T[10] (sec)	Vertical Stack[11]		
					24-ch*	48-ch	High	Medium	Low			C	N	VN
≤ 1.0	≤ 1	4.5–100	1–3	0.2–3.0	0.05–0.1	0.02–0.05	1–2	2–4	4–12	0.5–1.0	0.5–1.0	1–3	3–5	5–10
	(1)**	**(40)**	**(2.0)**	**(0.4)**	**(0.1)**	**(0.05)**	**(1)**	**(2)**	**(4)**	**(0.5)**	**(0.5)**	**(3)**	**(5)**	**(10)**
1–5	1–5	4.5–40	1–15	0.2–15	0.05–0.6	0.02–0.3	1–2	2–4	4–12	0.5–1.0	0.5–1.0	1–3	3–5	5–10
	(5)	**(10)**	**(10)**	**(2)**	**(0.5)**	**(0.25)**	**(1)**	**(2)**	**(4)**	**(0.5)**	**(0.5)**	**(3)**	**(5)**	**(10)**
5–10	5–10	≤ 10	5–30	1–30	0.2–1.2	0.1–0.6	1–2	2–4	4–12	0.5–1.0	0.5–1.0	1–3	3–5	5–10
	(10)	**(4.5)**	**(20)**	**(4)**	**(1.0)**	**(0.5)**	**(1)**	**(2)**	**(4)**	**(0.5)**	**(1.0)**	**(3)**	**(5)**	**(10)**
10–20	≥ 10	≤ 10	10–60	2–60	0.4–2.5	0.2–1.2	1–2	2–4	4–12	0.5–1.0	1.0–2.0	1–3	3–5	5–10
	(20)	**(4.5)**	**(30)**	**(10)**	**(1.5)**	**(1.0)**	**(1)**	**(2)**	**(4)**	**(0.5)**	**(1.0)**	**(3)**	**(5)**	**(10)**
20–30	≥ 10	≤ 4.5	20–90	4–90	0.8–3.8	0.4–1.9	1–2	2–4	4–12	0.5–1.0	1.0–2.0	1–3	3–5	5–10
	(20)	**(4.5)**	**(50)**	**(10)**	**(2.0)**	**(1.5)**	**(1)**	**(2)**	**(4)**	**(1.0)**	**(1.0)**	**(3)**	**(5)**	**(10)**
30–50	≥ 10 **(20)**	≤ 4.5	30–150	6–150	1.2–6.0	0.6–3.0	1–2	2–4	4–12	0.5–1.0	1.0–3.0	1–3	3–5	5–10
	or passive	**(4.5)**	**(70)**	**(15)**	**(3.0)**	**(2.0)**	**(1)**	**(2)**	**(4)**	**(1.0)**	**(1.0)**	**(3)**	**(5)**	**(10)**
> 50	≥ 10 **(20)**	≤ 4.5	> 50	> 10	> 2.0	> 1.0	1–2	2–4	4–12	0.5–1.0	≥ 1.0	1–3	3–5	5–10
	or passive	**(4.5)**	**(150)**	**(30)**	**(6.0)**	**(4.0)**	**(1)**	**(2)**	**(4)**	**(1.0)**	**(2.0)**	**(3)**	**(5)**	**(10)**

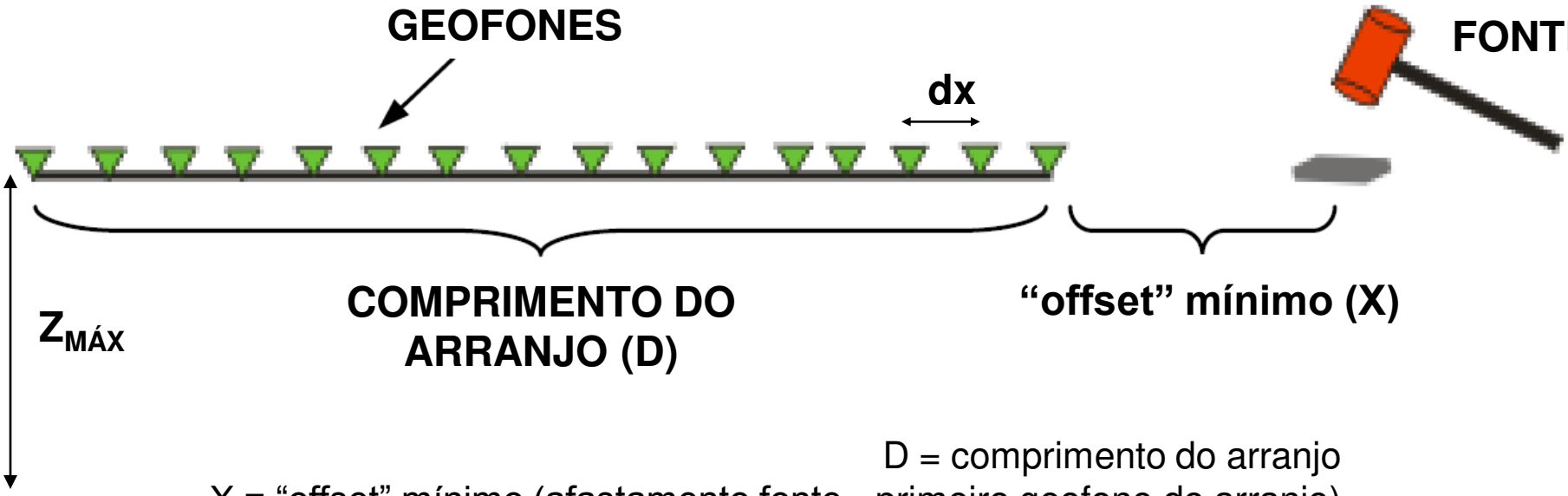
Destacam-se

- Frequência natural do geofone
- Espaçamento de geofones (tamanho do arranjo)
- *Offset* (distância fonte/primeiro geofone)
- Janela de tempo utilizada

Típicos parâmetros de campo utilizados no MASW

- Fonte: marreta (5 kg ou 8 kg)
- Receptor: geofone (componente vertical) de 4,5 Hz
- Sismógrafo: 24 ou 48 canais
- Espaçamento entre geofones: 0,5 m a 2,0 m
- Janela de tempo: 500 ms a 1000 ms (0,5 s a 1,0 s)
- *Stacks* (número de marretadas): 3 a 5

⇒ **Profundidade típicas alcançadas (método ativo, utilizando marreta como fonte de ondas sísmicas): até 30 m**

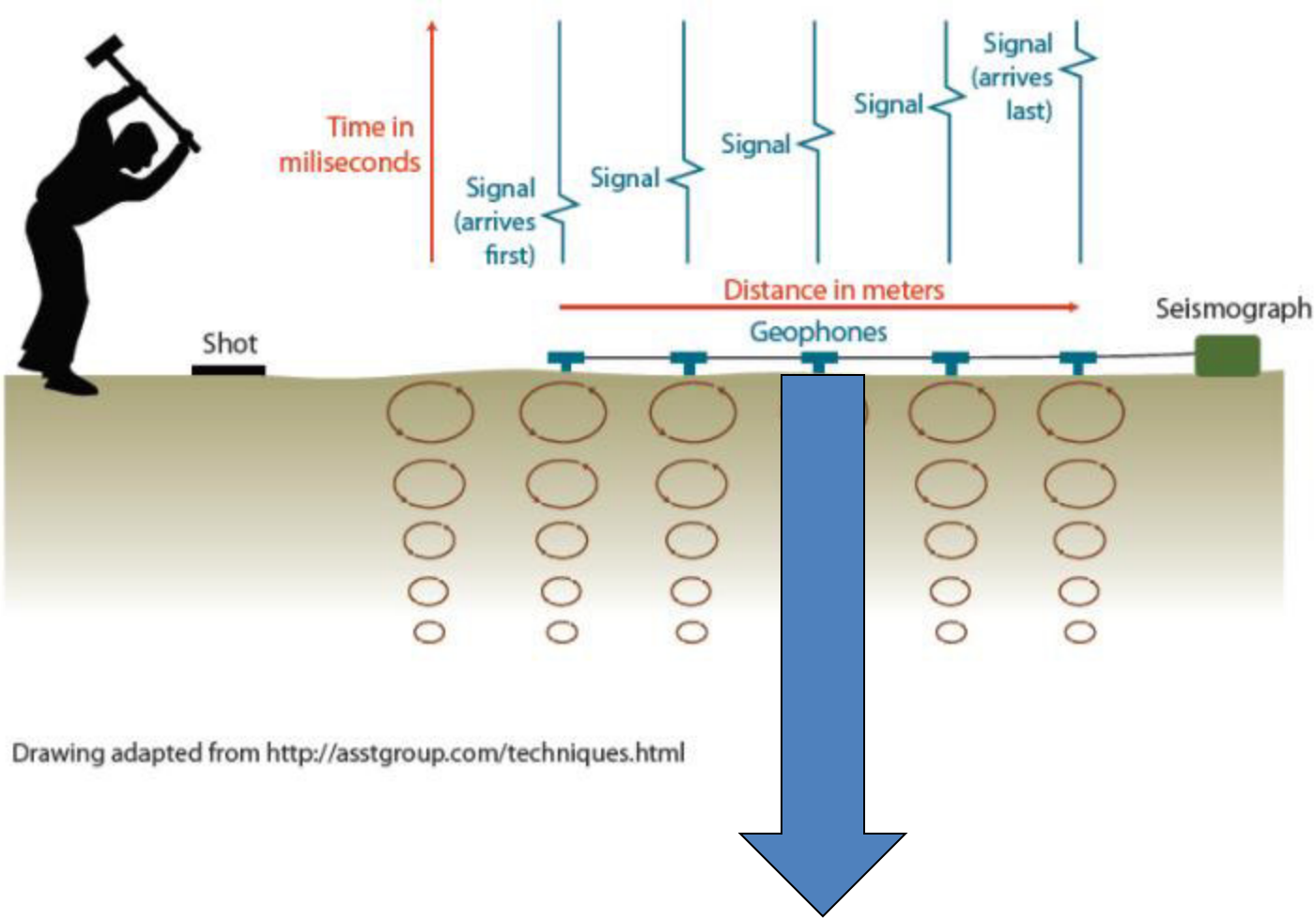


D = comprimento do arranjo
X = “offset” mínimo (afastamento fonte - primeiro geofone do arranjo)
dx = espaçamento entre geofones

Exemplo:

- ✓ Espaçamento entre geofones: 2,0 m
- ✓ Sismógrafo de 24 canais → Comprimento do arranjo (D) = 46 m
- ✓ Profundidade esperada: em torno de 20 m $Z_{MÁX} \approx \frac{D}{2}$
- ✓ Offset mínimo: 4 m, 8 m, 12 m, 16 m

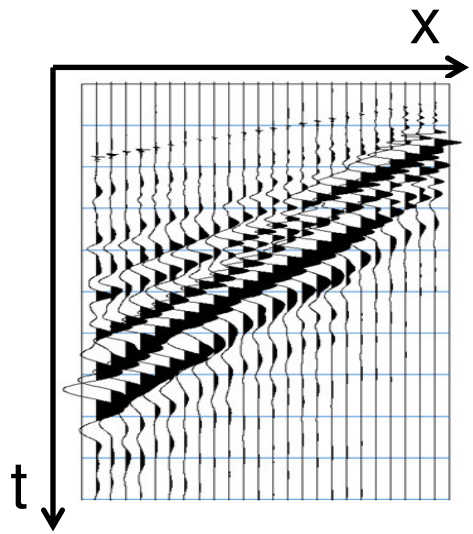
Figure 6. Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) Technique



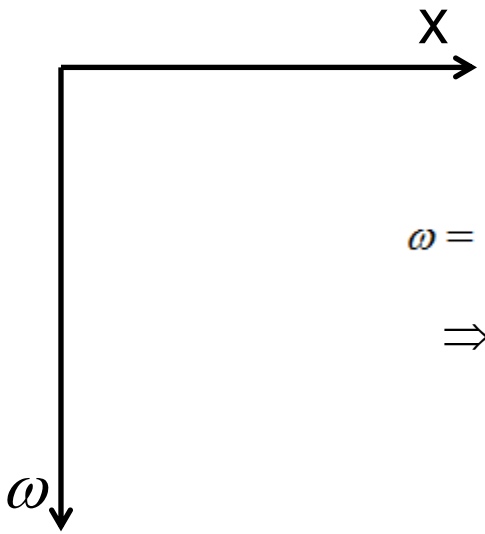
Drawing adapted from http://asstgroup.com/techniques.html

Informação 1D (V_S versus profundidade)
em um ponto atribuído ao centro do arranjo

Do sismograma de campo, é gerada por processos matemáticos (transformação de domínio “tempo x distância” para “velocidade de fase x frequência”, aplicando FFT) uma **imagem de dispersão**

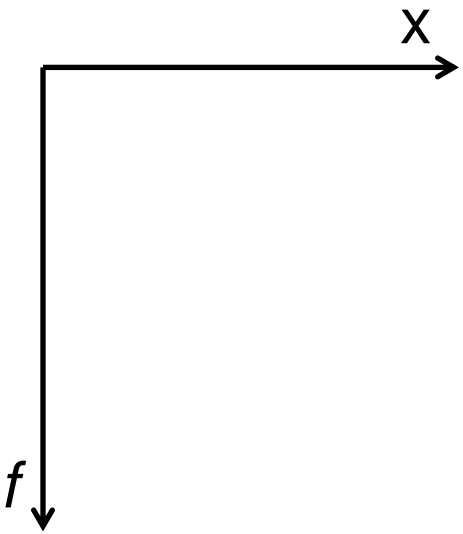


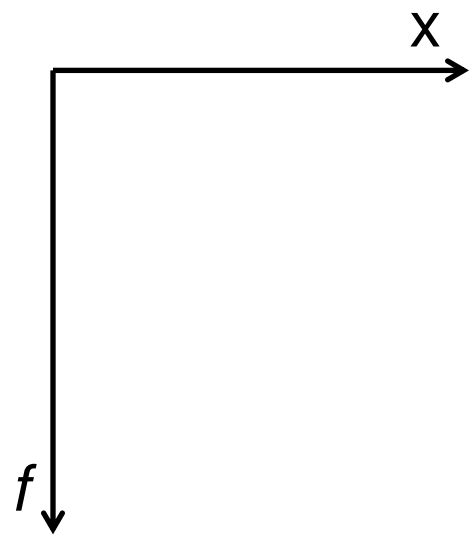
FFT



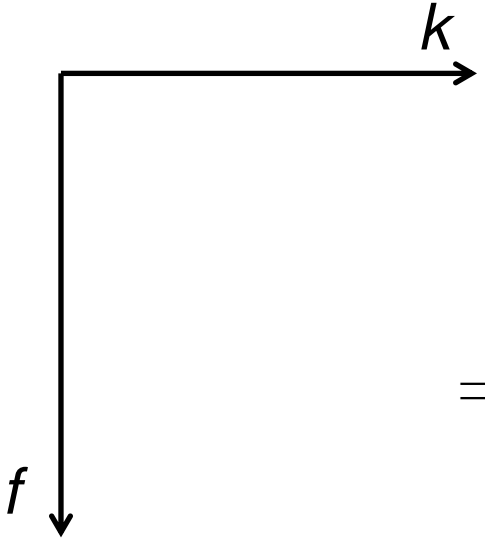
$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

$$\Rightarrow f = \frac{\omega}{2\pi}$$



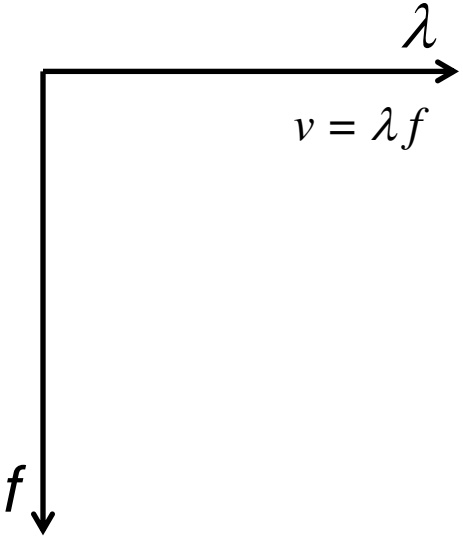


FFT

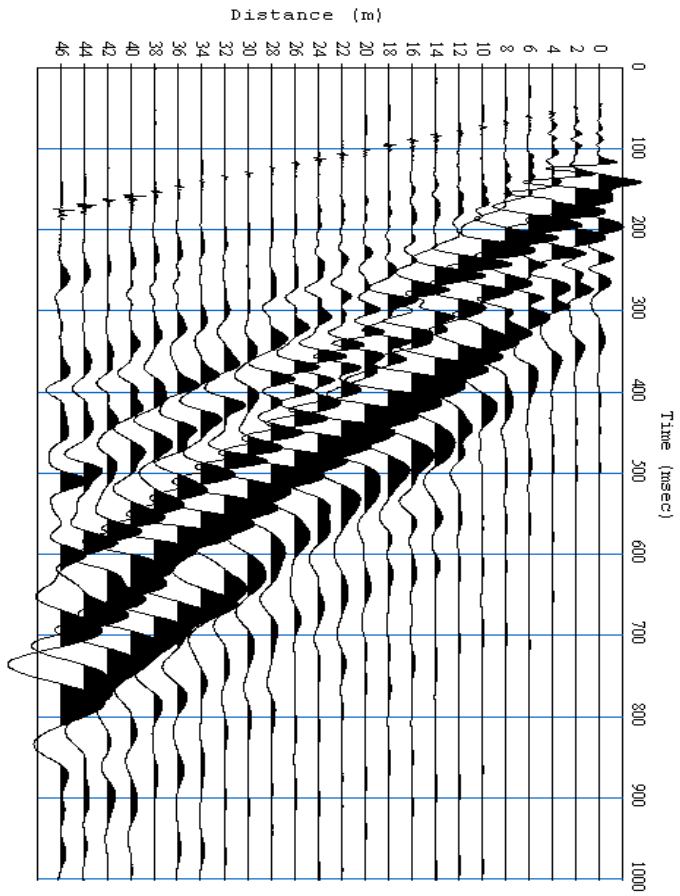


$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{2\pi}{k}$$



$$v = \lambda f$$



Sismograma

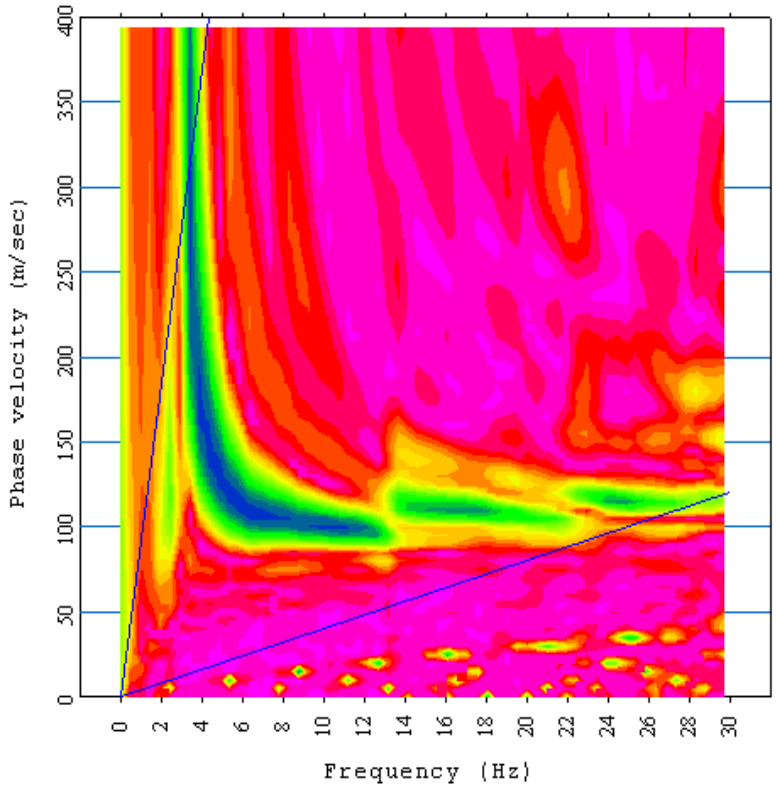
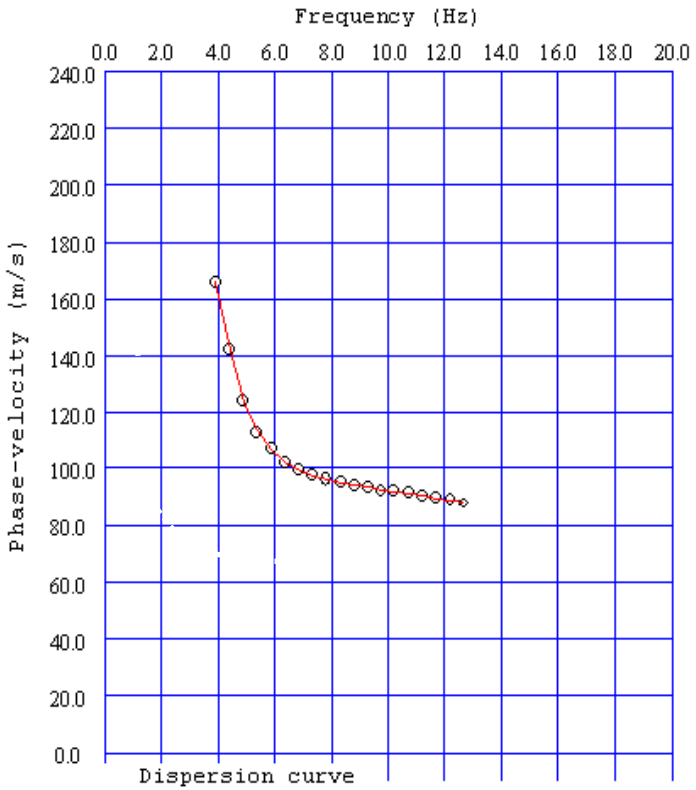


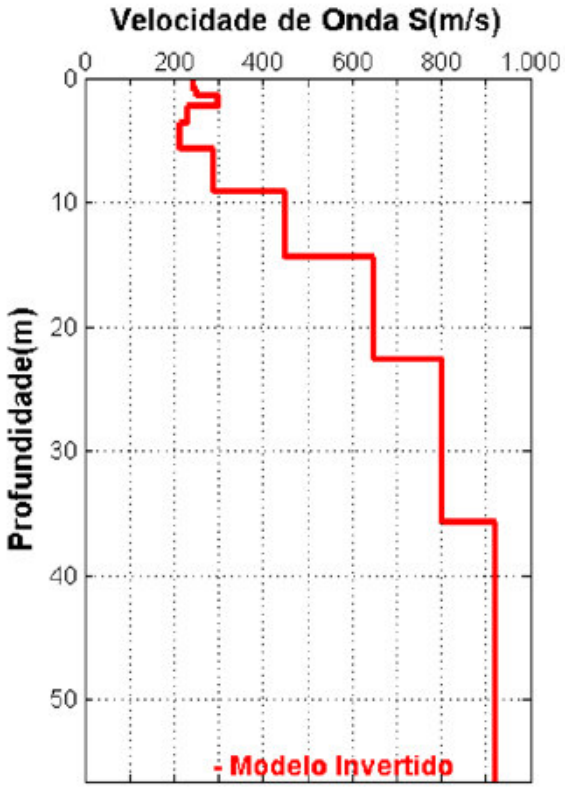
Imagem de dispersão

Processamento matemático obtém o perfil de VS versus a profundidade, a partir da inversão da **curva de dispersão**

Curva de dispersão



Modelo VS x profundidade



MASW 2D: resultado de diversos levantamentos MASW 1D ao longo de uma linha

S. Donohue et al./Soil & Tillage Research 128 (2013) 54–60

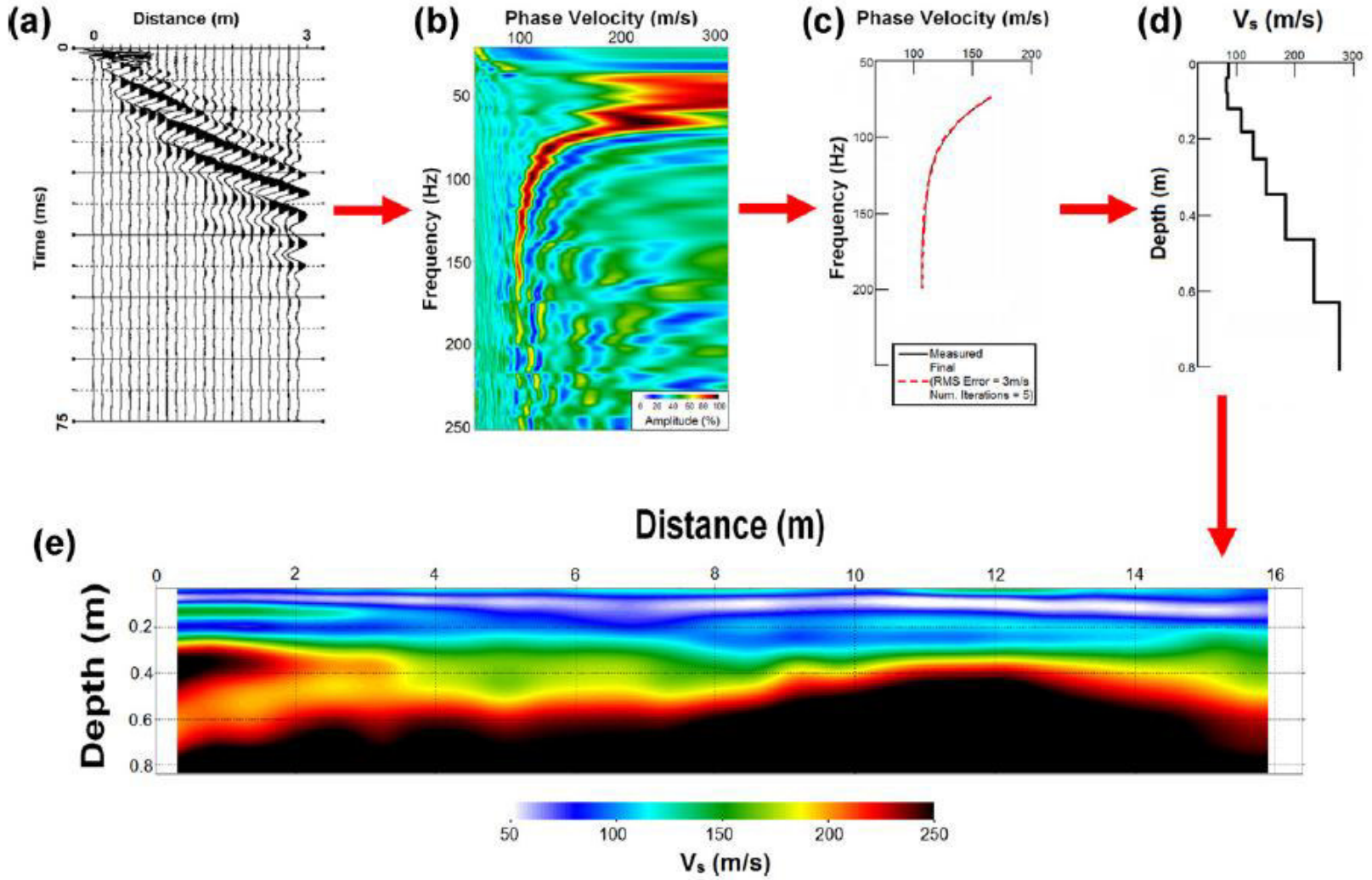
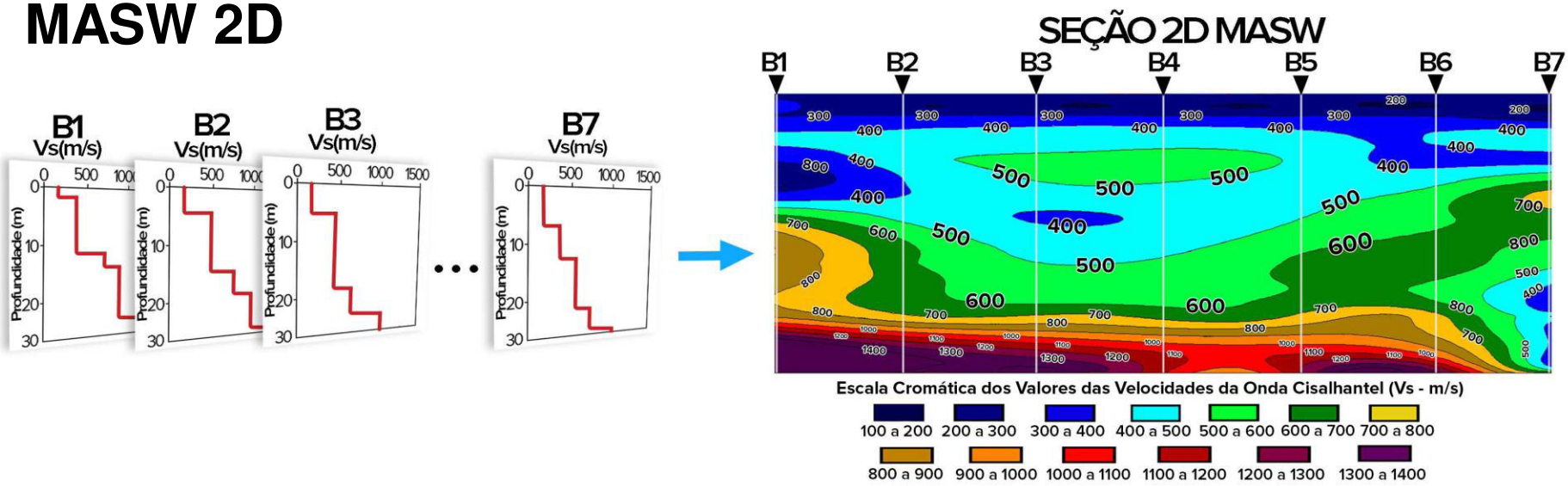
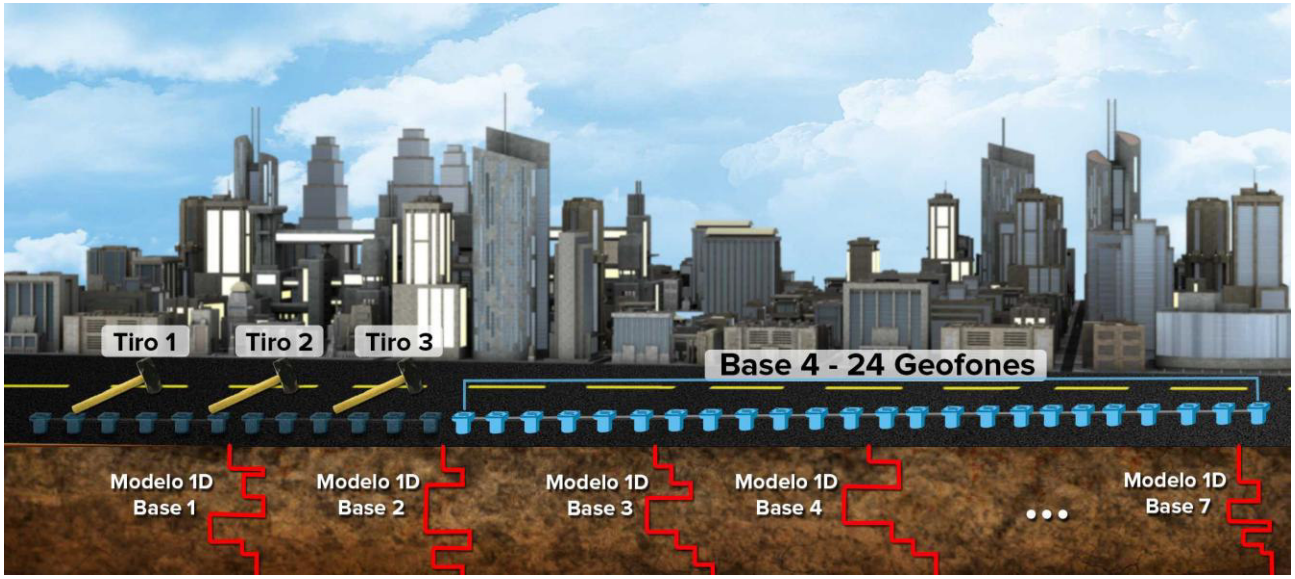


Fig. 1. The various stages involved in producing a 2D MASW profile, (a) raw seismic data, (b) dispersion curve image, (c) and (d) inversion and production of a 1D V_s-depth profile and (e) 2D V_s image combining inverted 1D V_s profiles.

MASW 2D



Composição das várias bases MASW 1D (B1 a B7)
para gerar o perfil 2D executado ao longo de um alinhamento



Fonte: Alta Resolução

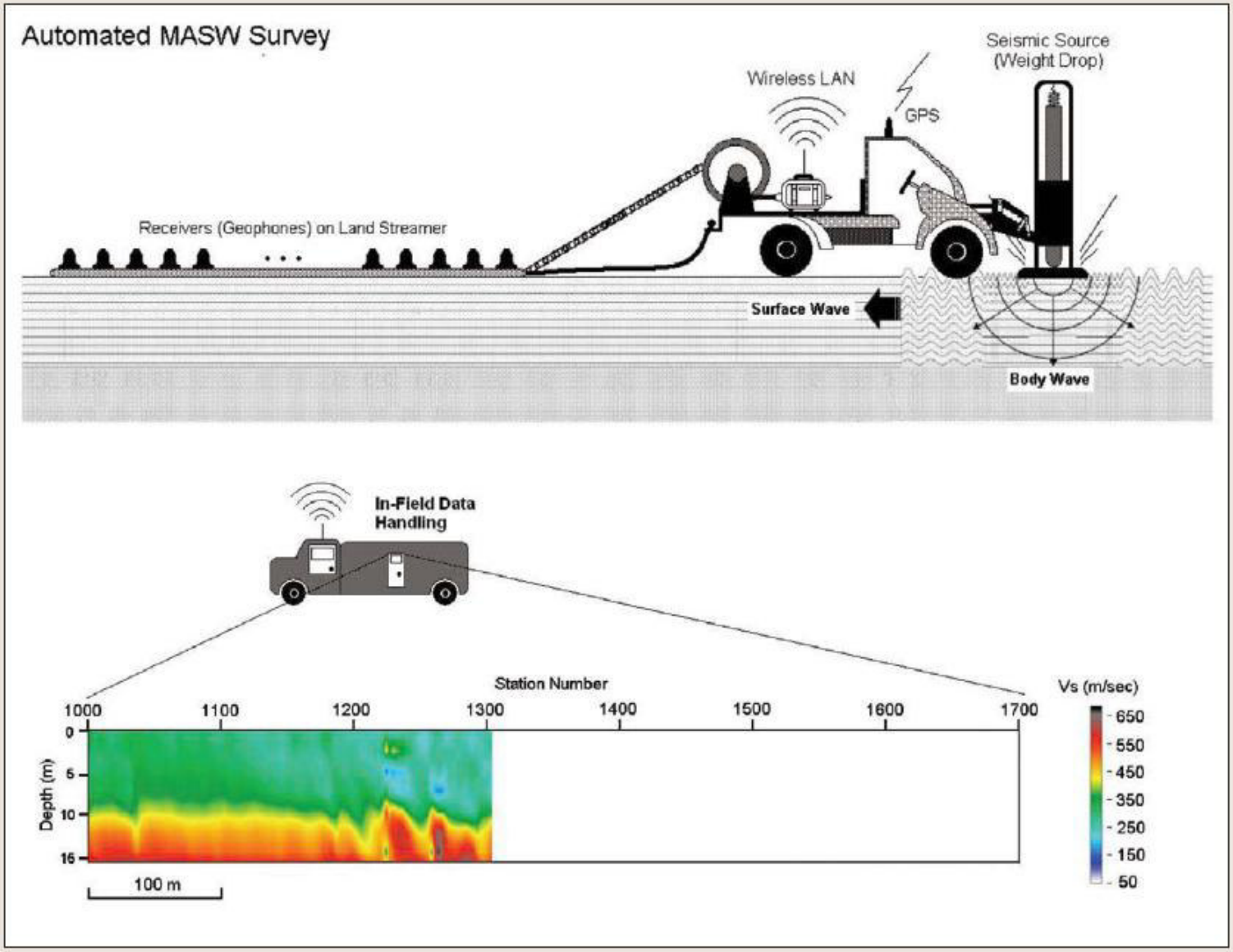
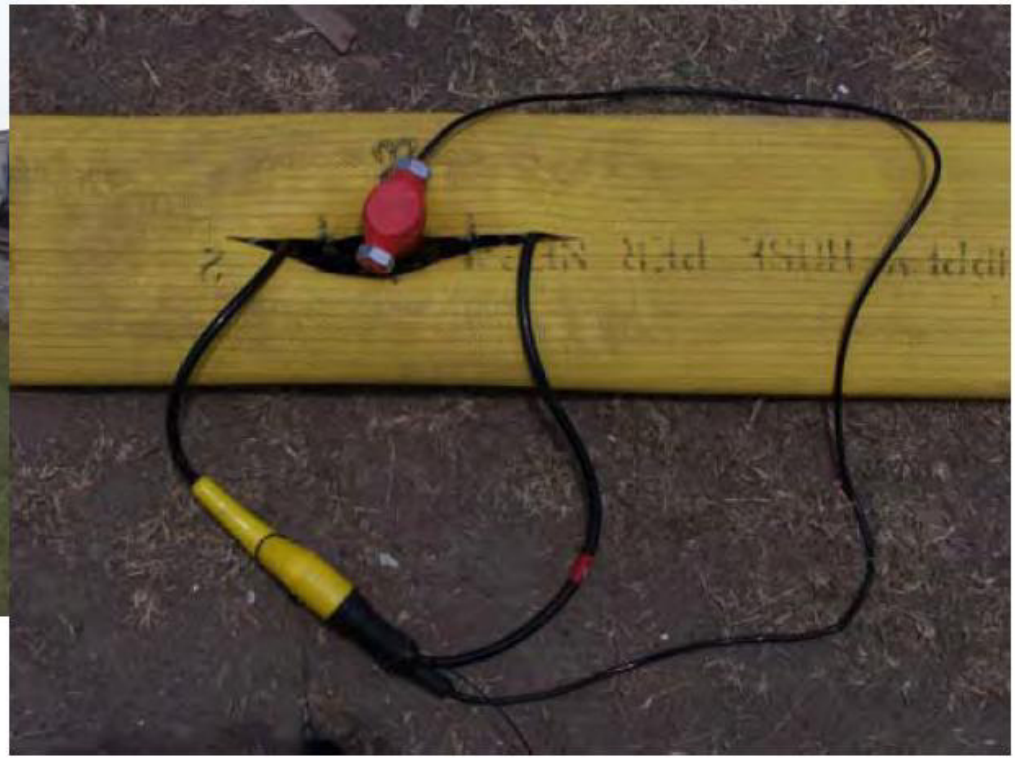


Figure 7. Schematic of a prototype field system recently developed and tested at KGS illustrating the mobility and effectiveness of the routine MASW survey in the near future.

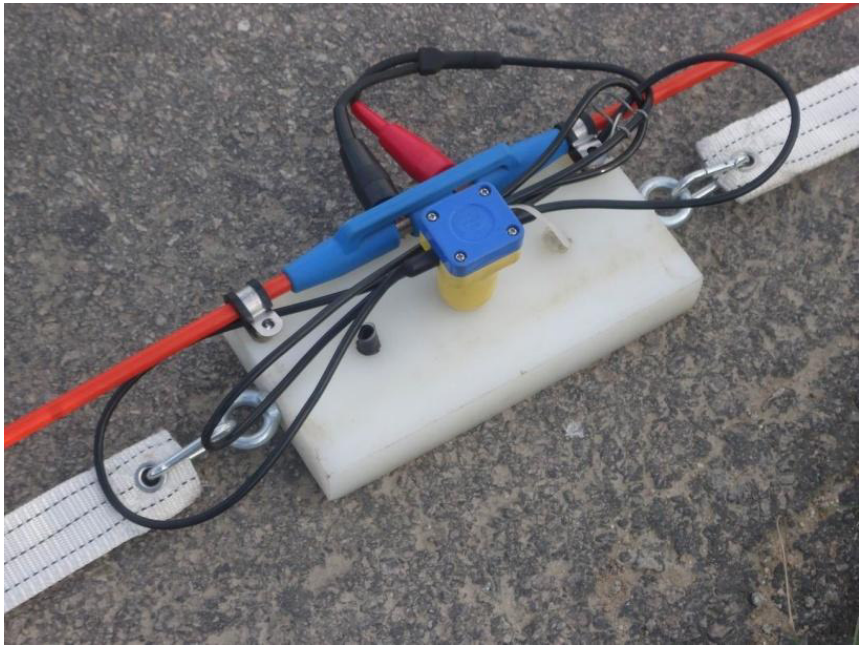
LEVEE EVALUATION USING MASW: PRELIMINARY FINDINGS FROM THE CITRUS LAKEFRONT LEVEE, NEW ORLEANS, LOUISIANA

John W. Lane Jr., U.S. Geological Survey, Storrs, CT
Julian Ivanov, Kansas Geological Survey, Lawrence, KS
Frederick D. Day-Lewis, U.S. Geological Survey, Storrs, CT
Drew Clemens, U.S. Army Corps of Engineers, Concord, MA
Robert Patev, U.S. Army Corps of Engineers, Concord, MA
Richard D. Miller, Kansas Geological Survey, Lawrence, KS

Fonte sísmica: queda de peso acelerada



Geofone de 4,5 Hz



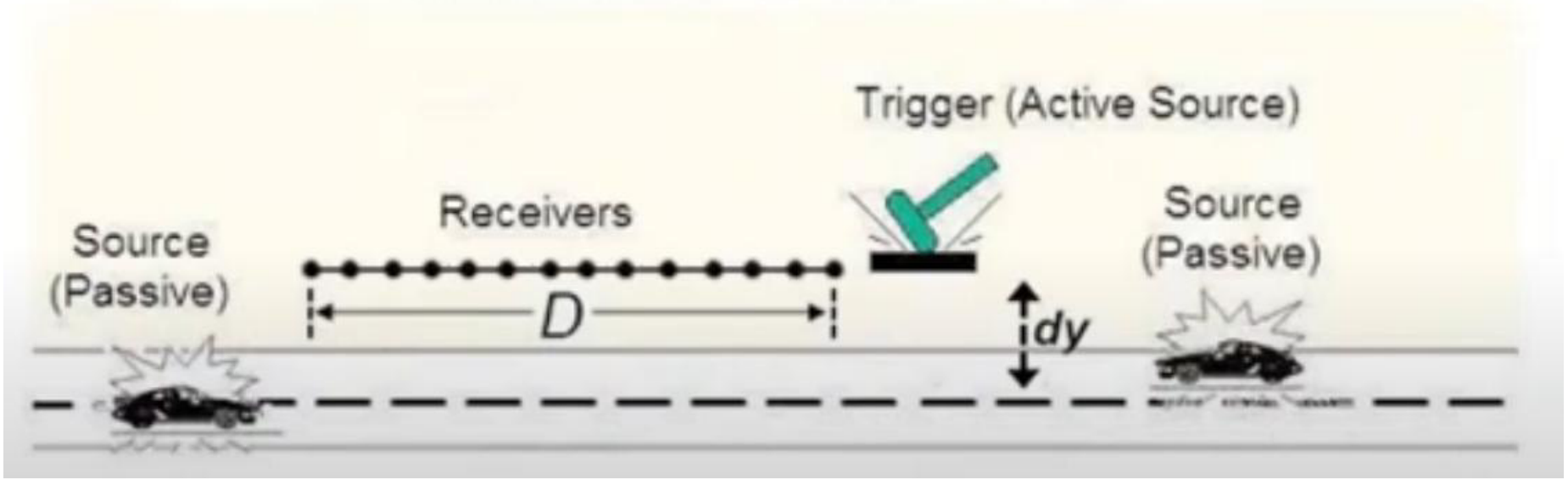
Fonte: Alta Resolução

MASW ativo x passivo

MASW ativo $\rightarrow$ Profundidades $\cong$ 1 m a 20 m

MASW passivo $\rightarrow$ Profundidades $\cong$ 20 m a 100 m

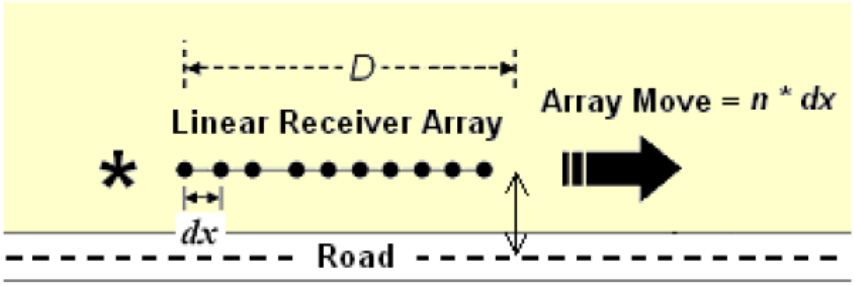
Passive Roadside MASW



Fonte: Alessandro Cirone

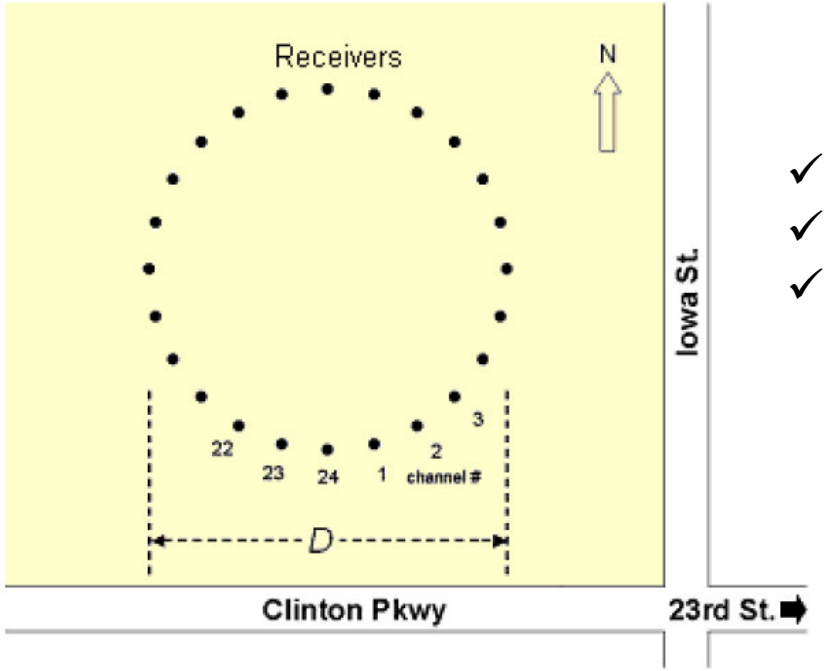
MASW passivo

Passive Roadside



* : Impact point to trigger recording

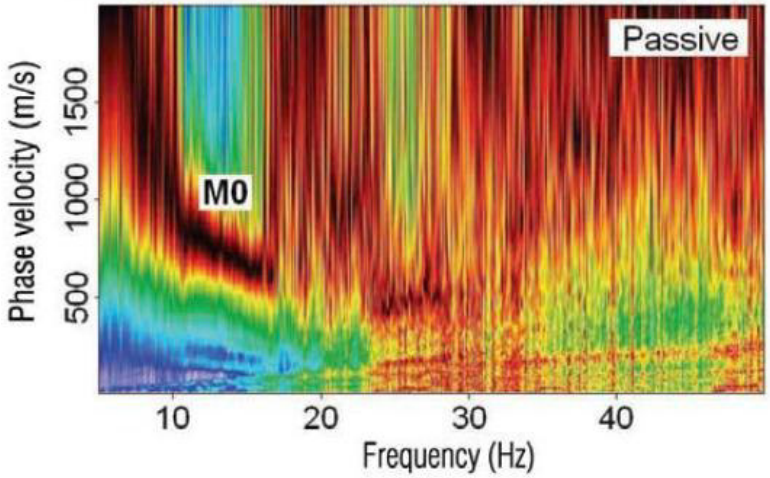
Passive Remote



- ✓ Resultados menos precisos no modelo Vs x Z
- ✓ Levantamento de campo mais simples
- ✓ Necessidade de menos espaço físico para a aquisição de dados (arranjo em linha e // à rua ou à rodovia)

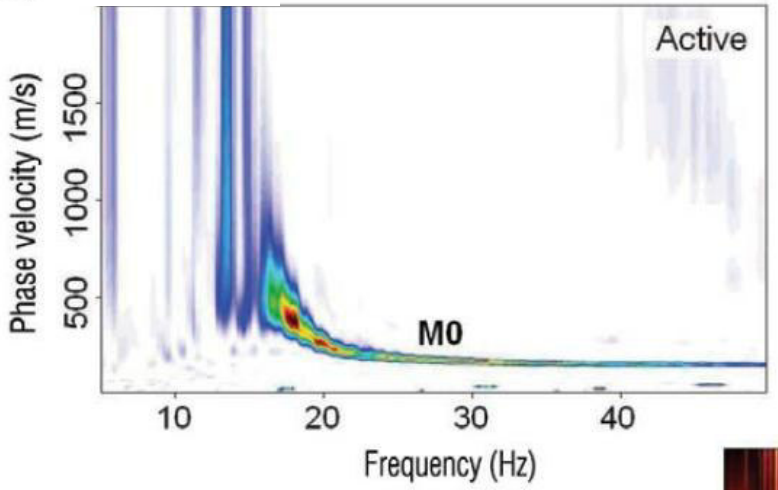
- ✓ Resultados mais precisos no modelo Vs x Z
- ✓ Levantamento de campo mais trabalhoso
- ✓ Necessidade de espaço físico para a aquisição de dados

IMAGENS DE DISPERSÃO (MASW)



Passivo
→ menores *f*, mais profundo

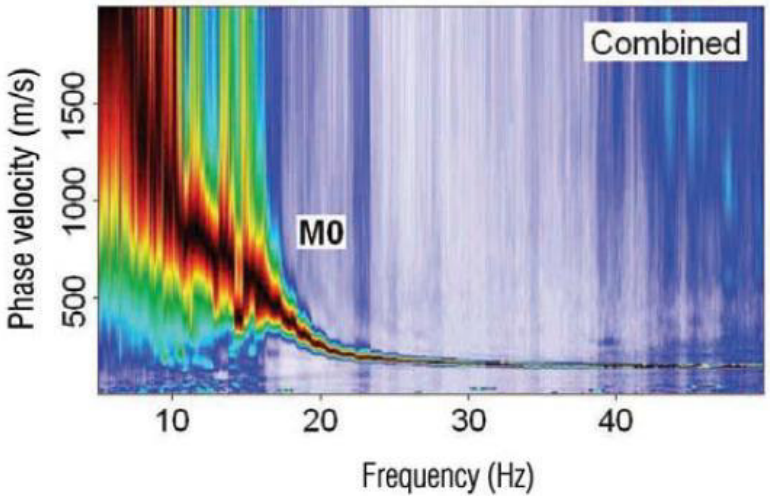
+



Ativo
→ maiores *f*, mais raso

=

Combinado (ativo + passivo)
→ Imagem de dispersão "mais completa"



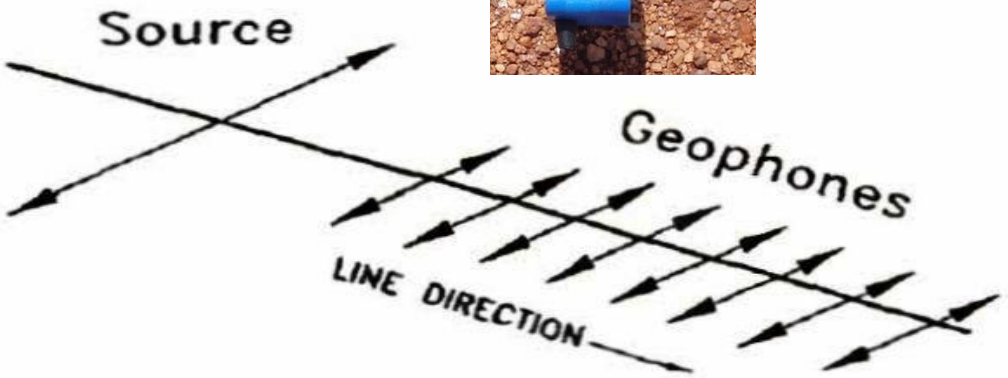
DEPÓSITO DE SOLO MOLE DE SARAPUÍ II, RIO DE JANEIRO - RJ

DEPÓSITO DE SOLO MOLE DE SARAPUÍ II, RIO DE JANEIRO - RJ

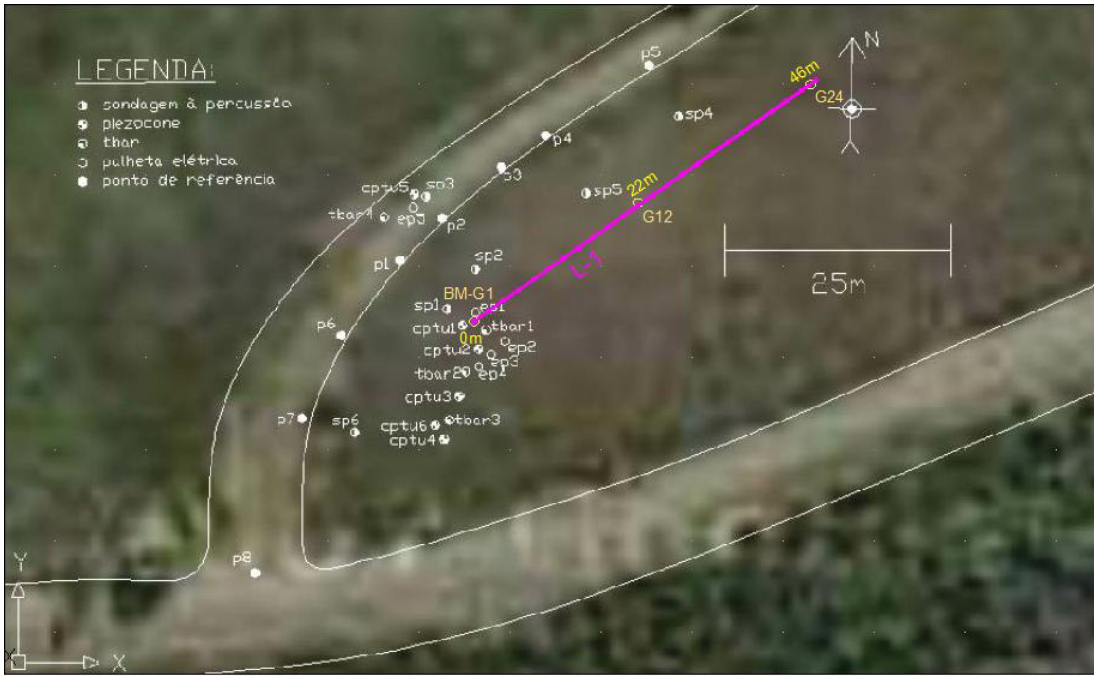
2ª feira, 4 / 2 / 2019

3ª feira, 5 / 2 / 2019

Sísmica de Refração utilizando a onda P e S

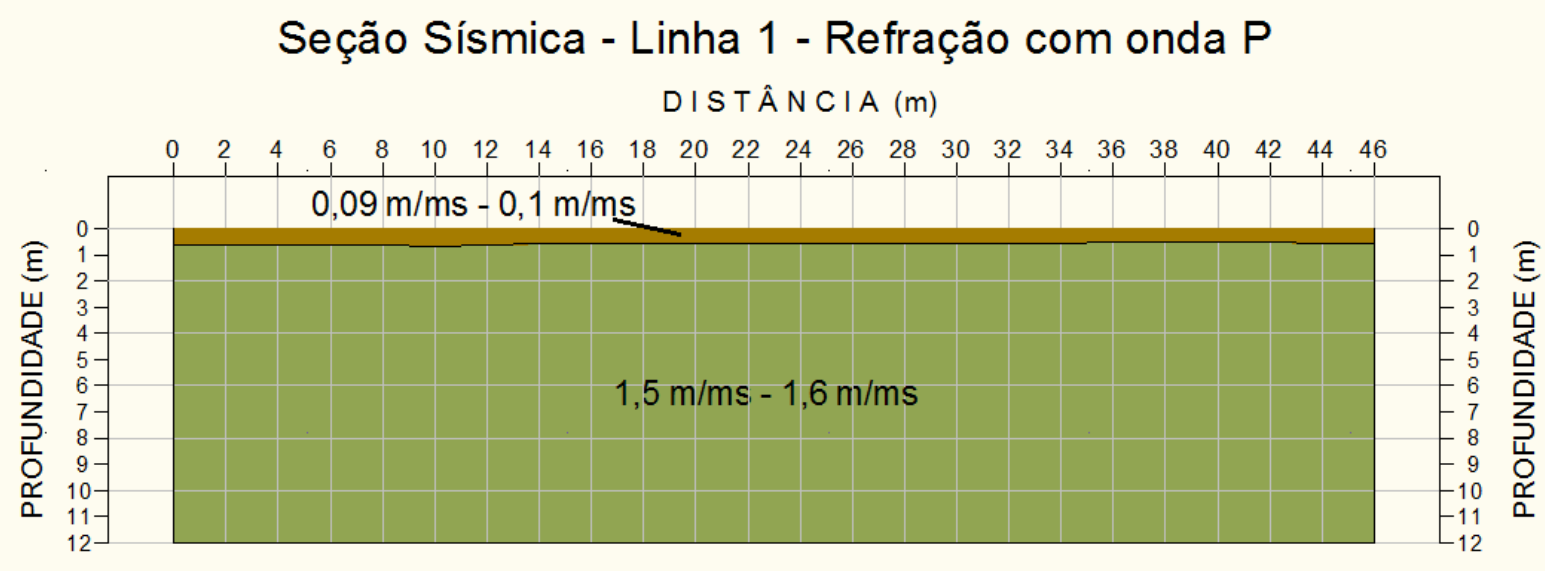


DEPÓSITO DE SOLO MOLE DE SARAPUÍ II, RIO DE JANEIRO - RJ



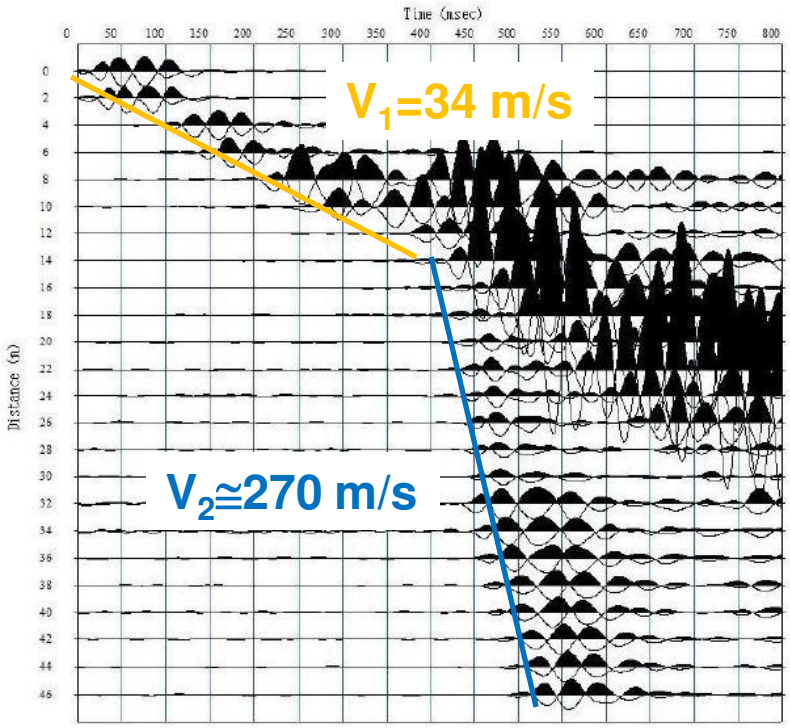
- ✓ **Refração (onda P)**
- ✓ **Refração (onda S)**

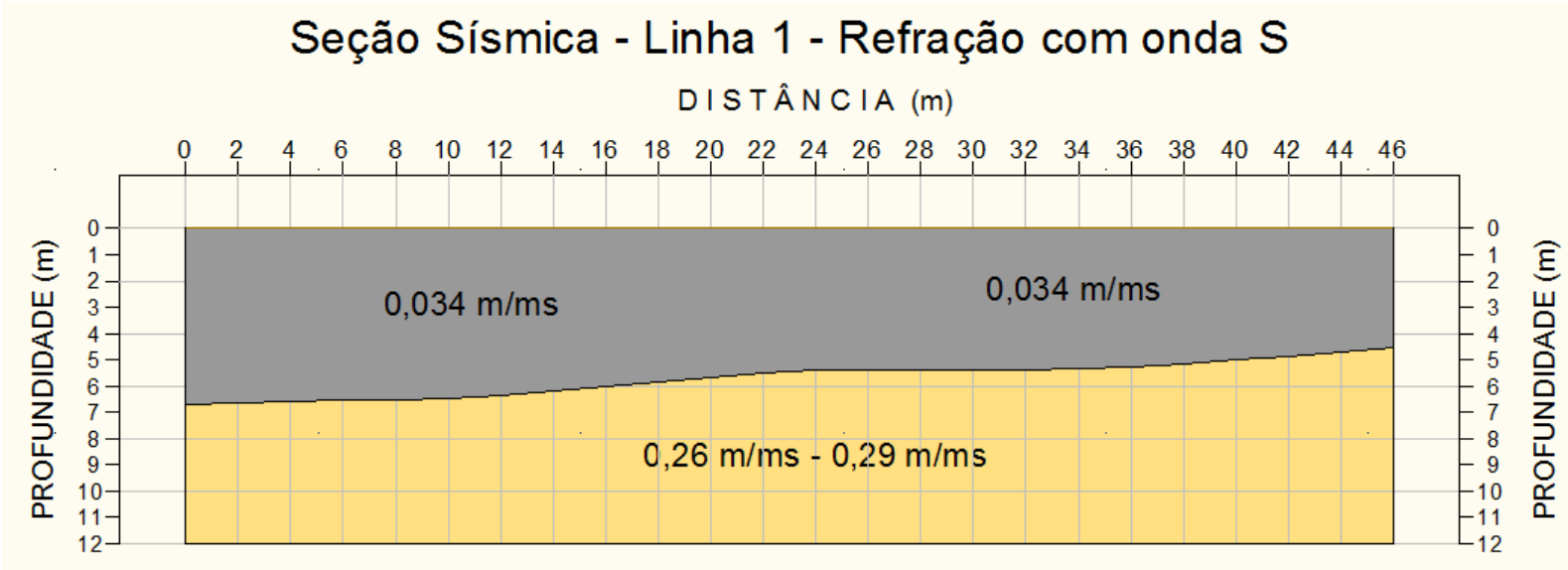
Sísmica de Refração (onda P)



⇒ Onda P não fornece nenhuma informação abaixo do N.A.

Sísmica de Refração (onda S)





DEPÓSITO DE SOLO MOLE DE SARAPUÍ II, RIO DE JANEIRO - RJ

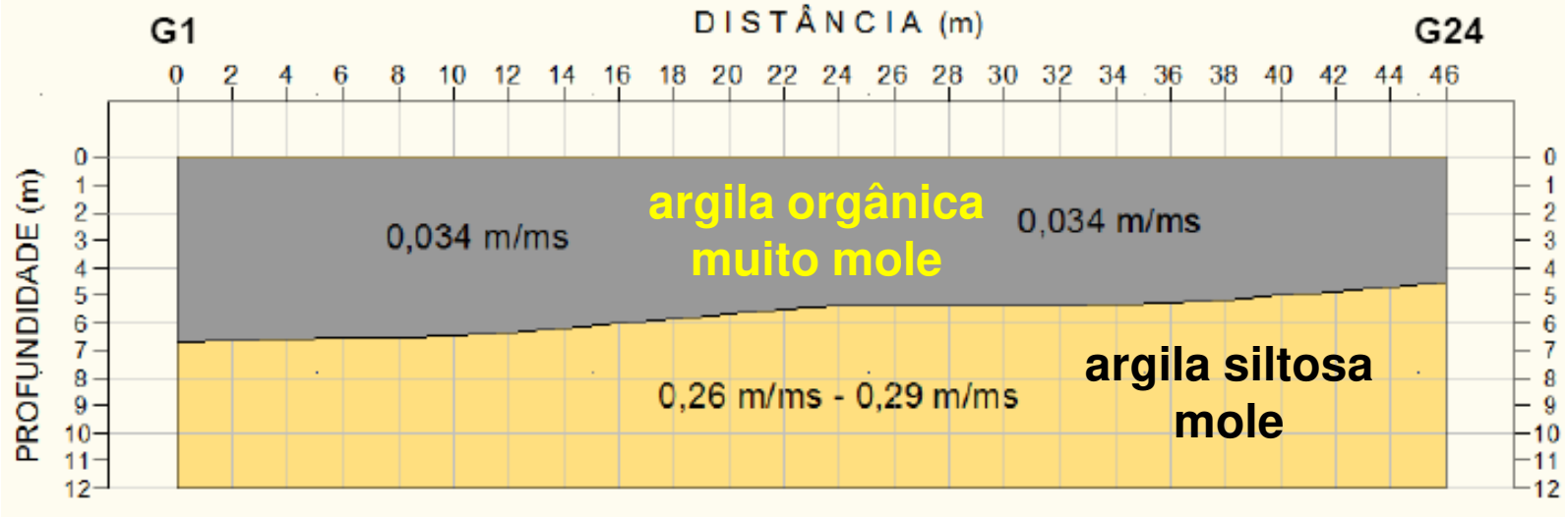


TABLE 2.7 Soil Profile Types

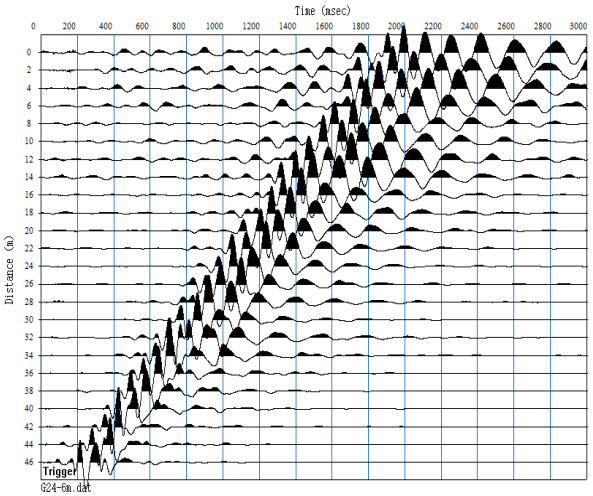
Soil profile type	Soil profile name/generic description	Average soil properties for top 100 feet (30,480 mm) of soil profile: Shear wave velocity, fsseet/second (m/s)	Standard penetration test (blows/foot)	Undrained shear strength, psf (kPa)
S_A	Hard rock	>5,000 (1,500)	—	—
S_B	Rock	2,500 to 5,000 (760 to 1,500)		
S_C	Very dense soil and soft rock	1,200 to 2,500 (360 to 760)	>50	>2,000 (100)
S_D	Stiff soil profile	600 to 1,200 (180 to 360)	15 to 50	1,000 to 2,000 (50 to 100)
S_E	Soft soil profile	<600 (180)	<15	<1,000 (50)
S_F	Soil requiring site-specific evaluation.			

(From UBC 1997, Table 16-J.)

V_S = 34 m/s <<< 180 m/s

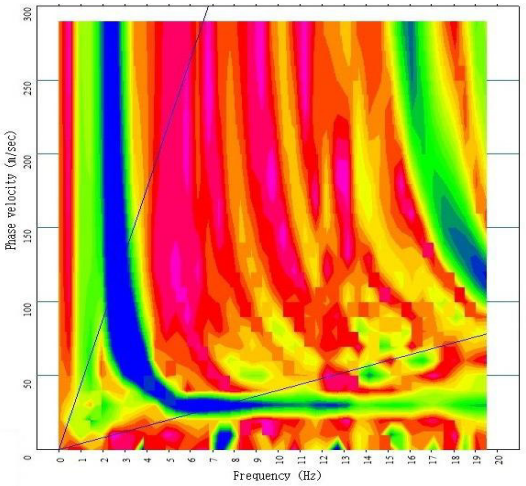
MASW

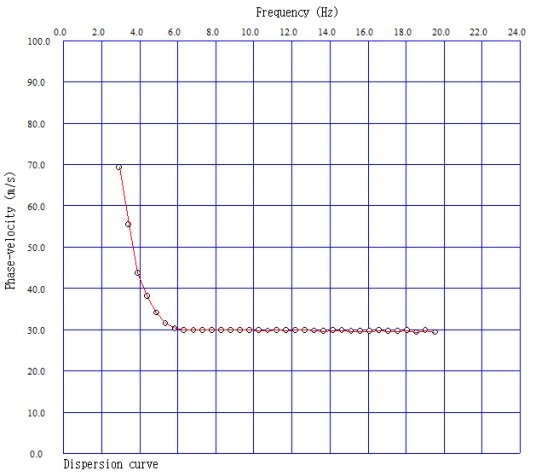
Sismograma com o registro das ondas superficiais (ondas Rayleigh)



Dupla FFT

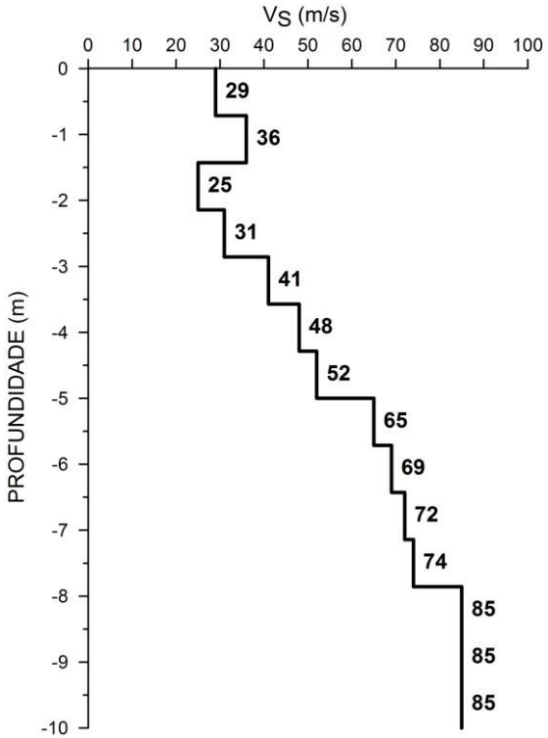
Imagem de dispersão



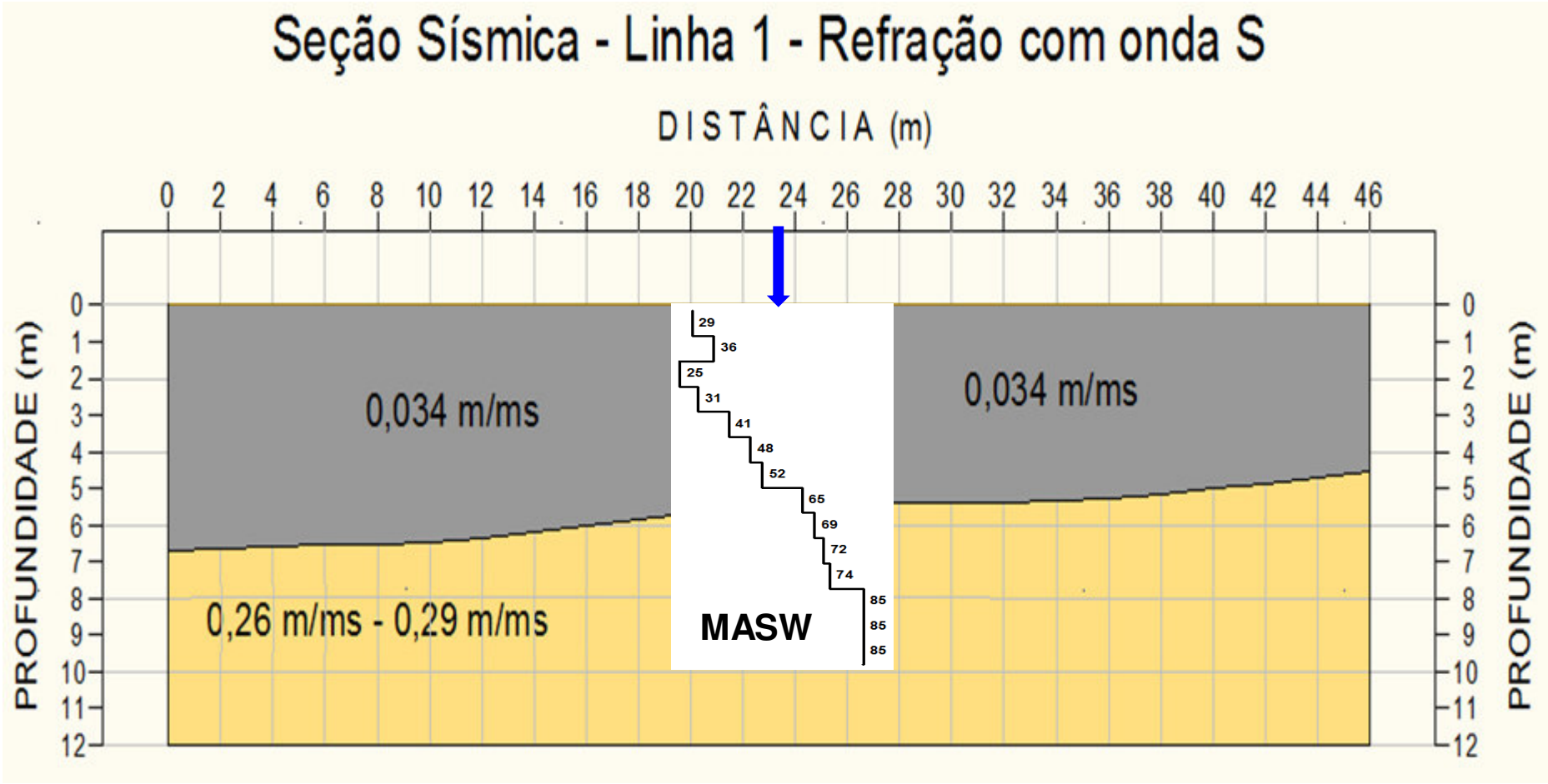


Curva de dispersão extraída da imagem

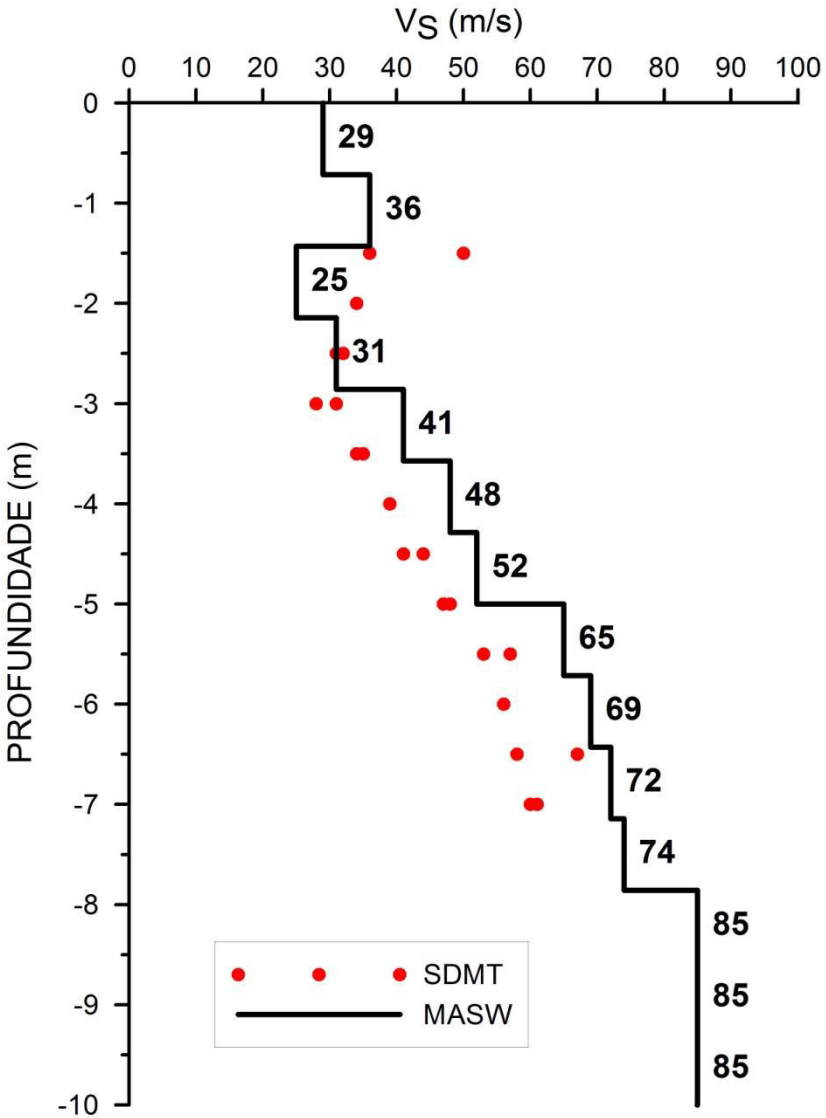
Perfil 1D (V_S x profundidade) obtido por processo de inversão



Comparação dos resultados de Refração com onda S e MASW



DEPÓSITO DE SOLO MOLE DE SARAPUÍ II
RIO DE JANEIRO - RJ



TRATAMENTO DE SOLOS MOLES

MASW na avaliação da eficácia de tratamento de solos

✓ Ensaios convencionais fornecem apenas informações localizadas das propriedades do solo investigado

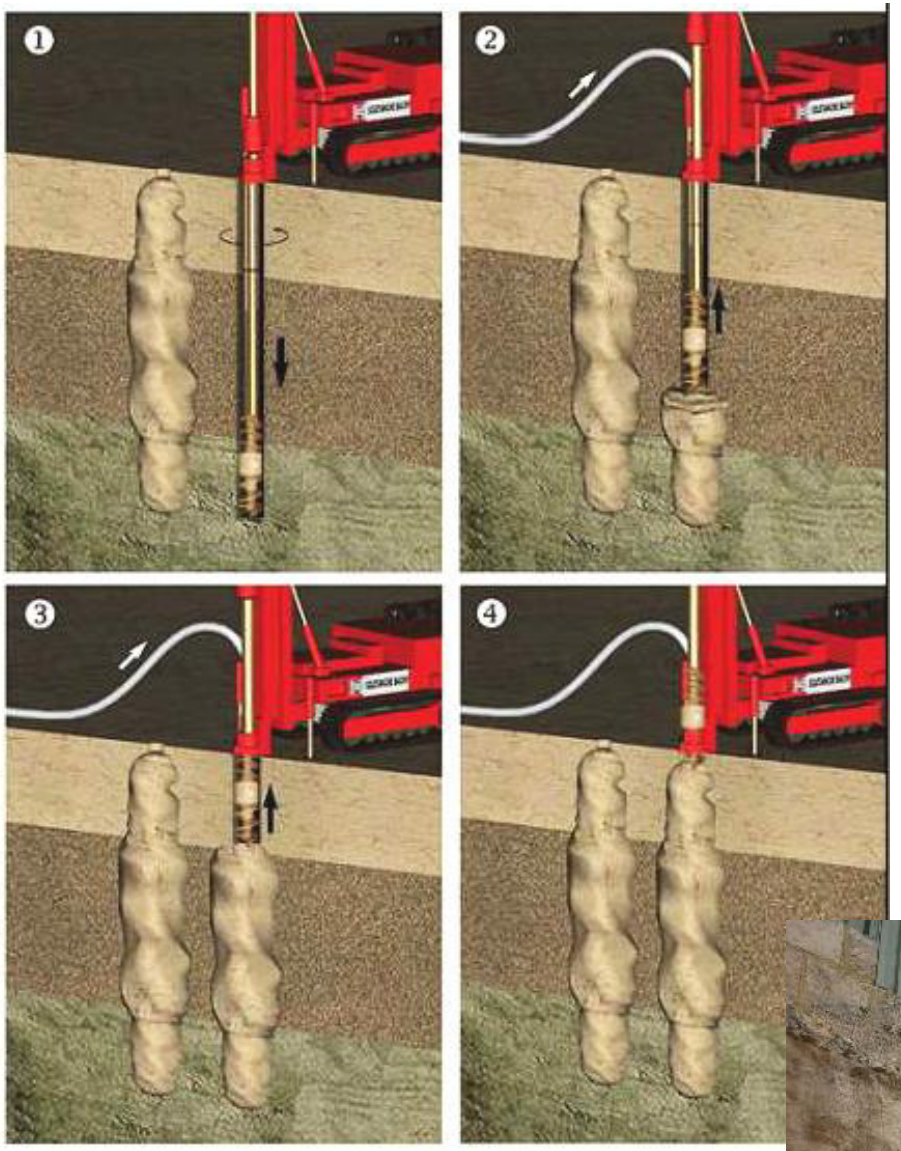
✓ Ensaios sísmicos de MASW investigam um volume maior e mais representativo do material investigado

Compaction Grouting (CG)

As colunas do Compaction Grouting (CG), como colunas de grande deslocamento, são executadas mecanicamente por meio de trado continuo especifico, garantindo sua continuidade e diâmetro minimo, com o bombeamento da massa de grout através da haste central interna do trado, executado simultaneamente com sua retirada do solo, resultando num aumento da densidade do solo envolvente.

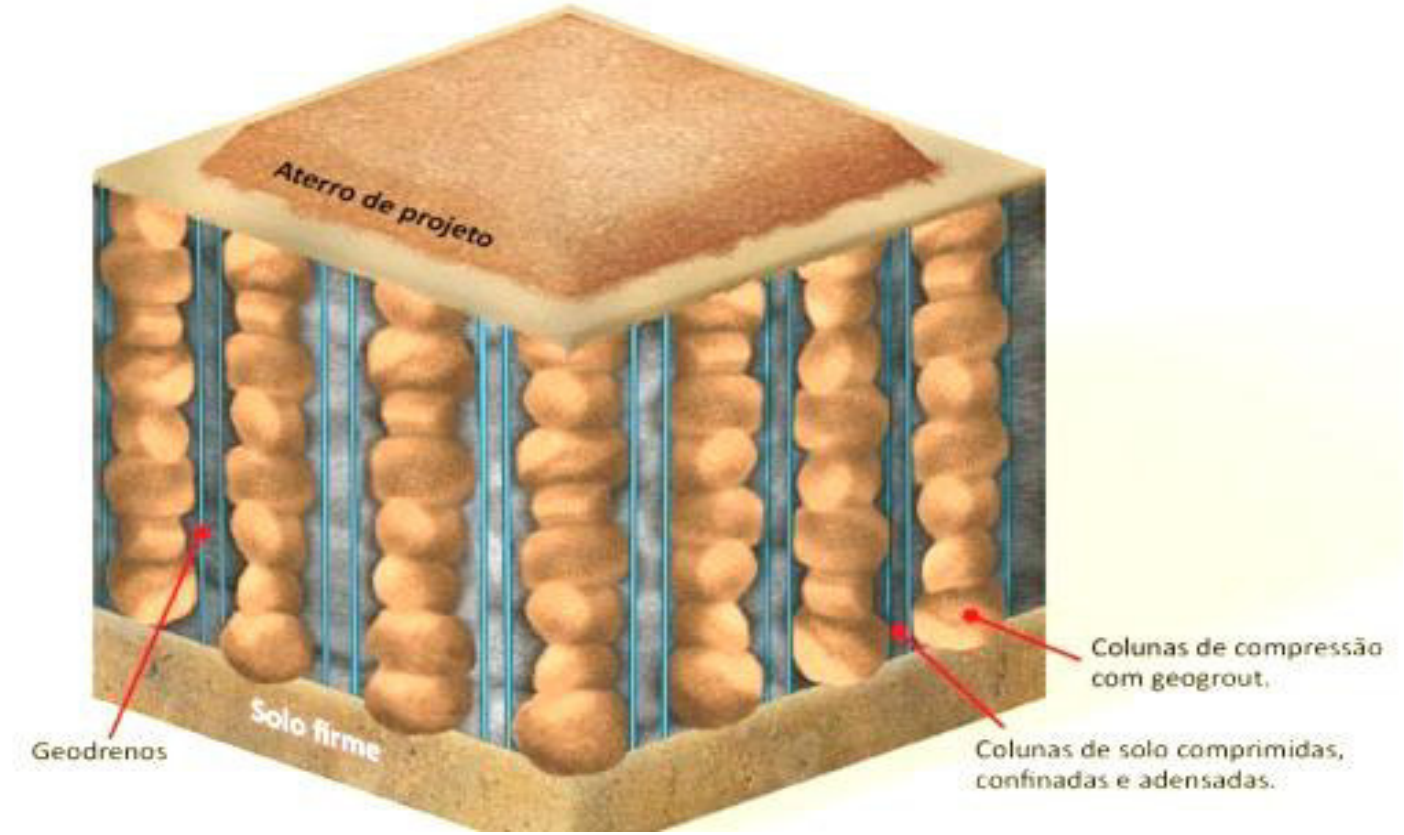
A velocidade de perfuração pode produzir de 200m a 400m por dia/equipe, dependendo do diâmetro do trado, da profundidade e da resistência do terreno. Isso porque após a perfuração do solo - processo executado com pouca vibração - o trado é retirado na medida em que o grout é bombeado, evitando desconfinamento do solo.

São utilizadas para melhorar as caracteristicas das camadas compressiveis do solo e para reduzir sua compressibilidade com a utilização de colunas semirrigidas de reforço do solo. Ao contrário da solução de transferência de carga, que é projetada para suportar toda a carga das estruturas, o objetivo da solução de Compaction Grouting é aumentar a rigidez da massa de solo, reduzindo globalmente os recalques totais e diferenciais, compartilhando a carga da estrutura entre o solo e as colunas de Compaction Grouting.



$$G = \rho \cdot V_S^{\,2}$$

Técnica CPR (Consolidação Profunda Radial)

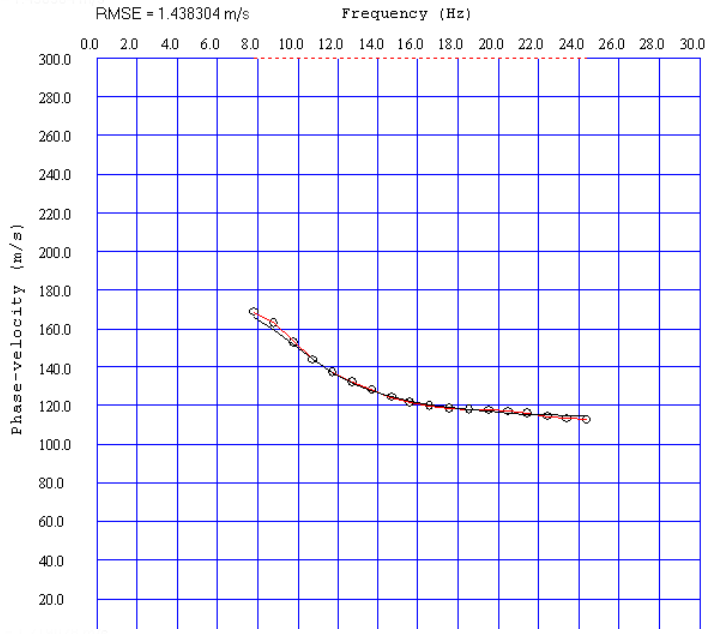


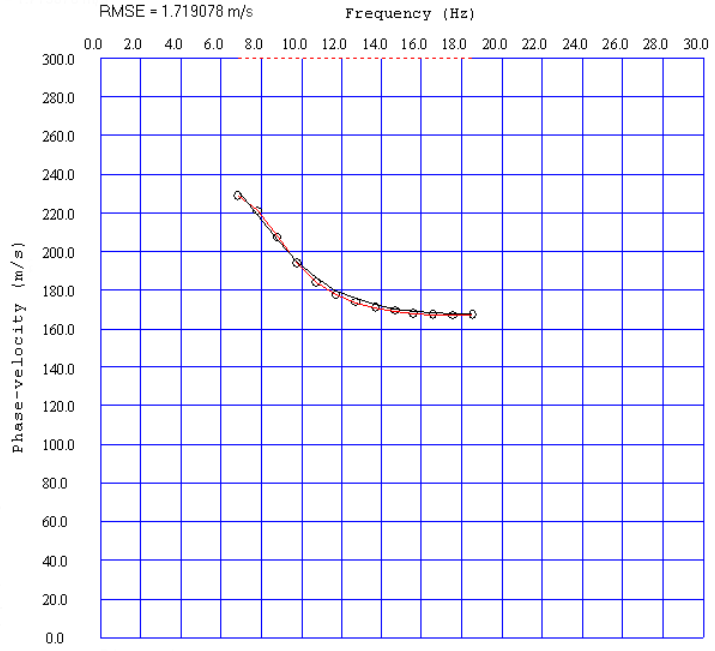
A técnica CPR tem como objetivo a melhoria da rigidez de solos moles. Inicialmente são cravados geodrenos no terreno e, em seguida, são formadas colunas de adensamento via expansão de cavidades, formando bulbos no interior do solo

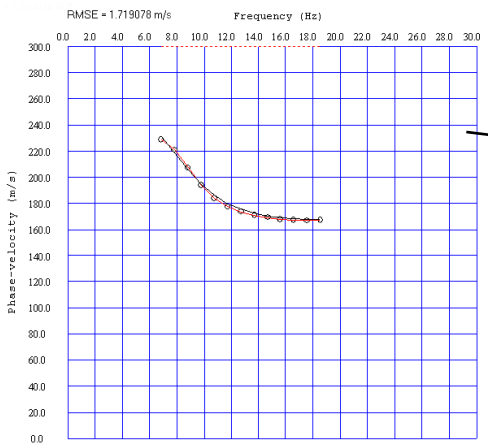
Estudo de caso: ampliação de pista na rodovia Anhanguera

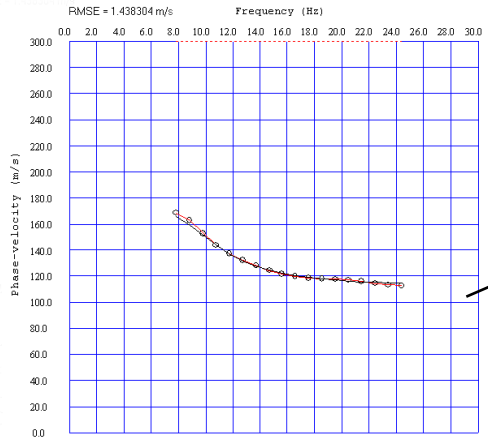
SOLO NÃO TRATADO

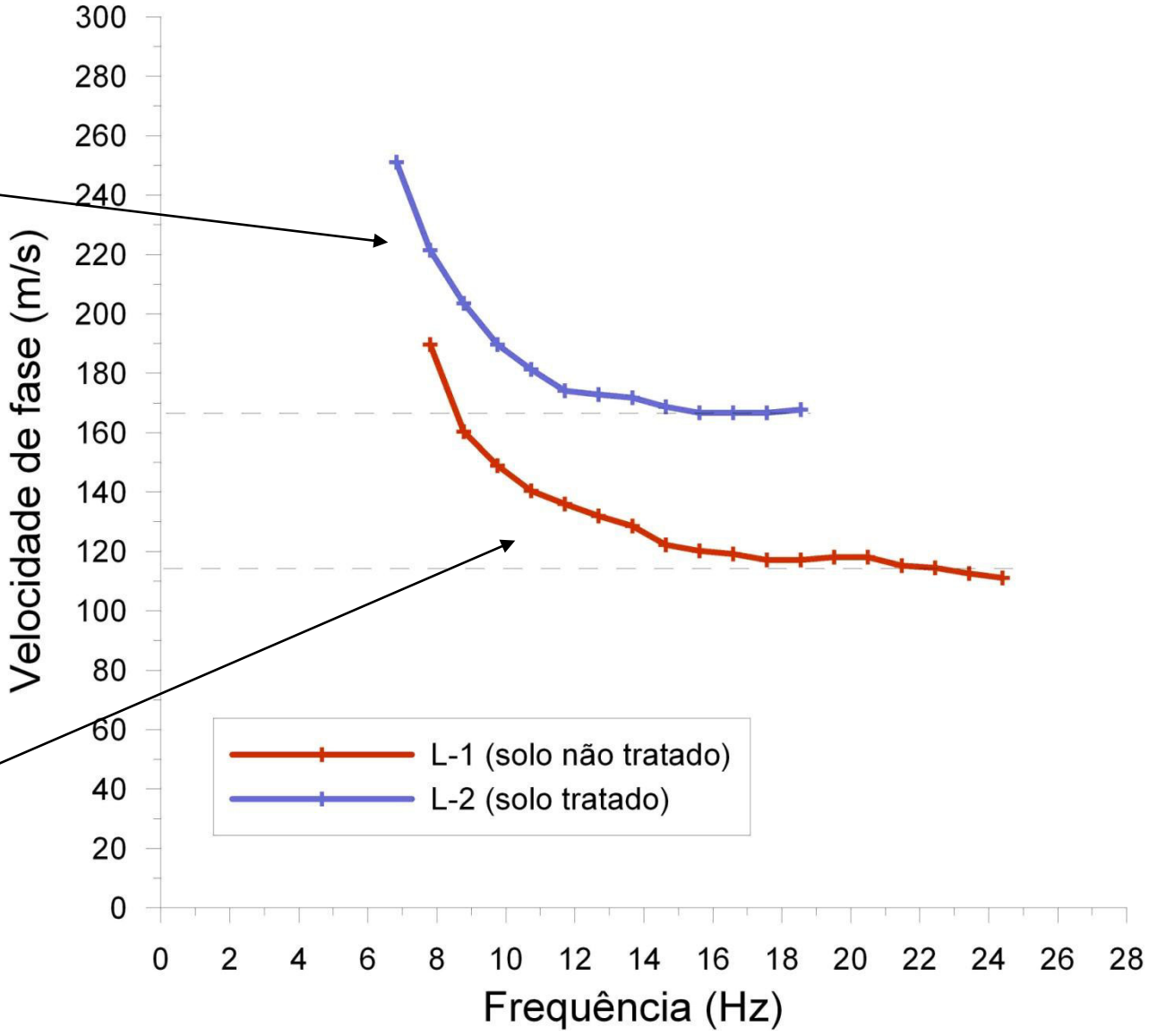
SOLO TRATADO

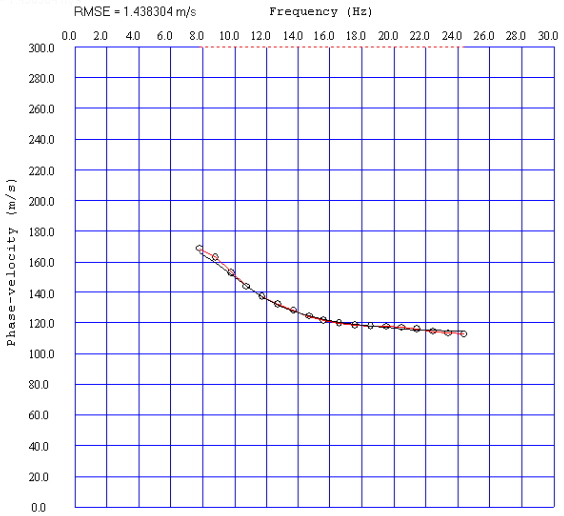

RMSE = 1.438304 m/s
Frequency (Hz)
Phase-velocity (m/s)

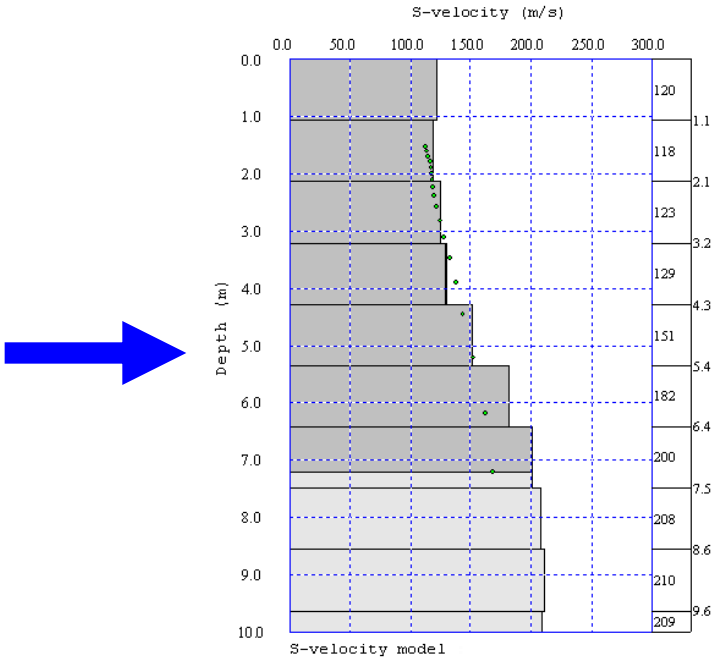

RMSE = 1.719078 m/s
Frequency (Hz)
Phase-velocity (m/s)


RMSE = 1.719078 m/s
Frequency (Hz)
Phase-velocity (m/s)


RMSE = 1.438304 m/s
Frequency (Hz)
Phase-velocity (m/s)

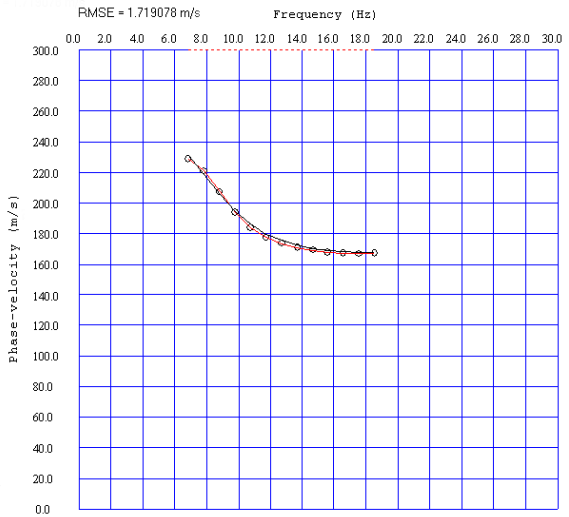

Velocidade de fase (m/s)
Frequência (Hz)
L-1 (solo não tratado)
L-2 (solo tratado)

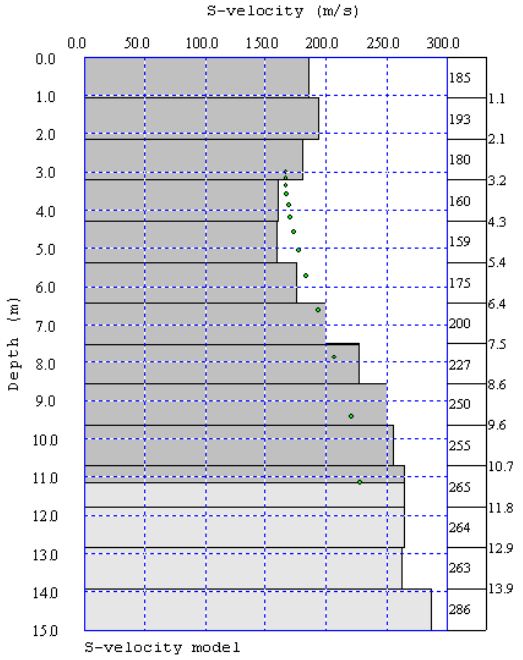




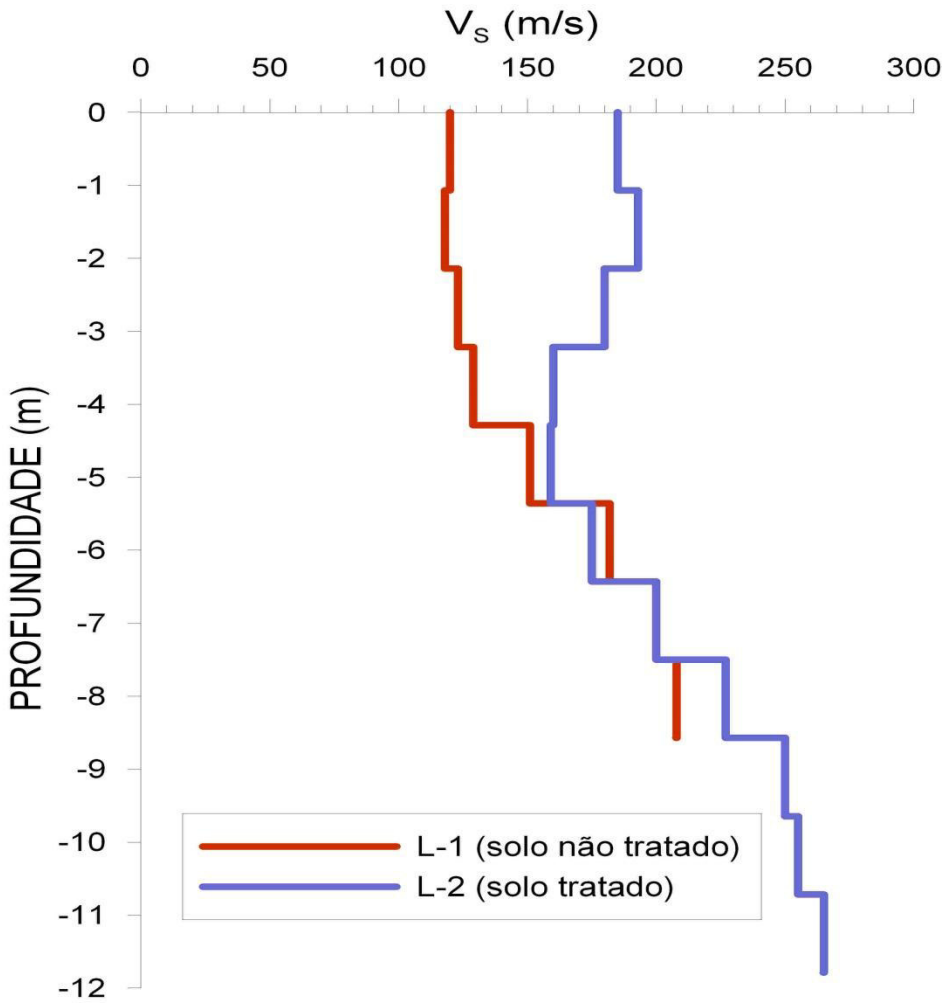
SOLO NÃO TRATADO

SOLO TRATADO





Modelos de V_S x profundidade das linhas L-1 e L-2



$$V_S = \frac{\sum_{i=1}^{n} d_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{V_{si}}}$$

d_i = espessura da i-ésima camada (m)
V_{Si} = velocidade da onda S na i-ésima camada (m/s)
i = índice que representa uma camada do modelo entre 1 e n

Valores médios de V_S (solo tratado e solo não tratado) obtidos dos ensaios MASW

Local	Descrição	V_S médio
L-1	solo não tratado (natural)	141 m/s
L-2	solo tratado	178 m/s

→ **Aumento de 28%**

© 2017 SEG
SEG International Exposition and 87th Annual Meeting

MASW Control of Grouting

Alessandro Cirone and Roger Rodrigues, Engegraut Ltda, and Choon Park, Park Seismic LLC*

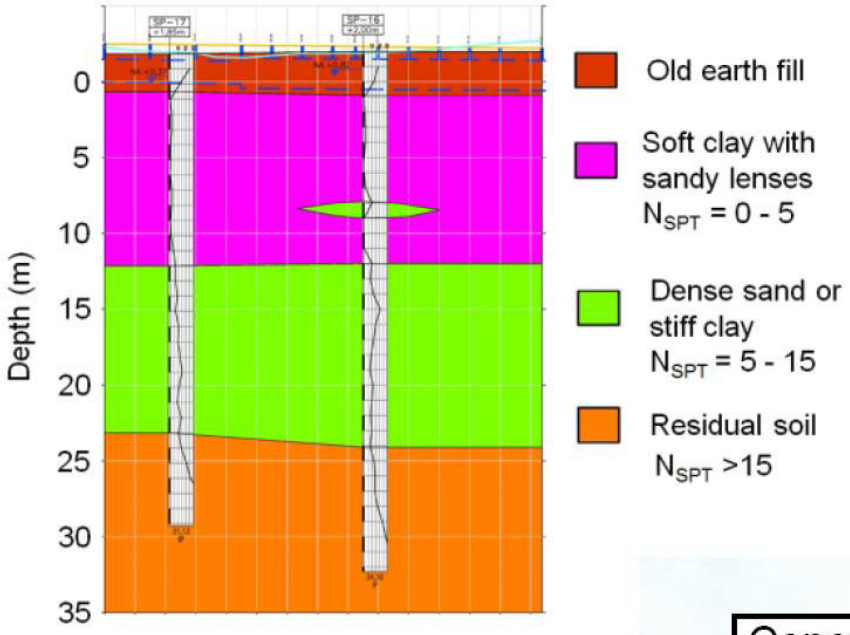


Figure 1. Generalized subsurface profile.

Local: área da Vila Olímpica nas obras para as Olimpíadas de 2016 no Rio de Janeiro-RJ

Figure 2. Grouting work in progress at Pontal Oceânico.

© 2017 SEG
SEG International Exposition and 87th Annual Meeting

MASW Control of Grouting

Alessandro Cirone and Roger Rodrigues, Engegraut Ltda, and Choon Park, Park Seismic LLC*

NÃO TRATADO
Linha 1

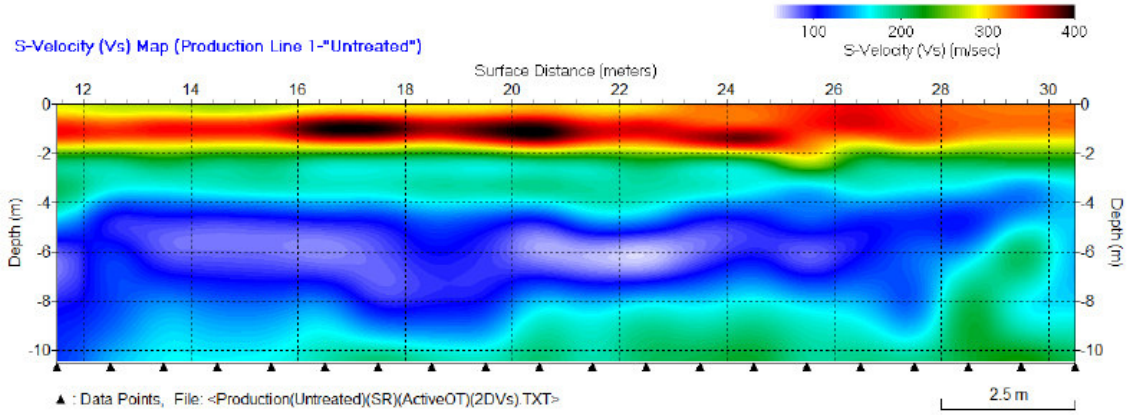


Figure 3. Velocity (Vs) map at Production Line 1 – untreated soil site.

TRATADO
Linha 3

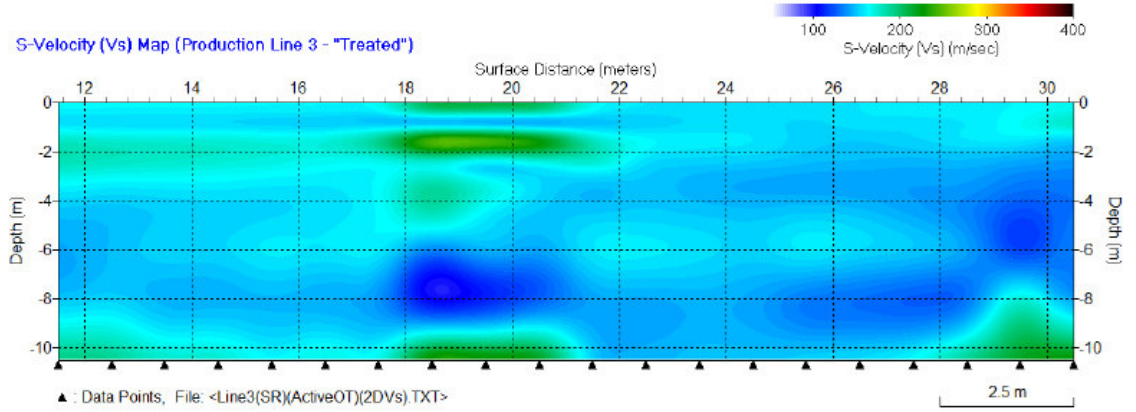


Figure 4. Velocity (Vs) map at Production Line 3 – improved (grouted) soil site.

DIFERENÇA
Linha 3 - Linha 1

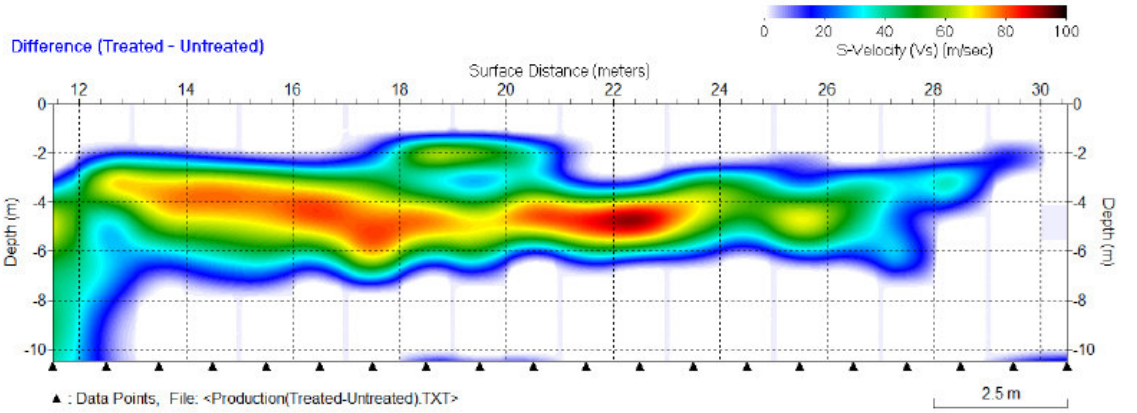
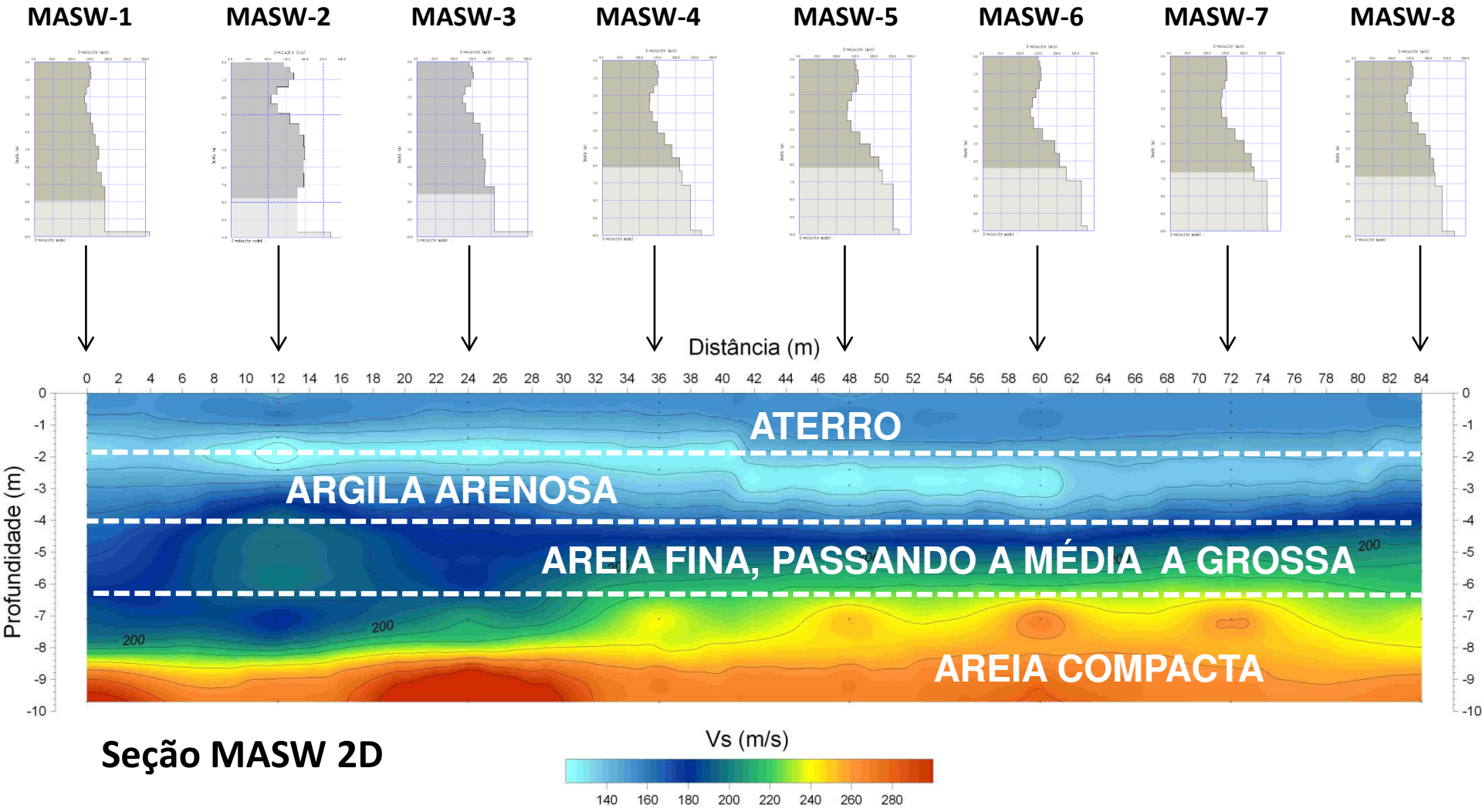
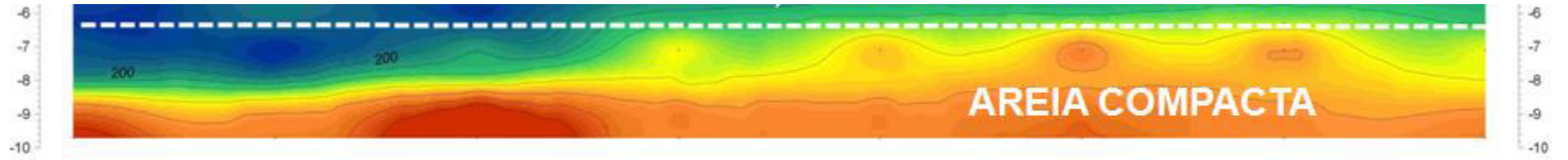


Figure 5. Velocity (Vs) difference map obtained by subtracting Line 1 from Line 3. A depth offset was applied to compensate difference ir surface level between the two sites.

8 levantamentos MASW 1D



Seção MASW 2D



$V_S = A \cdot N^B$

V_S = 270 m/s

Tabela 2 - Correlações: N(SPT) e V_S (*adaptado de* Hanumantharao & Ramana, 2008).

Autor	Correlação	Solo	País
Shibata (1970) **	$Vs = 32.0N^{0.50}$	Areias	Japão
Ohta *et al* (1972)$	$Vs = 87.0N^{0.36}$	Areias	Japão
JRA (1980) **	$Vs = 80.0N^{0.33}$	Areias	Japão
Seed *et al* (1983)	$Vs = 56.4N^{0.50}$	Areias	USA
Lee (1990)	$Vs = 57.0N^{0.49}$	Areias	USA

$V_S = 87{,}0N^{0{,}36} \Rightarrow N_{SPT} = 23$

$V_S = 57{,}0N^{0{,}49} \Rightarrow N_{SPT} = 24$

Tabela 2.6

Compacidade das areias em função do SPT

Resistência à penetração (Número N do SPT)	Compacidade da areia
0 a 4	muito fofa
5 a 8	fofa
9 a 18	compacidade média
18 a 40	compacta
acima de 40	muito compacta

Fonte: Carlos de Souza Pinto. Curso básico de mecânica dos solos. Oficina de Textos, 2000.

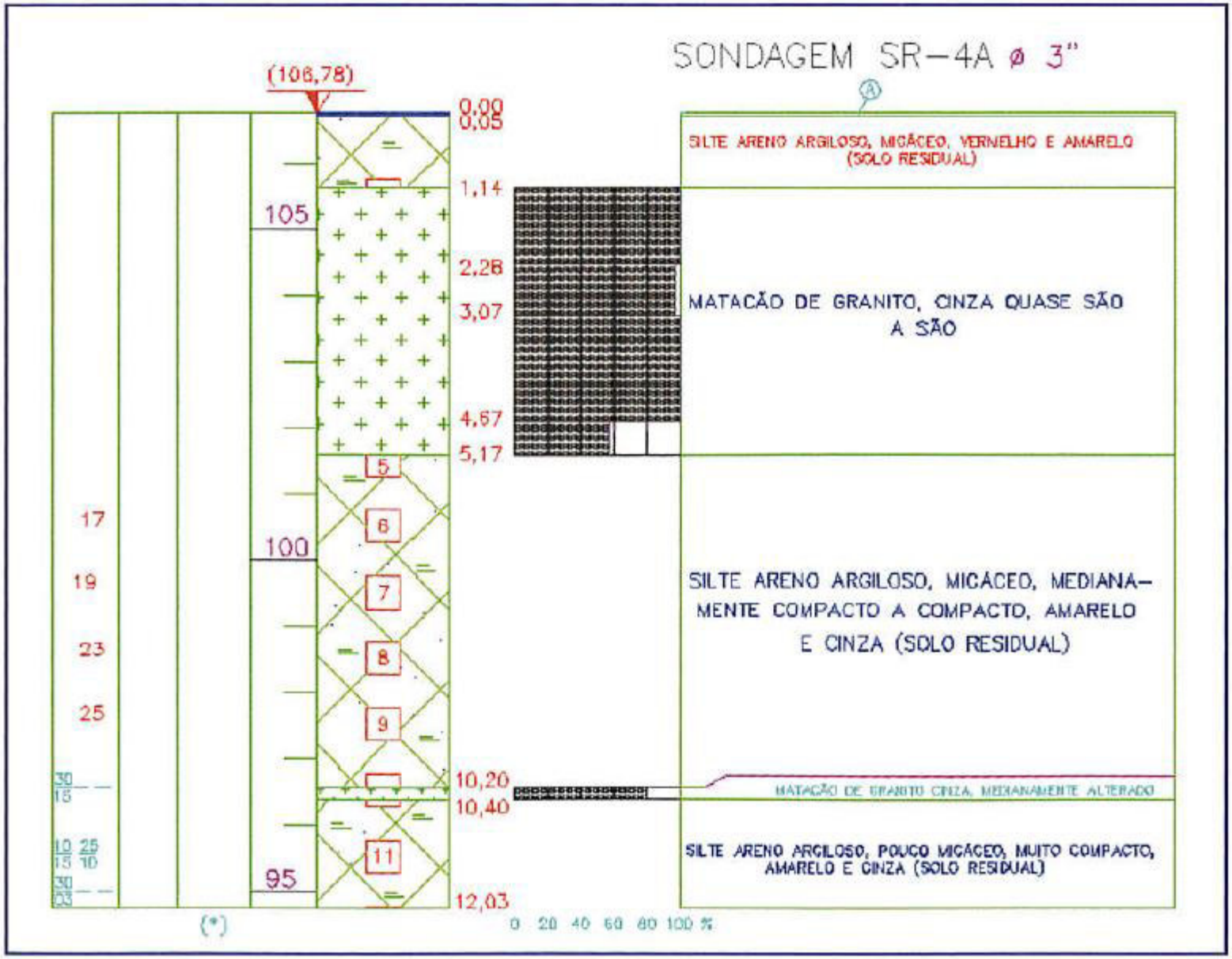
Identificação de matacões

Fonte: Detecção de blocos de rochas pelo método eletrorresistivo – imageamento geoelétrico.
Revista Fundações e obras geotécnicas. n1. p.42-49.

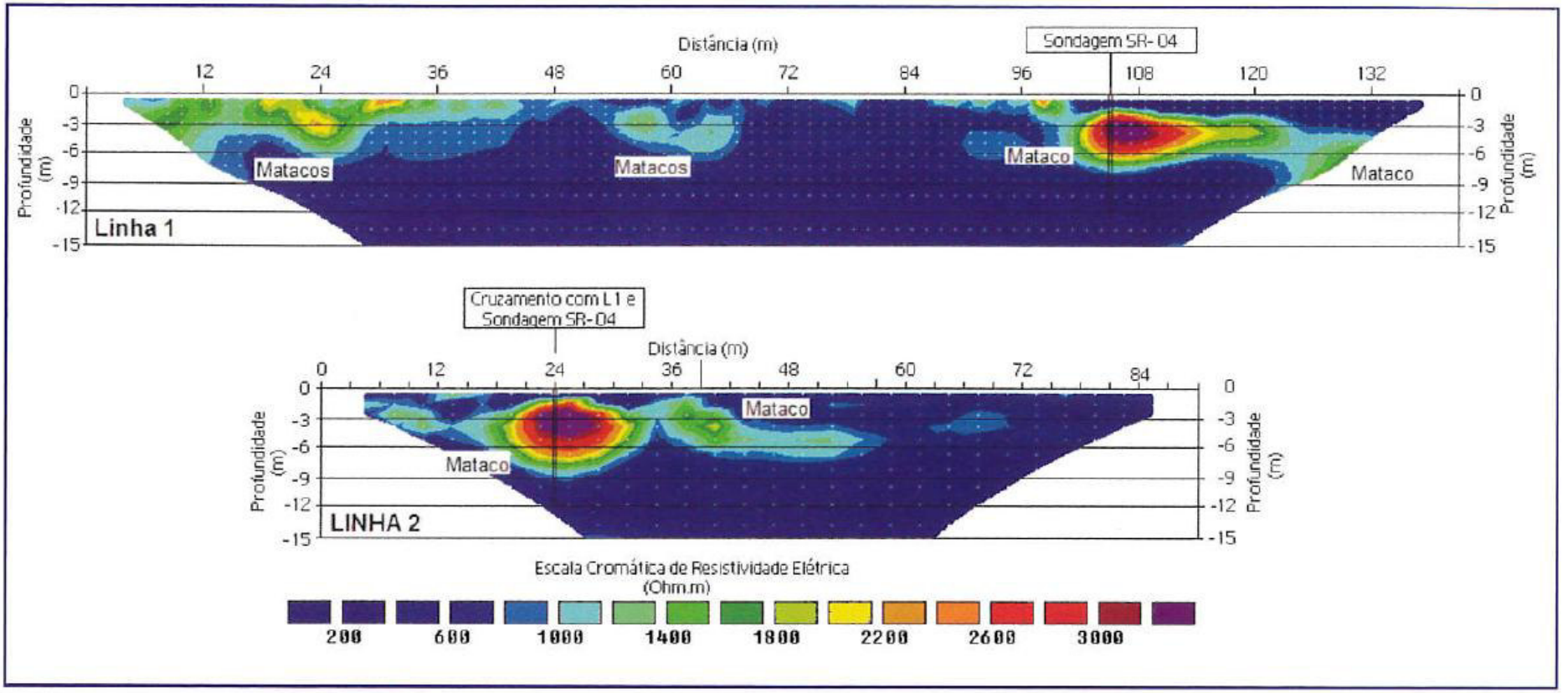
Problema: Ocorrência de matacões (gnaisses) em área onde seria realizado uma obra subterrânea (4 níveis de estacionamento abaixo do solo) em Barueri-SP

⇒ **Objetivo**: Identificação da presença dos matacões para estimativa do custo de remoção dos mesmos

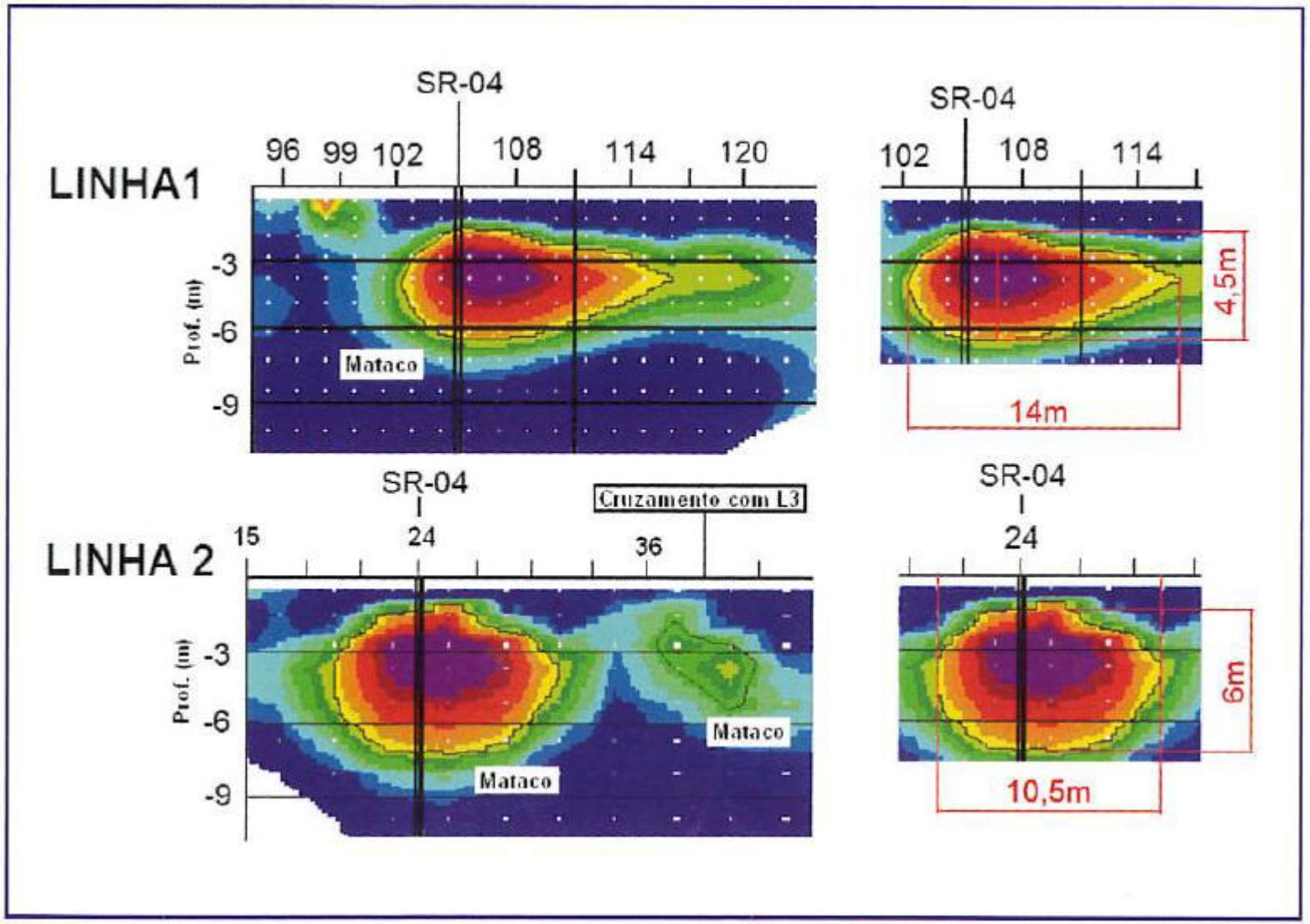
- Arranjo dipolo-dipolo (AB=MN=2,5 m e 5 m, 10 níveis de investigação)
- Área de investigação: 50 m x 50 m
- Equipamento: resistivímetro multieletrodo (48 eletrodos)



Fonte: Detecção de blocos de rochas pelo método eletrorresistivo – imageamento geoelétrico. Revista Fundações e obras geotécnicas. n1. p.42-49.

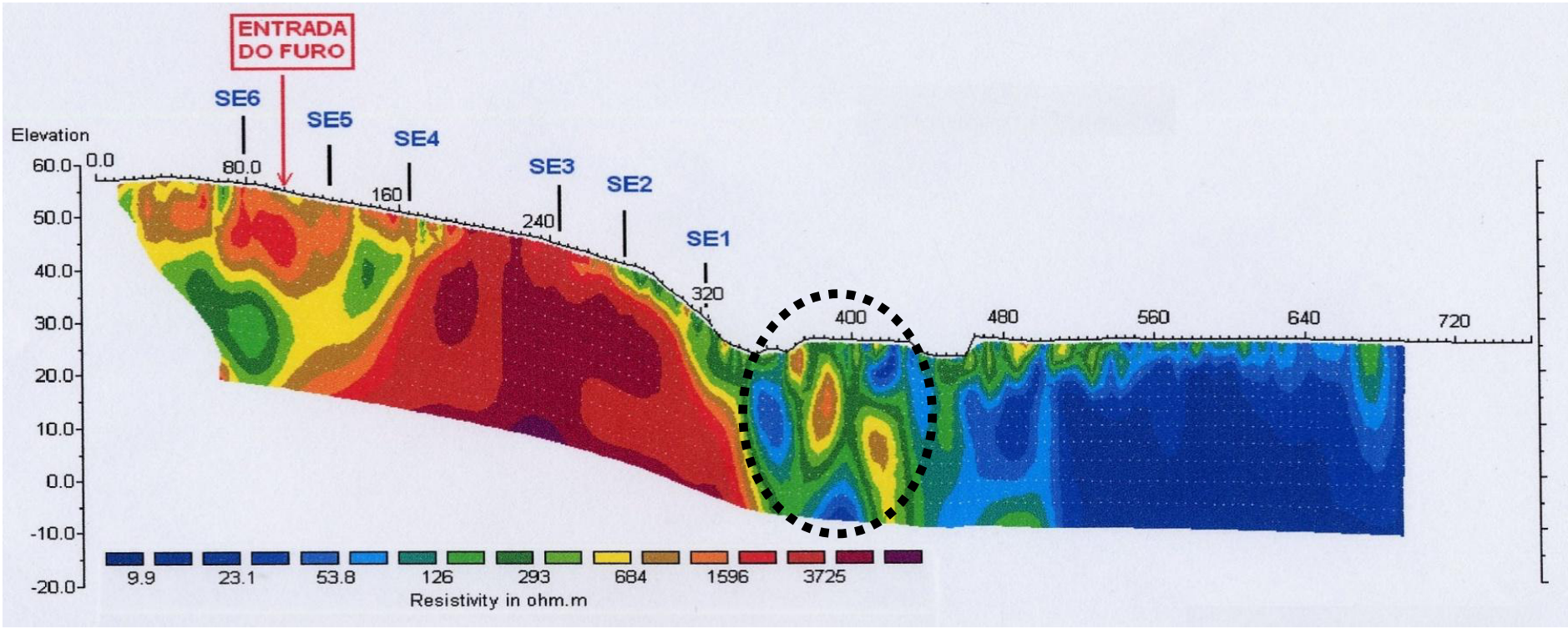


Fonte: Detecção de blocos de rochas pelo método eletrorresistivo – imageamento geoelétrico. Revista Fundações e obras geotécnicas. n1. p.42-49.



Fonte: Detecção de blocos de rochas pelo método eletrorresistivo – imageamento geoelétrico. Revista Fundações e obras geotécnicas. n1. p.42-49.

MATACÕES

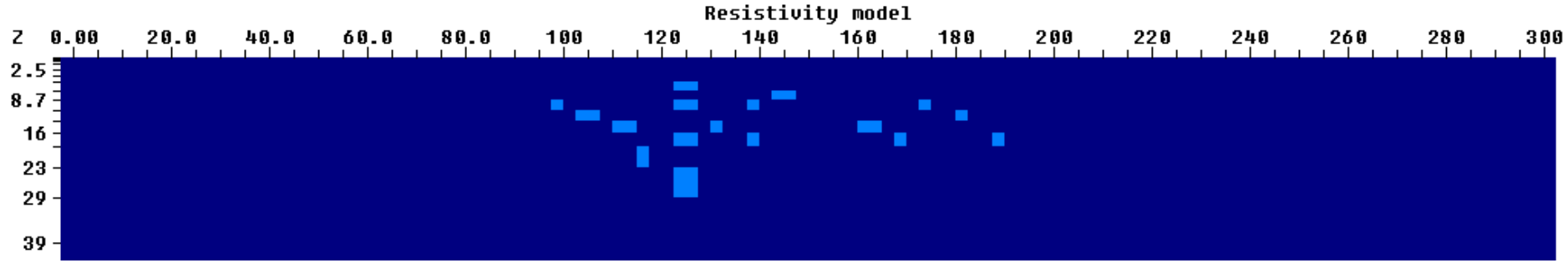


Fonte:GASENE. 2009.

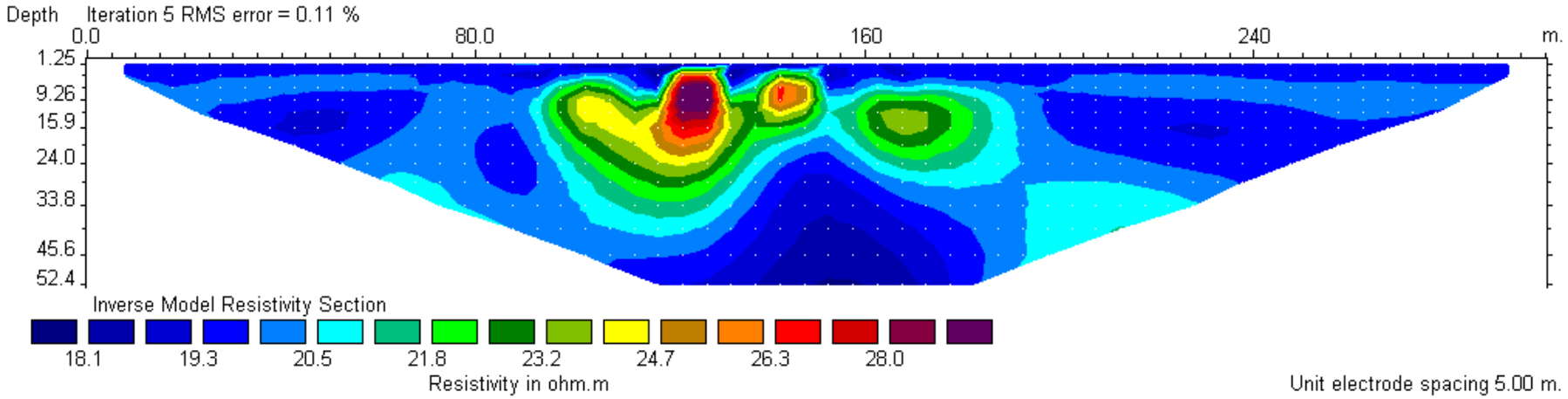
RELATÓRIO GEOTÉCNICO DA REGIÃO DA TRAVESSIA DO RIO JUCURUÇU BRAÇO NORTE (RL-4450.74-6521-275-MVI-009)

MATACÕES

Dado sintético simulando a presença de blocos e matacões



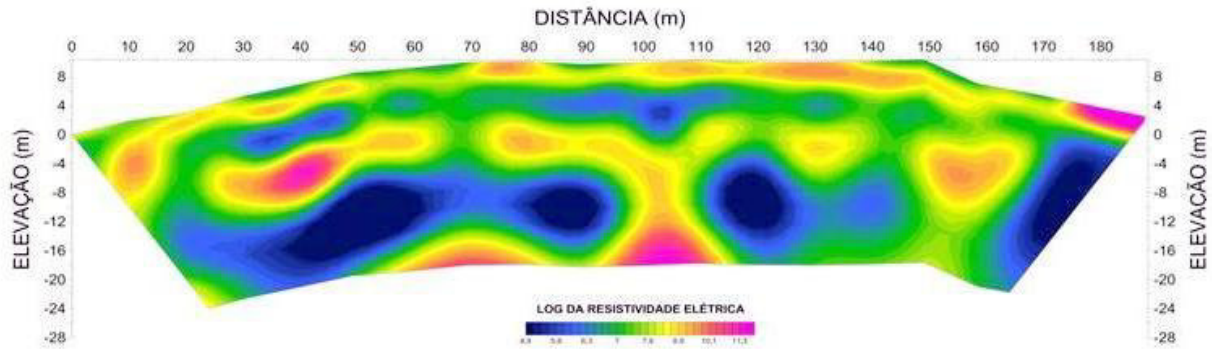
Modelo geoelétrico resultante do dado sintético



Rodoanel Norte
São Paulo-SP

Rodoanel Norte - São Paulo-SP

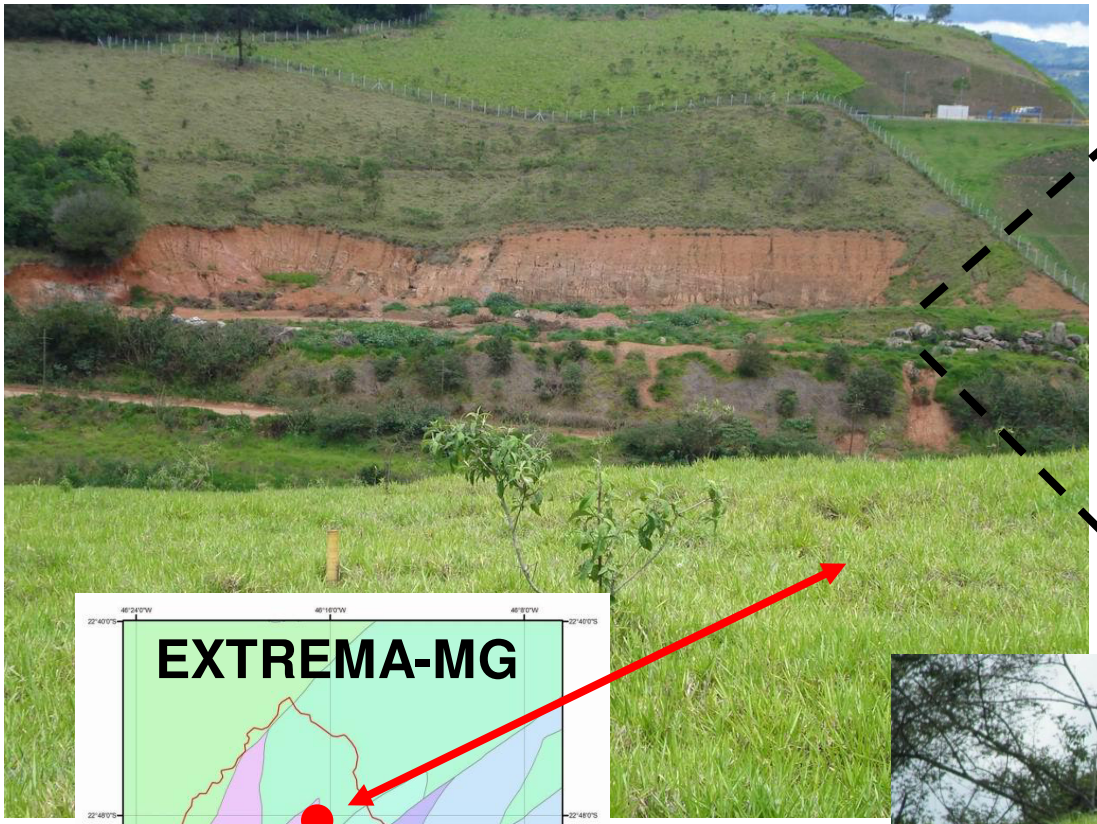
Rodoanel Norte - São Paulo-SP

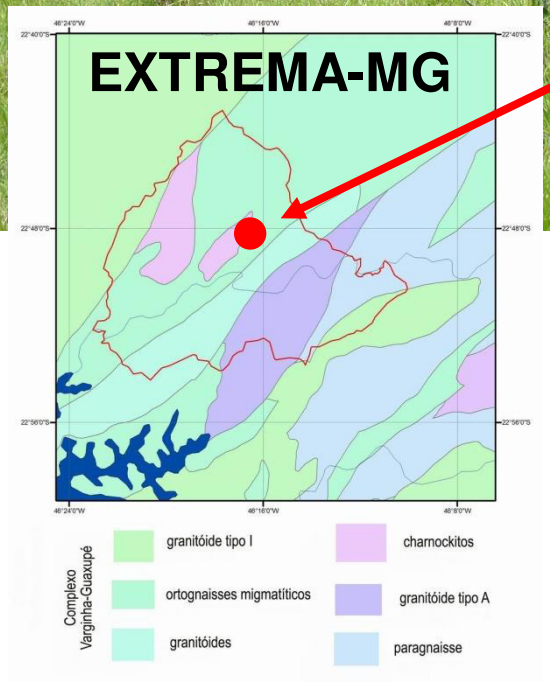


Local: EXTREMA-MG

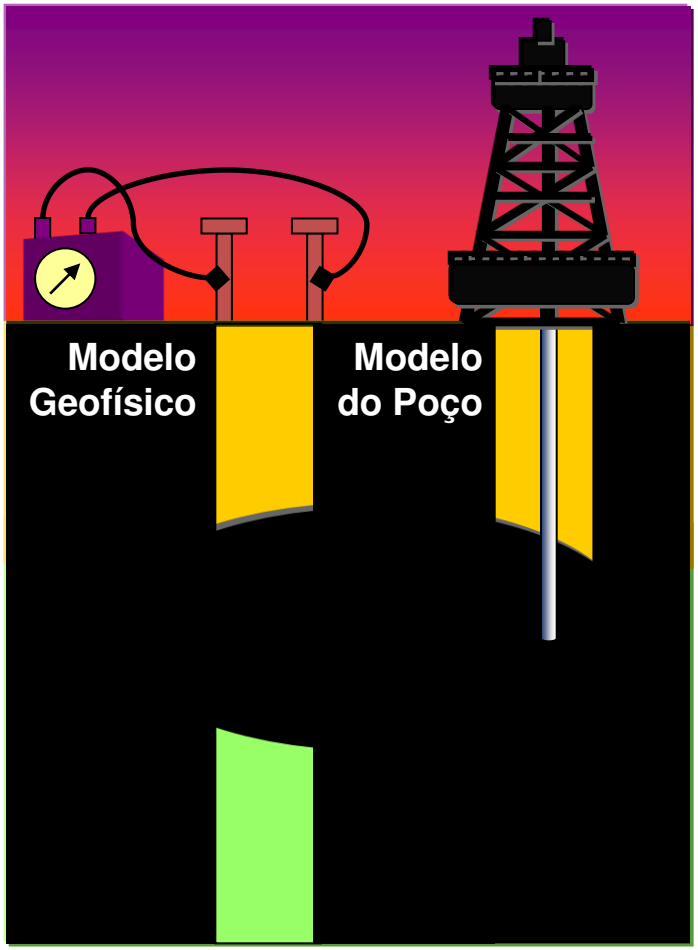
Obra: CORTE E ATERRO PARA INSTALAÇÃO DE UM GALPÃO

BLOCOS DE ROCHA E MATACÕES





Divergência nos Resultados: Geofísica x Sondagem

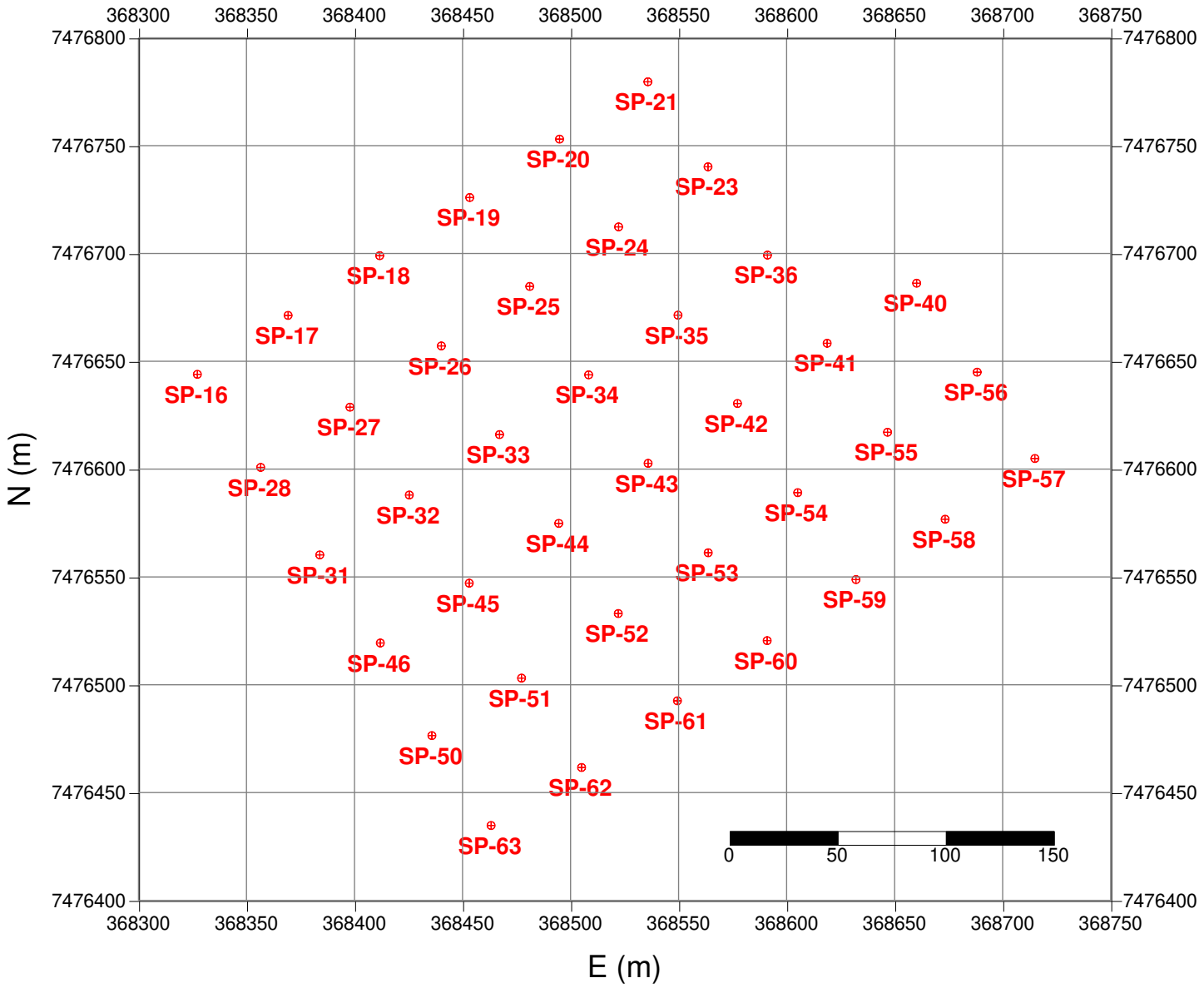


Fonte : Modificado de R. Thomsen, 2004 - Hydrogeology Journal

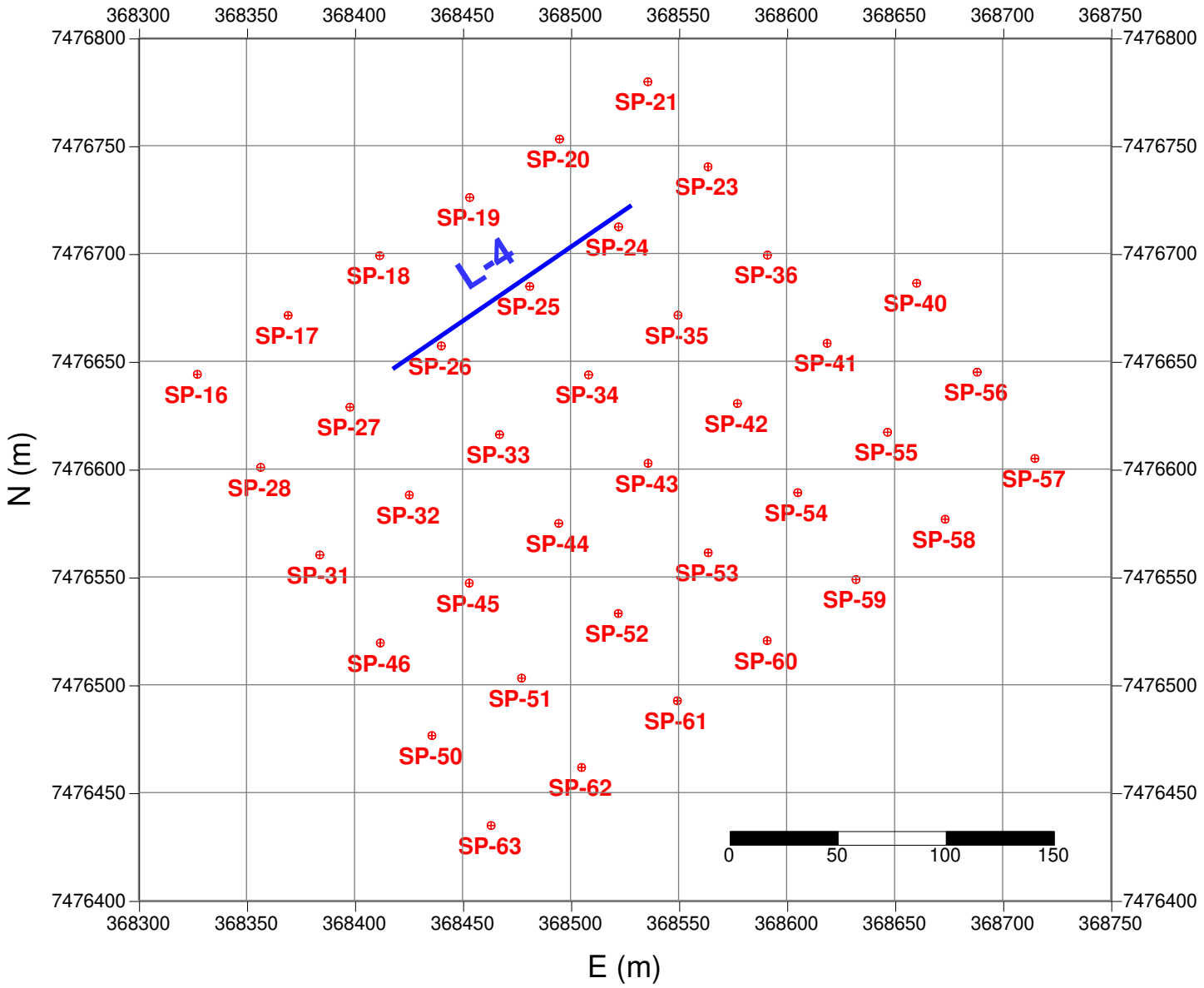
- **Sondagem: topo da rocha sã?**
- **Interpretação geofísica incorreta?**
- **Furo não confiável?**

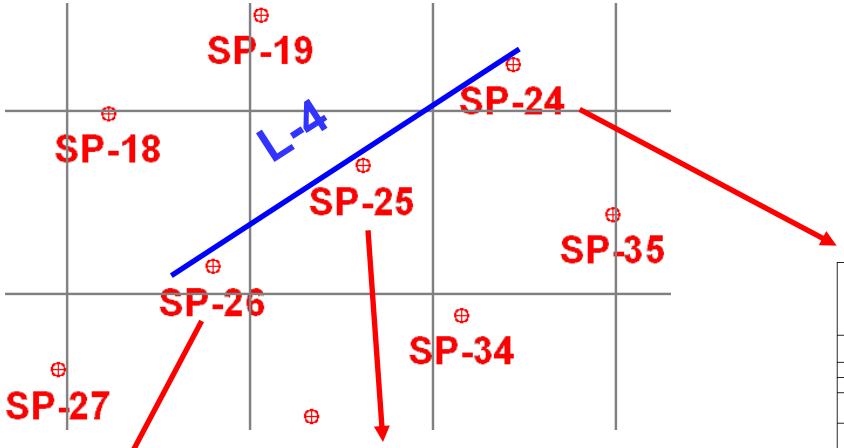
Clique nos botões: **1** ***ver a resposta*** **2** ***voltar***

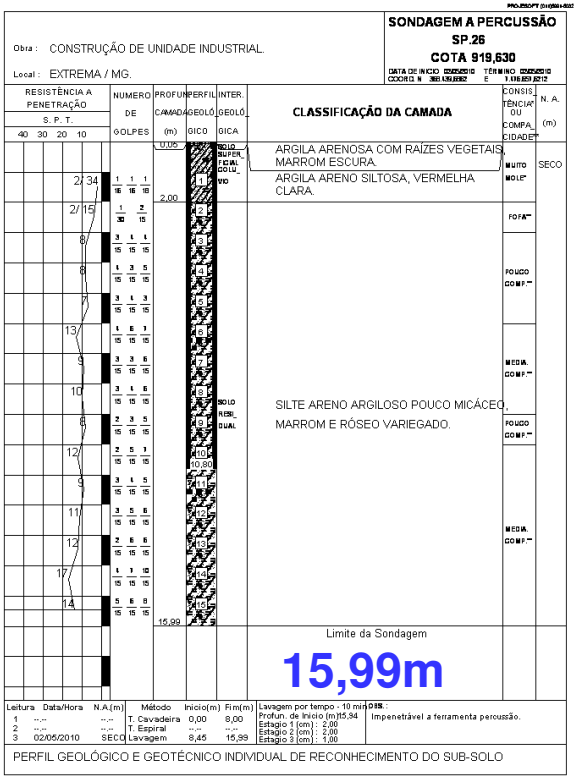
SONDAGENS A PERCUSSÃO (ESPAÇAMENTO ≅ 50 m)

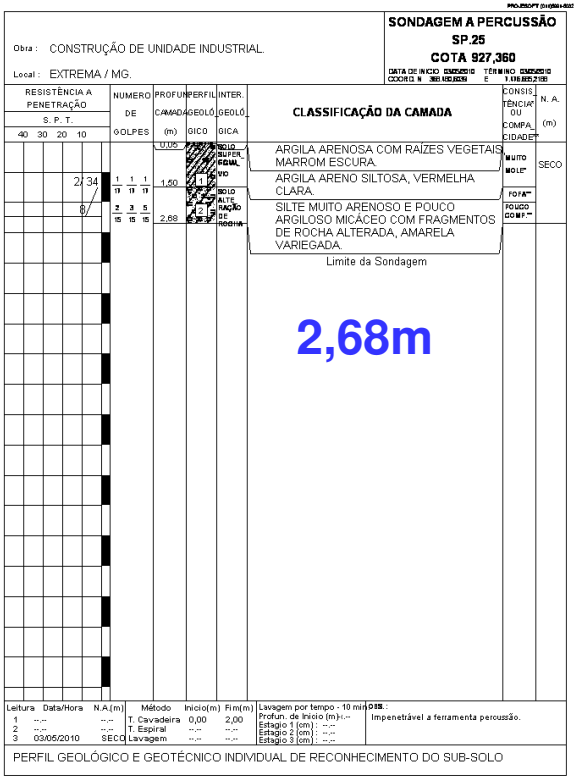


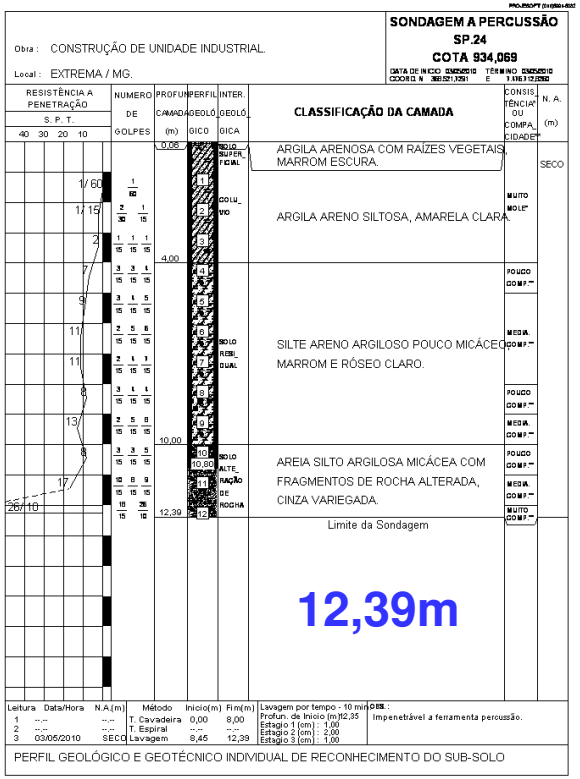
✓ SONDAGENS → GEOFÍSICA





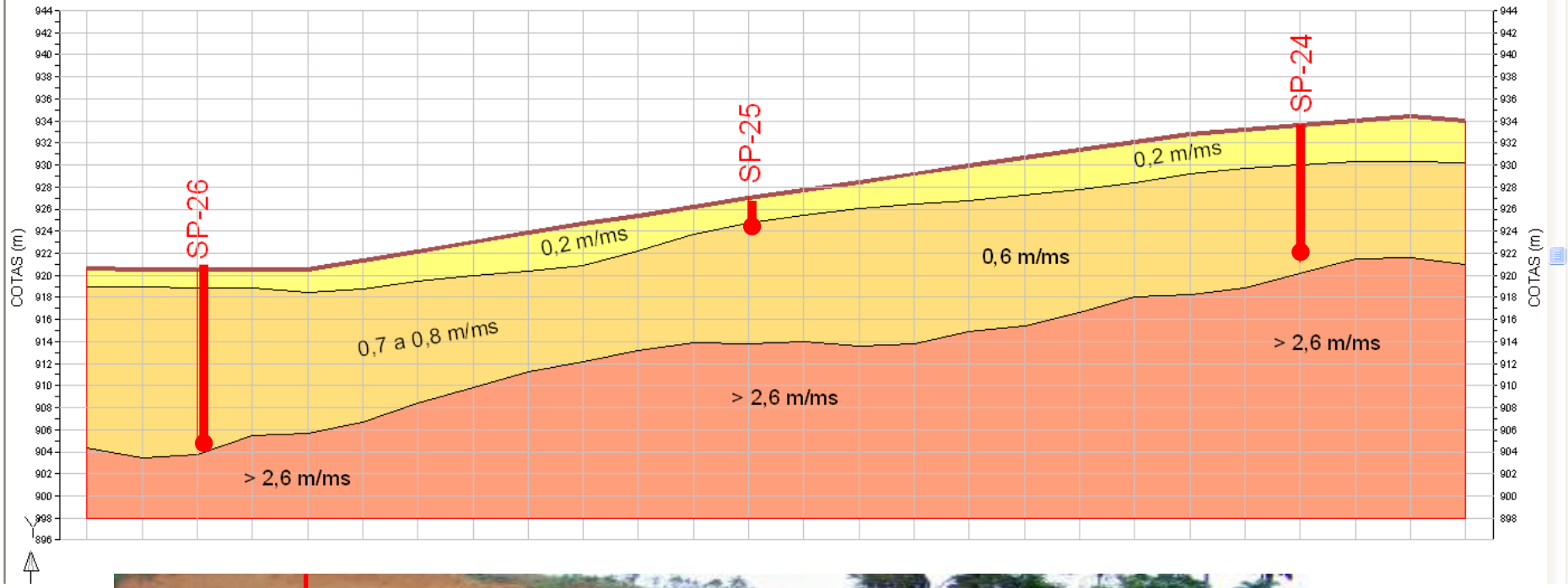






PROFUNDIDADE DO IMPENETRÁVEL AO SP

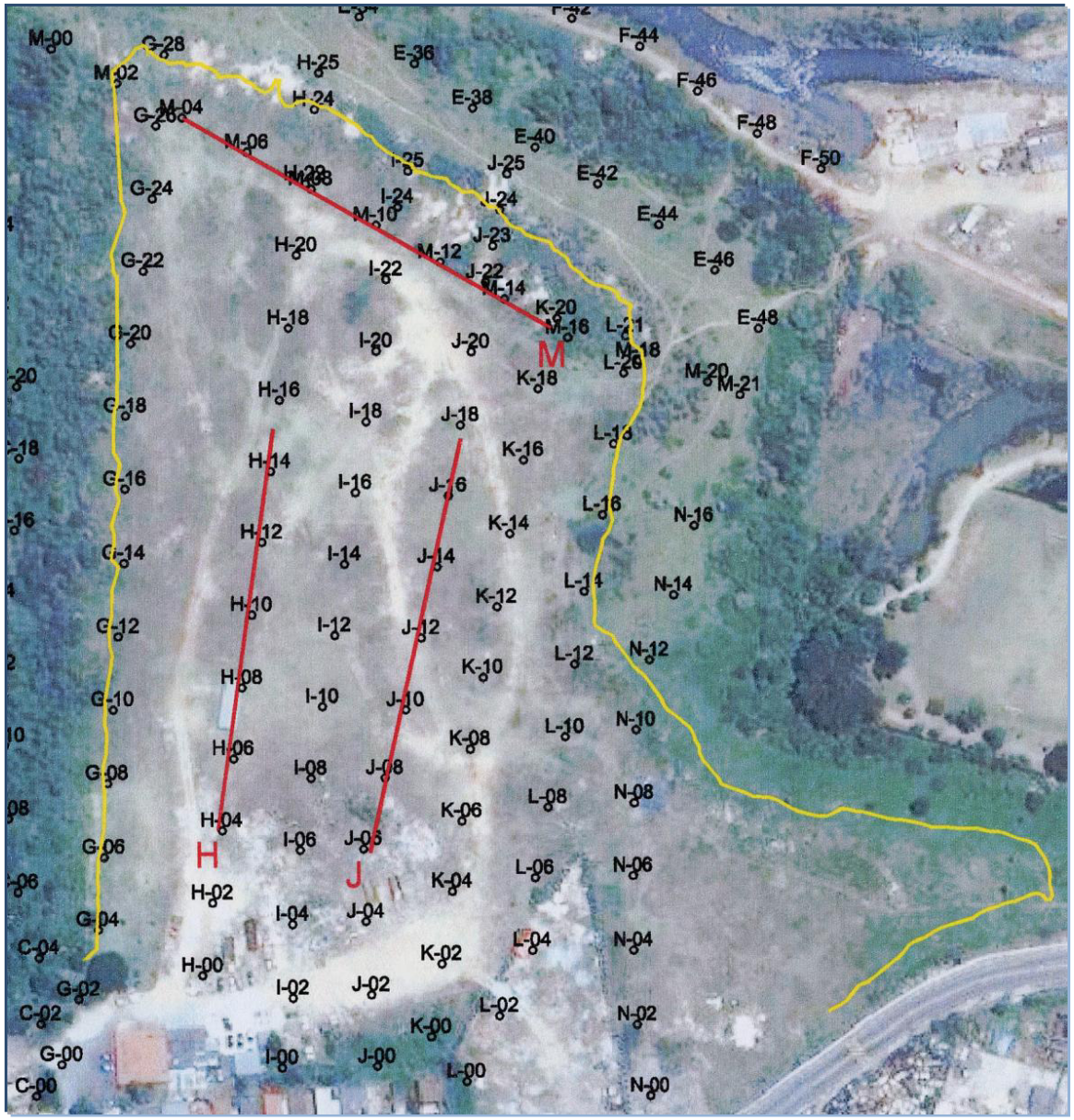
Seção Sísmica - L-4



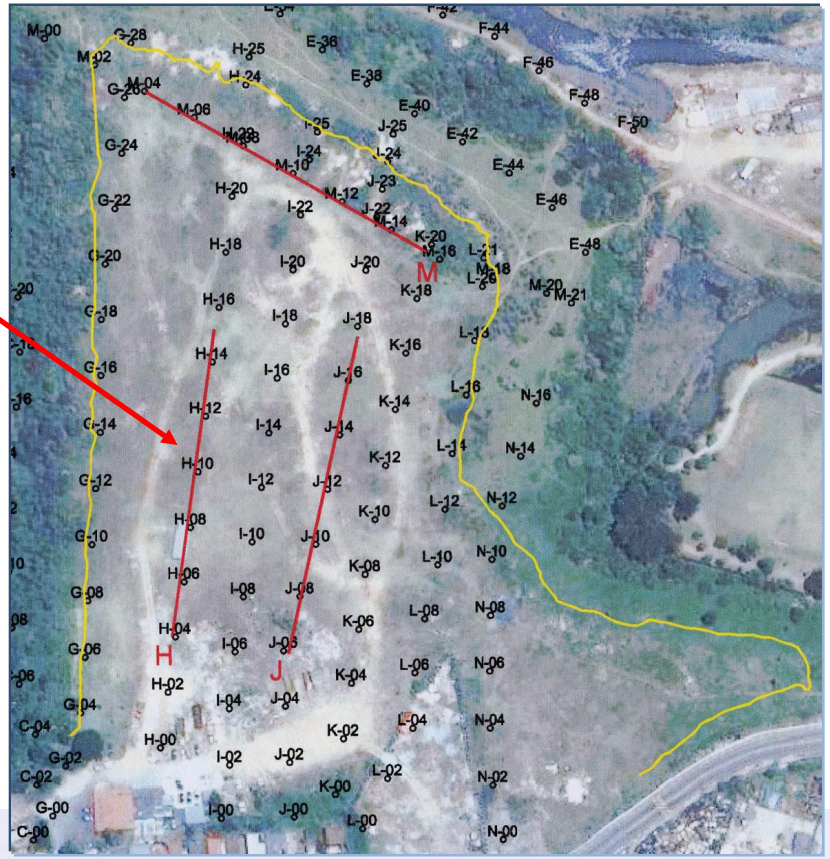
Determinação da espessura de aterros

ESTUDO DE CASO: Rua Cápua, Santo André-SP

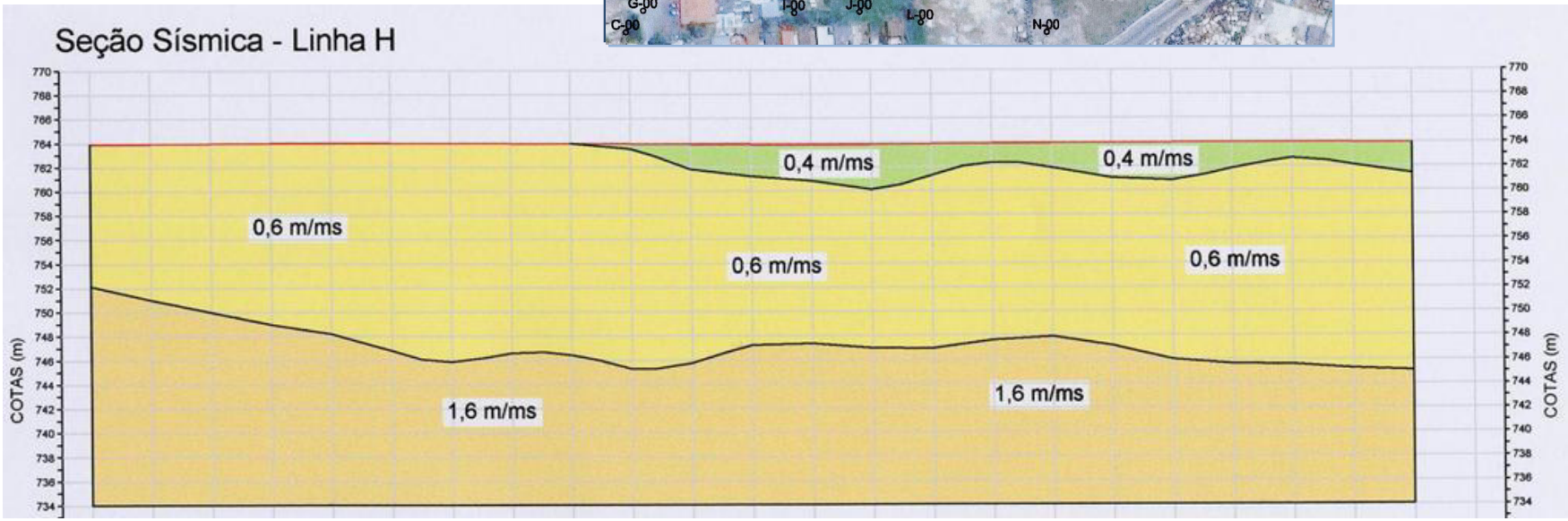
Objetivo: determinação da espessura do aterro de inertes



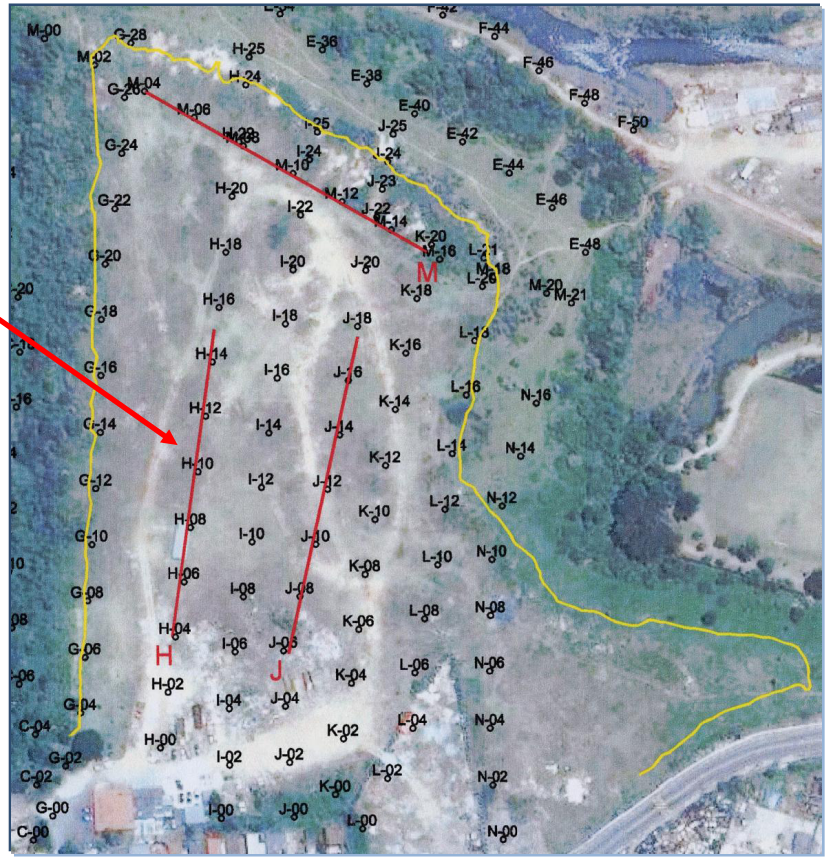
Linha H



Resultado da Sísmica de Refração

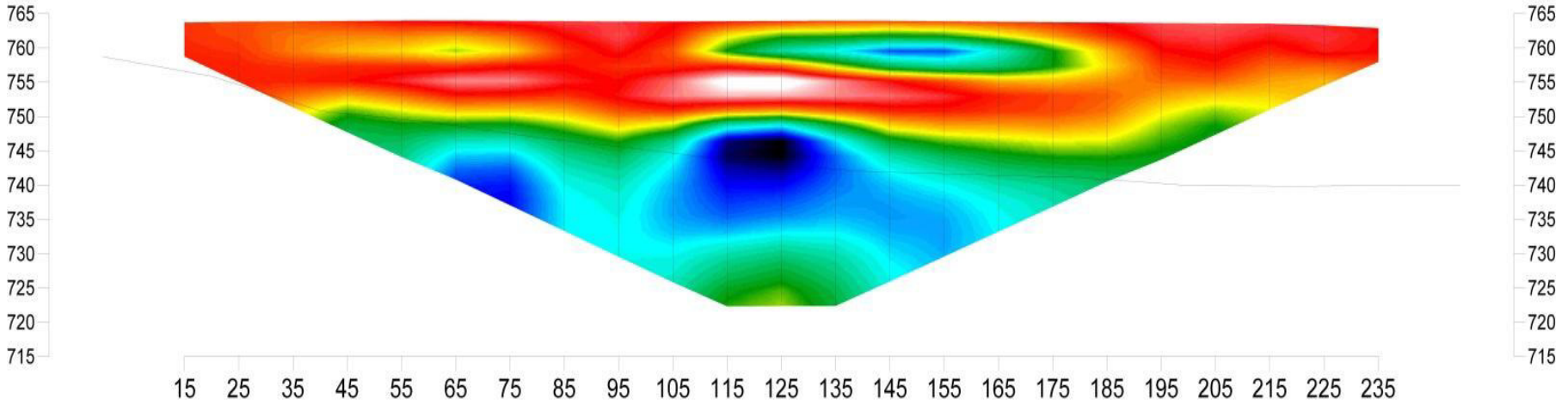


Linha H



Resultado da

Eletrorresistividade
(Caminhamento Elétrico)



INFORMAÇÃO ADICIONAL: TOPOGRAFIA ORIGINAL DA ÁREA

GEGRAN

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DE ECONOMIA E PLANEJAMENTO

SISTEMA CARTOGRÁFICO METROPOLITANO DA GRANDE SÃO PAULO ESC 1/2000

NM NG NQ

K = 0,9999034

LEVANTAMENTO AEROFOTOGRAMÉTRICO
PROJEÇÃO TRANSVERSA DE MERCATOR

DATA DO VÔO
FEVEREIRO/73

MERIDIANO CENTRAL 45°

CONVENÇÕES

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
Secretaria dos Negócios Metropolitanos

O original desta folha de mapeamento, de propriedade do GOVERNO DO ESTADO, foi transferido do extinto GEGRAN, da SEP, à SECRETARIA DOS NEGÓCIOS METROPOLITANOS, por força do Decreto n.º 6.111, de 05/05/75, referindo-se ao SISTEMA CARTOGRÁFICO METROPOLITANO, sendo a EMPLASA a depositária do mesmo.

Direitos de Reprodução Reservados.

ARTICULAÇÃO DAS FOLHAS

332636

5556

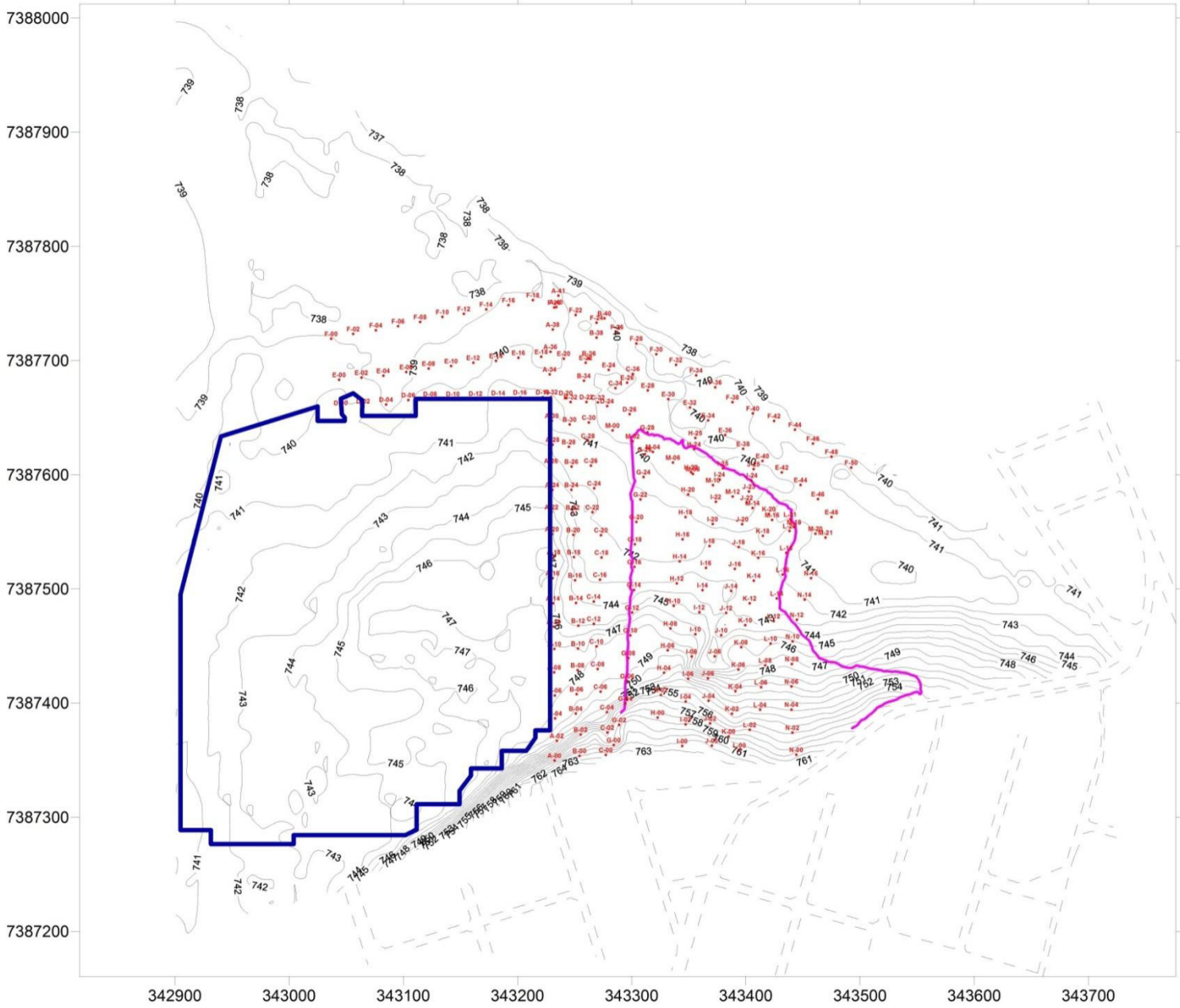
SANTO ANDRÉ

CONSÓRCIO VASP CRUZEIRO PROSPEC GEOFOTO AEROMAPA

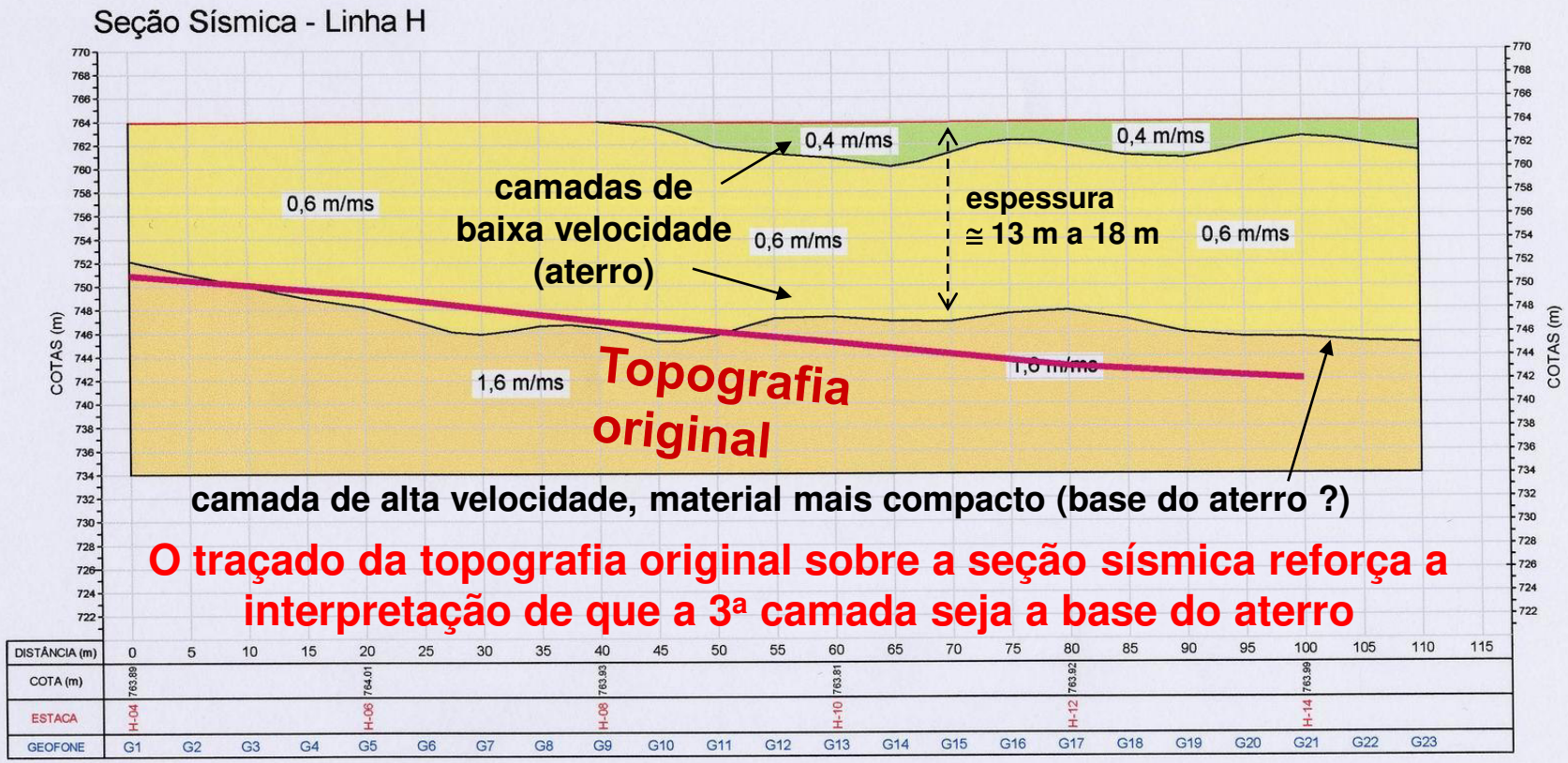
332636 - 74 BC

ATUALIZAÇÃO VÔO SET/75

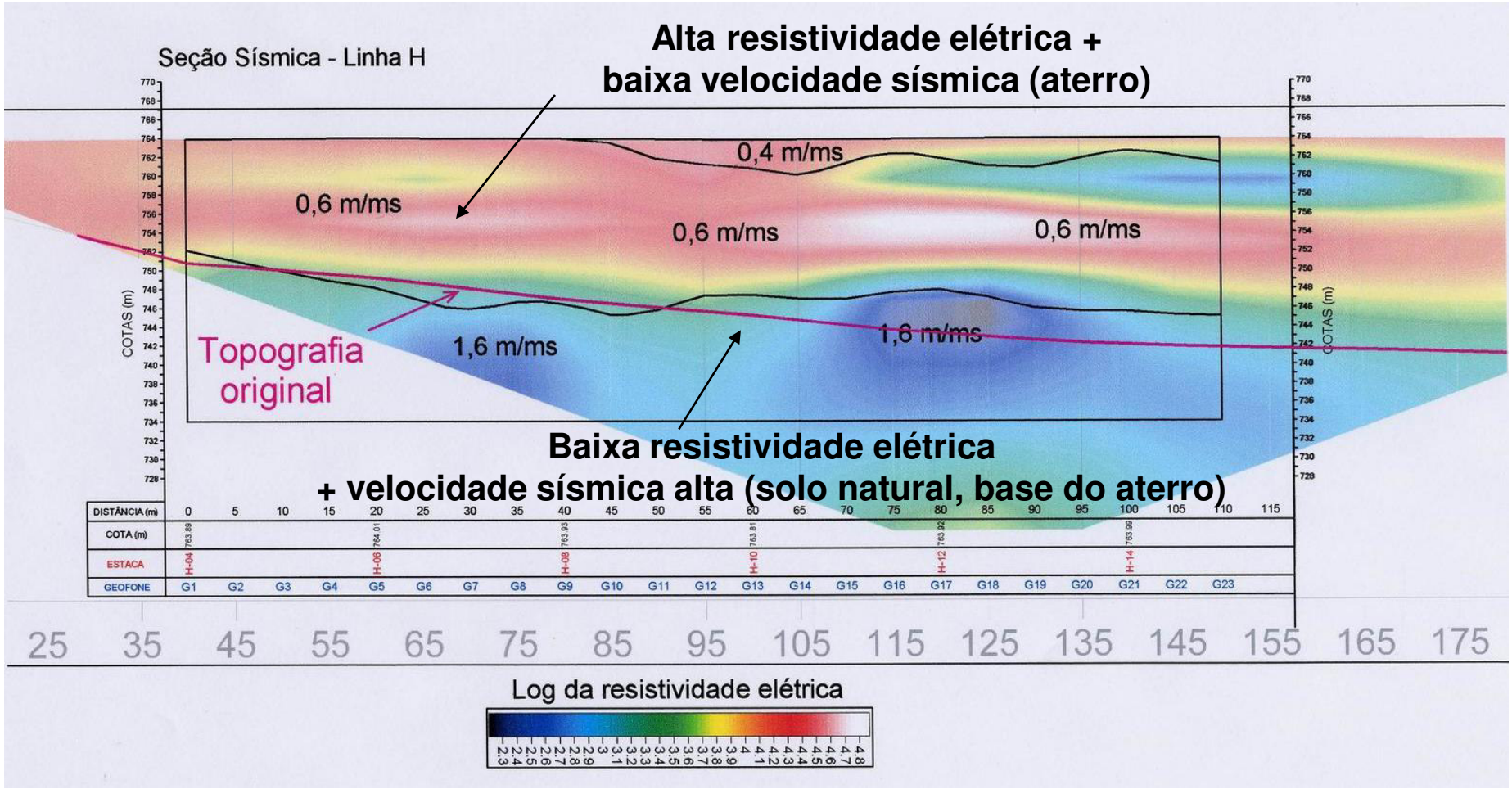
"OVERLAY" DA MALHA DA INVESTIGAÇÃO GEOFÍSICA SOBRE A TOPOGRAFIA ORIGINAL



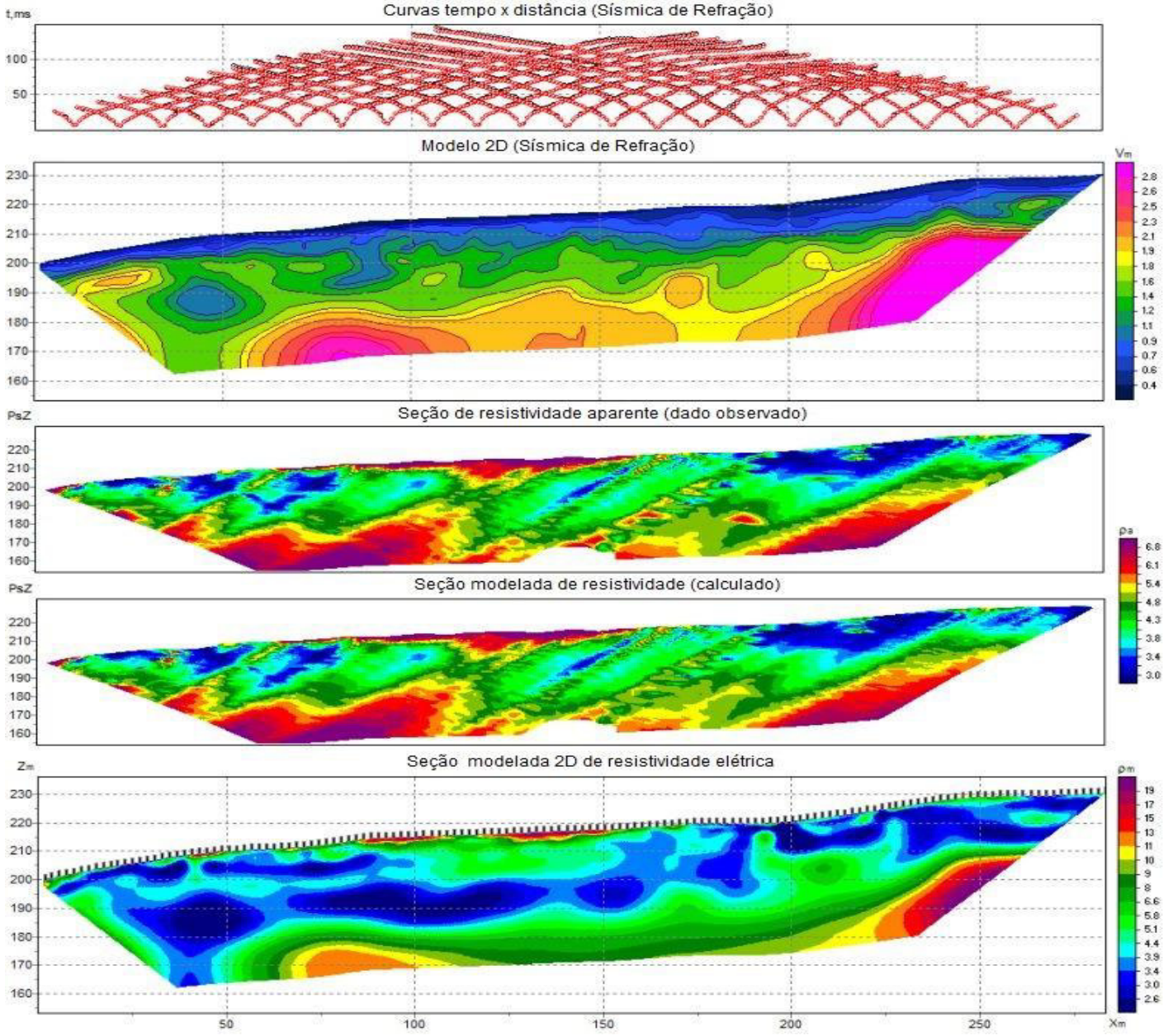
Seção interpretada da Sísmica de Refração (modelo de 3 camadas)



Correlação dos resultados
Sísmica & Eletrorresistividade
(Linha H – aterro)



INVERSÃO CONJUNTA (*JOINT INVERSION*)
SÍSMICA DE REFRAÇÃO + ELETRORRESISTIVIDADE (CE)



Fonte:
Zond Software

AEROPORTO DE CUMBICA

(GUARULHOS – SP)

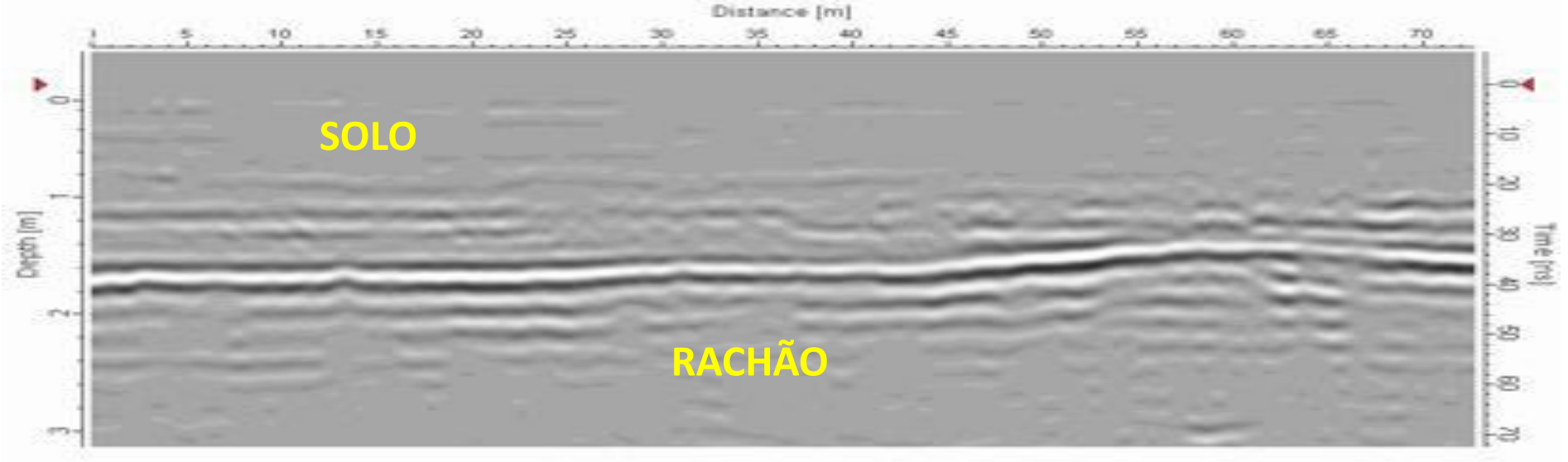
SOLO →

RACHÃO →

AEROPORTO DE CUMBICA

(GUARULHOS – SP)

ANTENA DE 250 MHz


Distance [m]
SOLO
RACHÃO
Depth [m]
Time [ns]

Determinação da espessura do pacote de RSU sobre o solo de fundação
⇒ É uma informação é importante nos estudos de estabilidade do aterro

Fonte: http://www.acaoengenharia.com.br

Limitação ⇒ dificuldades de investigação direta (sondagem) sobre o aterro: complexidade, riscos

Levantamento de campo: Itapira-SP

Geologia: solos residuais de gnaisses e migmatitos (siltes arenosos com coloração variegada)

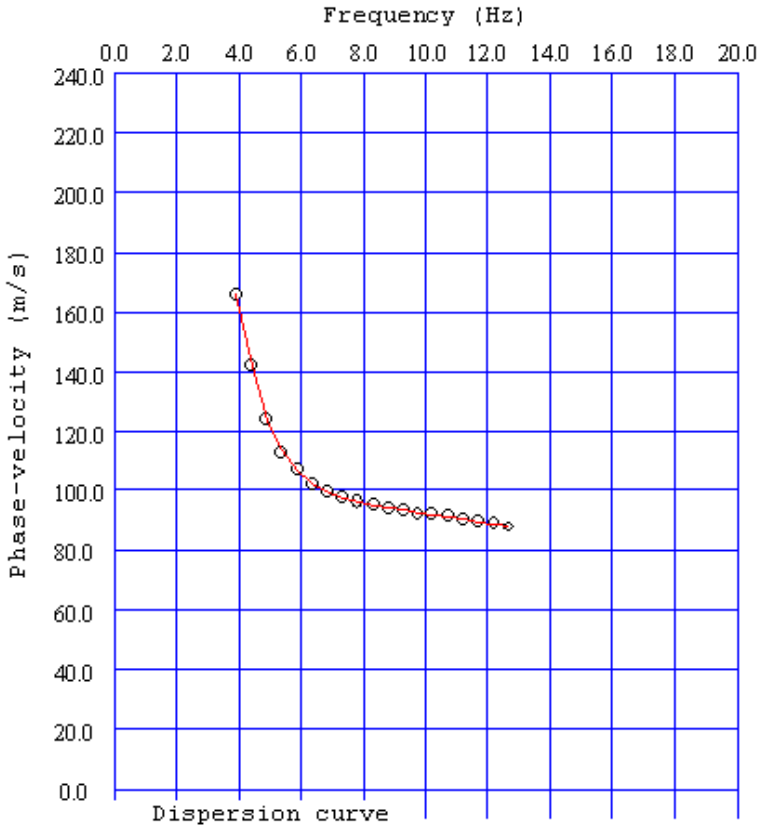
Levantamento de campo: Itapira-SP

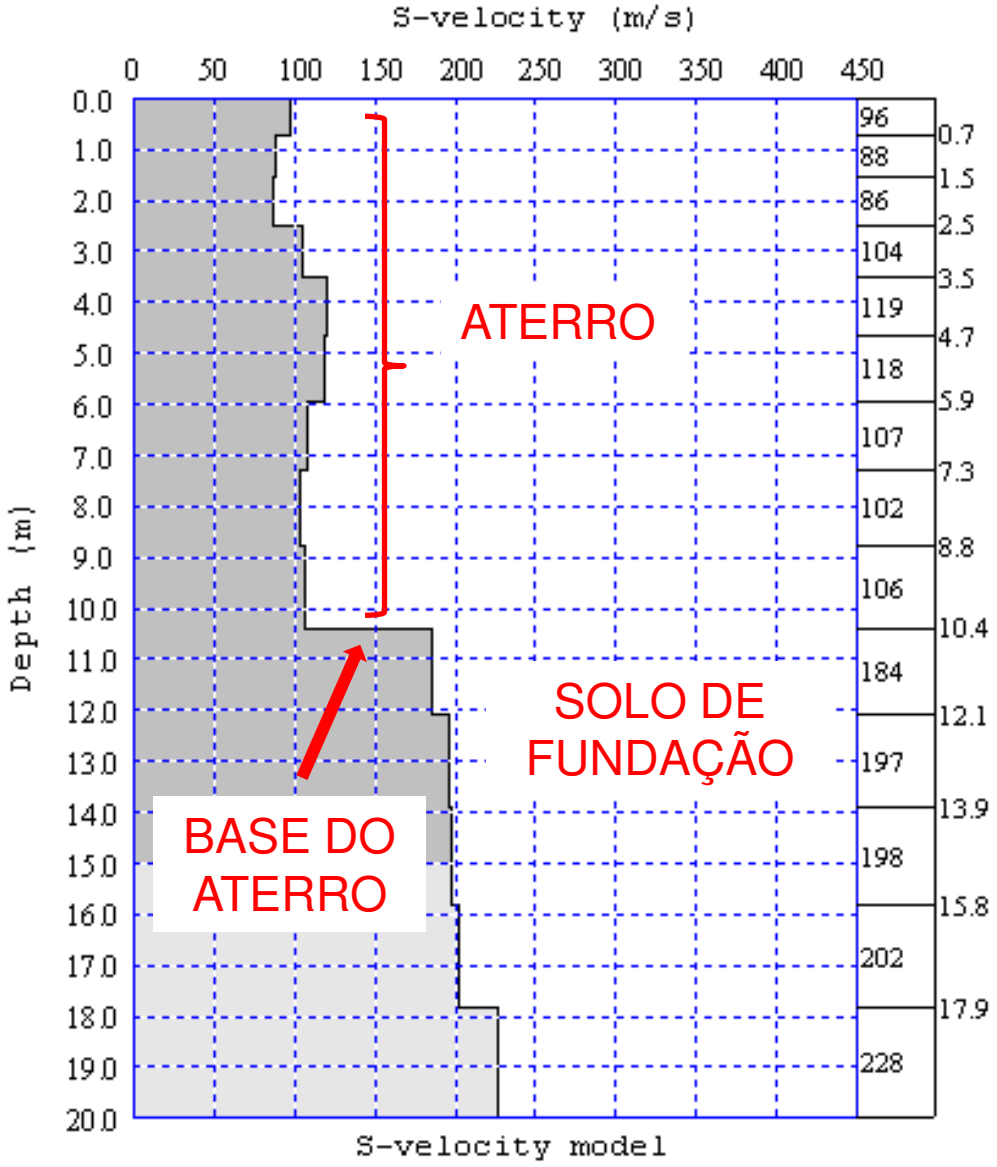
Linhas de MASW: realizadas sobre as bermas do aterro

Levantamento de campo: Itapira-SP

Resultados

Curva de dispersão

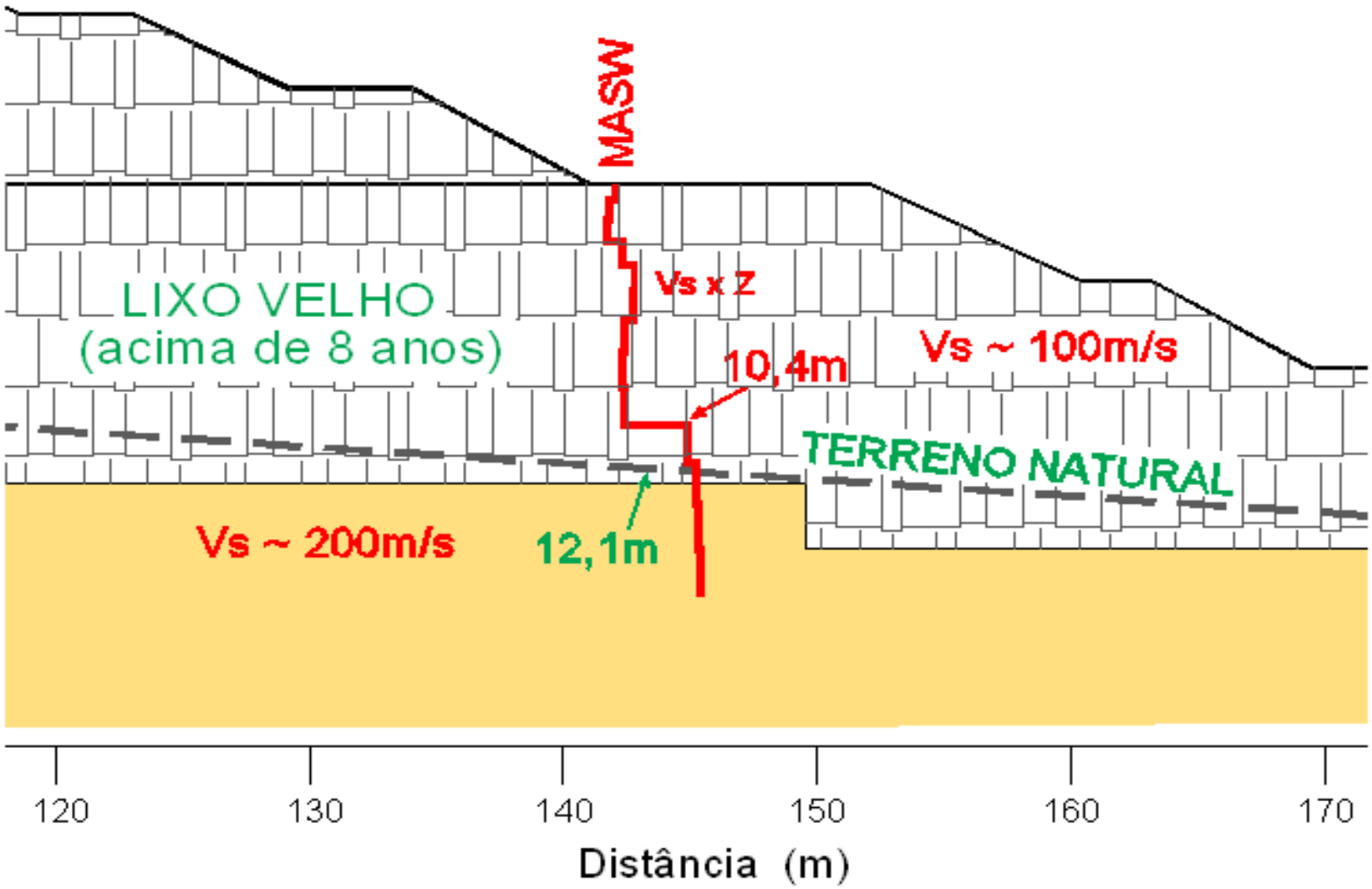




Modelo V_S x profundidade

Resultados

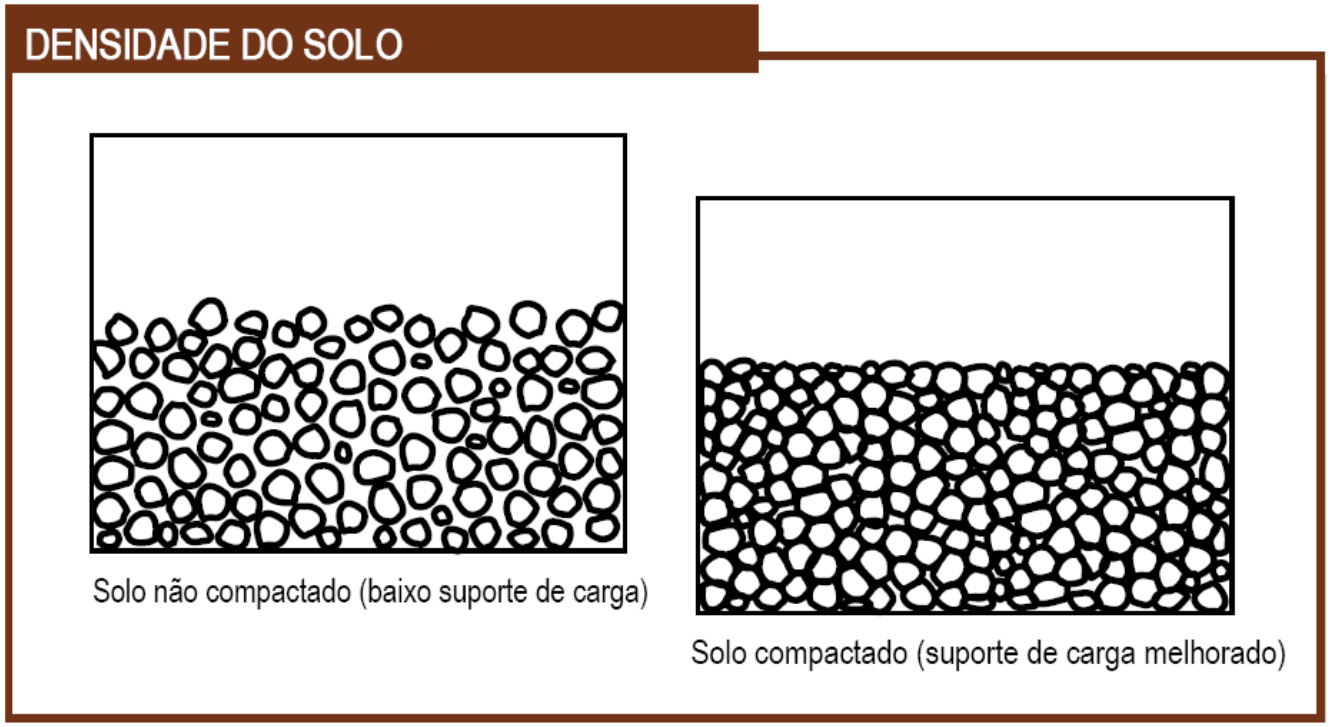
Espessura do aterro de RSU
- estimativa da engenharia = **12,1m**
- modelo V_S x Z (MASW) = **10,4m**



Compactação de solos

Compactação

Compactação de solo é definida como o método de aumentar mecanicamente a densidade do solo por meio de equipamentos mecânicos (rolo compressor, soquetes manuais)



Fonte: Compactação de solo: um manual básico (MQ-Multiquip)

$\Rightarrow$ Aumento do contato entre os grãos

Compactação

Diminuição do índice de vazios
$\Rightarrow$ aumento da densidade do solo (ρ)

$$e = \frac{V_V}{V_S} \qquad \downarrow V_V$$

$$\gamma_N = \frac{P_T}{V_T} = \frac{P_T}{V_S + V_V}$$

$$\Rightarrow \downarrow V_V \Rightarrow \uparrow \gamma_N \Rightarrow \uparrow \rho$$

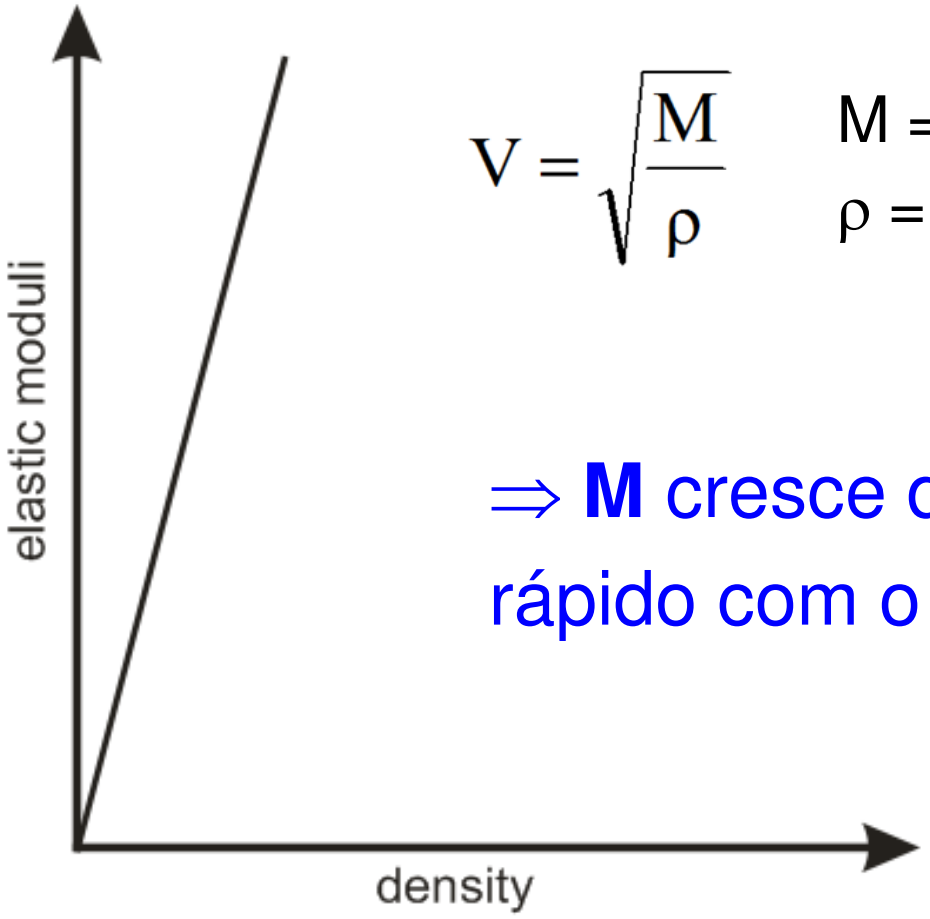
$$\rho = \gamma_N / g$$

$$V_S = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

V_S = velocidade da onda S
G = módulo de rigidez

G também aumenta
(com maior taxa de variação)

$\Rightarrow$ aumento de V_S



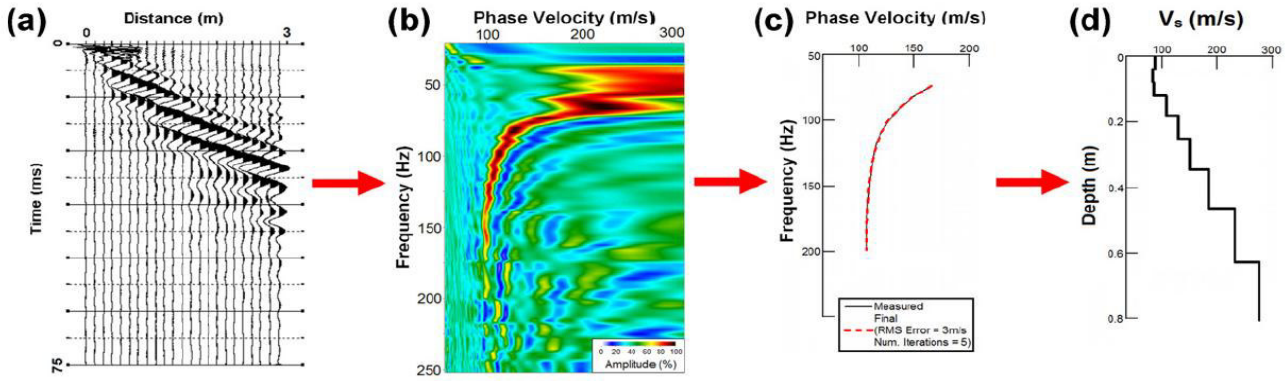
$$V = \sqrt{\frac{M}{\rho}}$$

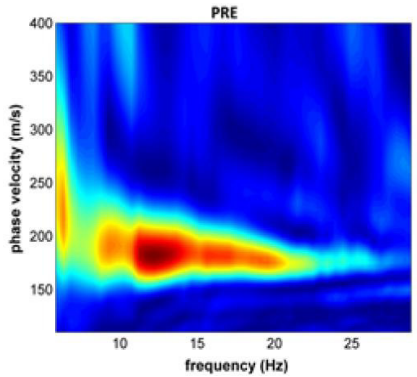
M = módulo de elasticidade

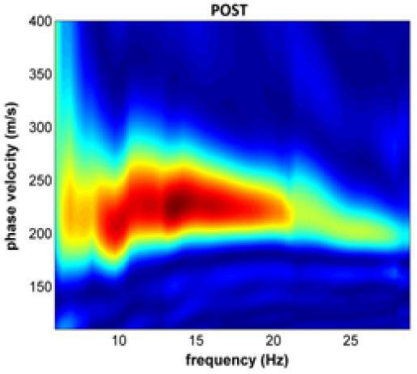
ρ = densidade

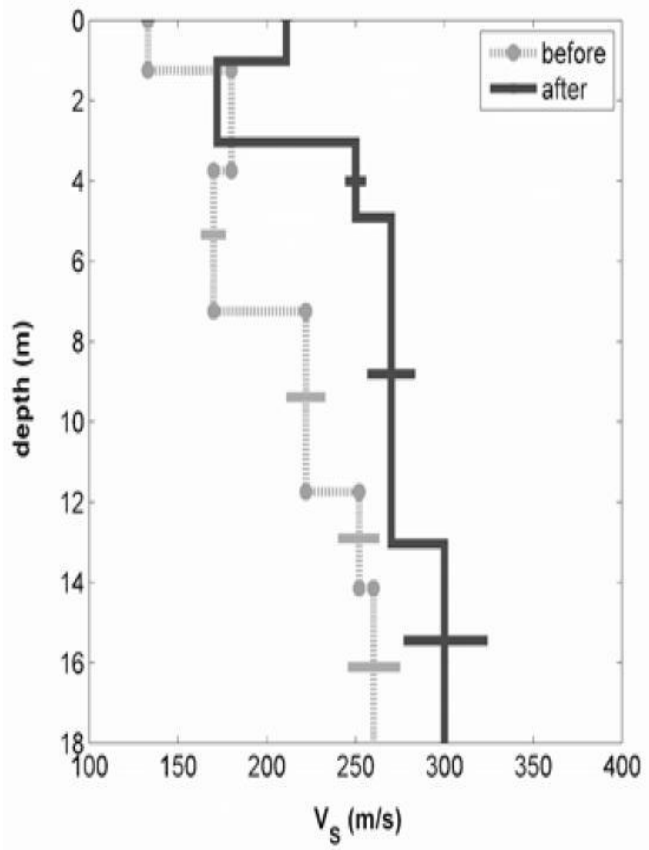
$\Rightarrow$ **M** cresce de modo mais rápido com o aumento de ρ

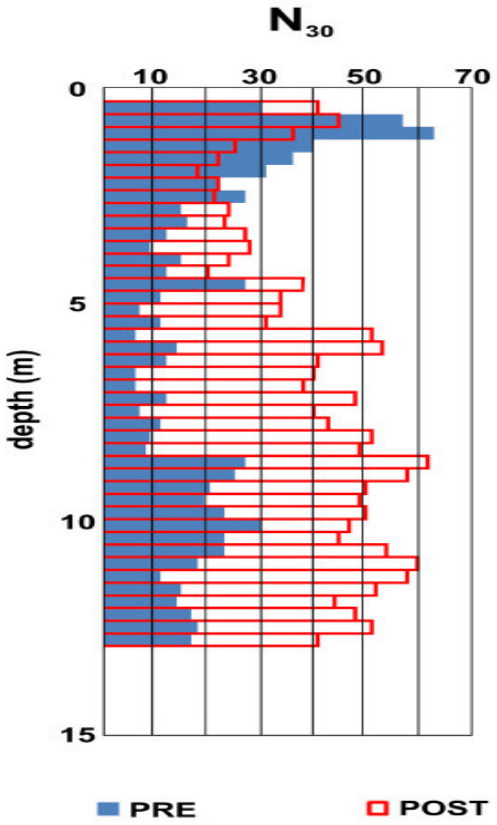
MASW









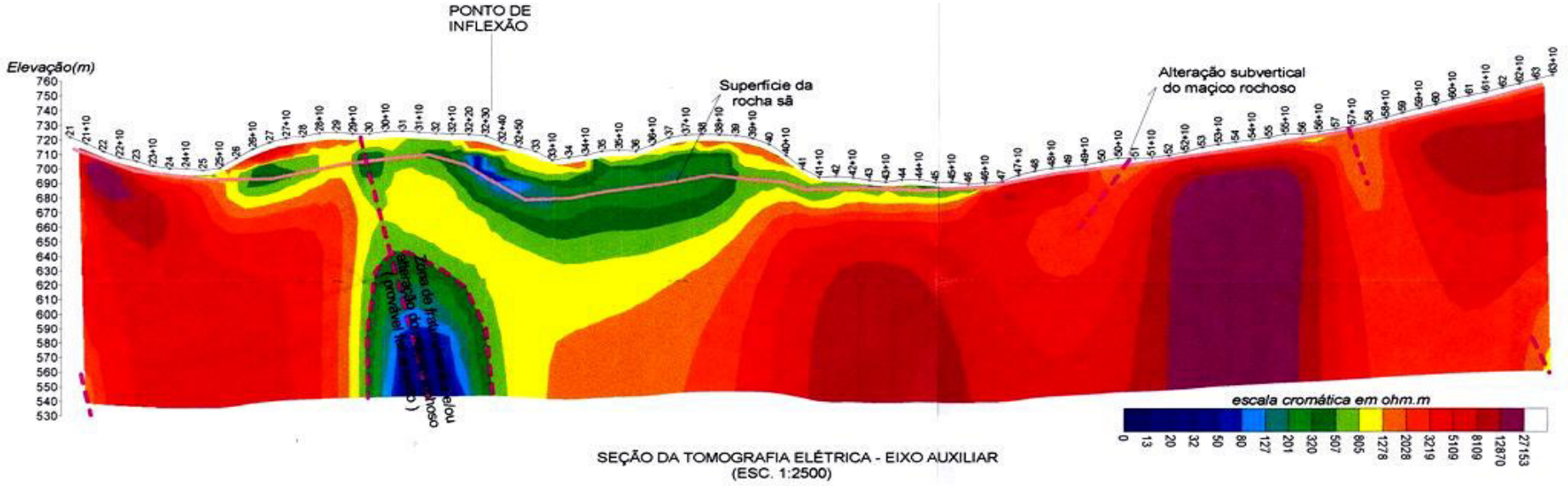


ASSESSING GROUND COMPACTION VIA TIME LAPSE SURFACE WAVE ANALYSIS

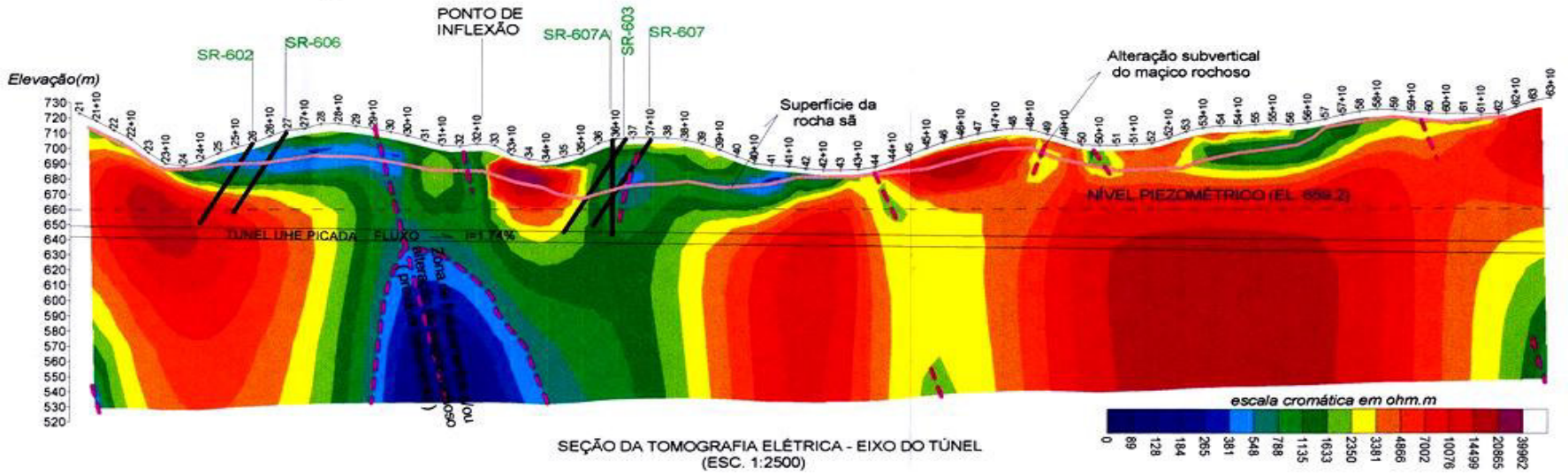
Giancarlo DAL MORO [1)*], Nassir AL-ARIFI [2)] and Sayed S.R. MOUSTAFA [2, 3)]

Investigação em área de construção de túneis

Local: UHE Picada (Juiz de Fora-MG)



SEÇÃO DA TOMOGRAFIA ELÉTRICA - EIXO AUXILIAR
(ESC. 1:2500)



SEÇÃO DA TOMOGRAFIA ELÉTRICA - EIXO DO TÚNEL
(ESC. 1:2500)

Bull Eng Geol Env (2006) 65: 231–243
DOI 10.1007/s10064-006-0041-6

ORIGINAL PAPER

Guri Venvik Ganerød
Jan Steinar Rønning
Einar Dalsegg
Harald Elvebakk
Kristin Holmøy
Bjørn Nilsen
Alvar Braathen

Comparison of geophysical methods for sub-surface mapping of faults and fracture zones in a section of the Viggja road tunnel, Norway

Abstract Results from site investigations, 2D resistivity, refraction seismic and VLF on a section of tunnel near Trondheim, show that 2D resistivity data are most valuable for interpreting geological structures in the sub-surface. VLF only identifies zones and does not indicate thickness, width or dip direction. The method is also sensitive to technical installations. Refraction seismic is valuable for mapping depth to bedrock, location and width of fracture zones but cannot indicate the depth or dip direction of such zones. With 2D resistivity, the position of a zone is well identified.

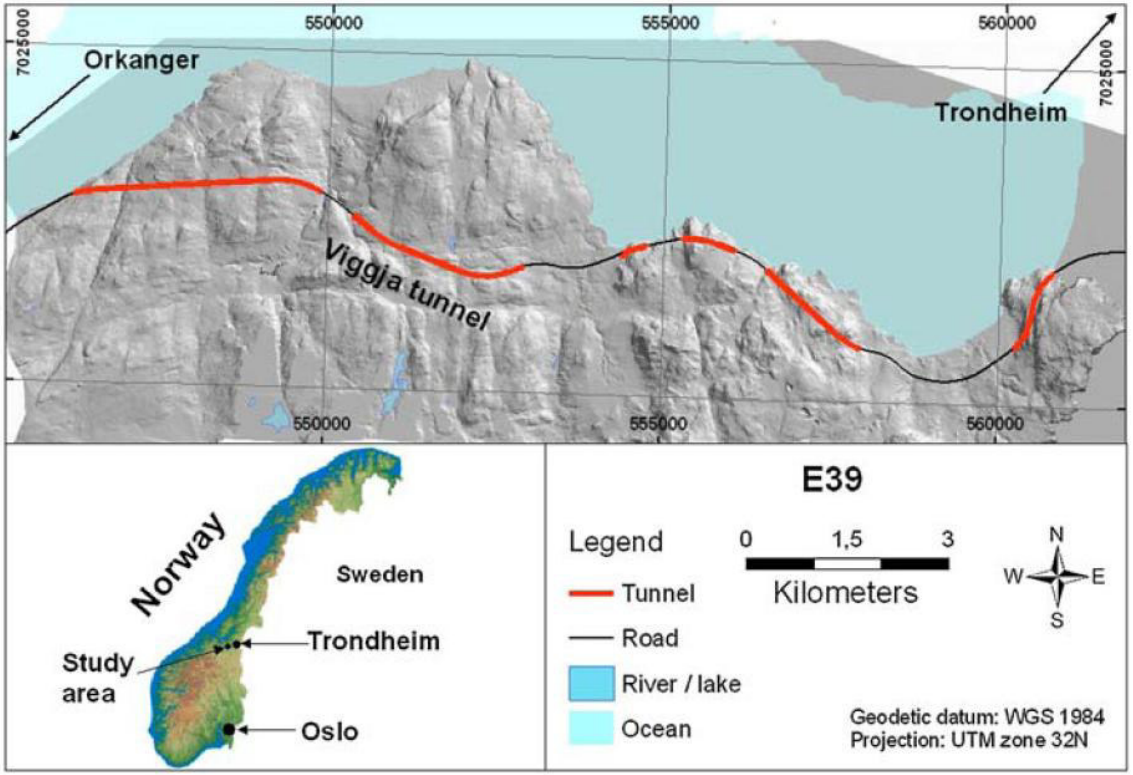
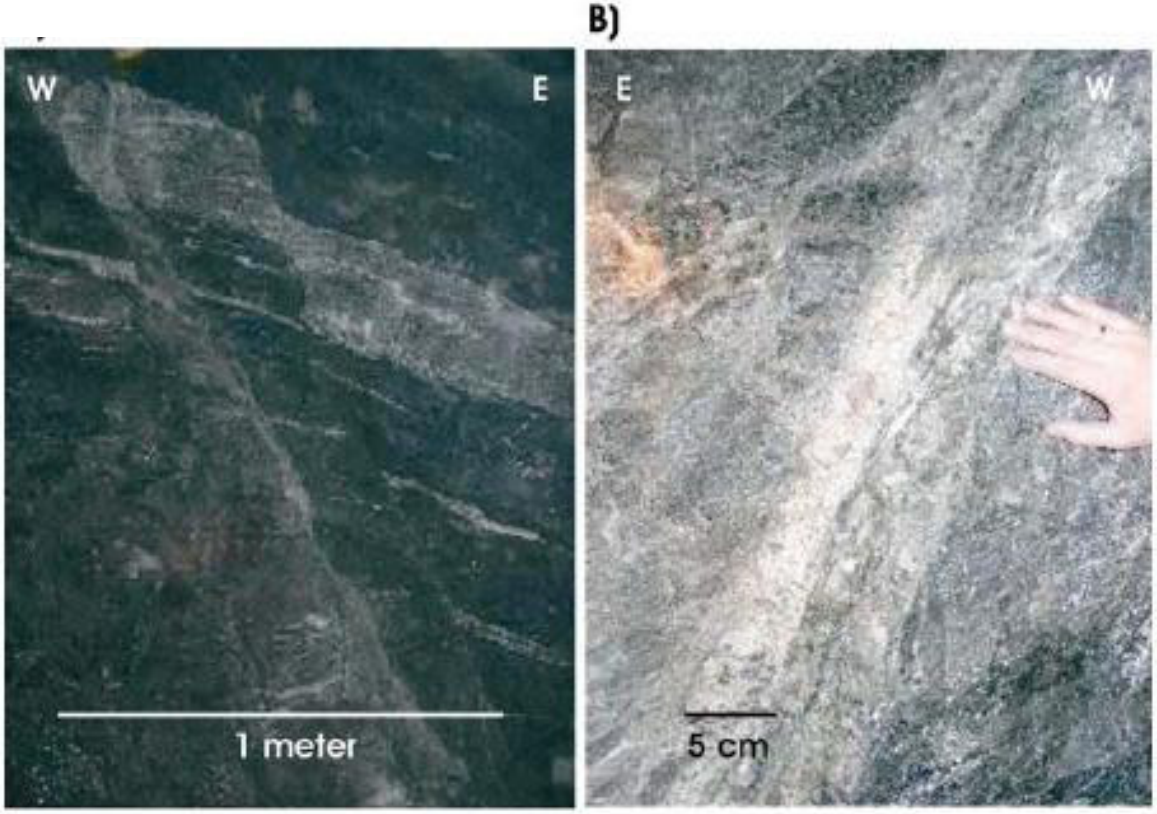


Fig. 1 Location of the Viggja tunnel, in the Trondheim region of central Norway

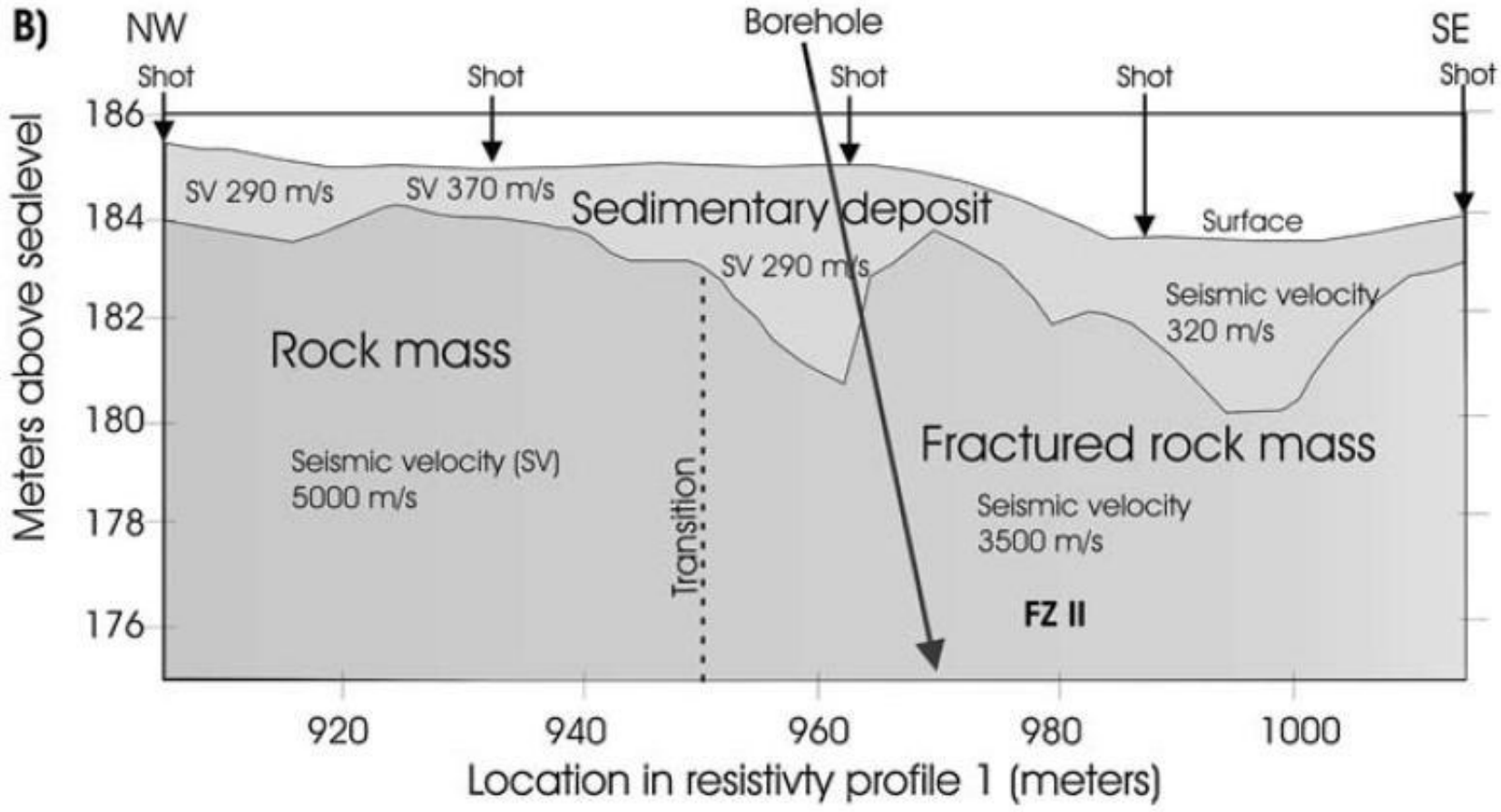
Fig. 2 **a** Extensional fault observed in the tunnel with **b** fault core containing clay-rich fault gouge, with small, local lenses of breccia.

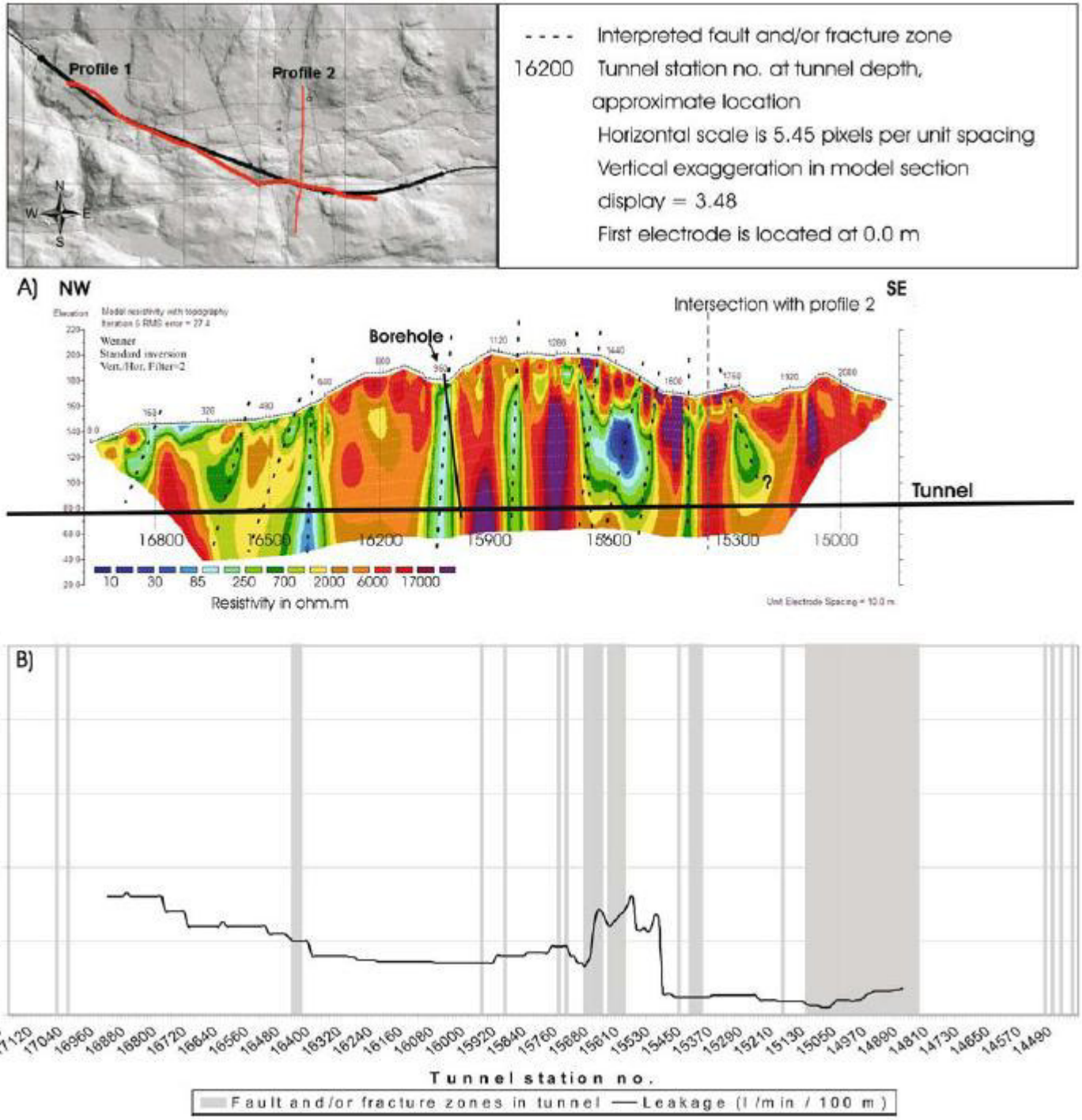


breccia = "brecha"

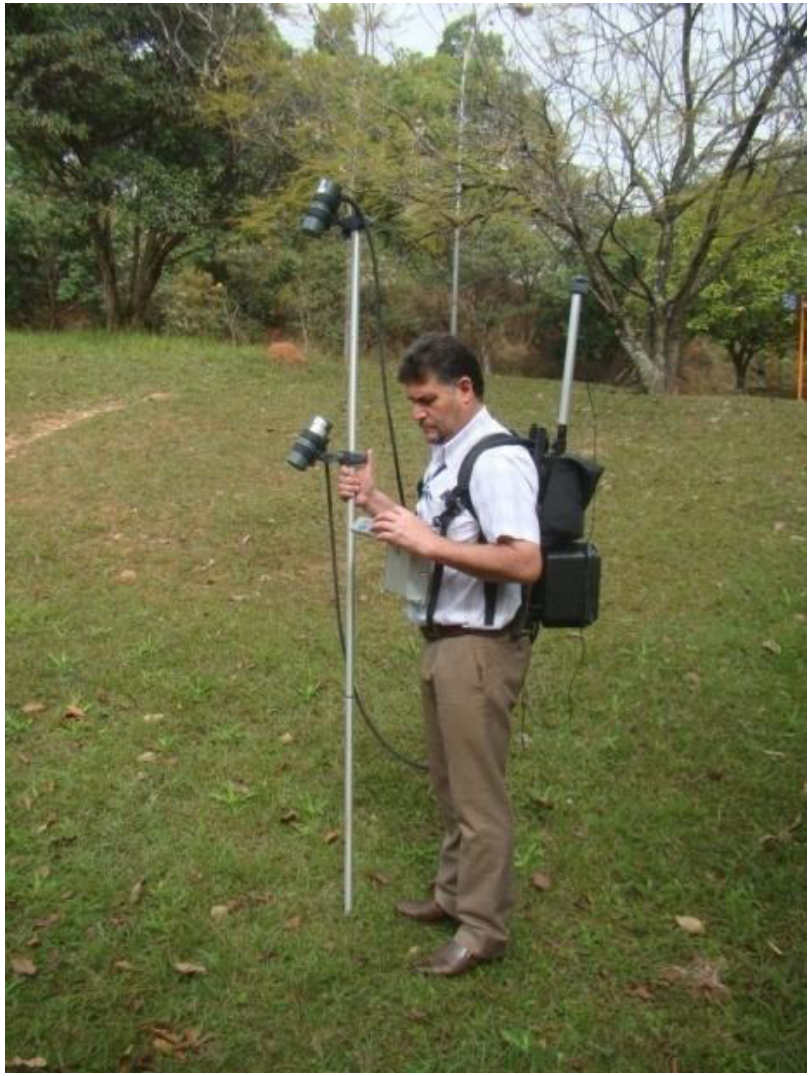
→ zonas de cisalhamento, em locais onde ocorreu intenso tectonismo podem causar deformações dúcteis (estiramento mineral) e deformações rúpteis (quebra ou esmagamento de minerais-brechas)

Seção de Sísmica de Refração

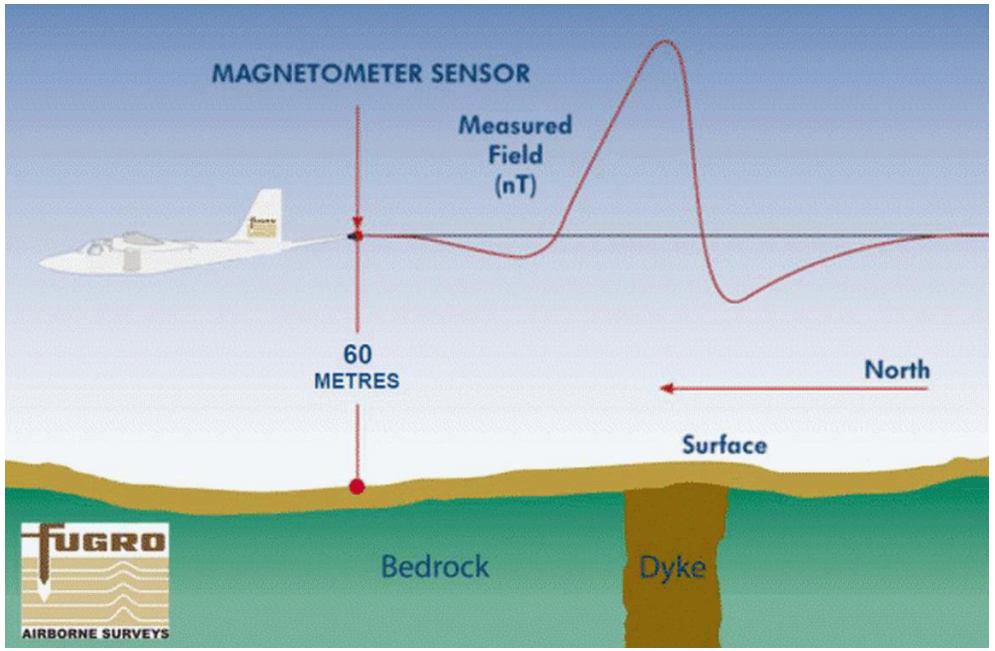



Profile 1
Profile 2
N
W
E
S
- - - - Interpreted fault and/or fracture zone
16200 Tunnel station no. at tunnel depth, approximate location
Horizontal scale is 5.45 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 3.48
First electrode is located at 0.0 m
A) NW
SE
Intersection with profile 2
Borehole
Tunnel
16800
16500
16200
15900
15600
15300
15000
10 30 85 250 700 2000 6000 17000
Resistivity in ohm.m
B)
Leakage (l / min /100 m)
Tunnel station no.
Fault and/or fracture zones in tunnel
Leakage (l /min / 100 m)

LOCALIZAÇÃO DE ROCHAS ÍGNEAS BÁSICAS



Magnetômetro/gradiômetro
Scintrex, SM-5 NAVMAG



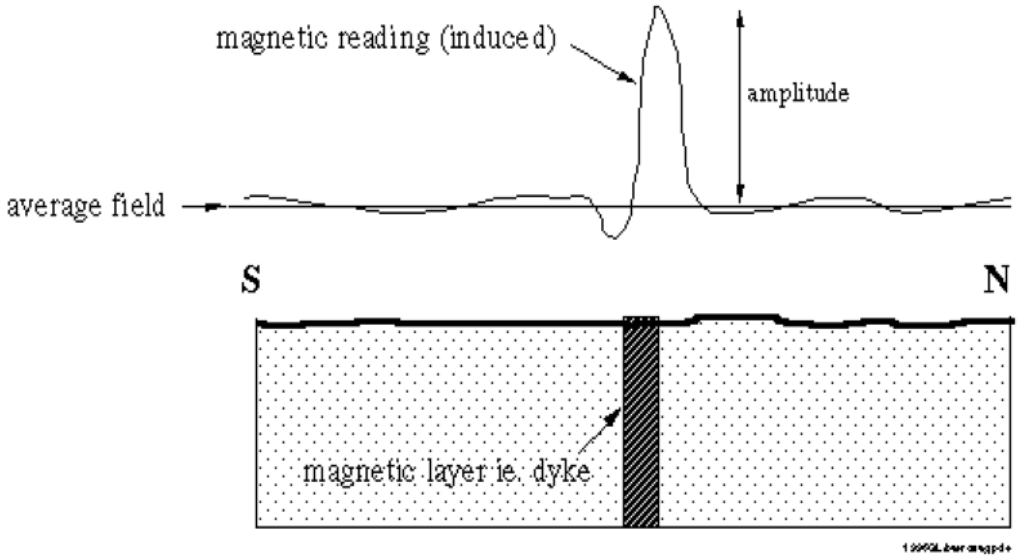
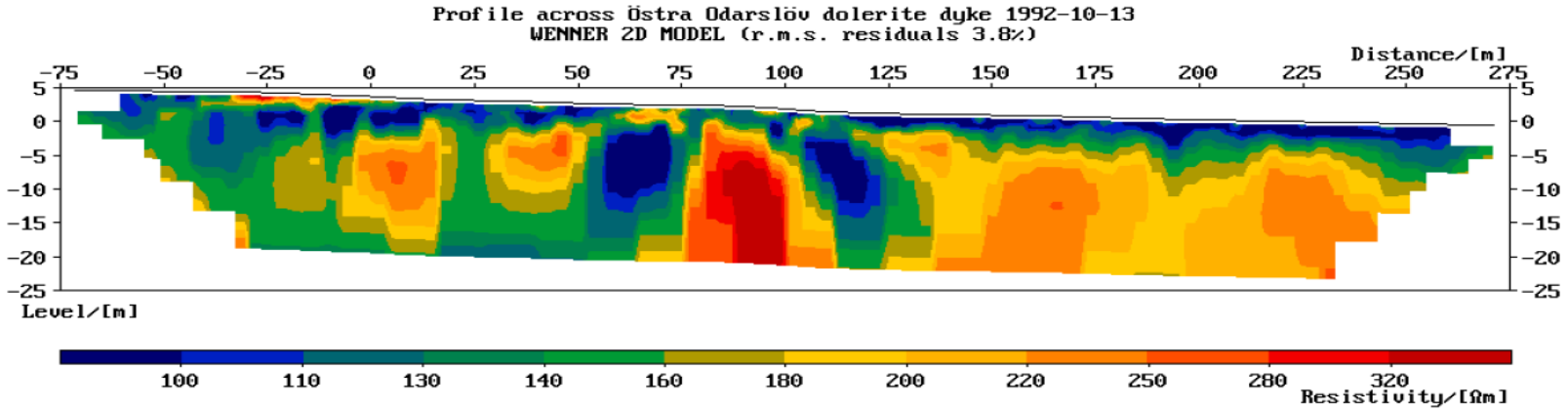


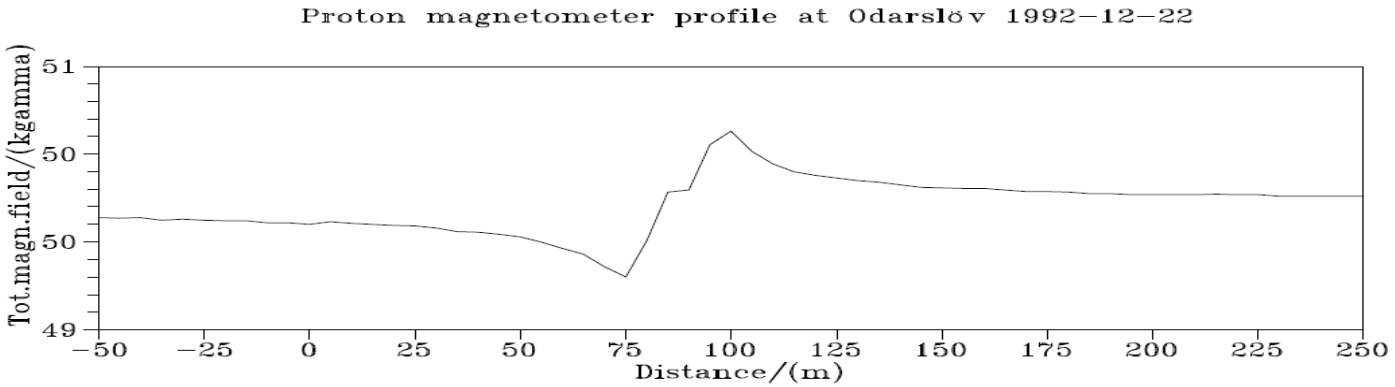
FIGURE 2: A magnetic reading profile across a dyke

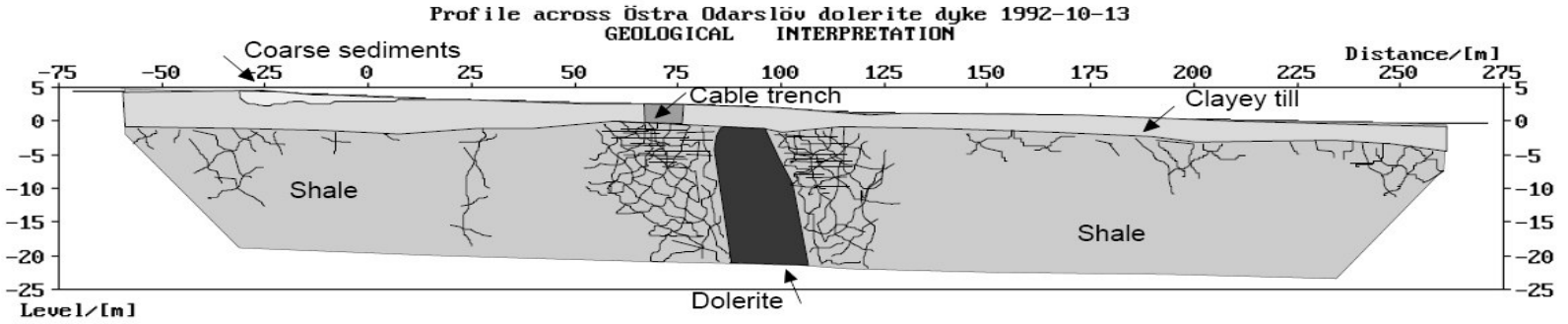
Tabela 4.1 - Susceptibilidade de rochas[6]

rochas	variação $\times 10^6$ emu	média $\times 10^6$ emu
Sedimentares:		
Dolomita	0-75	10
Calcário	2-280	25
Arenito	0-1660	30
Folhelho	5-1480	50
Metamórficas:		
Anfibolito	-	60
Xisto	25-240	120
Filito	-	130
Gnaisse	10-2000	-
Quartzito	-	350
Ardósia	0-3000	500
Ígneas:		
Granito	0-4000	200
Riolito	20-3000	-
Dolerito	100-3000	1400
Diabásio	80-13000	4500
Gabro	80-7200	6000
Basalto	20-14500	6000
Diorito	50-10000	7000
Piroxenito	-	10500
Peridotito	7600-15600	13000
Andesito	-	13500

Profile over dolerite dyke cutting through shale under clayey till







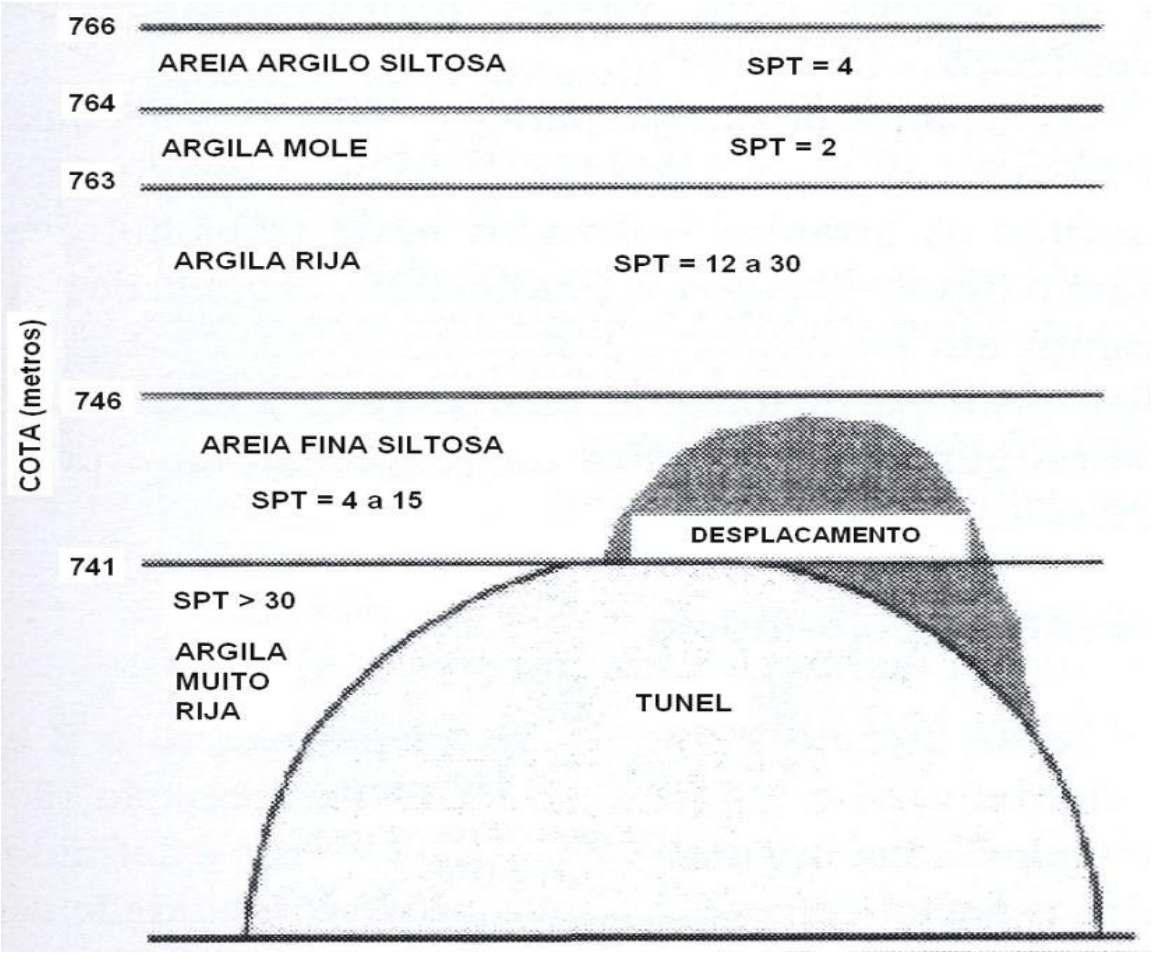
Fonte: Torleif Dahlin, 1998

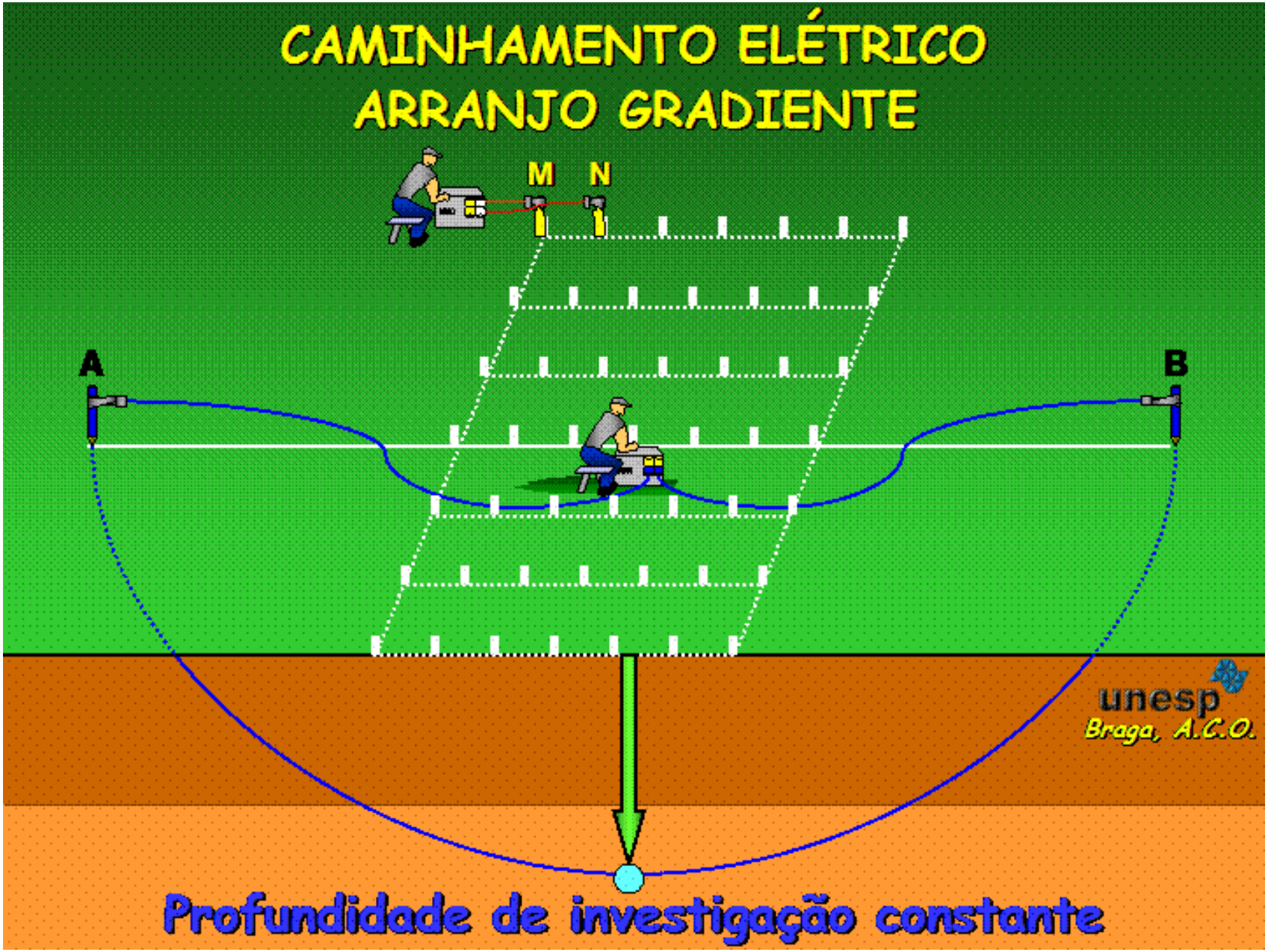
Estudo de caso em uma área urbana em São Paulo-SP

OBJETIVOS

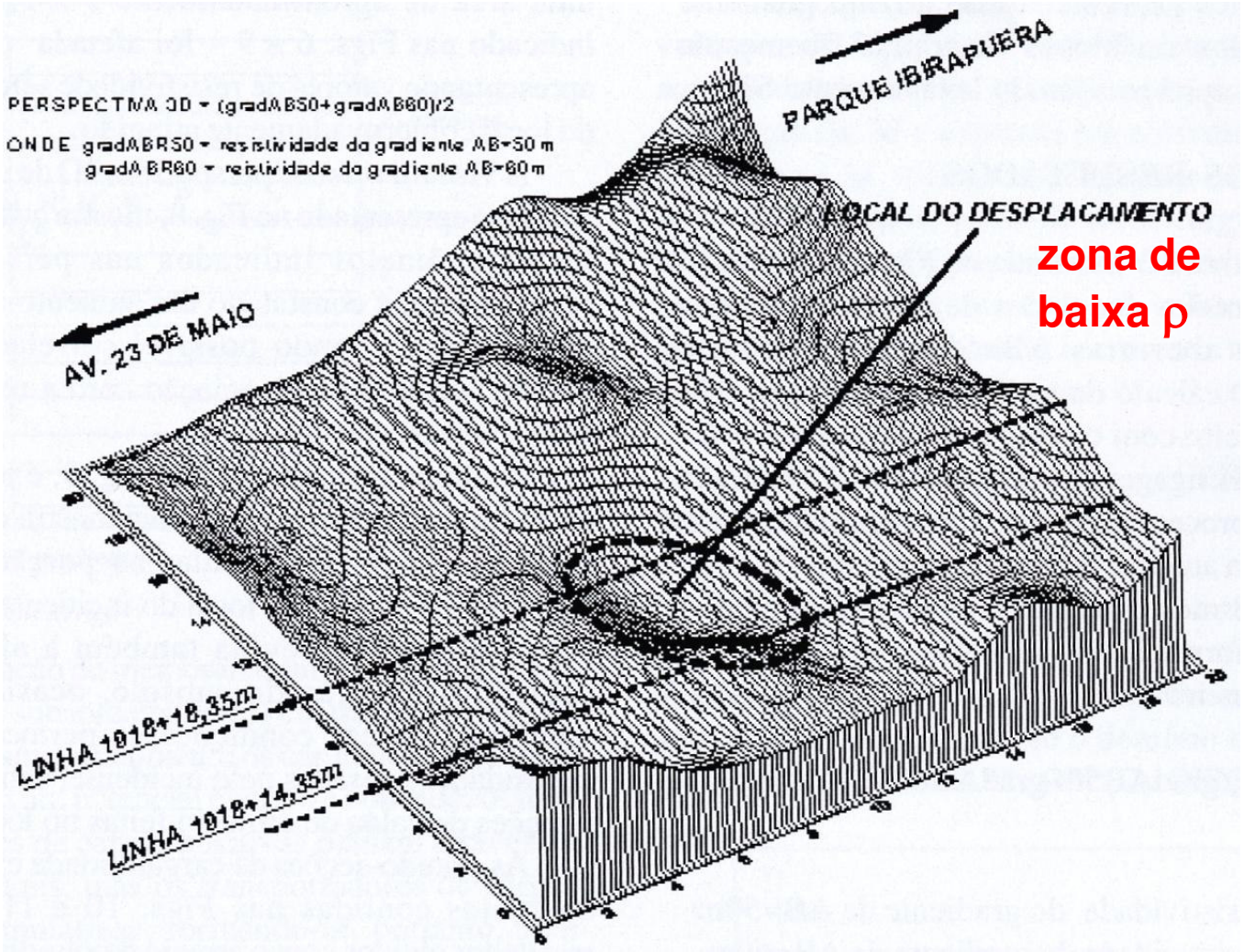
⇒ Delimitar a extensão da zona afetada por um colapso e desmoronamento do teto de um túnel em construção sob o Parque do Ibirapuera, São Paulo-SP

⇒ Estimar a área do maciço que deveria ser reforçada com tratamento especial




CAMINHAMENTO ELÉTRICO
ARRANJO GRADIENTE
M
N
A
B
unesp
Braga, A.C.O.
Profundidade de investigação constante

✓ Técnica: caminhamento elétrico (arranjos dipolo-dipolo e gradiente)



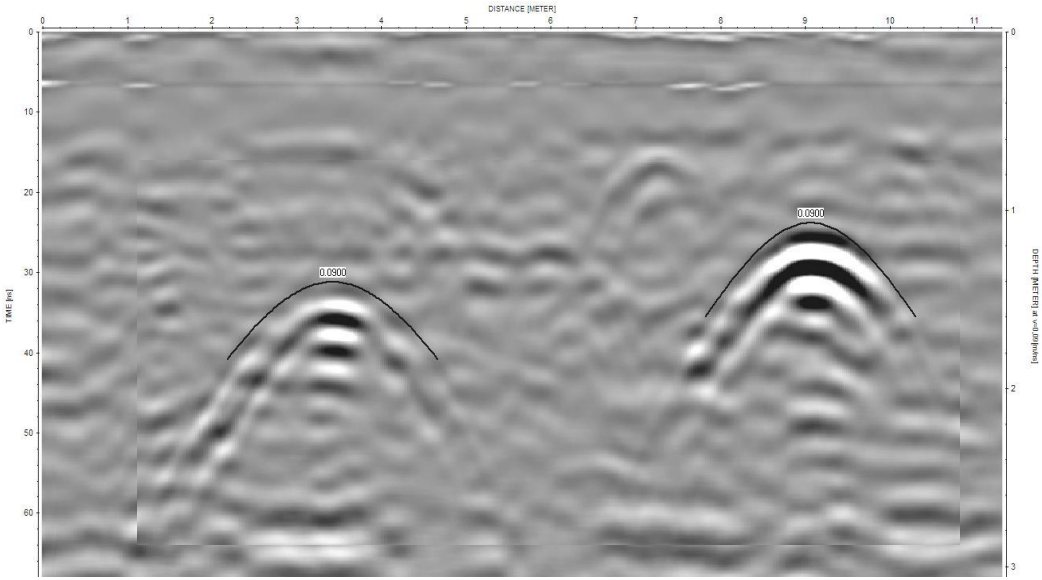
Estimativa inicial (**engenharia**) → área de **20 m x 20 m**

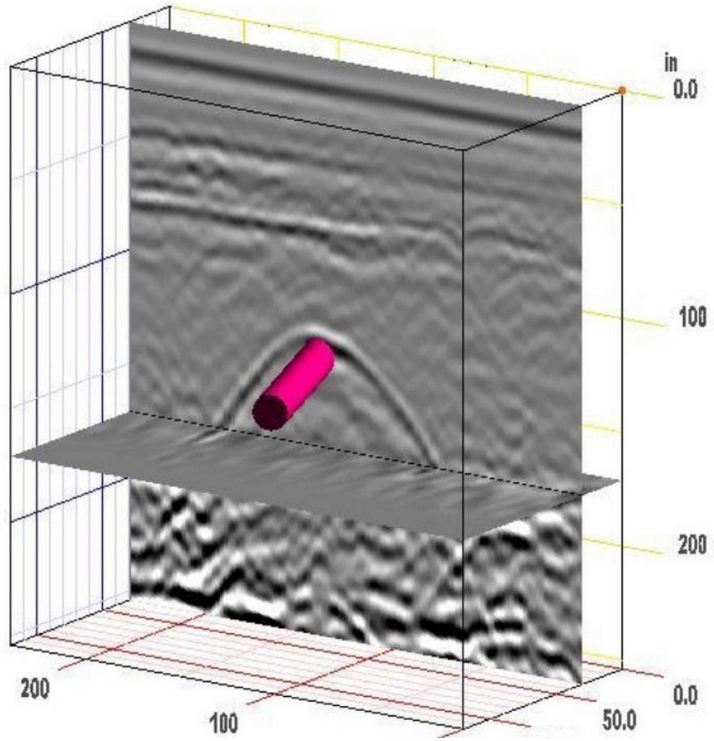
Estimativa final (**definida após estudos geofísicos**) → área de **3 m x 5 m**

⇒ redução de custos superior a 90% da avaliação preliminar

Localização de dutos e tubulações

Vermeer
Vermeer


DISTANCE [METER]
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
TIME [ns]
0
10
20
30
40
50
60
0.0900
0.0900
DEPTH [METER] at v=0.09[ns/m]
0
1
2
3


in
0.0
100
200
0.0
50.0
100
200

GPR Malå, antena de 100 MHz (1999)

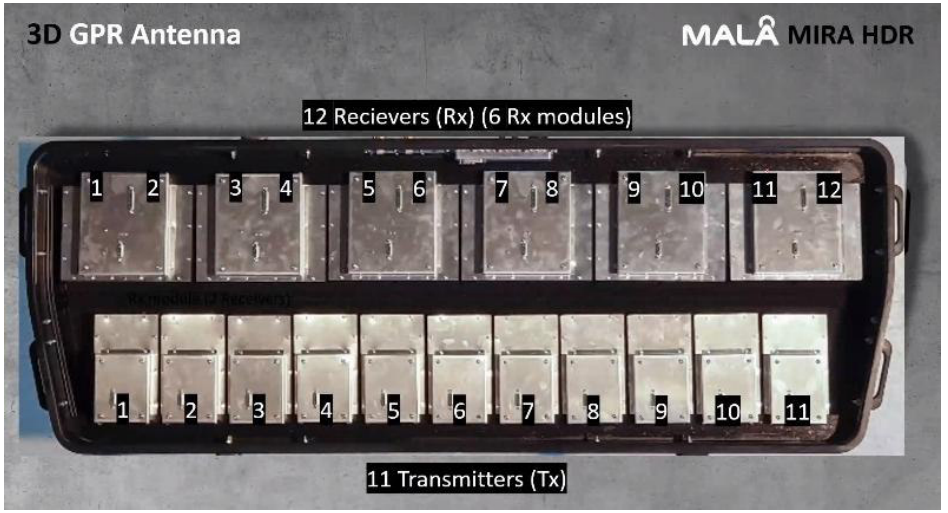
Interragator II 300 MHz (2004)

Spray marker kit

IDS GeoRadar

Opera Duo

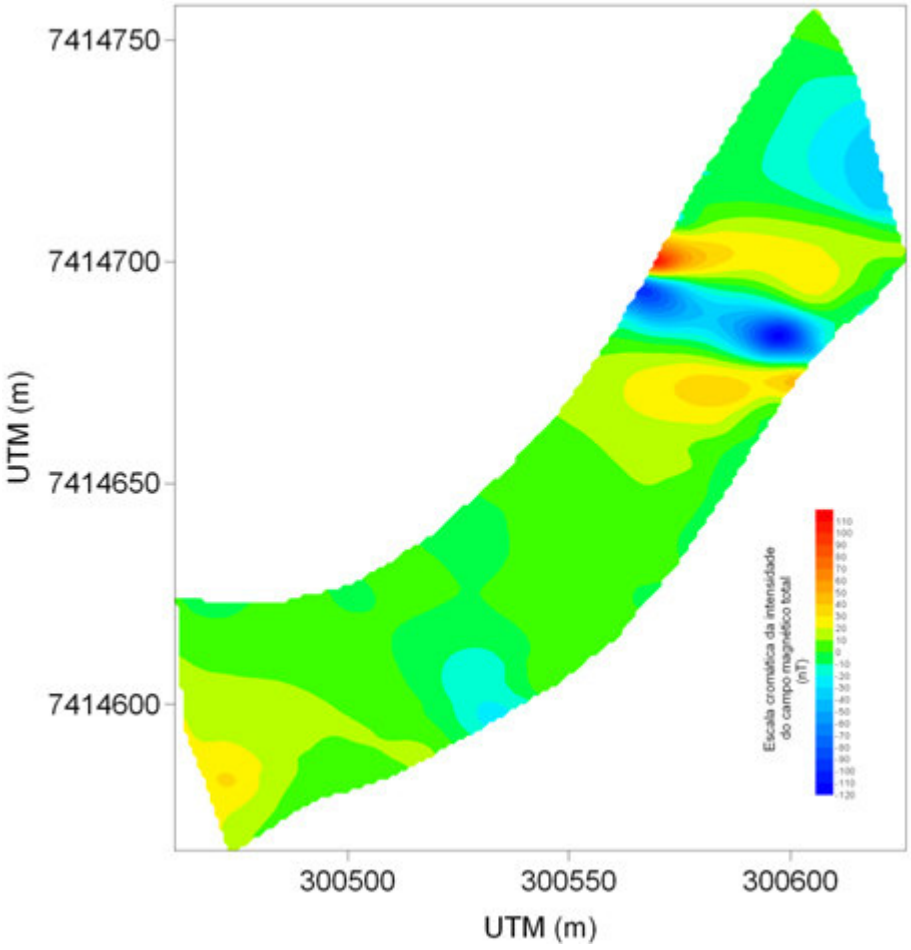
Opera Duo Features



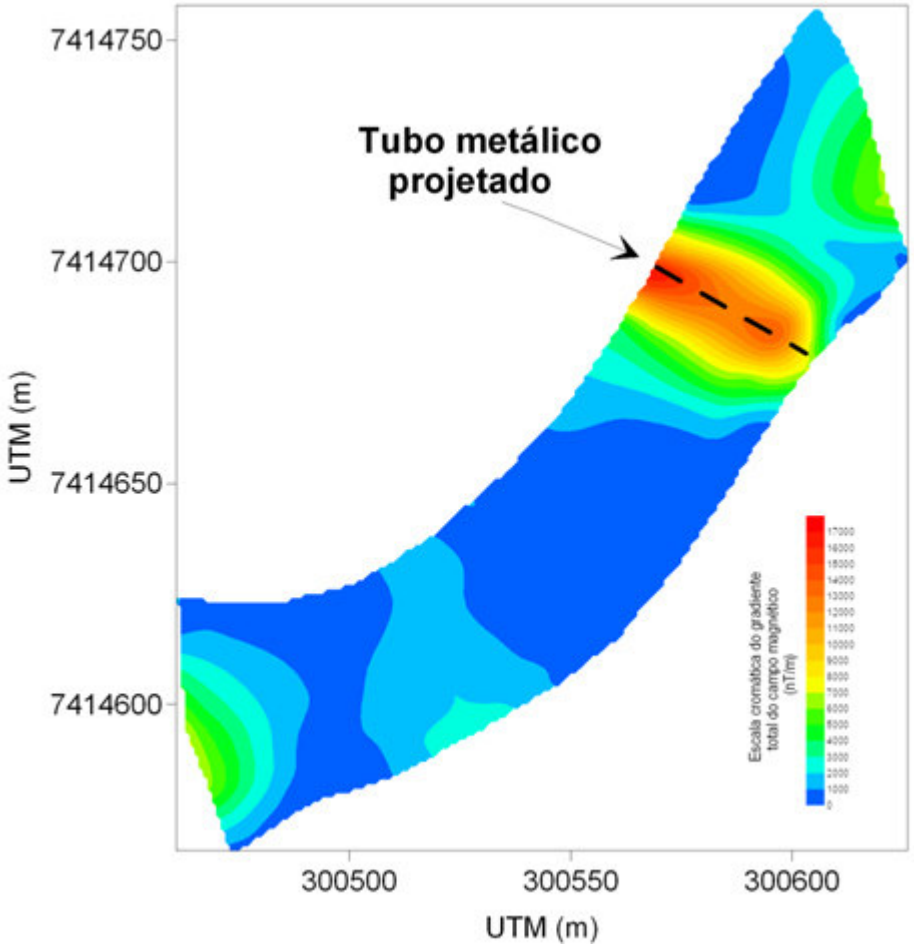
3D GPR Antenna/Array (MALÅ MIRA HDR)

Magnetometria aplicada para localização de um duto metálico sob um dique em Pirapora do bom Jesus-SP

Mapa do campo magnético total



Mapa do sinal analítico



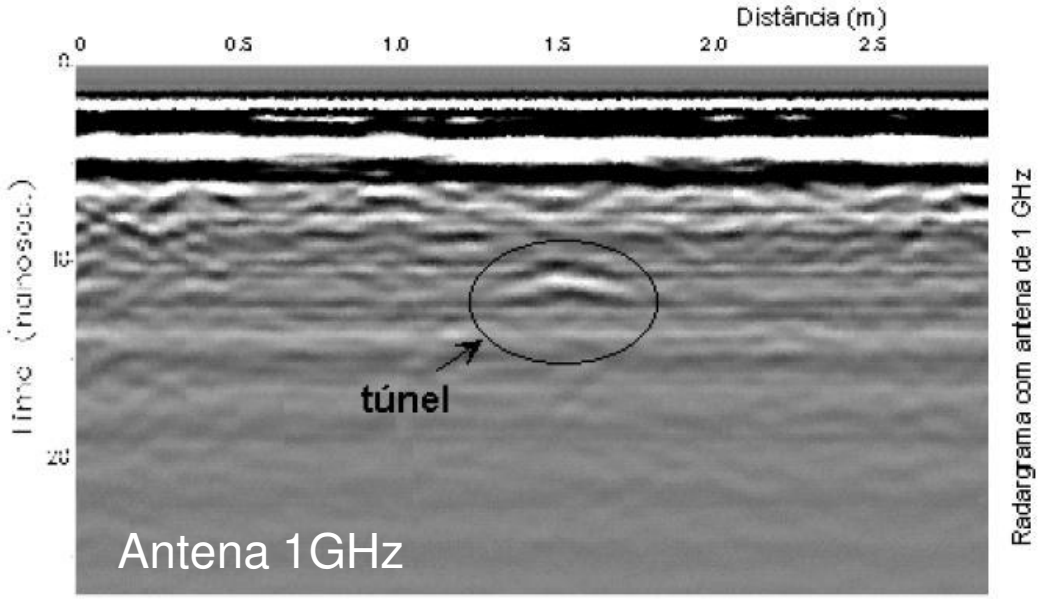
3 microtúneis:

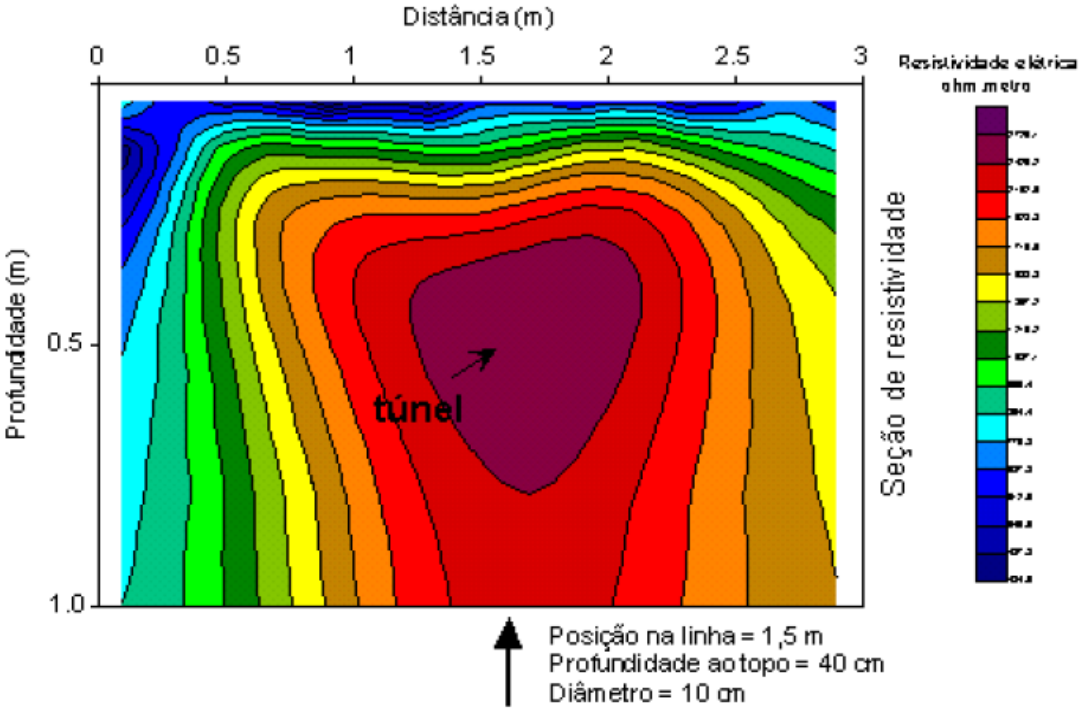
- Comprimento = 2 m
- Diâmetro = 10 cm
- Profundidade = 40 cm

Solos associados a sedimentos terciários (argila arenosa de cor vermelha)

Fonte: Vicente Luiz Galli, Régis Gonçalves Blanco e Wilson Shoji Iyomasa. 2003. GPR E ELETRORRESISTIVIDADE NA IDENTIFICAÇÃO DE PEQUENOS TÚNEIS. In: *WORKSHOP DE GEOFÍSICA APLICADA À ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE.*

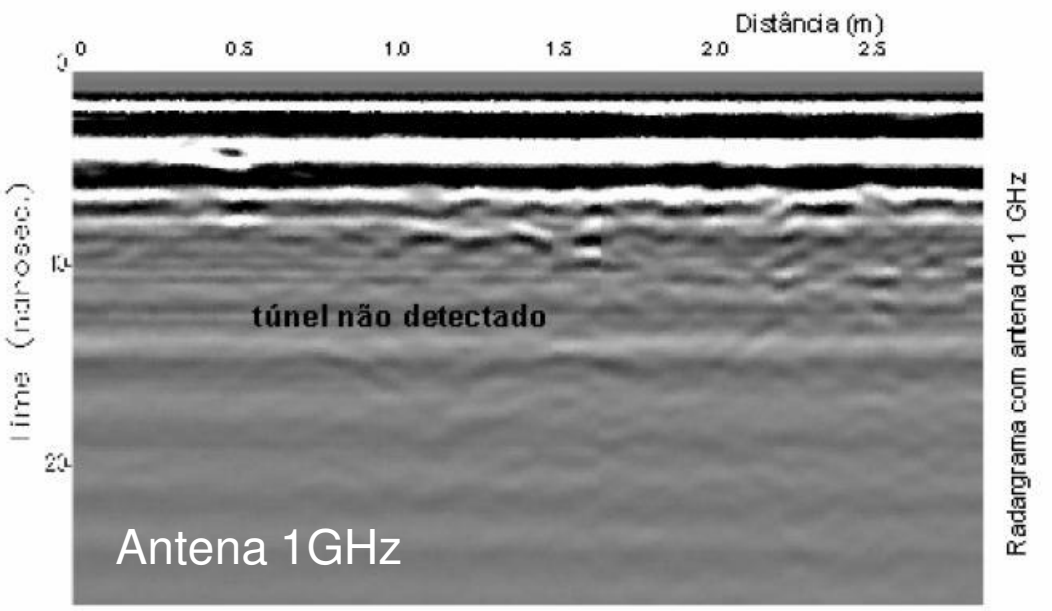
TÚNEL 2

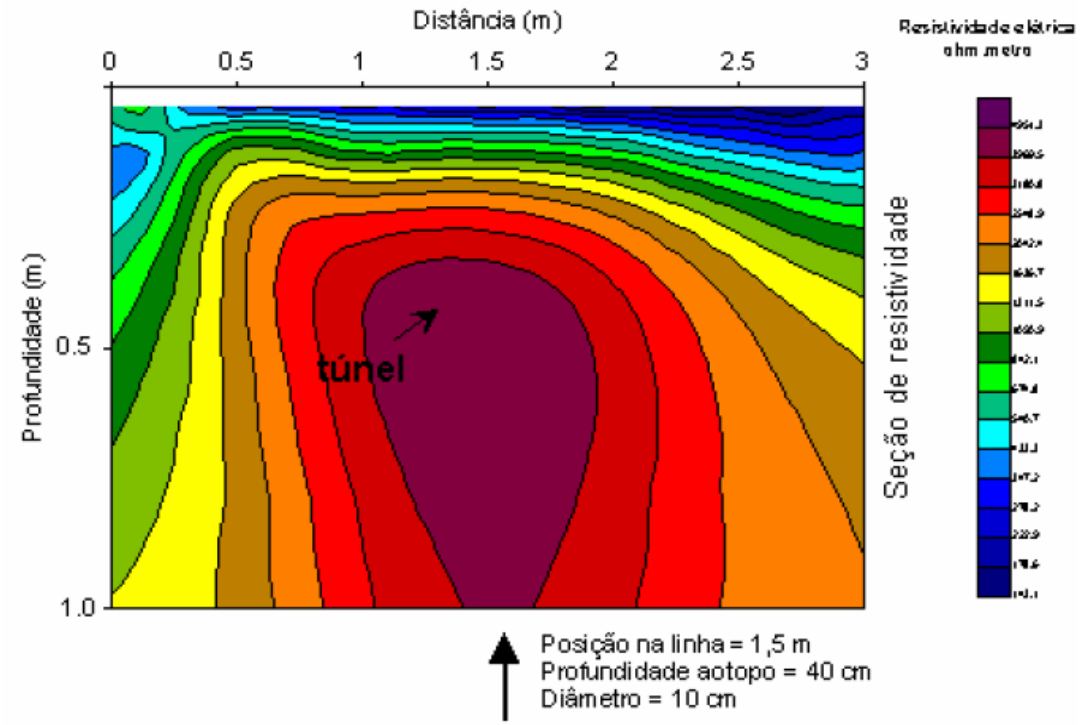




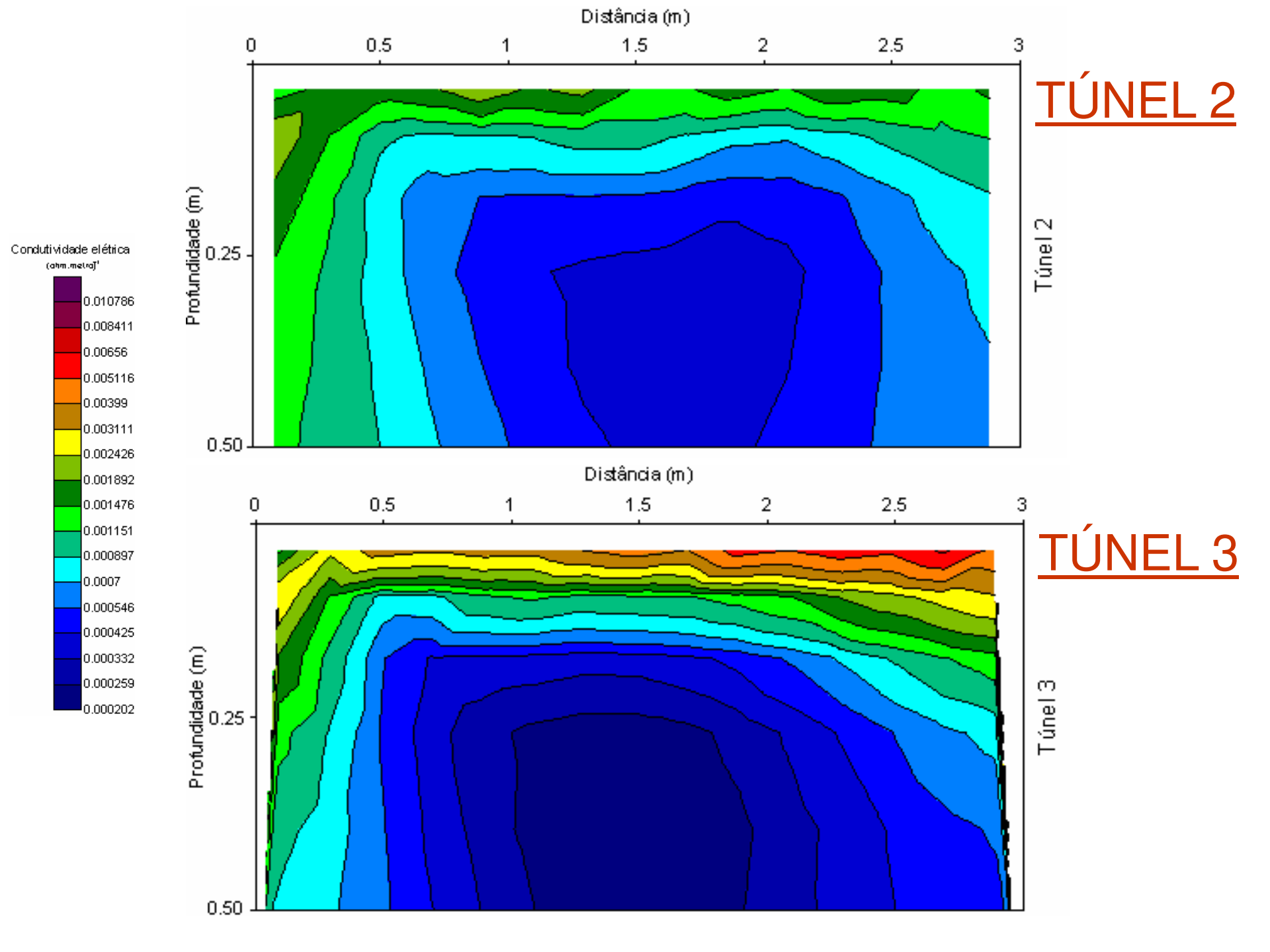
Caminhamento elétrico
Arranjo polo-polo
Espaçamento entre eletrodos=20 cm

TÚNEL 3





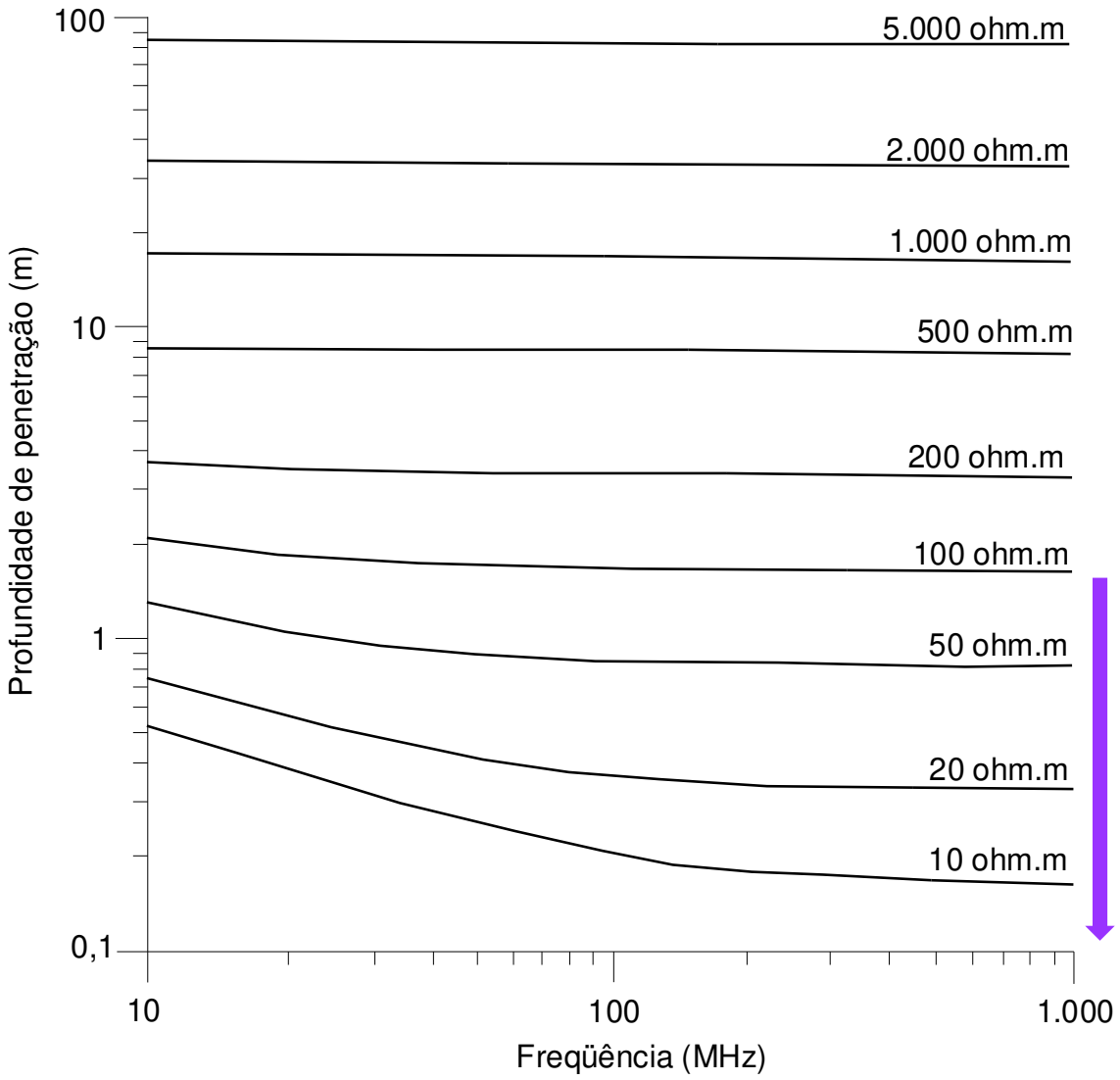
Caminhamento elétrico
Arranjo polo-polo
Espaçamento entre eletrodos=20 cm



TÚNEL 2

TÚNEL 3

profundidade de investigação ⇔ frequência ⇔ resistividade elétrica (1/σ)

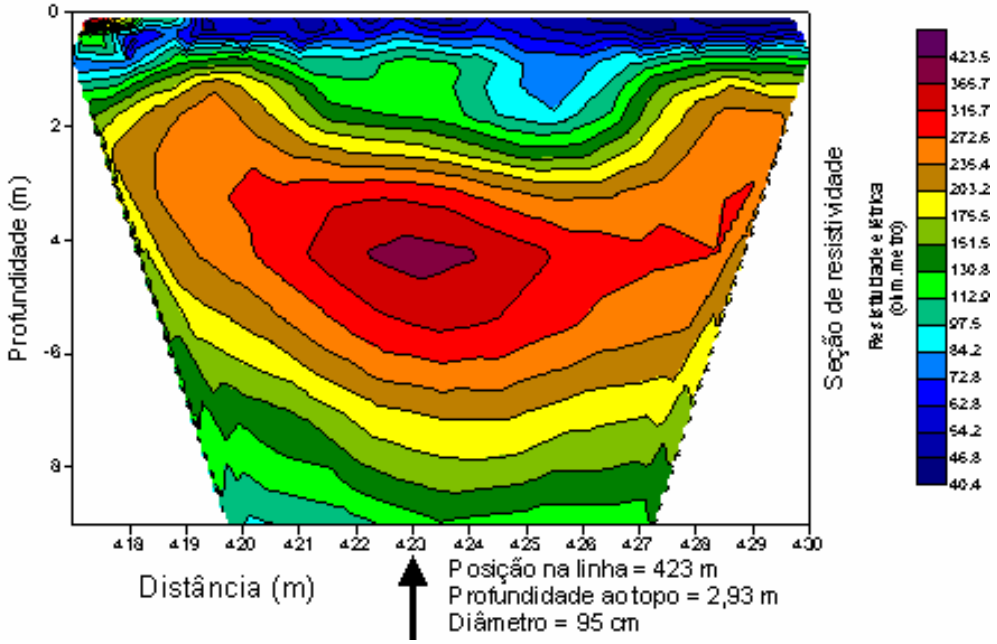


✳ O que realmente condiciona a penetração do sinal é a condutividade (ou resistividade) elétrica !

GPR não funciona nesta faixa

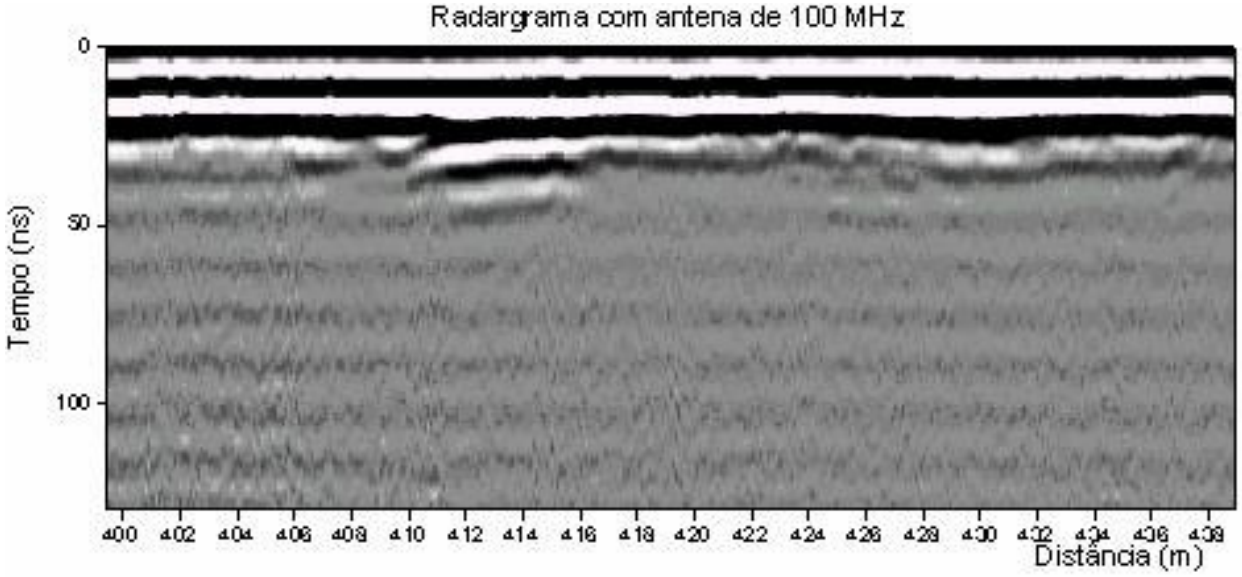
Modificado de PARASNIS (1997)

Local: margem esquerda do rio Pinheiros próxima da Usina Traição (São Paulo-SP)



Rede de esgoto
Φ = 95 cm

Profundidade topo
= 2,93 m



Fonte: Vicente Luiz Galli, Régis Gonçalves Blanco e Wilson Shoji Iyomasa. 2003. GPR E ELETRORRESISTIVIDADE NA IDENTIFICAÇÃO DE PEQUENOS TÚNEIS. In: *WORKSHOP DE GEOFÍSICA APLICADA À ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE.*

Solos tropicais: lateríticos / saprolíticos

SOLOS TROPICAIS

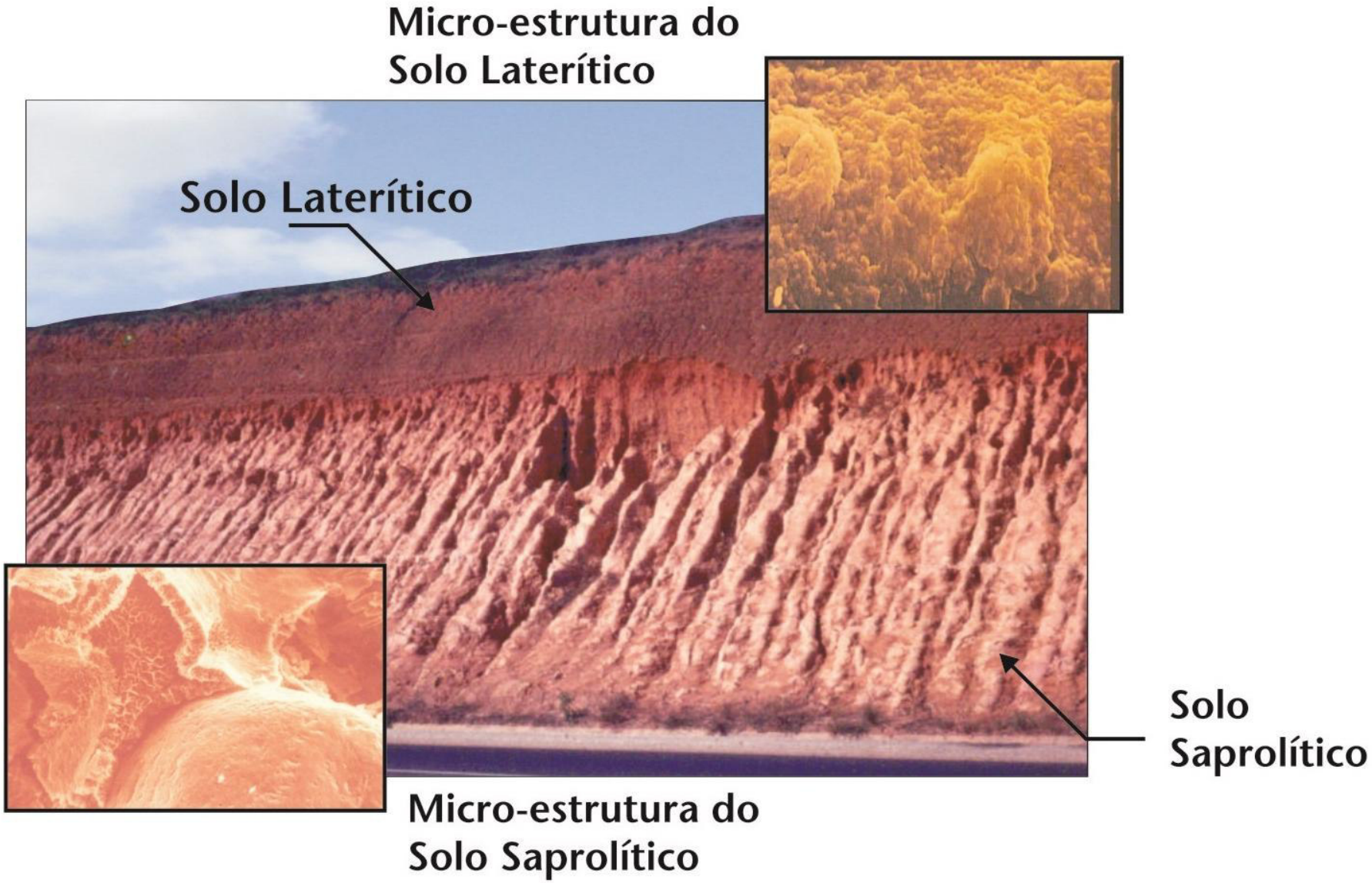
Terzaghi tomou conhecimento sobre os solos residuais quando Milton Vargas esteve em Harvard

Foi no Brasil que Terzaghi viu pela primeira vez um solo tropical

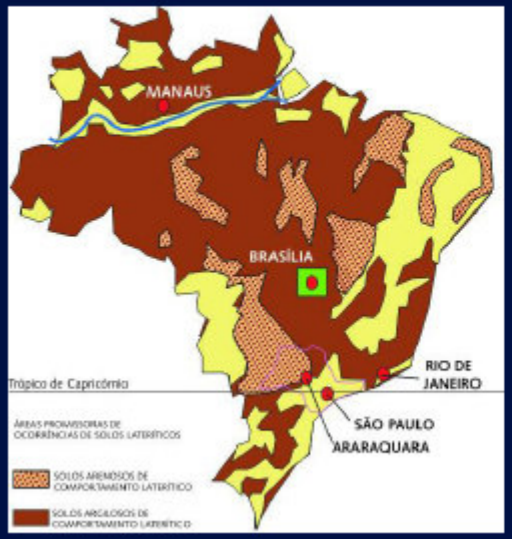
"Quando eu comentava sobre a diferença do solo durante as aulas, Terzaghi se interessava, mas o rosto dele ao tocar o nosso solo dispensou qualquer comentário. Sim, ele estava surpreso. Sim, nós tínhamos um solo diferente. Eles estavam muito acostumados com a argila sedimentar de Boston, mas nunca tinham visto solos tropicais"

Relato de Milton Vargas em entrevista para o e-ABMS (boletim 34 de 2009)

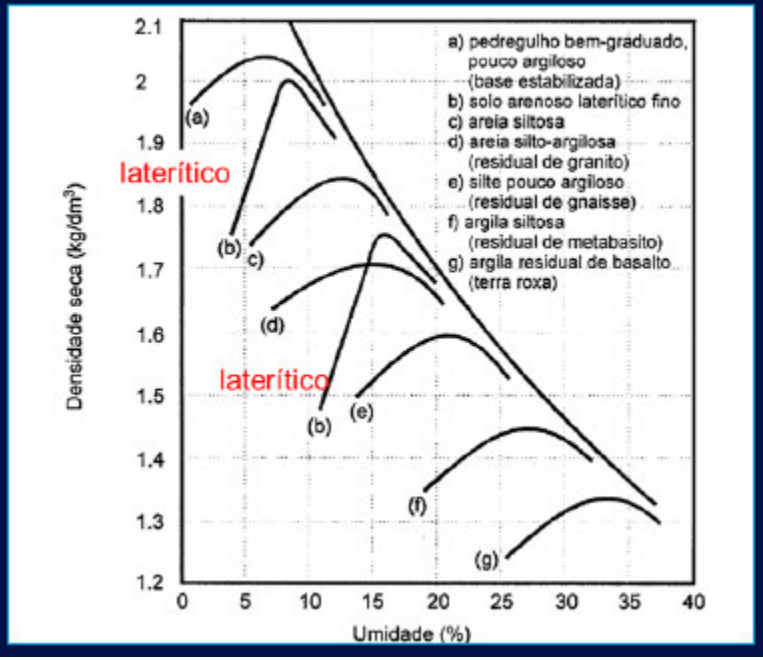
O termo **solo tropical** inclui: solos **lateríticos** e **saprolíticos**



Solos Lateríticos



- solos superficiais presentes nas regiões tropicais.
- ricos em óxidos de alumínio e de ferro que provocam a agregação das partículas.
- cor preponderantemente vermelha ou amarela



Como identificar solos lateríticos

Investigação de Campo:
cross hole, CPT ou DMT sísmicos

Ensaio de Laboratório:
metodologia MCT (Nogami e Villibor); coluna ressonante; inclinação do ramo seco da curva de compactação (Ignatius, 1992)

A rigidez determinada sob pequenas deformações ($\mathbf{G_{máx}}$) pode ser um critério para identificar solos estruturados ou cimentados, típicos de regiões tropicais (Giacheti, 2001)

$$G_{máx} = \rho \cdot V_S^2$$

Os ensaios sísmicos, principalmente os realizados em solos tropicais, permitem identificar diferenças nos graus de cimentação, de alteração e de estruturação (aspectos importantes para a sua caracterização) e que muitas vezes **não são identificados pelas sondagens convencionais**

SONDAGEM A PERCUSSAO - SPT

Estimation of maximum shear modulus of Brazilian tropical soils from Standard Penetration Test

Evaluation du module de cisaillement maximum des sols tropicaux brésiliens à l'aide de l'Essai SPT

J.M.C. Barros – *Technological Research Institute (IPT), Brazil*
C.S. Pinto – *Polytechnic School, University of São Paulo (USP), Brazil*

1997

ABSTRACT: The maximum shear moduli, G_0, of tropical soils from ten sites of São Paulo state, Brazil, including lateritic and saprolitic soils, were measured in situ using the crosshole method. N-values from Standard Penetration Tests were also determined in each site.

Barros e Pinto (1997) mostraram que uma estimativa de G_0 pode ser obtida para solos lateríticos em função do índice N_{SPT} :

$$G_0 = 56 + 20{,}3N_{SPT}$$

Table 2. Information on soils investigated

Site	Reference	Geol. Origin	Type of soil
Moema	Barros (1997)	red clays - São Paulo Sedimentary Basin	lateritic
Bela Vista			
Vila Madalena	Prado (1994)		
Paraíso	Décourt (1994)		
Bauru	Giacheti (1991)	residual (sandstone)	
São Carlos		Cenozoic sediment	lateritic and saprolitic
Campinas		residual (diabase)	

Table 1. Some correlations between G_0 and N-value from SPT

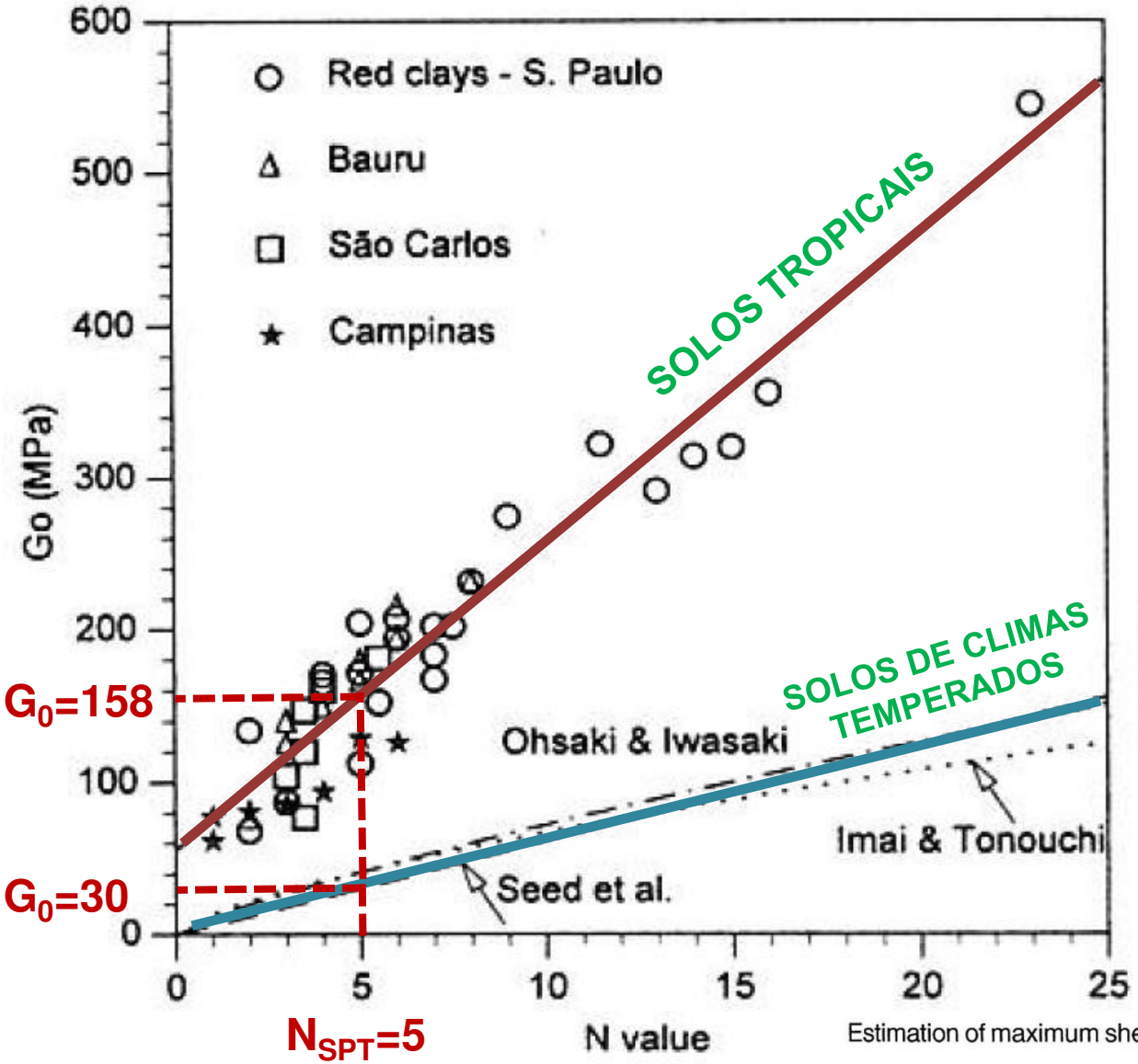
Reference	Correlations*	type of soil
Ohsaki and Iwasaki (1973)	$G_0 = 11.5\ N^{0,8}$	all (Japan)
Imai and Tonouchi (1982)	$G_0 = 14.07\ N^{0,68}$	all (Japan)
Seed et al. (1983)	$G_0 = 6.22\ N$	sands

*G_0 in MPa

Estimation of maximum shear modulus of Brazilian tropical soils from Standard Penetration Test

Evaluation du module de cisaillement maximum des sols tropicaux brésiliens à l'aide de l'Essai SPT

J.M.C. Barros – *Technological Research Institute (IPT), Brazil*
C.S. Pinto – *Polytechnic School, University of São Paulo (USP), Brazil*



$$G_0 = 56 + 20{,}3N_{SPT}$$

Reference	Correlations*
Ohsaki and Iwasaki (1973)	$G_0 = 11.5\ N^{0,8}$
Imai and Tonouchi (1982)	$G_0 = 14.07\ N^{0,68}$
Seed et al. (1983)	$G_0 = 6.22\ N$

*G_0 in MPa

Estimation of maximum shear modulus of Brazilian tropical soils from Standard Penetration Test

Evaluation du module de cisaillement maximum des sols tropicaux brésiliens à l'aide de l'Essai SPT

J.M.C. Barros – *Technological Research Institute (IPT), Brazil*
C.S. Pinto – *Polytechnic School, University of São Paulo (USP), Brazil*

Rigidez dos Solos Lateríticos

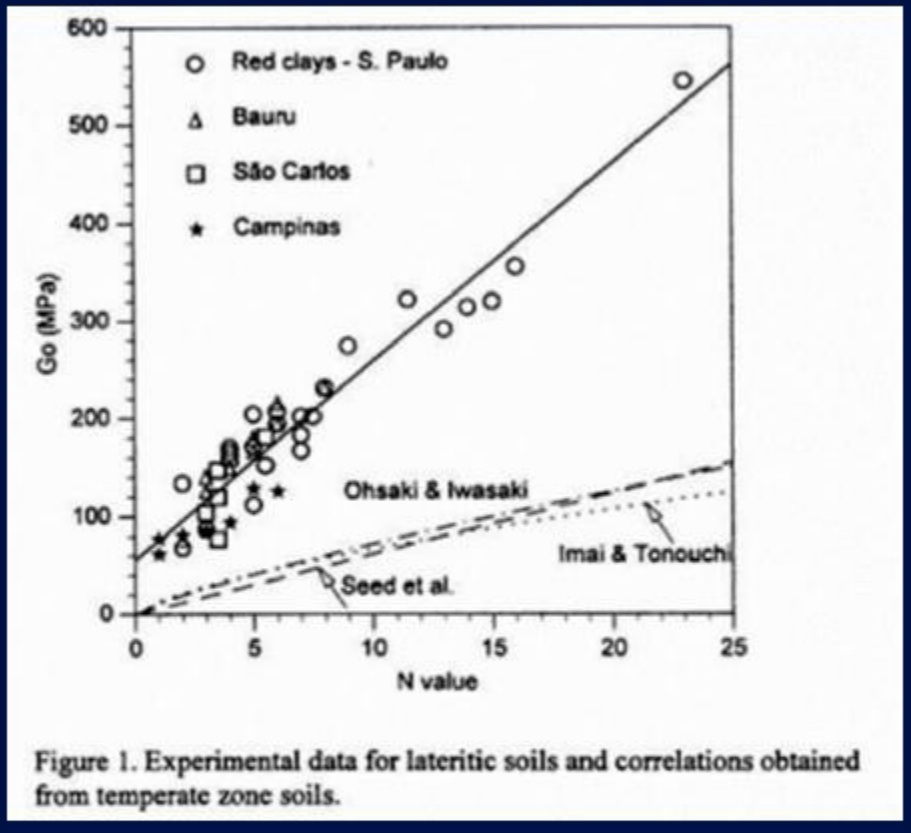
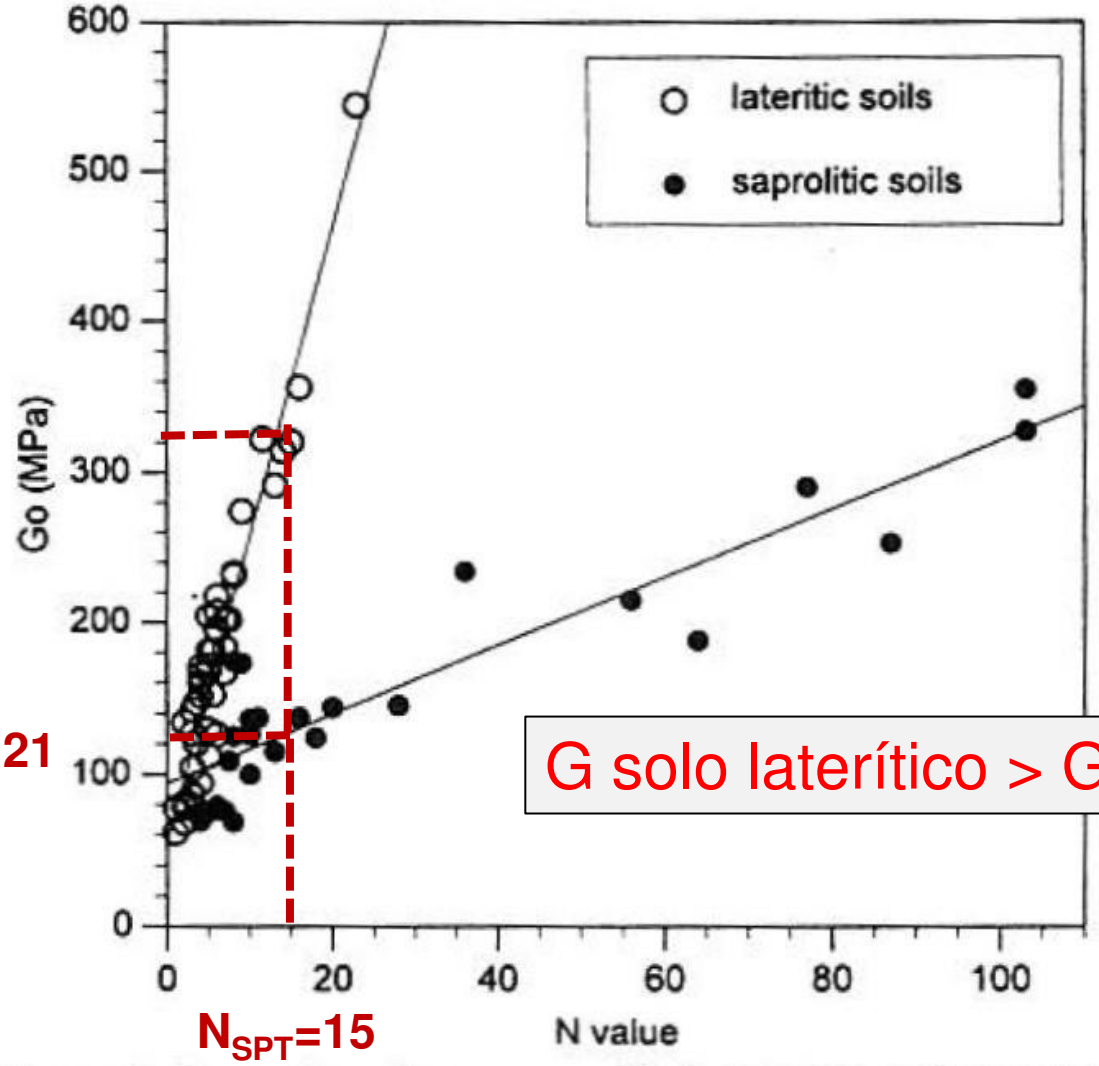


Figure 1. Experimental data for lateritic soils and correlations obtained from temperate zone soils.

Correlação G_o (cross-hole) e N_{spt}
Barros, 1997

Solos lateriticos mostram rigidez muito superior à que seria esperada pelo valor do N_{spt} (2 a 4 x)



G_0=320

G_0=121

N_{SPT}=15

G solo laterítico > G solo saprolítico

Figure 3. Comparison between results in lateritic and saprolitic soils.

Estimation of maximum shear modulus of Brazilian tropical soils from Standard Penetration Test

Evaluation du module de cisaillement maximum des sols tropicaux brésiliens à l'aide de l'Essai SPT

J.M.C. Barros – *Technological Research Institute (IPT), Brazil*
C.S. Pinto – *Polytechnic School, University of São Paulo (USP), Brazil*

This discrepancy is related to the occurrence of a cemented structure in lateritic soils. It is interesting to note that Anderson et al. (1978) noticed similar behavior in partially cemented soils. The reason for this behavior indicated by these authors appears to be also valid for lateritic soils: because the SPT is a form of ultimate strength determination, it is possible that cementation effects break down during the SPT whereas crosshole tests cause no breakdown due to the low strain amplitudes.

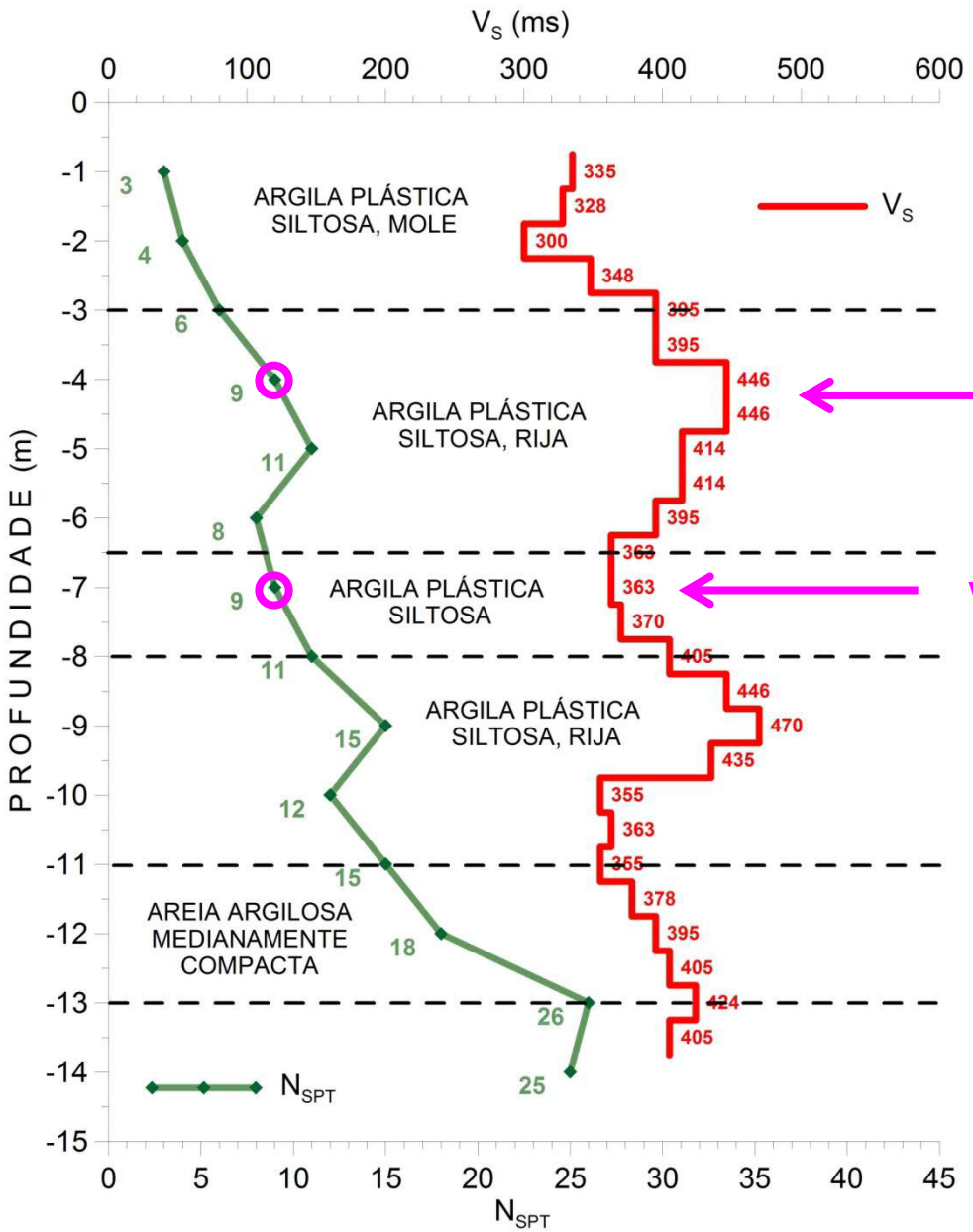
Estimation of maximum shear modulus of Brazilian tropical soils from Standard Penetration Test

Evaluation du module de cisaillement maximum des sols tropicaux brésiliens à l'aide de l'Essai SPT

J.M.C. Barros – *Technological Research Institute (IPT), Brazil*
C.S. Pinto – *Polytechnic School, University of São Paulo (USP), Brazil*

Integração de resultados de **ensaios de campo** (geotécnicos e sísmicos)

✓ Ensaios de campo: **SPT** e ***crosshole***



Bairro Artur Alvim
São Paulo, SP

V_S = 446 m/s

V_S = 363 m/s

ENSAIOS SÍSMICOS
EM FUROS DE SONDAGENS

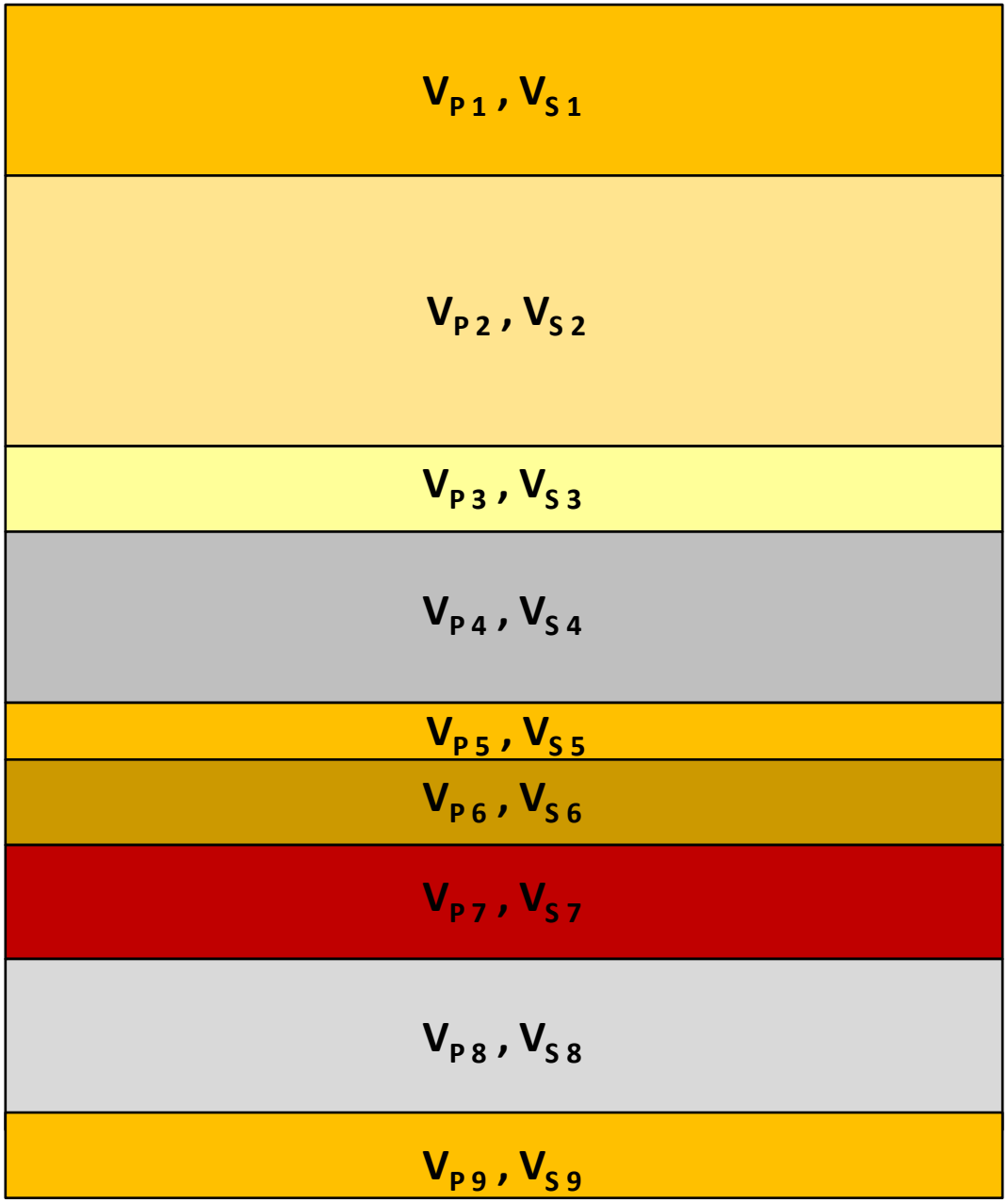
1) ***CROSSHOLE***

2) ***DOWNHOLE***

3) UPHOLE

ENSAIOS SÍSMICOS
EM FUROS DE SONDAGENS

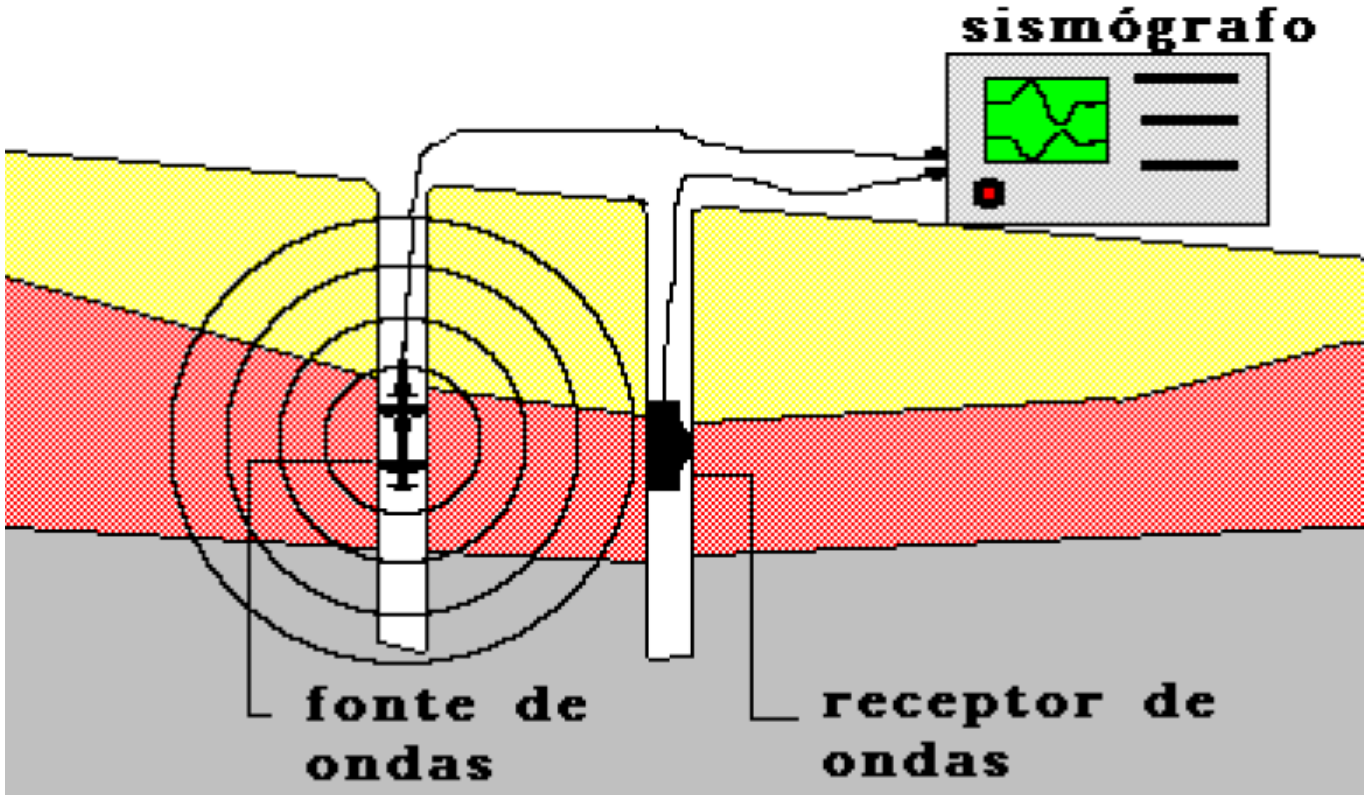
1) *CROSSHOLE*


V_{P1}, V_{S1}
V_{P2}, V_{S2}
V_{P3}, V_{S3}
V_{P4}, V_{S4}
V_{P5}, V_{S5}
V_{P6}, V_{S6}
V_{P7}, V_{S7}
V_{P8}, V_{S8}
V_{P9}, V_{S9}

Ensaio *Crosshole (CH)*

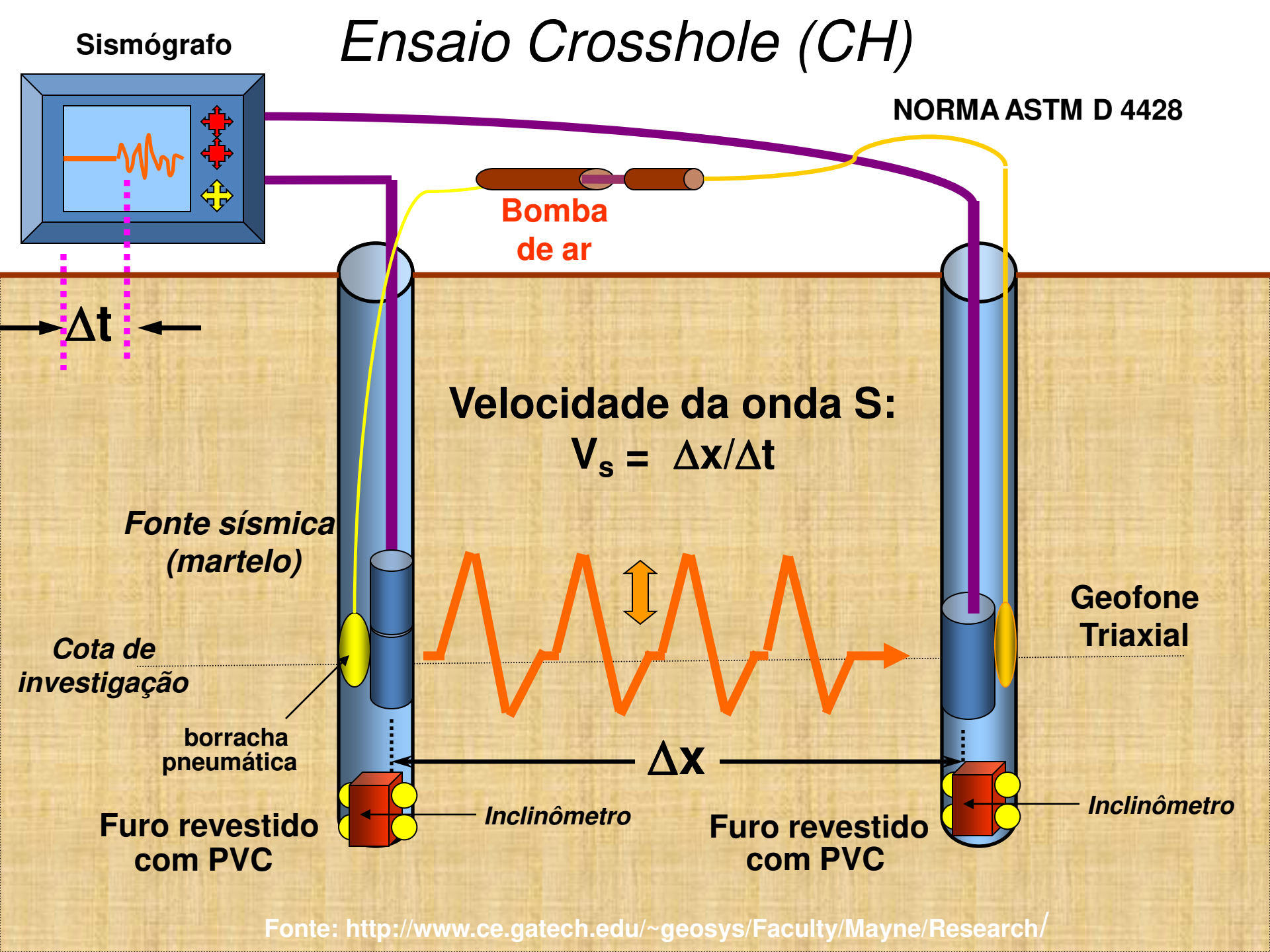
“Transmissão direta entre furos” ou “ensaio sísmico entre furos”

⇒ A onda sísmica é gerada em um furo, efetuando-se o seu registro em um ou mais furos adjacentes

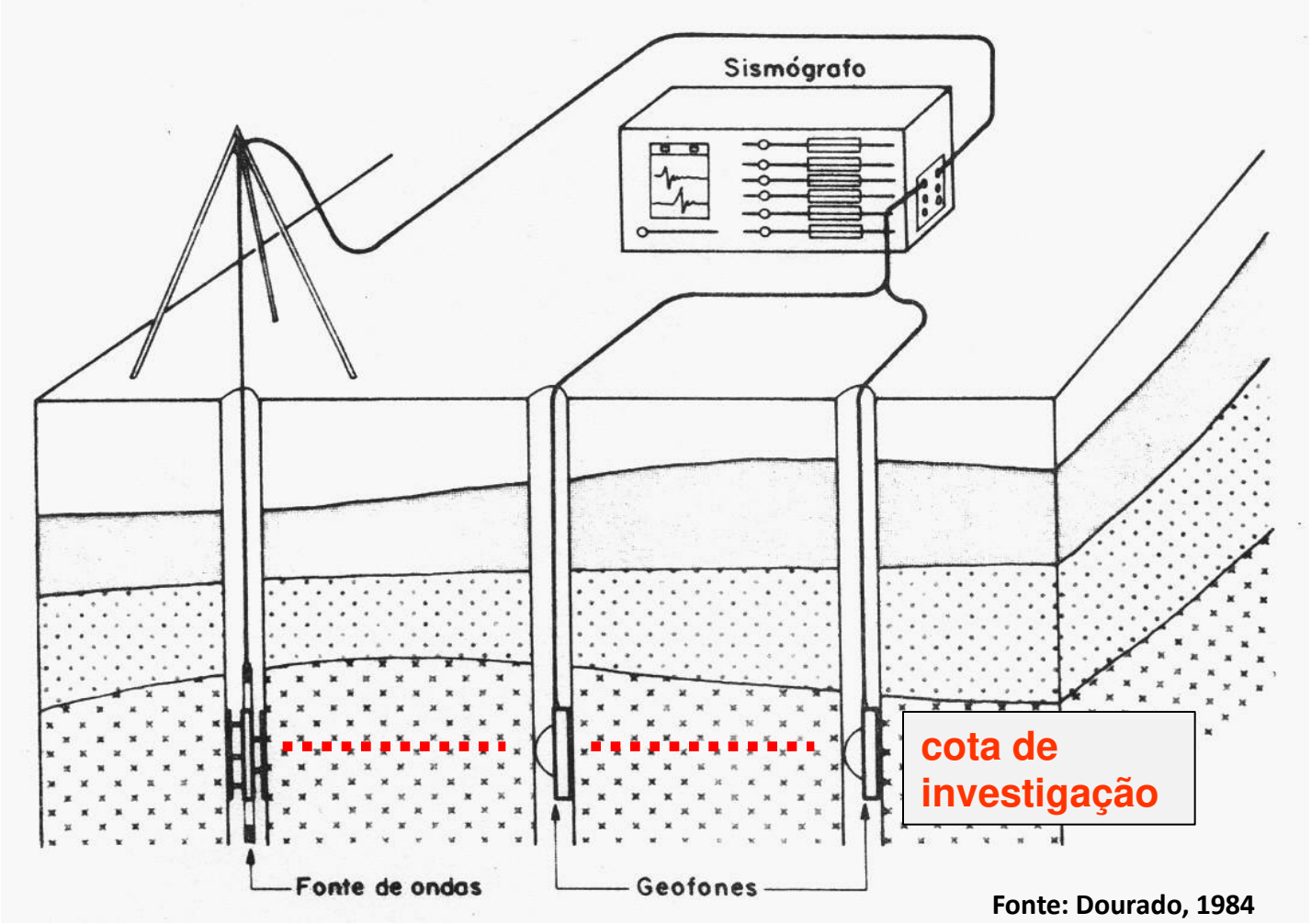


Fonte: J.C.Dourado

Ensaio Crosshole (CH)



Fonte: http://www.ce.gatech.edu/~geosys/Faculty/Mayne/Research/

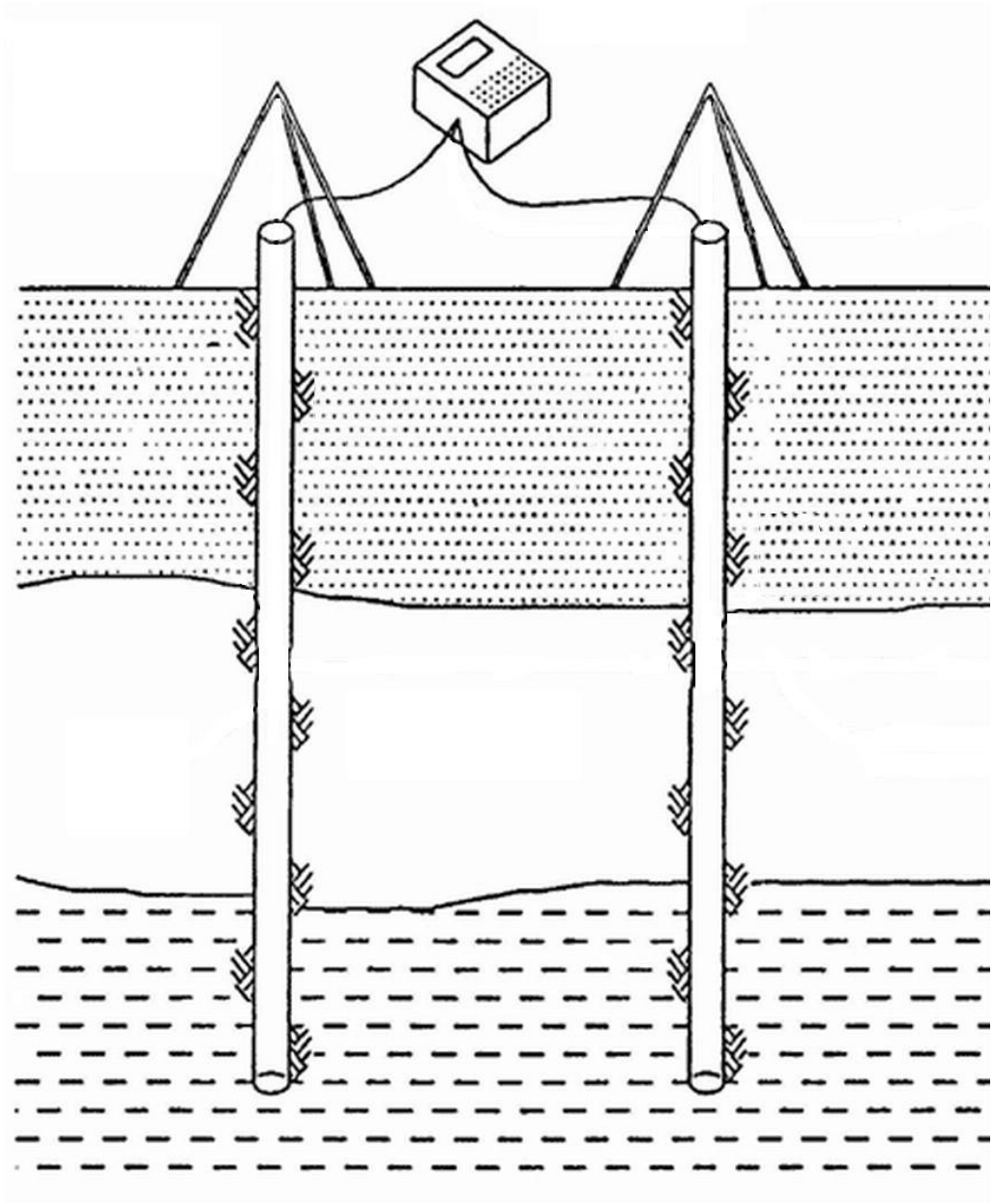


Fonte: Dourado, 1984

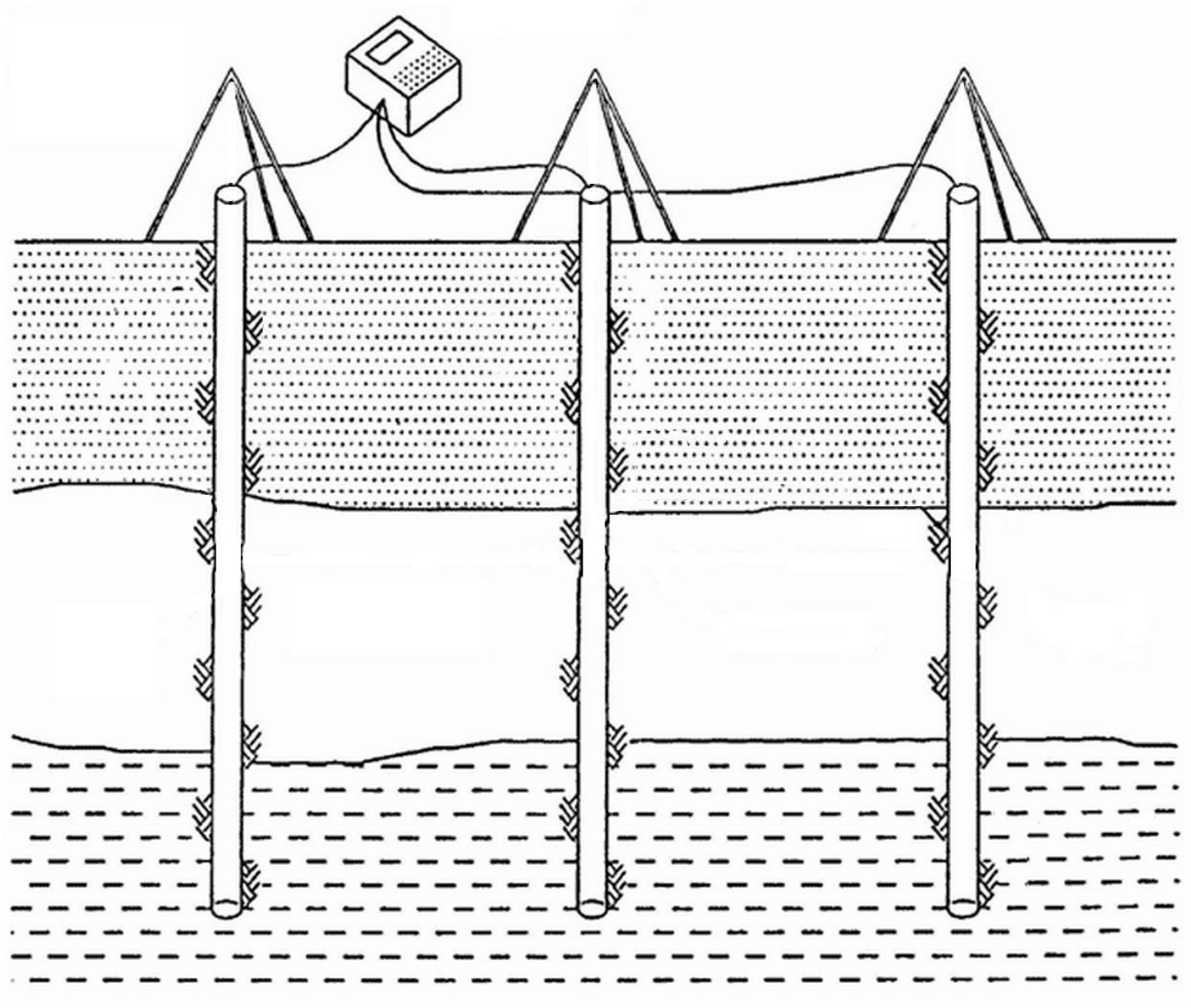
<u>Objetivo</u>: Determinação precisa dos valores de V_P e V_S "in situ"

⇒ É o ensaio que fornece com <u>maior precisão</u> os valores das <u>velocidades das ondas sísmicas</u> em subsuperfície

O ensaio CH pode ser realizado utilizando-se 2 furos...



ou utilizando-se 3 furos (mais recomendado)

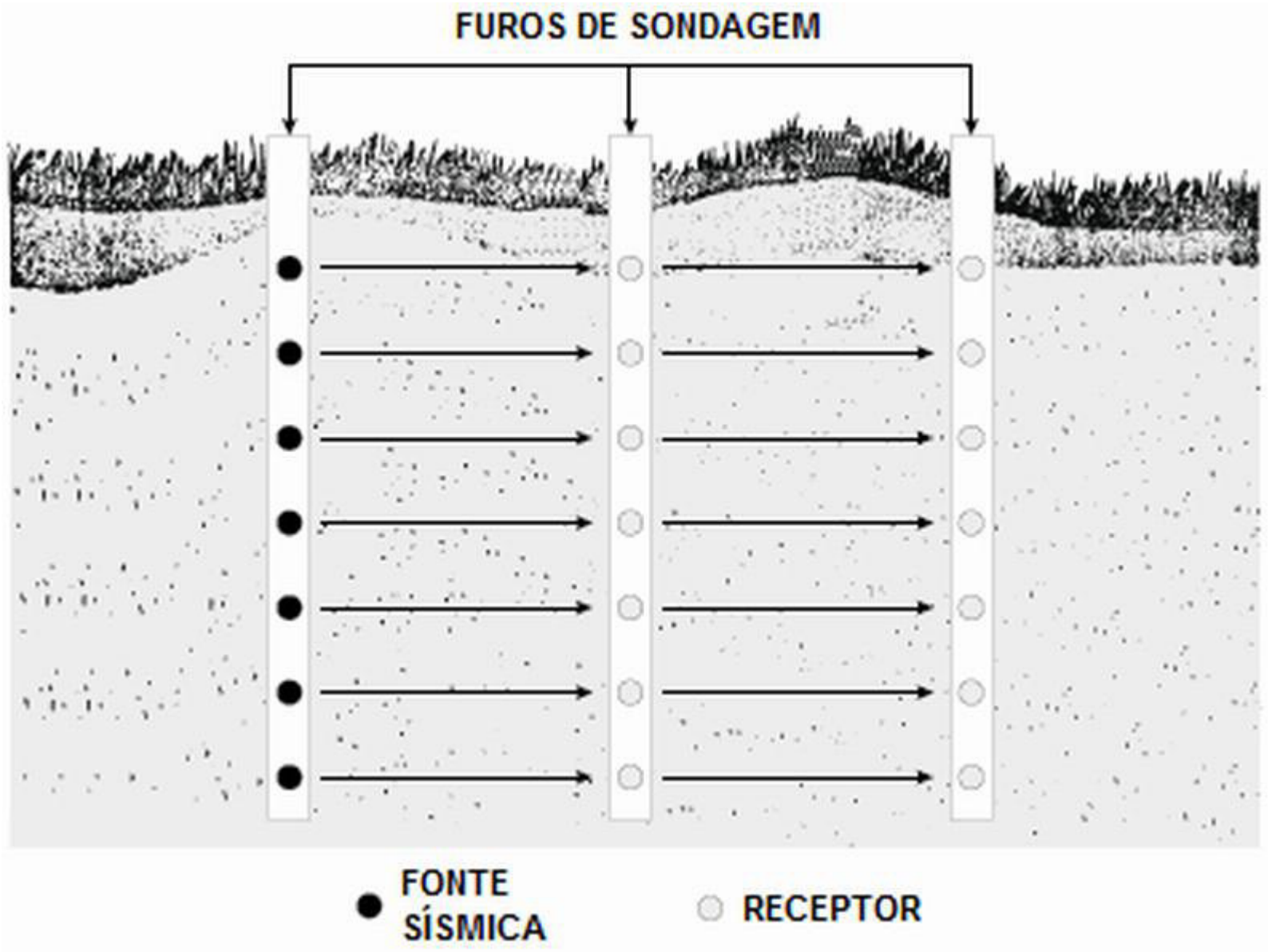


A precisão e a resolução do ensaio CROSSHOLE é constante para todas as profundidades, sendo que para os métodos de superfície, a precisão e a resolução diminuem com a profundidade

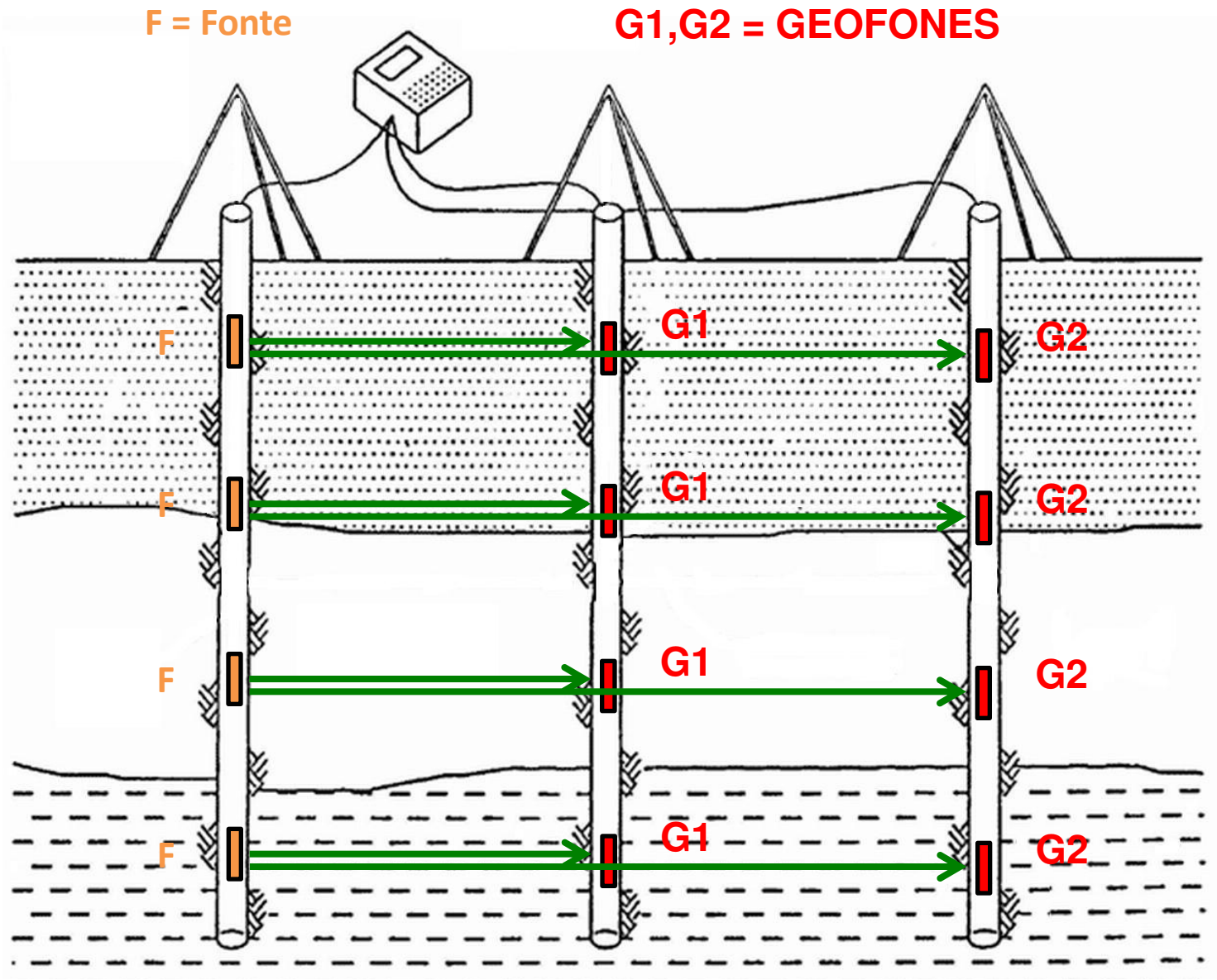
PRINCIPAL LIMITAÇÃO:

A investigação está restrita a um volume limitado do maciço (existente entre os furos)

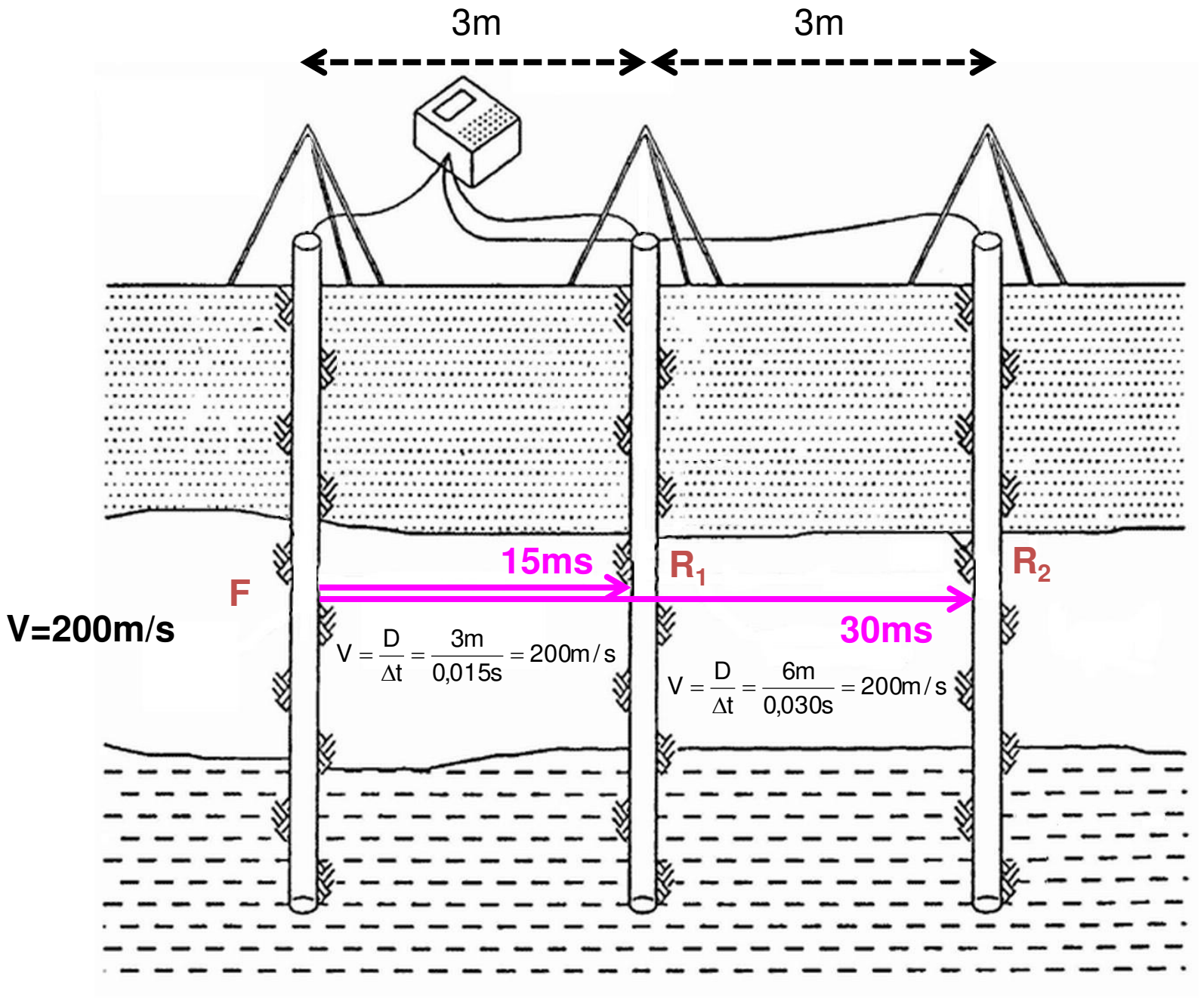
Ensaio CROSSHOLE: como o ensaio é realizado?

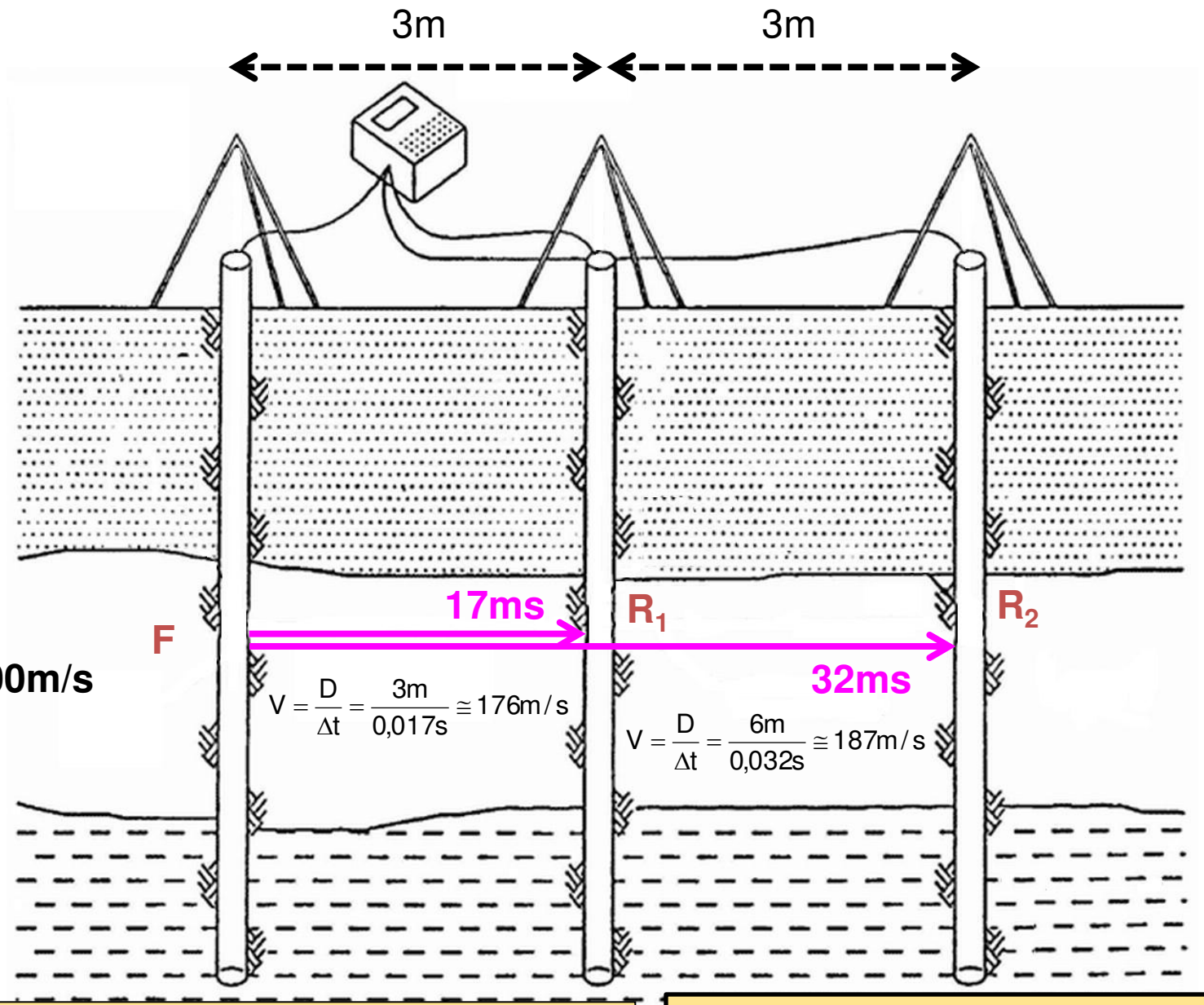


Ensaio CROSSHOLE: como o ensaio é realizado?



A fonte de ondas e os geofones são posicionados na <u>mesma cota</u>

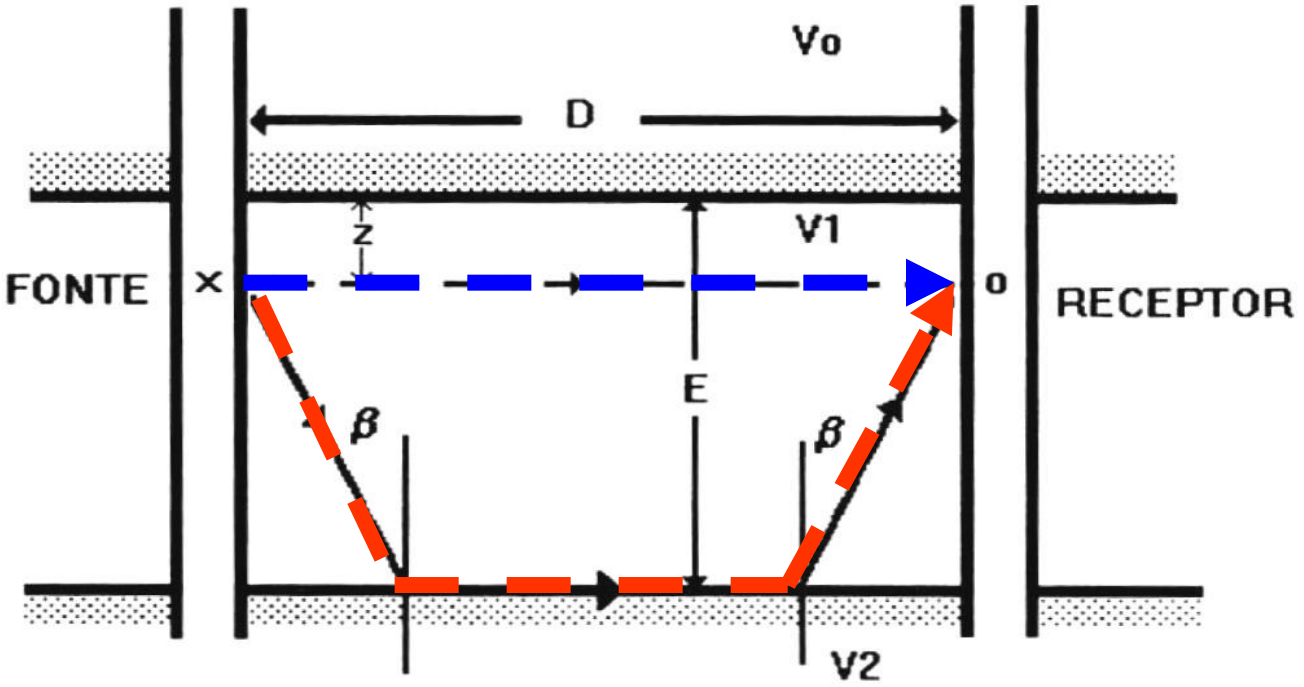

3m
3m
F
15ms
R1
R2
30ms
V=200m/s
V = D/Δt = 3m/0,015s = 200m/s
V = D/Δt = 6m/0,030s = 200m/s



Trabalhando com as ≠ de tempos, os erros devido a problema no "trigger" são eliminados!

$$V = \frac{D}{\Delta t_2 - \Delta t_1} = \frac{3m}{0{,}032s - 0{,}017s} = \frac{3m}{0{,}015} = 200m/s$$

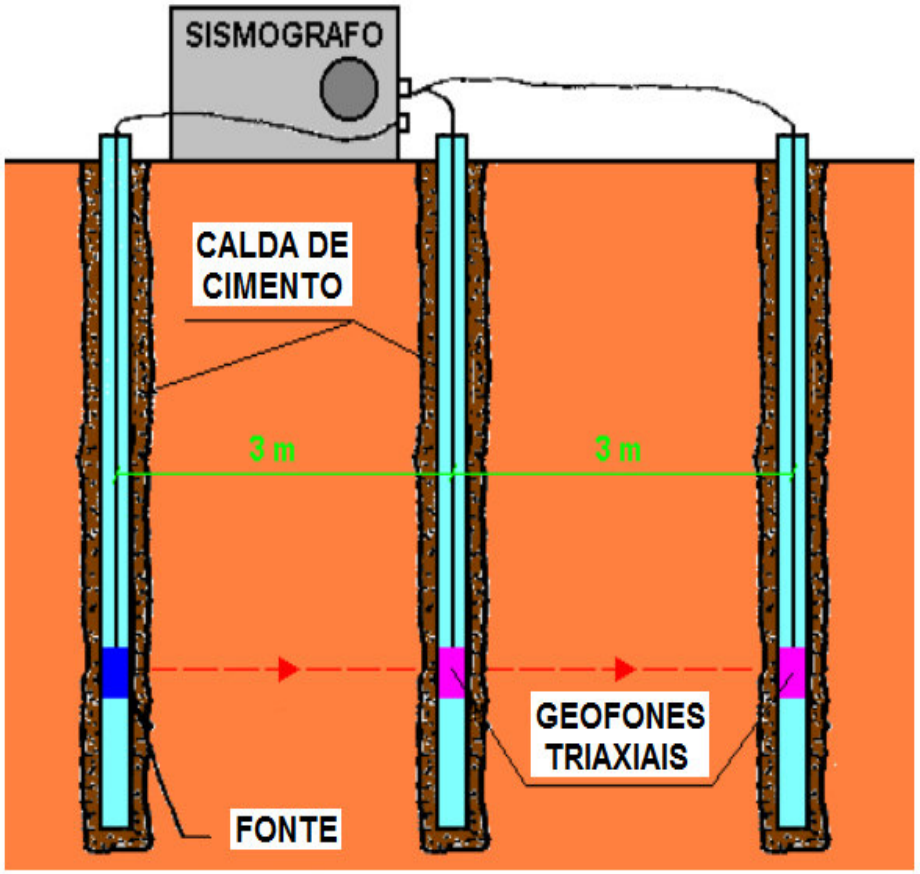
✓ **O ensaio é concebido para captar as ondas diretas (trajetória direta entre fonte e geofone), isto é, aquelas que não sofreram refração, obtendo-se os valores reais das velocidades de propagação das ondas P e S**

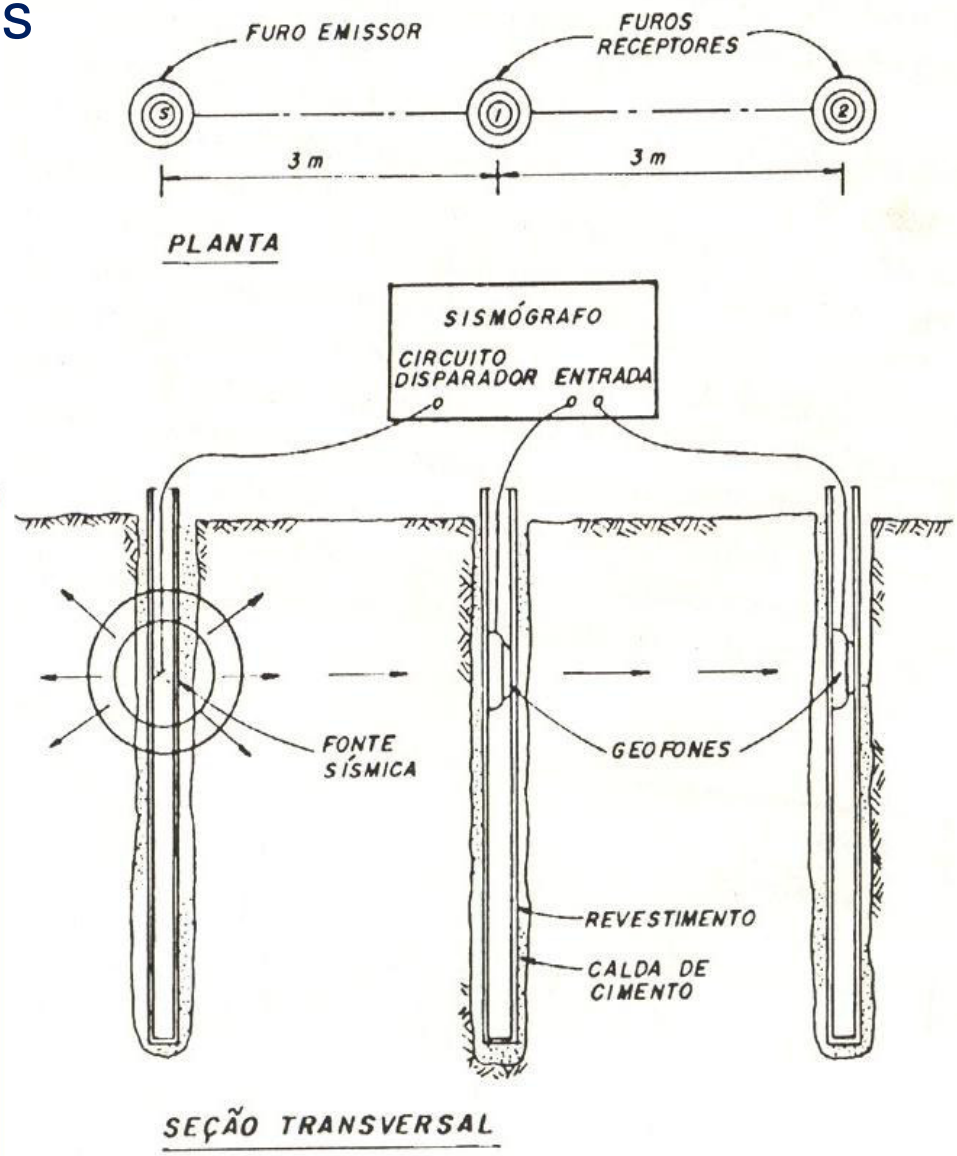


Por este motivo o espaçamento entre furos deve ser pequeno (≅ 3m)

ASTM D4428 / D4428M

→ 3 furos coplanares, alinhados
e igualmente espaçados
(em geral 3 m)





Fonte: Giacheti & Zuquete, 1993

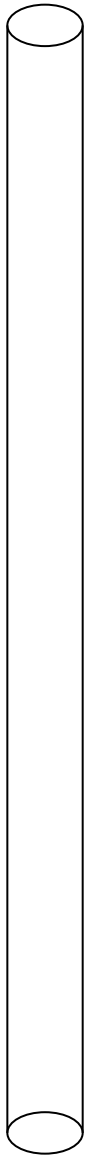
PREPARAÇÃO DOS FUROS

Furos

- ϕ = 3 ou 4”

- Prumo cuidadosamente verificado na perfuração (rigorosamente, a verticalidade dos furos deve ser medida)

- Revestidos com tubos de PVC (preferencialmente, de parede grossa)



PREPARAÇÃO DOS FUROS

Furos

- **Espaço anelar entre o furo e o revestimento preenchido com calda de cimento (com densidade semelhante à densidade do meio circundante), para garantir um bom acoplamento**

Ex. relação volumétrica água-cimento = 1, após a pega apresenta uma densidade próxima à 1,7g/cm^3 (GIACHETI & ZUQUETTE, 1993)

- **Espaçamento entre furos:**

✓ **Solos → 2 a 4 metros**

✓ **Rocha → espaçamentos >>> (V ↑ ⇒ tempo ↓)**

PREPARAÇÃO DOS FUROS

I) Perfuração

II) Preparação dos tubos de PVC

tamponado na base

Fonte: SONDOBASE (2014)

PREPARAÇÃO DOS FUROS

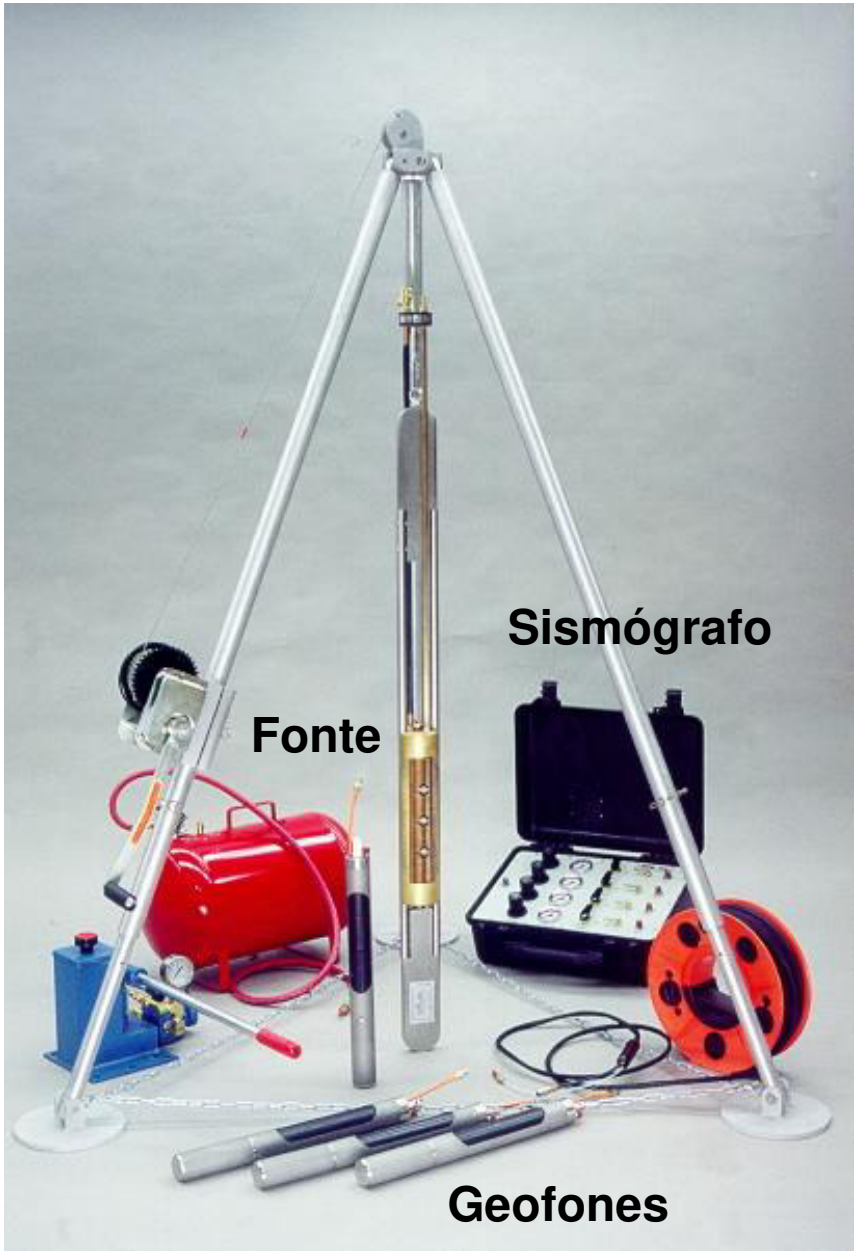
III) Instalação dos tubos de PVC

IV) Preenchimento com calda de cimento

ENSAIO
CROSSHOLE

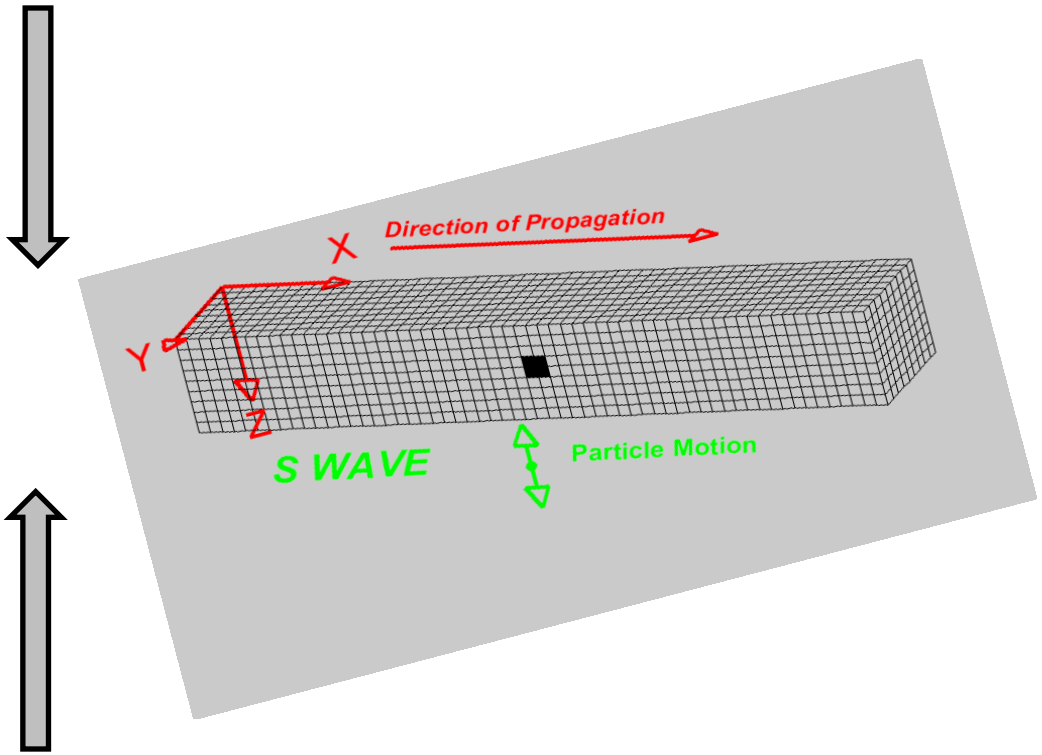
Equipamentos e aquisição dos dados

1) Fonte de ondas sísmicas (P e S)
2) Geofone
3) Sismógrafo



1) Fonte de ondas sísmicas

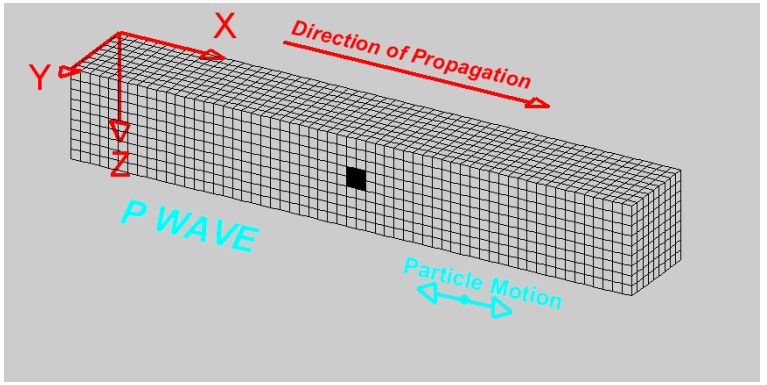
<u>Martelo de furo</u> → gera preferencialmente **onda S**



1) Fonte de ondas sísmicas

<u>Canhão de ar comprimido (*air gun*)</u>

→ gera preferencialmente **<u>onda P</u>**

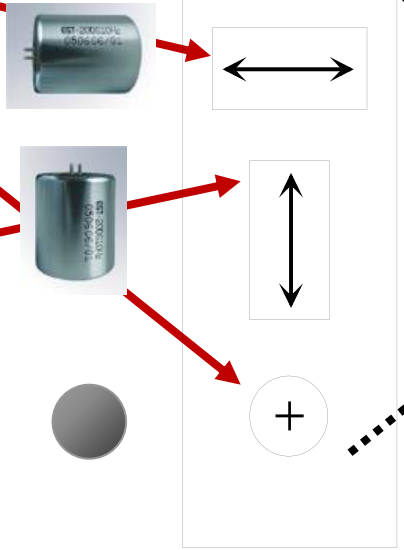


2) Geofones

→ Geofones de furo e do tipo “triaxial”
(3 componentes ortogonais)

Ondas P
→ captadas preferencialmente pelas componentes horizontais

Ondas S
→ captadas com maior eficiência pela componente vertical



3) Sismógrafo

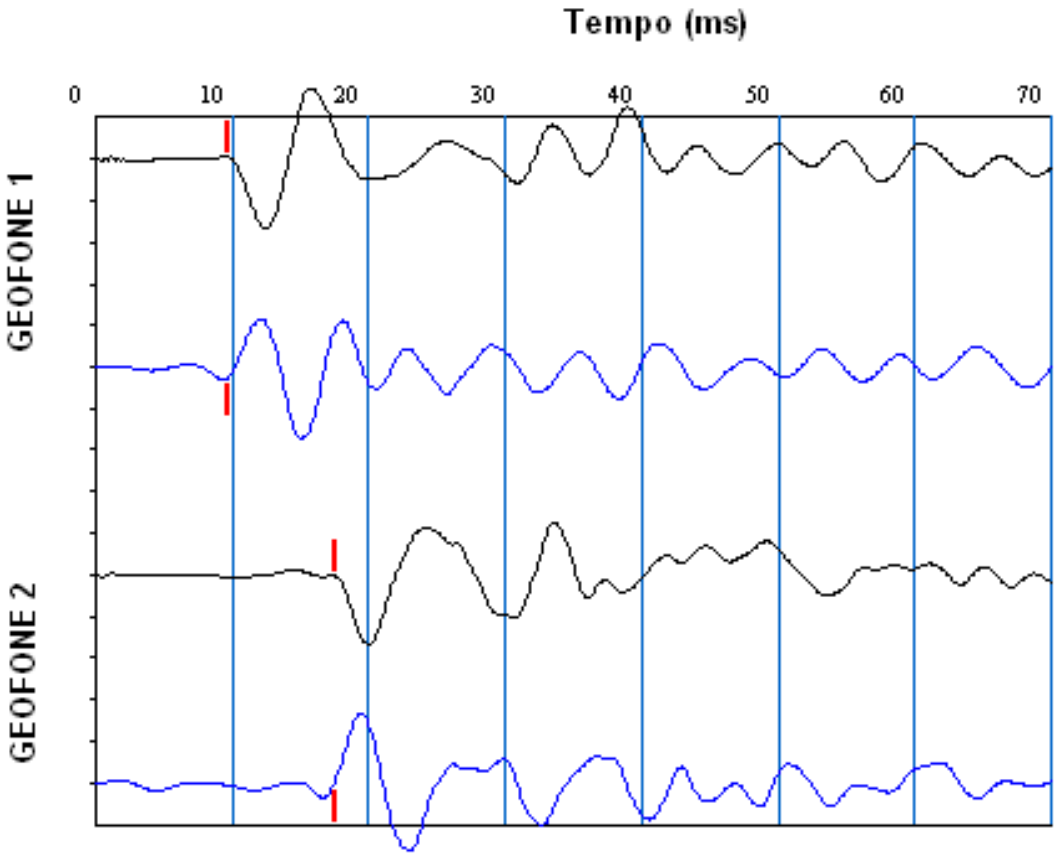
→ Deve ter pelo menos 6 canais
(3 canais para cada uma das 3 componentes de 2 geofones)

BISON modelo 1580-2
(seis canais)

SmartSeis SE12 (doze canais)

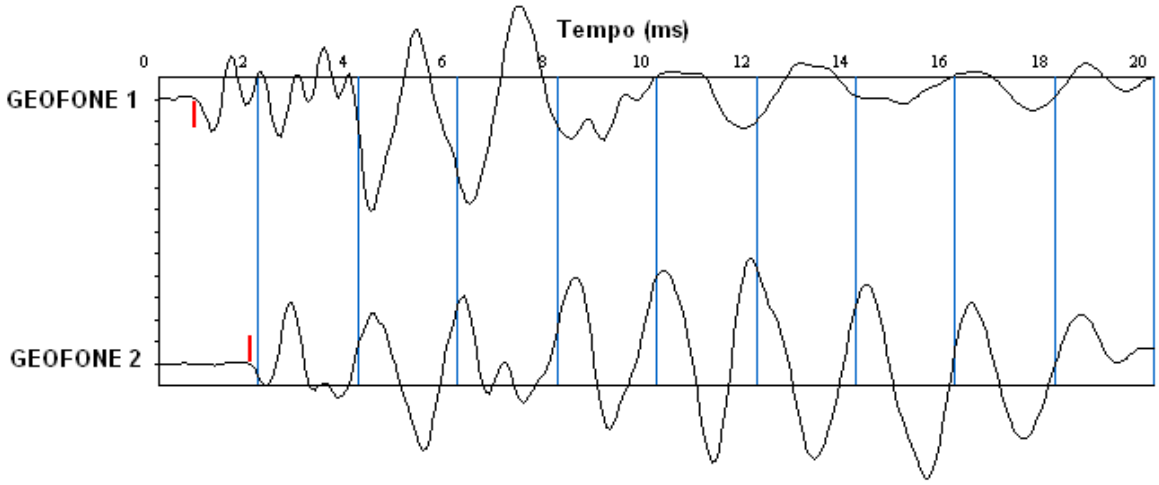
REGISTRO DA ONDA S

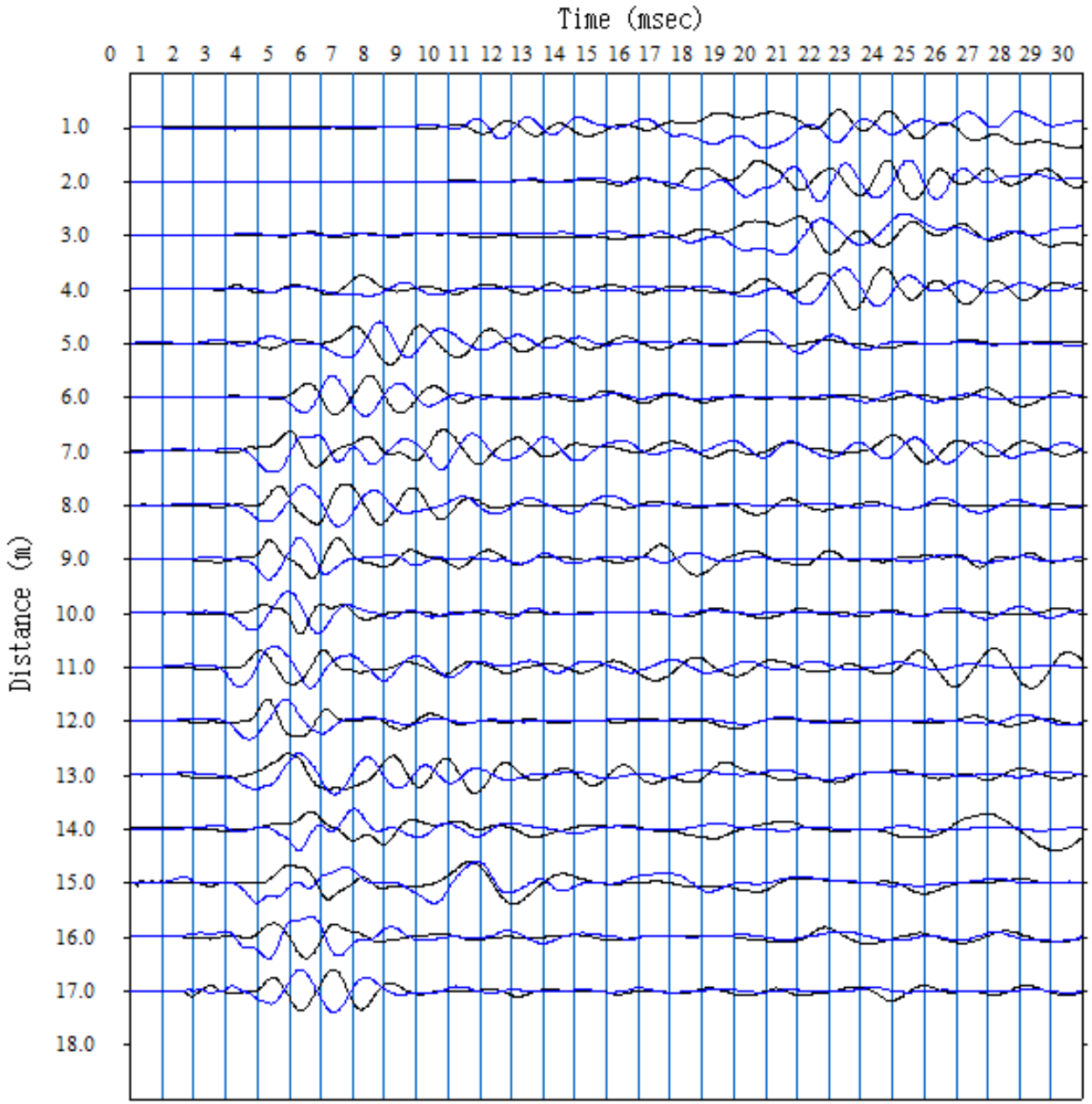
- ✓ maior amplitude
- ✓ menor frequência



REGISTRO DA ONDA P

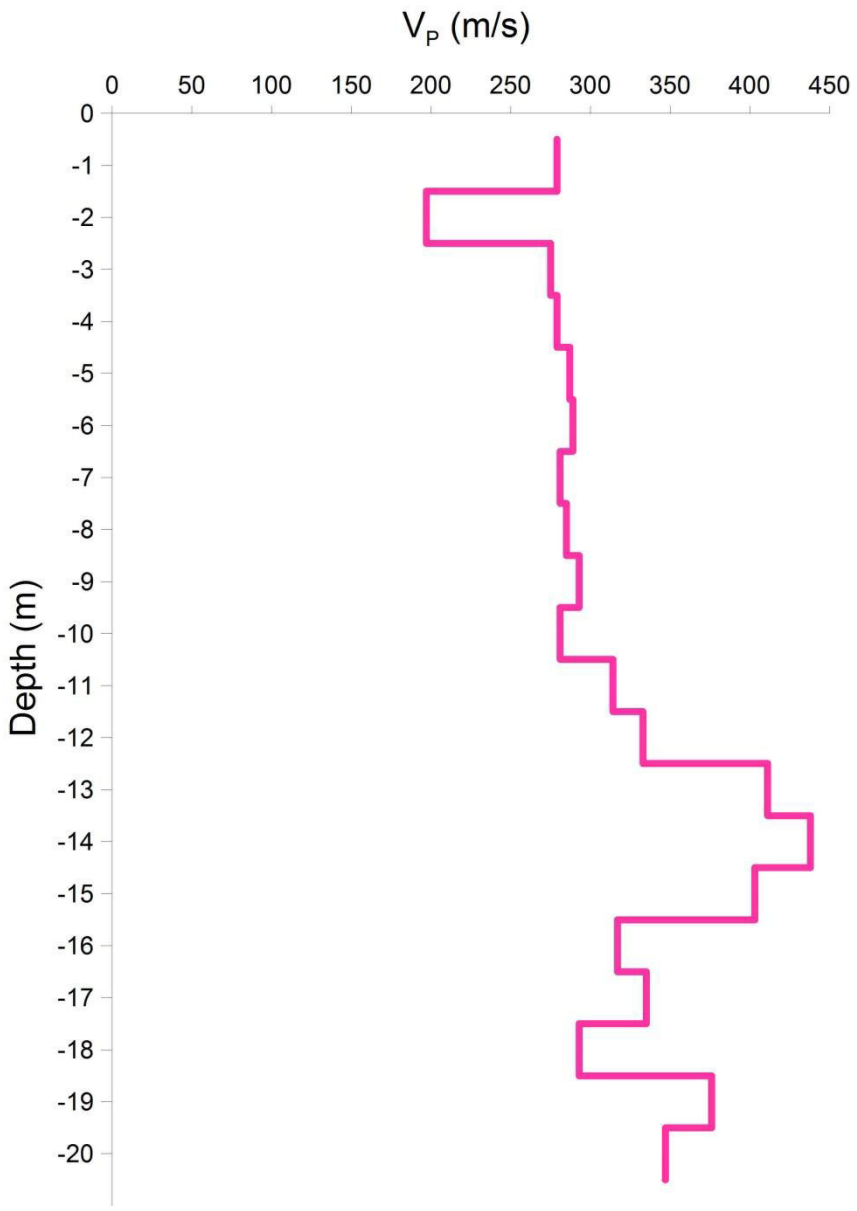
- ✓ menor amplitude
- ✓ maior frequência

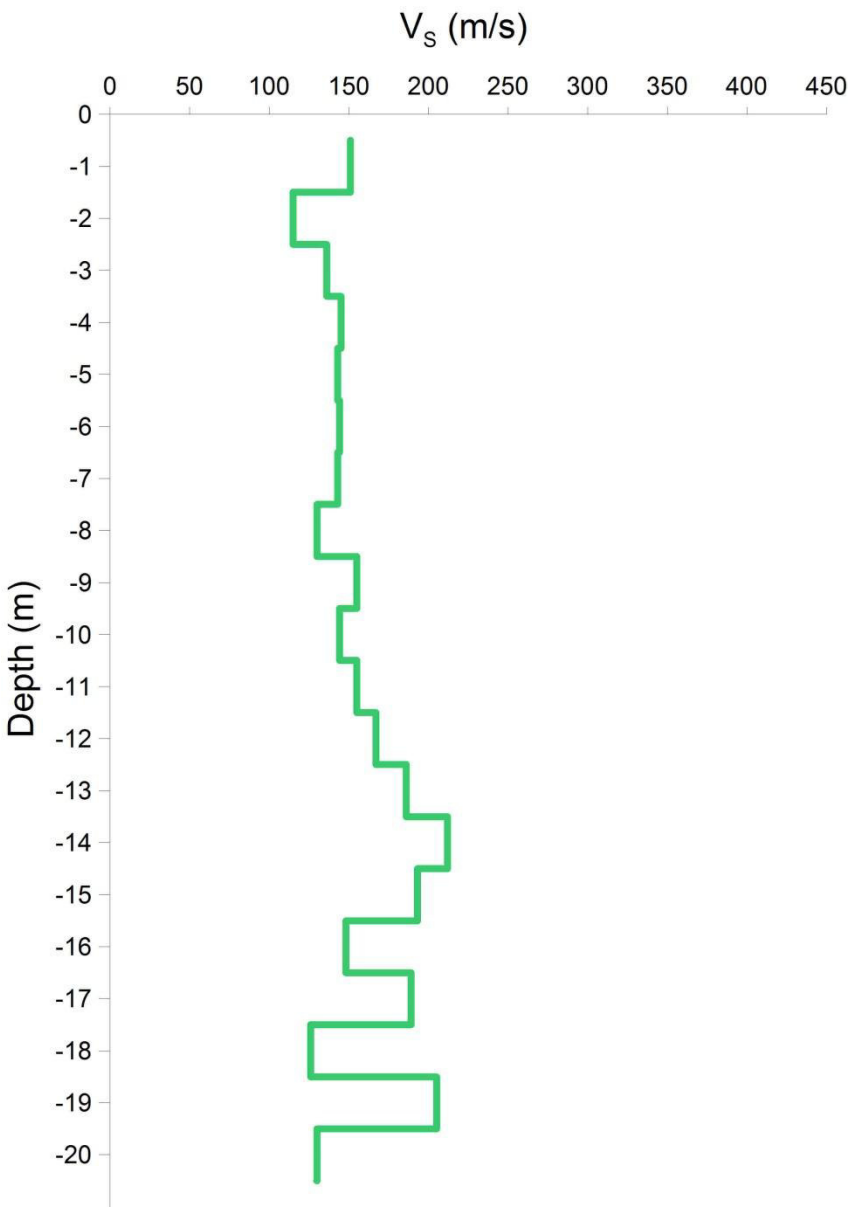




Registro da onda S, furo de 20 m de profundidade

APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS





Ensaio sísmico *crosshole* no município de Três Lagoas-MS

Estruturas que causam vibração no solo

Indústria de Celulose e Papel

Descascador de madeira

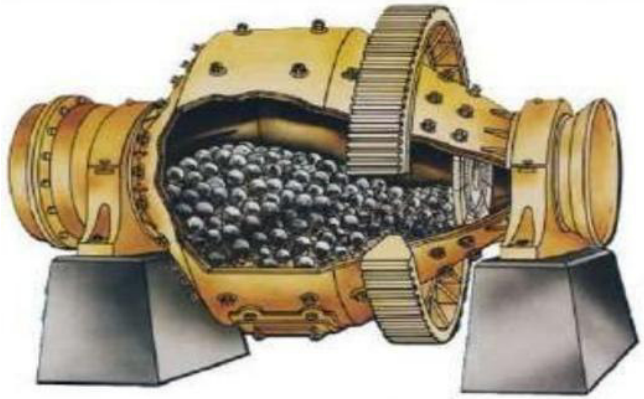
Picador de madeira

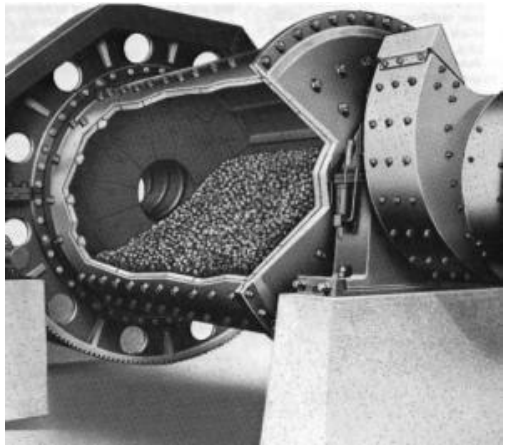
Turbogeradores: geração de energia a partir de cavacos de madeira para biomassa

Estruturas que causam vibração no solo

Mineração

Moinho de bolas





Eólicas

Aerogerador para energia eólica

Ensaio sísmico *crosshole* no município de Três Lagoas-MS

→ Futura implantação das industriais da Eldorado Celulose e Papel

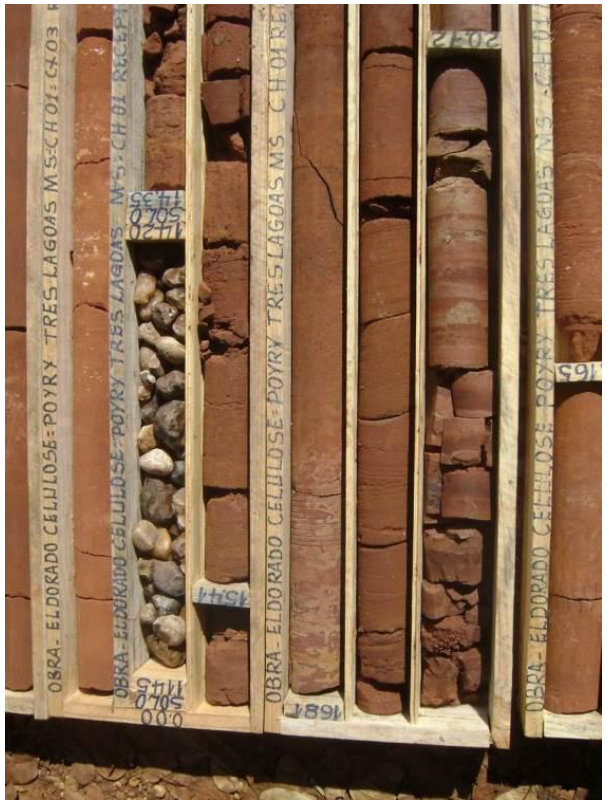
Maio de 2010

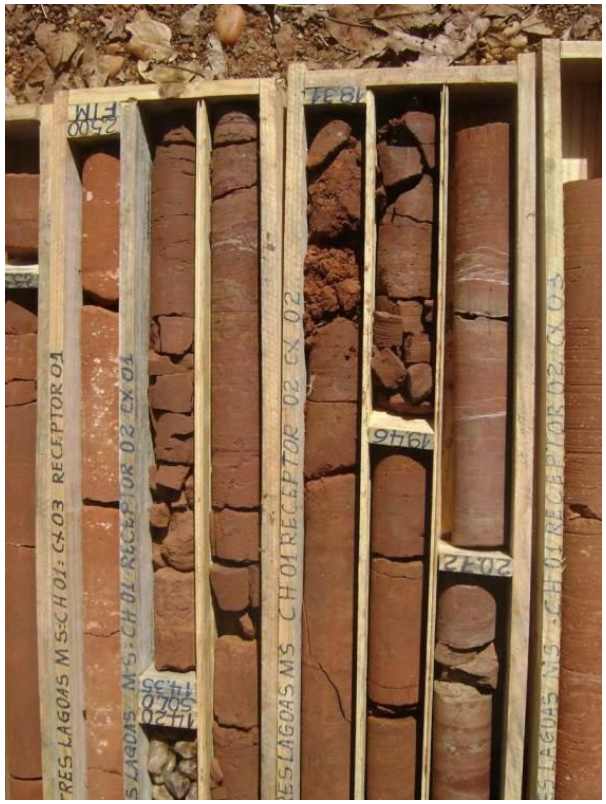
GEOFONES
DE FUROS
FURO
RECEPTOR-02
FURO
RECEPTOR-01

FURO CH-01
FURO RECEPTOR-01

Geologia da área

- Rochas da Fm. Santo Anastácio (Grupo Caiuá)
- Arenitos quartzosos, quase sempre maciços, finos a muito finos, com fração de silte subordinada e pequena quantidade de matriz silto-argilosa





CLIENTE: ELDORADO CELULOSE E PAPEL LTDA

OBRA: 20530.10-3000-H10-SERVIÇOS DE PROSPECÇÃO

LOCAL: TRÊS LAGOAS / MS

SONDAGEM A PERCUSSÃO CH-01

INÍCIO: 05/09/19 TÉRMINO: 11/09/19

COTA: 311,16

Cota em Relação ao R.N.	Metros	Profundidade da Camada	REVESTIMENTO: DN 6" (6,5 mm) AMOSTRADOR: Ø INTERNO: 34,9 mm Ø EXTERNO: 50,8 mm PESO: 65 kg ALTURA DA QUEDA: 75 cm	ENSAIO PENETROMÉTRICO (Golpes/cm)	PORCENTAGEM DE RECUPERAÇÃO 20 40 60 80	PORCENTAGEM DE R.Q.D. 20 40 60 80
			CLASSIFICAÇÃO DA CAMADA			
310	1		ARGILA ARENOSA, VERMELHA			
	2					
	3					
	4					
	5					
305	6					
	7					
	8					
	9					
	10					
	11					
	12	12.20				
300	13		Seixos arredondados de granulometria variada, composta por quartzo e basalto principalmente (depósito de antigo leito de rio)			
	14	14.20				
	15		ARGILA ARENOSA, VERMELHA			
		16.75	Continua na Próxima Página			

PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA
INICIAL: NF(s) 05/09/19
FINAL: 8,26 m em 12/09/19

***** SPT 30 cm INICIAIS
——— SPT 30 cm FINAIS

AVANÇO ATRADO:
AVANÇO POR LAVAGEM: 8,91 m a 25,66 m
PROF. DO REVESTIMENTO: 16,75 m

SOLOTÉCNICA

REFERÊNCIA: 12/09	LAVAGEM POR TEMPO (50 MIN.)			DESENHO Nº.: JULYANA
	TEMPO	DE	PARA	
DATA: 11/09/19				FOLHA Nº.:
ESCALA VERT.: 1/100				RESP. TÉC.:

CLIENTE: ELDORADO CELULOSE E PAPEL LTDA

OBRA: 20530.10-3000-H10-SERVIÇOS DE PROSPECÇÃO

LOCAL: TRÊS LAGOAS / MS

SONDAGEM A PERCUSSÃO CH-01

INÍCIO: 05/09/19 TÉRMINO: 11/09/19

COTA: 311,16

Cota em Relação ao R.N.	Metros	Profundidade da Camada	REVESTIMENTO: DN 6" (6,5 mm) AMOSTRADOR: Ø INTERNO: 34,9 mm Ø EXTERNO: 50,8 mm PESO: 65 kg ALTURA DA QUEDA: 75 cm	ENSAIO PENETROMÉTRICO (Golpes/cm)	PORCENTAGEM DE RECUPERAÇÃO 20 40 60 80	PORCENTAGEM DE R.Q.D. 20 40 60 80
			CLASSIFICAÇÃO DA CAMADA			
295	16				100%	18,48%
	17		ARENITO avermelhado c/ lentes de calcretes, esporeza alta nas porções mais claras, c/ calcreto apresenta-se mais quebradiça. A3, C3, F3, T, A, I, L, R.		100%	25,64%
	18					
		19.00				
	19		ARGILITO vermelho arroxeado c/ pequenas lentes de calcretes c/ coloração mais clara nessas porções, sem estrutura reliquiar. A3, C3, F3, T, A, I, L, R.		100%	40,29%
	20					
		20.80				
	21				100%	71,43%
	22		ARENITO avermelhado c/ manchas e porções de calcário, estrutura maciça. A3, C3, F3, T, A, I, L, R.			
290	23				100%	100%
	24				100%	100%
		25.00			100%	100%

LIMITE DE SONDAGEM

OBSERVAÇÃO:
1) NÍVEL NÃO FOI ENCONTRADO (NÍVEL D'ÁGUA)

COORDENADAS:
1) E= 486.716,287
2) N= 7.722.186,948

PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA
INICIAL: NF(s) 05/09/19
FINAL: 8,26 m em 12/09/19

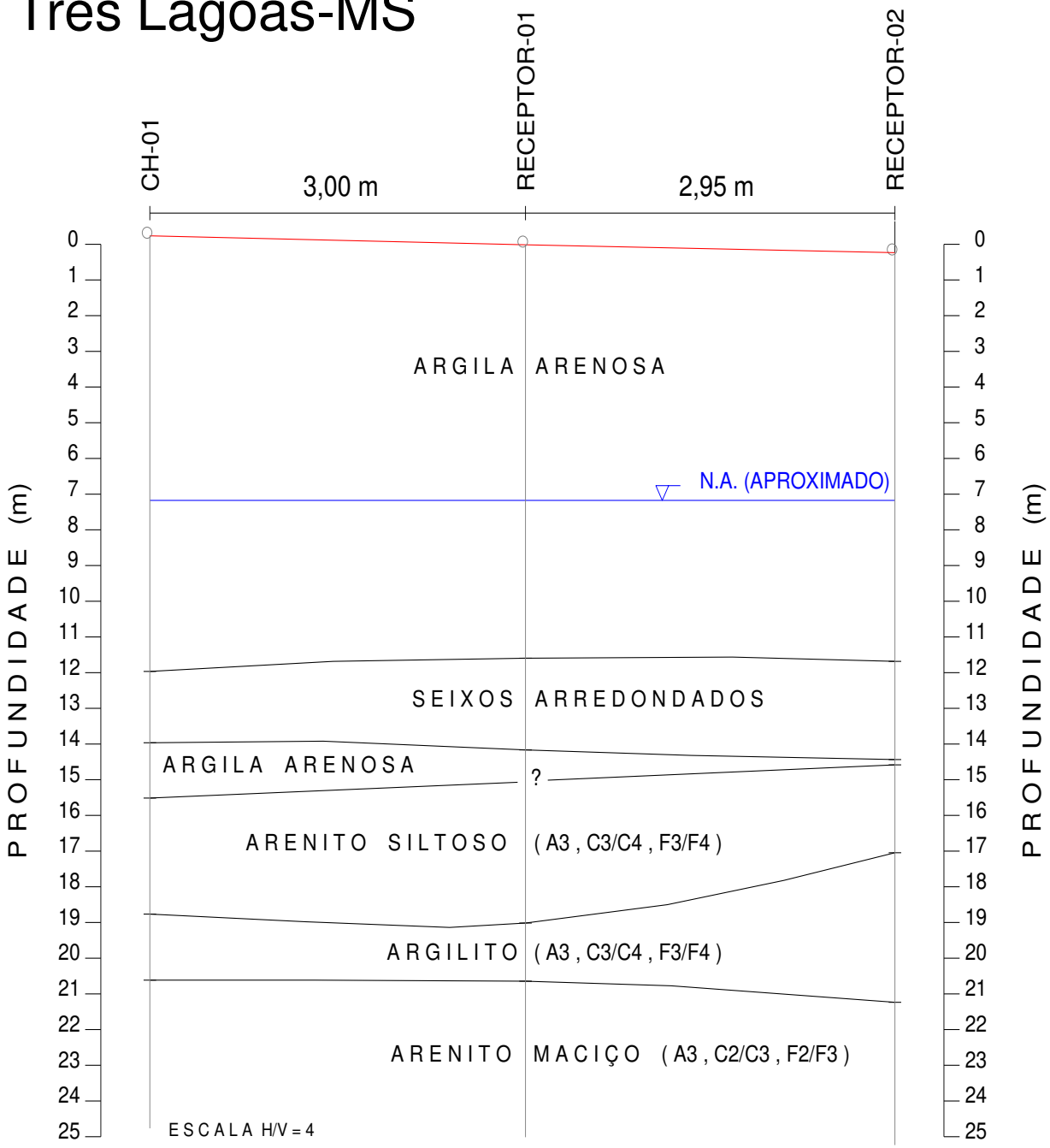
***** SPT 30 cm INICIAIS
——— SPT 30 cm FINAIS

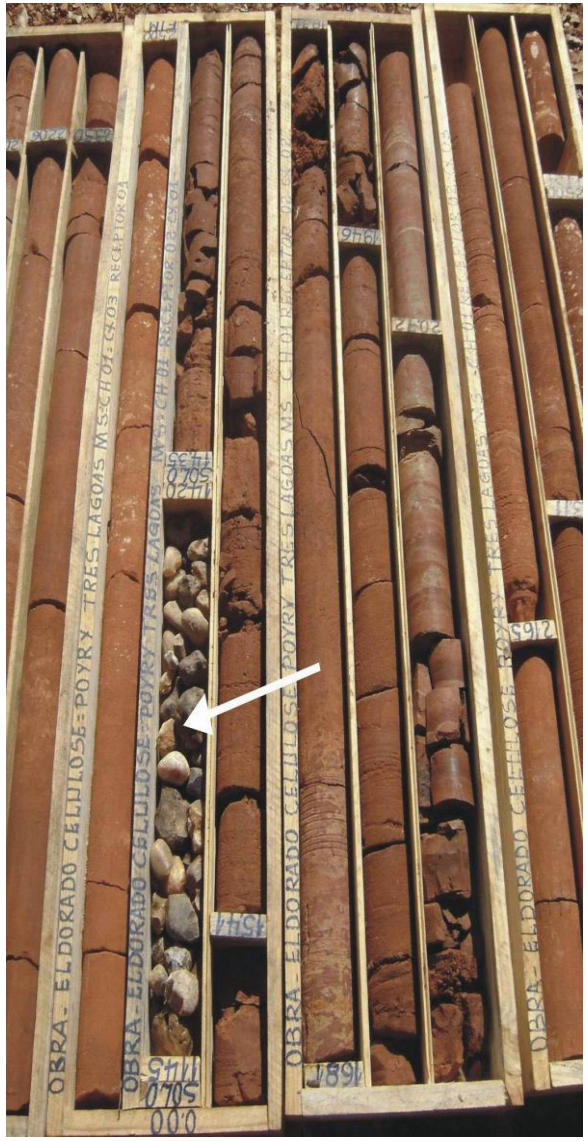
AVANÇO ATRADO:
AVANÇO POR LAVAGEM: 8,91 m a 25,66 m
PROF. DO REVESTIMENTO: 16,75 m

SOLOTÉCNICA

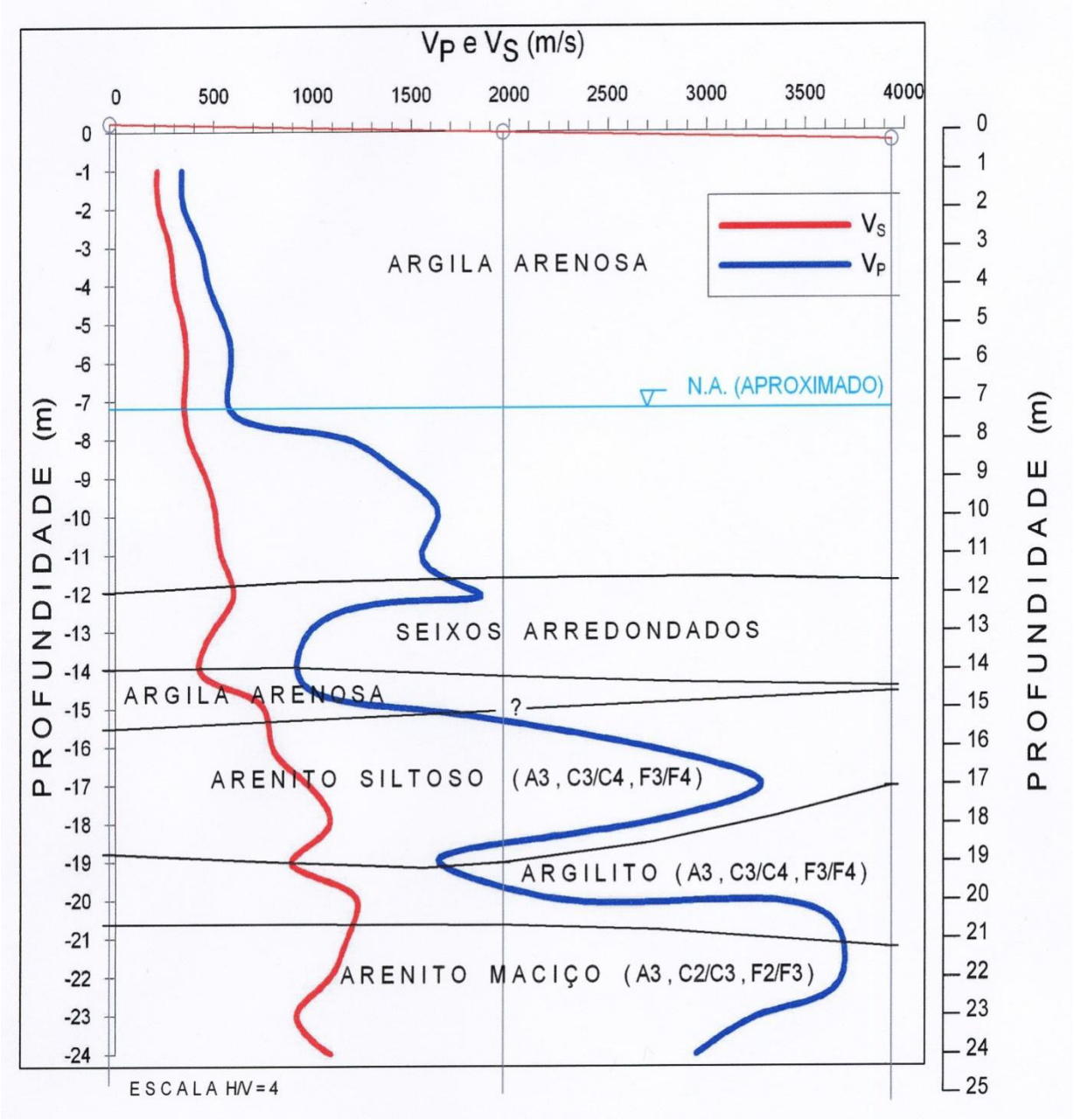
REFERÊNCIA: 12/09
LAVAGEM POR TEMPO (50 MIN.)
TEMPO | DE | PARA
DESENHO Nº.: JULYANA
DATA: 11/09/19
FOLHA Nº.:
ESCALA VERT.: 1/100
RESP. TÉC.:

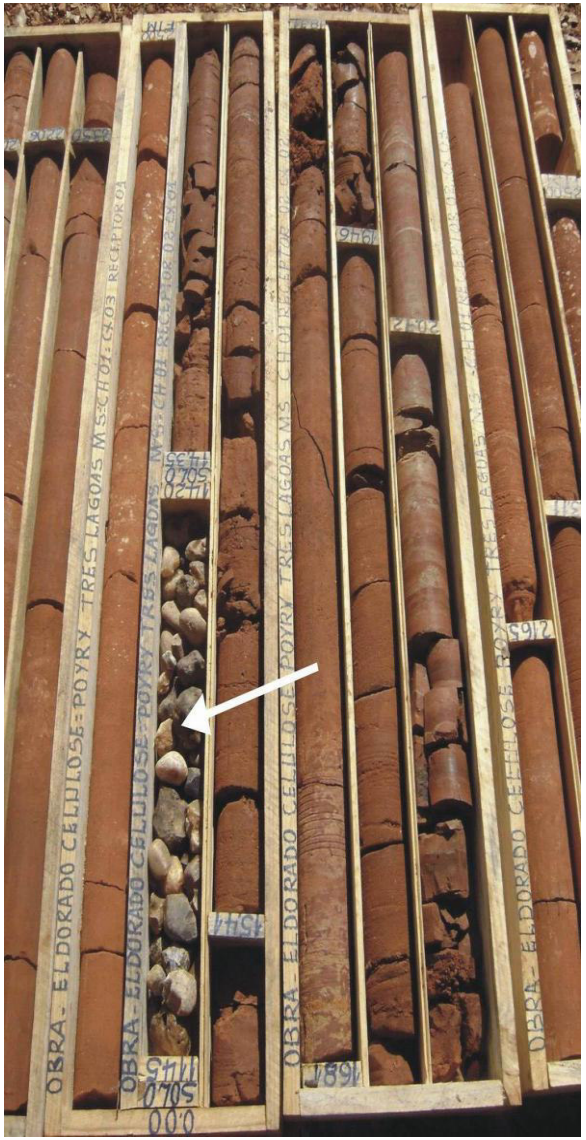
Três Lagoas-MS





Três Lagoas-MS





BR 158
Km231
Ensaio CH
Ensaio CH
Image © 2015 CNES / Astrium
Google earth

Março de 2019

ANGRA 1
Potência: 640 MW
Tecnologia: Westinghouse
Operação: Jan/1985
ANGRA 2
Potência: 1.350 MW
Tecnologia: Siemens/KWU
Operação: Jan/2001

ANGRA 3

Tremores de terra em Angra dos Reis (RJ) são investigados

Clipping
Criado: 04 Junho 2015

Trabalho é realizado por pesquisadores da USP com auxílio de sismógrafos. Laudo aponta que cinco abalos foram registrados em maio na cidade.

Pesquisadores da USP investigando os tremores em Angra dos Reis (Foto: Marcos Landim/TV Rio Sul)

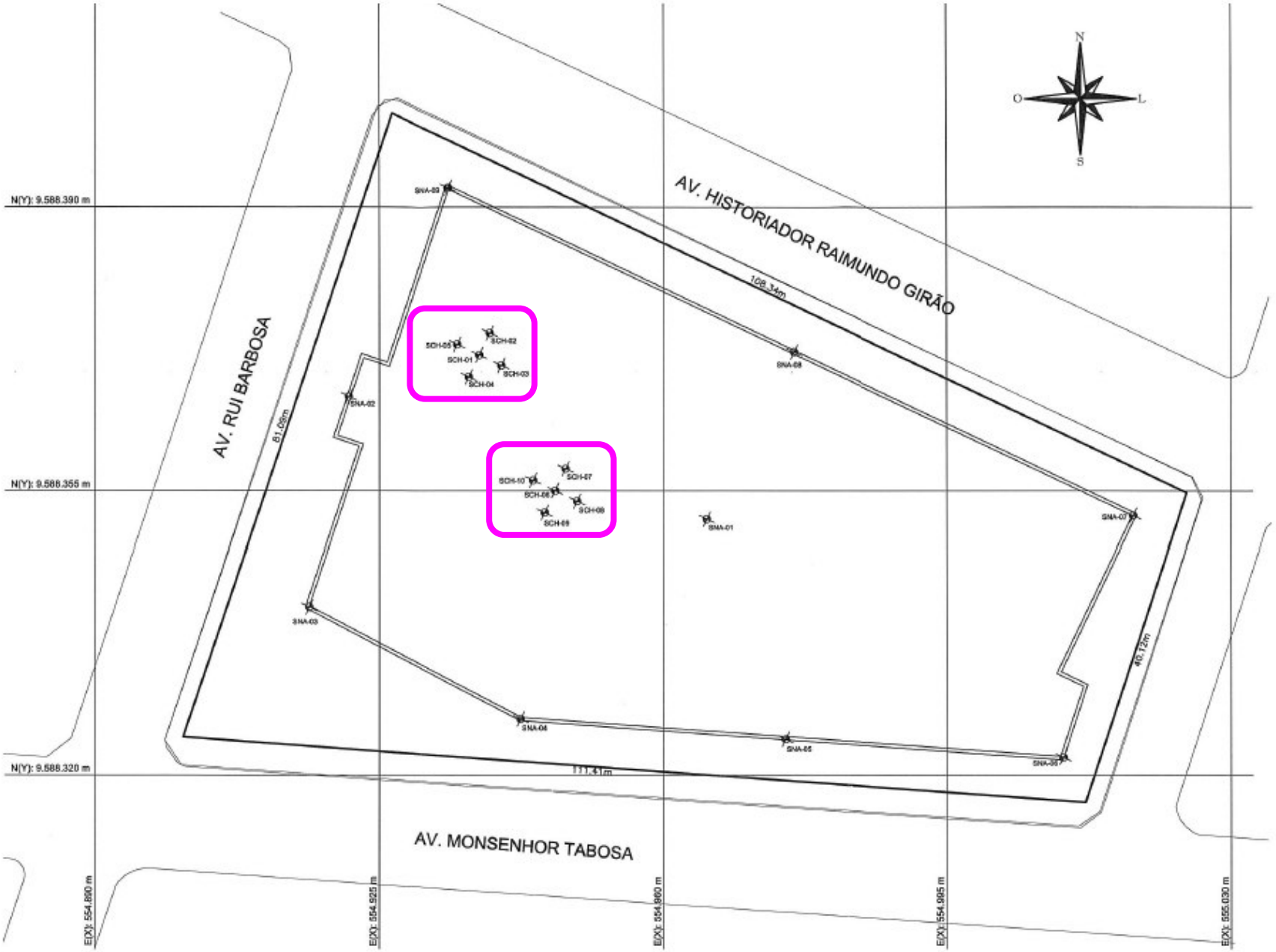
Os tremores de terra que atingiram em Angra dos Reis, na Costa Verde do Rio de Janeiro, no mês passado estão sendo investigados pelo Centro de Sismologia da Universidade de São Paulo (USP). Pesquisadores da faculdade estão na cidade para analisar a região do Bracuhy, onde os abalos foram sentidos, com a ajuda de sismógrafos — aparelho que detecta movimentos do solo. As informações são da produção do RJTV.

Fonte: geofísicabrasil

⇒SPT-T e crosshole (para determinação de V_S e G)

Ensaio *crosshole* em obra na cidade de Fortaleza-CE (2017)

Ensaio *crosshole* em obra na cidade de Fortaleza-CE (2017)



Ensaio *crosshole* em obra na cidade de Fortaleza-CE (2017)

SCHG

PERFIL DE SONDAGEM SCH-04

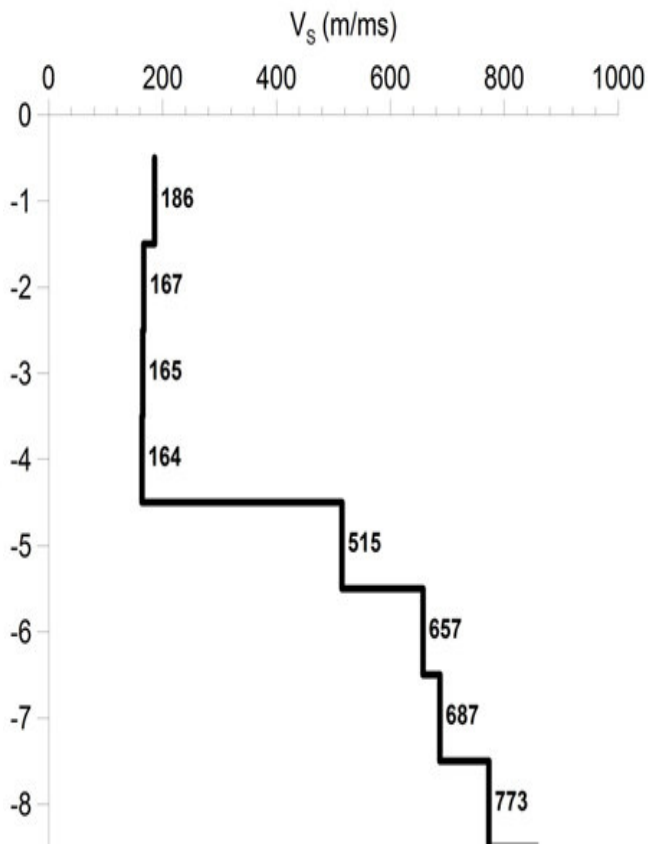
COORDENADAS - (UTM)

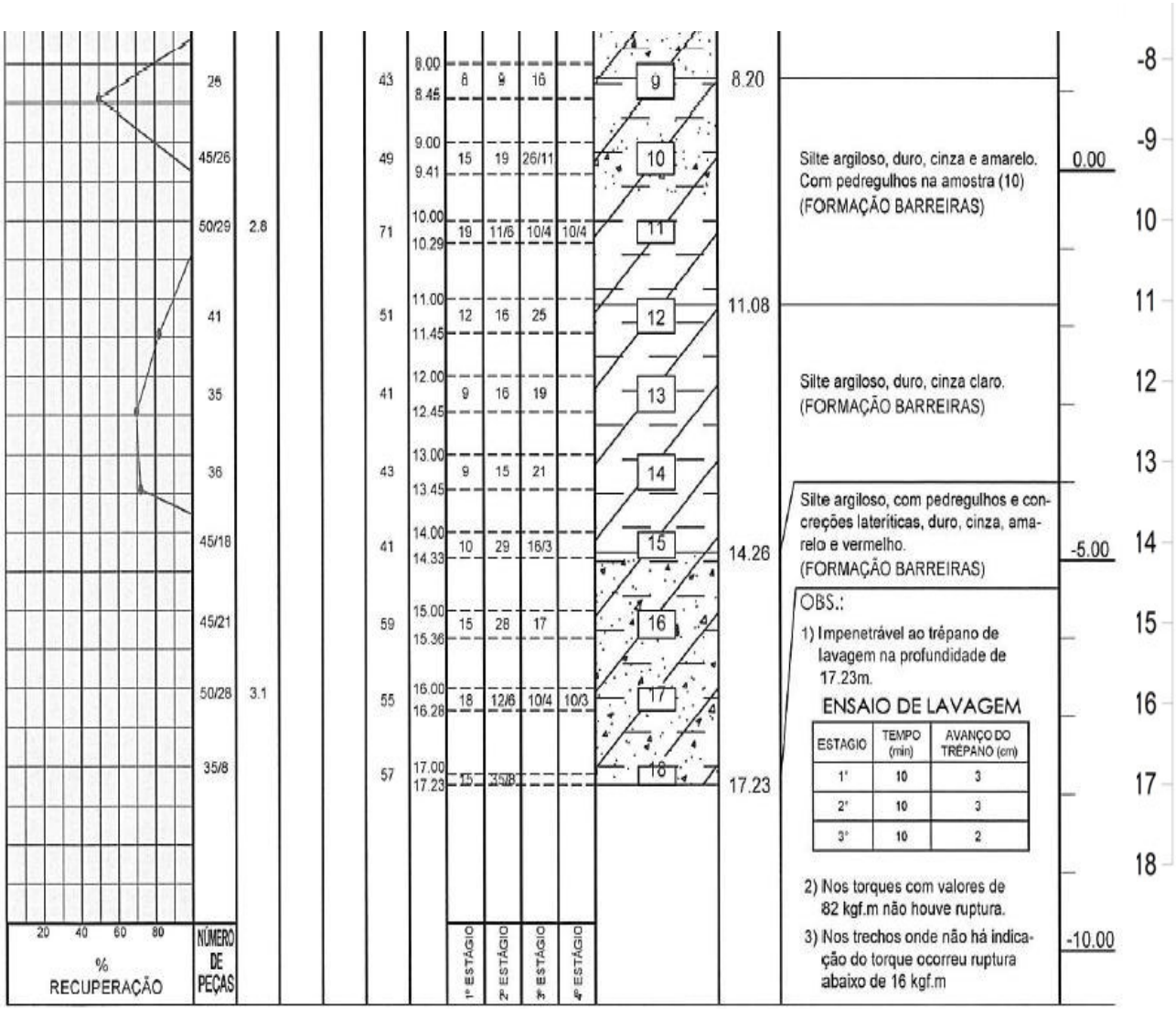
E = 554.936,02 | N = 9.588.369,06

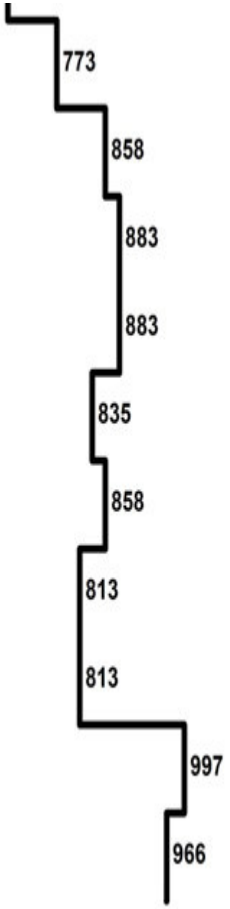
AMOSTRADOR PADRÃO - SPT	
Ø EXTERNO - 50,8 mm	MARTELO 65 Kg
Ø INTERNO 34,9 mm	QUEDA 75 cm

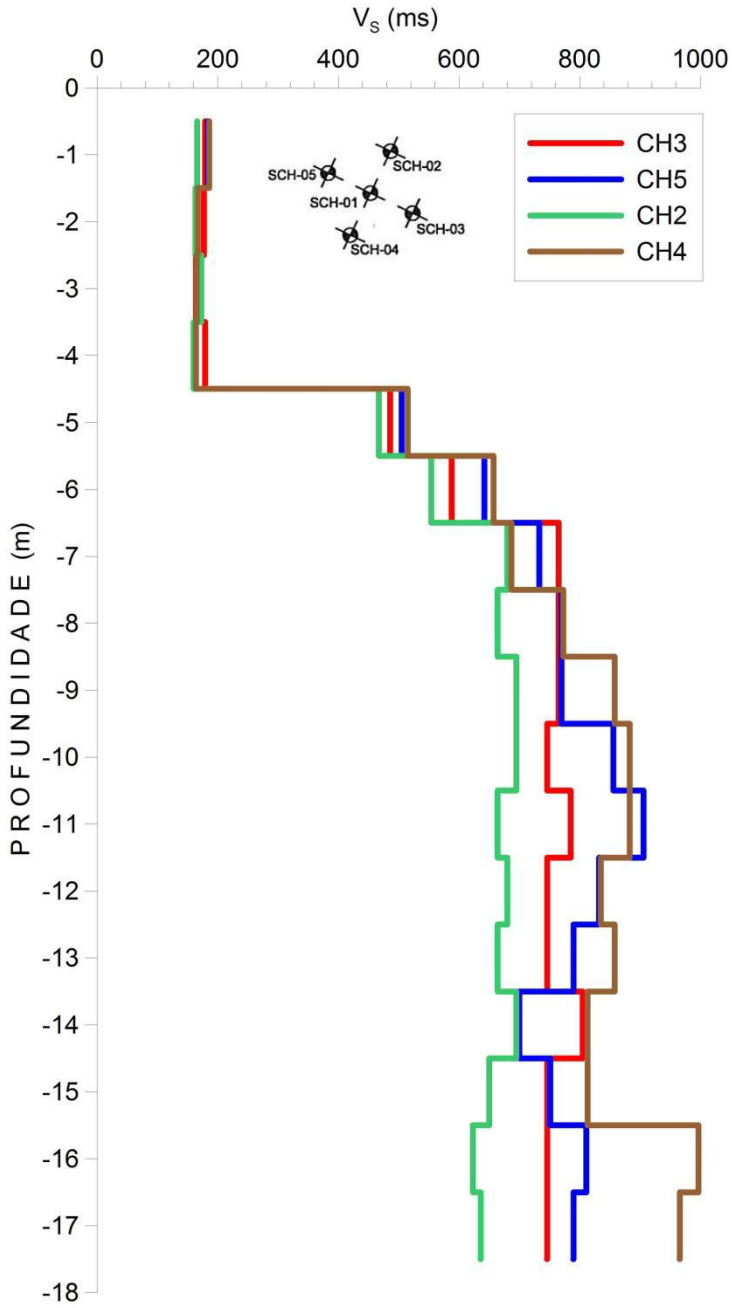
PROCESSO EXECUTIVO	
A TRADO ATÉ 3.00 m	LAVAGEM - 3.00 m À 17.00 m
REVESTIDO DE 3.00 m À 5.00 m	

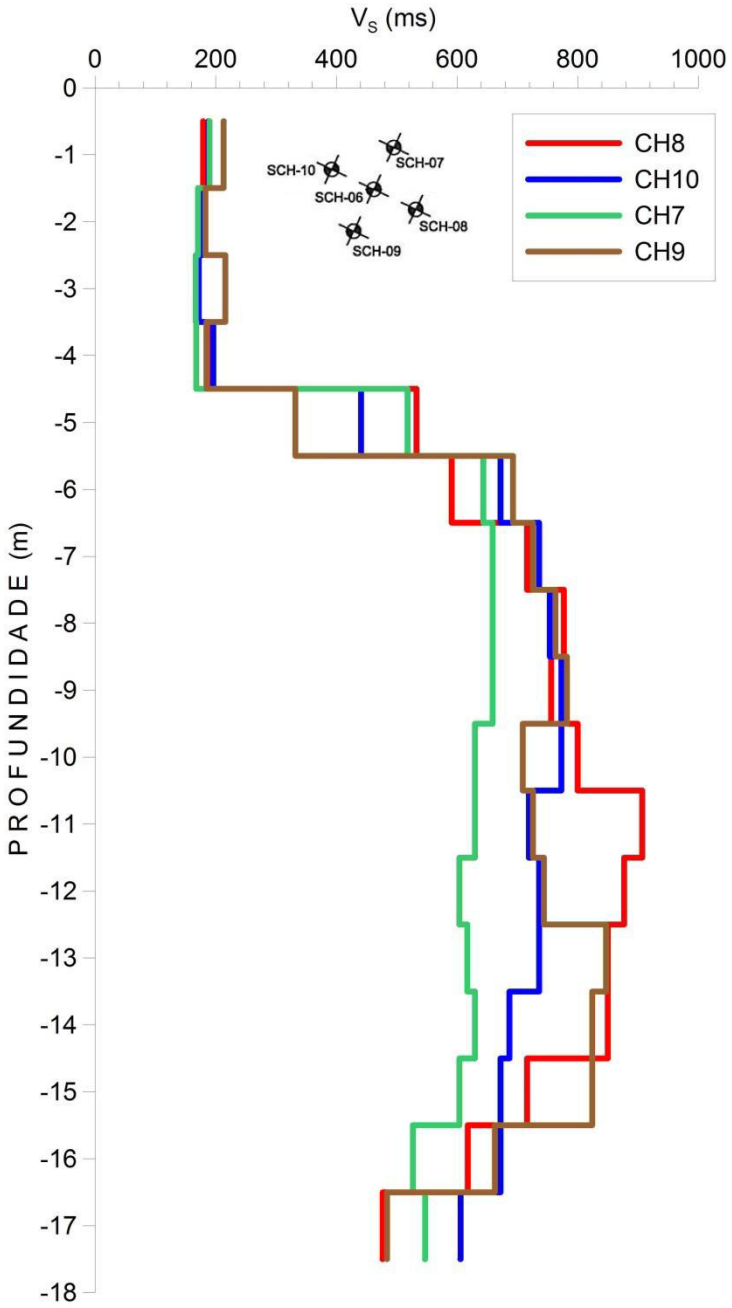
GRÁFICO	SPT	ÍNDICE DE BÓSIO IB	HUMIDADE h%	DENSIDADE NATURAL γ_n g/cm³	TORQUE (kf.m)	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO PROF. (m) DE ATÉ	GOLPES P/15cm	AMOSTRA	PROF. (m)	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL	COTA (m)
10 20 30 40											9.36 ▼
	17				16	0.20 – 0.65	4 7 10	1	0.53 / 0.65	Areia fina e média, siltosa, com restos de alvenaria, medianamente compacta,marrom clara. (ATERRO)	
	11					1.00 – 1.45	4 5 6	2		Areia fina, pouco siltosa, medianamente compacta, amarela. (COBERTURA QUATERNÁRIA)	
	12					2.00 – 2.45	4 6 6	3		Areia fina, medianamente compacta, cinza clara. (COBERTURA QUATERNÁRIA)	
	19					3.00 – 3.45	10 9 10	4	2.85 / 3.16		N.A
	34				16	4.00 – 4.45	10 9 25	5		Areia fina e média, pouco siltosa, compacta, amarela e cinza. (COBERTURA QUATERNÁRIA)	5.00
	32				17	5.00 – 5.45	8 9 23	6	5.10		
	36				17	6.00 – 6.45	11 19 17	7		Silte argiloso, com pedregulhos e concreções lateríticas, duro, cinza, vermelho e amarelo. (FORMAÇÃO BARREIRAS)	
	50/23	2.6			82	7.00 – 7.23	29 10/4 10/4	8			
	25				43	8.00 – 8.45	8 9 16	9	8.20		



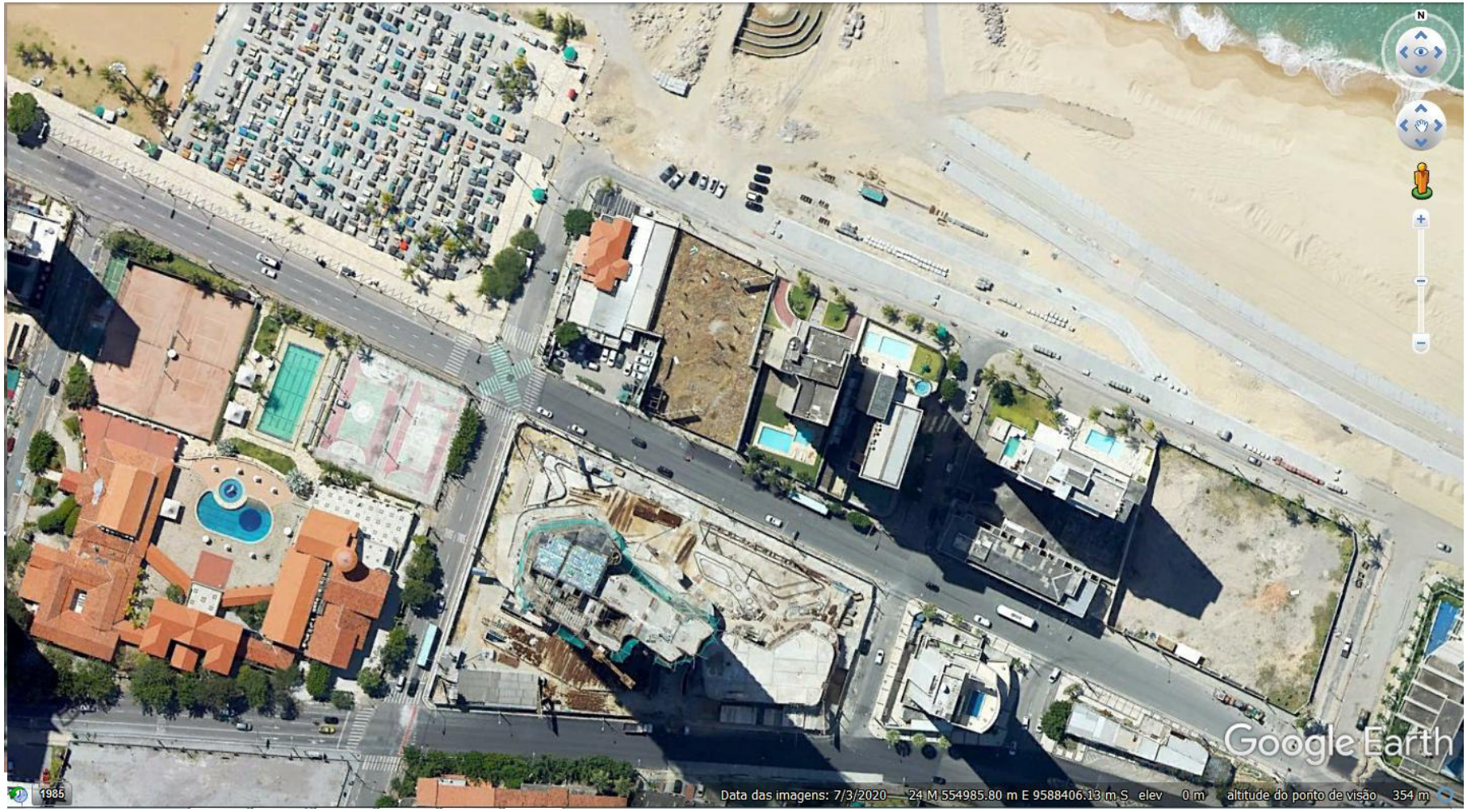

20 40 60 80
% RECUPERAÇÃO
NÚMERO DE PEÇAS
26
45/26
50/29
2.8
41
35
36
45/18
45/21
50/28
3.1
35/8
43
49
71
51
41
43
41
59
55
57
8.00
8.45
9.00
9.41
10.00
10.29
11.00
11.45
12.00
12.45
13.00
13.45
14.00
14.33
15.00
15.36
16.00
16.26
17.00
17.23
8 9 16
15 19 26/11
19 11/6 10/4 10/4
12 16 25
9 16 19
9 15 21
10 29 16/3
15 28 17
18 12/6 10/4 10/3
15 35/8
1° ESTÁGIO
2° ESTÁGIO
3° ESTÁGIO
4° ESTÁGIO
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
8.20
11.08
14.26
17.23
Silte argiloso, duro, cinza e amarelo.
Com pedregulhos na amostra (10)
(FORMAÇÃO BARREIRAS)
Silte argiloso, duro, cinza claro.
(FORMAÇÃO BARREIRAS)
Silte argiloso, com pedregulhos e concreções lateríticas, duro, cinza, amarelo e vermelho.
(FORMAÇÃO BARREIRAS)
OBS.:
1) Impenetrável ao trépano de lavagem na profundidade de 17.23m.
ENSAIO DE LAVAGEM
ESTAGIO | TEMPO (min) | AVANÇO DO TRÉPANO (cm)
1° | 10 | 3
2° | 10 | 3
3° | 10 | 2
2) Nos torques com valores de 82 kgf.m não houve ruptura.
3) Nos trechos onde não há indicação do torque ocorreu ruptura abaixo de 16 kgf.m
0.00
-5.00
-10.00
-8
-9
10
11
12
13
14
15
16
17
18


773
858
883
883
835
858
813
813
997
966


V_S (ms)
0
200
400
600
800
1000
PROFUNDIDADE (m)
0
-1
-2
-3
-4
-5
-6
-7
-8
-9
-10
-11
-12
-13
-14
-15
-16
-17
-18
SCH-01
SCH-02
SCH-03
SCH-04
SCH-05
CH3
CH5
CH2
CH4

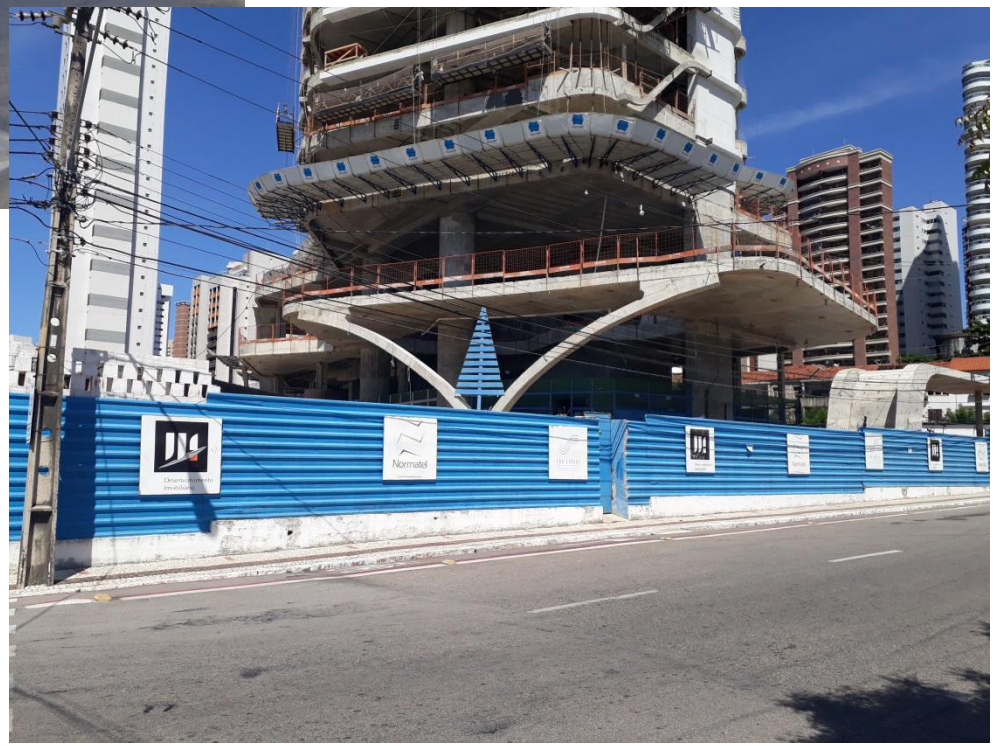

V_S (ms)
0
200
400
600
800
1000
PROFUNDIDADE (m)
0
-1
-2
-3
-4
-5
-6
-7
-8
-9
-10
-11
-12
-13
-14
-15
-16
-17
-18
SCH-06
SCH-07
SCH-08
SCH-09
SCH-10
CH8
CH10
CH7
CH9

2021


N
Google Earth
1985
Data das imagens: 7/3/2020 24 M 554985.80 m E 9588406.13 m S elev 0 m altitude do ponto de visão 354 m

2017

2021



Custos dos ensaios (*crosshole* e prova de carga): ≅ R$ 100.000

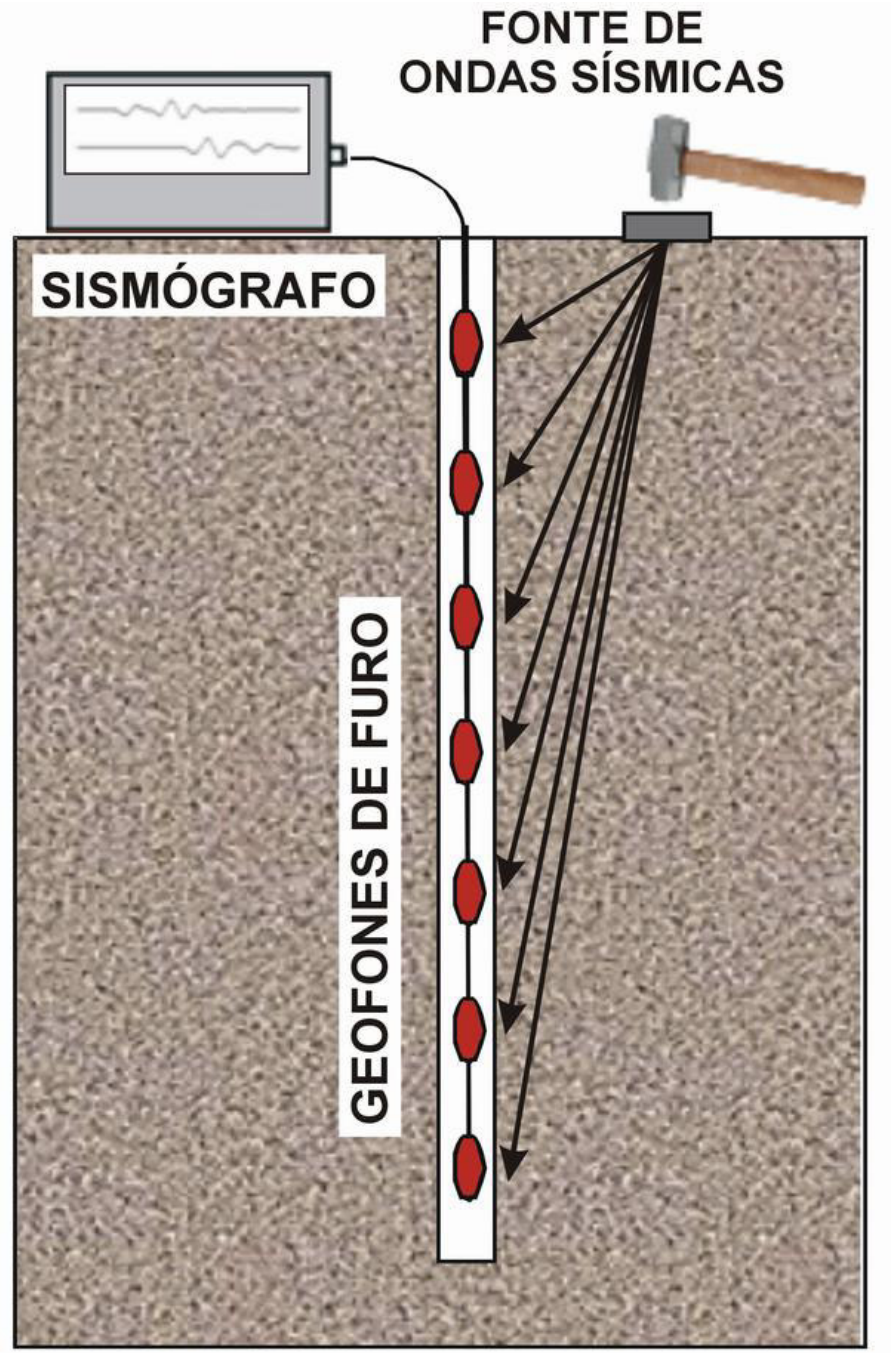
Economia na obra de fundações: ≅ R$ 3.000.000

ENSAIOS SÍSMICOS
EM FUROS DE SONDAGENS

2) *DOWNHOLE*

DOWNHOLE

→ **Fonte na superfície e geofone dentro do furo de sondagem**



Hydrophone streamer

Hidrofone “borehole” isolado

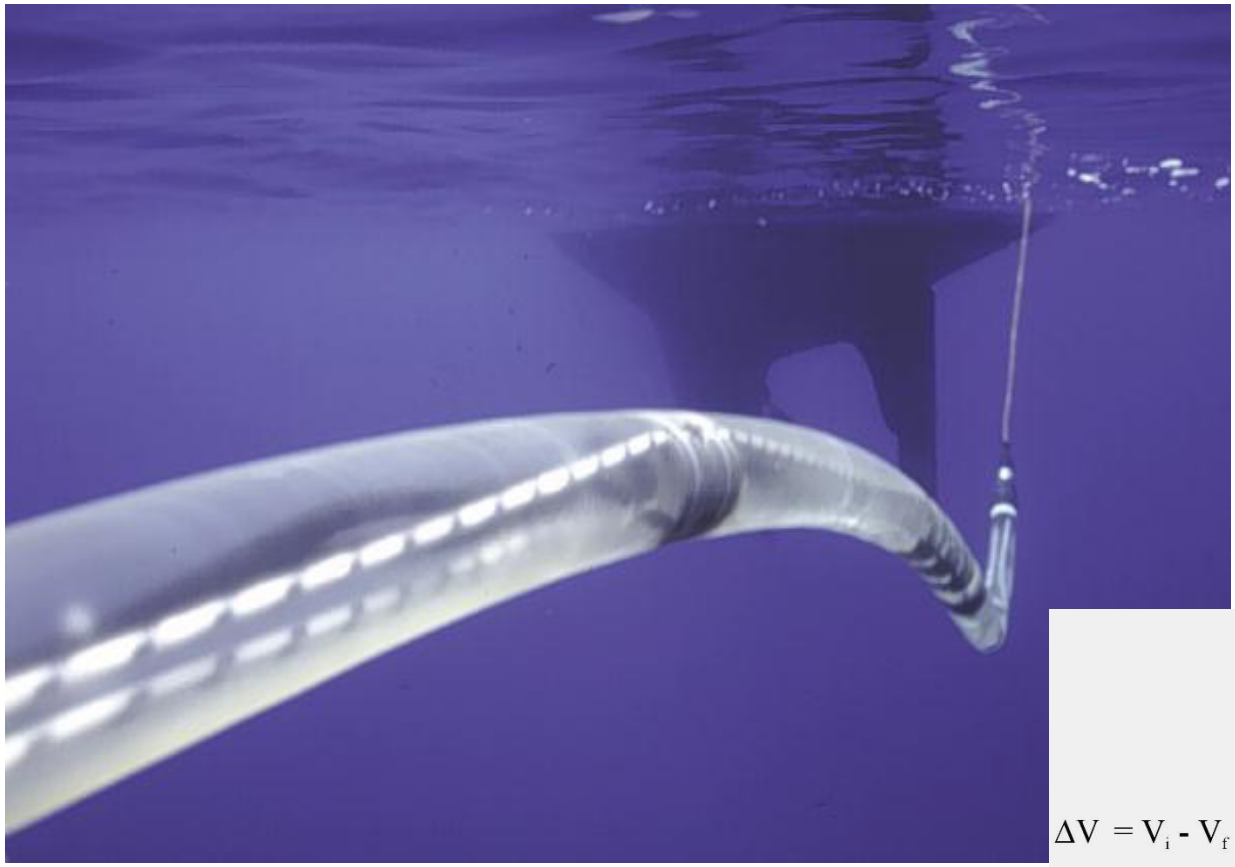
Hidrofones em furos de sondagem

⇒ O furo deverá estar preenchido com H_2O

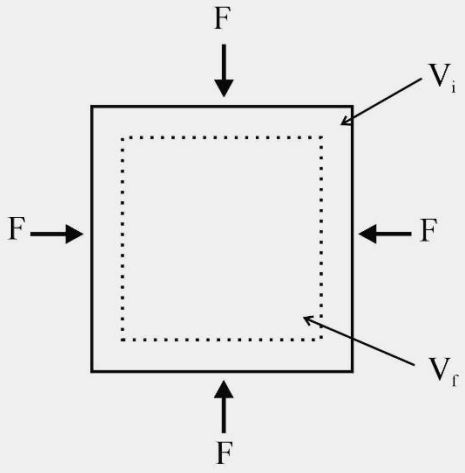
⇒ Vantagem: não necessita de um sistema para fixação contra a parede do furo

OYO Geospace MP-25 Hydrophone string

Para medidas dentro da água utilizam-se sensores que são sensíveis à variações de pressão (hidrofones)



$\Delta V = V_i - V_f$



$$K = \frac{\Delta P}{\Delta V / V} = \text{módulo de compressibilidade}$$

EQUIPAMENTOS

FONTES SÍSMICAS (ondas geradas na superfície)

MARRETA

GEOFONES DE FURO

SISMÓGRAFO

ENSAIO DOWNHOLE (UTILIZANDO ONDA S)

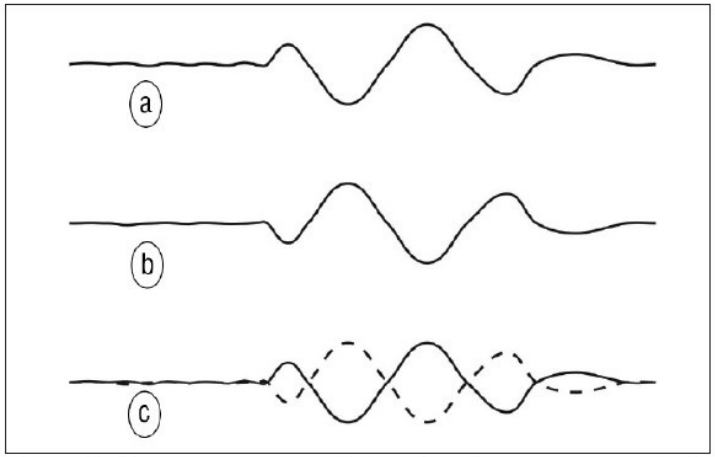


Figure 4. *Shear waves reverse polarity when the energy source polarity is reversed.*

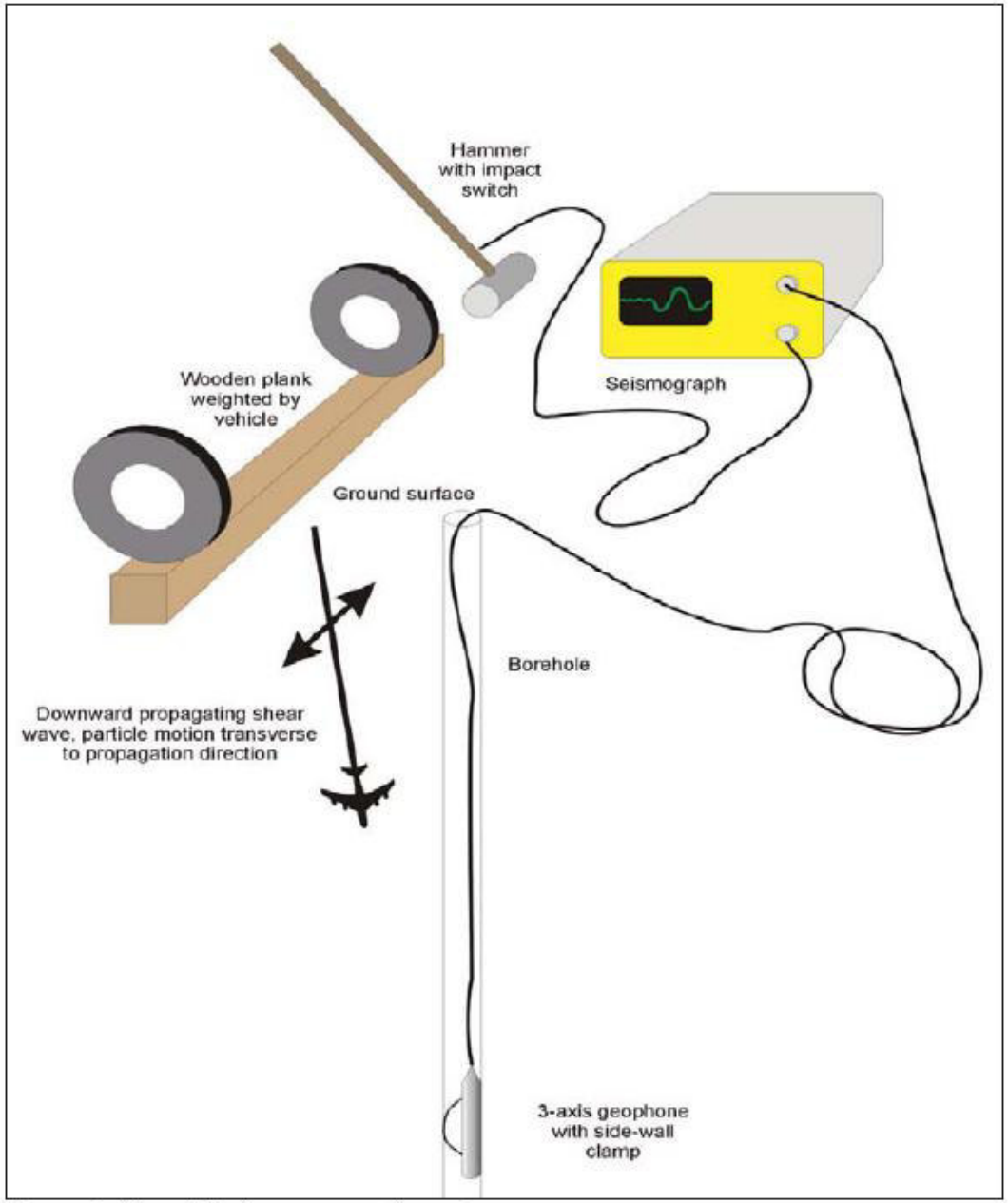
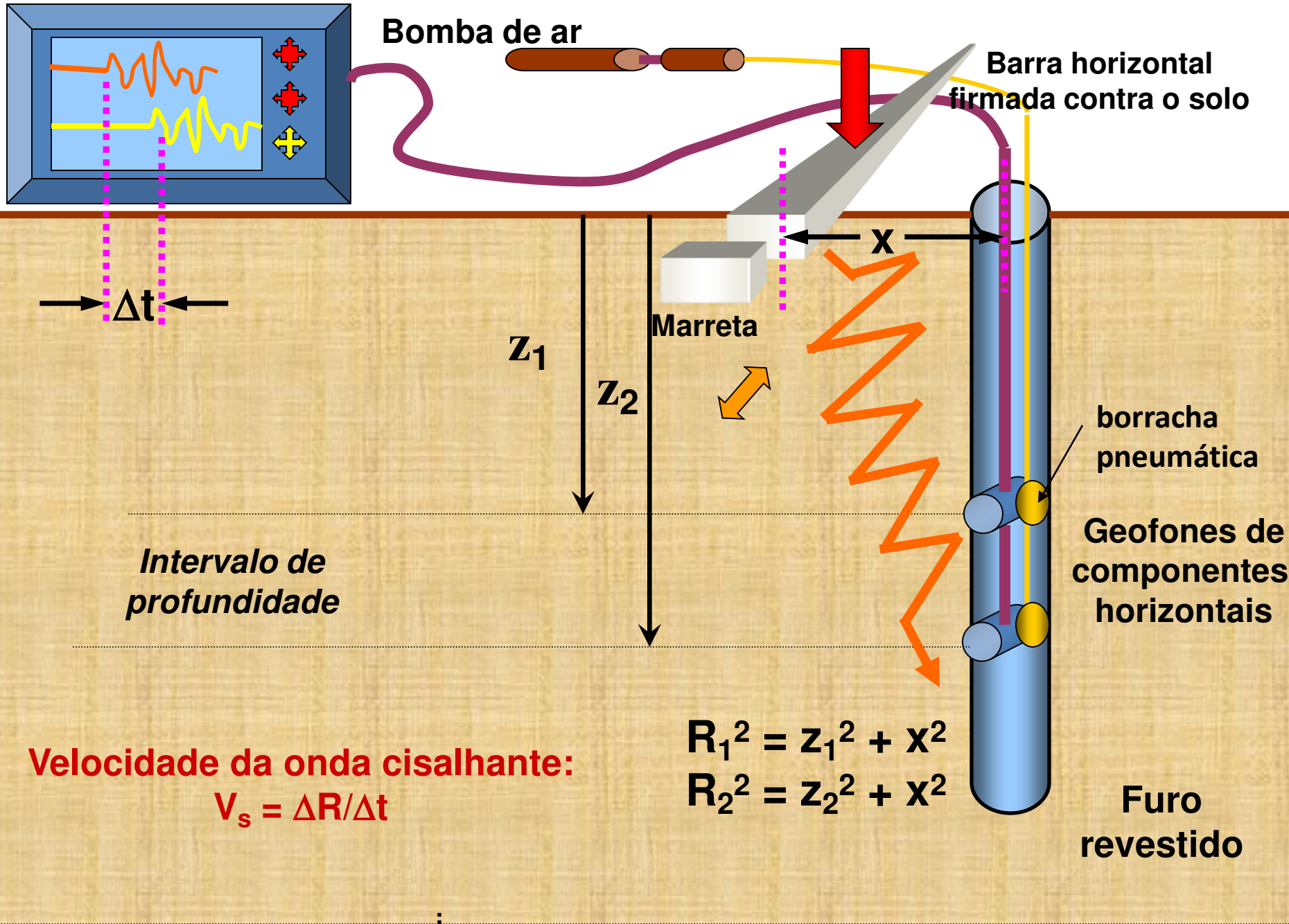


Figure 5. Downhole shear-wave configuration.

Near-surface, downhoole shear-wave survey: A primer. The Leading Edge, february 2011, p.164-171

Ensaio *downhole*



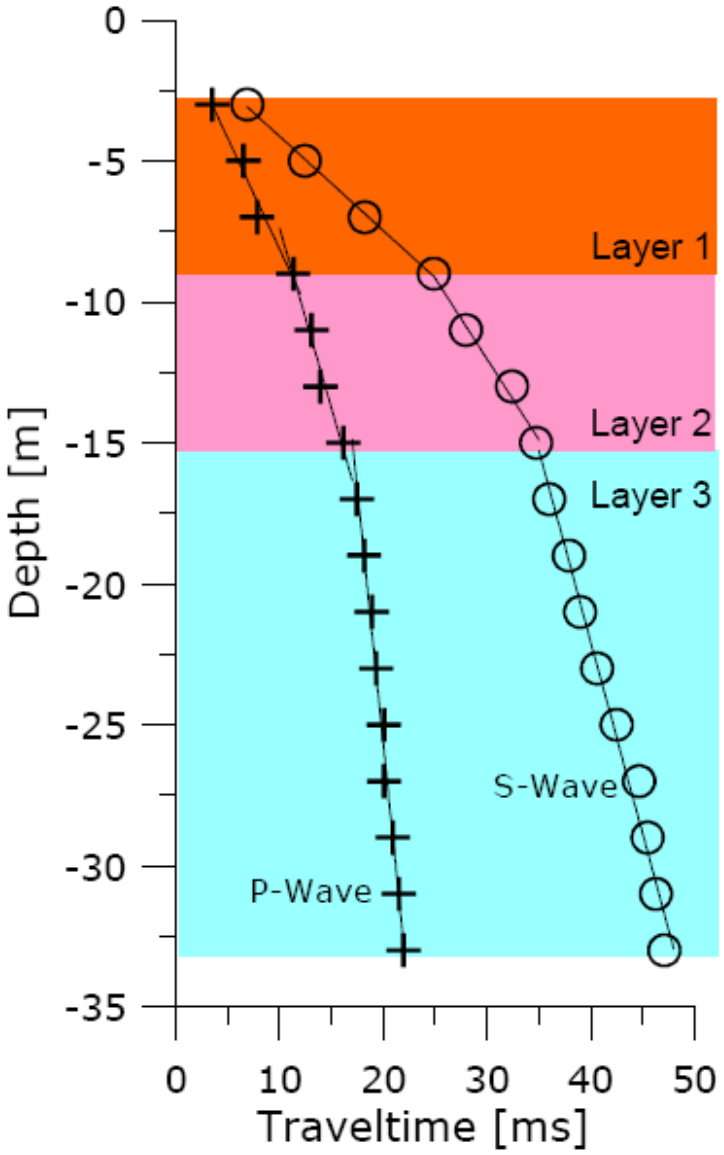
$R_1^2 = z_1^2 + x^2$

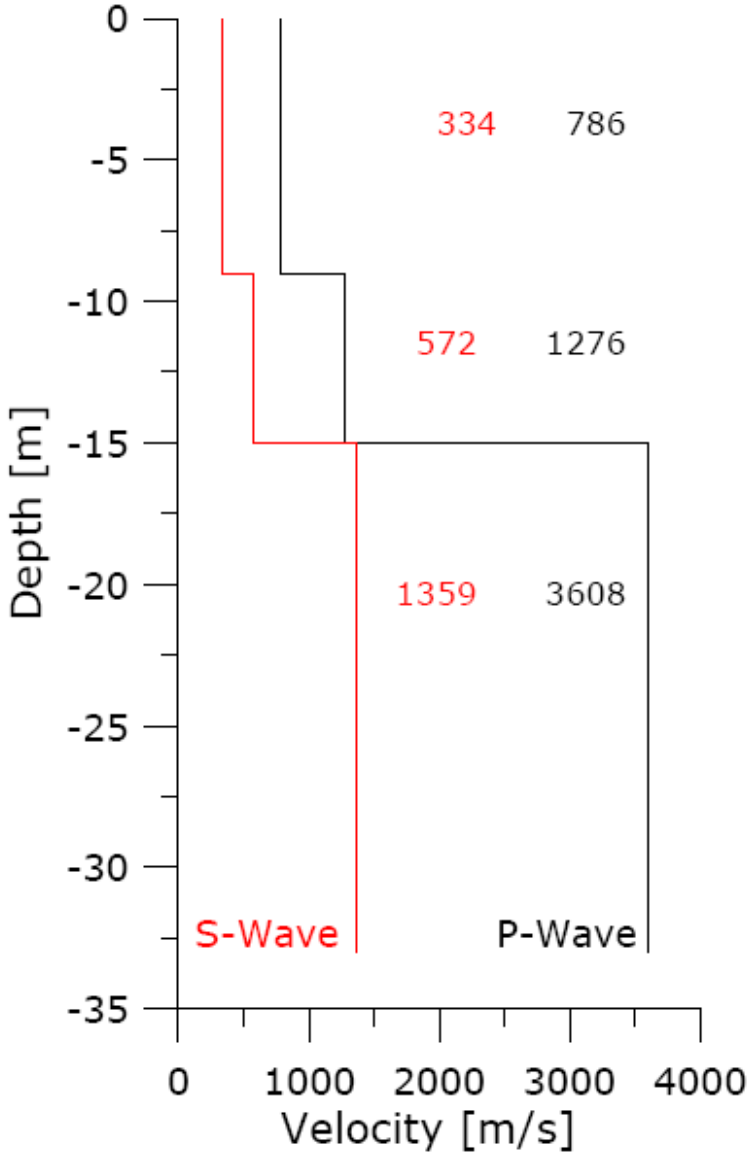
$R_2^2 = z_2^2 + x^2$

Velocidade da onda cisalhante:

$V_s = \Delta R/\Delta t$

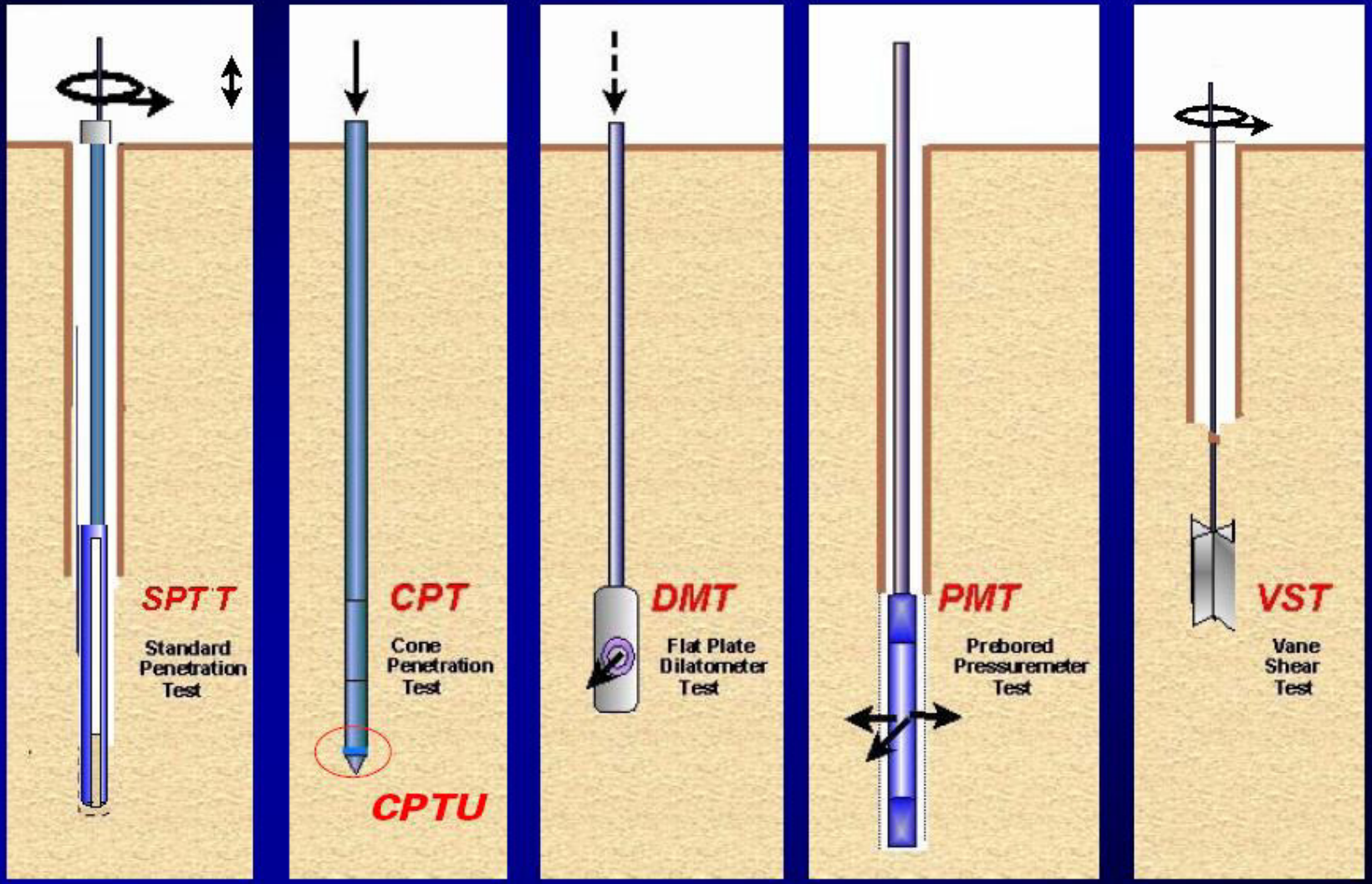
APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS





Fonte: http://www.geotomographie.de

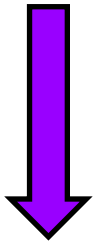
Ensaios geotécnicos de campo



Heraldo L. Giacheti / Unesp – BIC II / São Paulo

Fonte: Heraldo Giacheti (UNESP)

ENSAIOS GEOTÉCNICOS CONVENCIONAIS

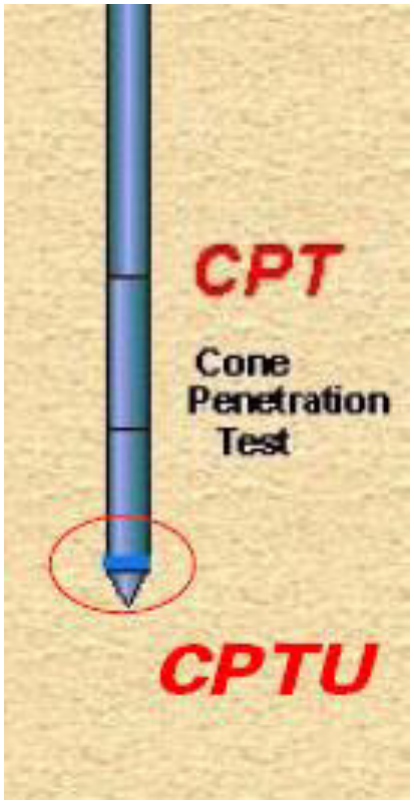


ENSAIOS HÍBRIDOS

→ JUNTAMENTE COM OS OUTROS PARÂMETROS OBTIDOS PELOS ENSAIOS **CPT**, **DMT**, POR EXEMPLO, FORNECEM $\mathbf{G_0}$ POR MEIO DA MEDIDA DE $\mathbf{V_S}$

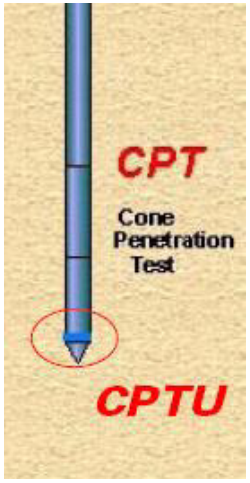
$$G_0 = \rho \cdot V_s^2$$

Ensaios convencionais: penetração do piezocone (**CPTu**) e dilatômetro de Marchetti (**DMT**)



A inserção de 2 geofones nas ponteiras destas ferramentas agrega mais uma informação aos dados já obtidos: são os chamados “ensaios híbridos”

ENSAIOS HÍBRIDOS: SCPTu e SDMT



\+ 2 geofones → CPTU sísmico (**SCPTu**)

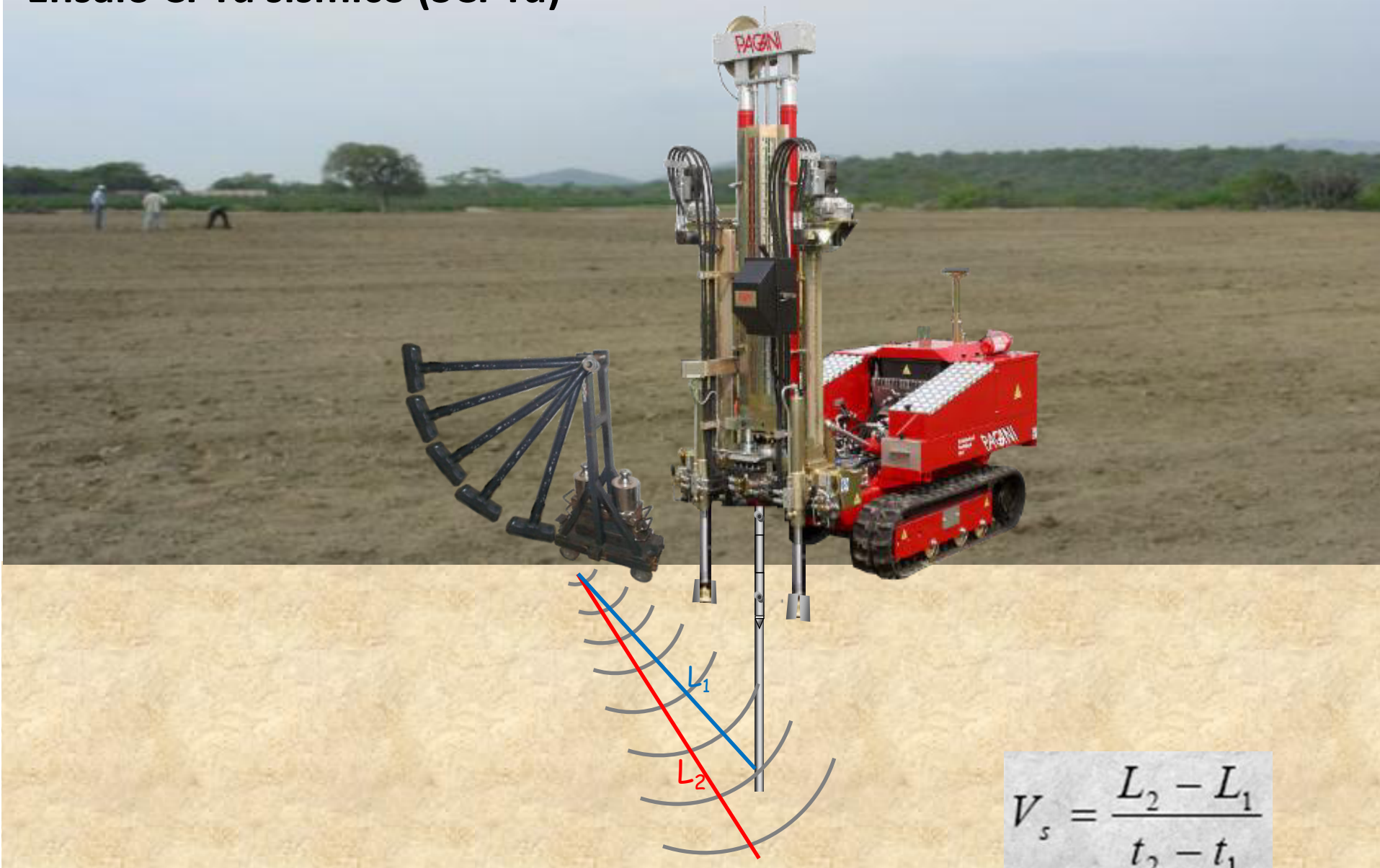
ou piezocone sísmico

\+ 2 geofones → DMT sísmico (**SDMT**)

ou dilatométrico sísmico

Vantagem: a inserção da ponteira (SCPTu) ou da lâmina (SDMT) não requer a preparação de um furo

Ensaio CPTu sísmico (SCPTu)



$$V_s = \frac{L_2 - L_1}{t_2 - t_1}$$

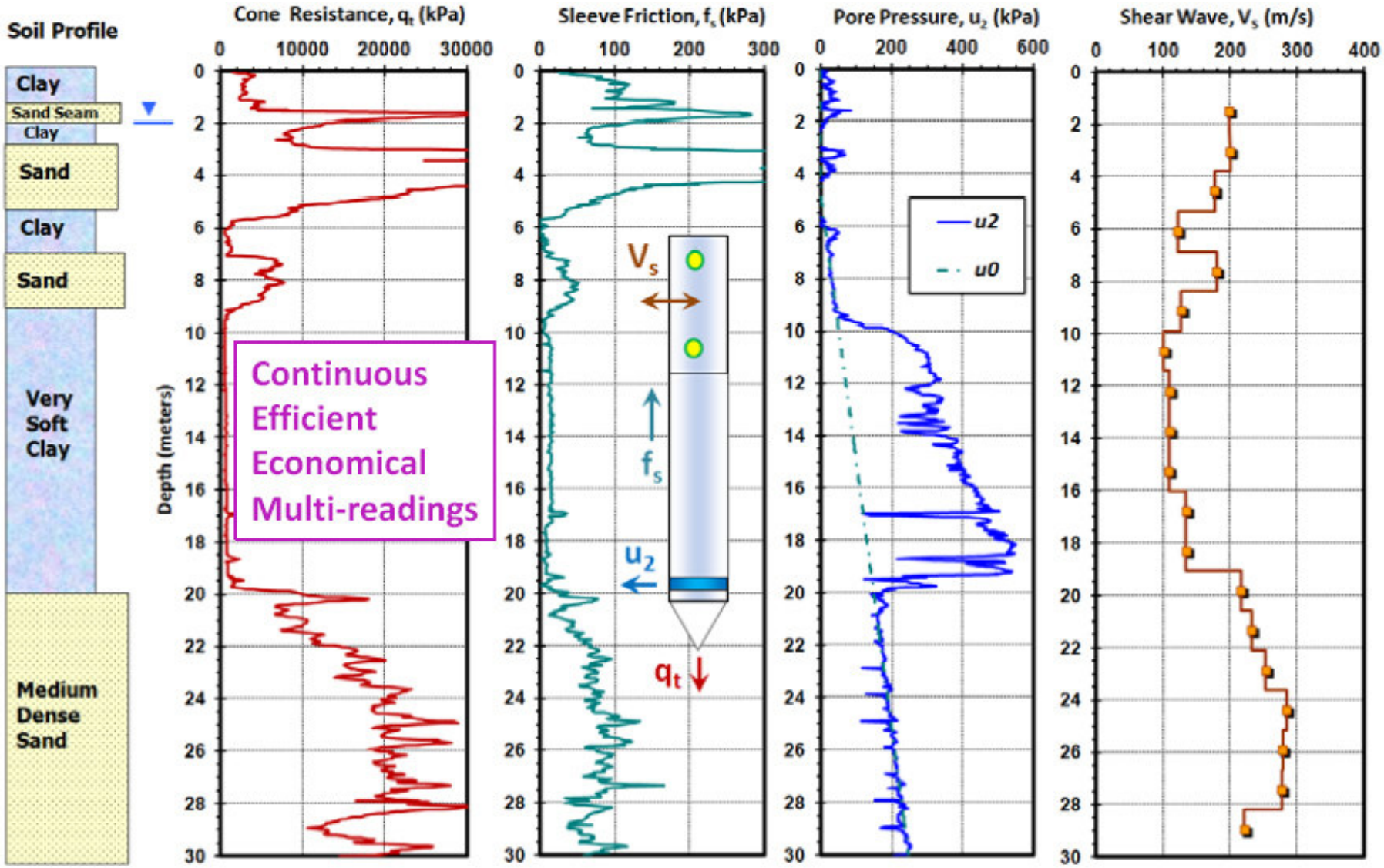


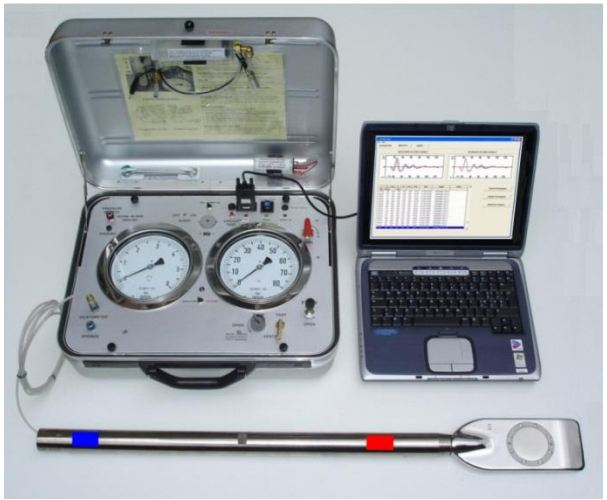
FIG. 4. Representative seismic piezocone test (SCPTu) from New Orleans, LA

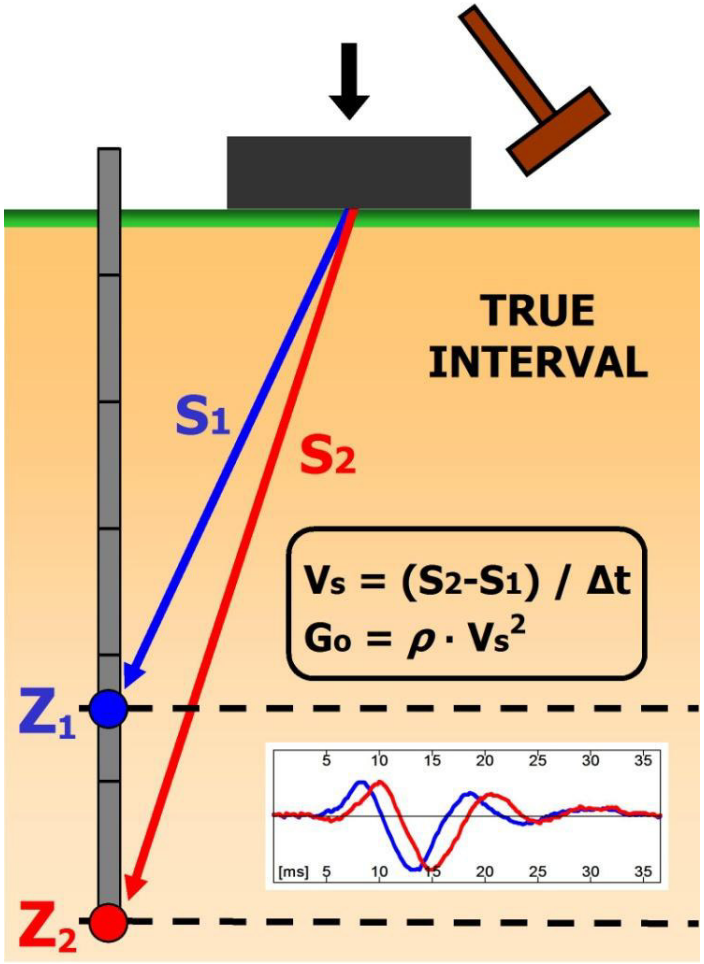
Mayne, P.W. 2014. GeoEducation needs: Updating our introductory course curricula, particularly sections concerning geomaterial characterization. Geocharacterization for Modeling and Sustainability (GSP 234: Proc. GeoCongress 2014, Atlanta), ASCE, Reston, Virginia: 3911-3919.

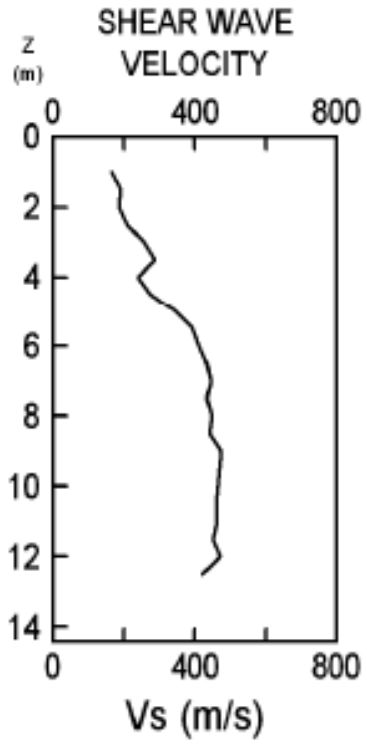
SEISMIC DILATOMETER (SDMT)

O “dilatômetro sísmico” é uma combinação do dilatômetro de Marchetti (DMT) e um módulo sísmico localizado acima da lâmina

Os ensaios DMT e sísmico são independentes e são executados simultaneamente na mesma sondagem







www.marchetti-dmt.it

SEISMIC DILATOMETER (SDMT)

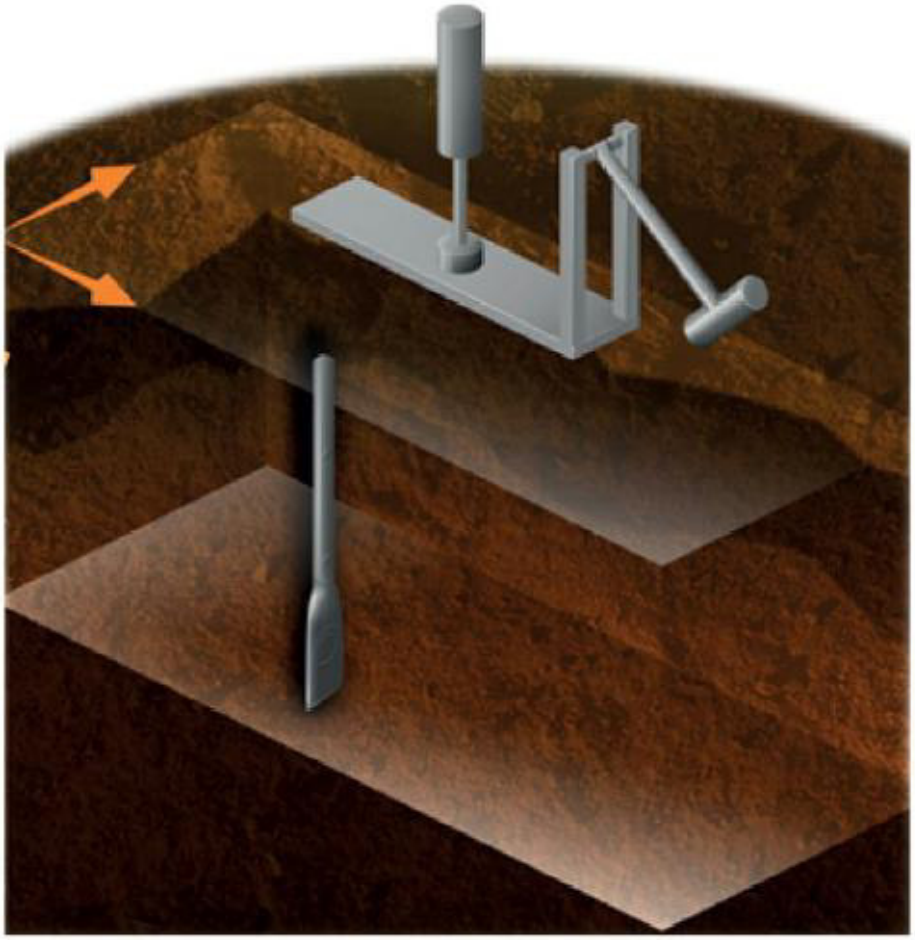
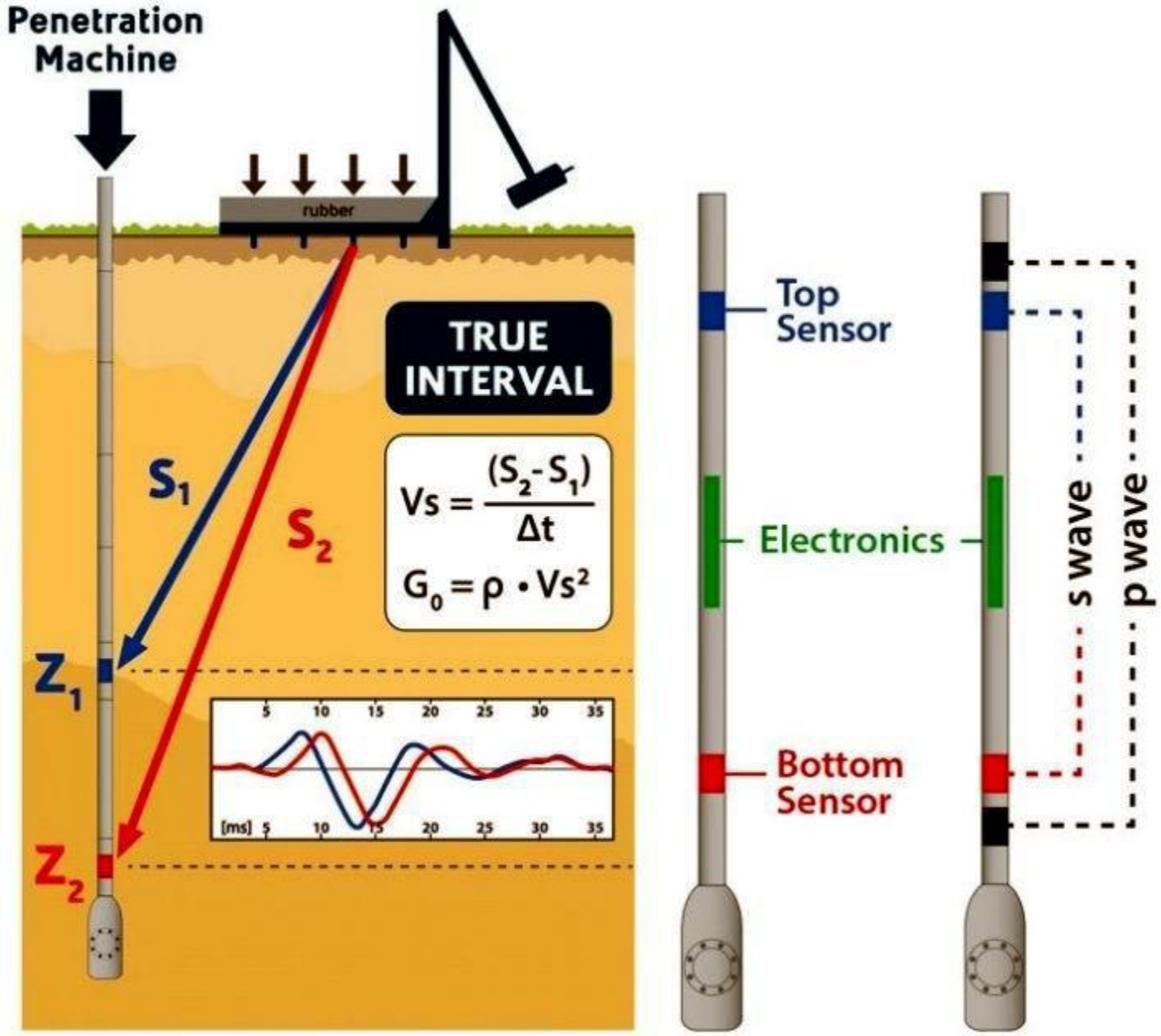
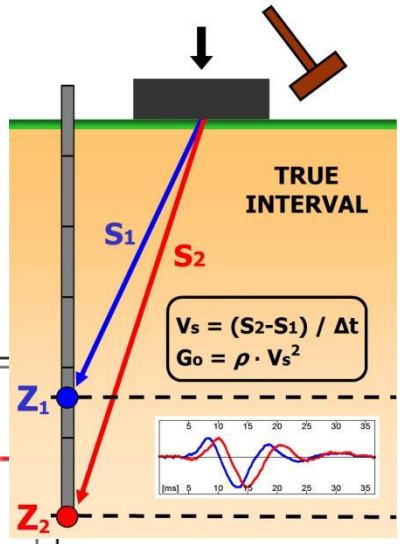


FIG. 6.7 Indicação da orientação da posição dos geofones com a fonte sísmica

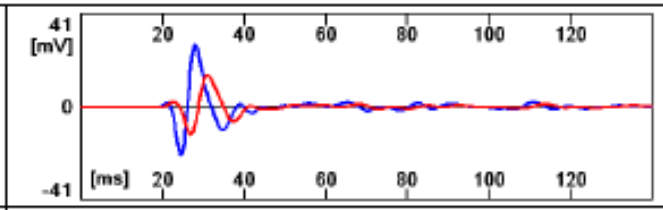
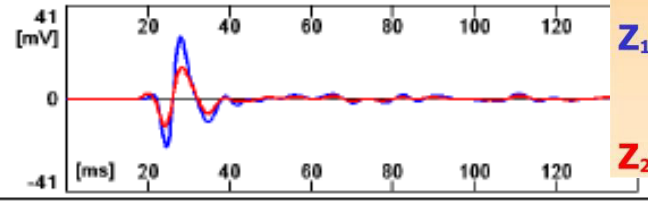
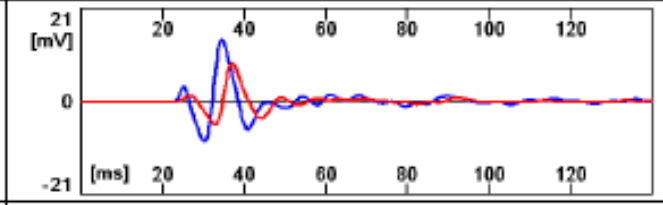
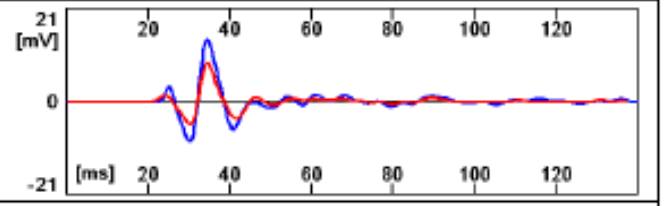
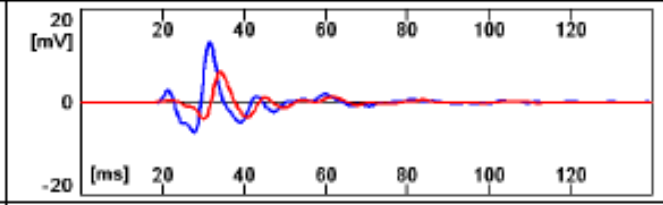
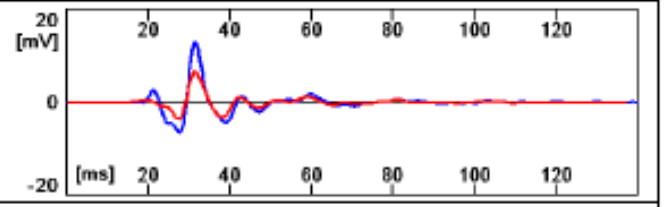
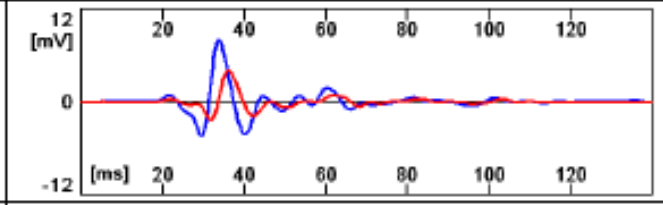
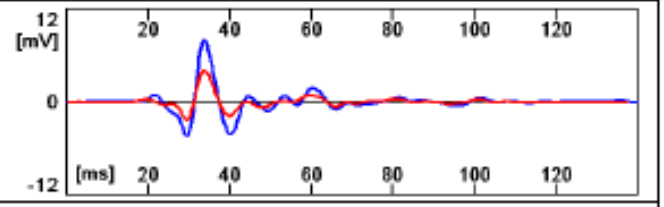
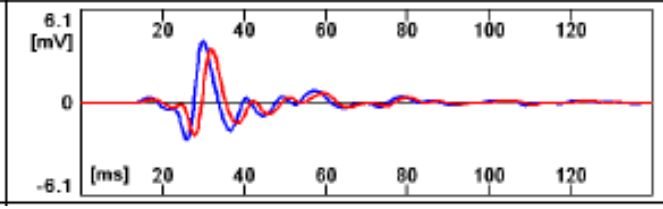
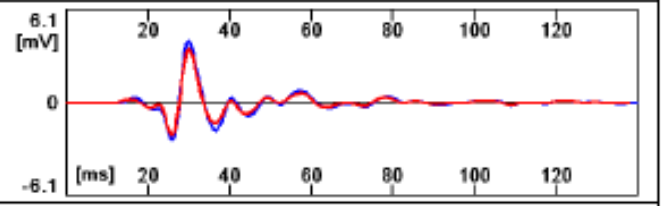
SEISMIC DILATOMETER (SDMT)



SDMT ↔ ENSAIO DOWNHOLE



SDMT - 01 - Vs

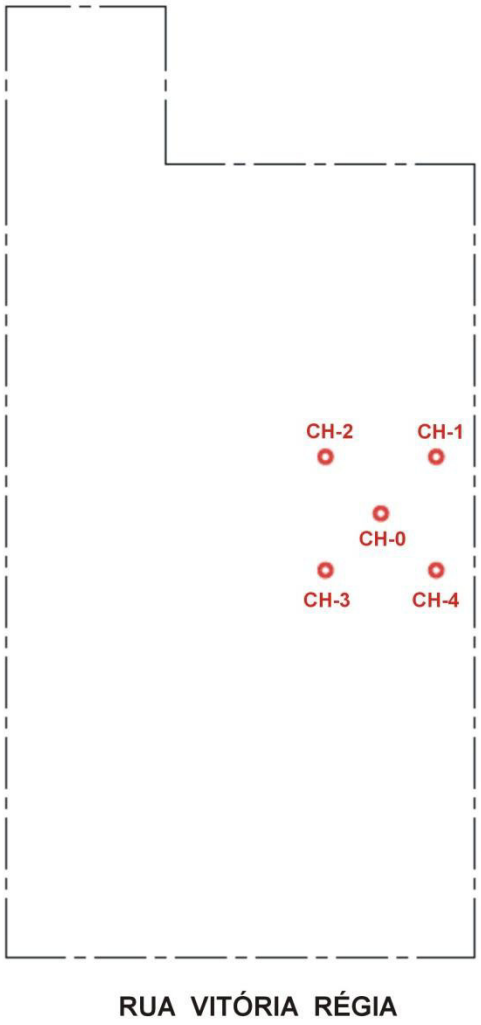
	RECORDED	RE-PHASED
Z = 1.00 m Ds = 0.44 m Dt = 2.72 ms Vs = 163 m/s		
Z = 1.50 m Ds = 0.47 m Dt = 2.53 ms Vs = 188 m/s		
Z = 2.00 m Ds = 0.48 m Dt = 2.63 ms Vs = 185 m/s		
Z = 2.50 m Ds = 0.49 m Dt = 2.33 ms Vs = 211 m/s		
Z = 3.00 m Ds = 0.49 m Dt = 1.94 ms Vs = 254 m/s		

Estudo de caso: Ensaio *crosshole* (IPT) e SDMT-Seismic Dilatometer (Damasco Penna)

Local: Residencial Carmel
R. Vitória Régia nº 1113, Santo André-SP

♦ Foram realizadas medidas da velocidade da onda de cisalhamento em 4 direções ortogonais entre si, em furos de 20 m de profundidade

♦ Os resultados dos ensaios *crosshole* foram também utilizados para comparação com os dados obtidos em ensaios SDMT realizado pela empresa Damasco Penna



2013
R. Vitória Régia

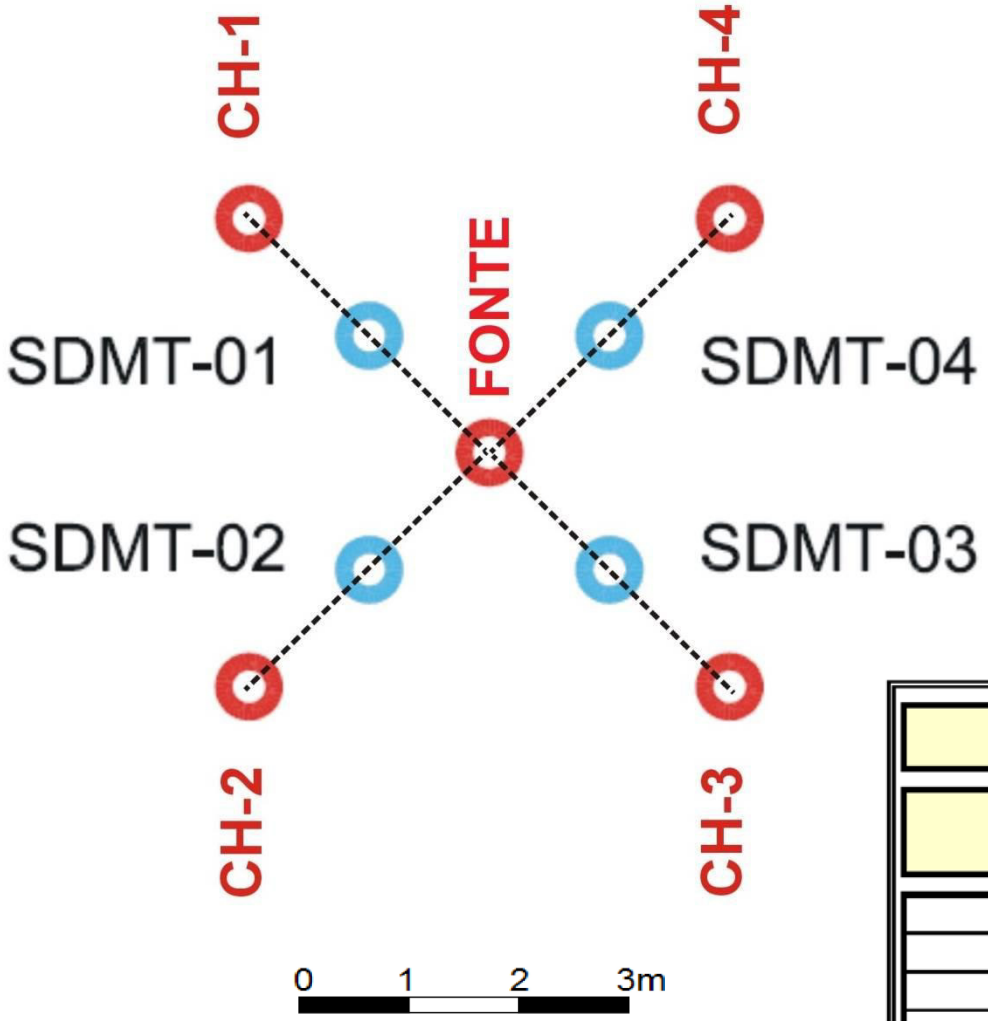
Equipamento DMT”
(Dilatômetro de Marchetti)

Detalhe do equipamento:
unidade de controle e lâmina

Cravação da lâmina no terreno realizada de forma estática (equipamento hidráulico “Geoprobe” ancorado no terreno)

DAMASCO PENNA
engenharia geotécnica

Layout dos ensaios de campo



QUADRO RESUMO DE PERFURAÇÕES	
Sondagens	**Profundidade**
SDMT - 01	16,20
SDMT - 02	15,20
SDMT - 03	14,40
SDMT - 04	17,20
Total perfurado	63,00

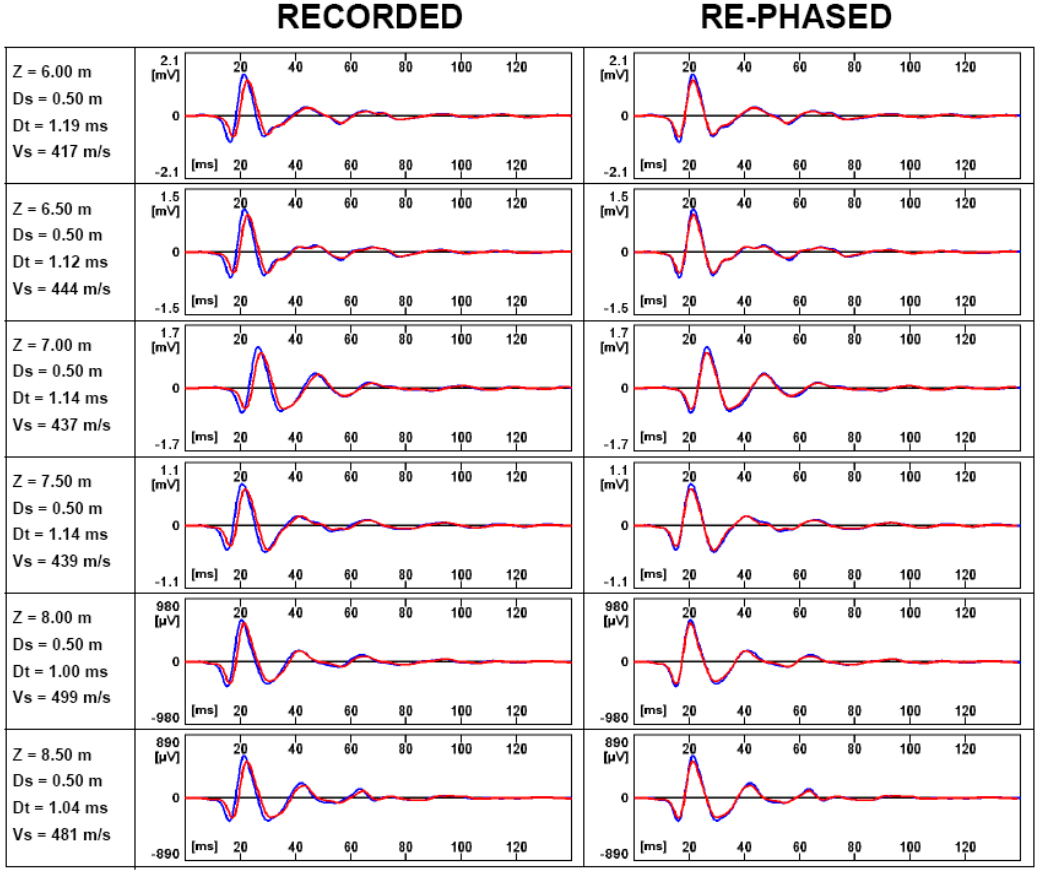
CROSSHOLE : 5 FUROS DE 20m

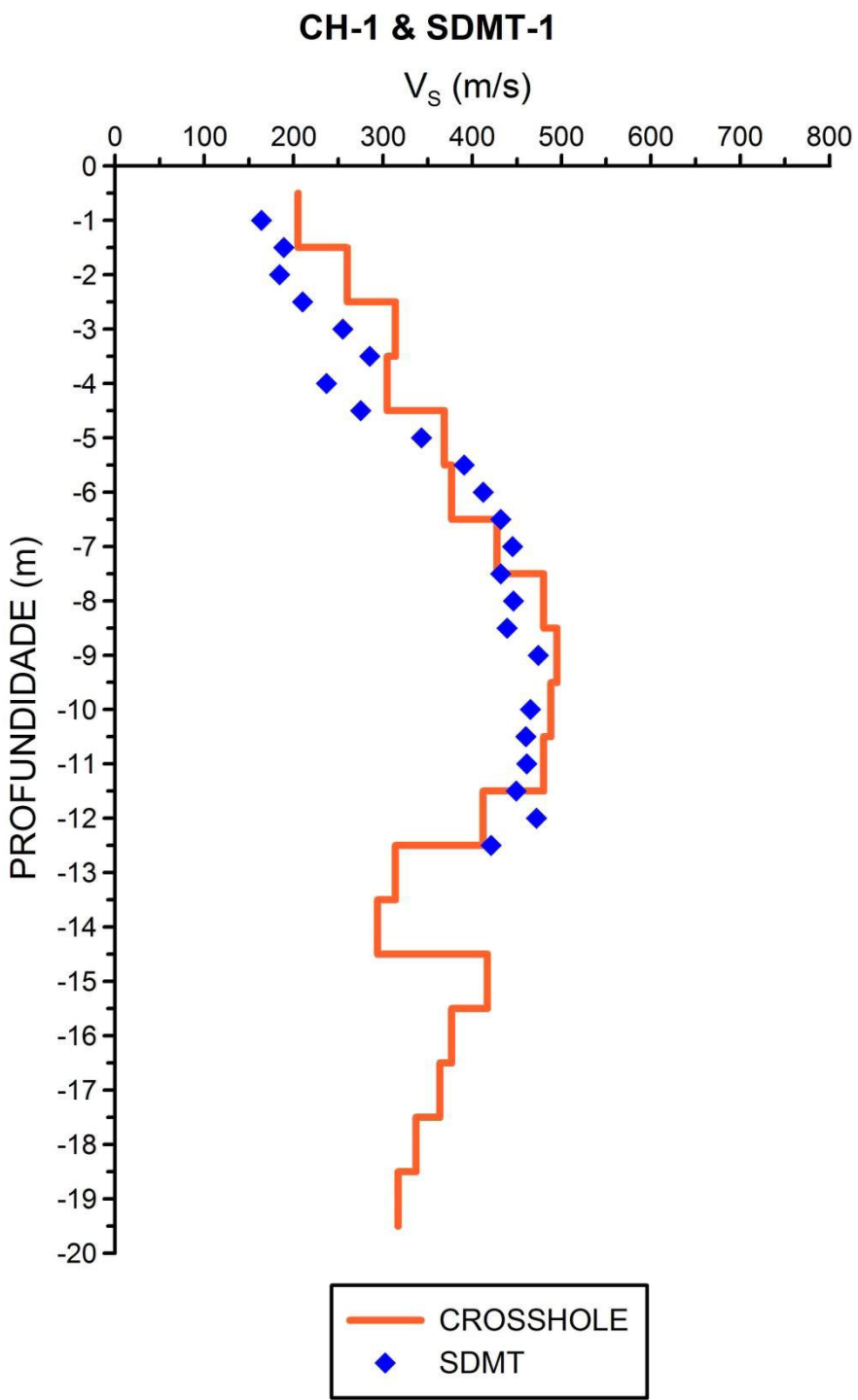
SDMT - 02 - Tabular data: Vs, Go, Vs Repeatability

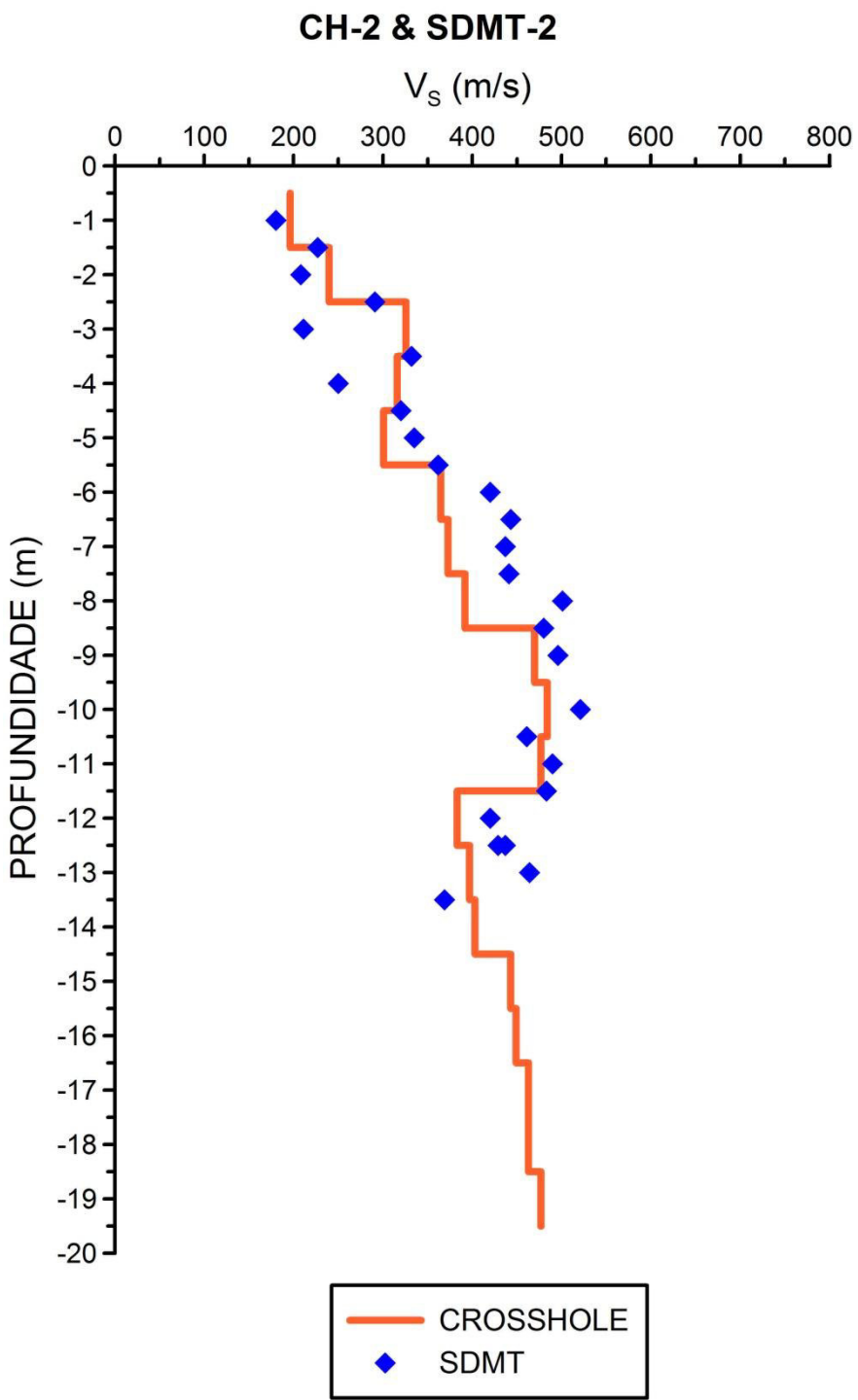
Each Vs value in the 'Vs Repeatability' column corresponds to a distinct energization.

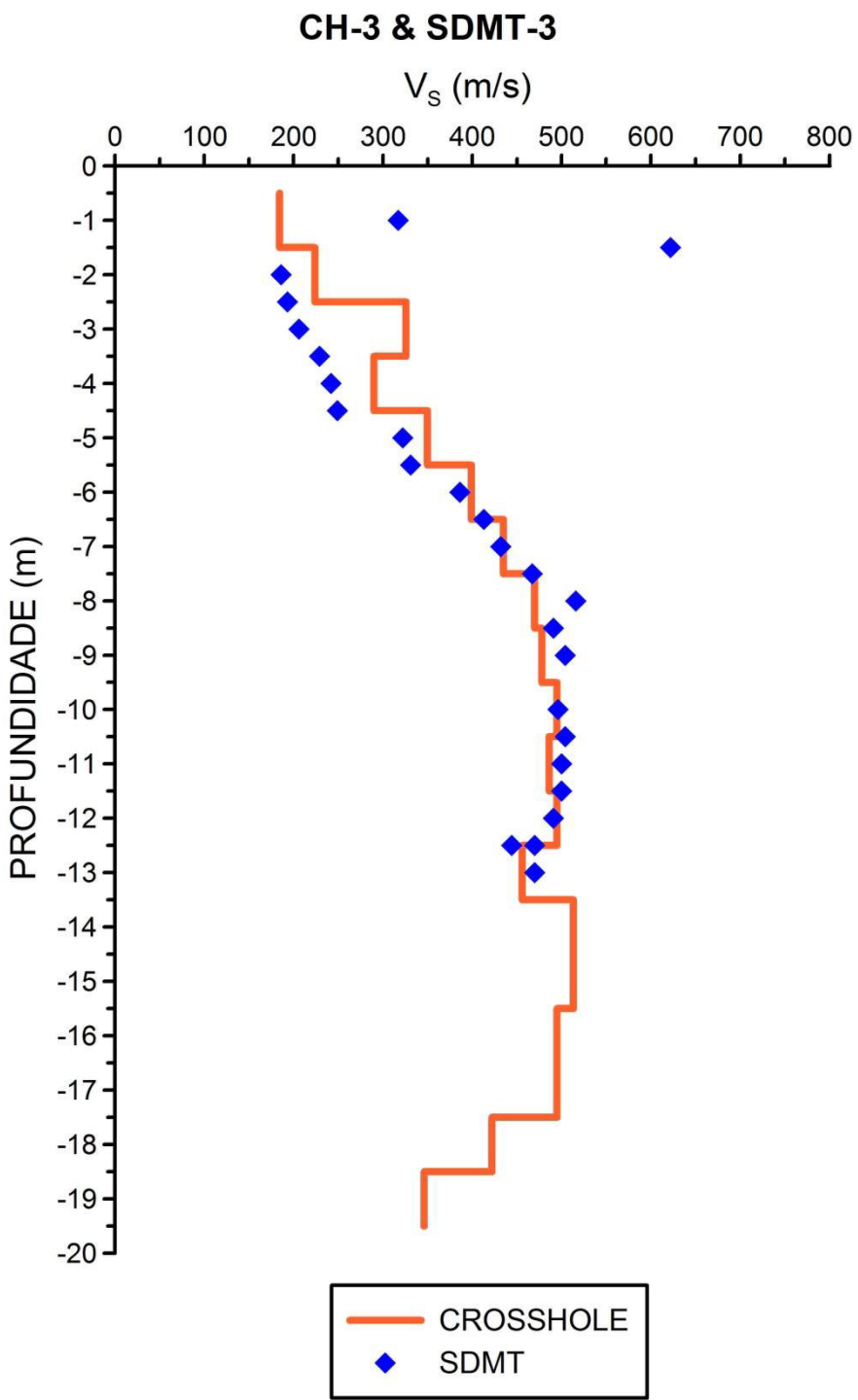
Z	Vs	Go	Rho	Vs Repeatability	Var Coeff.
[m]	[m/s]	[MPa]	[kg/m^3]	[m/s]	[%]
1.00	180	58.3	1800	178,182,182,177,182	1.24
1.50	227	82.4	1600	227,228,227	0.25
2.00	208	73.5	1700	197,251,196,197,198	10.39
2.50	291	144	1700	289,294,294,288	0.96
3.00	211	80.1	1800	211,211,211	0.00
3.50	332	198	1800	329,334,334	0.72
4.00	250	106	1700	249,249,251	0.40
4.50	320	184	1800	318,321,322	0.54
5.00	335	202	1800	336,335,334	0.24
5.50	362	249	1900	362,361,363	0.23
6.00	420	362	2050	417,420,423	0.58
6.50	443	402	2050	444,441,445	0.39
7.00	437	391	2050	437,438,435	0.30
7.50	441	374	1925	439,439,445	0.64
8.00	501	515	2050	499,505,500	0.53
8.50	480	392	1700	481,480,480	0.12
9.00	496	443	1800	492,496,499	0.58
9.50	521	489	1800	524,521,519	0.40
10.00	461	436	2050	463,460,459	0.38
10.50	490	450	1875	485,493,492	0.73
11.00	483	455	1950	476,488,484	1.04
11.50	420	340	1925	421,411,428	1.66
12.00	429	331	1800	431,425,431	0.66
12.50	437	334	1750	435,443,433	0.99
13.00	464	388	1800	468,468,455	1.32
13.50	369	225	1650	369	0.00

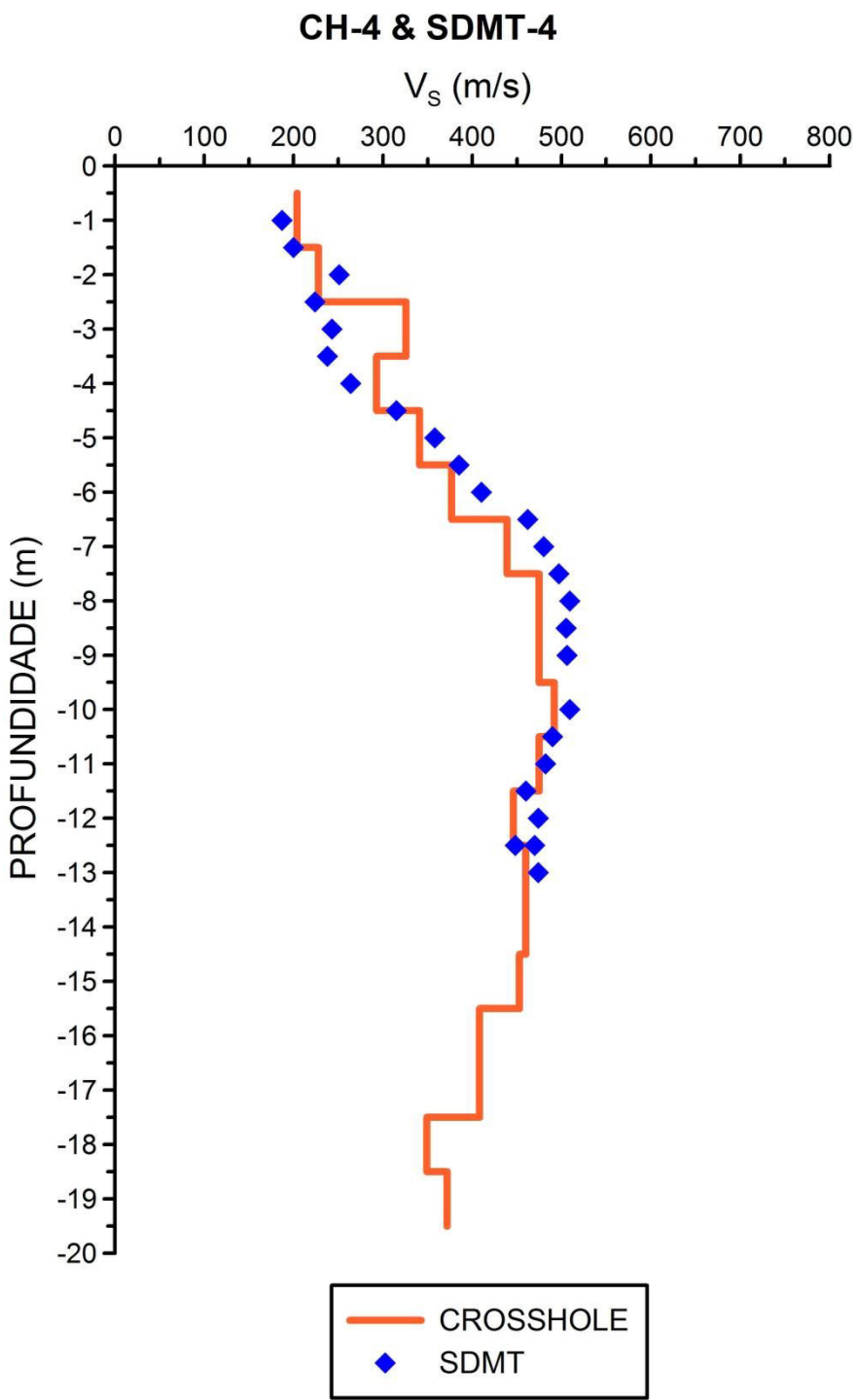
SDMT - 02 - Vs

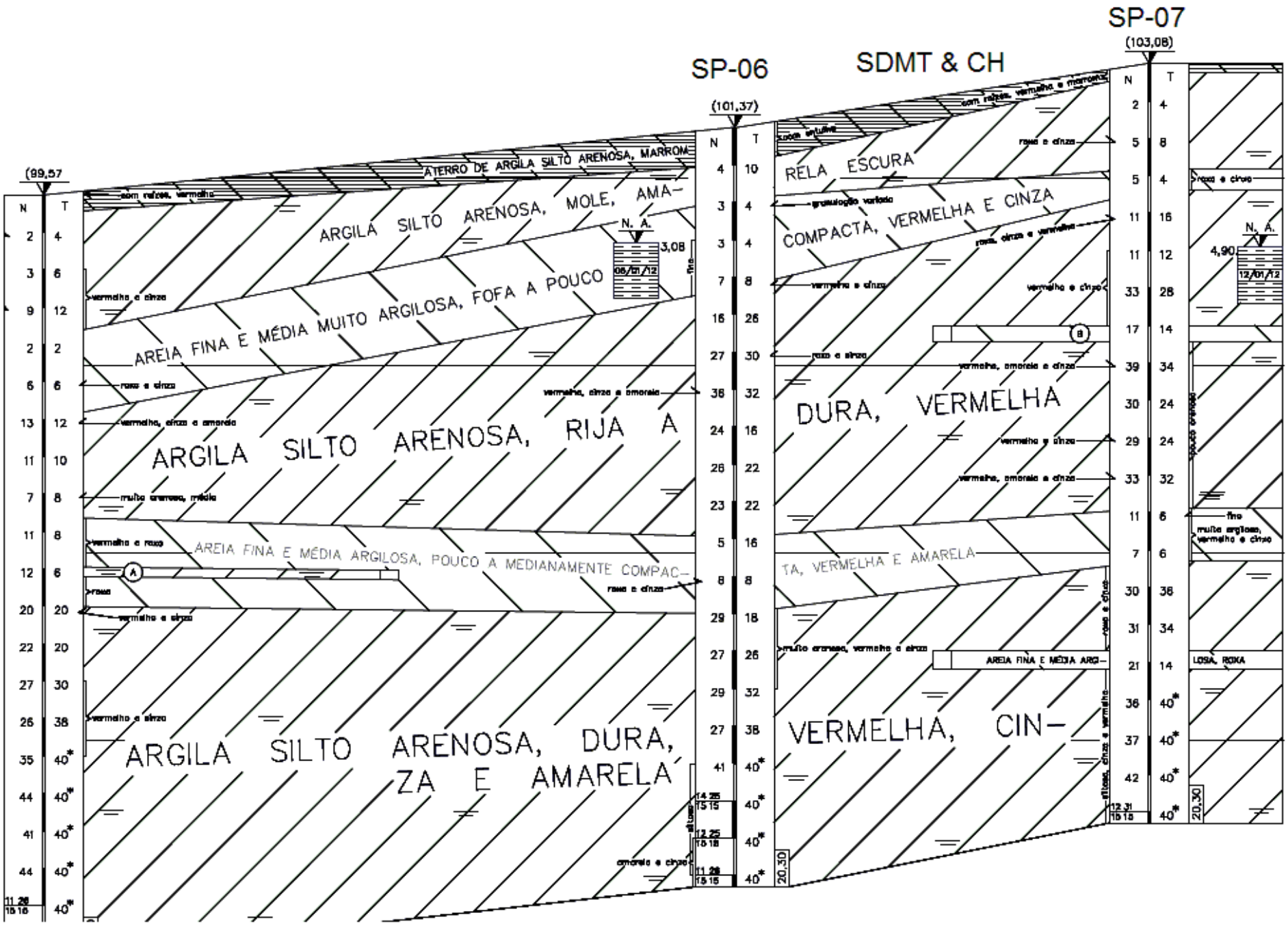


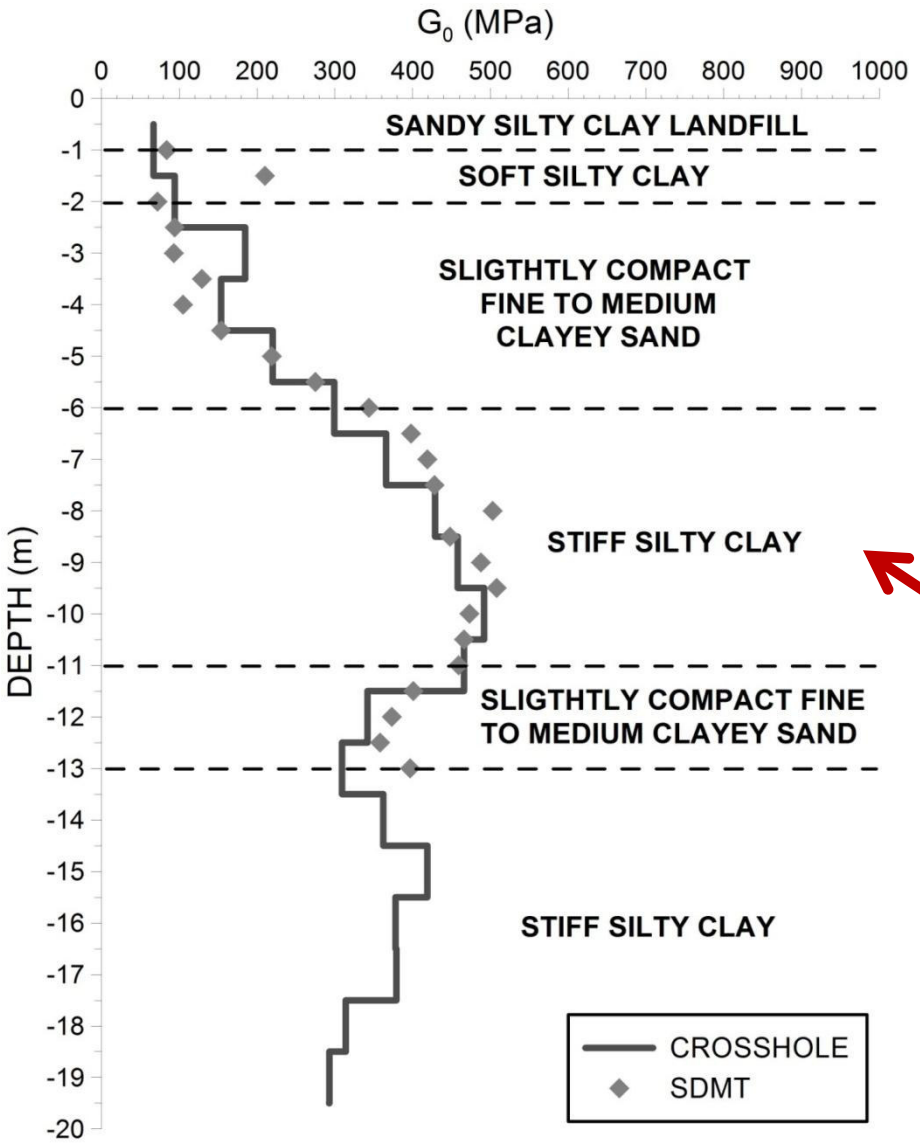

CH-1 & SDMT-1
V_S (m/s)
0
100
200
300
400
500
600
700
800
PROFUNDIDADE (m)
0
-1
-2
-3
-4
-5
-6
-7
-8
-9
-10
-11
-12
-13
-14
-15
-16
-17
-18
-19
-20
CROSSHOLE
SDMT


CH-2 & SDMT-2
V_S (m/s)
0
100
200
300
400
500
600
700
800
PROFUNDIDADE (m)
0
-1
-2
-3
-4
-5
-6
-7
-8
-9
-10
-11
-12
-13
-14
-15
-16
-17
-18
-19
-20
CROSSHOLE
SDMT


CH-3 & SDMT-3
V_S (m/s)
0
100
200
300
400
500
600
700
800
PROFUNDIDADE (m)
0
-1
-2
-3
-4
-5
-6
-7
-8
-9
-10
-11
-12
-13
-14
-15
-16
-17
-18
-19
-20
CROSSHOLE
SDMT


CH-4 & SDMT-4
V_S (m/s)
0
100
200
300
400
500
600
700
800
PROFUNDIDADE (m)
0
-1
-2
-3
-4
-5
-6
-7
-8
-9
-10
-11
-12
-13
-14
-15
-16
-17
-18
-19
-20
CROSSHOLE
SDMT


SP-07
(103,08)
SP-06
(101,37)
SDMT & CH
(99,57)
N
T
ATERRO DE ARGILA SILTO ARENOSA, MARROM
com raízes, vermelho
ARGILA SILTO ARENOSA, MOLE, AMA-
N. A.
3,08
08/01/12
fino
vermelho e cinza
AREIA FINA E MÉDIA MUITO ARGILOSA, FOFA A POUCO
rosa e cinza
vermelho, cinza e amarelo
ARGILA SILTO ARENOSA, RIJA A
muito arenosa, média
vermelho e roxo
AREIA FINA E MÉDIA ARGILOSA, POUCO A MEDIANAMENTE COMPAC-
A
roxa
ARGILA SILTO ARENOSA, DURA,
ZA E AMARELA
amarelo e cinza
RELA ESCURA
COMPACTA, VERMELHA E CINZA
B
DURA, VERMELHA
TA, VERMELHA E AMARELA
AREIA FINA E MÉDIA ARGI-
VERMELHA, CIN-
4,90
12/01/12
LOSA, ROXA
20,30

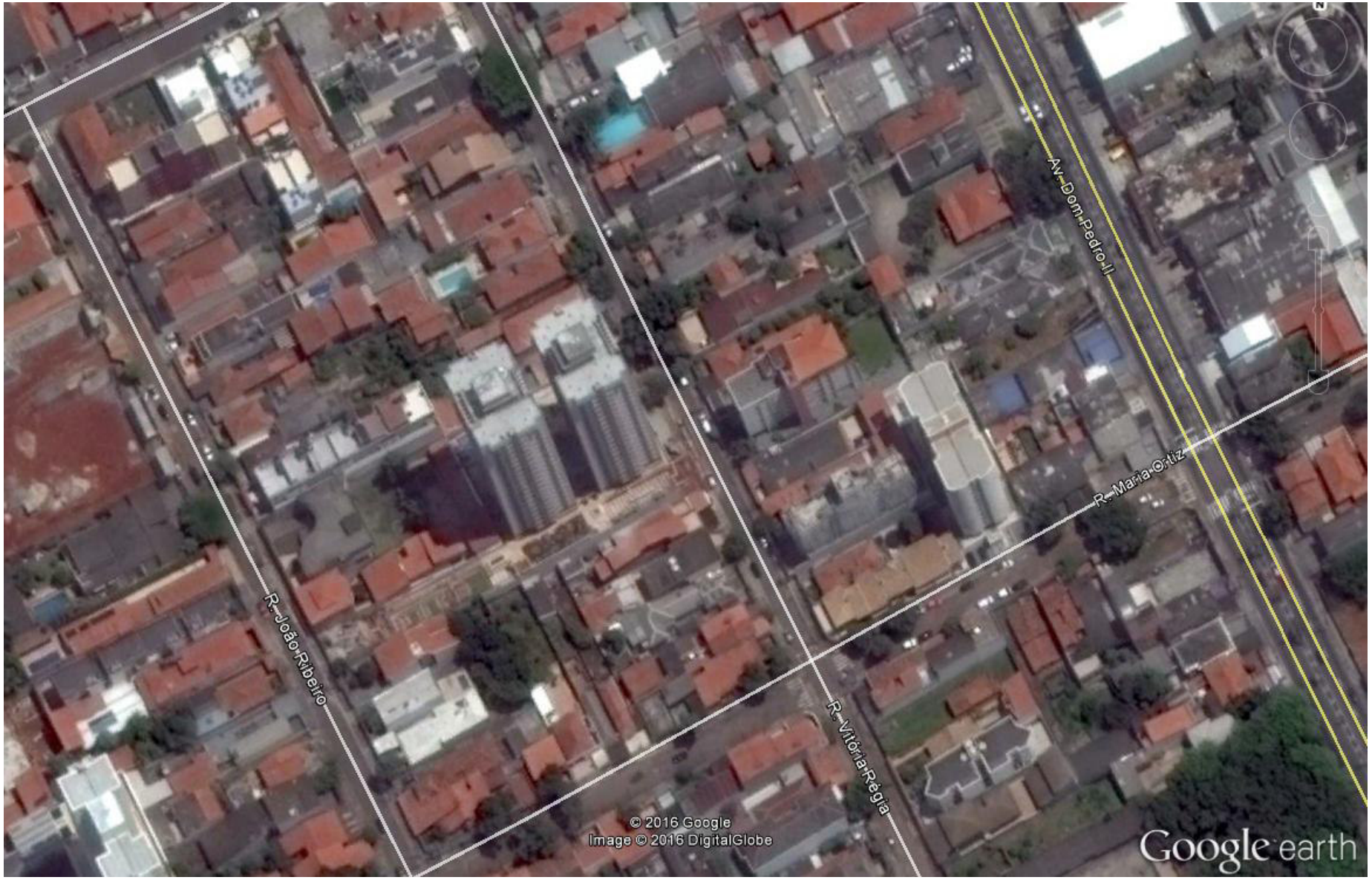


Média dos 4 ensaios *crosshole* e *SDMT*

$$G_0 = \rho \cdot V_S^2$$

As fundações do edifício foram assentadas sobre esta camada de argila rija a dura, com N_{SPT} médio em torno de 30

2016


Av. Dom Pedro II
R. Maria Ortiz
R. João Ribeiro
R. Vitória Régia
© 2016 Google
Image © 2016 DigitalGlobe
Google earth

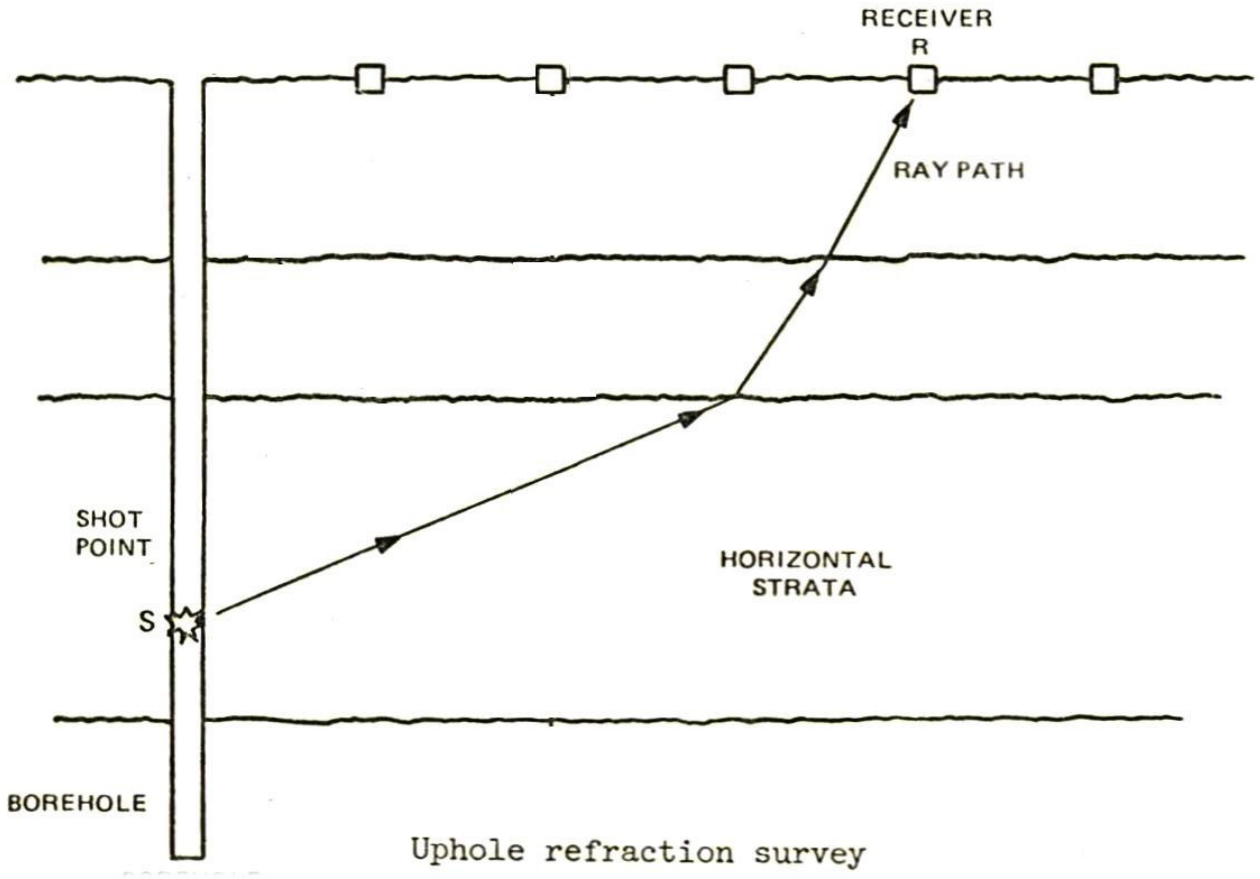
2016

ENSAIOS SÍSMICOS
EM FUROS DE SONDAGENS

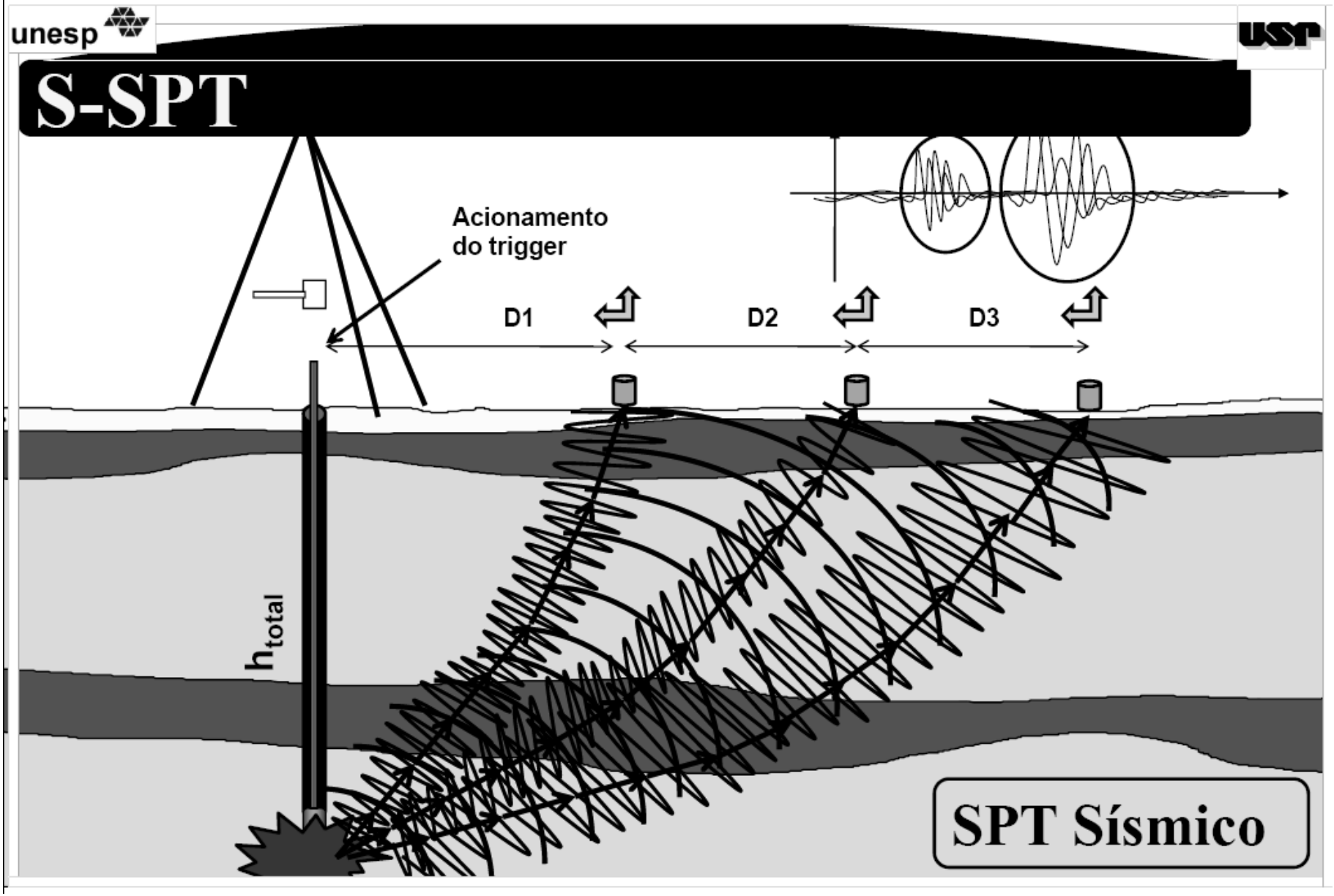
3) *UPHOLE*

ENSAIO *UPHOLE*

Ao contrário do *downhole*, o ensaio *uphole* é realizado com a fonte posicionada no furo e o(s) geofone(s) na superfície do terreno



Uphole refraction survey


unesp
USP
S-SPT
Acionamento
do trigger
D1
D2
D3
h_{total}
SPT Sísmico

Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho"
Programa Interunidades

unesp

Mestrado

Engenharia Civil e Ambiental

RUBENS ANTONIO AMARAL PEDRINI

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA PARA SÍSMICA UP-HOLE EM CONJUNTO COM O ENSAIO SPT

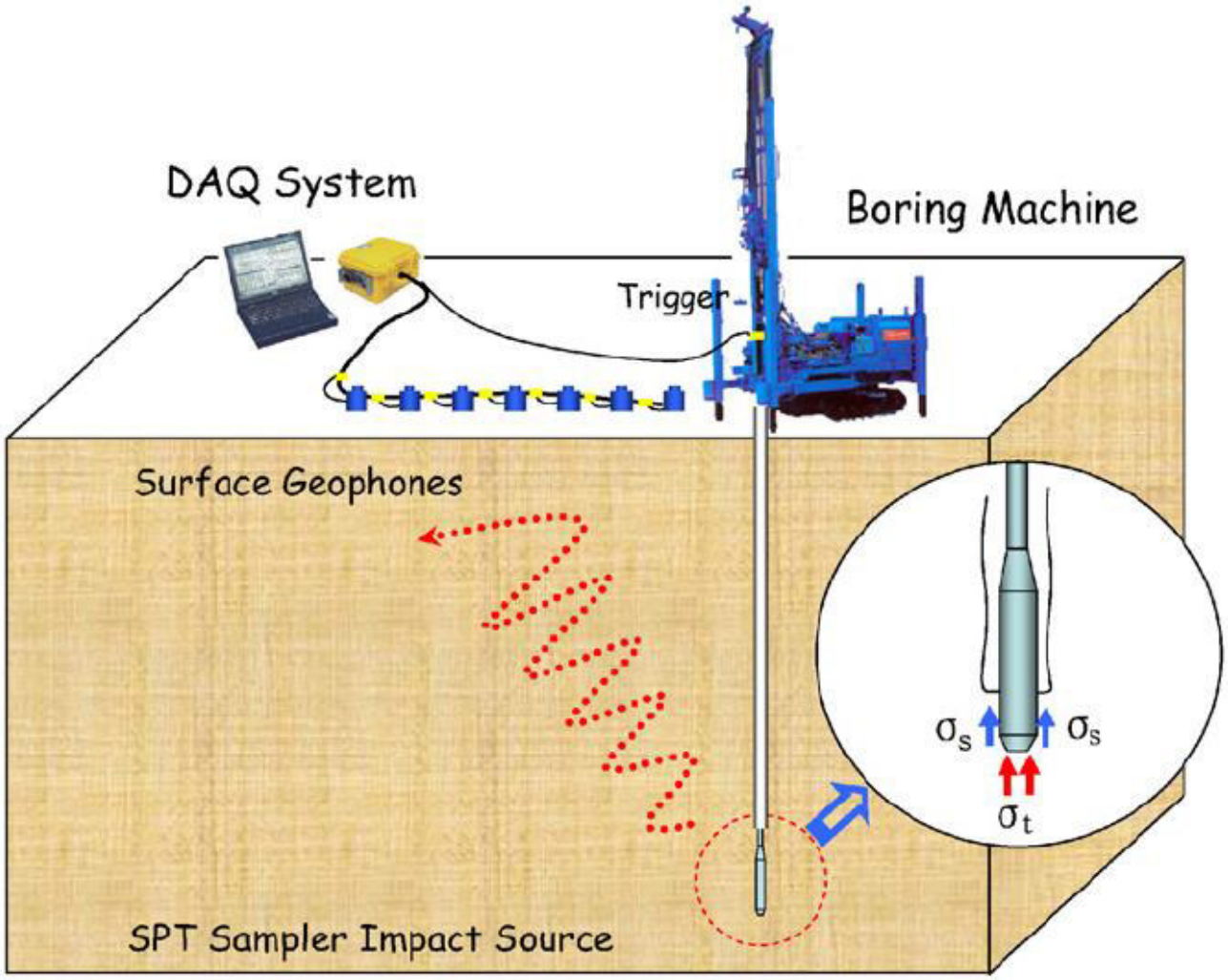
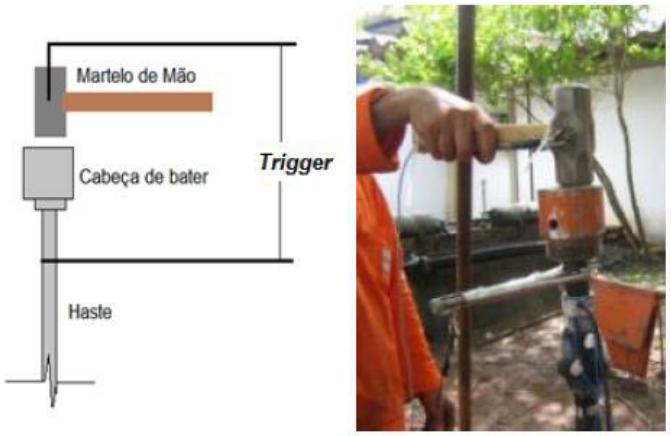


Fig. 1. Schematic diagram of the SPT-uphole method.

Fonte: BANG, E. S. & KIM, D.S. (2007): Evaluation of shear wave velocity profile using SPT based up-hole method Soil Dynamics and Earthquake Engineering 27, p. 741–758

(a) (b) (c)

Figura 34 - Ilustração de equipamento SPT utilizado nos ensaios.



(a) (b)

Figura 39 - Esquema de *trigger* e geração de ondas empregados nos ensaios *S-SPT*

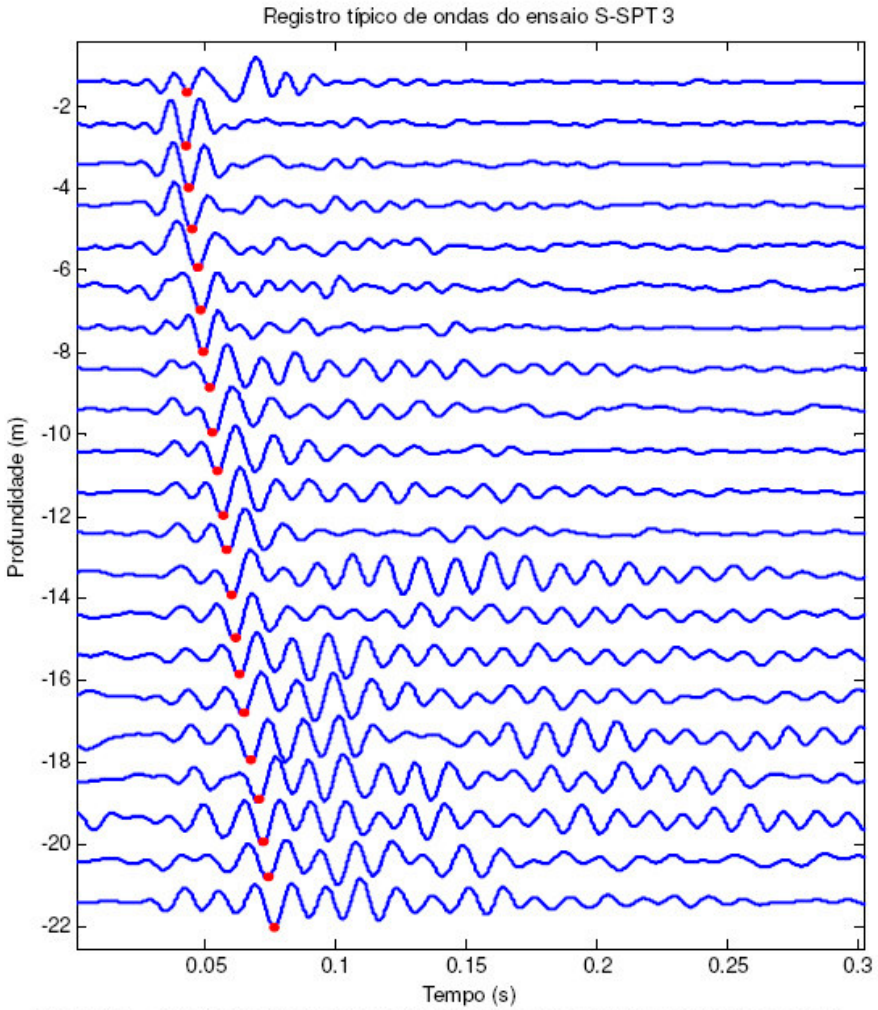


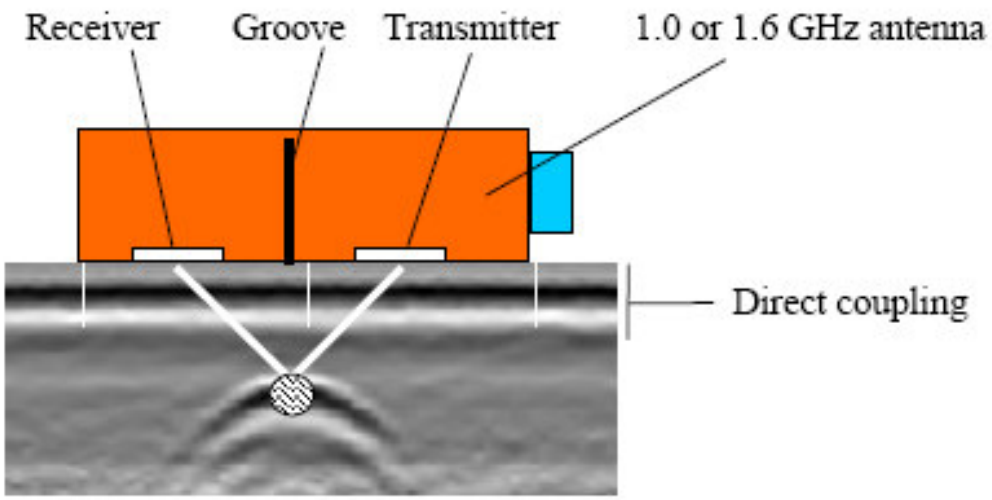
Figura 96 - Registros pelo geofone horizontal a 10 m do furo de sondagem.

Investigação de estruturas de concreto e pavimentos

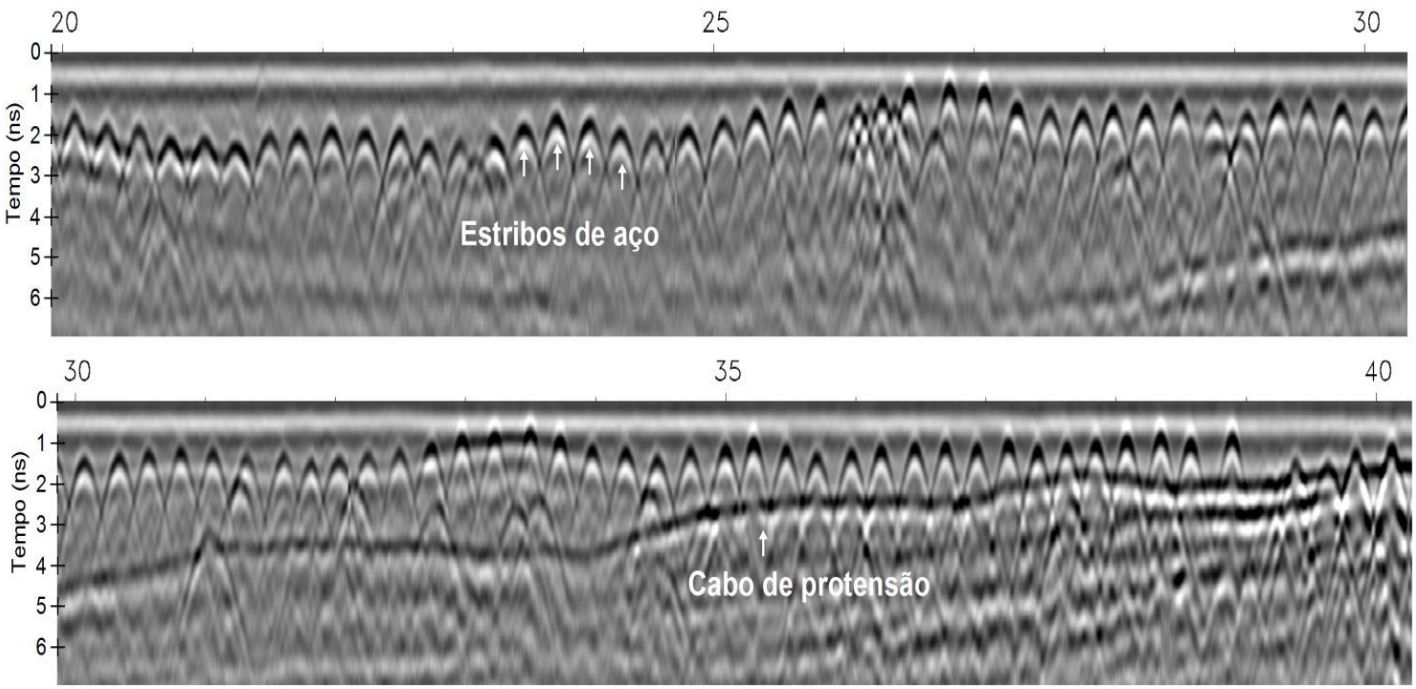
Investigação de estruturas de concreto

Localização de vergalhões

Inspeção em estruturas de concreto: antenas de alta frequência



Inspeção de estruturas de concreto

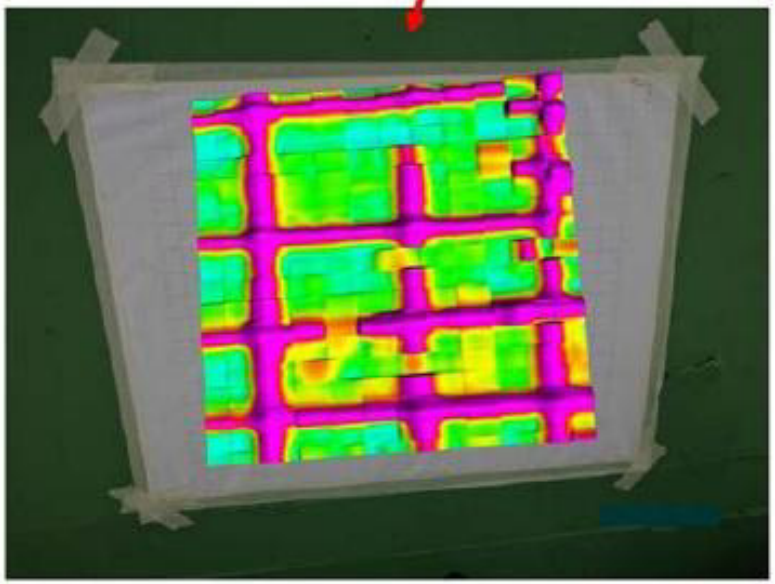


ipt INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS

GPR Aplicado na Localização de Armadura em Estrutura de Concreto

Vicente Luiz Galli[1], Daniel Mariani Guirardi[2], Diego Lapolli Bressan[2]

22 23 24 25 26 27



GPR Aplicado na Localização de Armadura em Estrutura de Concreto

Vicente Luiz Galli[1], Daniel Mariani Guirardi[2], Diego Lapolli Bressan[2]

RESOLUÇÃO

Journal of Applied Geophysics 67 (2009) 367–373

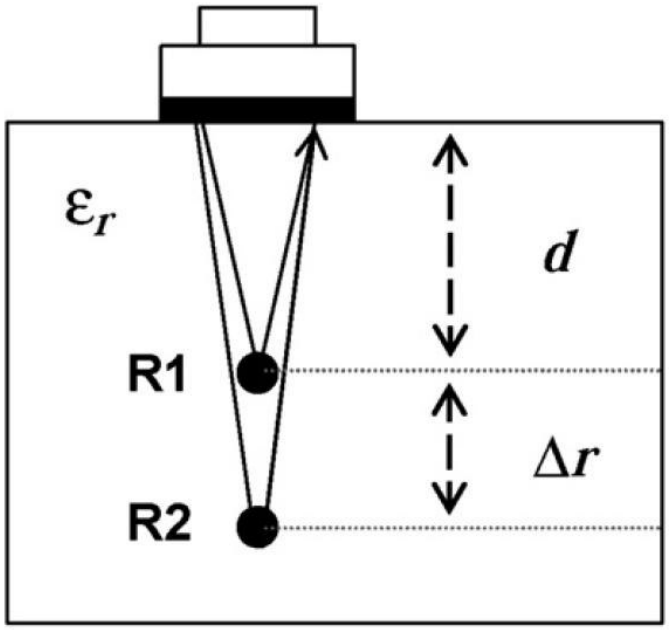
Contents lists available at ScienceDirect

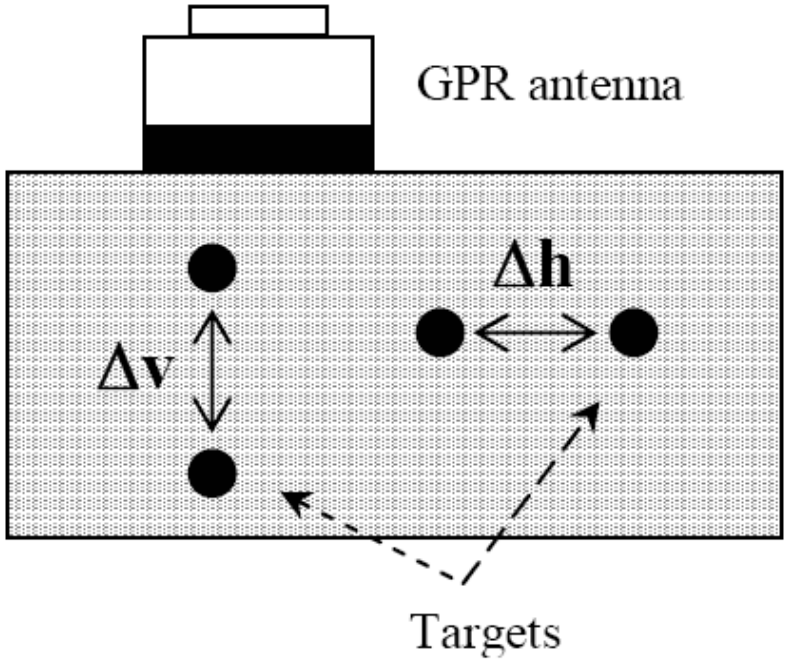
Journal of Applied Geophysics

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jappgeo

Resolution of GPR bowtie antennas: An experimental approach

Fernando I. Rial, Manuel Pereira, Henrique Lorenzo *, Pedro Arias, Alexandre Novo





RESOLUÇÃO

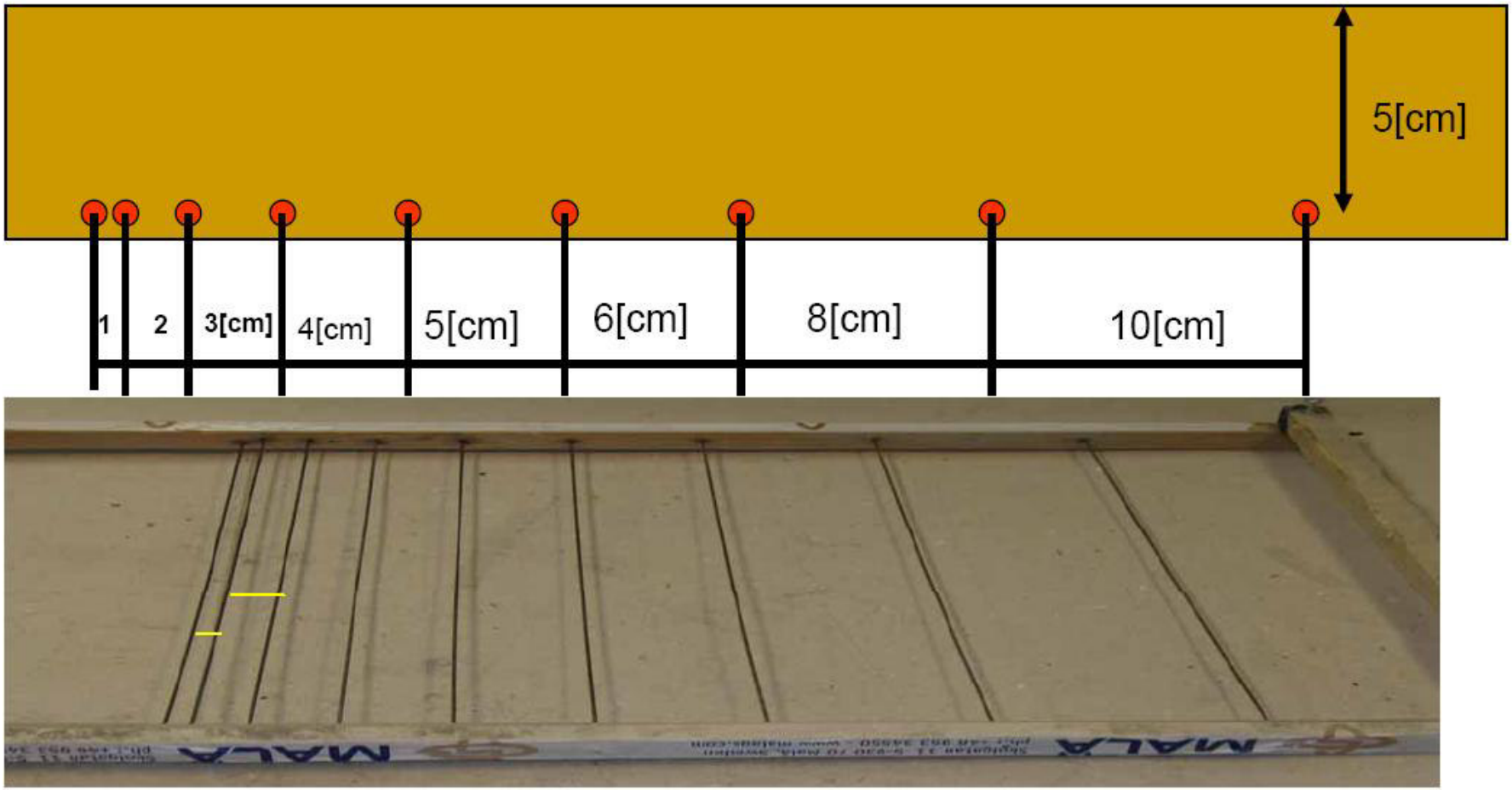


Figure 3. Schematic layout of the test arrangement (top) and a photo of the buried specimen (bottom) without sand.

Malä Geoscience. Centre frequency and lateral resolution, a practical example. 3p. (http://www.malags.com/Case-Studies/).

RESOLUÇÃO

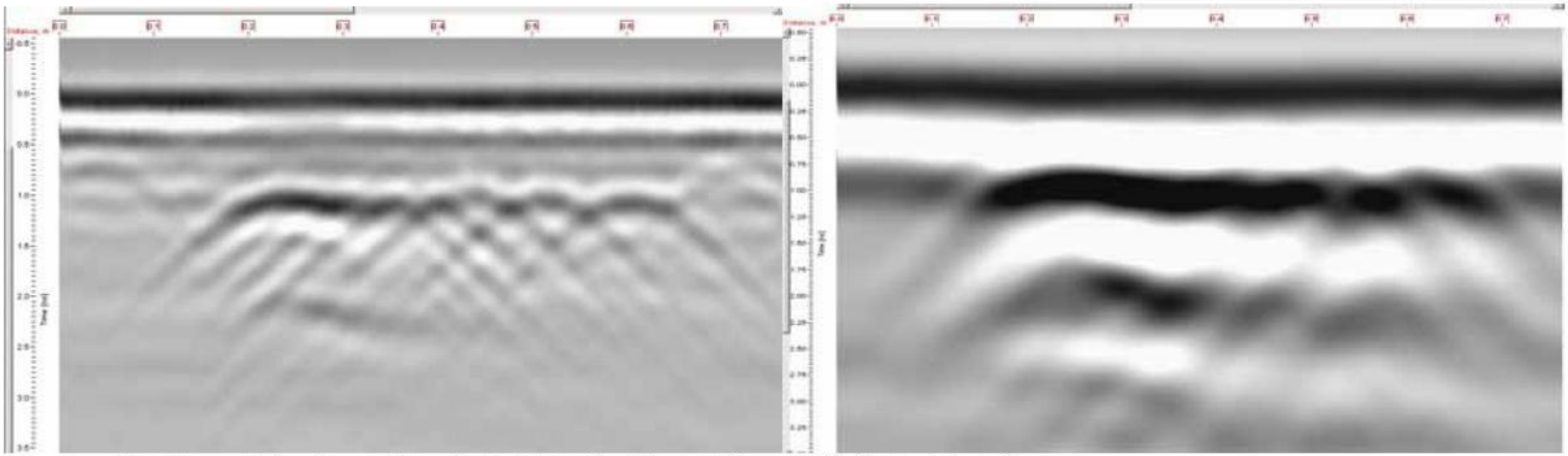


Figure 3. Raw data from the 2.3 GHz (left) and the 1.2 GHz (right).

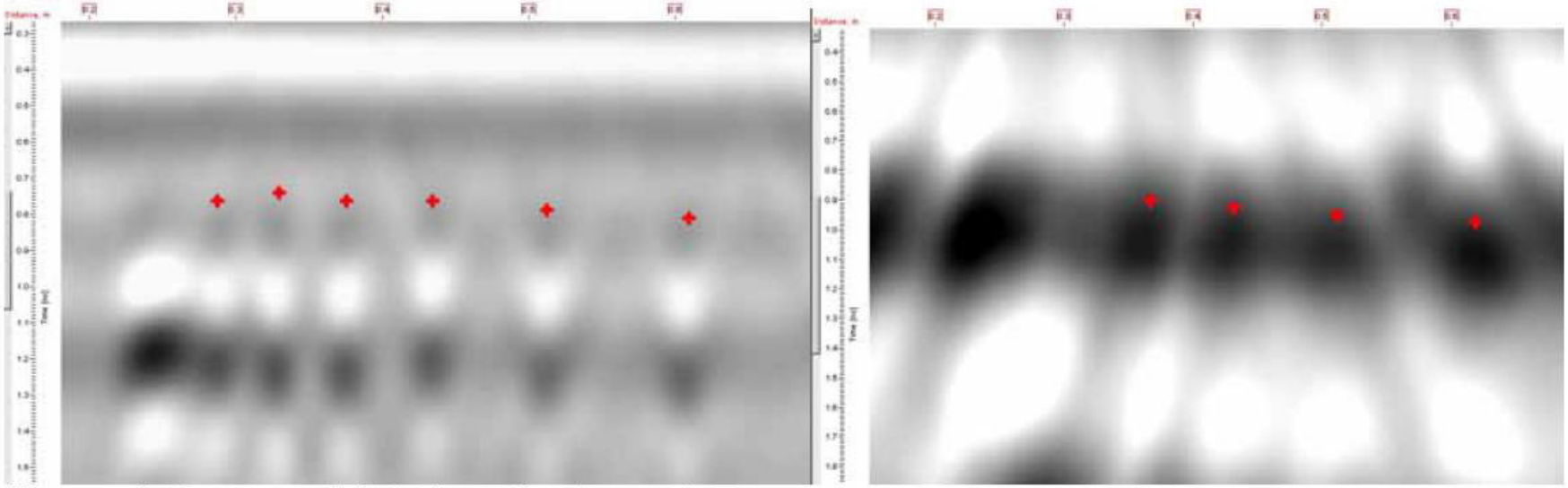


Figure 4. Processed data from the two antennas.

Malä Geoscience. Centre frequency and lateral resolution, a practical example. 3p. (http://www.malags.com/Case-Studies/).

Uso do Radar no Desenvolvimento de Técnicas de Prospecção de Armadura em Estruturas de Concreto

Vicente Luiz Galli[1], Daniel Mariani Guirardi[2]

Este texto foi preparado para a apresentação no VI Simpósio Brasileiro de Geofísica, Porto Alegre, 14 a 16 de outubro de 2014.

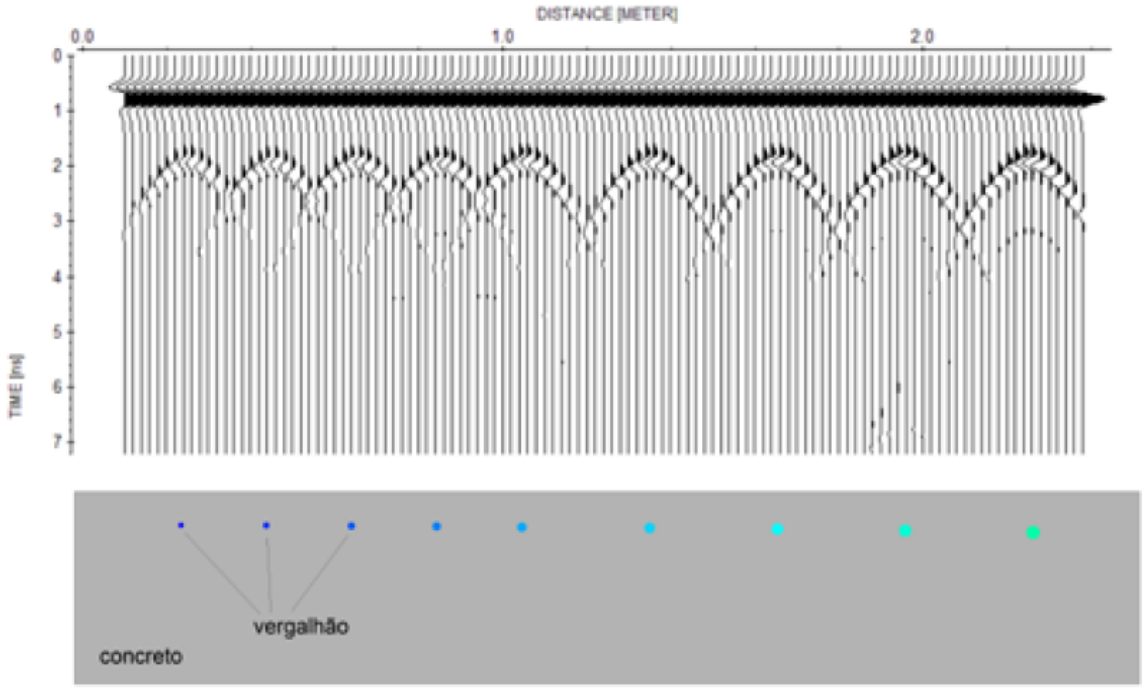


Figura 3. Seção de radar a ser observada na superfície de um bloco de concreto com nove vergalhões de diâmetros 6.3, 8, 10, 10.5, 16, 20, 25, 32 e 40 mm situados numa mesma profundidade.

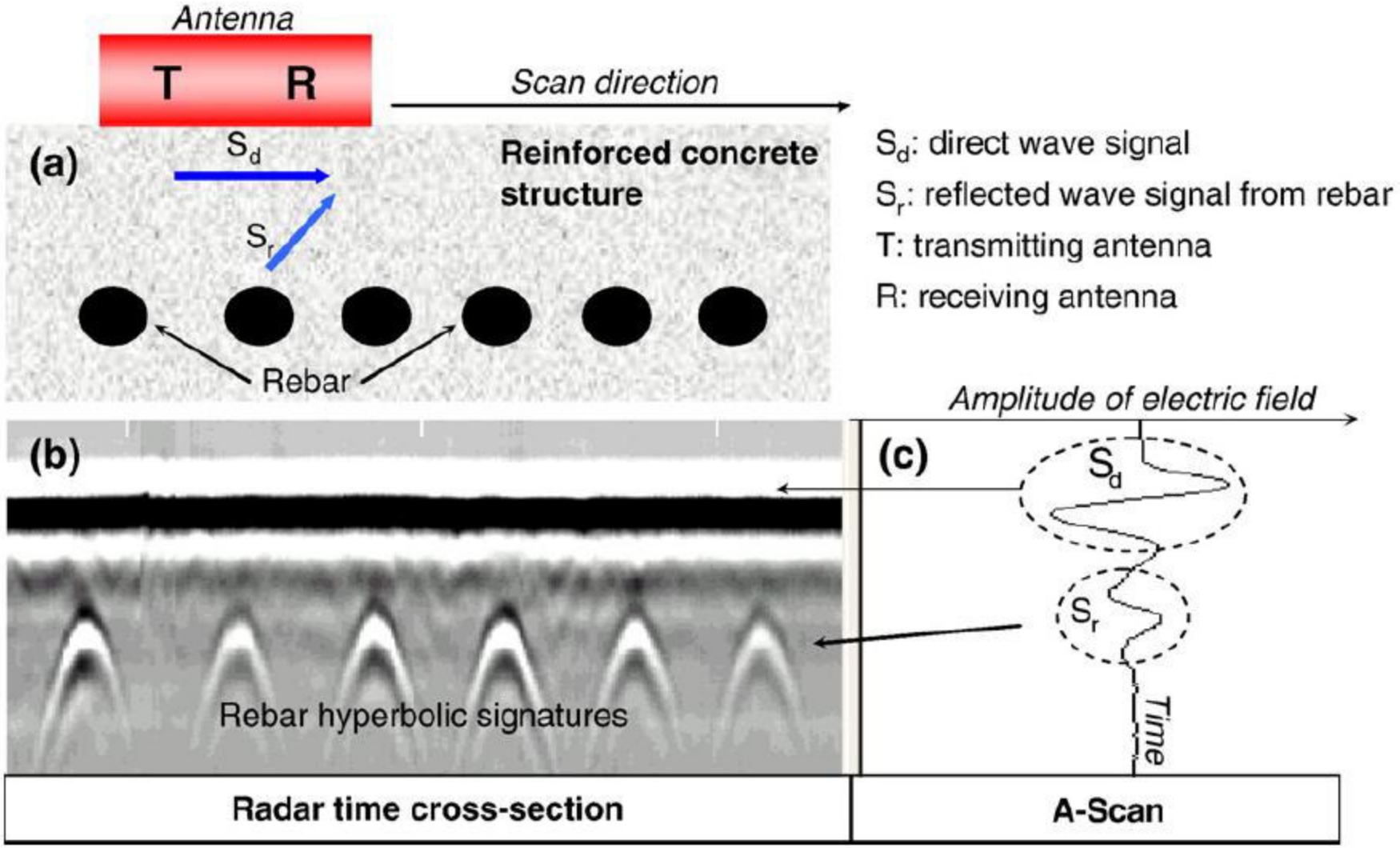

Antenna
T
R
Scan direction
(a)
S_d
Reinforced concrete structure
S_r
Rebar
S_d: direct wave signal
S_r: reflected wave signal from rebar
T: transmitting antenna
R: receiving antenna
Amplitude of electric field
(b)
(c)
S_d
S_r
Time
Rebar hyperbolic signatures
Radar time cross-section
A-Scan

Foto 1. Vergalhões de diferentes bitolas que foram enterrados em areia.

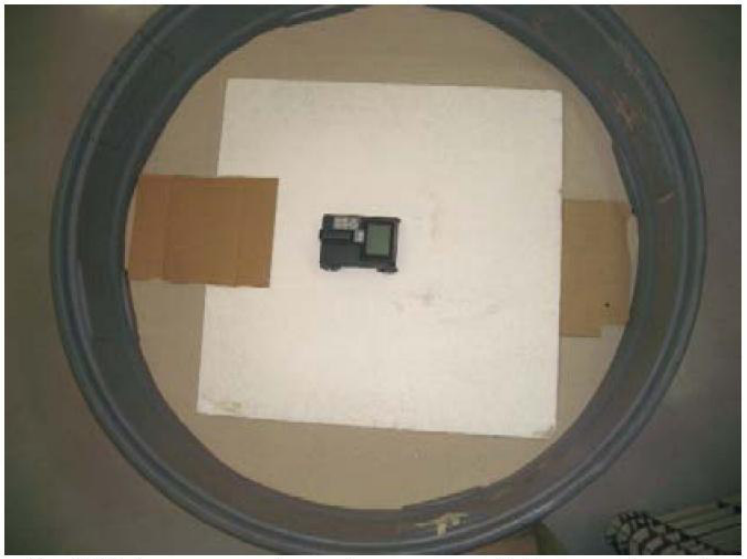


Foto 2. GPR passando sobre vergalhões enterrados na areia.

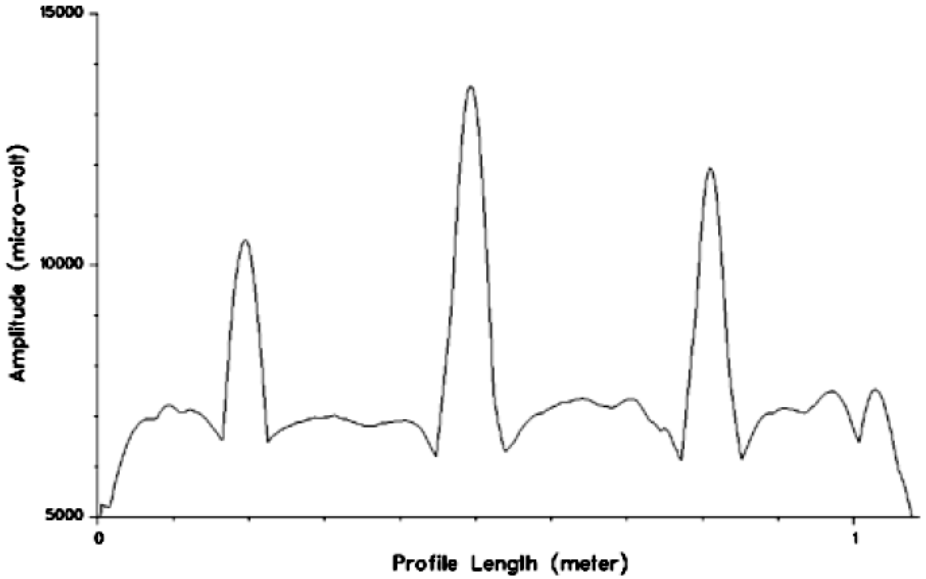
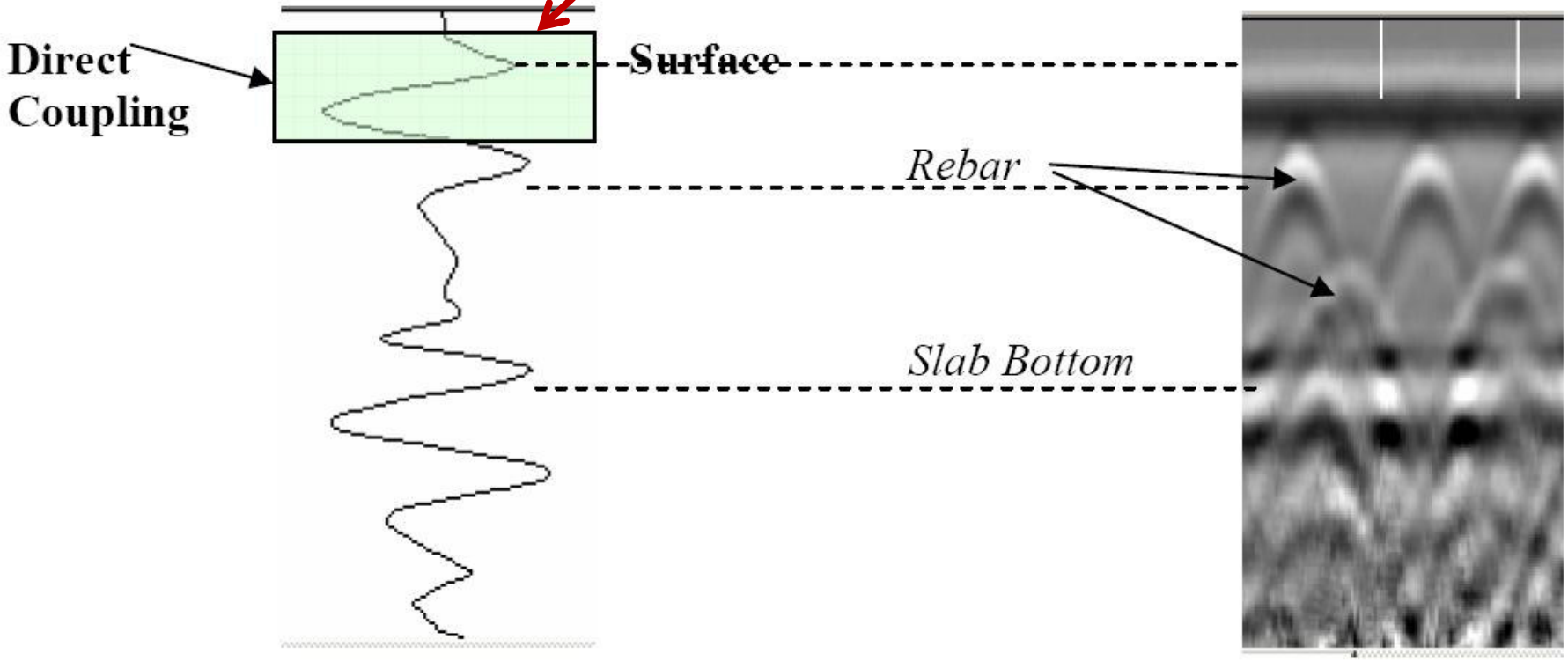


Figura 8. Gráfico da amplitude do sinal de radar da seção obtida com antena de 1 GHz sobre três dos vergalhões de ferro enterrados em areia a uma mesma profundidade. Os picos de amplitude coincidem com a localização dos vergalhões e quanto maior o diâmetro do vergalhão maior a amplitude.

Foto 3. Os três vergalhões que geraram o perfil da Figura 8.

ONDA DIRETA



Available online at www.sciencedirect.com
ScienceDirect
Cement and Concrete Research 37 (2007) 1164–1171
Cement and Concrete Research

Determination of volumetric water content of concrete using ground-penetrating radar

G. Klysz*, J.-P. Balayssac

Laboratoire Matériaux et Durabilité des Construction, INSA-UPS Complexe Scientifique de Rangueil 31077 Toulouse Cedex 04, France

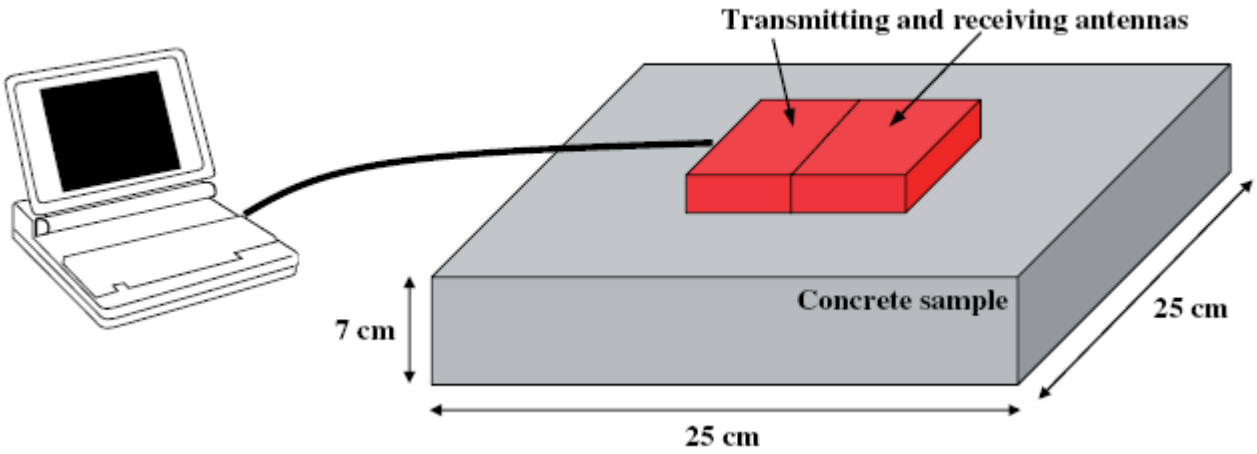
Received 25 July 2006; accepted 20 April 2007

ACI MATERIALS JOURNAL TECHNICAL PAPER

Title no. 103-M46

Effect of Concrete Moisture on Radar Signal Amplitude

by Zoubir Mehdi Sbartaï, Stéphane Laurens, Jean-Paul Balayssac, Gérard Ballivy, and Ginette Arliguie



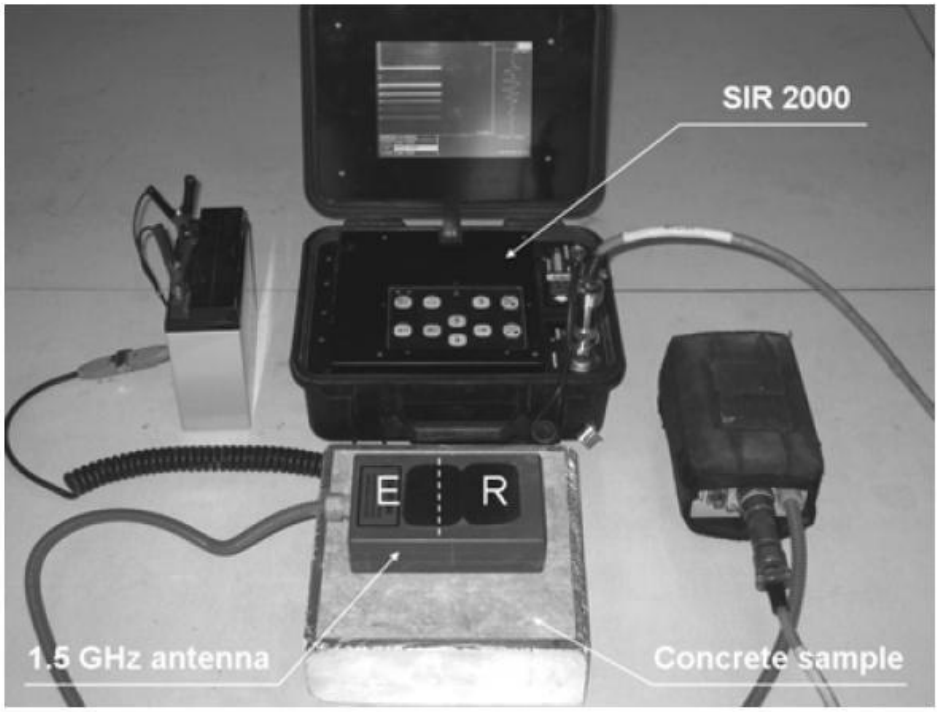


Fig. 2—GSSI SIR 2000 system connected to 1.5 GHz antenna and radar measurement on concrete sample.

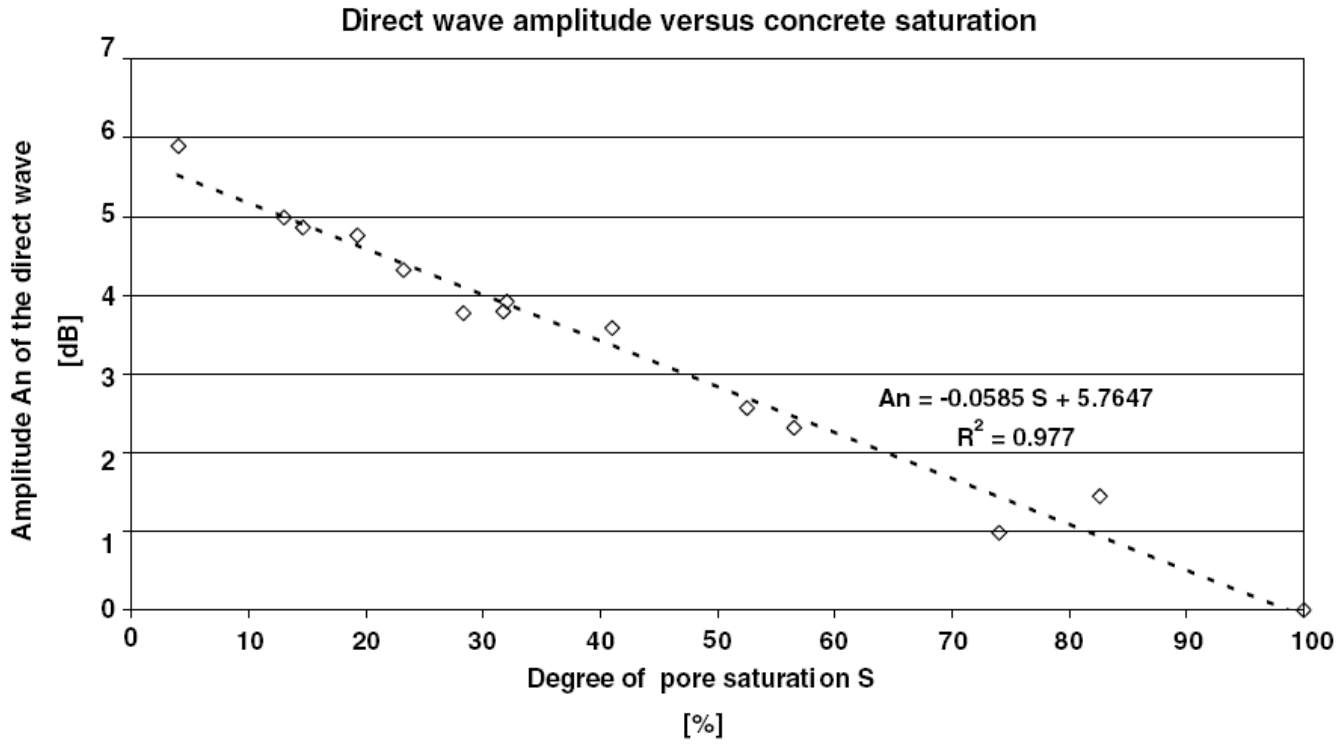


Fig. 4. Influence of the degree of pore saturation on the amplitude of the direct wave (amplitude values are normalised with respect to the amplitude measured on saturated concrete).

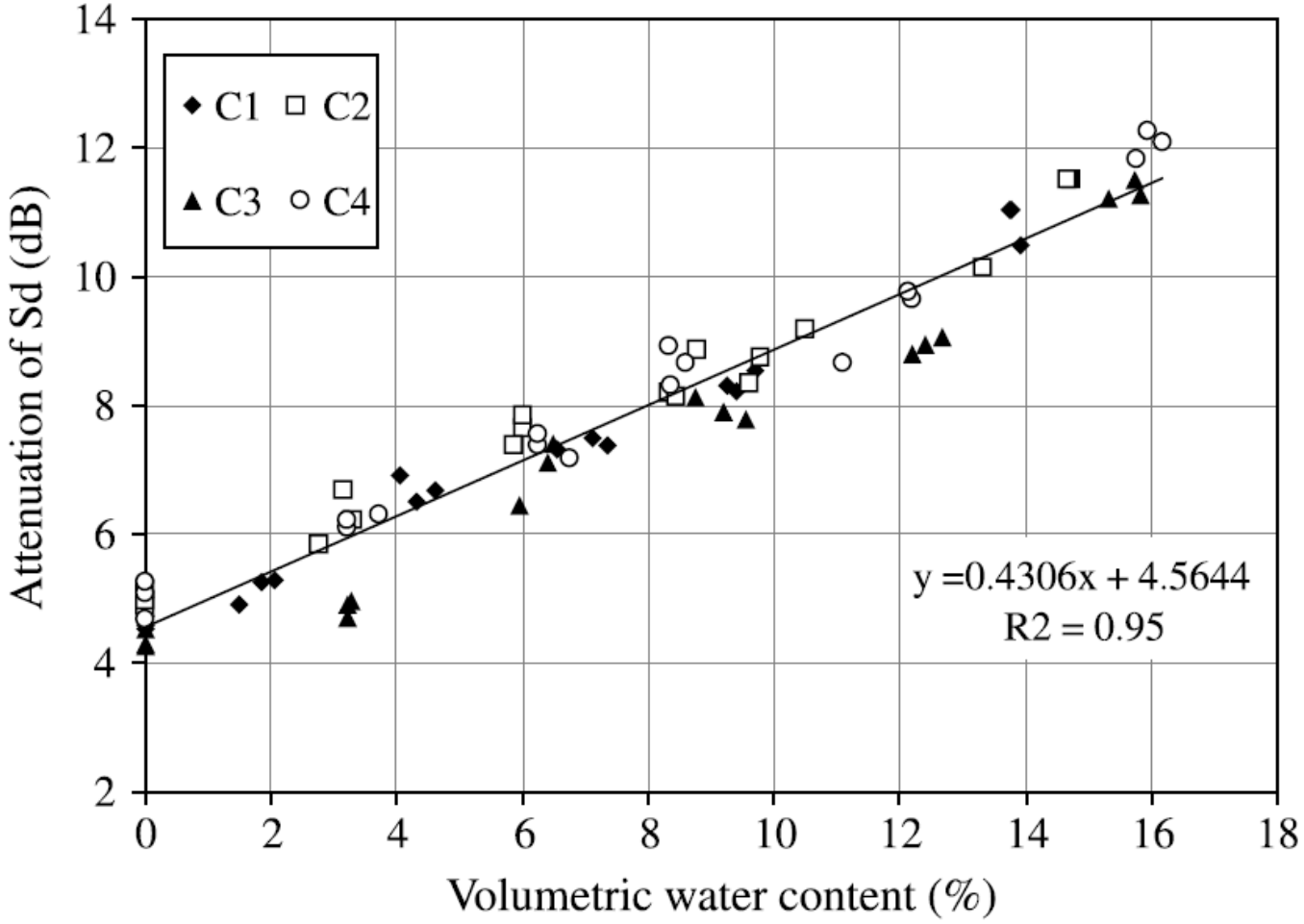


Fig. 4. Attenuation of the DW peak-to-peak amplitude with respect to volumetric water content.

Ability of the direct wave of radar ground-coupled antenna for NDT of concrete structures

NDT&E International 39 (2006) 400–407

Z.M. Sbartaï [a,b,*], S. Laurens [a], J.-P. Balayssac [a], G. Arliguie [a], G. Ballivy [b]

Estudo de caso

Determinação da causa do surgimento de umidade em sistema de revestimento de piso do edifício hospitalar (2016)

- No primeiro subsolo surgiram bolhas no revestimento vinílico, concentradas basicamente na região dos vestiários e rouparia

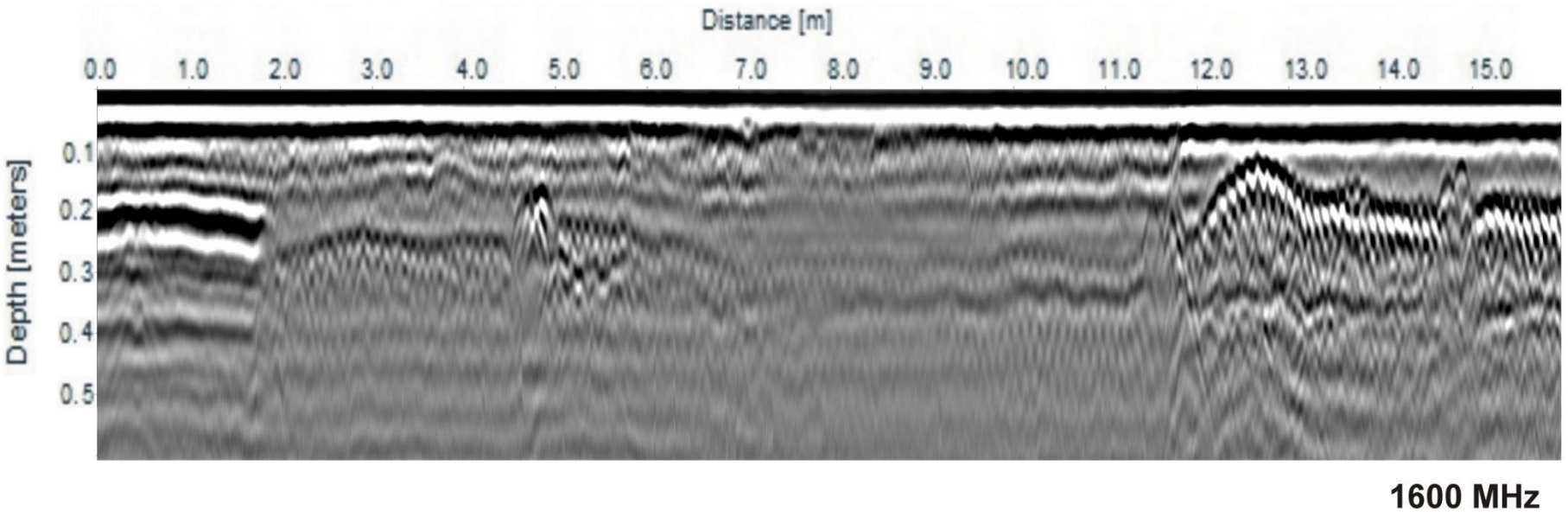
- Essas bolhas ao serem perfuradas liberavam água e, ao se remover o revestimento vinílico constatava-se que a argamassa de contrapiso estava úmida

Atividades realizadas

- Análise de documentação do projeto da obra.
- Investigação de subsuperfície, por meio do **GPR** para avaliação da abrangência da umidade no piso.
- Inspeções e prospecções localizadas nas regiões do sistema de piso vinílico com presença de bolhas
- Coleta de amostras do piso para análise e ensaios em laboratórios

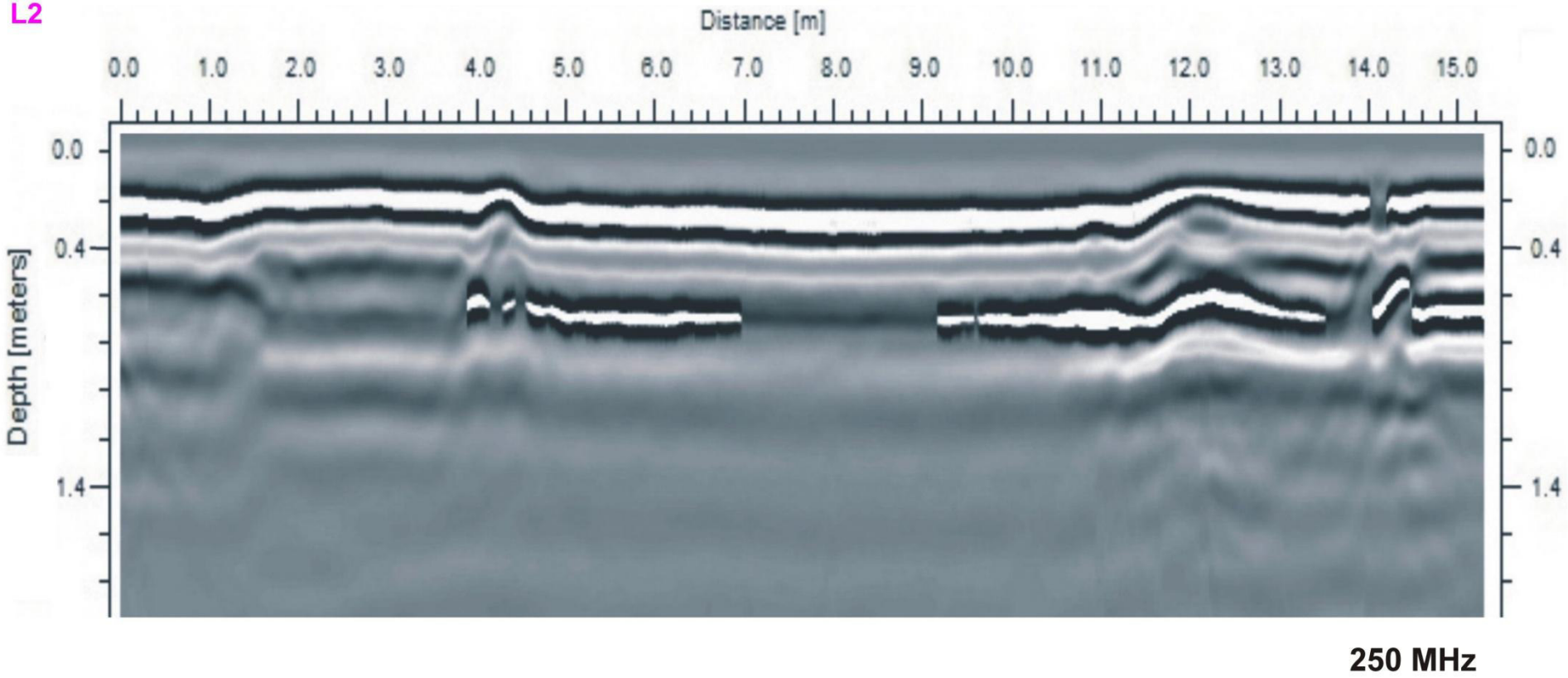
Dol. 20

GPR

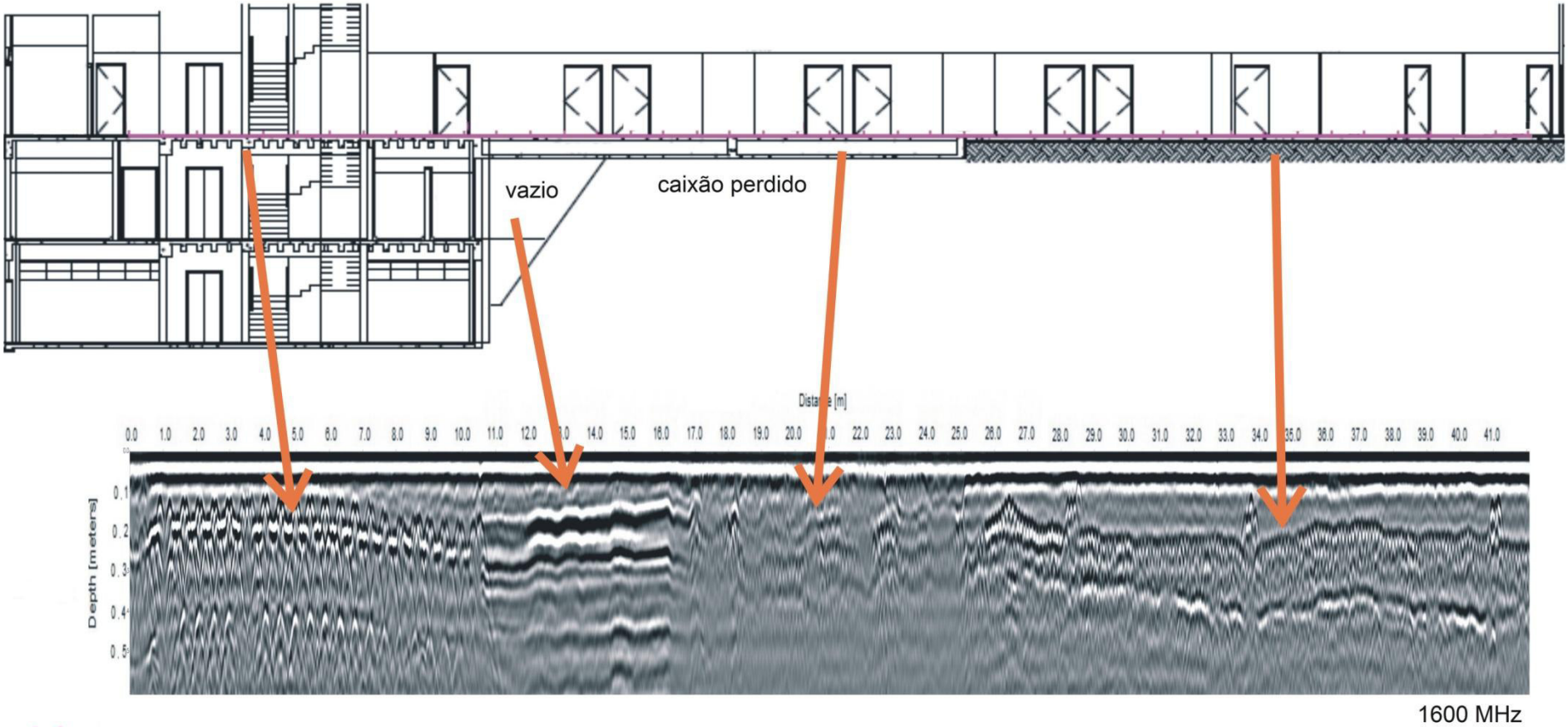


1600 MHz

L2

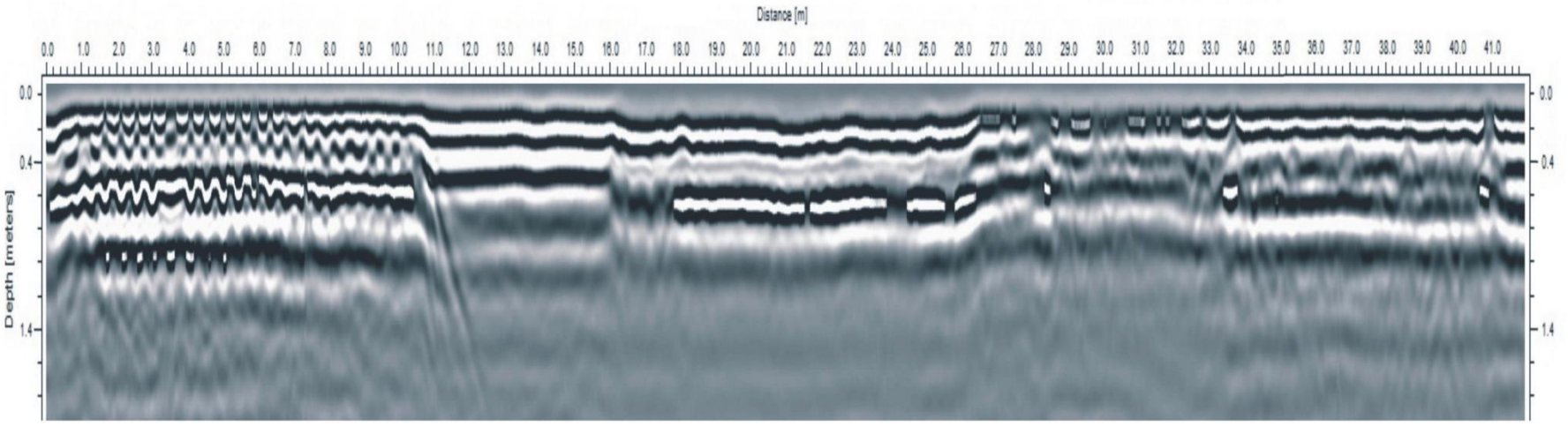


250 MHz



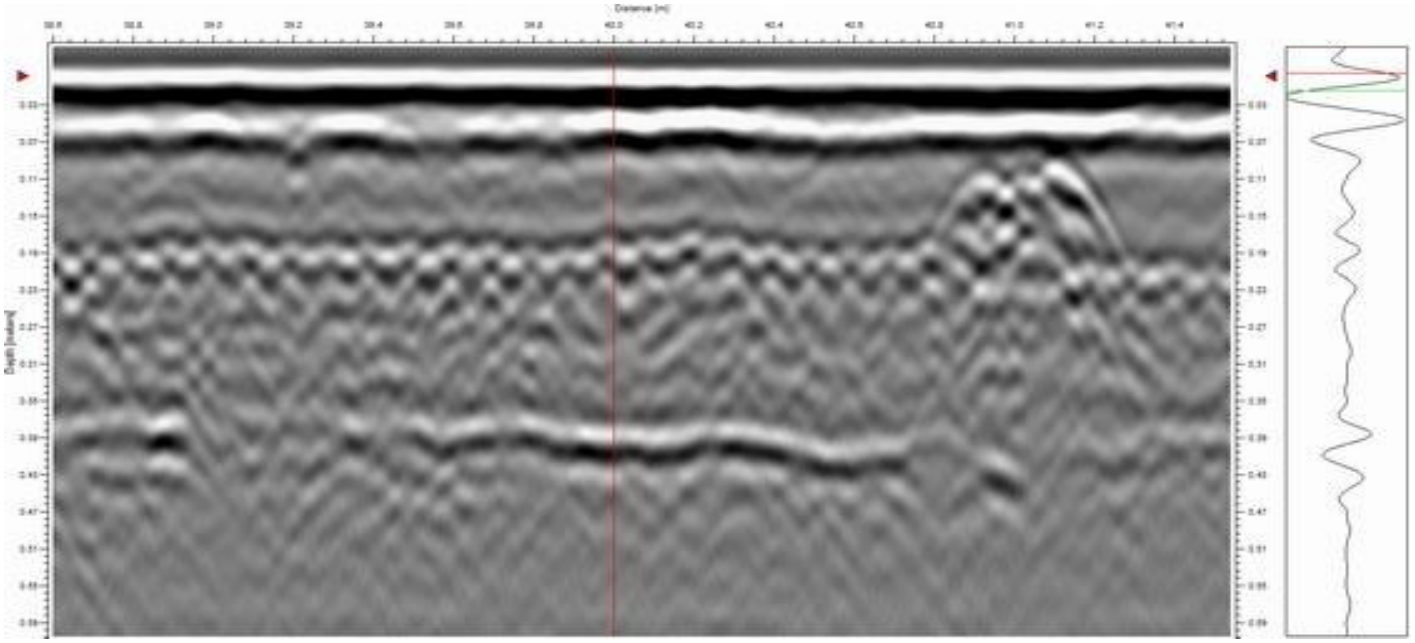
1600 MHz

L1

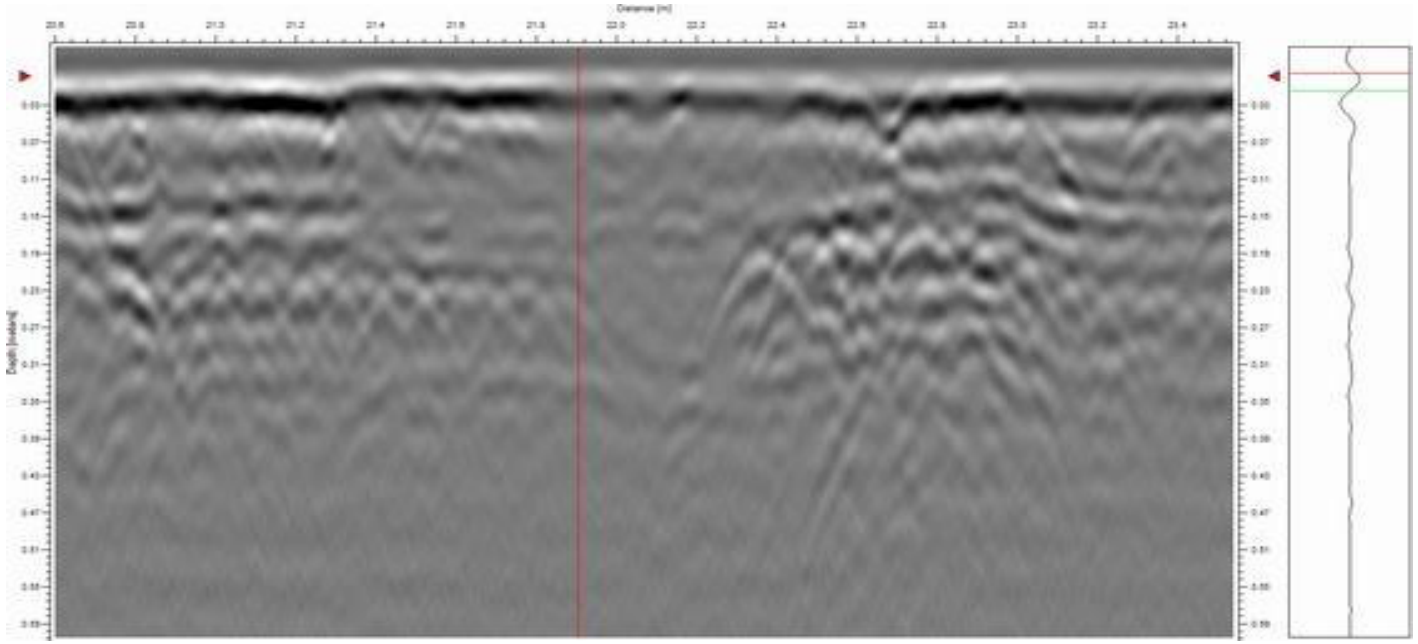


250 MHz

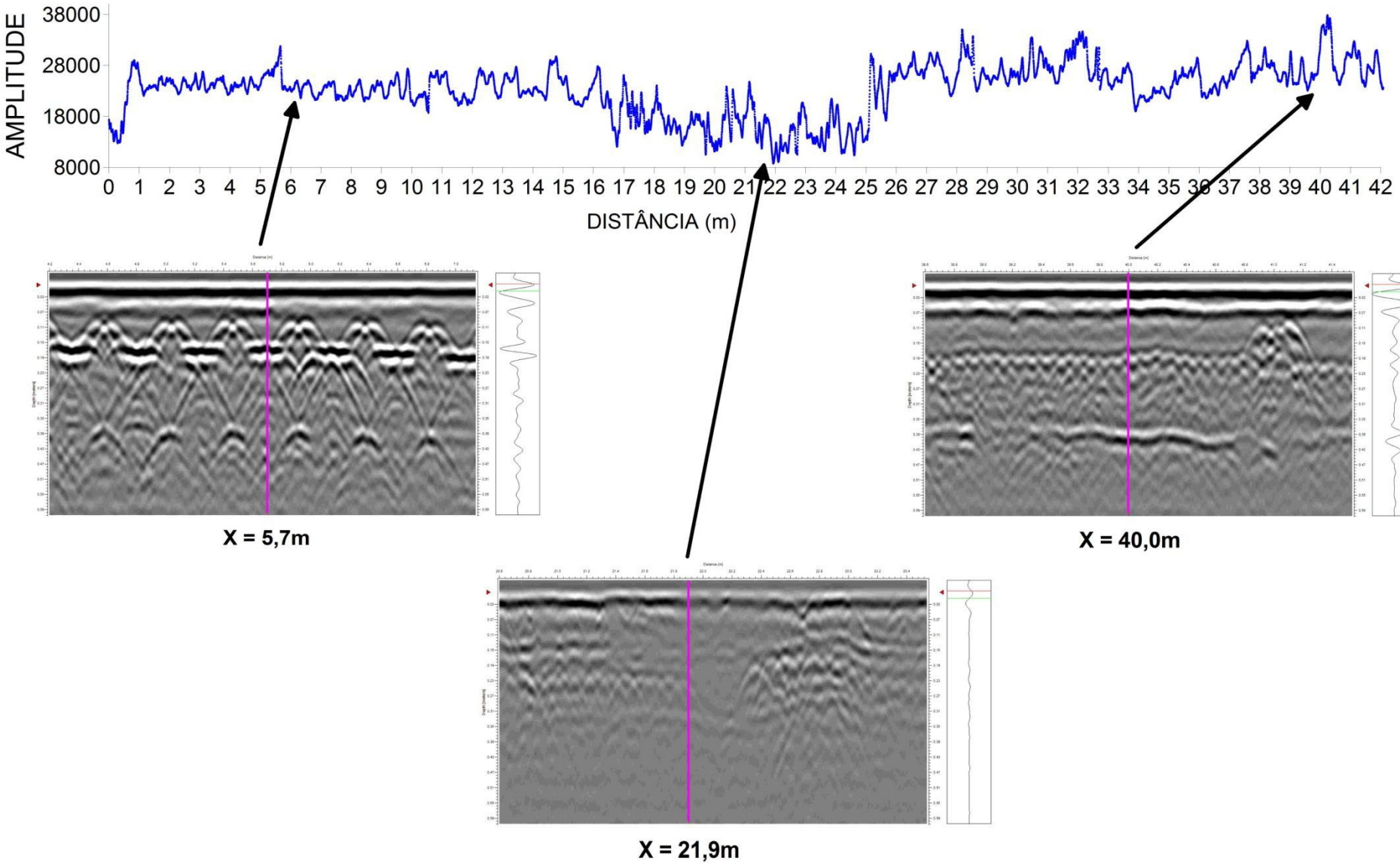
Análise da onda direta do sinal do GPR



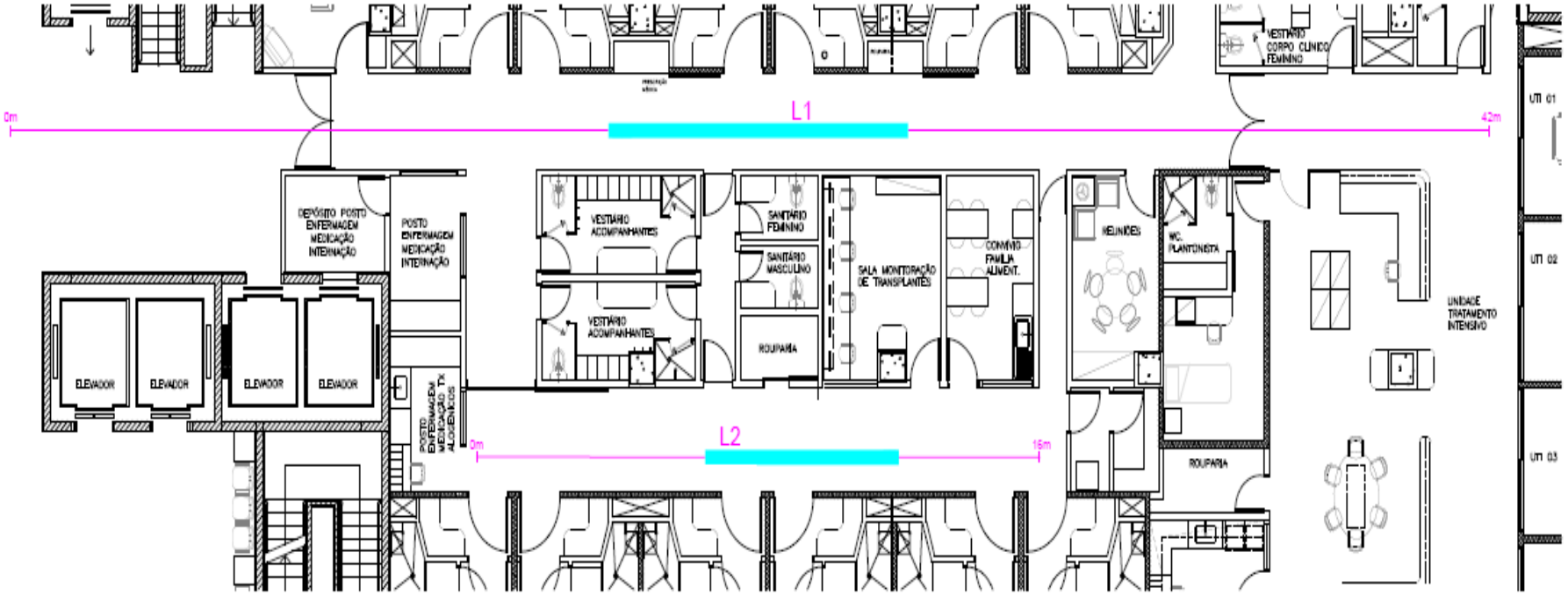
Alta amplitude

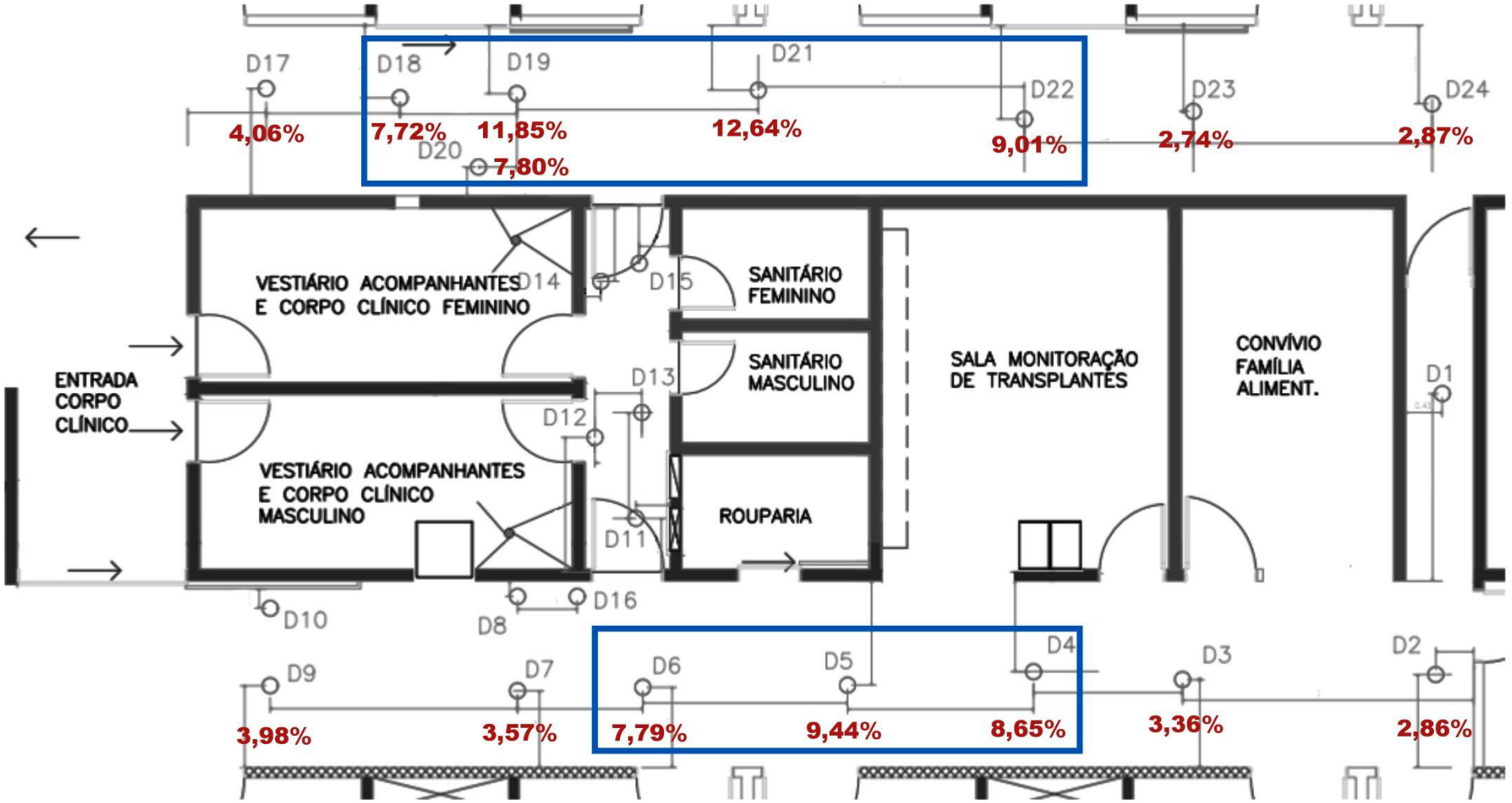


Baixa amplitude


AMPLITUDE
38000
28000
18000
8000
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42
DISTÂNCIA (m)
X = 5,7m
X = 40,0m
X = 21,9m

Faixas ao longo das linhas L1 e L2 onde foi observada uma forte atenuação do sinal GPR (possivelmente correlacionada com a presença de umidade)





N,NN% TEORES DE UMIDADE DETERMINADOS NO LABORATÓRIO EM CORPOS DE PROVA

FAIXA DE DIMINUIÇÃO DA AMPLITUDE DO SINAL DO GPR (CORRELACIONADA COM A PRESENÇA DE UMIDADE)

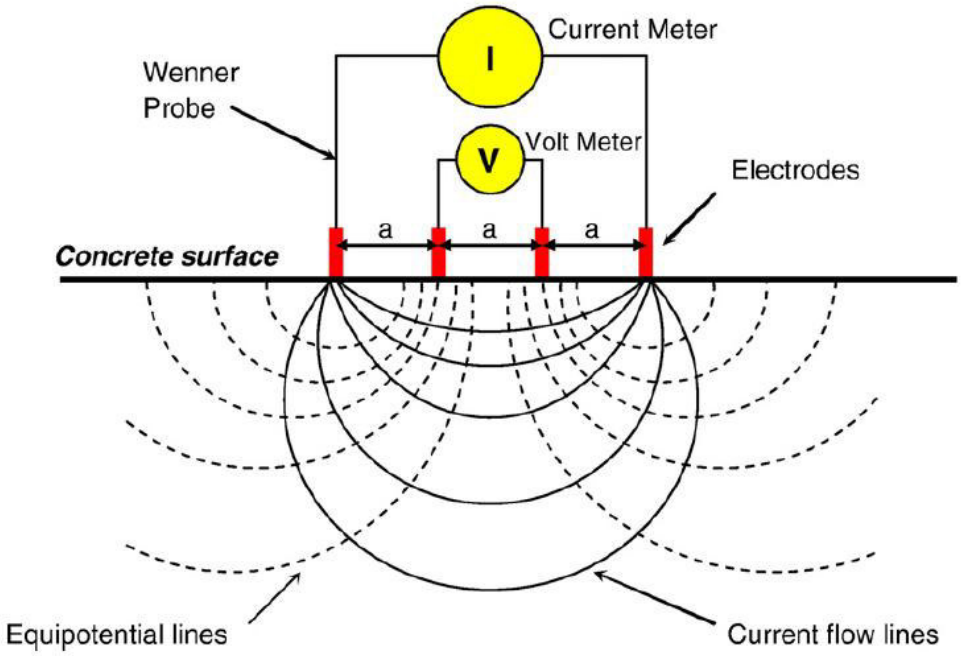
Available online at www.sciencedirect.com
ScienceDirect
Journal of Applied Geophysics 62 (2007) 361–374
JOURNAL OF APPLIED GEOPHYSICS
www.elsevier.com/locate/jappgeo

Using radar direct wave for concrete condition assessment: Correlation with electrical resistivity

Z.M. Sbartaï [a,b,*], S. Laurens [a], J. Rhazi [b], J.P. Balayssac [a], G. Arliguie [a]

[a] *Laboratory Materials and Durability of Constructions (LMDC), Department of Civil Engineering, INSA-Paul Sabatier University, Toulouse, France*
[b] *Research Group on Auscultation and Instrumentation, Department of Civil Engineering, Sherbrooke University, Sherbrooke, Quebec, Canada*

Received 2 May 2006; accepted 21 February 2007



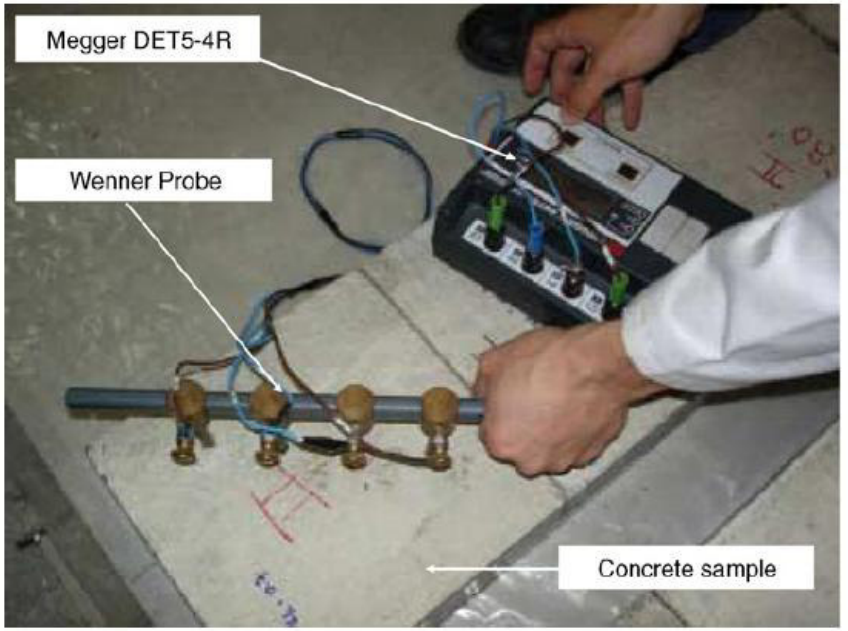


Fig. 4. Resistivity measurement on concrete sample.

Investigação de pavimentos

km 197+594
LPT - F10

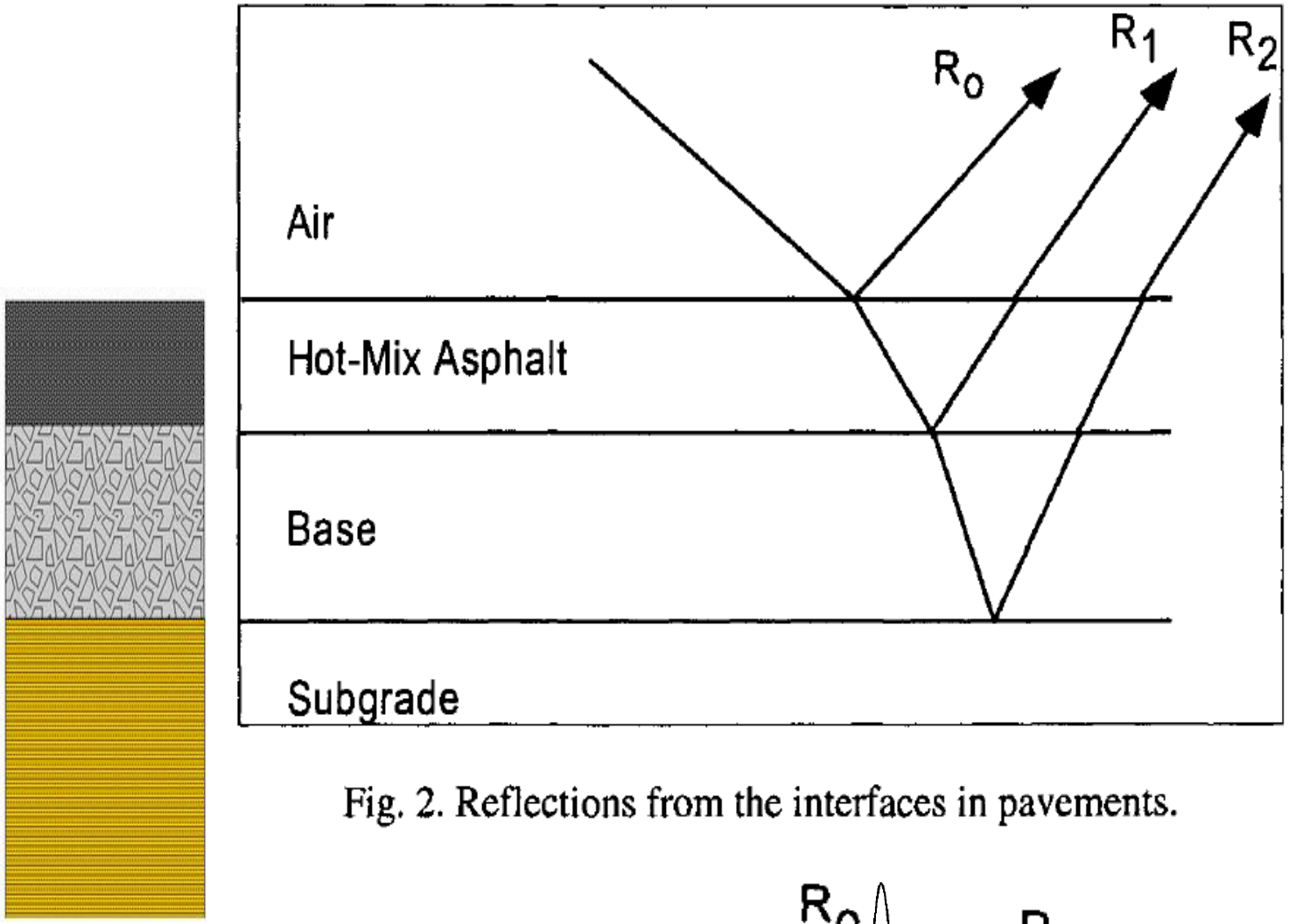


Fig. 2. Reflections from the interfaces in pavements.

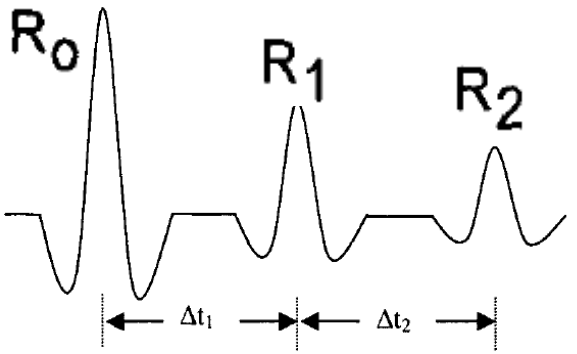
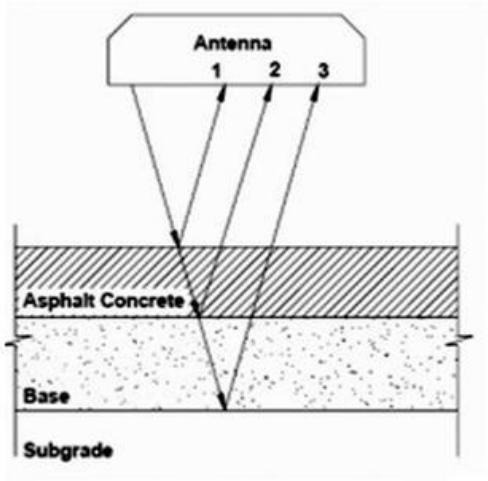


Fig. 3. Radar scan obtained from the pavement section shown in Figure 2.

Geophysical Survey Systems, Inc.
GSSI
(800) 524-3011


Antenna
1
2
3
Asphalt Concrete
Base
Subgrade

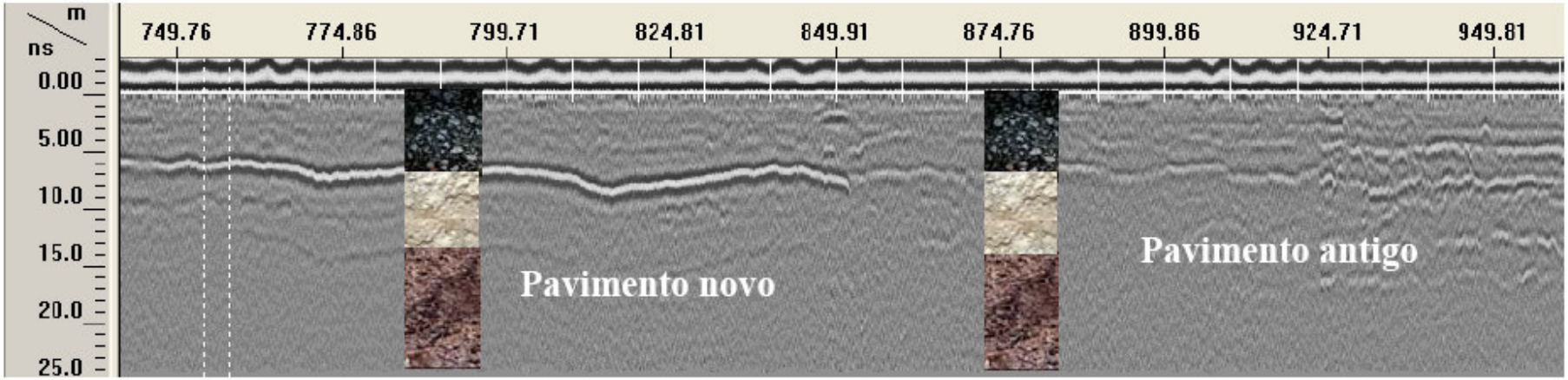
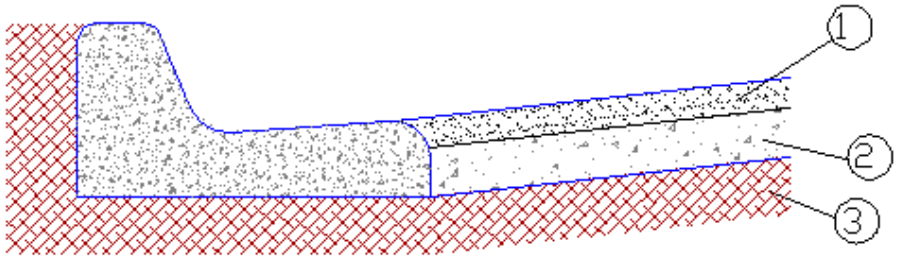


Figura 3.21 – Comparação entre os resultados obtidos com o Radar de Prospecção num pavimento novo e um pavimento antigo constituídos por uma camada betuminosa, e uma camada de base tratada com cimento [adaptado de Fontul *et al*, 2007[a]].

Teresa Sofia Figueiredo Alves. METODOLOGIAS DE AUSCULTAÇÃO DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS - APLICAÇÃO PRÁTICA DO RADAR DE PROSPECÇÃO E DO DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO. Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, 2007

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS

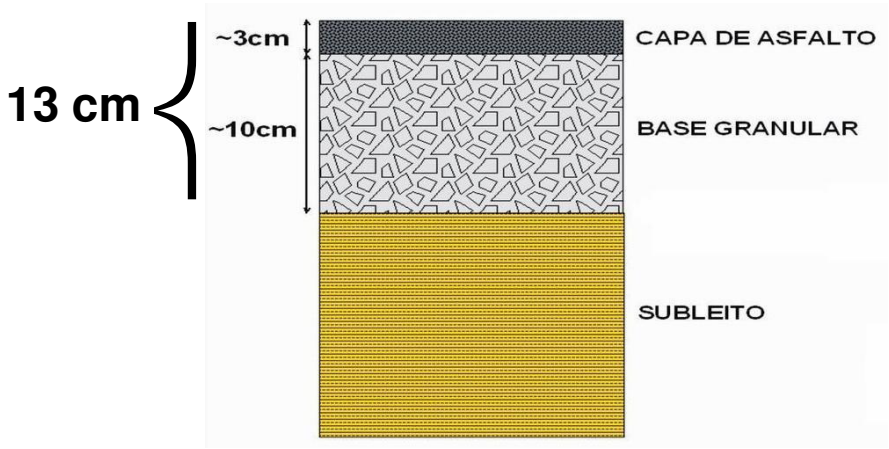
PERFIL DO PROJETO (ruas de São João da Boa Vista - SP):



1 – CAPA DE CBUQ (e=3cm)

2 – BASE DE PEDRA BRITADA (e=10cm)

3 – SUB–LEITO



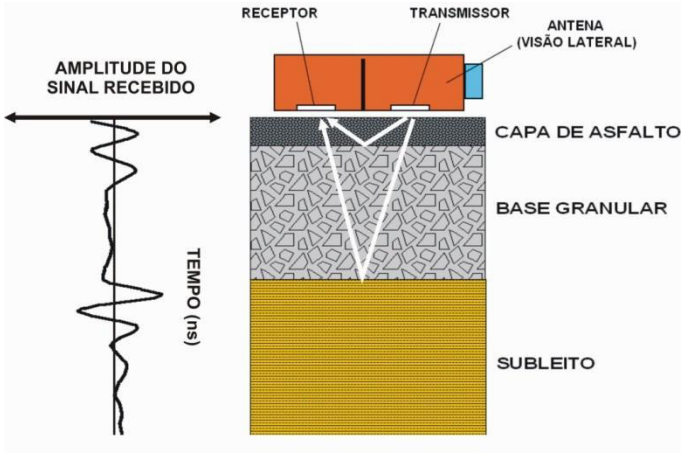
PERFIL DE PROJETO

Investigação da estrutura de pavimento

- Abertura de cava
- Medida da espessura das camadas
- Coleta de amostras e ensaios para determinar as condições das camadas

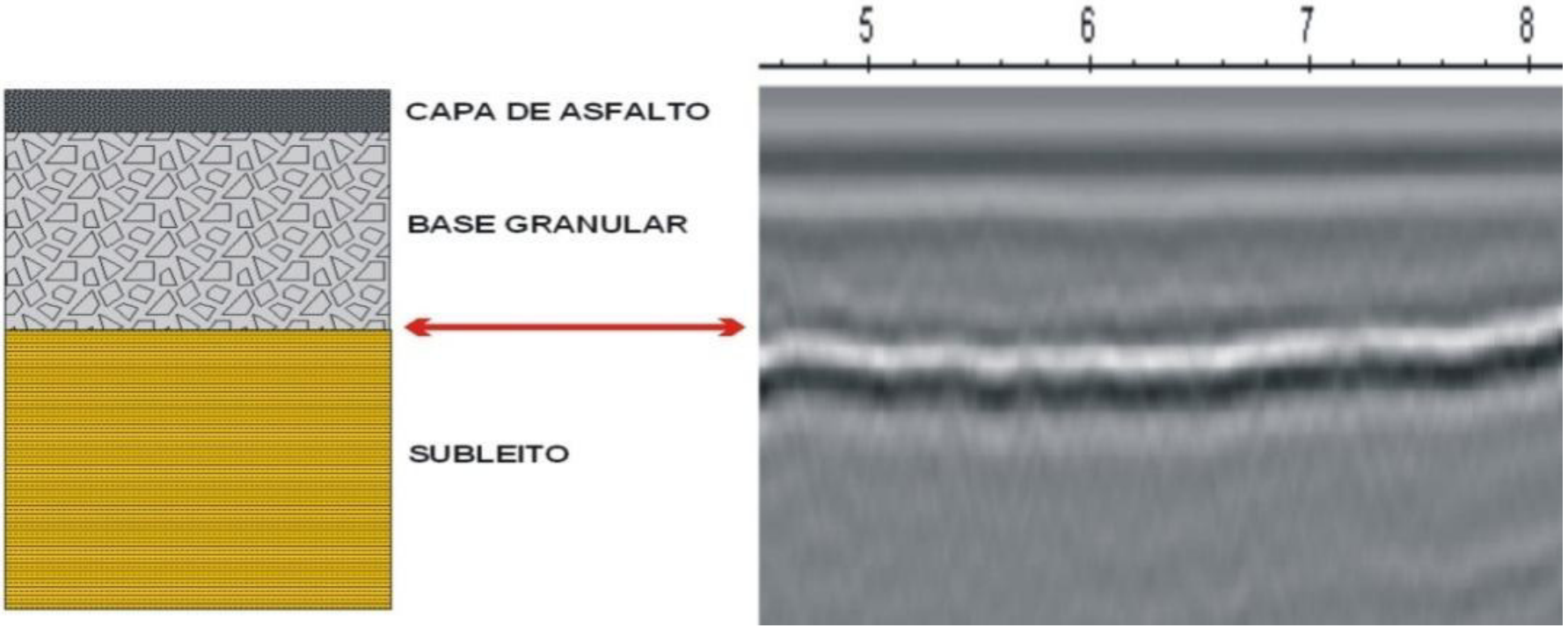
✓ **INVESTIGAÇÃO POR MÉTODOS TRADICIONAIS: EXECUÇÃO DE CAVA E MEDIÇÃO DIRETA**

✓ **DESVANTAGENS: INVESTIGAÇÃO PONTUAL, DEMORADA, CAUSA DEFEITOS NO PAVIMENTO**

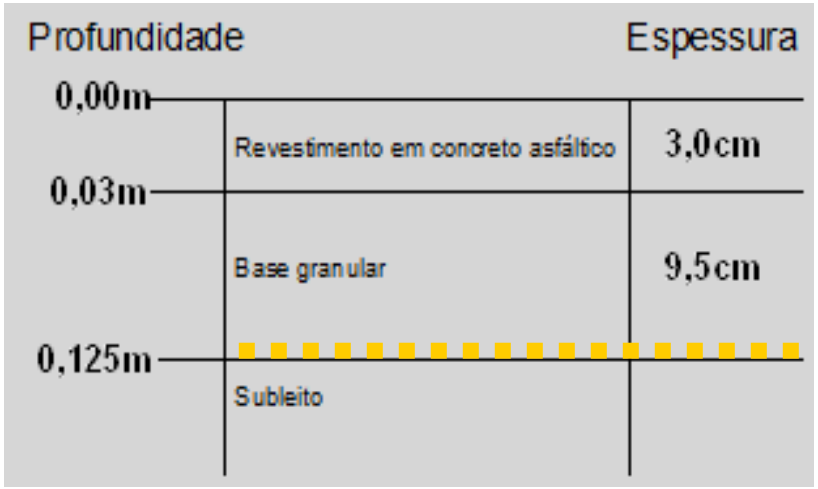


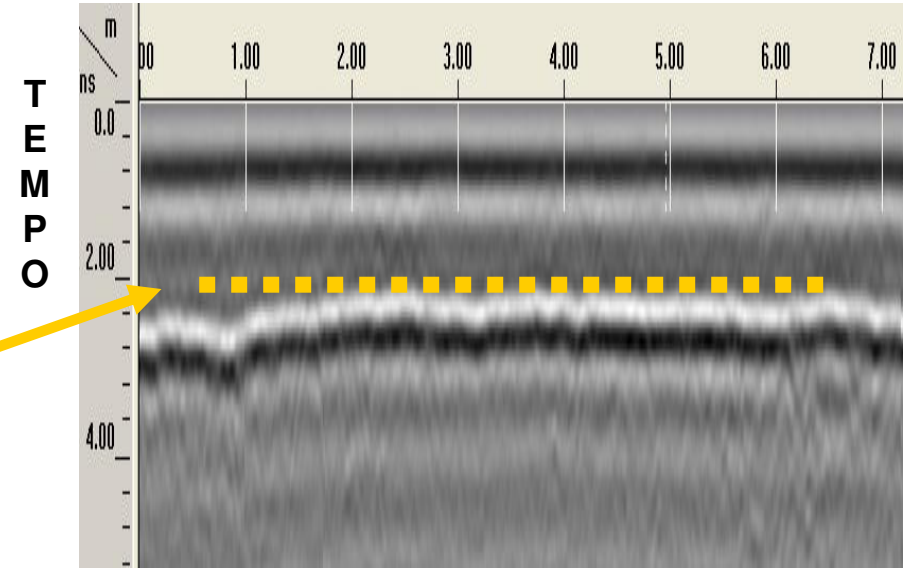
GPR → INVESTIGAÇÃO INDIRETA EM GRANDE EXTENSÃO DAS VIAS

Imagem de GPR obtida: reflexão forte entre a camada de base granular e o subleito (camada de solo compactado)



Ensaio efetuado ao lado de uma cava
(as espessuras das camadas foram medidas com precisão)





Z = 12,5 cm (medida na cava) ⟷ t = 2 ns (GPR)

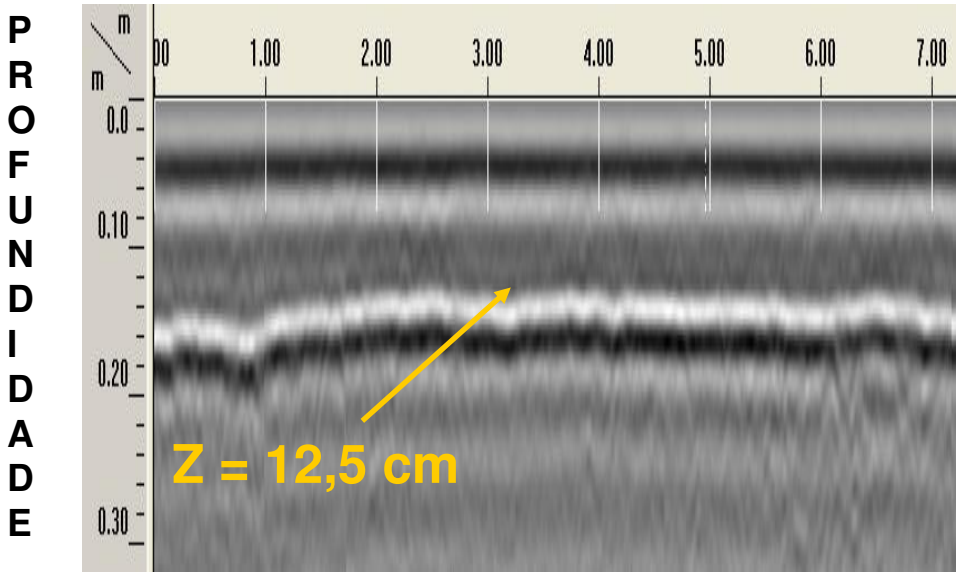
Z = 12,5 cm (medido na cava)

t = 2 ns (GPR)

$$v = \frac{2 \cdot z}{t}$$

$\Rightarrow$ V = 0,150 m/ns

$\Rightarrow$ V = 0,150 m/ns



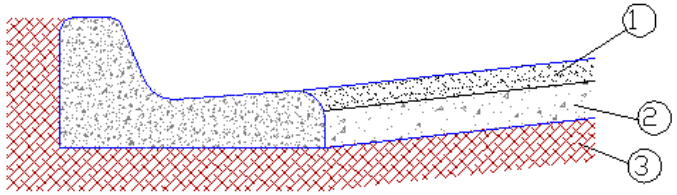
Seção de GPR (radar) agora convertida para profundidade

Rd-001
SEE-0007
Geophysical Survey Systems, Inc.

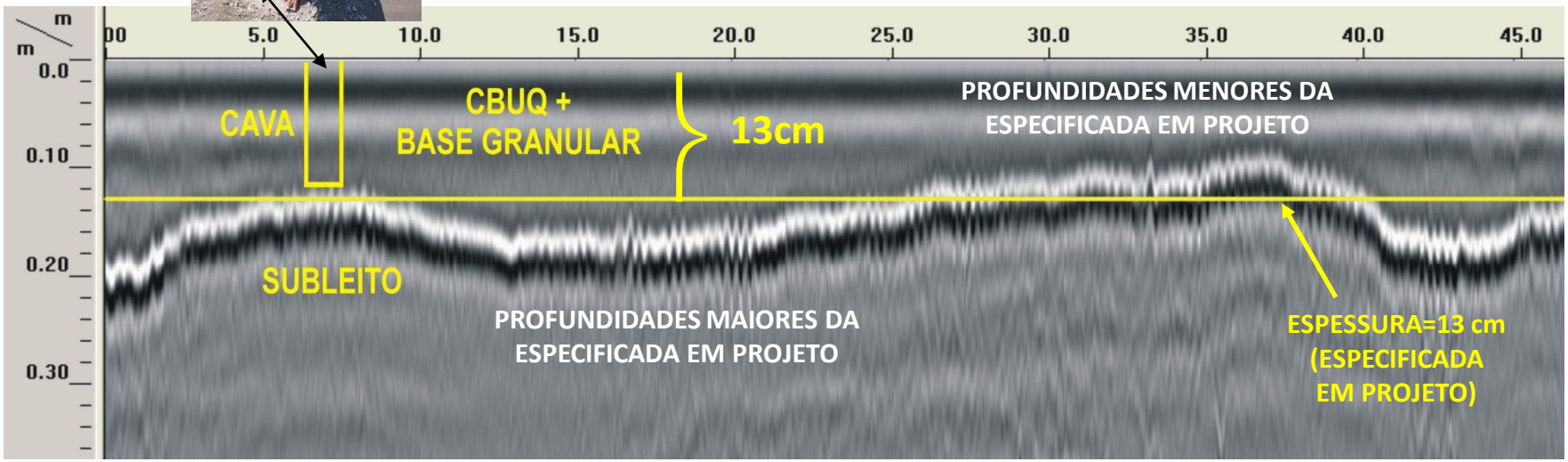
VERIFICAÇÃO DE ATENDIMENTO AO ESPECIFICADO EM PROJETO:

IDENTIFICAÇÃO DA ESTRUTURA DE PAVIMENTOS POR MÉTODO NÃO DESTRUTIVO (GPR)

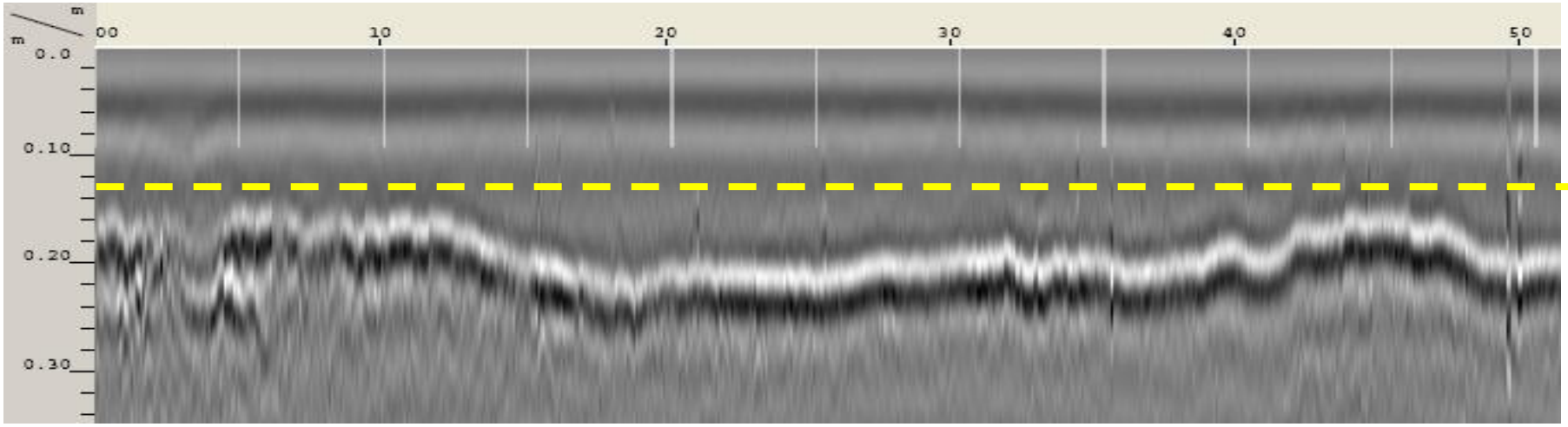
PROJETO:



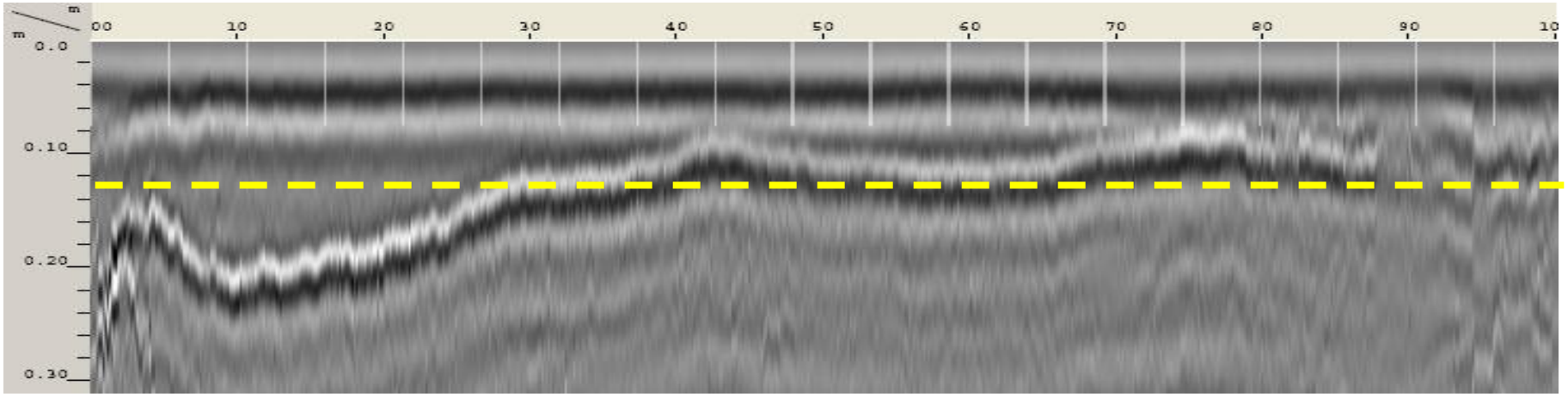
1 – CAPA DE CBUQ (e=3cm)
2 – BASE DE PEDRA BRITADA (e=10cm)
3 – SUB-LEITO



VANTAGENS: IMAGEM "CONTÍNUA" DA SUBSUPERFÍCIE SEM CAUSAR DEFEITOS NO PAVIMENTO, RÁPIDA COLETA DE DADOS

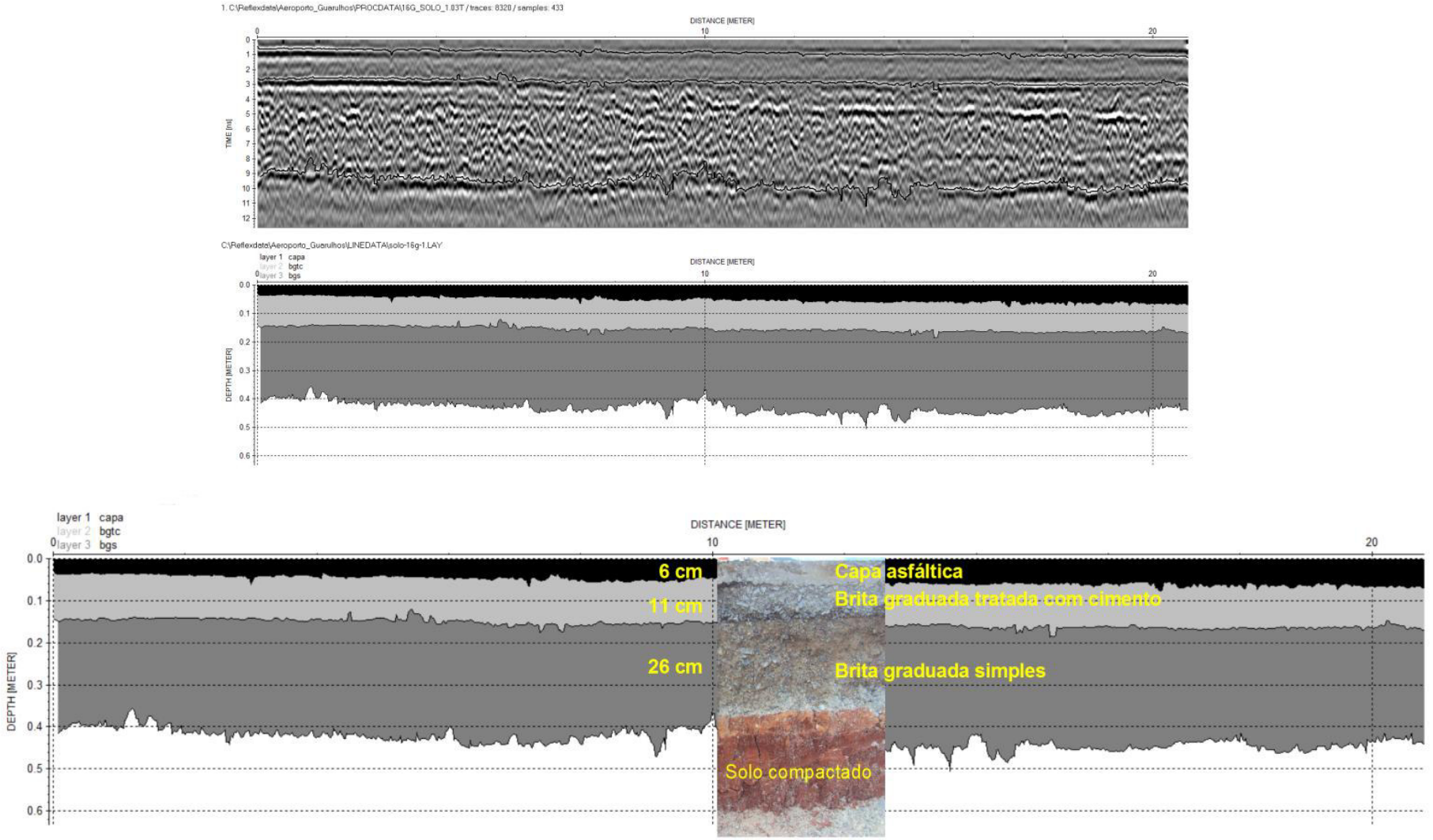


I) DE ACORDO COM O PROJETO: CBUQ + BASE DE BRITA ≥ 13 cm



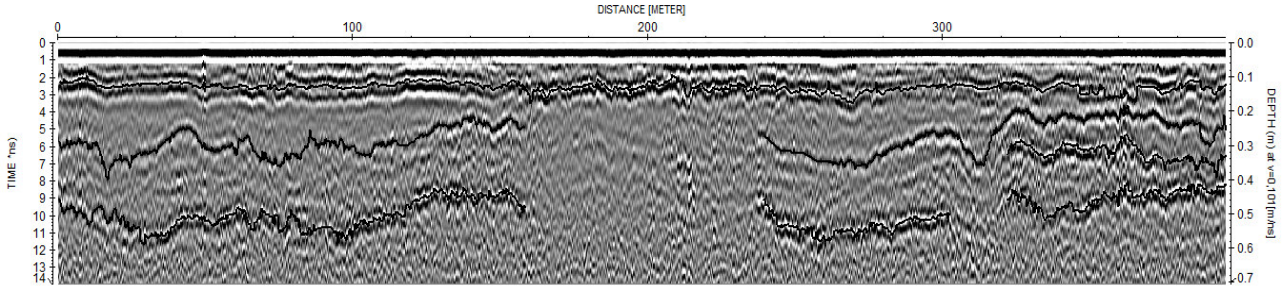
II) EM DESACORDO COM O PROJETO: CBUQ + BASE DE BRITA ≤ 13 cm

INVESTIGAÇÃO DE PAVIMENTO COM GPR

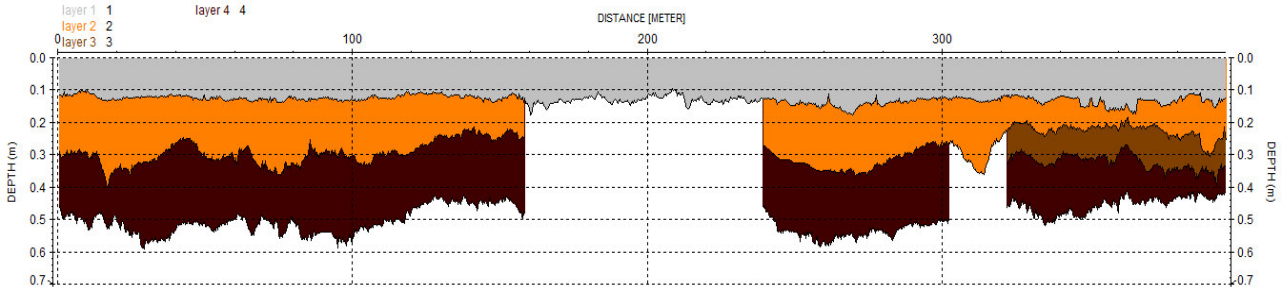


Seção GPR realizada no pátio do estacionamento (antena de 1,6 GHz)

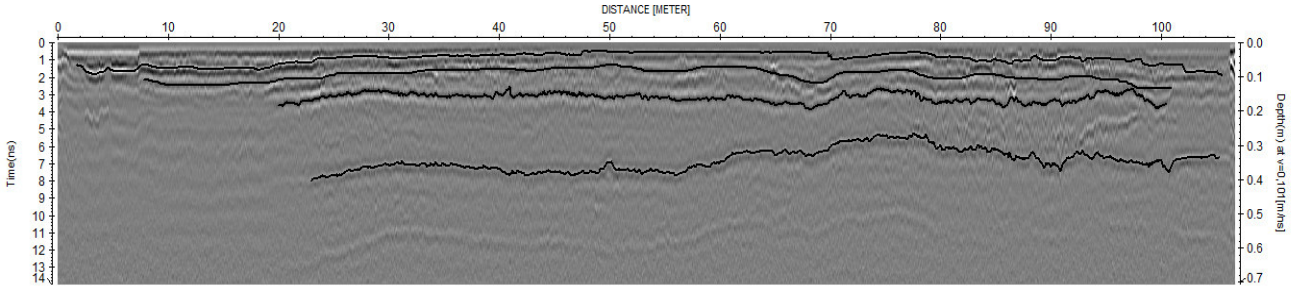
1. C:\REFLEXDATA\SP-095\CAVAS_5-6\PROCDATA\PF-CV56_.03T / traces: 3964 / samples: 653



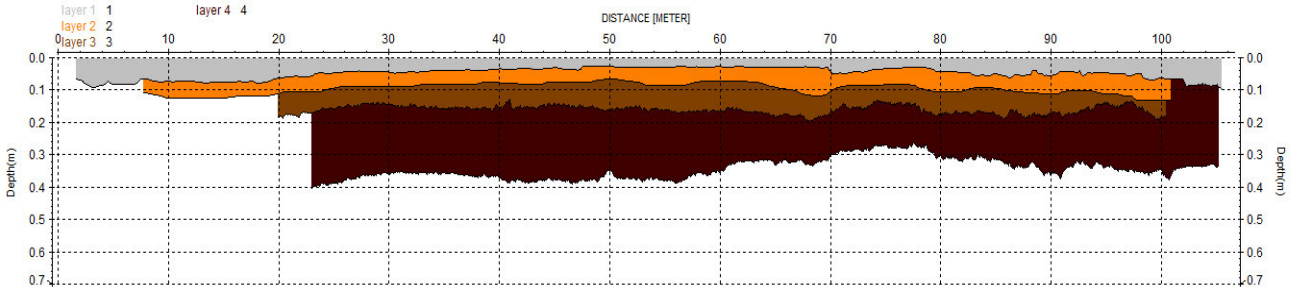
C:\Reflexdata\SP-095\Cavas_5-6\LINEDATA\F-CV56-LAY00.LAY



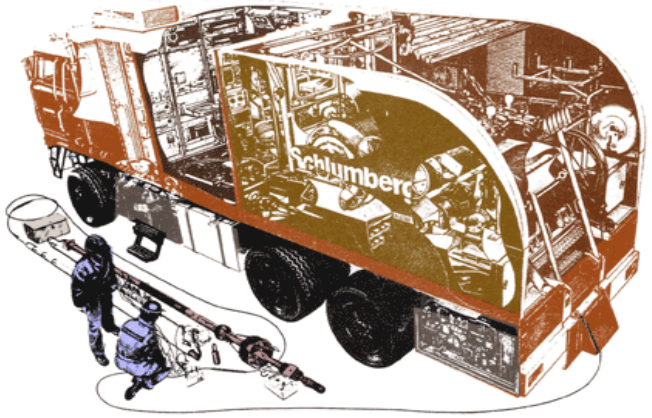
1. C:\Reflexdata\SP-095\Cavas_8-9\PROCDATA\PF-CV-89.03T / traces: 1068 / samples: 653



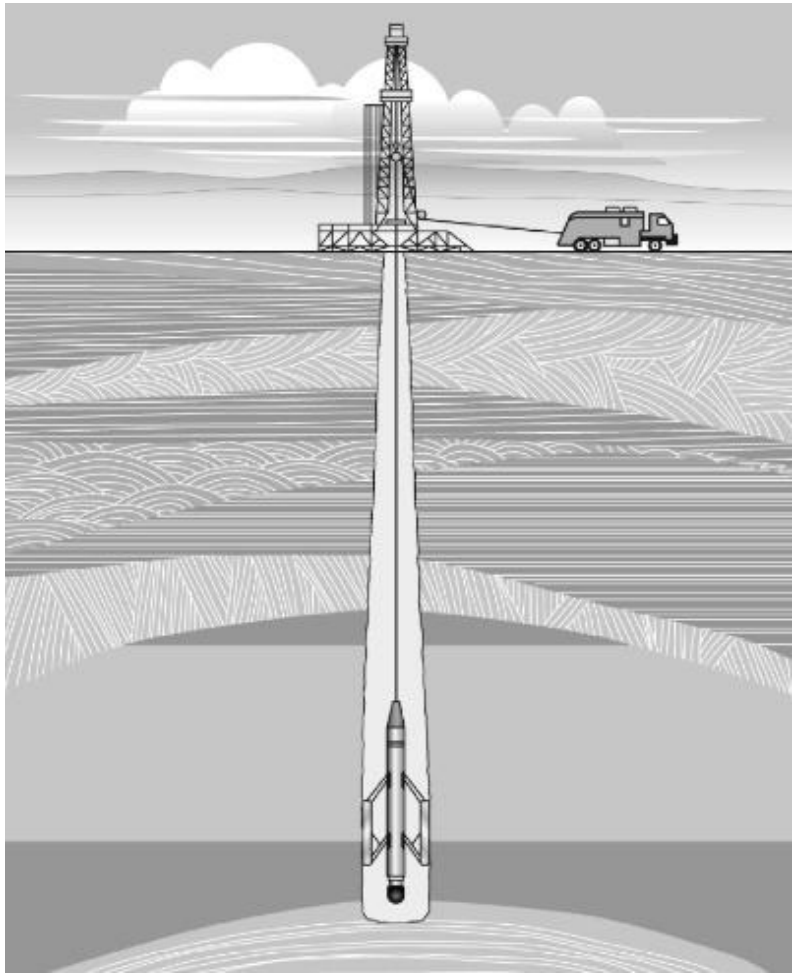
C:\Reflexdata\SP-095\Cavas_8-9\LINEDATA\pf-cv-89-inter.LAY

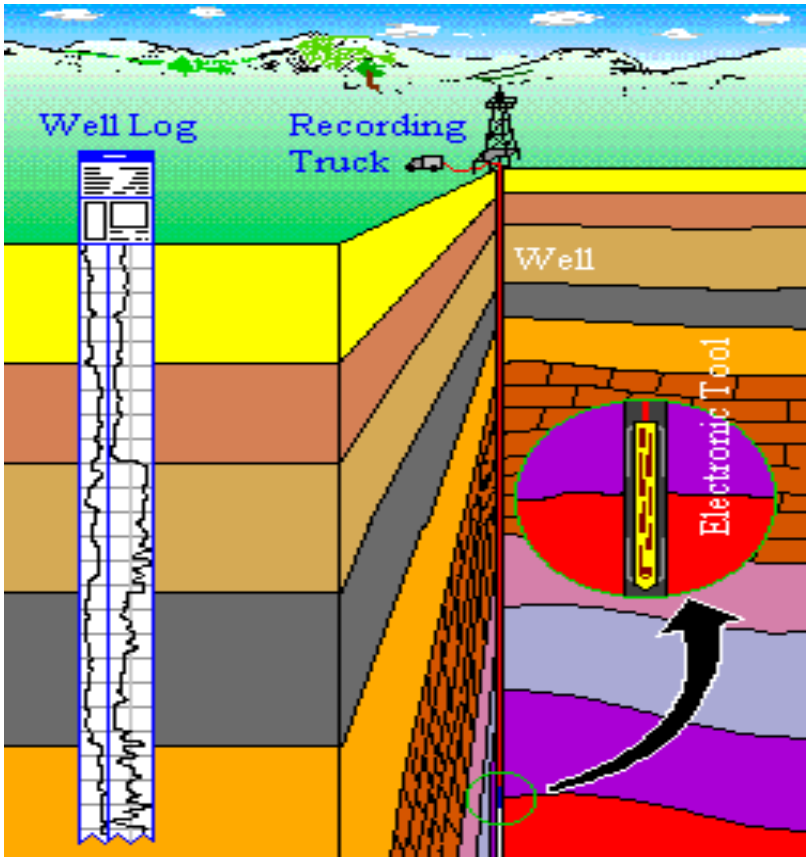


Perfilagem de poços na geologia de engenharia



Courtesy of Schlumberger





PERFILAGEM GEOFÍSICA
EM POÇO ABERTO
FUNDAMENTOS BÁSICOS
COM ÊNFASE EM PETRÓLEO
Geraldo Girão Nery
INCT-GP

Closing Dinner

Parâmetros elásticos dinâmicos
→ necessária a determinação de ρ, V_P e V_S

$$\nu = \frac{\left(\frac{V_P}{V_S}\right)^2 - 2}{2\cdot\left(\frac{V_P}{V_S}\right)^2 - 2} = \frac{\left(V_P^2 - 2\cdot V_S^2\right)}{2\cdot\left(V_P^2 - V_S^2\right)}$$

(coeficiente de Poisson dinâmico)

$$E = V_P{}^2 \cdot \rho \cdot \frac{(1-2\nu)\cdot(1+\nu)}{(1-\nu)} = 2\cdot V_S^2 \cdot \rho \cdot (1+\nu)$$

(módulo de Young dinâmico)

$$G = \rho \cdot V_S{}^2$$

(módulo de cisalhamento dinâmico)

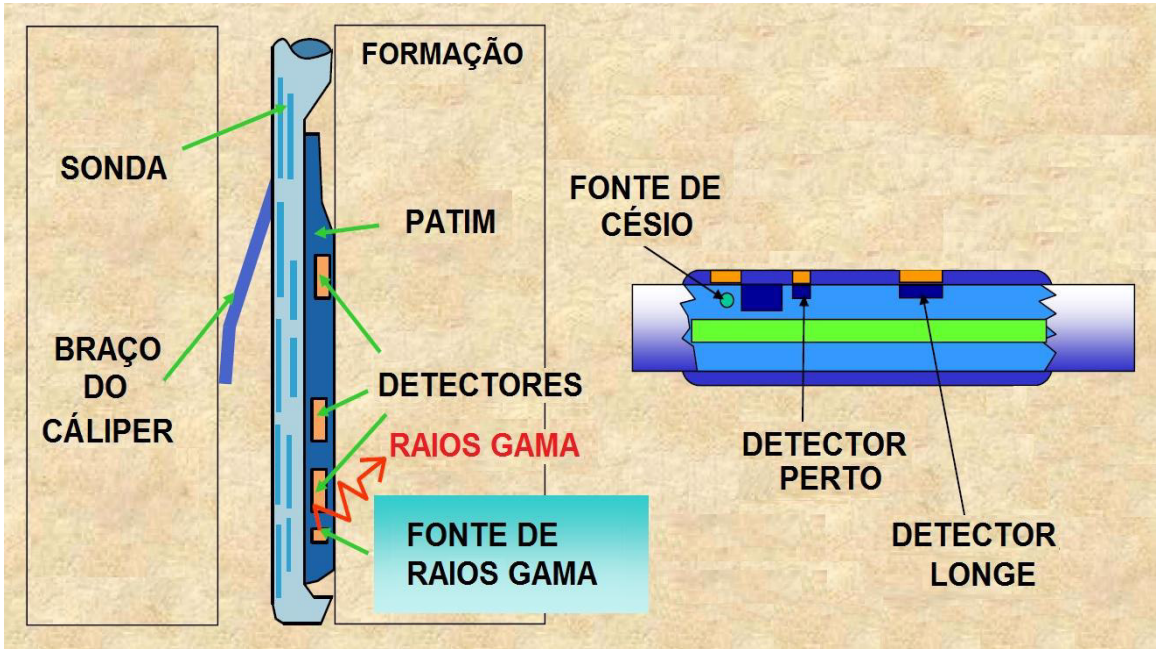
$\rho \Rightarrow$ ferramenta de densidade

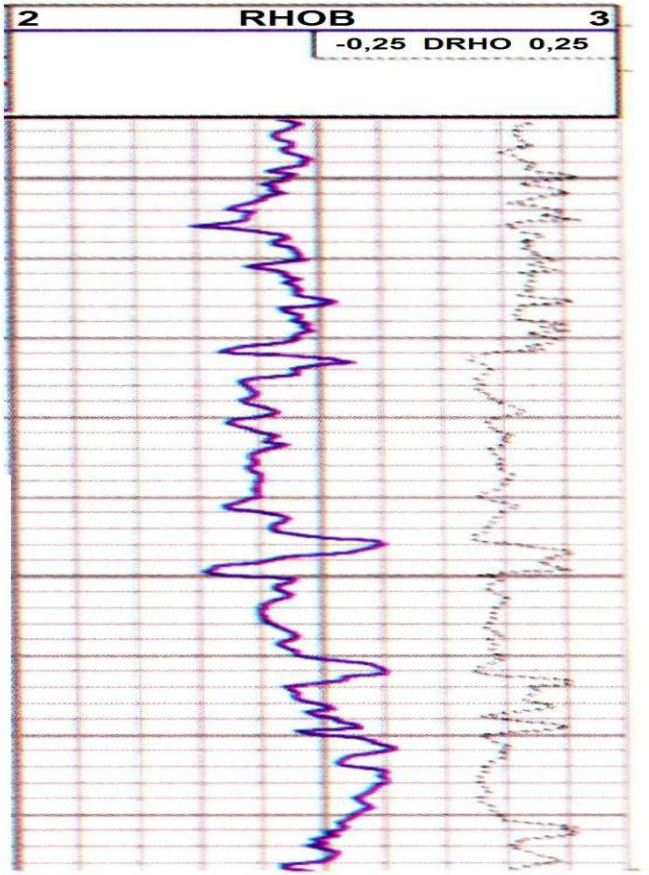
V_P e $V_S \Rightarrow$ ferramenta sônica

Ferramenta de Densidade (Gama-Gama)

- O perfil registra continuamente as variações das densidade das rochas (g/cm^3) com a profundidade

- Raios gama são emitidos pela própria ferramenta





Ferramenta de Densidade (Gama-Gama)

Sonda de Densidade (Gama – Gama)

Fonte principal de radiação gama: 3,7 GBq (100mCi) Cs-137

Ferramenta sônica (acústica)

- Mede a diferença nos tempos de trânsito de uma onda mecânica através das rochas (velocidade de propagação)

→ estimativa da porosidade, do grau de compactação e das constantes elásticas

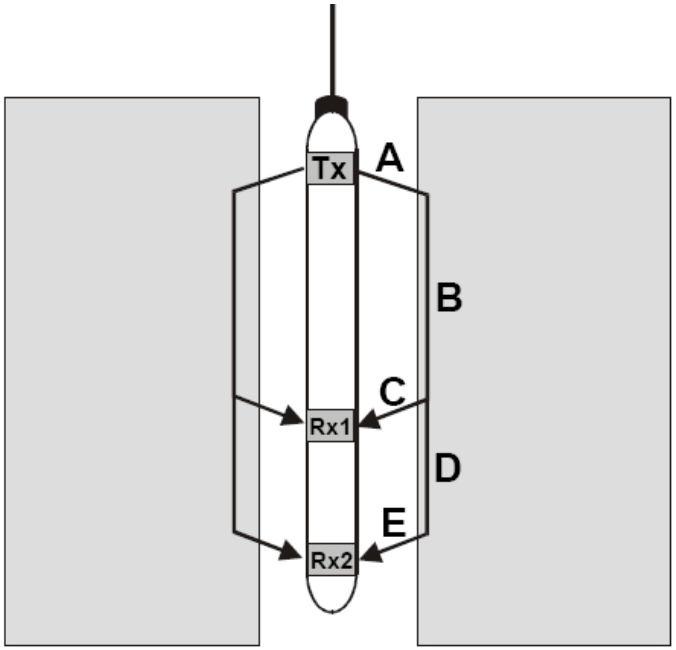
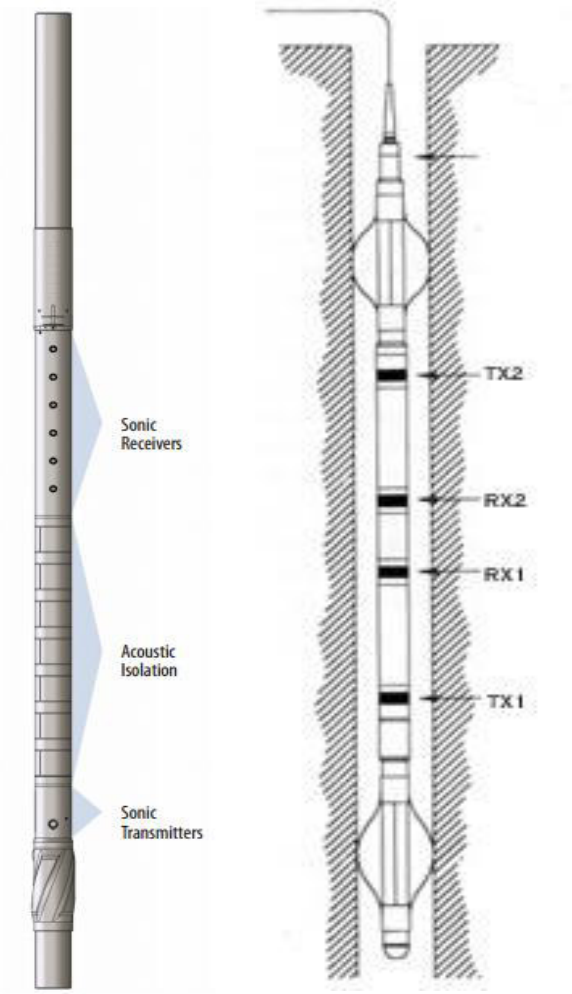
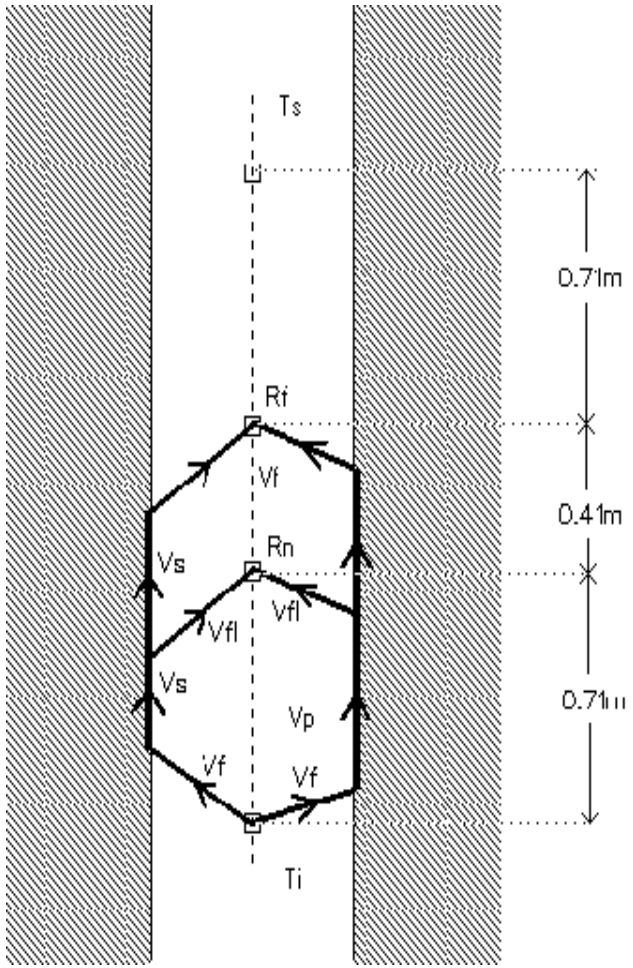


Fig. 16.5 Dual receiver sonic tools in correct configuration.



Ferramenta sônica



O transmissor (Tx) irradia uma onda através do fluido do furo e da formação, sendo então detectado pelo receptor (Rx)

→ Um sistema de alta precisão mede a chegada do tempo de trânsito

→ Conhecendo-se a geometria de Tx/Rx na ferramenta (distância) e o tempo de trânsito registrado, pode ser calculado a velocidade de propagação da onda

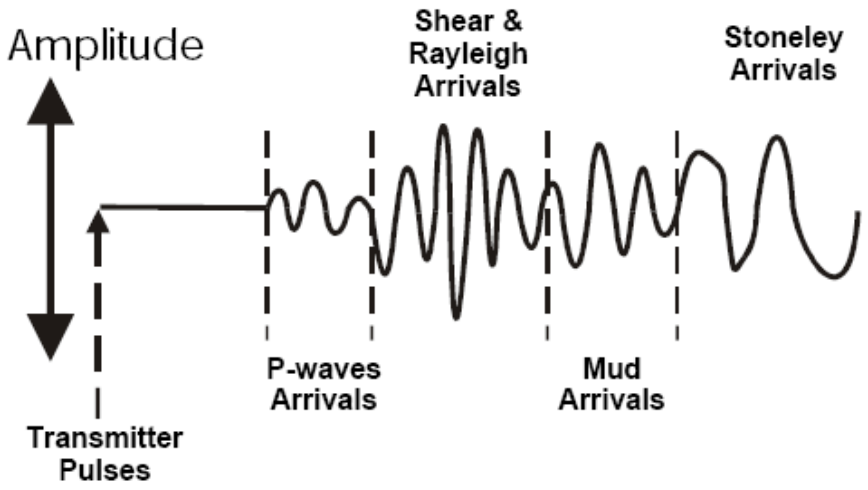


Fig. 16.1 The geophysical wavetrain received by a sonic log.

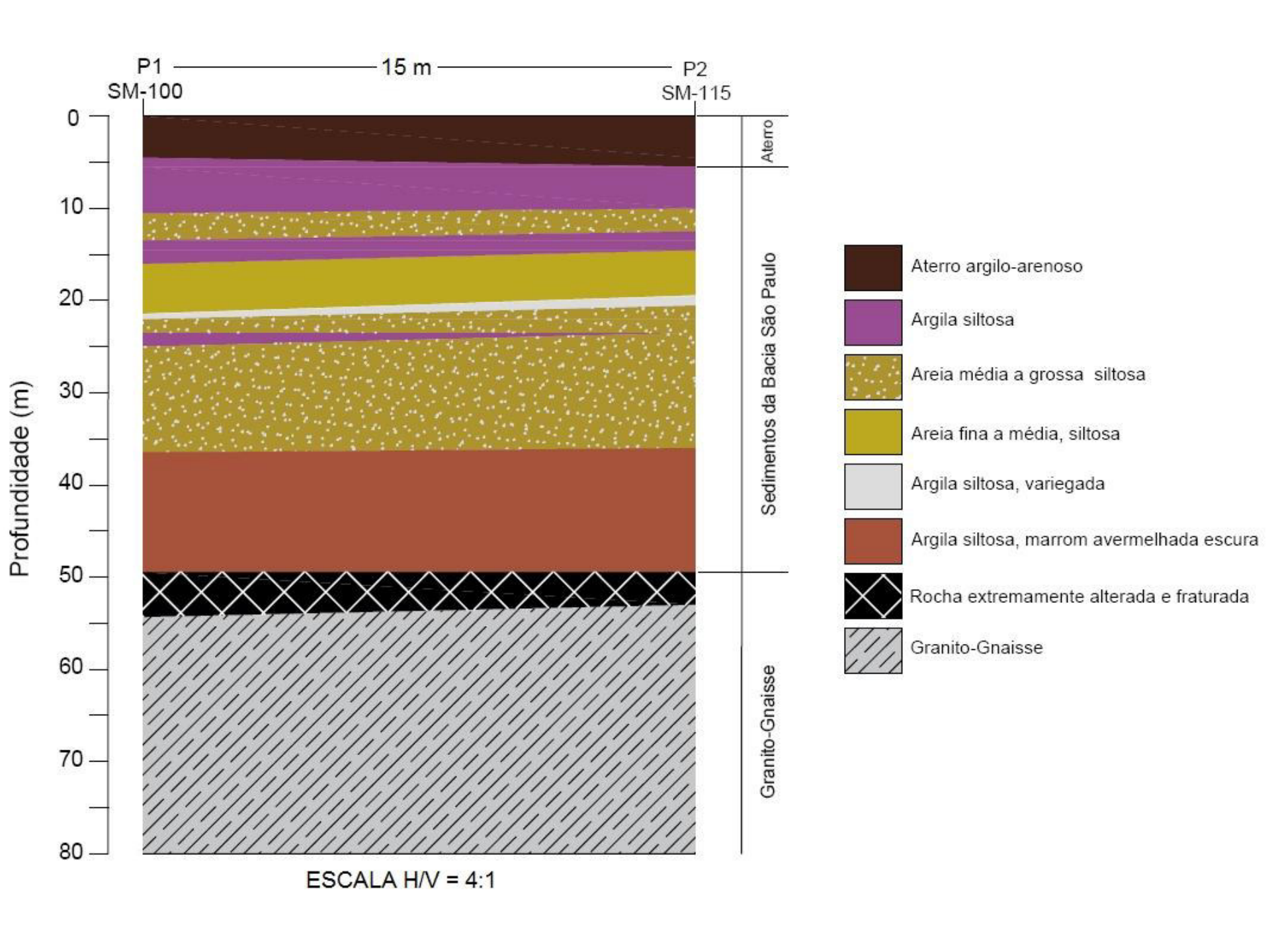
Ferramenta sônica

16º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental

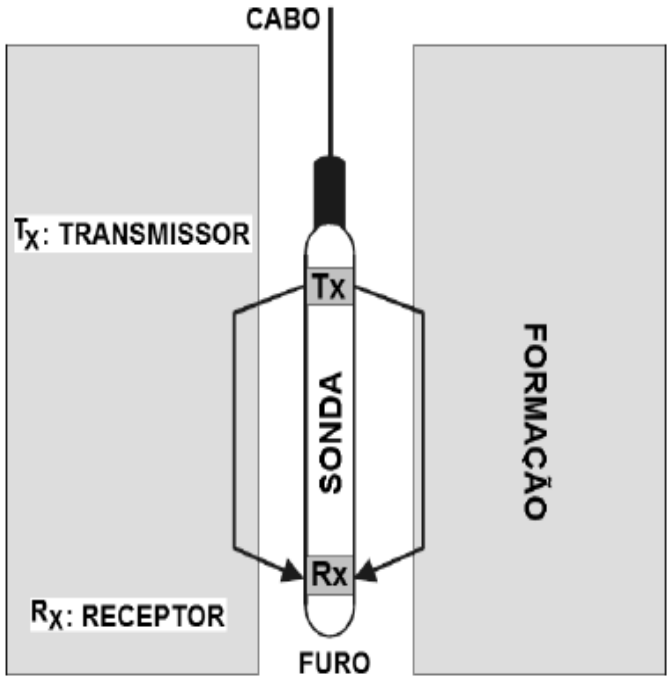
DETERMINAÇÃO DO PERFIL DE VELOCIDADES DAS ONDAS P E S, EM LITOLOGIAS DA BACIA SEDIMENTAR DE SÃO PAULO, UTILIZANDO ENSAIO SÍSMICO *DOWNHOLE* E PERFILAGEM SÔNICA

Otávio Coaracy Brasil Gandolfo[1]; Stefani Alves Borges[2]; Maria Carolina Silva Lima[3]
Carlos Alberto Birelli[4]

Figura 1. Localização dos poços no terreno em frente ao IAG. Ao fundo, o prédio do Instituto de Física da USP (Google Earth).


P1
SM-100
15 m
P2
SM-115
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Profundidade (m)
Aterro
Sedimentos da Bacia São Paulo
Granito-Gnaisse
ESCALA H/V = 4:1
Aterro argilo-arenoso
Argila siltosa
Areia média a grossa siltosa
Areia fina a média, siltosa
Argila siltosa, variegada
Argila siltosa, marrom avermelhada escura
Rocha extremamente alterada e fraturada
Granito-Gnaisse

PERFILAGEM SÔNICA

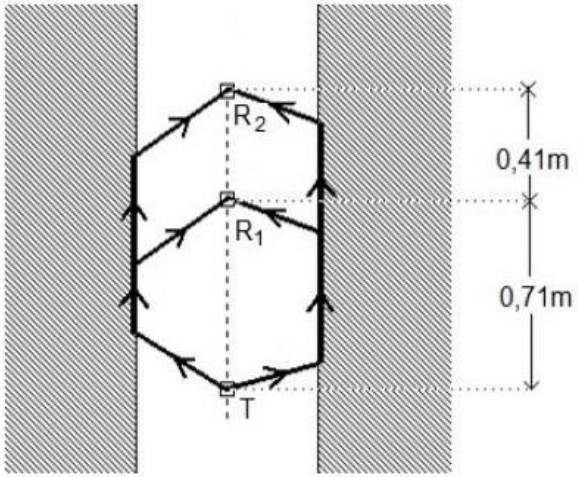


T = transmissor
R_1 = receptor 1 (perto)
R_2 = receptor 2 (longe)

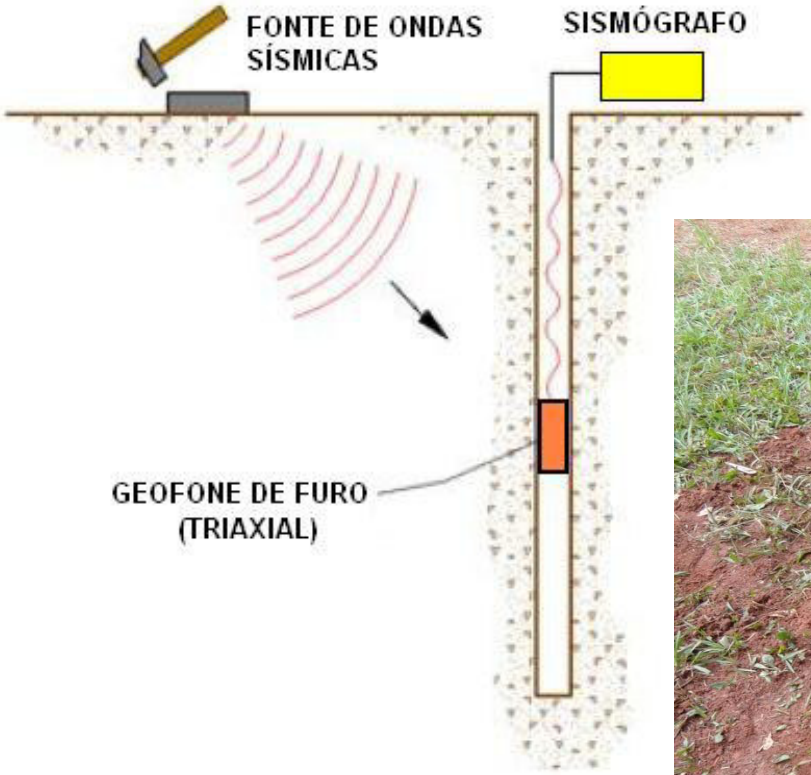
$$V\ (m/s) = \frac{0{,}41m}{T_{R2} - T_{R1}} \cdot 10^6$$

T_{R1} = tempo no receptor $R1$ (µs)

T_{R2} = tempo no receptor $R2$ (µs)



ENSAIO DOWNHOLE



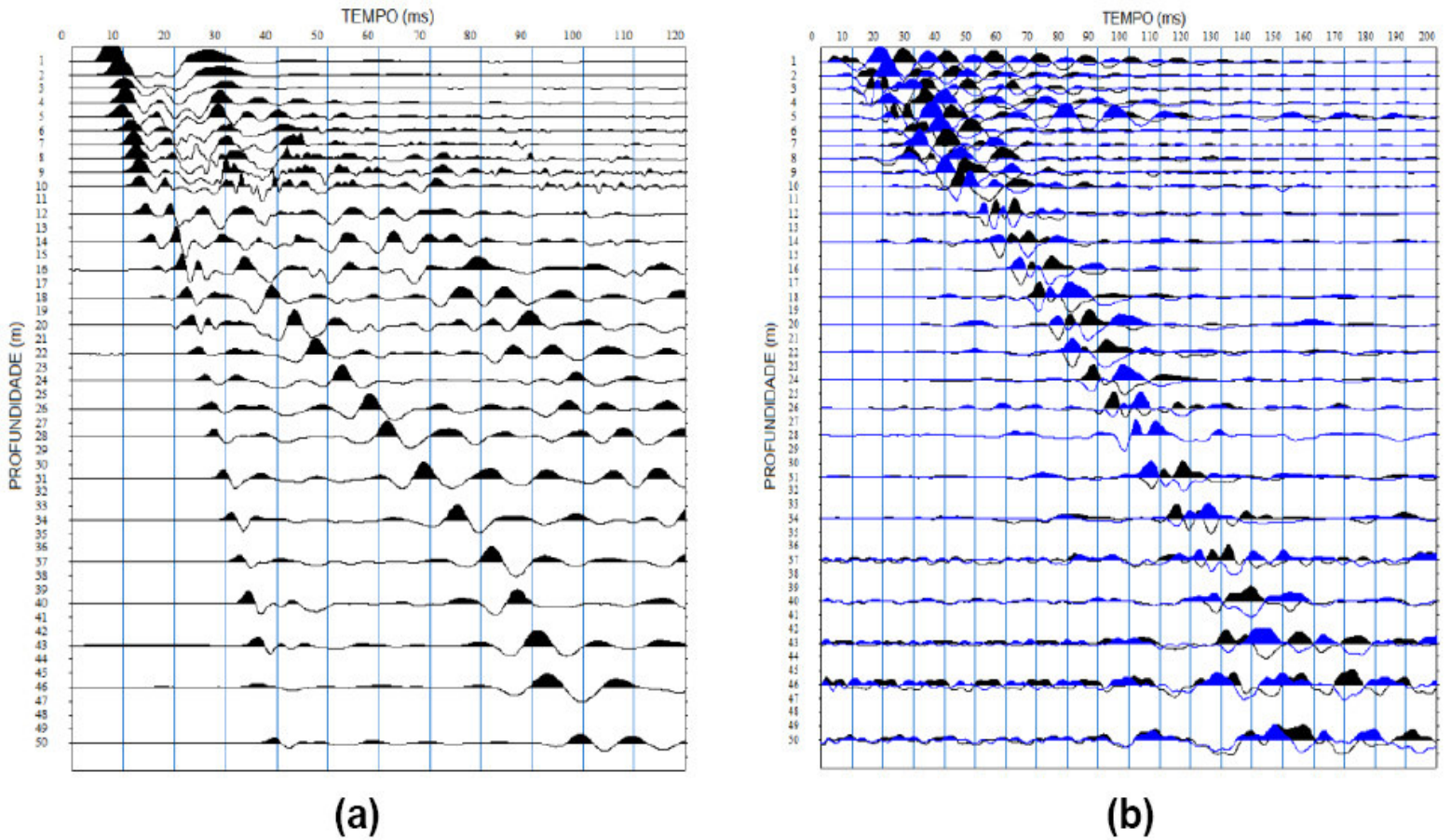


Figura 6. Sismogramas do ensaio *downhole*. (a) Registro da onda P. (b) Registro da onda S, com sobreposição de traços com polaridades invertidas, permitindo a identificação dos tempos de sua chegada.

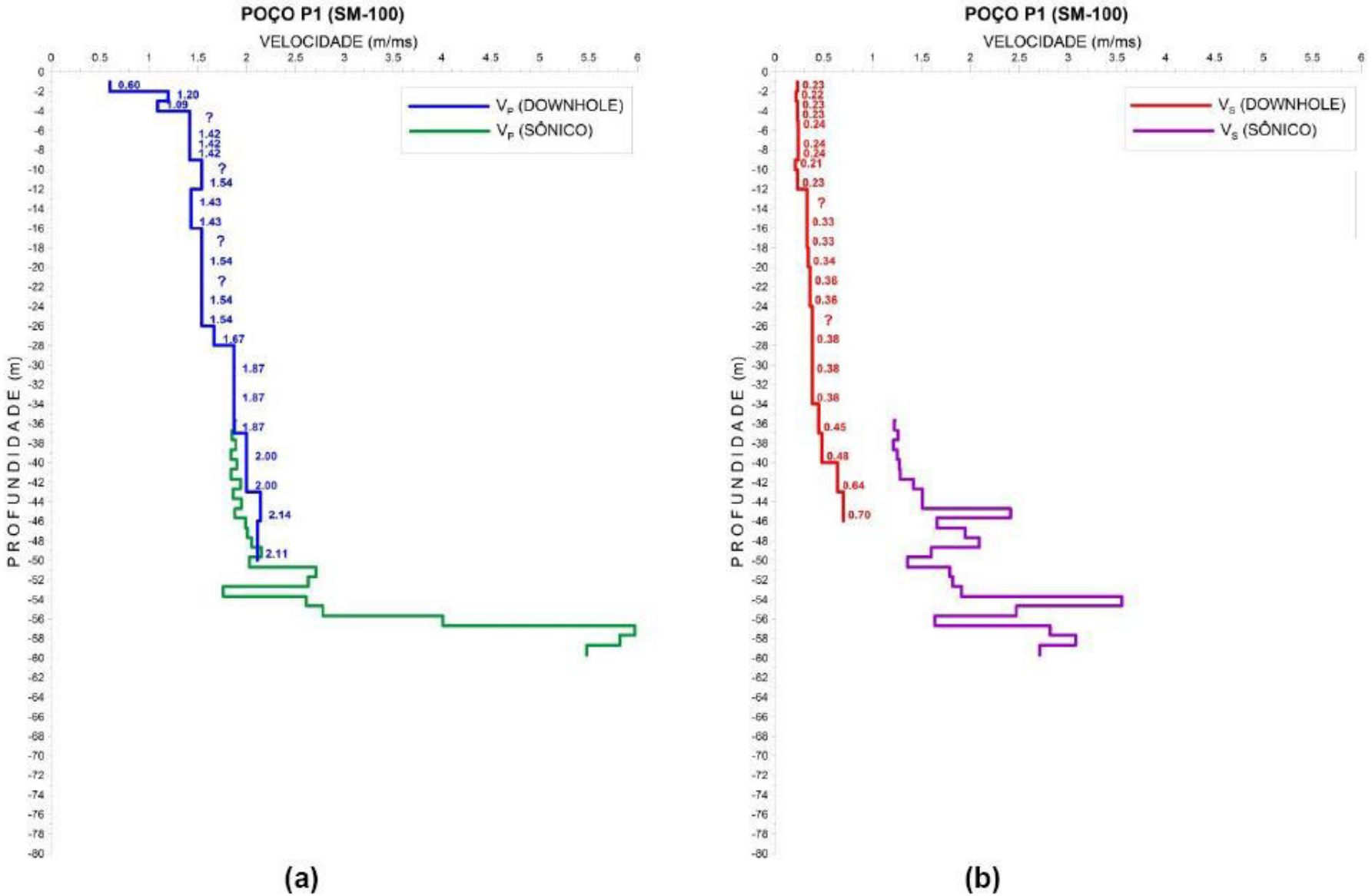


Figura 9. Integração dos resultados do ensaio *downhole* (que foi realizado no poço P2) e da perfilagem sônica no poço P1. (a) Perfil de velocidade da onda P. (b) Perfil de velocidade da onda S.

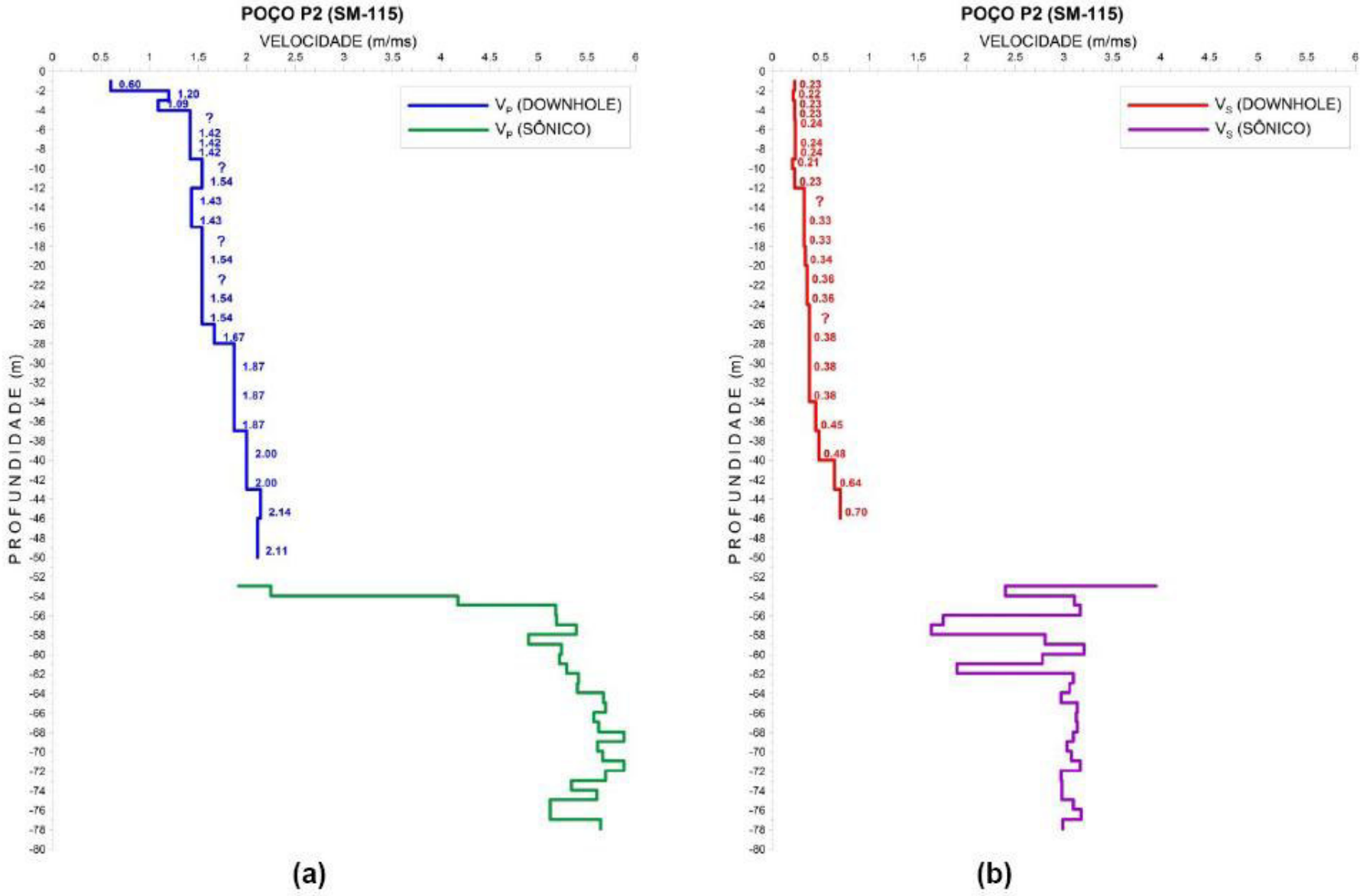
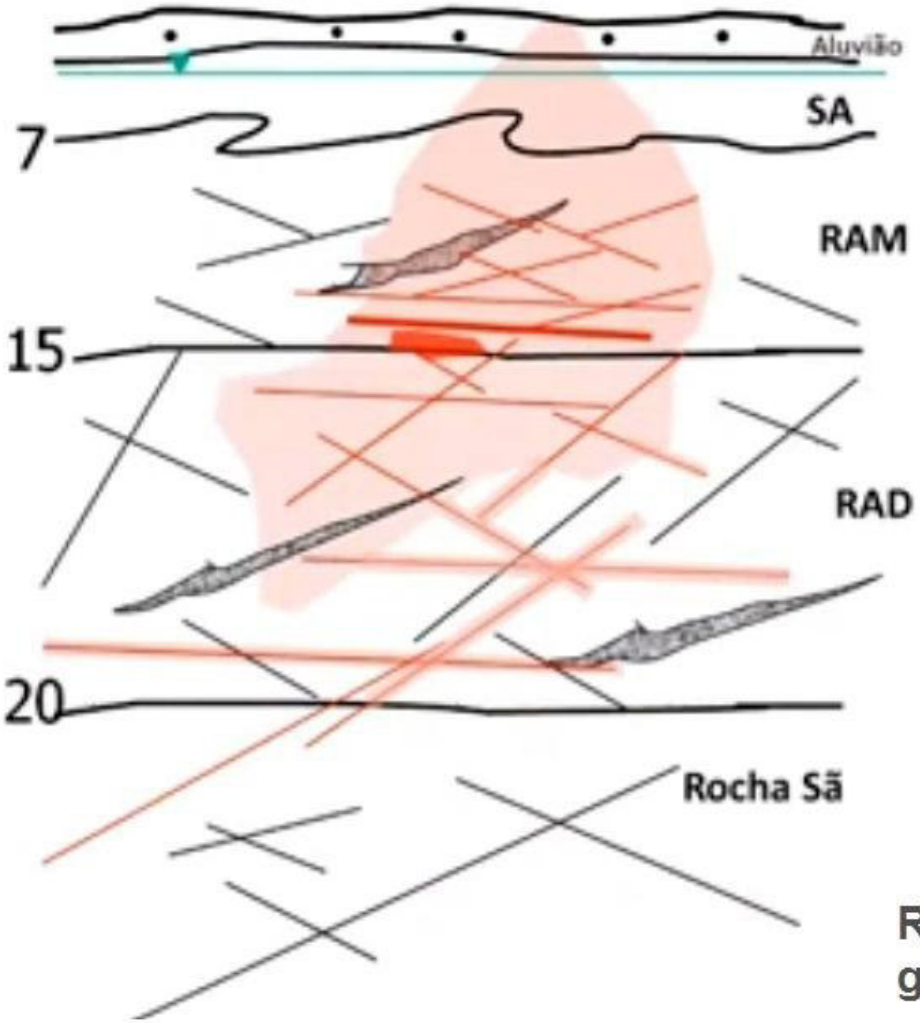


Figura 10. Integração dos resultados do ensaio *downhole* e da perfilagem sônica no poço P2. (a) Perfil de velocidade da onda P. (b) Perfil de velocidade da onda S.

Modelo Conceitual da Contaminação no Perfil de Alteração



Contaminante disseminado na matriz intergranular

Fase livre ou residual

Fratura

Fratura com fase dissolvida

Fratura com fase livre ou residual

Halo de difusão para a matriz intergranular

Veio de quartzo

Nível d'água

SA = Solo de Alteração de Rocha
RAM = Rocha alterada mole
RAD = Rocha alterada dura

Rochas: biotita gnaisse bandado, gnaisse fino e pegmatito

Fonte: Geólogo Reginaldo Bertolo

BHTV (BOREHOLE TELEVIEWER)

• Um outro método de medidas acústicas utiliza uma fonte de energia acústica que emite frequências muito maiores (**da ordem de centenas de KHz a MHz**)

• Como resultado é obtida uma imagem acústica da parede do furo de sondagem

$\Rightarrow$ **Técnicas de imageamento acústico**

BHTV (BOREHOLE TELEVIEWER)

- São medidos os tempos de trânsito a amplitude da onda acústica emitida e registrada por um transdutor que gira rápida e continuamente à medida que se desloca ao longo do poço

- Como resultado, é obtida uma imagem do sinal refletido na parede do poço

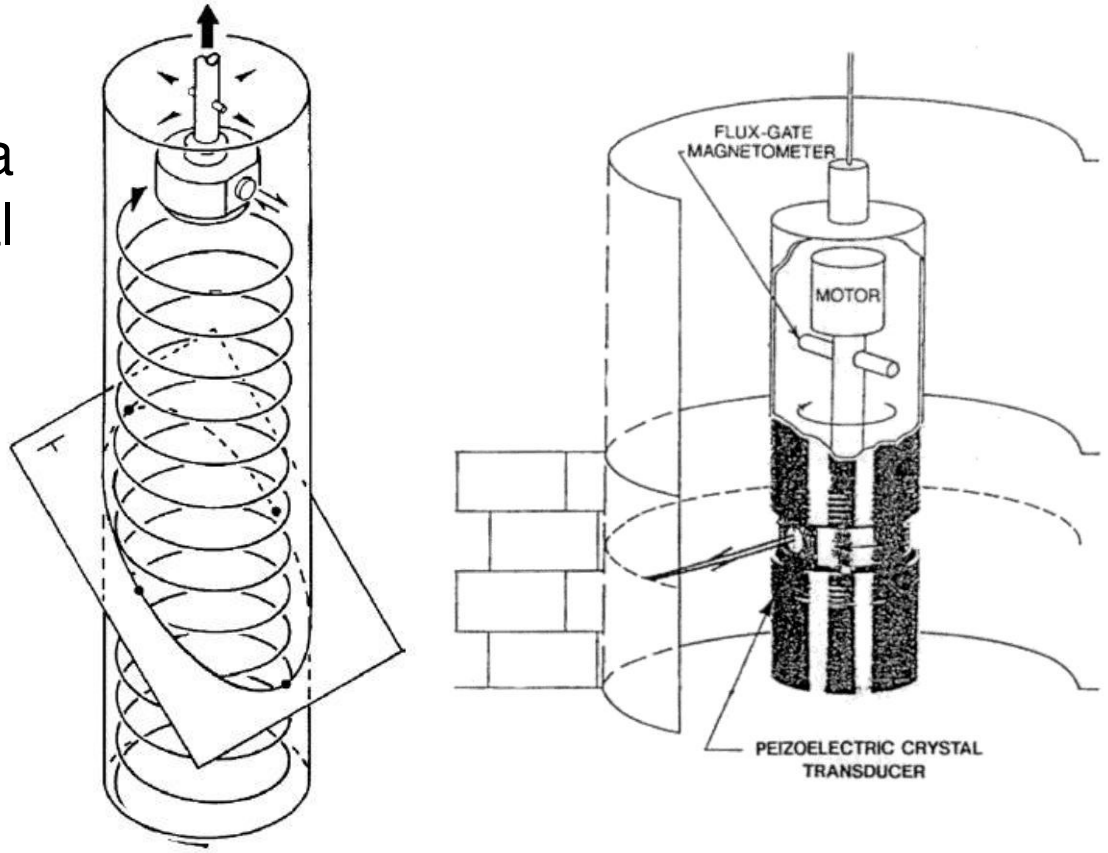


Fig. 19.29 The principle of BHTV operation.

BHTV (BOREHOLE TELEVIEWER)

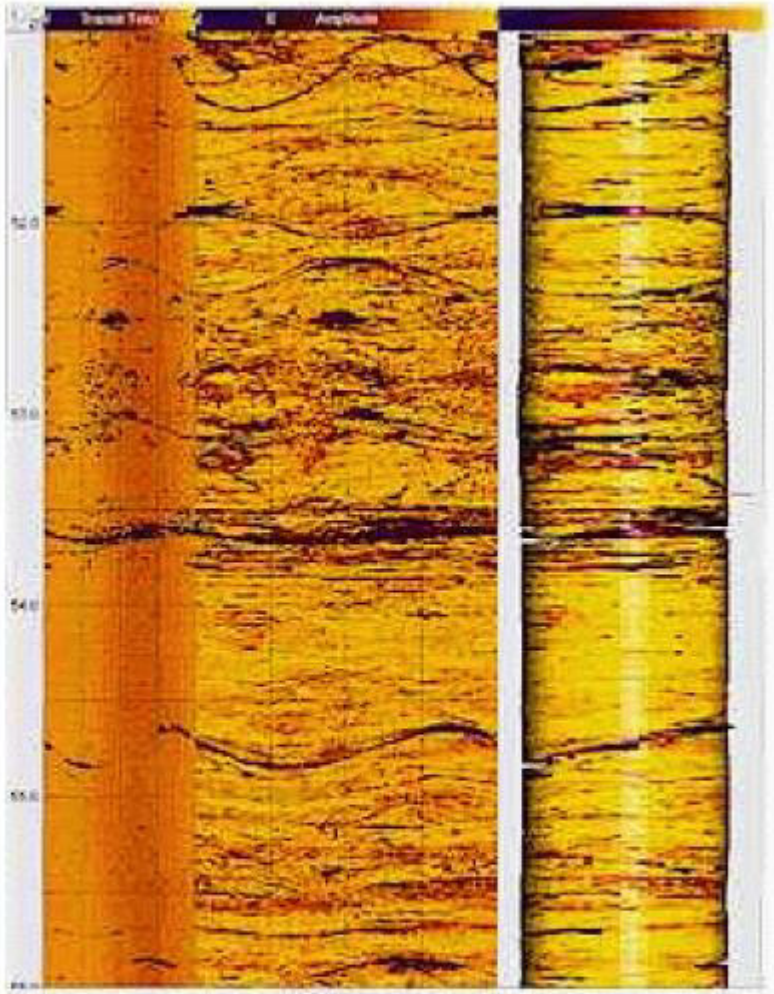
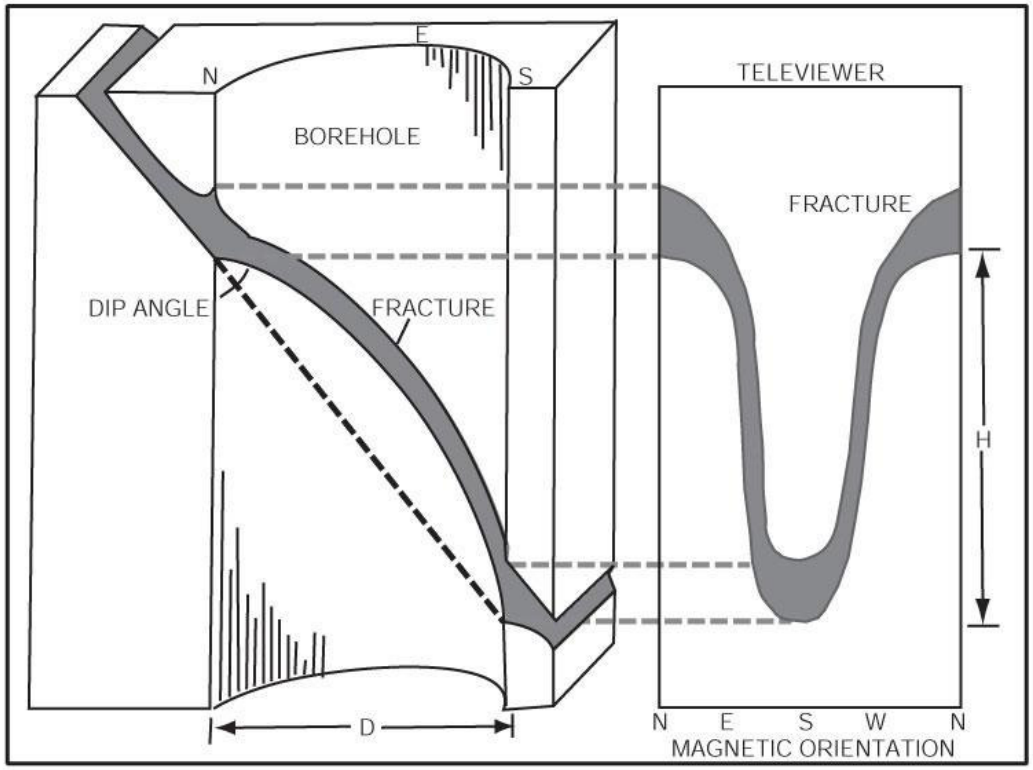
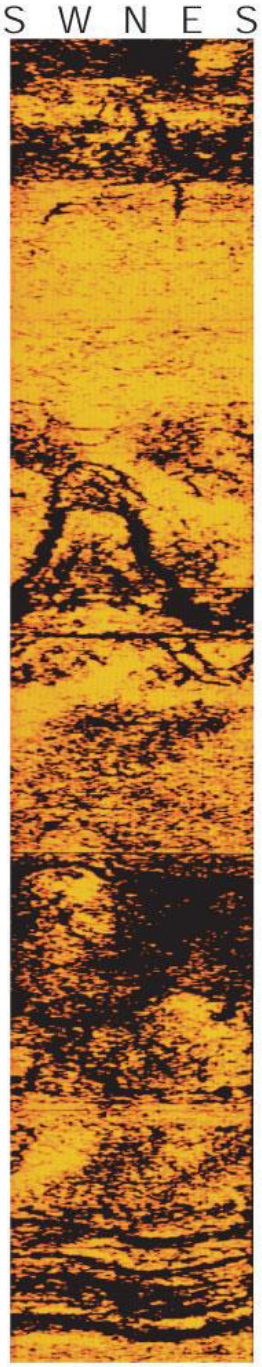


Figure 6-1. Acoustic Viewer 3-D Image of Borehole.

Courtesy of Downhole Surveys, Ltd.

Borehole Televiewer Data

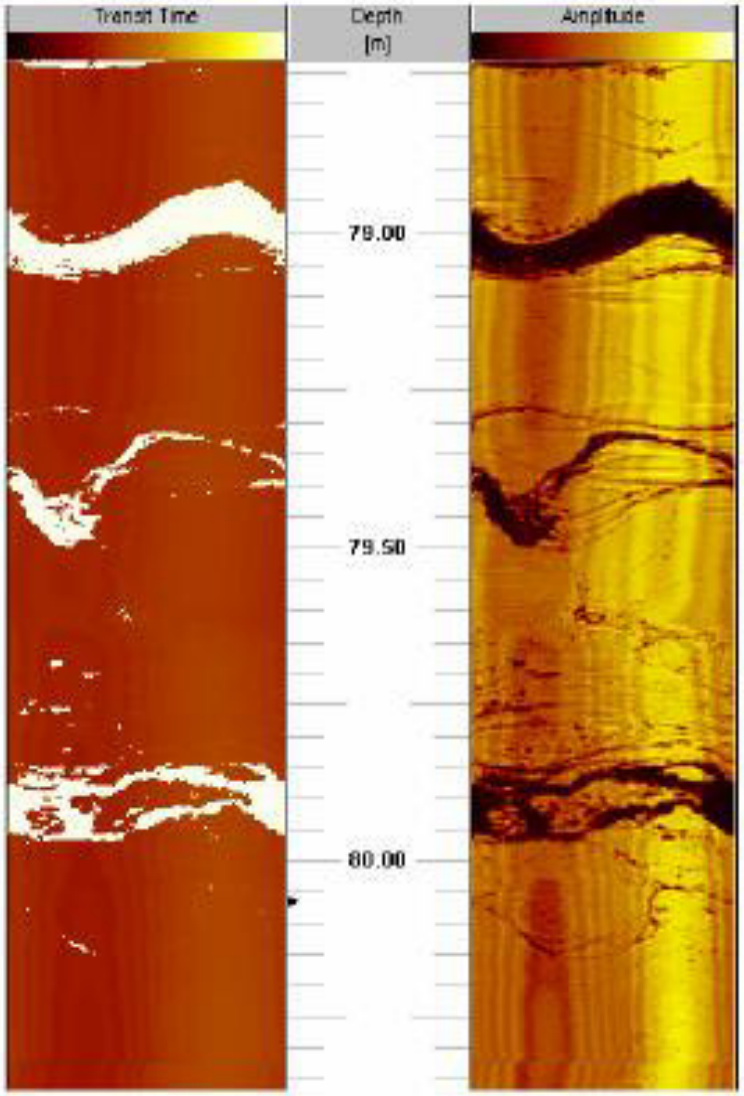


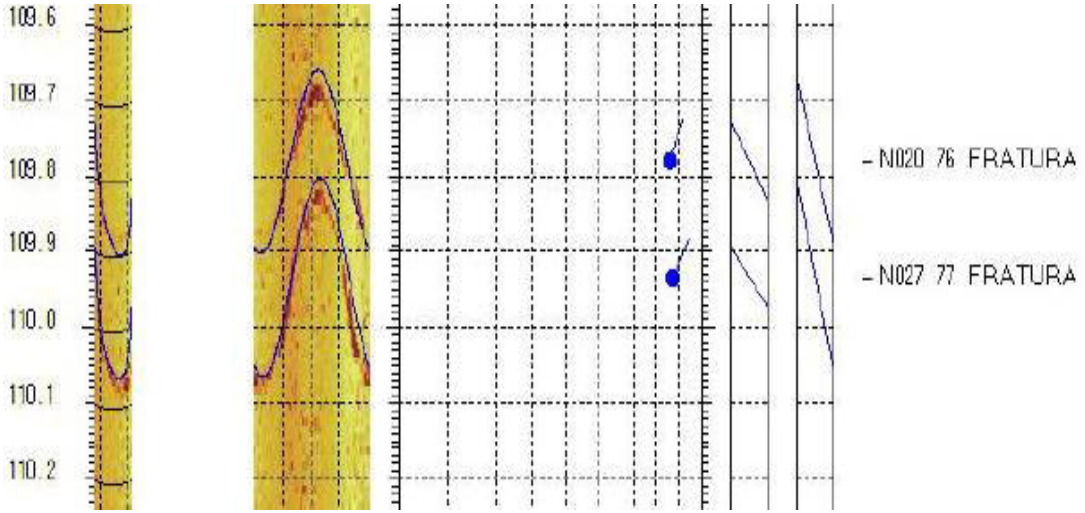


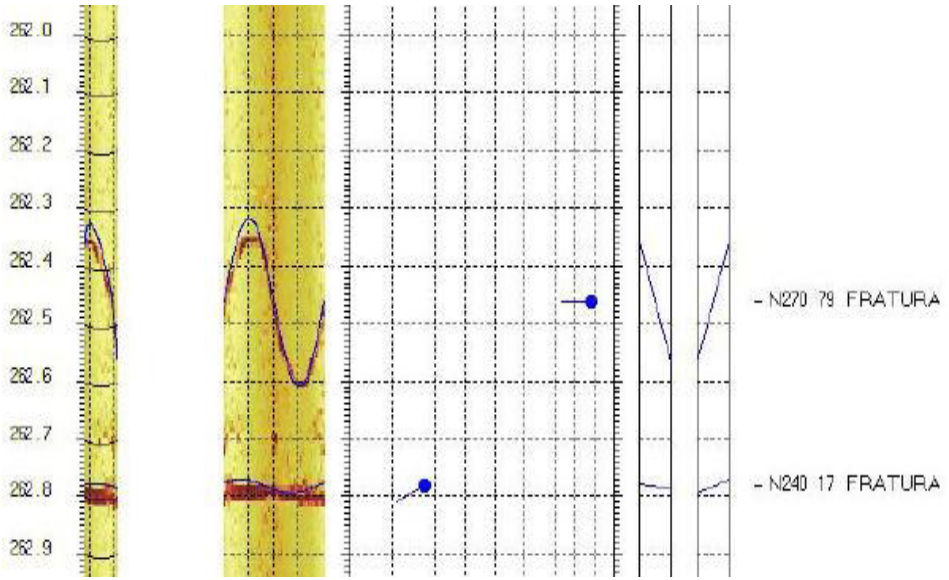
BHTV (BOREHOLE TELEVIEWER)

TEMPO DE TRÂNSITO

AMPLITUDE



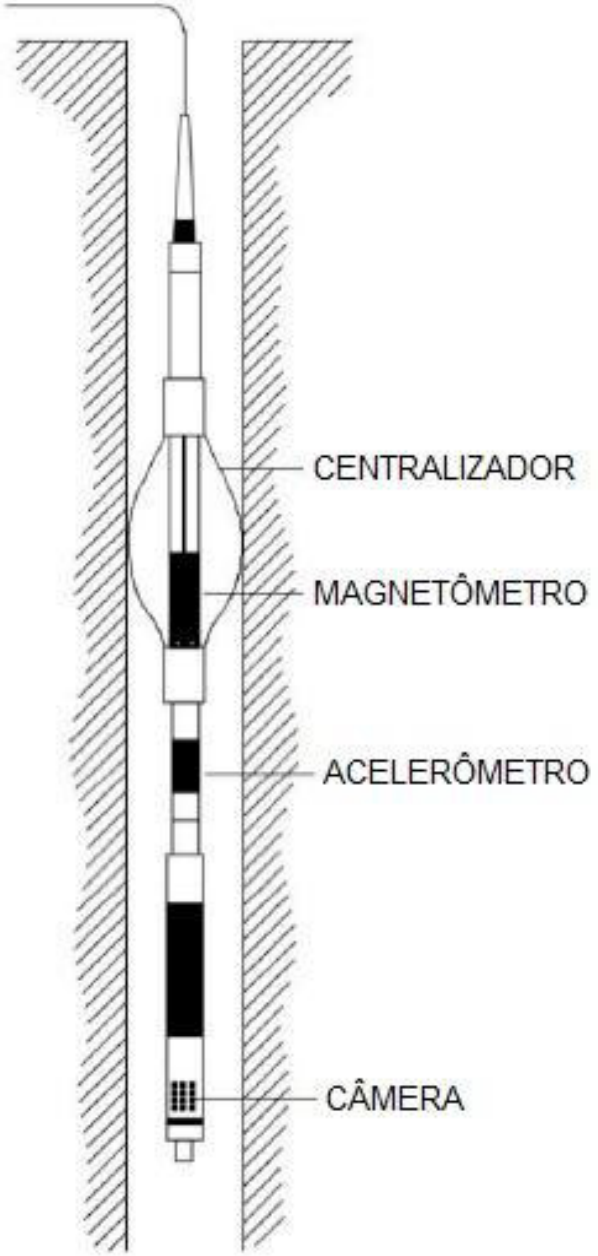


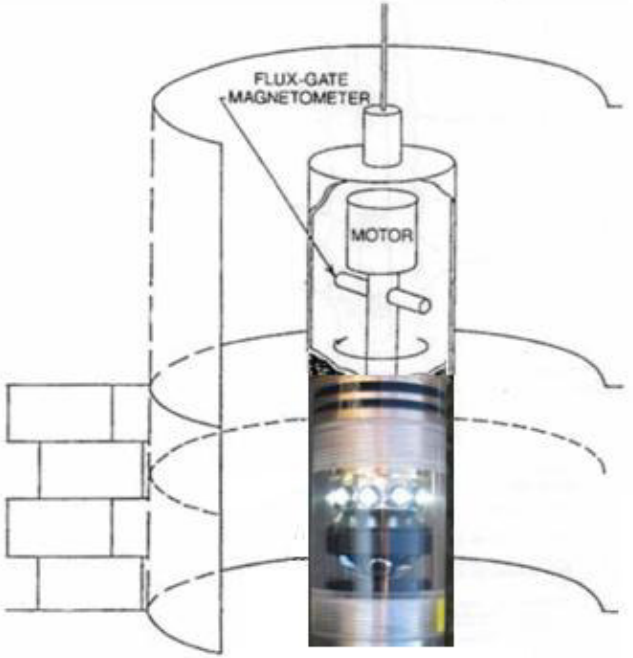


VÍDEO (ÓTICO) ⇒ OPTV (OPTICAL BOREHOLE TELEVIEWER)

A ferramenta faz uma filmagem da parede do poço, girando continuamente à medida que se desloca

Fonte: ALT Advanced Logic Technology **www.alt.lu**


CENTRALIZADOR
MAGNETÔMETRO
ACELERÔMETRO
CÂMERA


FLUX-GATE
MAGNETOMETER
MOTOR

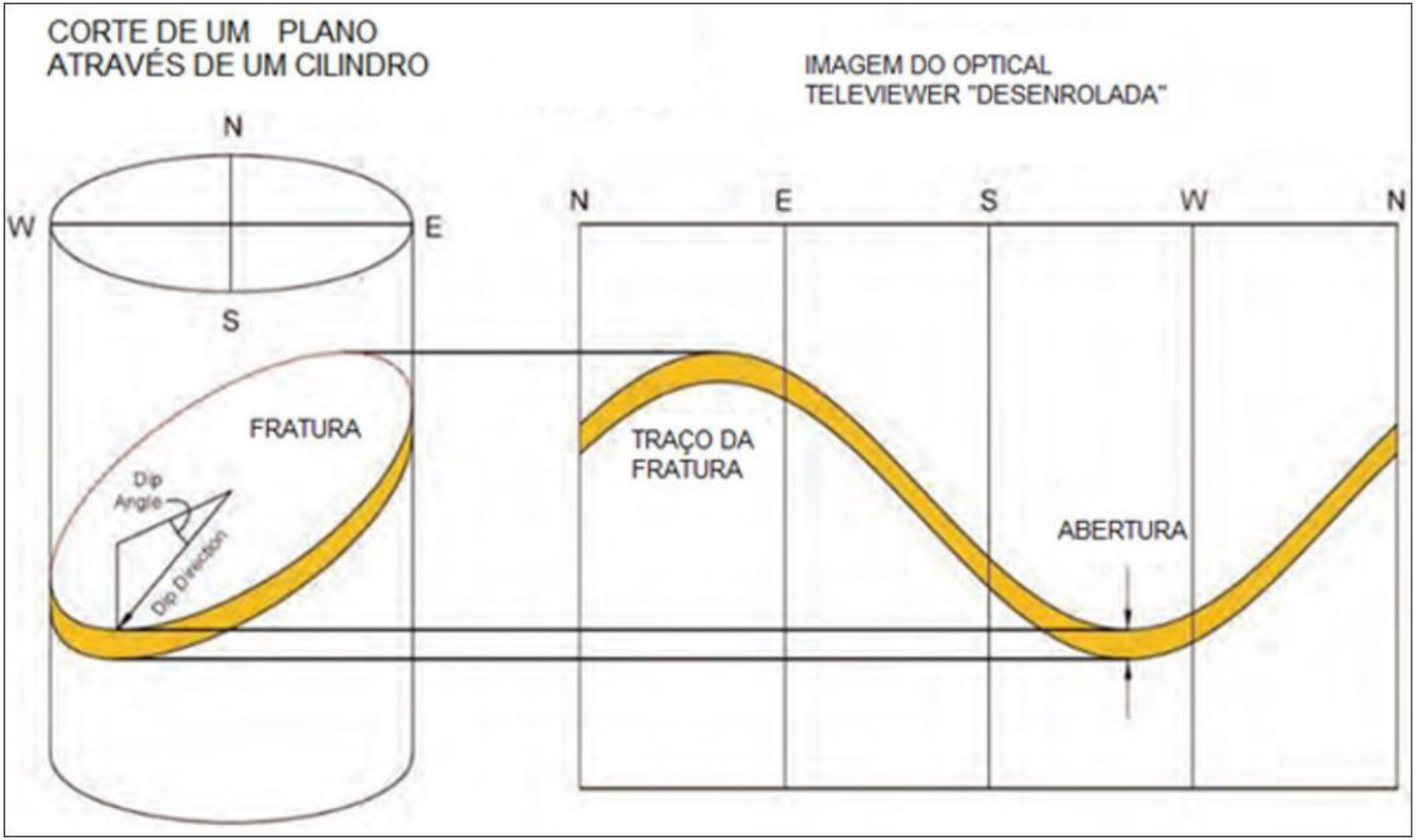
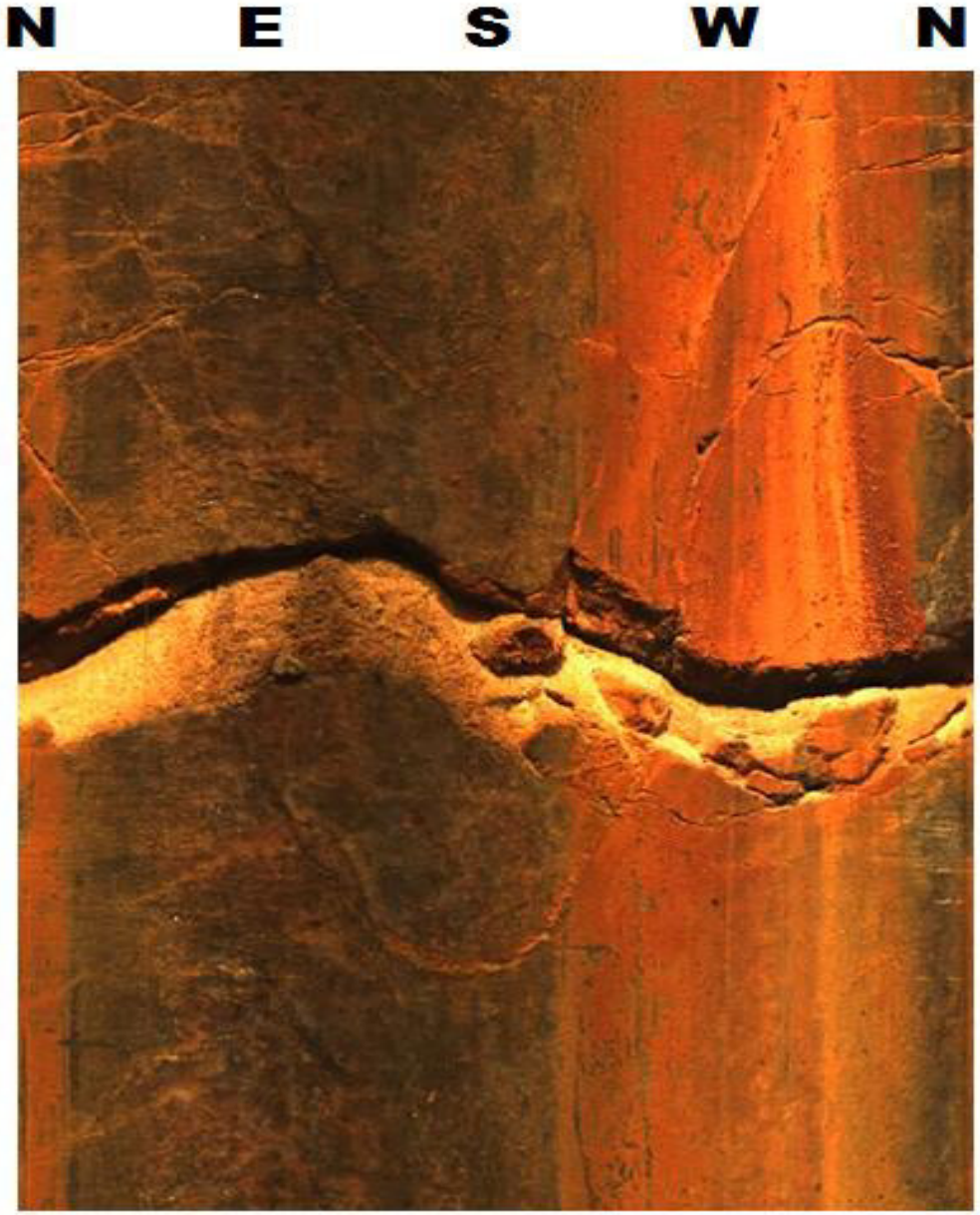


Figura 1. Formação e orientação da imagem gerada por OTV.

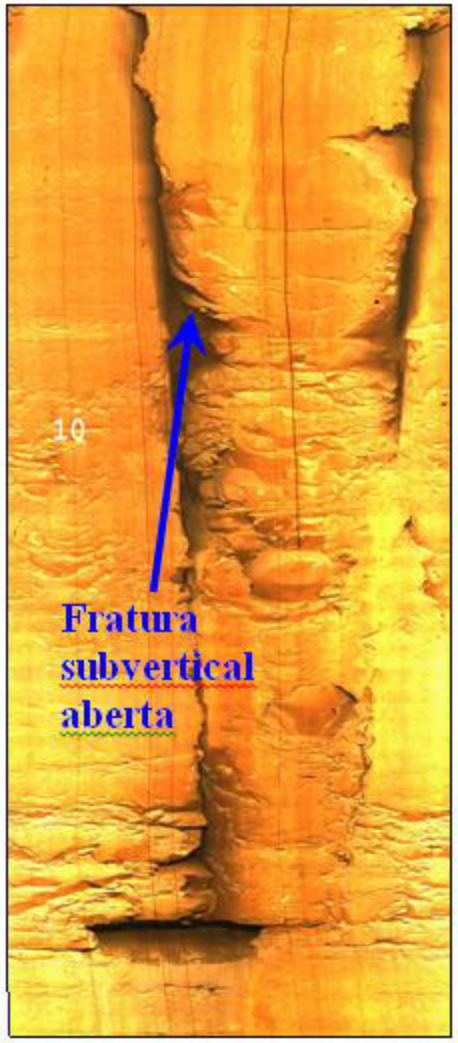
LIBARDI, D.M.Q.S; SALVADORETTI, P; GASPER, G.O.; AYODEJI, O.S.; ZINGANO, A.C.; DA COSTA, J.F.C.L; POOTER, E.K.
UTILIZAÇÃO DO TELEVISIONAMENTO ÓPTICO DE FUROS DE SONDAGEM NA AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DE TALUDES EM DEPÓSITOS DE FERRO
Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (RBGEA), v.11, n°1, 2021.

FERRAMENTA OPTV (OPTICAL TELEVIEWER)

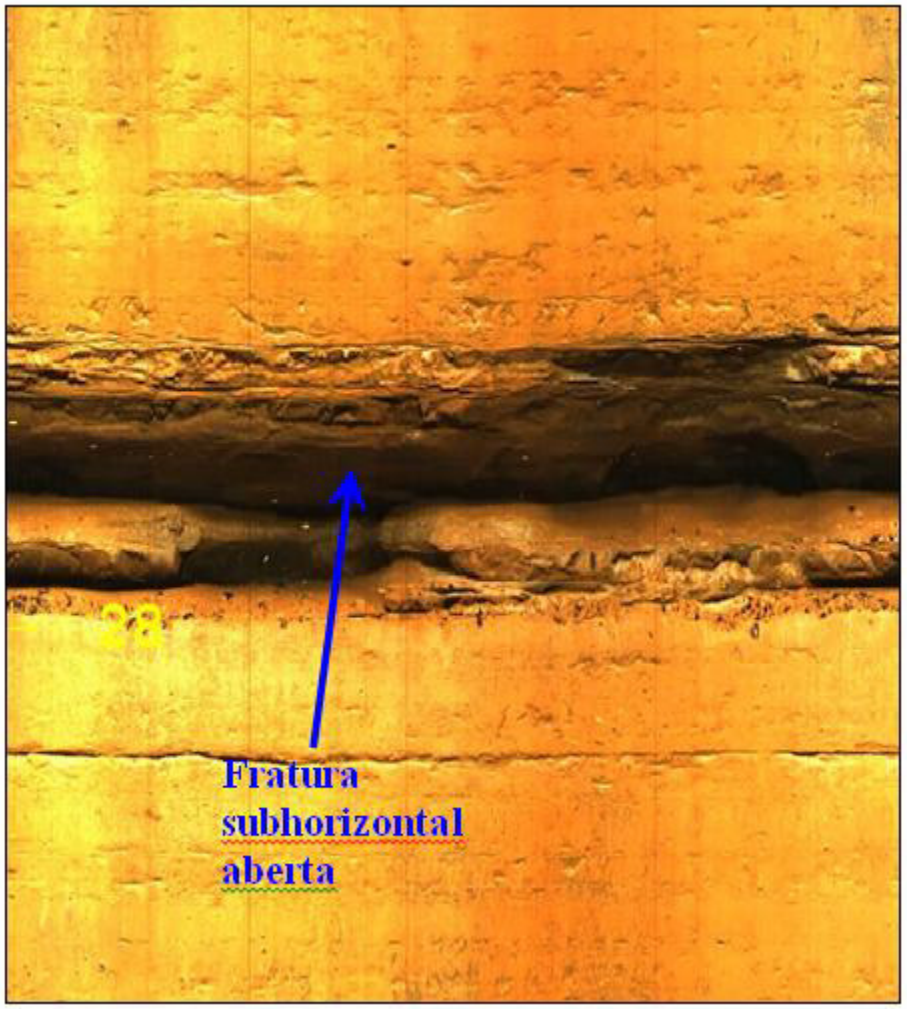


FRATURA EM GRANITO

Fratura subvertical



Fratura subhorizontal



borehole SM-08
zone from 49.610 to 1.971 m
North ref is true
Dip format: Dip-azimuth and Dip

	Depth	Azimuth	Dip	
26	30.348	N312	62.8	foliacao
27	29.934	N157	13.8	fratura aberta
28	29.844	N166	10.5	fratura aberta
29	28.333	N330	66.9	foliacao
30	28.001	N325	62.3	foliacao
31	26.874	N321	69.6	foliacao
32	26.151	N315	73.7	foliacao
33	25.785	N080	52.7	fratura preenchida
34	25.619	N305	40.3	foliacao
35	25.459	N317	48.2	foliacao
36	24.859	N316	55.9	foliacao
37	23.600	N241	57.2	fratura preenchida
38	23.424	N322	62.4	foliacao
39	21.555	N320	70.2	foliacao
40	20.910	N070	49.2	fratura preenchida
41	20.061	N057	51.7	intrusao granitica
42	19.975	N334	64.3	foliacao
43	19.673	N338	69.7	foliacao
44	18.326	N065	22.6	fratura preenchida
45	16.998	N327	54.7	foliacao
46	16.736	N319	71.4	foliacao

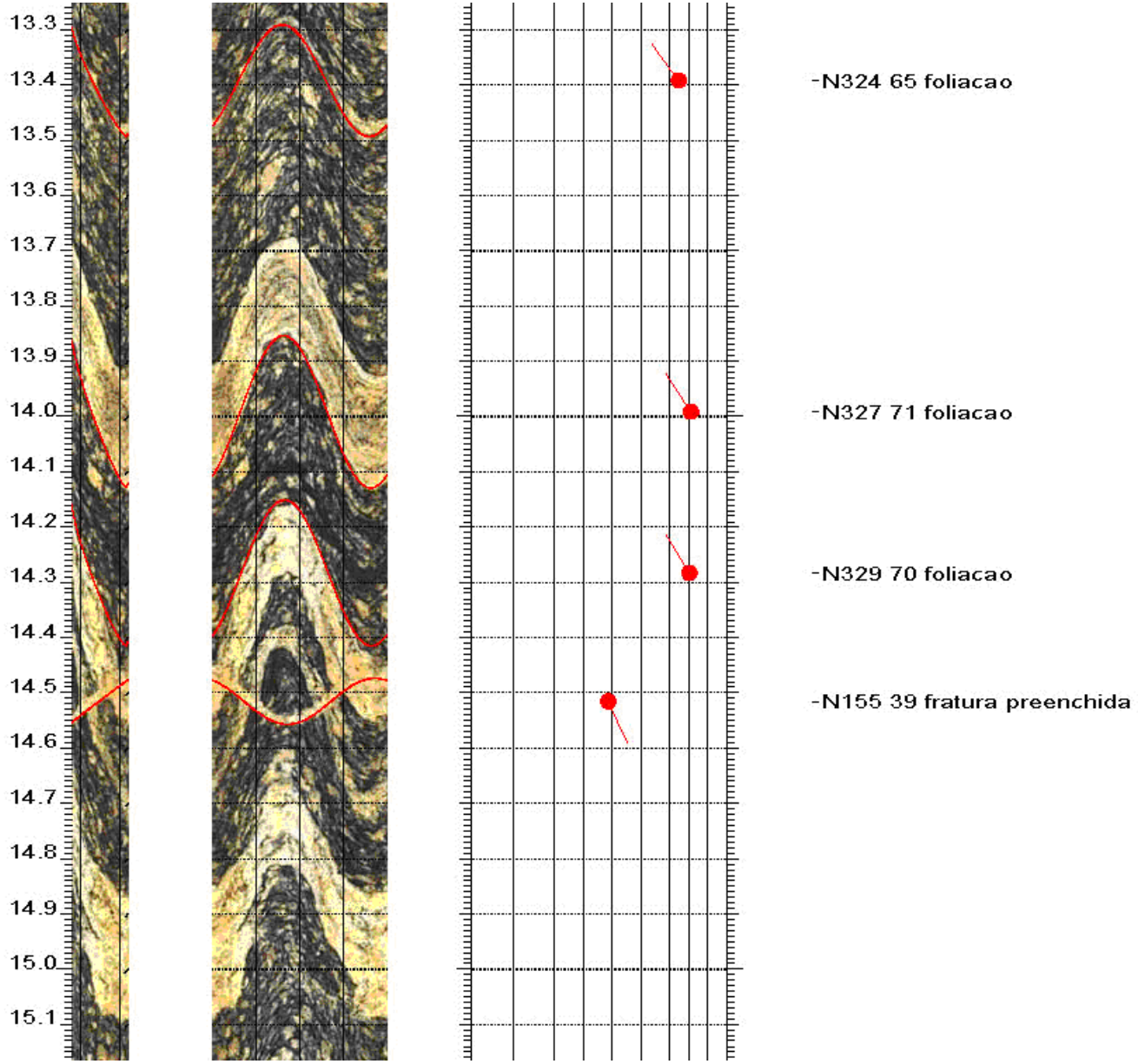


Imagem OPTV de gnaisse milonítico

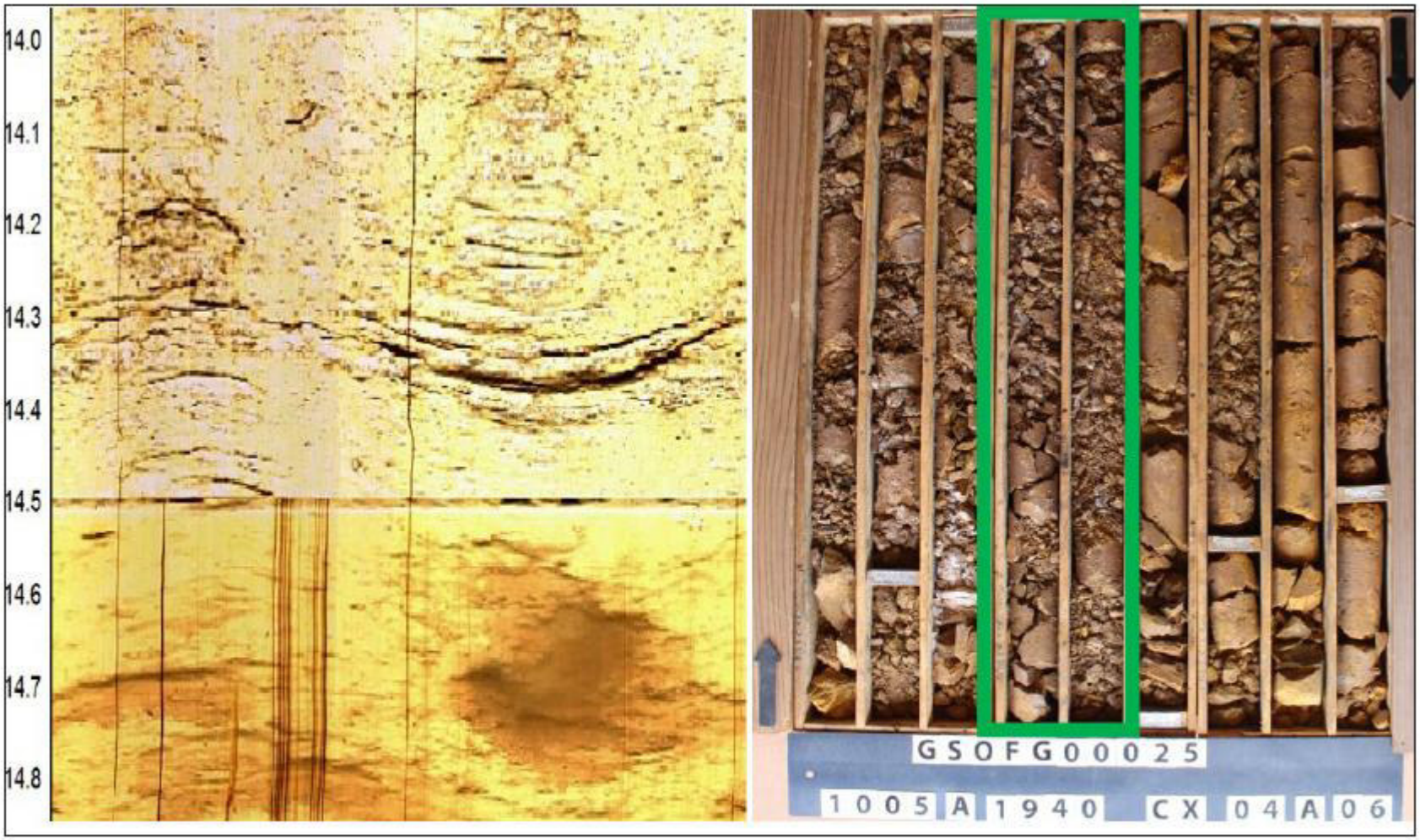


Figura 3. Imagem de fratura em litologias friáveis (à esquerda), ao lado da foto de testemunhos de sondagem (à direta). O fraturamento é visível somente no televisionamento. (Nível d'água em 14,5m).

LIBARDI, D.M.Q.S; SALVADORETTI, P; GASPER, G.O.; AYODEJI, O.S.; ZINGANO, A.C.; DA COSTA, J.F.C.L; POOTER, E.K.
UTILIZAÇÃO DO TELEVISIONAMENTO ÓPTICO DE FUROS DE SONDAGEM NA AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DE TALUDES EM DEPÓSITOS DE FERRO
Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (RBGEA), v.11, n°1, 2021.

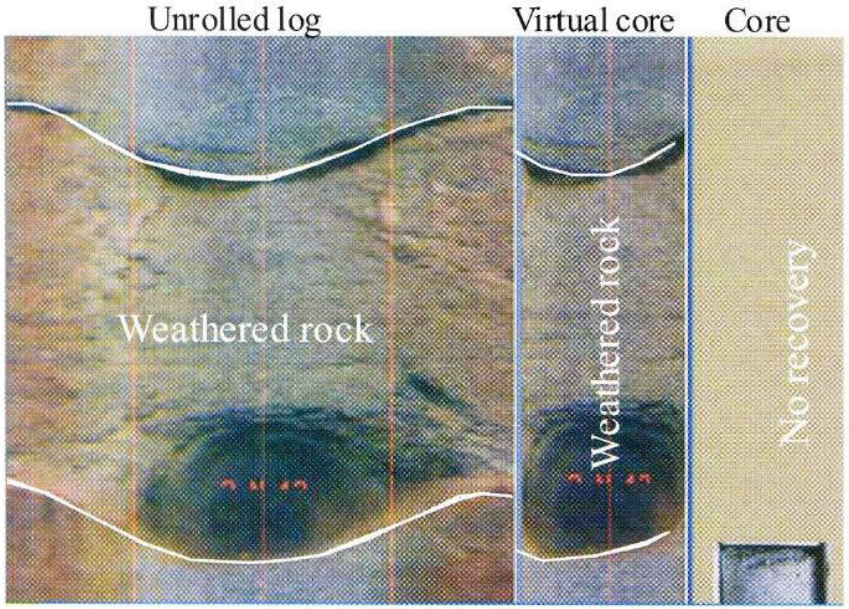


Figure 3. Weathered rock image

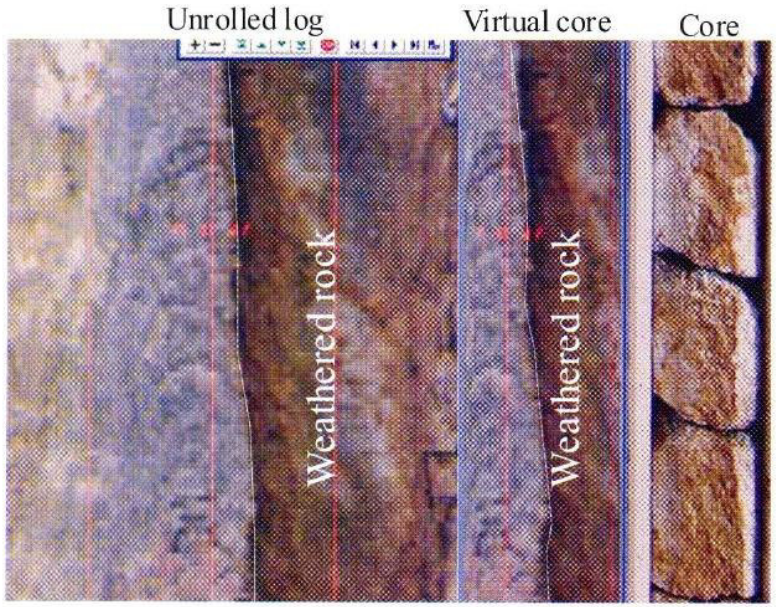


Figure 6 Voids and erodable material image

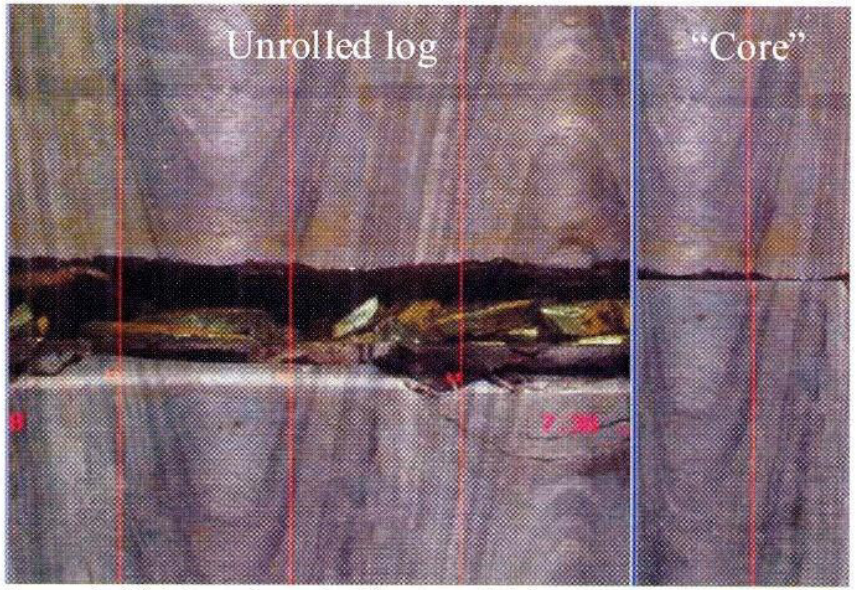
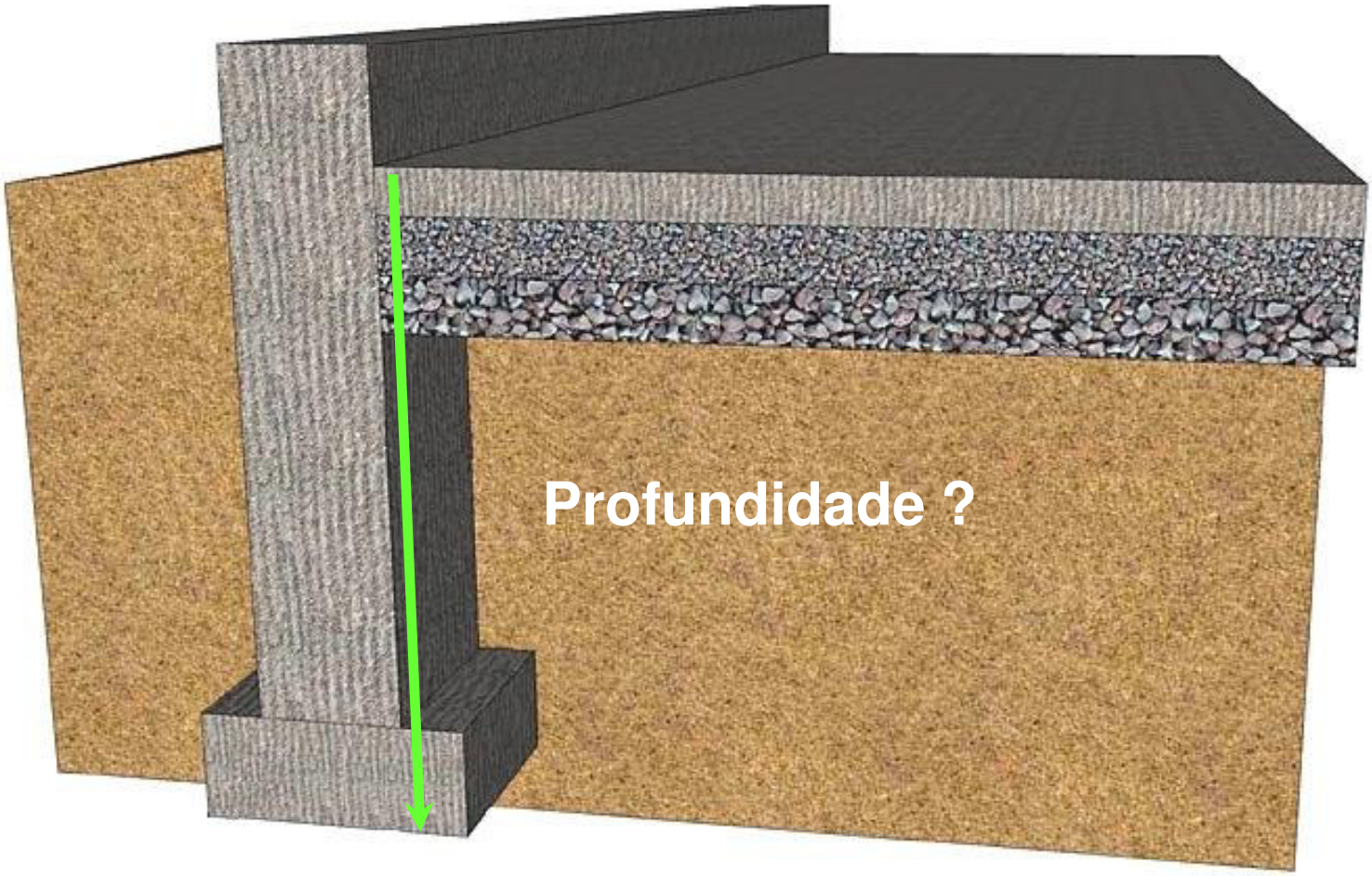


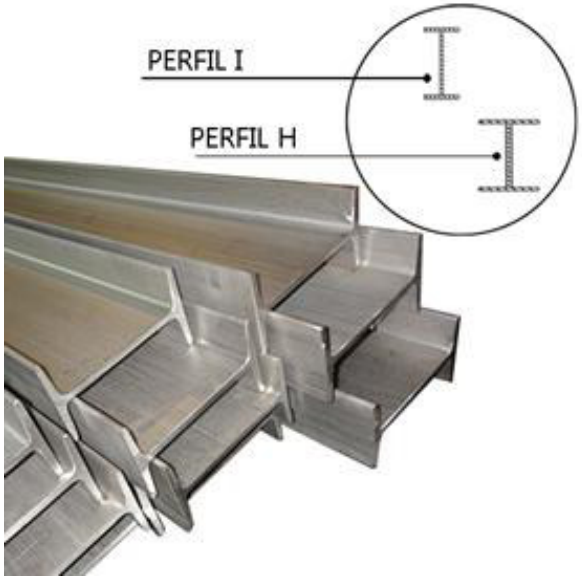
Figure 5. Voids and washable material image

Fonte: Baillot et al. Comparing 360º televising of drill hole walls with core logging

Determinação da profundidade de fundações


Profundidade ?

Estacas pré-moldadas de concreto com seções transversais diversas



Estaca metálica de seção H e de seção I

Estacas prancha de aço (steel sheet piles)

Estacas de madeira

PIT (PIT - Pile Integrity Test)
Ensaio de Integridade em Estaca

Consiste na colocação de um acelerômetro no topo da estaca sob teste e na aplicação de golpes com um martelo de mão

SE/IR – 1 System

SE = Sonic Echo / IR = Impulse Response

Ensaio PIT

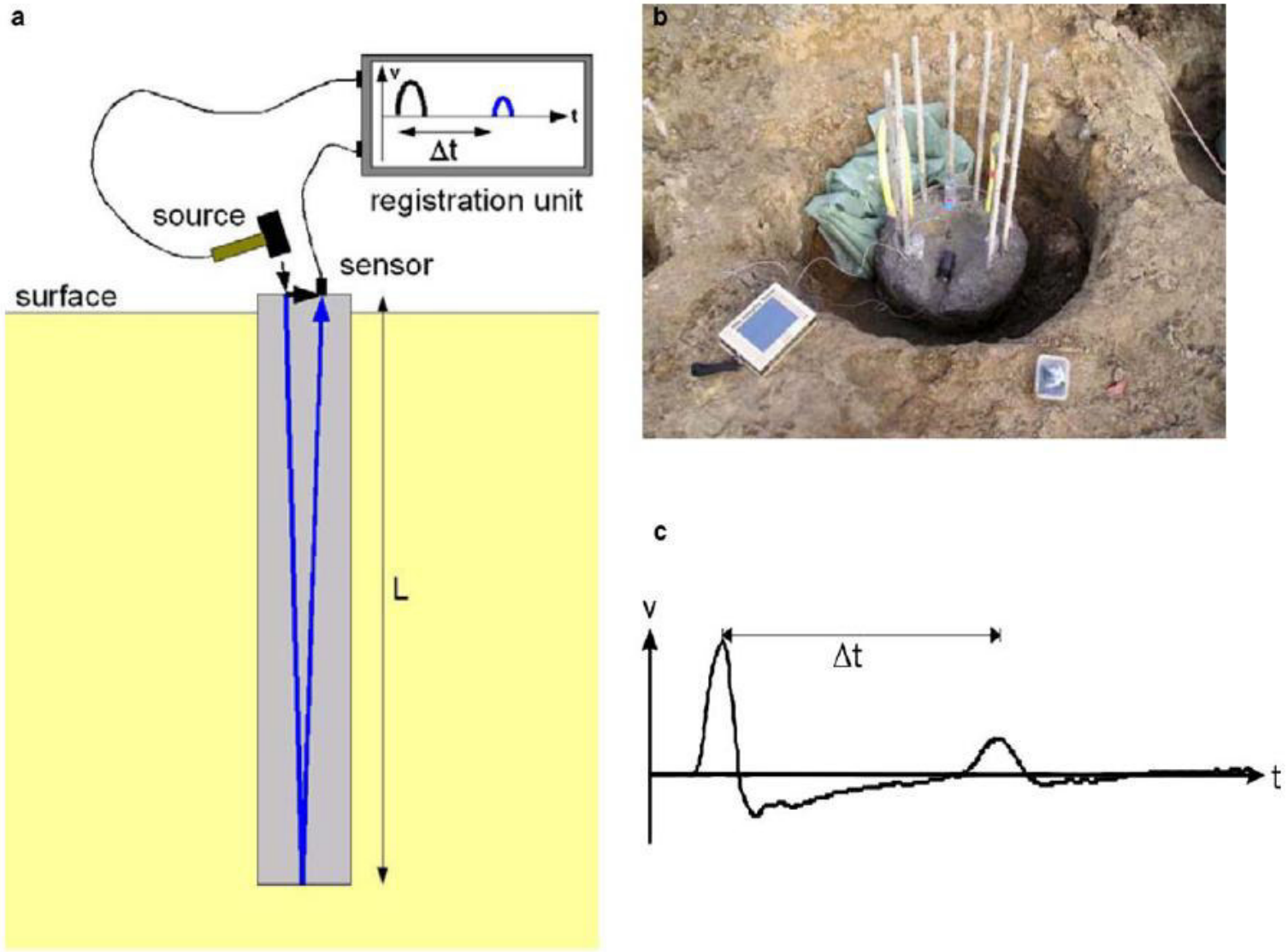
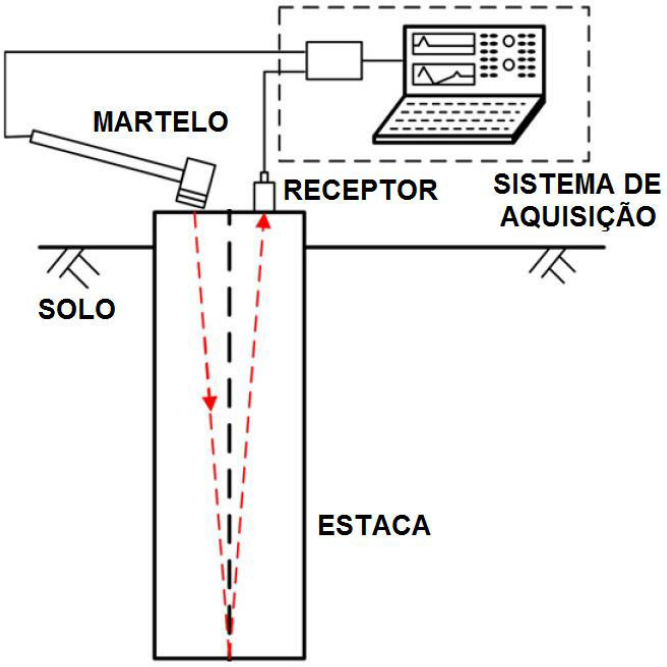
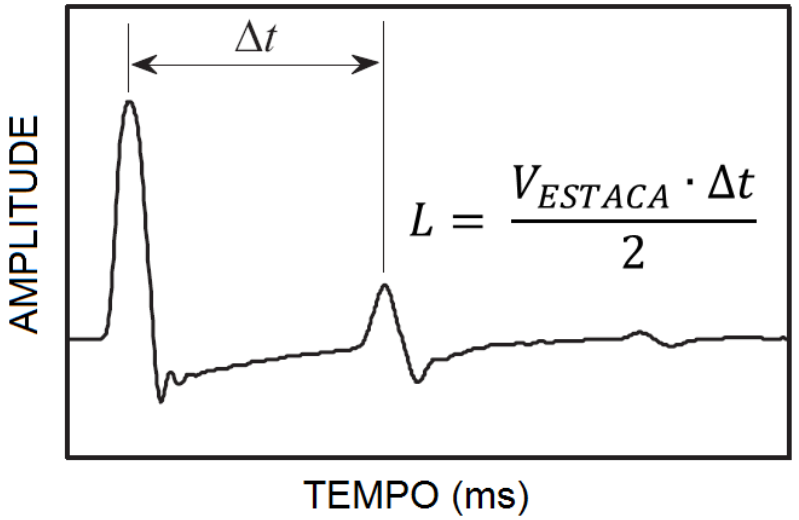


Fig. 1. (a) Principle of the low-strain method and (b) the pile testing device with a sensor and a hammer at the pile top, and (c) example record.

Niederleithinger & Taffe, 2006

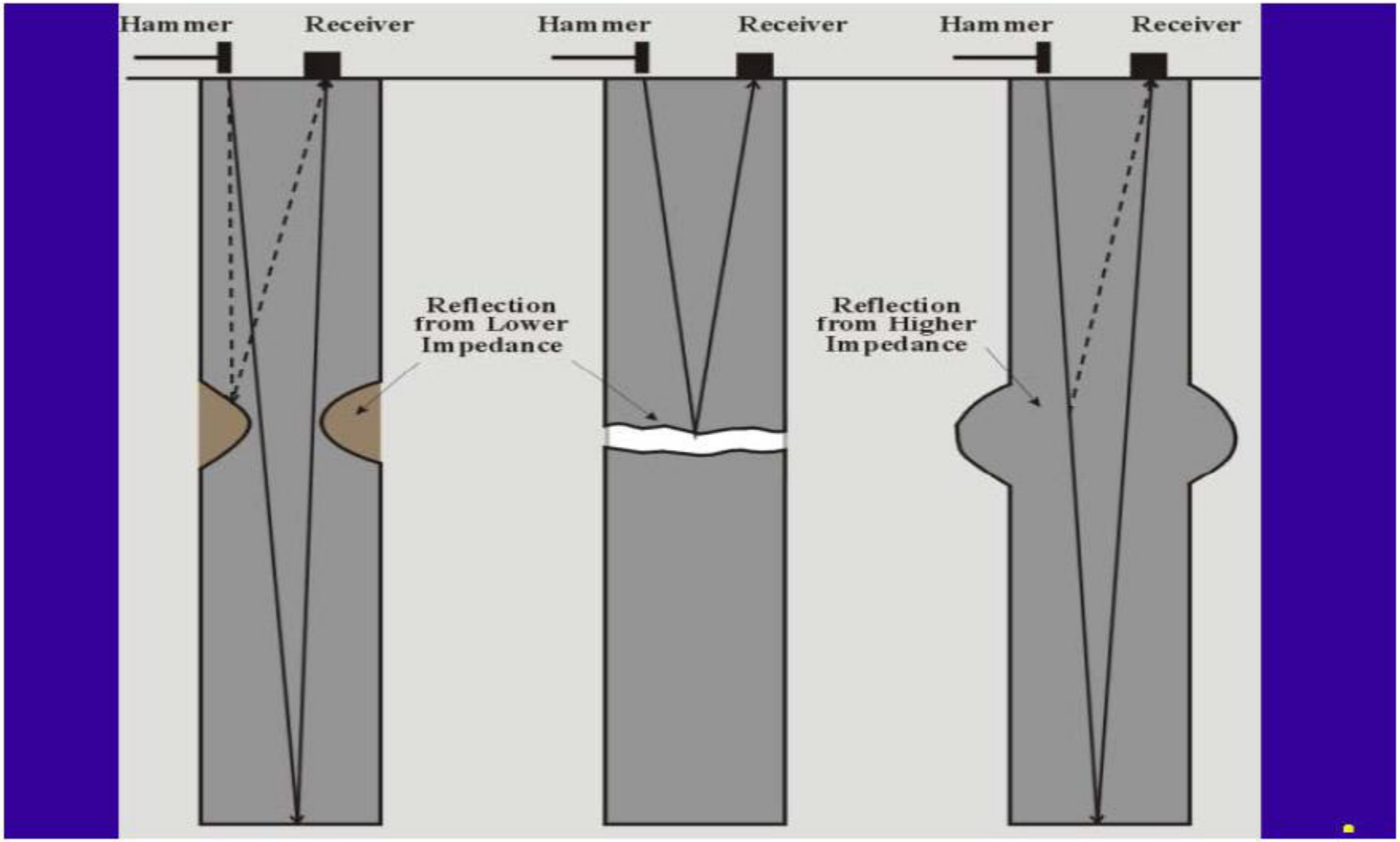
- Conhecendo-se V_{onda} e o tempo transcorrido entre a aplicação do golpe e a chegada da reflexão pode-se determinar a exata localização dessa variação



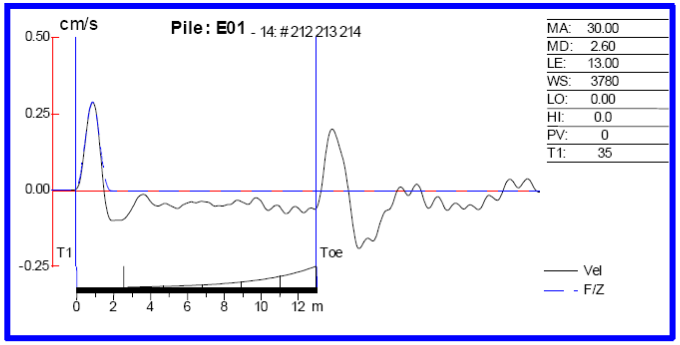


Típico resultado de um ensaio *SE* (modificado de Huang et al., 2012).

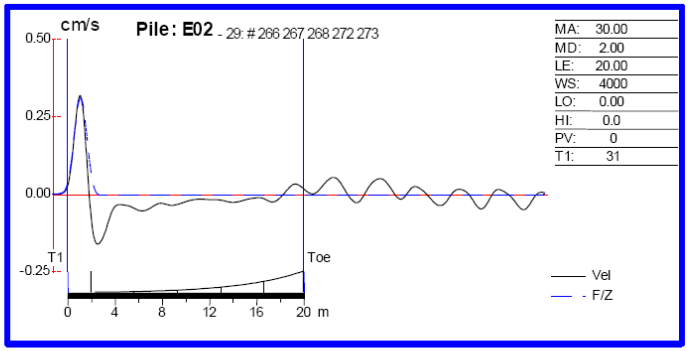
Low Strain Integrity Testing of Deep Foundations – Sonic Echo/Impulse Response Methods



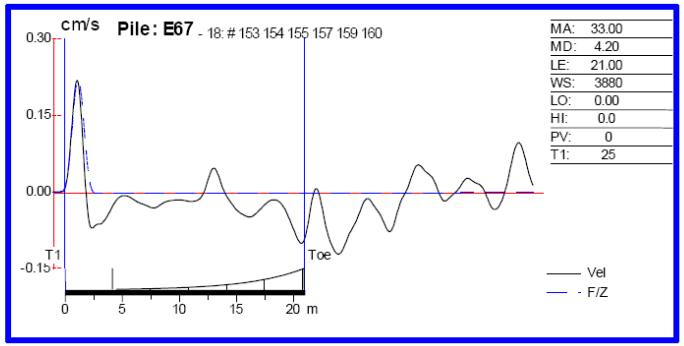
Fonte: Olson Engineering



Sinal típico de estaca contínua com ponta nítida

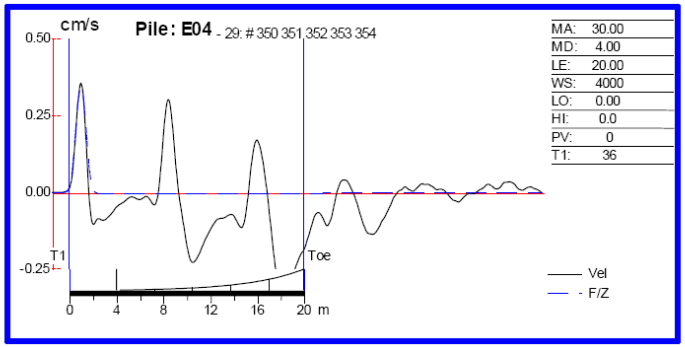


Sinal típico de estaca contínua sem ponta nítida

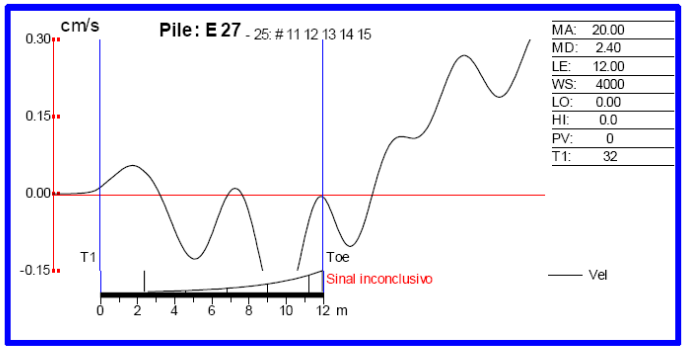


Sinal típico de estaca com anomalia

Fonte: Modulus Engenharia



Sinal típico de estaca com dano



Exemplo típico de estaca com sinal inconclusivo

Fonte: Modulus Engenharia

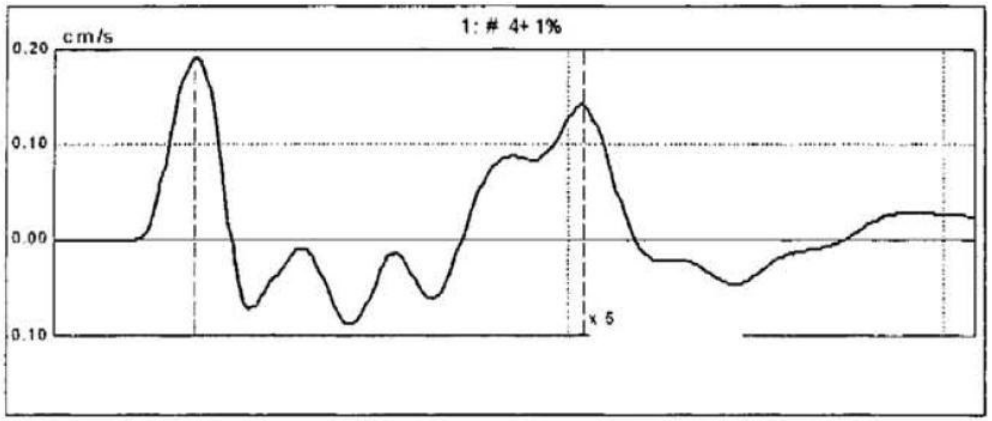


FIG. 9. Measurement signal of integrity testing

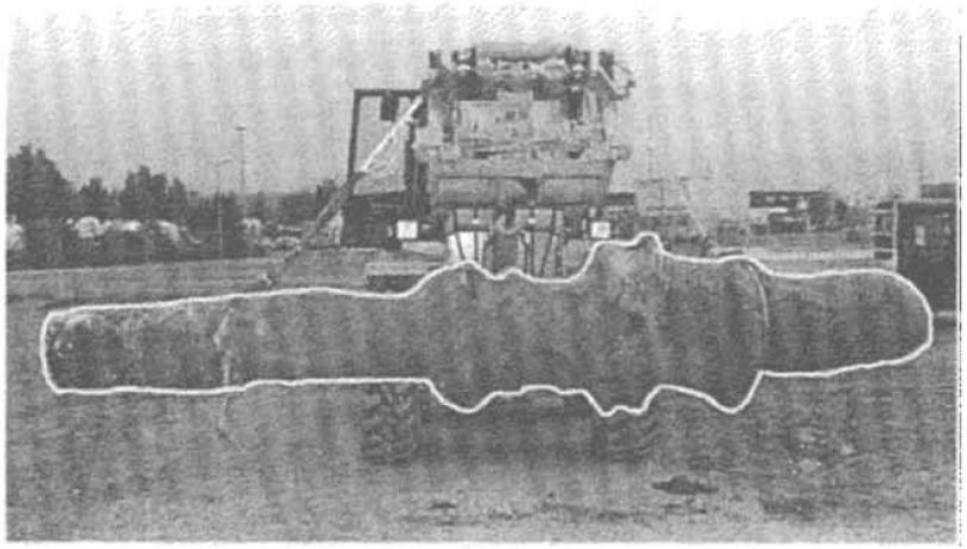
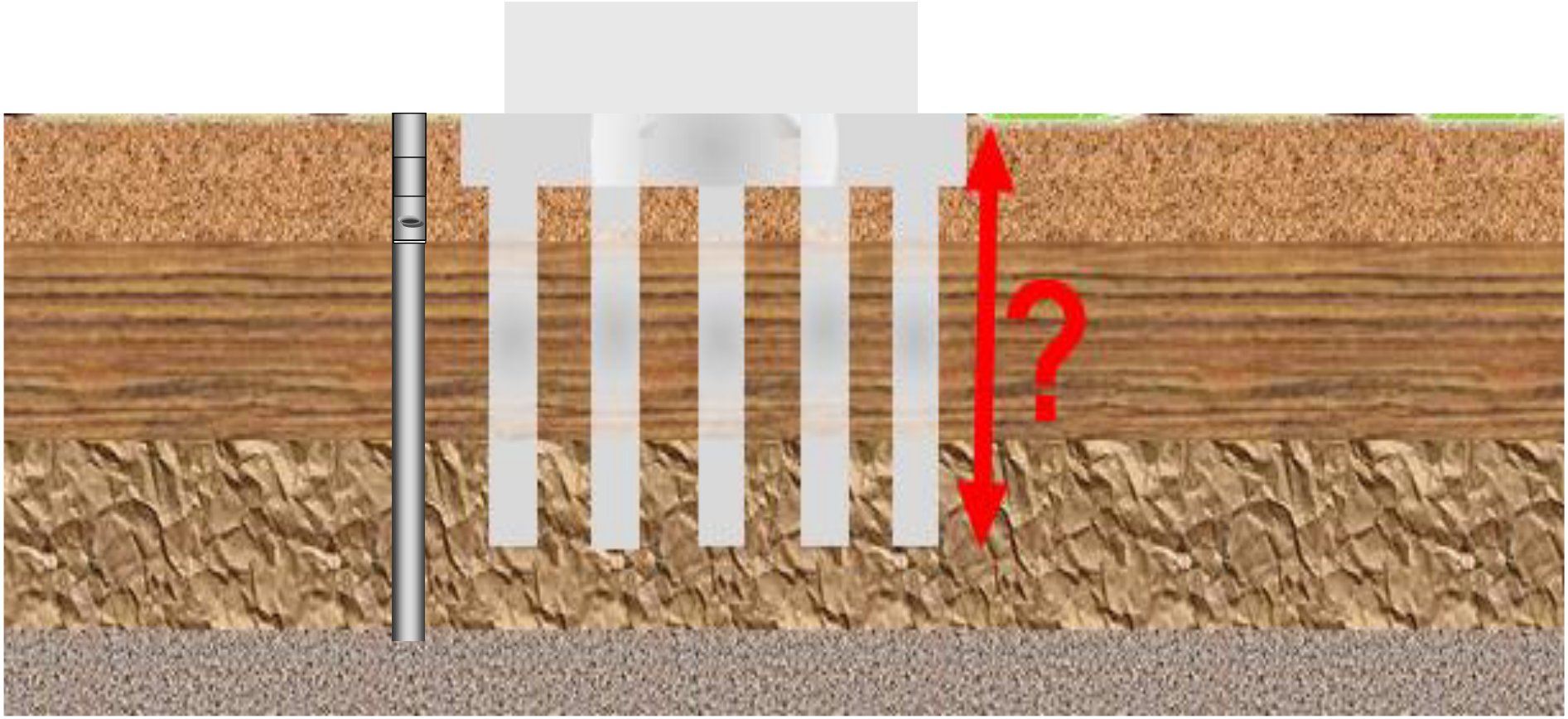


FIG. 10. Excavated concrete column

A Quality and Safety Issue for Cast-in-place Piles
25 Years of Experience with Low-Strain Integrity Testing in Germany:
From Scientific Peculiarity to Day-to-Day Practice

Oswald Klingmüller[1], Fabian Kirsch[2]

Métodos geofísicos para determinar a profundidade de fundações

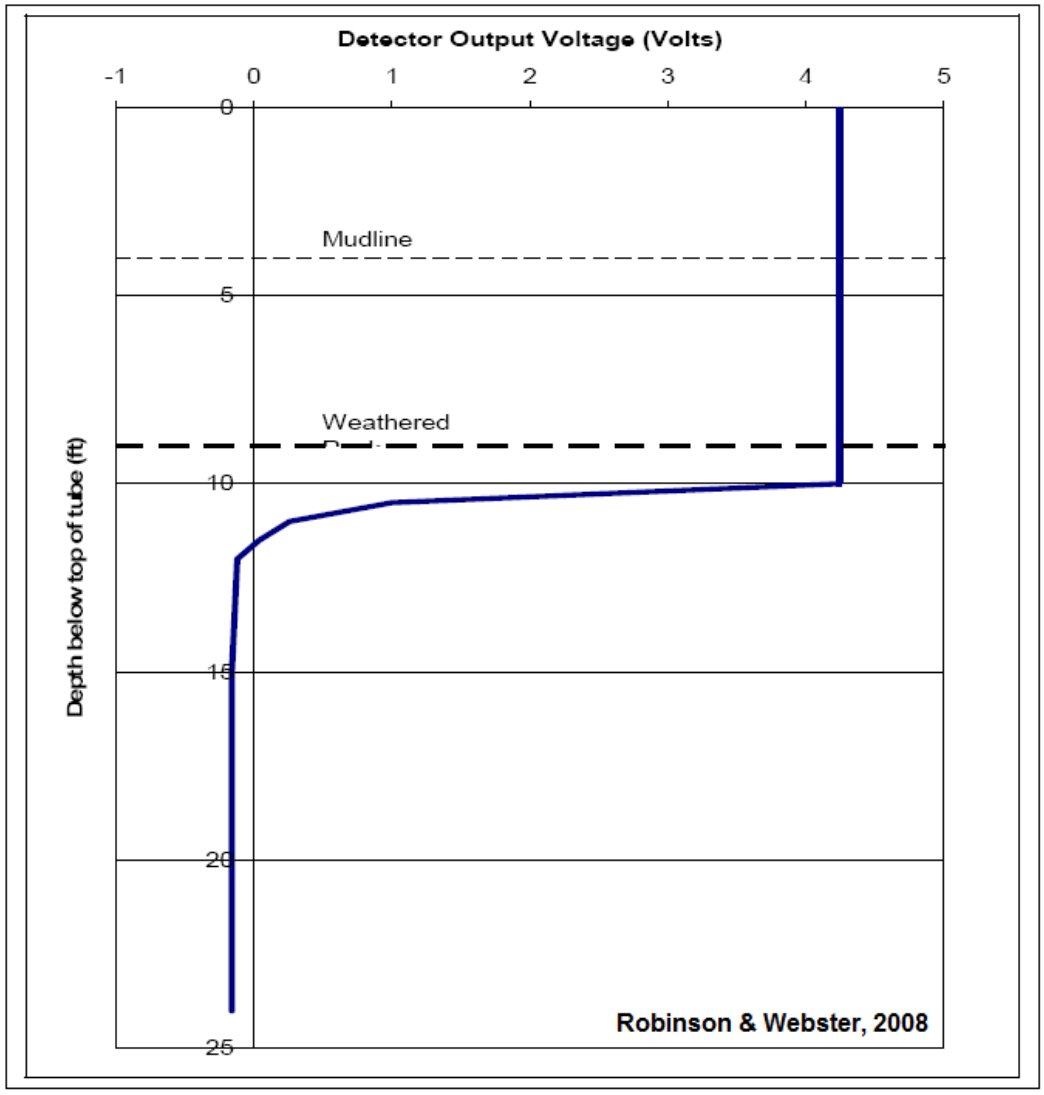


Furo de sondagem nas proximidades do elemento de fundação e mais profundo do que a máxima profundidade estimada

Vantagem (em relação ao PIT): pode ser utilizado quando não há acesso sobre o topo da estaca de fundação

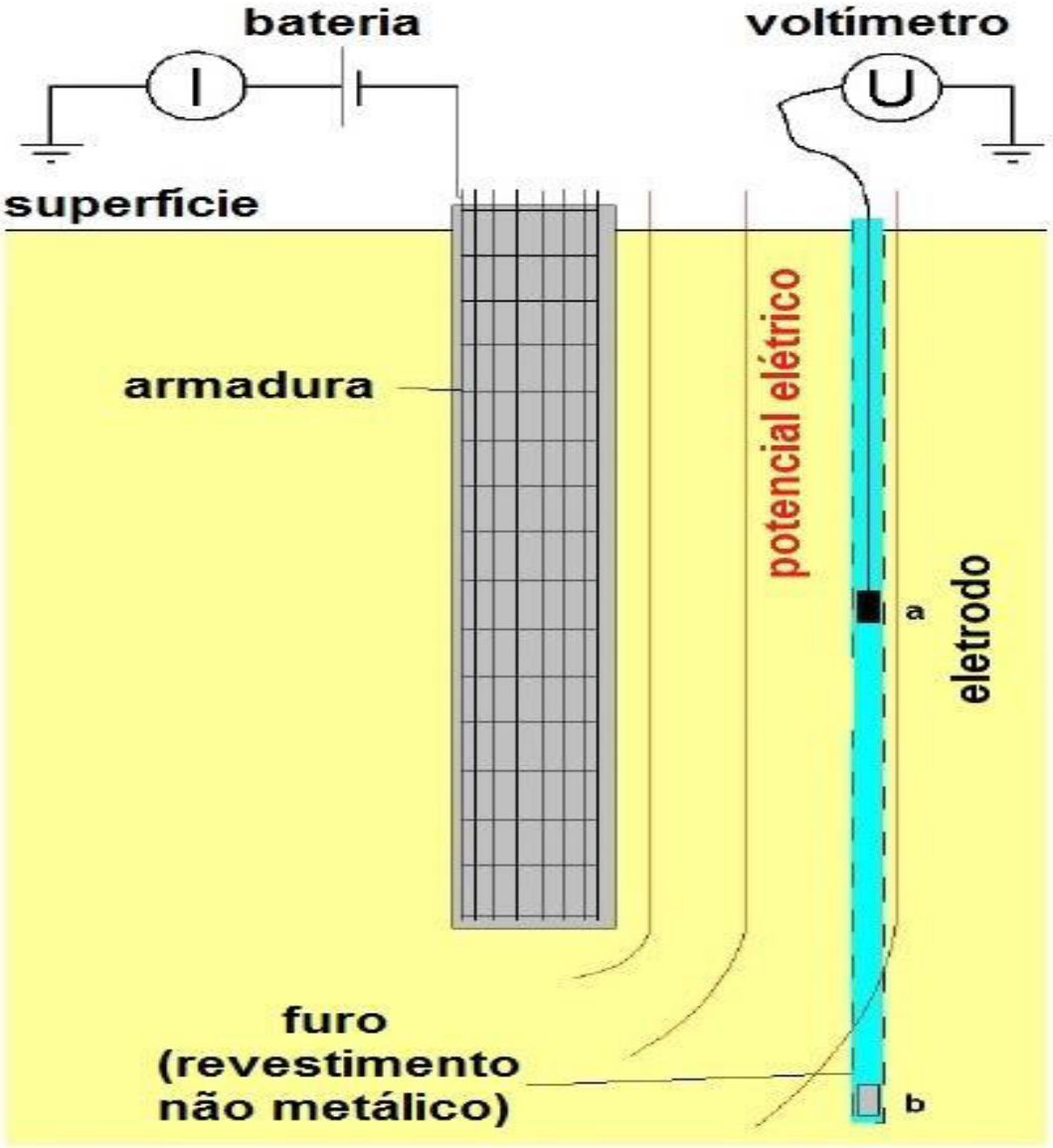
Perfilagem de indução (EM)

DUAL INDUCTION PROBE

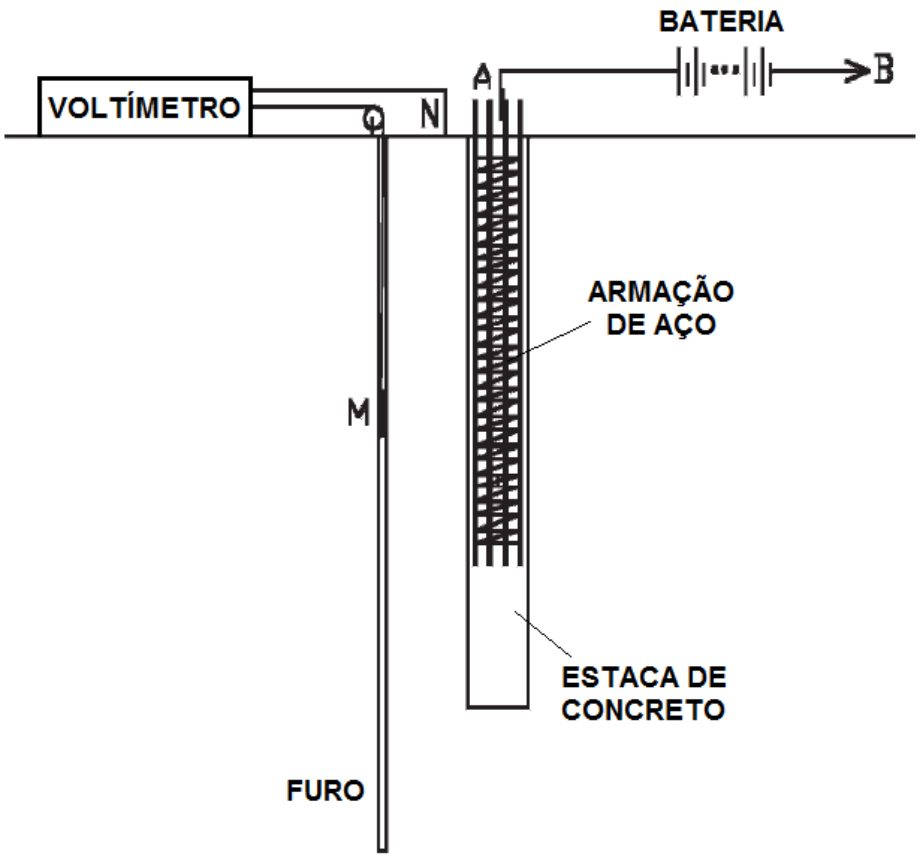


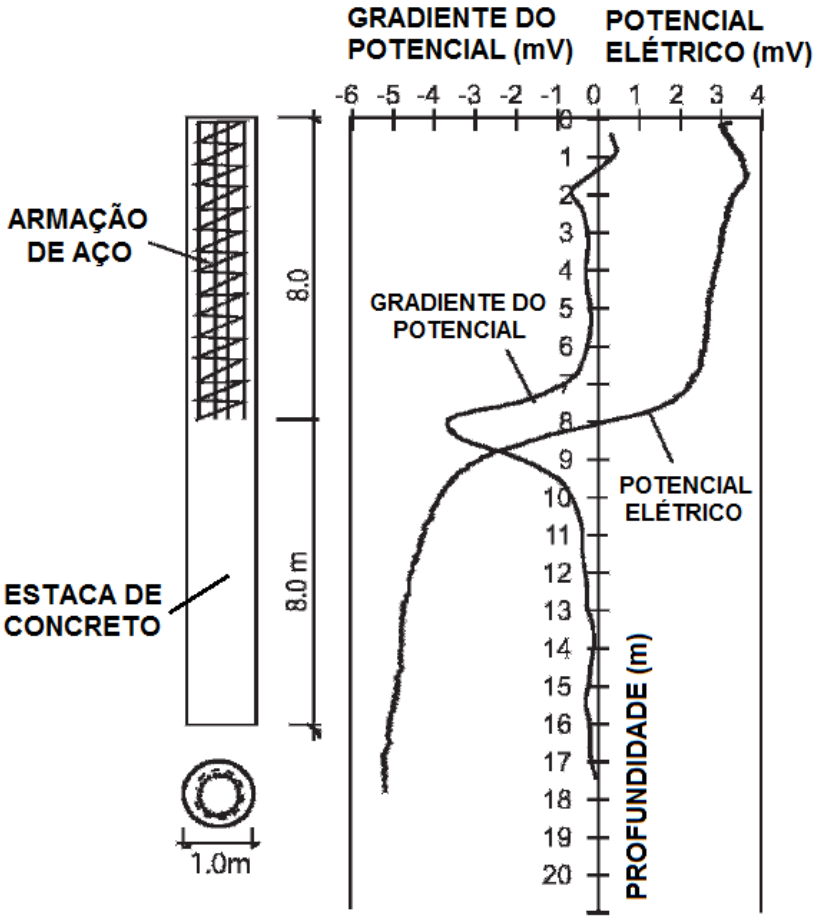
Resultado do método de indução em estaca de aço do tipo perfil H (Robinson & Webster, 2008)

Eletrorresistividade



Método mise-a-la-masse utilizado para determinar o comprimento de uma estaca de concreto armado

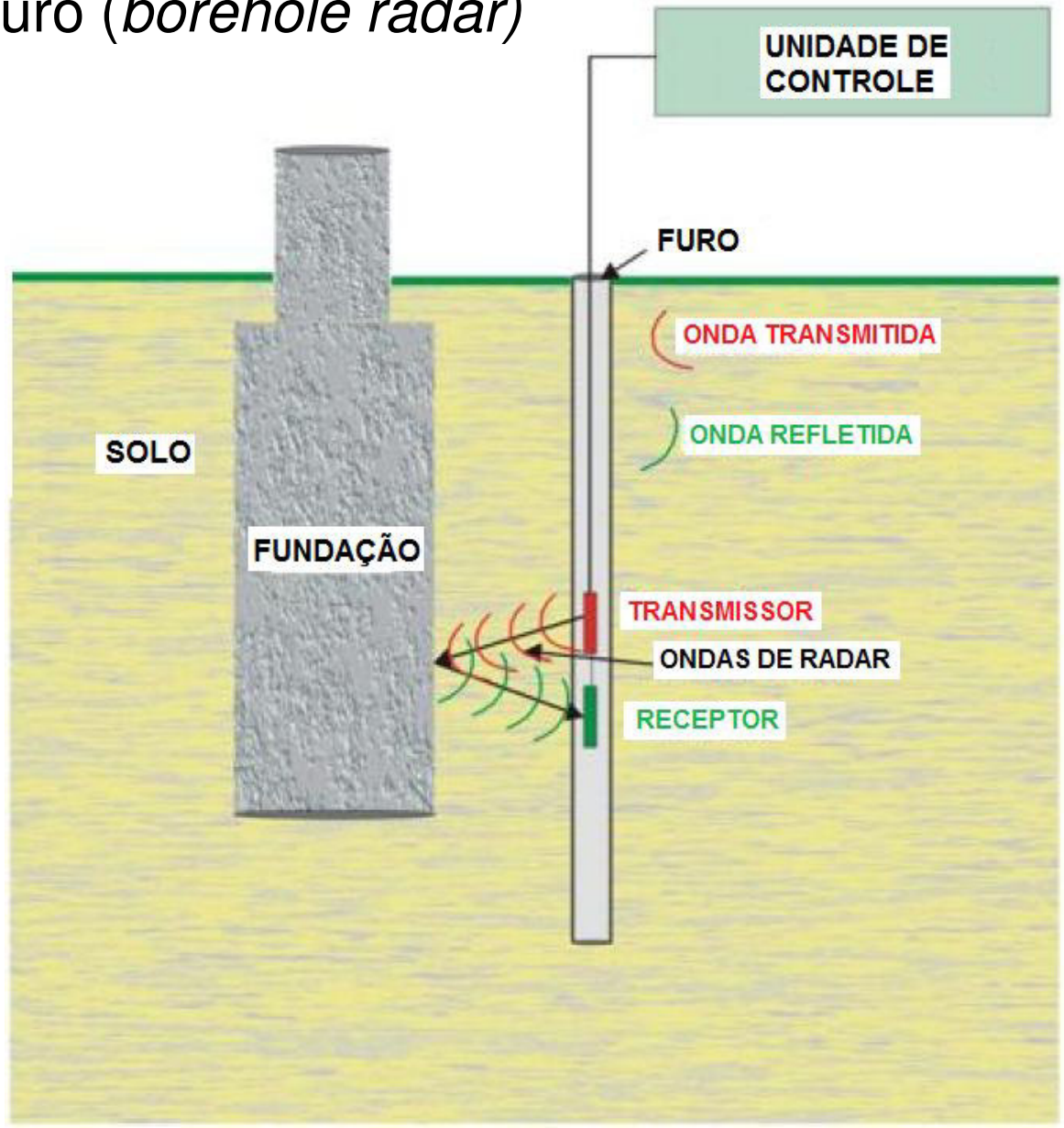




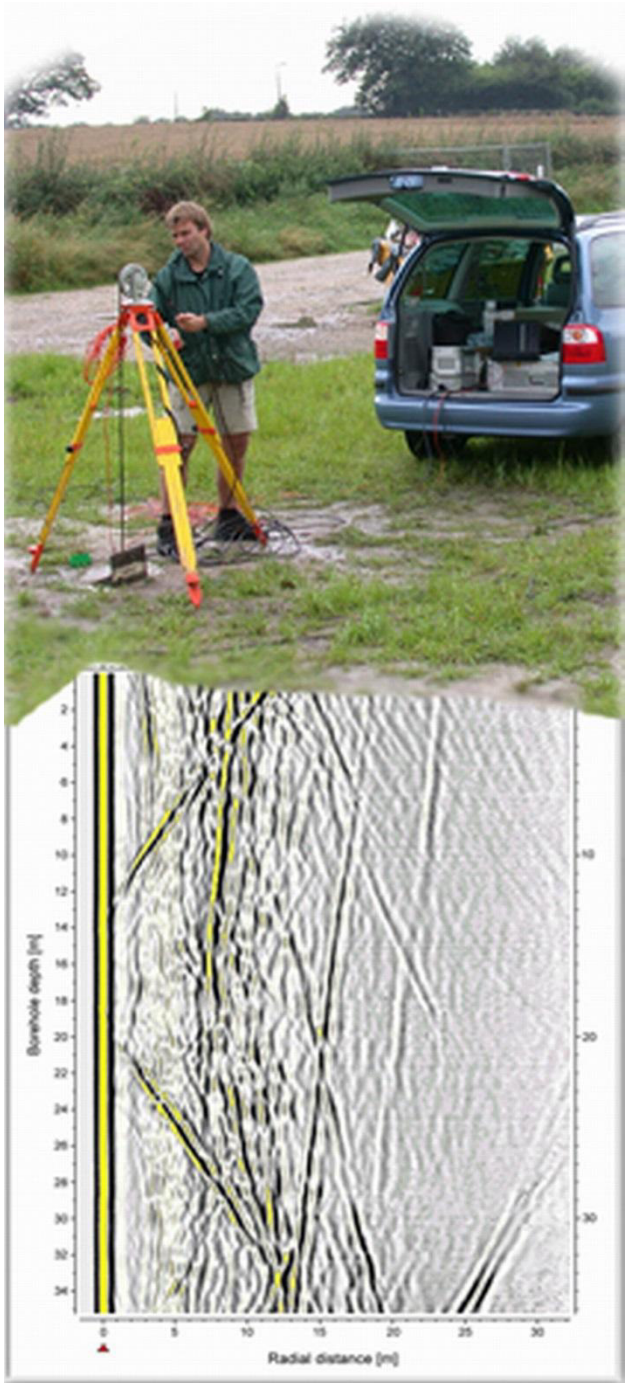
Resultado do ensaio (observar que o método responde à existência da armação metálica, a qual pode estar presente ou não ao longo de toda a estaca)

Modificado de Dong et al. (2008).

GPR de furo (*borehole radar)*

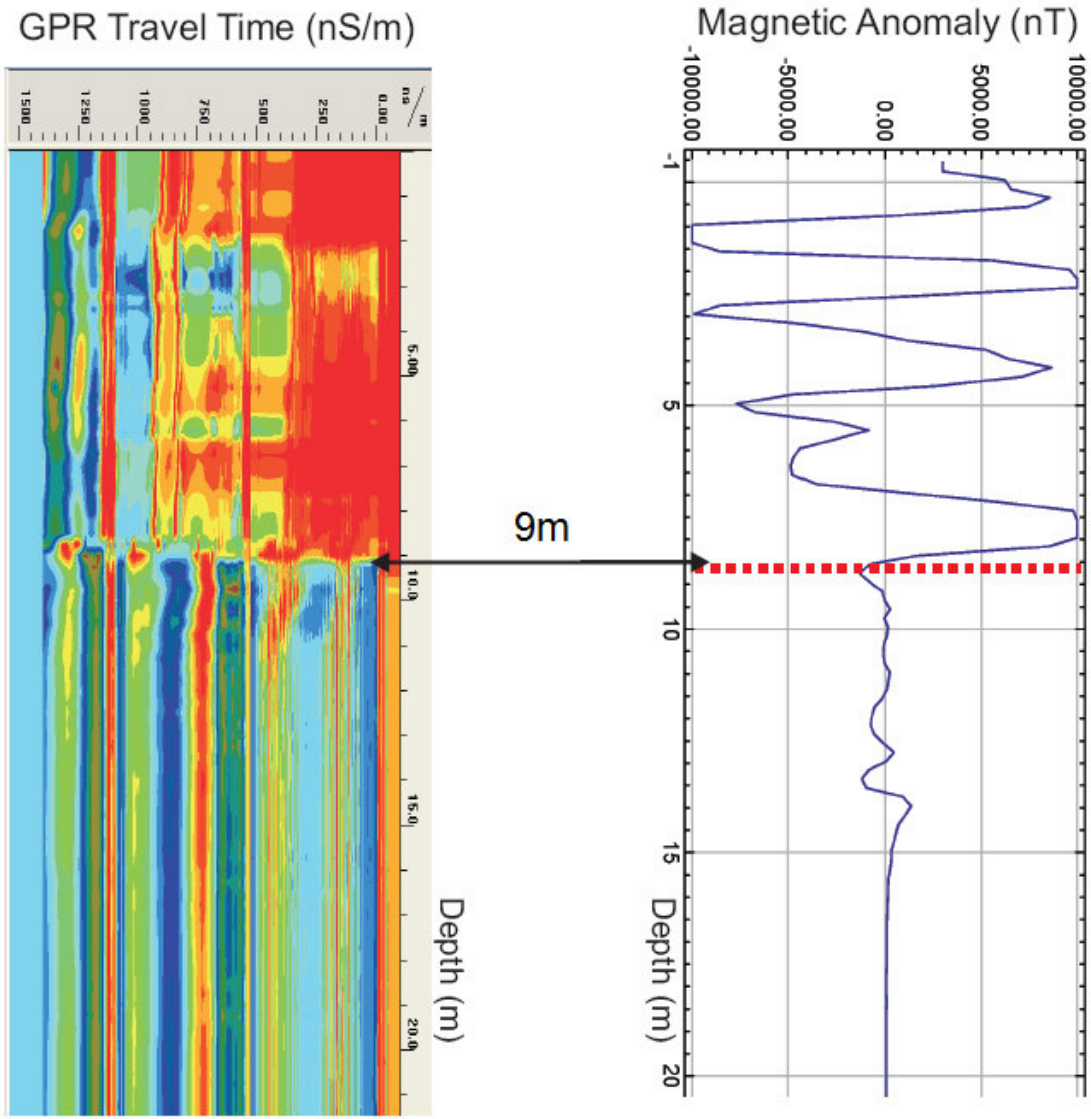


100 MHz



São Paulo - SP (agosto de 2021)

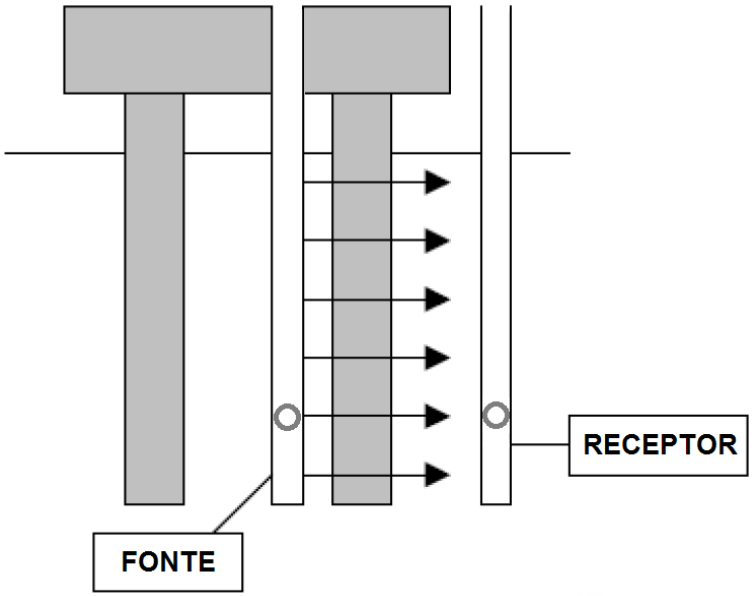
Cortesia: GEOPESQUISA

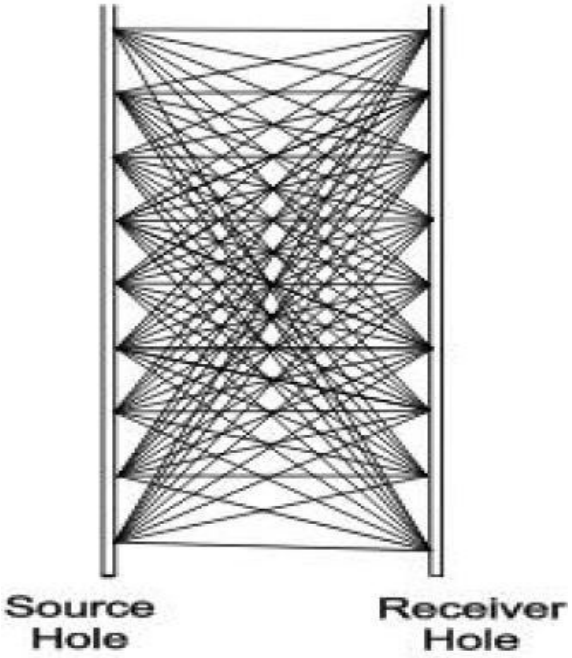


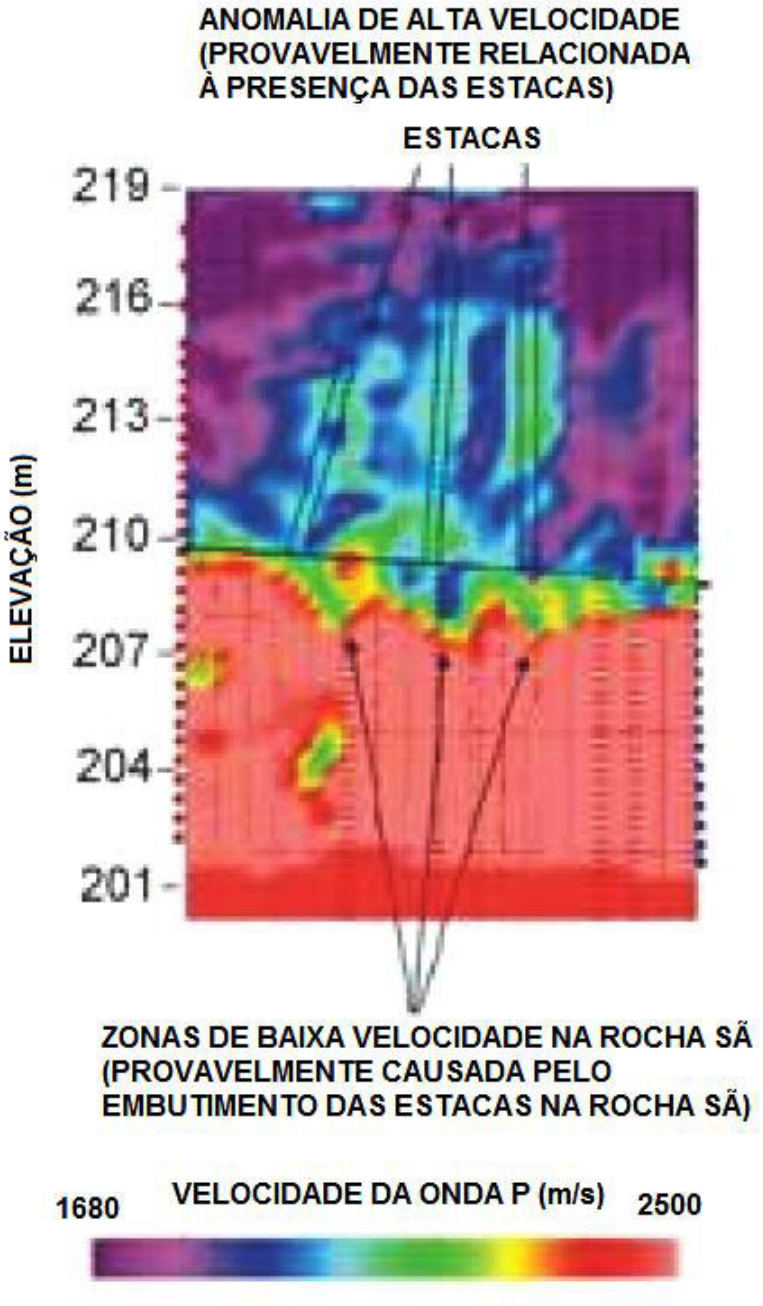
Fonte: www.rsk.co.uk

Dados de GPR de poço (a esquerda) e de magnetometria (a direita), cujo objetivo foi a determinação da profundidade de uma estaca com revestimento metálico (profundidade interpretada igual a 9 metros)

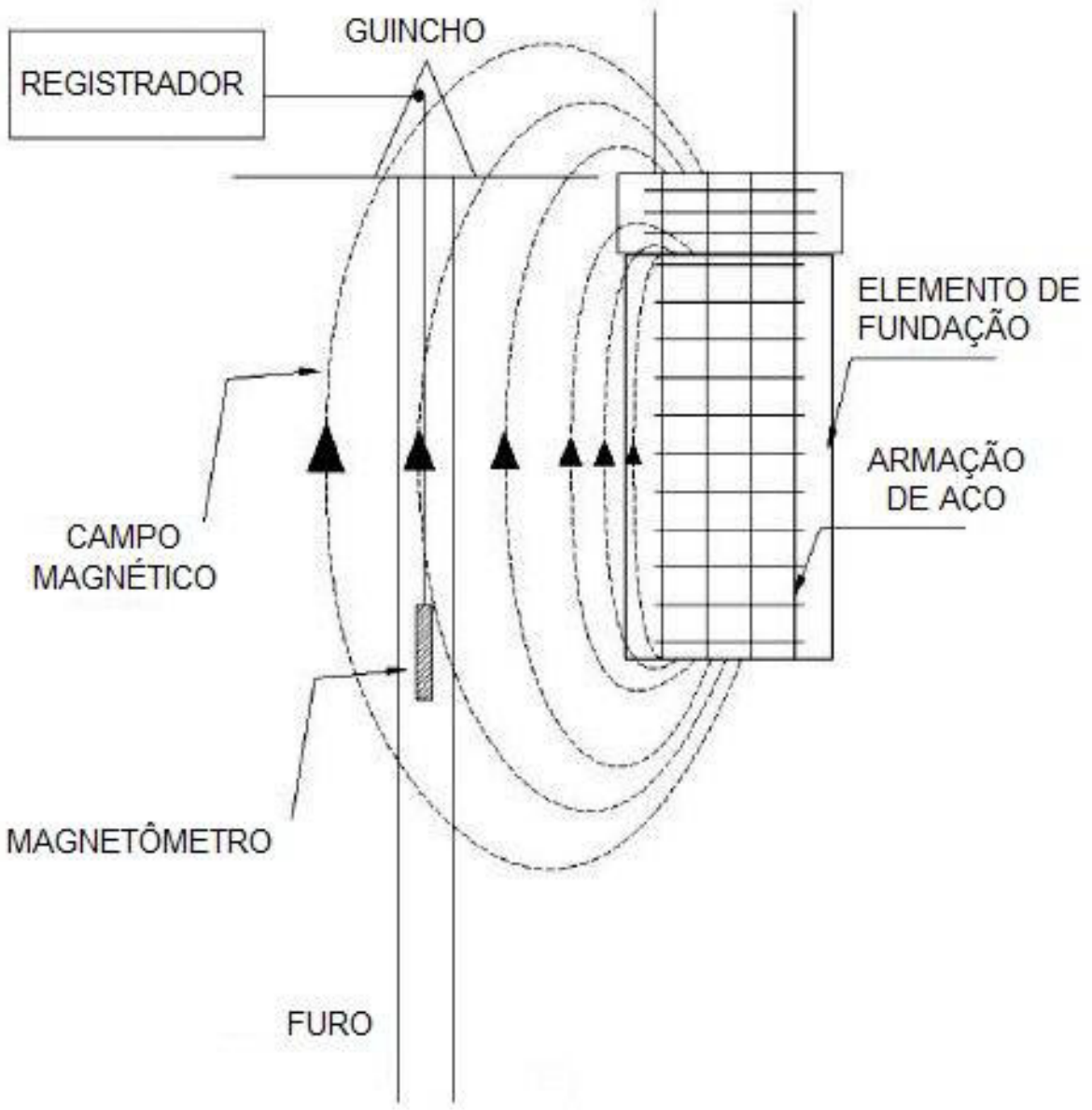
Tomografia sísmica







Magnetometria - Perfilagem magnética (*borehole magnetometry)*



BHG-1

Bore Hole Gradiometer

MAGNETÔMETRO DE FURO

For Rent

You want it? Exploration Instruments has it. Call us 512 346-4042

- Electromagnetic
- Environmental
- GPS
- Gravity Meters
- Hydrologic
- Magnetometers
  - › Borehole Gradiometer
  - › Ferex 4.032
  - › Ferex Mapping Pkg
  - › GA 52 CX
  - › GA72 CD
  - › Geometrics G858 Grad
  - › Geometrics G858 Mag
  - › Mag Cart
  - › Magnatrack102
  - › RL-1 Rebar Locator
  - › TrackMaker FX

Magnetometers Borehole Gradiometer

Borehole Gradiometer
Item # 106215

The borehole gradiometer is used to locate ferrous-metal objects. Typical applications include looking ahead of drilling operations, finding the bottom of sheet-piles, measuring the bottom of rebar in pilings and locating objects in a body of water.

Features

Heavy-duty sensor cable acts as lanyard. 30', 50', 100'
High-quality connectors and "toilet seat" cover over headset jack. "Seacon" connectors available.
Alligator clips for 12v auxiliary power.
Gel-cell auto-charges when auxiliary power connected.
"Zero to "null" gradient.
Permanent gel-cell battery-mounted under electronics panel.
Bull-nosed and tapered sensor on BHG; longer sensor on MUL for diver or boat towing.

www.expins.com

DETERMINATION OF UNKNOWN LENGTH OF SHEET PILES USING THREE GEOPHYSICAL LOGGING METHODS

Frank Jalinoos *[a] Alex Gibson[b] John Diehl[c] Philip Hadfield[d] George Gordon IV[e]

[a]Program Manager, NDE Validation Center, Federal Highway Administration, Office of Infrastructure R&D, 6300 Georgetown Pike, McLean, VA 22101
[b]Senior Civil Engineer, Layne Christensen Co.-Colog Division, 810 Quail St., Ste E, Lakewood CO 80215
[c]President, GEOVision Geophysical Services, 1151 Pomona Road, Unit P, Corona, California 92882
[d]Senior Project Engineer, URS Corporation, 915 Wilshire Blvd., Suite 700, Los Angeles, CA 90017-3437
[e]Senior Program Manager, Port of Long Beach, 925 Harbor Plaza, Long Beach, CA 90802

In this project, we used a borehole "deviation probe" which contains both a 3 axis fluxgate magnetometer and a 3 axis accelerometer (Figure 5).

The system uses three fluxgate magnetometers to measure the magnetic field in the direction of each of the axis.

Therefore, this probe measures the magnetic field and acceleration in three different directions, that is, along three orthogonal axis.

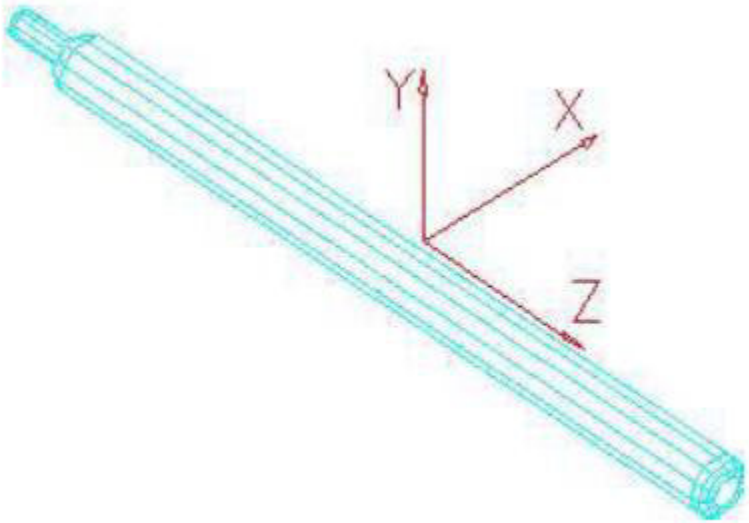
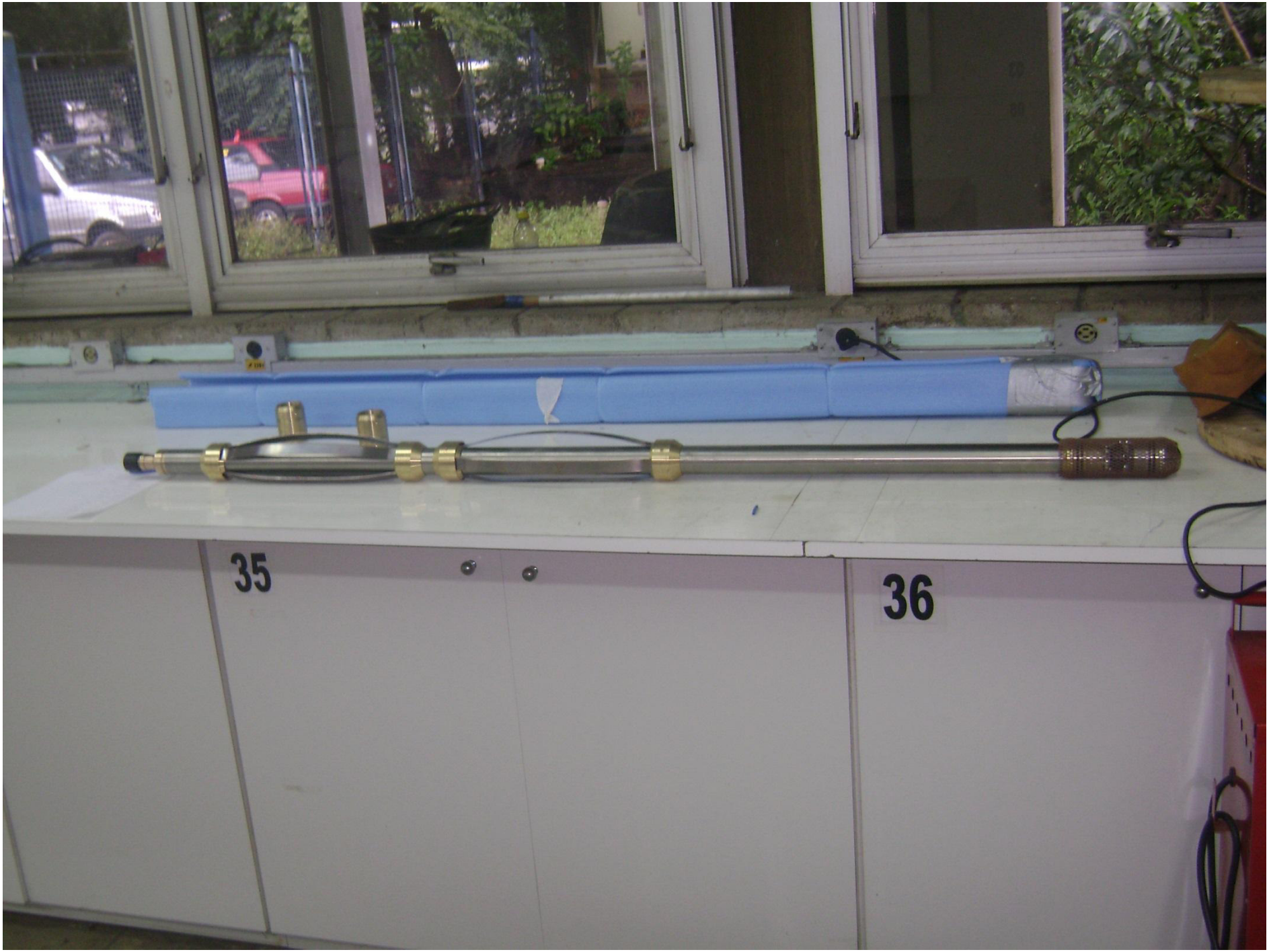
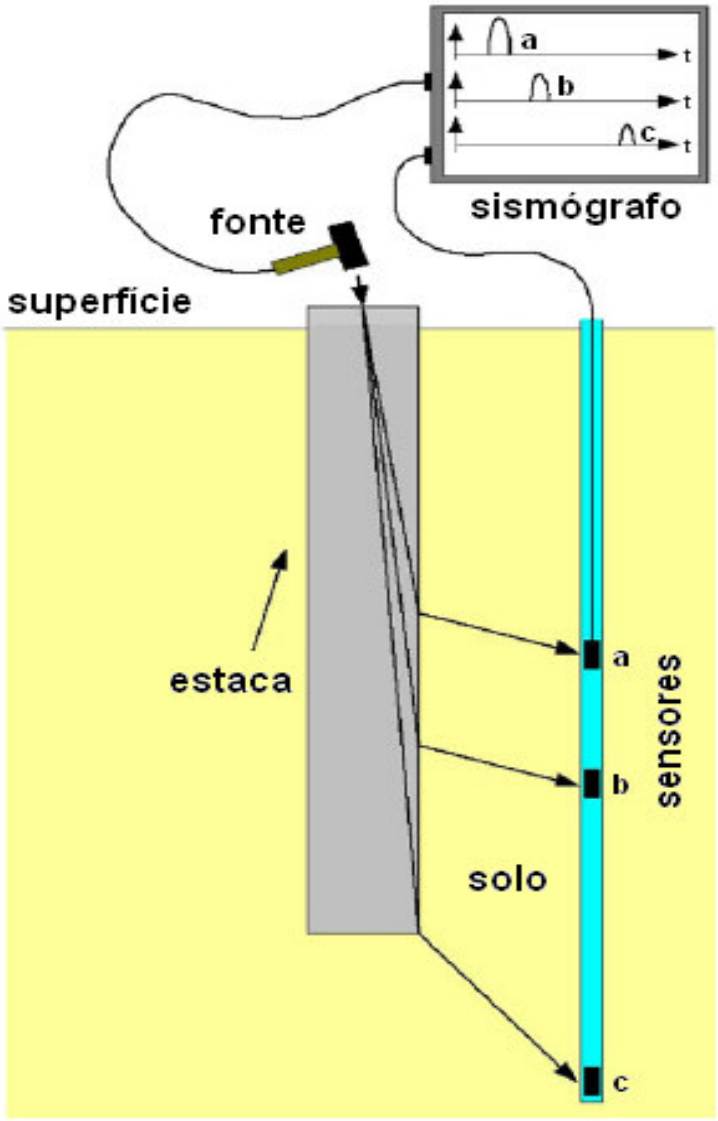


Figure 5. Borehole Deviation Probe

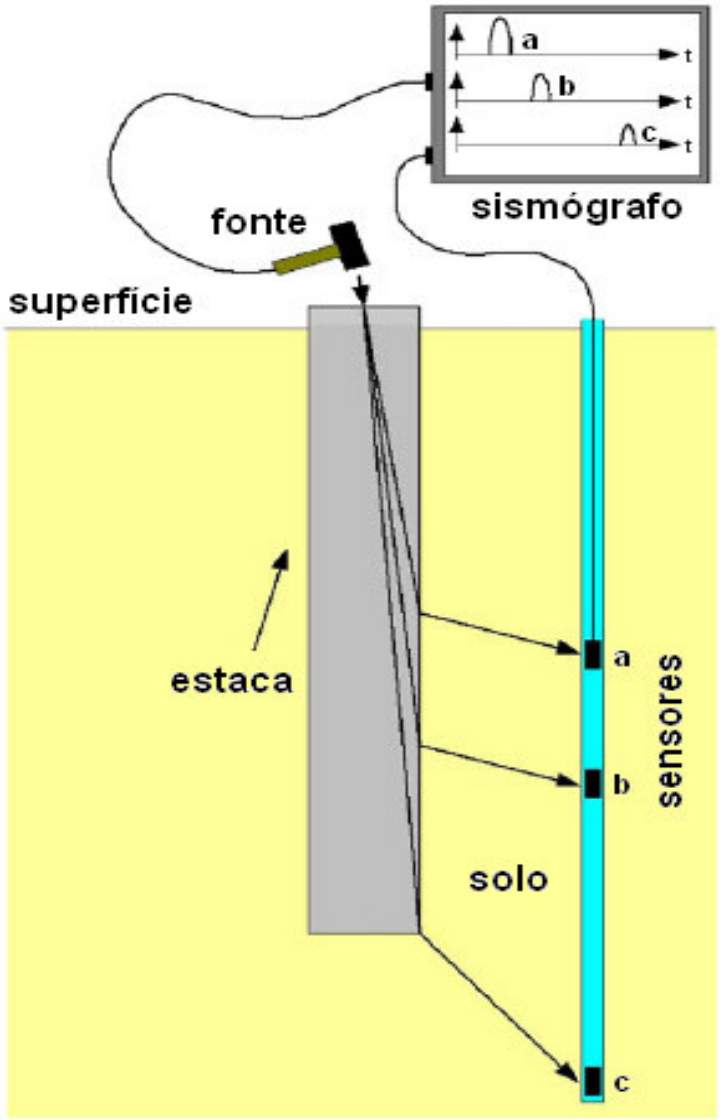

35
36

Ensaio Paralelo Sísmico



Um pulso é gerado pelo impacto de uma pequena marreta batendo contra alguma parte exposta da estrutura conectada à fundação (ou na cabeça da estaca, se estiver acessível)

Ondas elásticas (predominantemente do tipo compressionais - ondas P), são geradas e se propagam através da estaca



V_P (concreto)

3000 m/s < V_P < 5000 m/s

Valor típico: 4000 m/s

Devido ao elevado contraste entre as propriedades elásticas do solo e do material constituinte da estaca de fundação (concreto, em geral), as ondas sísmicas geradas são refratadas e detectadas por geofones triaxiais (ou hidrofones) situados dentro de um furo revestido

Este furo deve estar posicionando muito próximo à estaca (na ordem de 1,5 metros)

O sinal é registrado e gravado em um sismógrafo

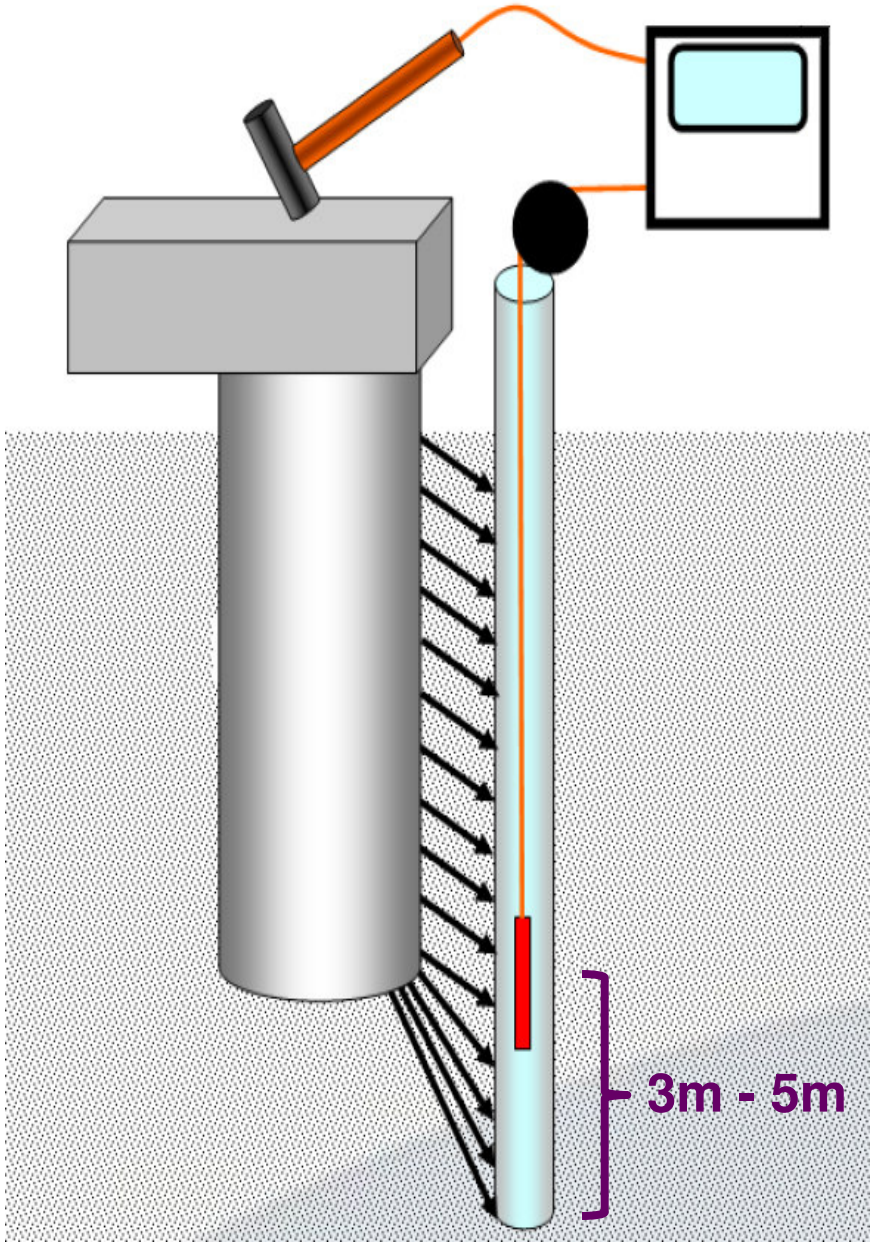
EQUIPAMENTOS

Geofone triaxial de furo

Sismógrafo digital
(SmartSeis SE12 - doze canais)

Marreta com dispositivo de “trigger”

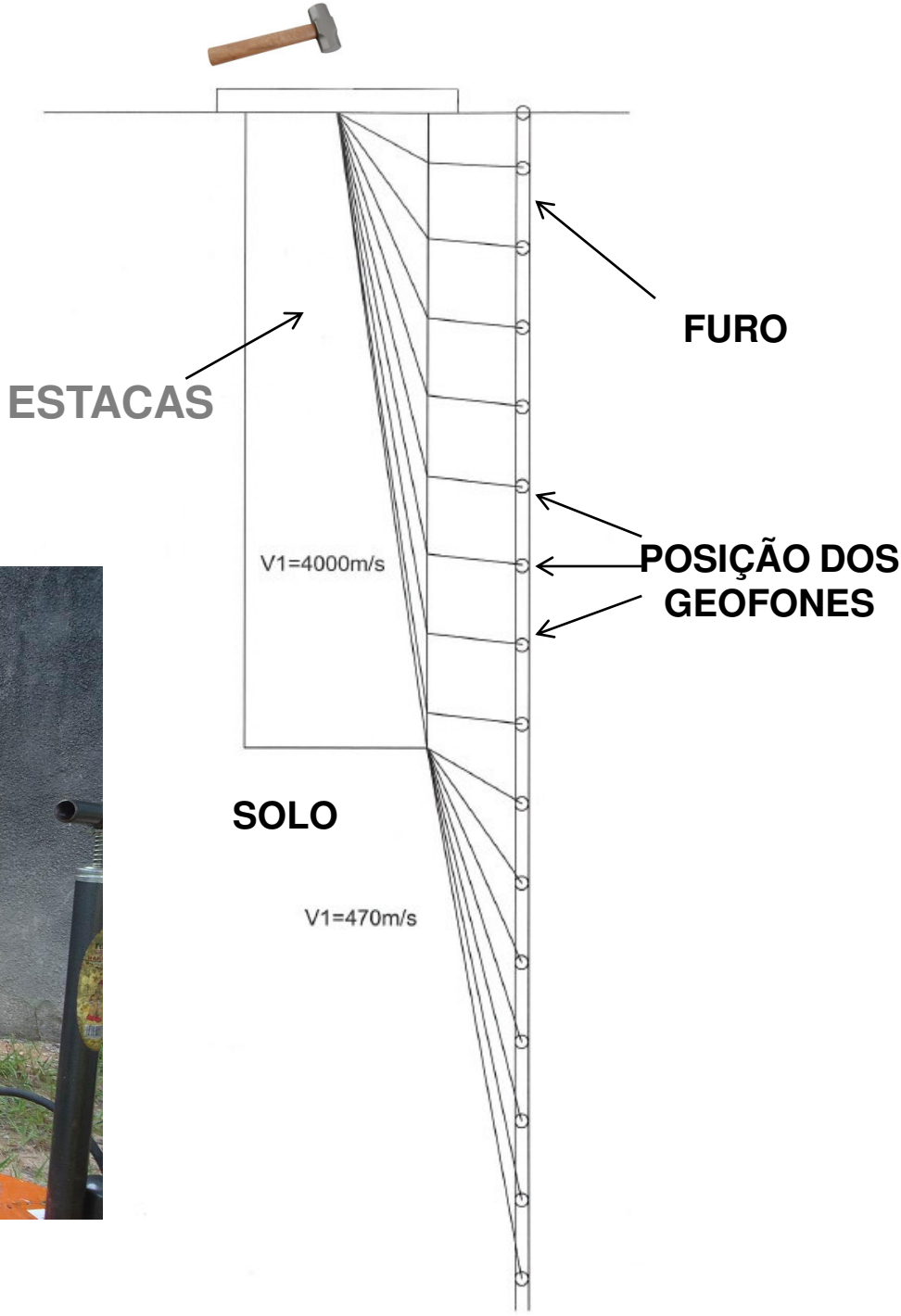
Ensaio Paralelo Sísmico



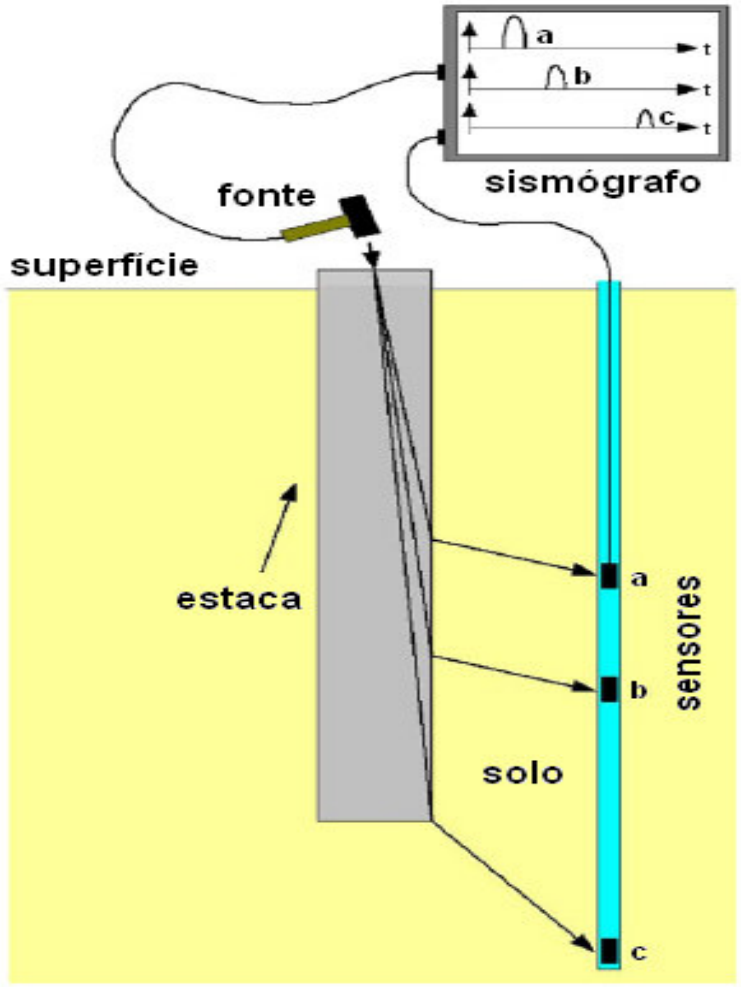
- O furo deve exceder em profundidade, 3 a 5 metros além da profundidade máxima esperada para a estaca da fundação

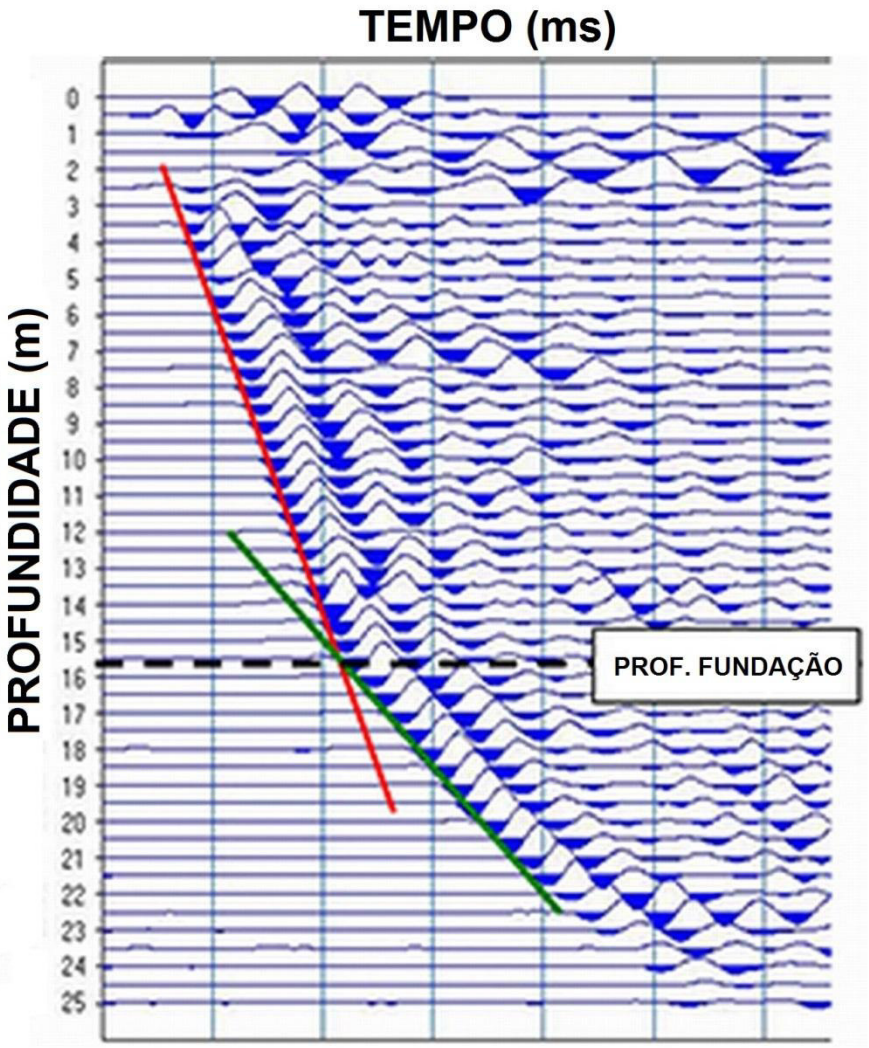
Ensaio Paralelo Sísmico

→ medidas em intervalos regulares de 0,5 m ou 1 m



ENSAIO SÍSMICO PARALELO (*PARALLEL SEISMIC*)





ENSAIO SÍSMICO PARALEL O (PARALLEL SEISMIC)

Near-Surface Geophysics
um subgrupo de **American Geophysical Union (AGU)**

Debates | Integrantes | Promoções | Pesquisar | Mais...

Seguir Matteo

Hi all, do you have any advice on the detection of foundation pile depths, using some geophysical surface technic (no borehole)?
4 dias atrás

Gostei | Comentar | Seguir | Marcar | Mais

Seguir Ernst

Ernst Niederleithinger • @Mark: Parallel Seismics is one of my favorites. Made my ph. d. by improving it a bit, mainly developing a more accurate interpretation method. But it requires a borehole, Matteo doesn't want to you. @Matteo you might want to reconsider this.
@Fikos: Never seen a convincing, successful application of resistivity for pile length. Seriously doubt that there will be one (think of the geometry).

Estudos de caso: torres de telefonia

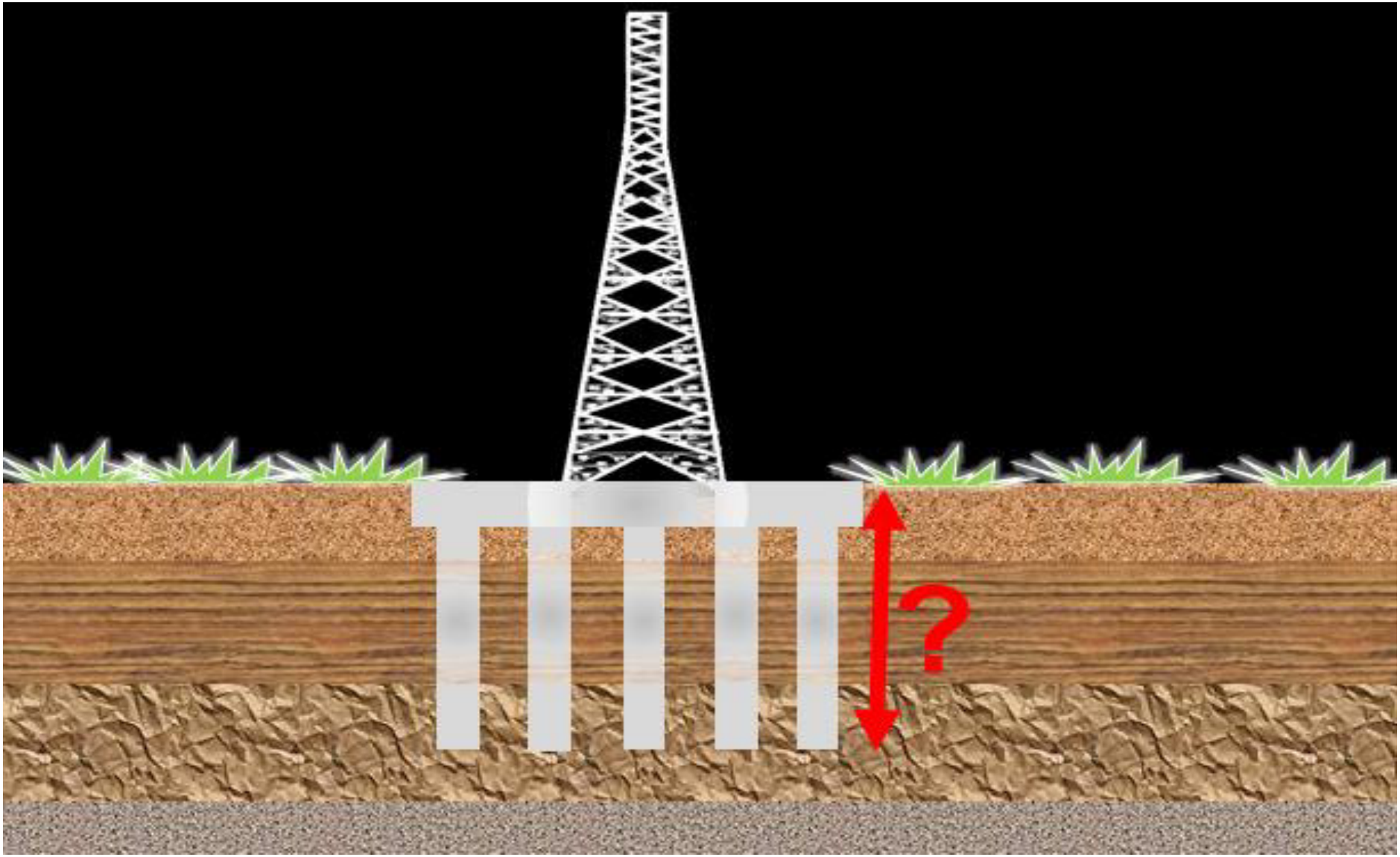
Qual a profundidade (desconhecida) do elemento de fundação?

Possível solução: reforço da fundação (caro)

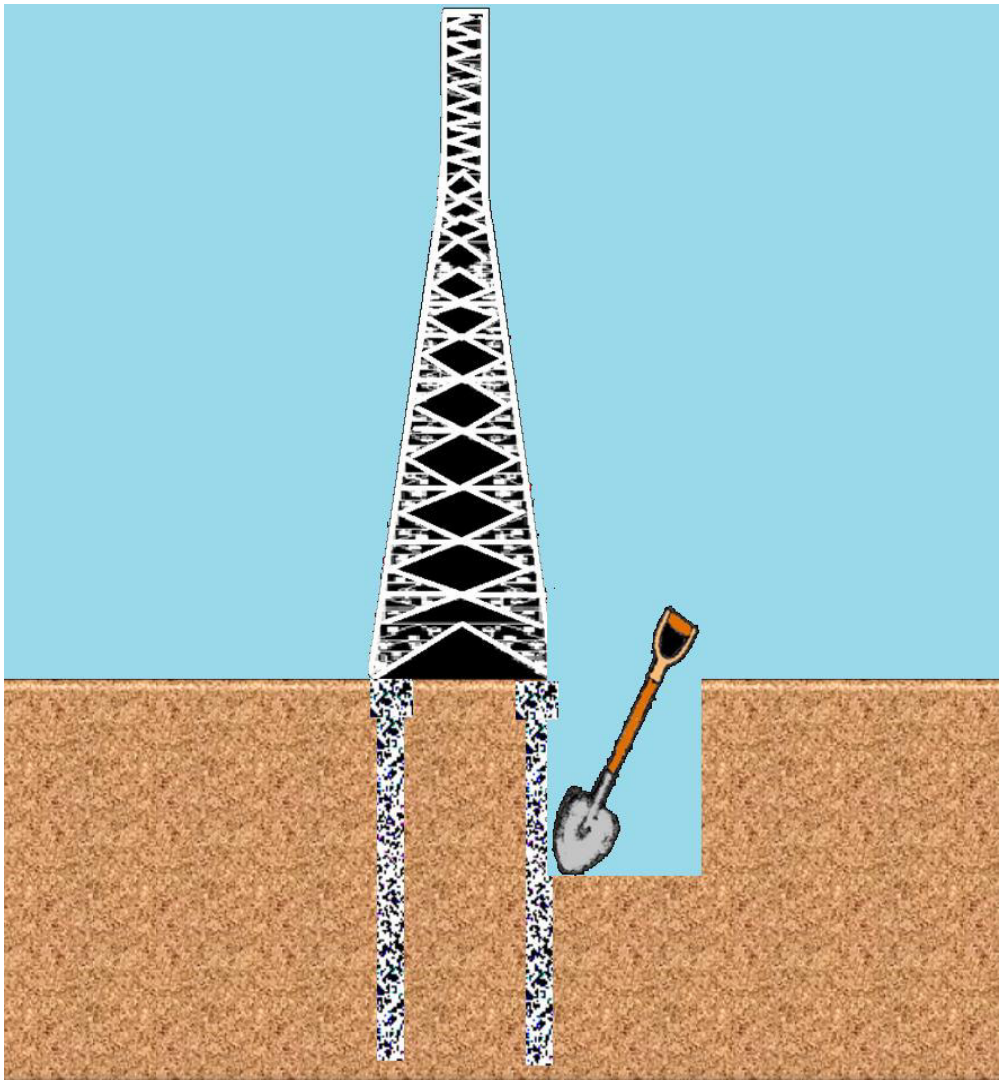
AUMENTO DE CARGA

Torre de telefonia

Qual a profundidade (desconhecida) do elemento de fundação?



Torre de telefonia

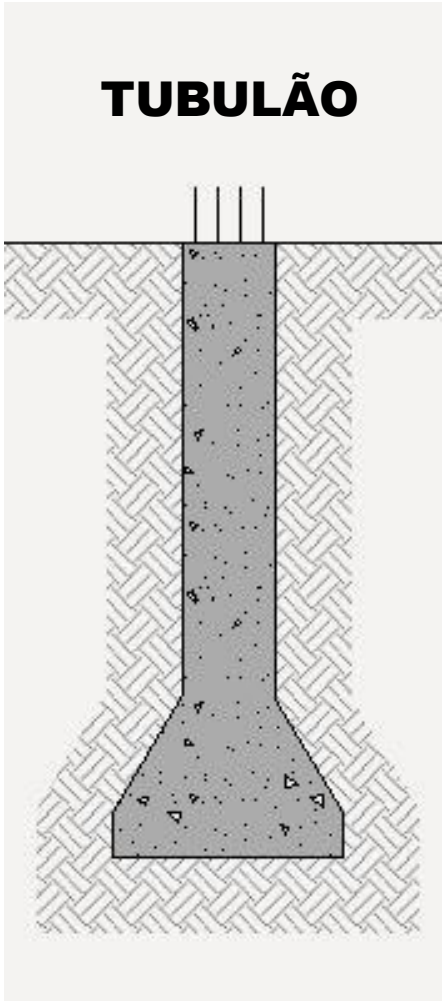


Escavação: caro e arriscado!

ESTUDO DE CASO 1

Objetivo:

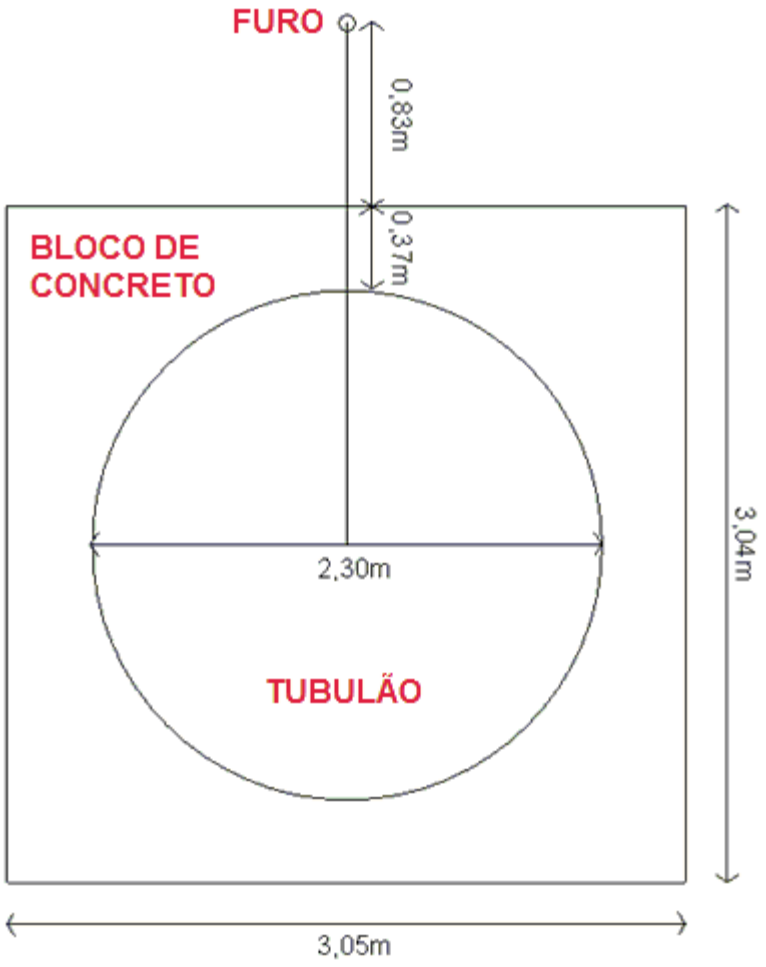
Determinar a profundidade (desconhecida) de uma fundação constituída por um tubulão, de uma torre de telefonia em São Paulo-SP



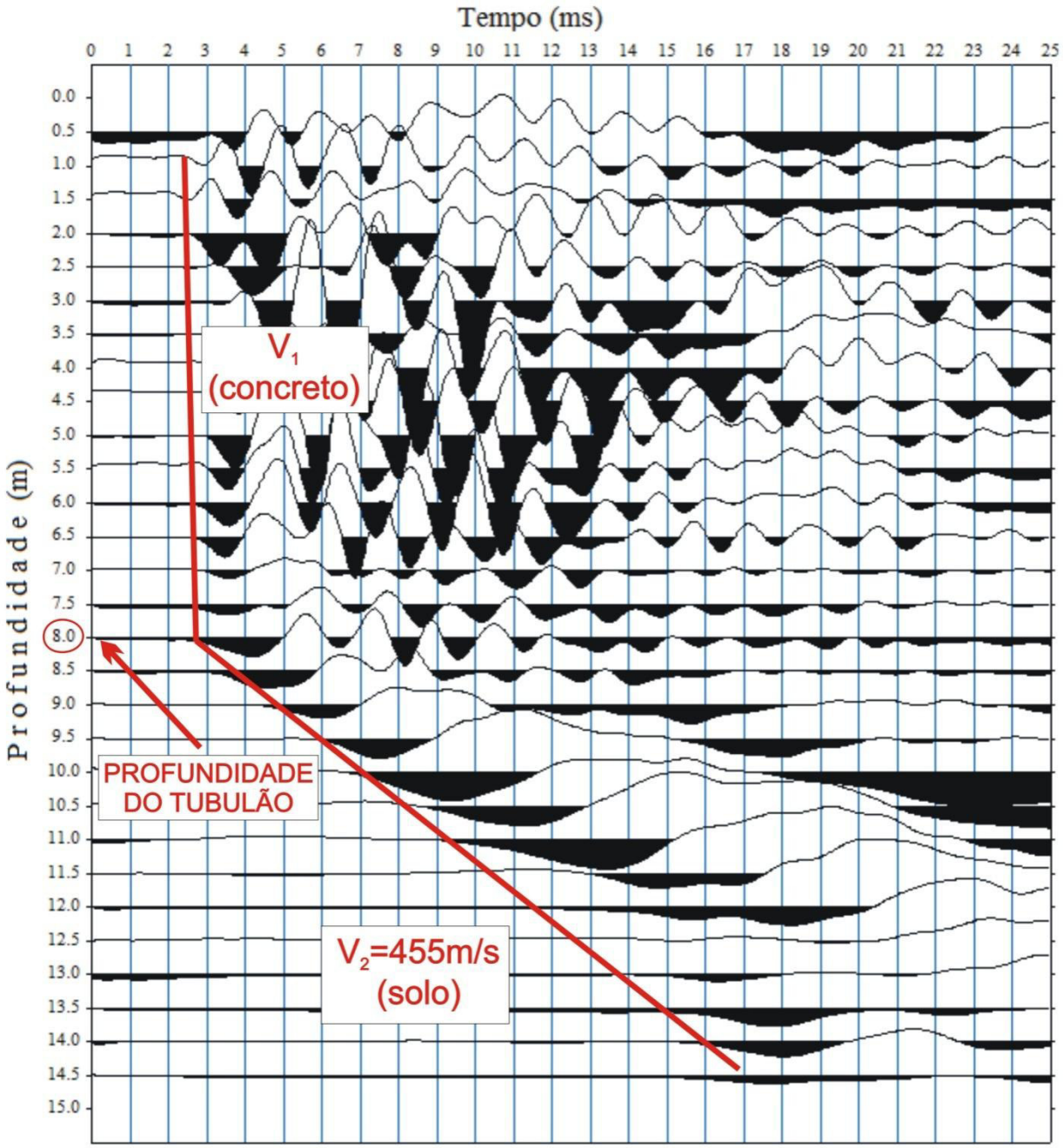
TUBULÃO

LOCAL: RUA JOÃO DE SANTANA, 393
JD. SÃO LUIZ, SÃO PAULO-SP

Tipo da fundação: tubulão

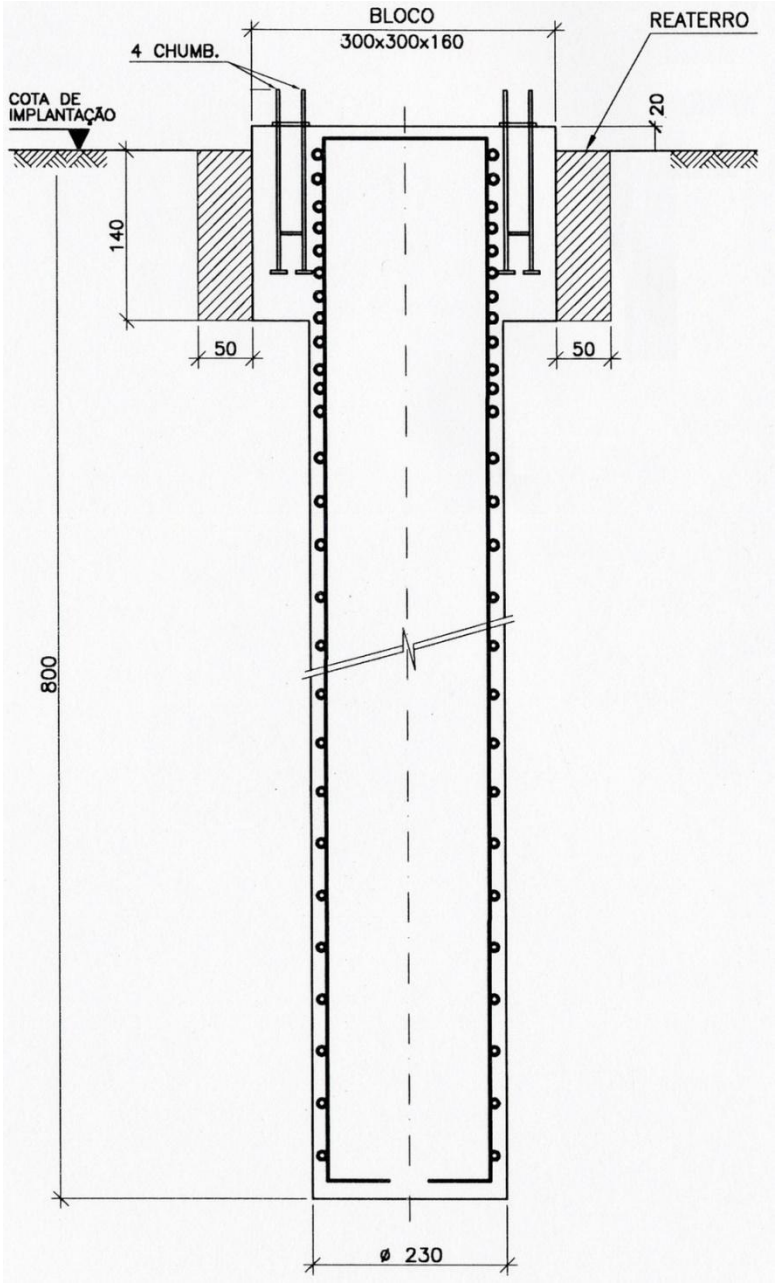


ENSAIO SÍSMICO PARALELO (*PARALLEL SEISMIC*)

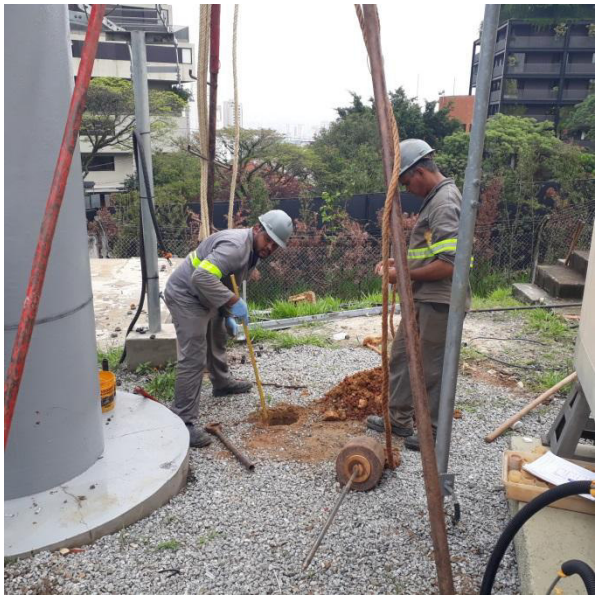

Tempo (ms)
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25
Profundidade (m)
0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5 15.0
V1 (concreto)
PROFUNDIDADE DO TUBULÃO
V2=455m/s (solo)

2013/05/26 01:51 PM

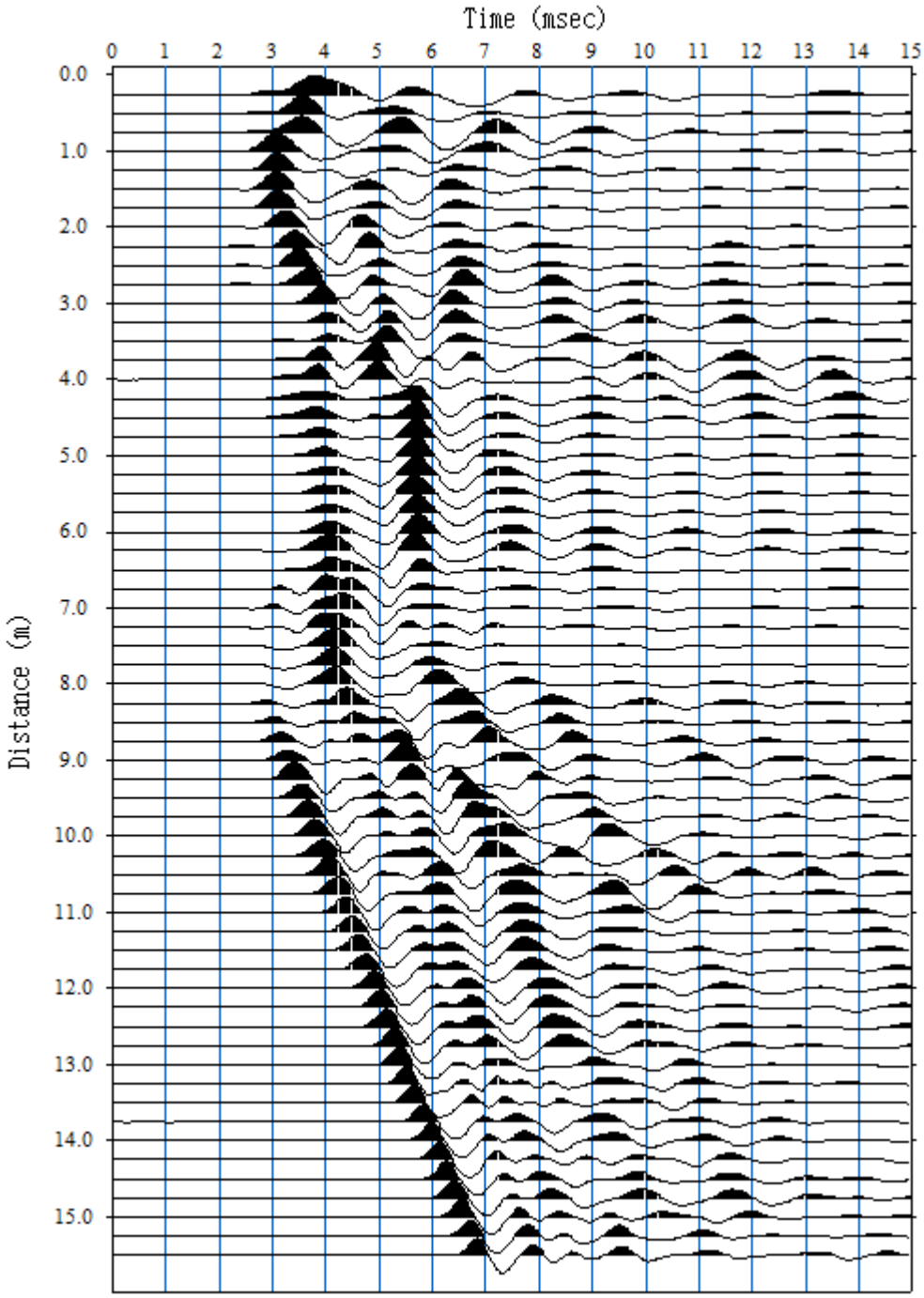
2013/05/26 01:45 PM


BLOCO
300x300x160
REATERRO
4 CHUMB.
COTA DE
IMPLANTAÇÃO
20
140
50
50
800
ø 230

ESTUDO DE CASO 2 Rua Harmonia, 1085 - São Paulo/SP



Resultado do ensaio Paralelo Sísmico



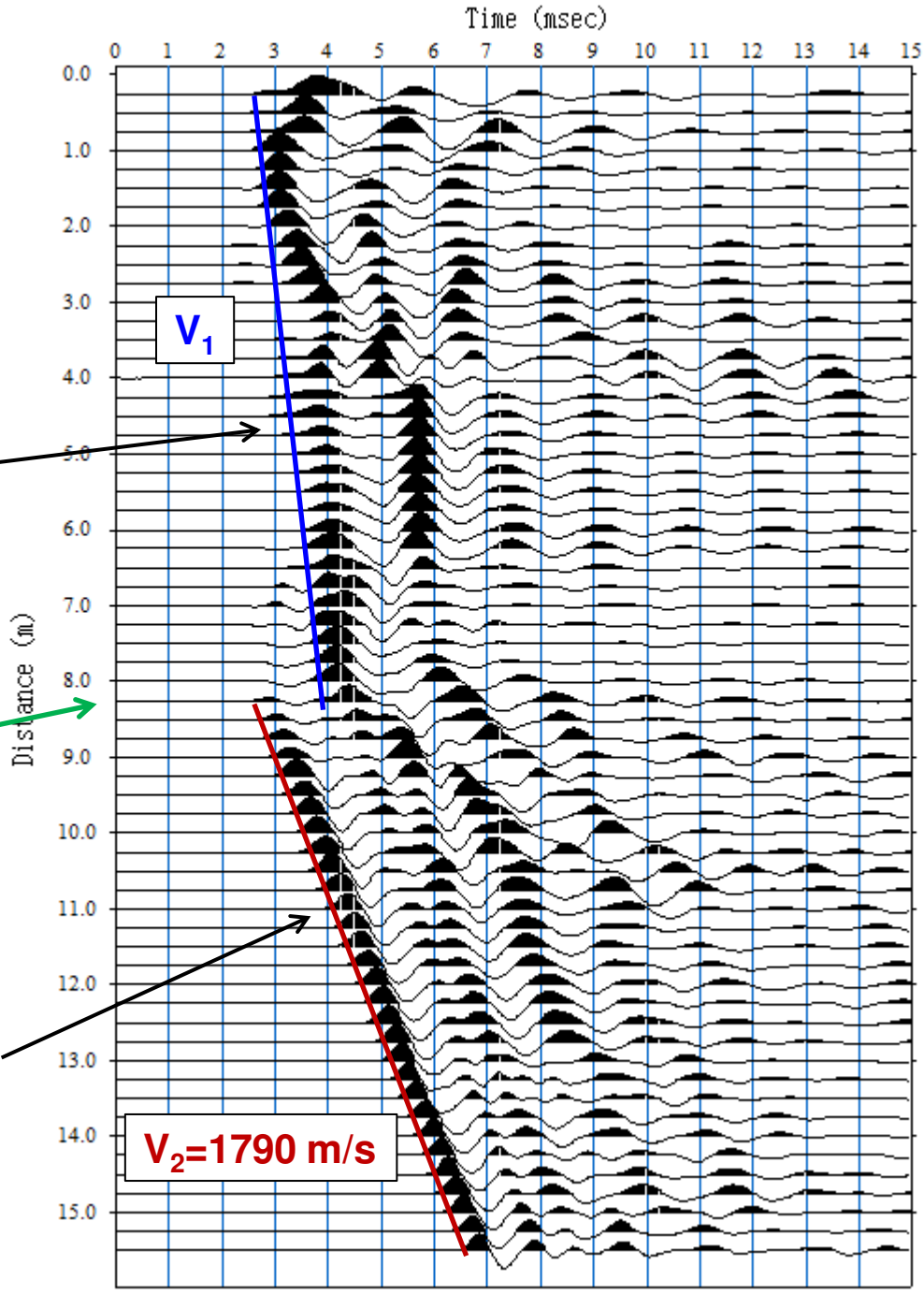
Resultado do ensaio Paralelo Sísmico

INTERPRETAÇÃO

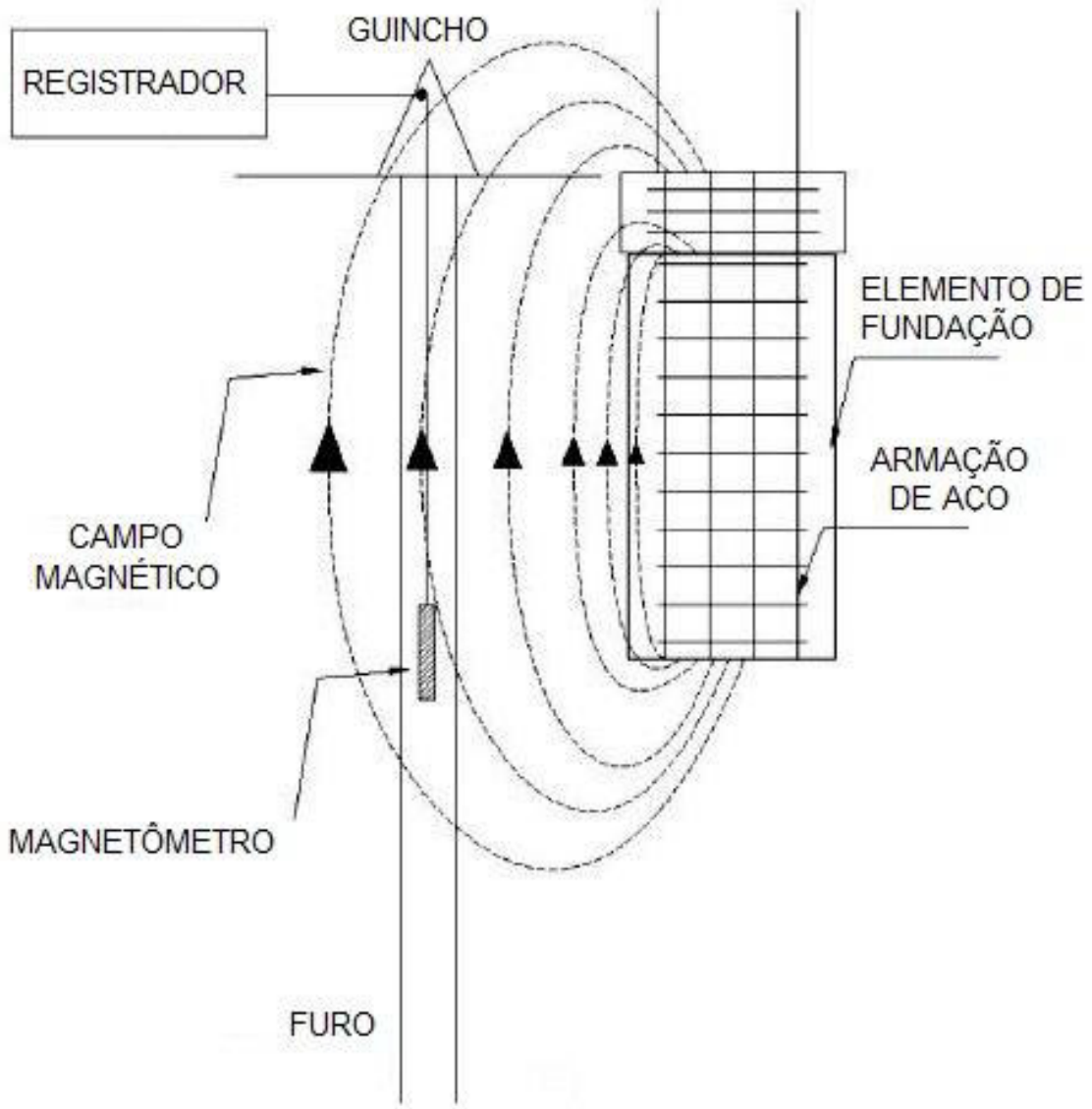
Velocidade da onda no concreto (posição da fundação, até a sua máxima profundidade)

Profundidade interpretada: 8,25 m

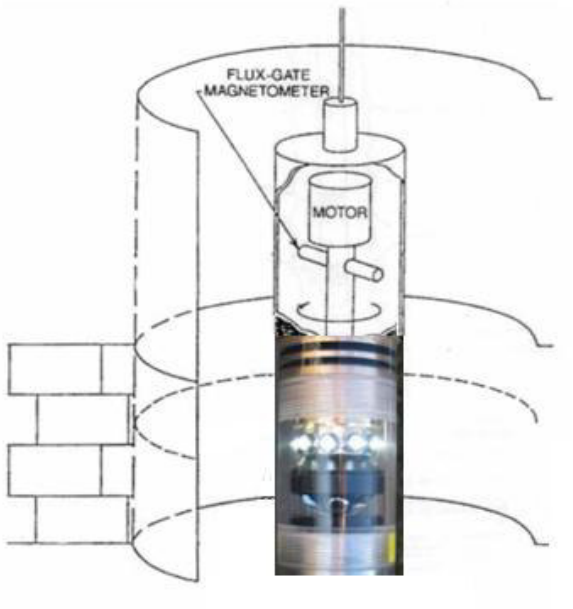
Velocidade da onda sísmica no solo (posição abaixo da máxima profundidade da fundação)

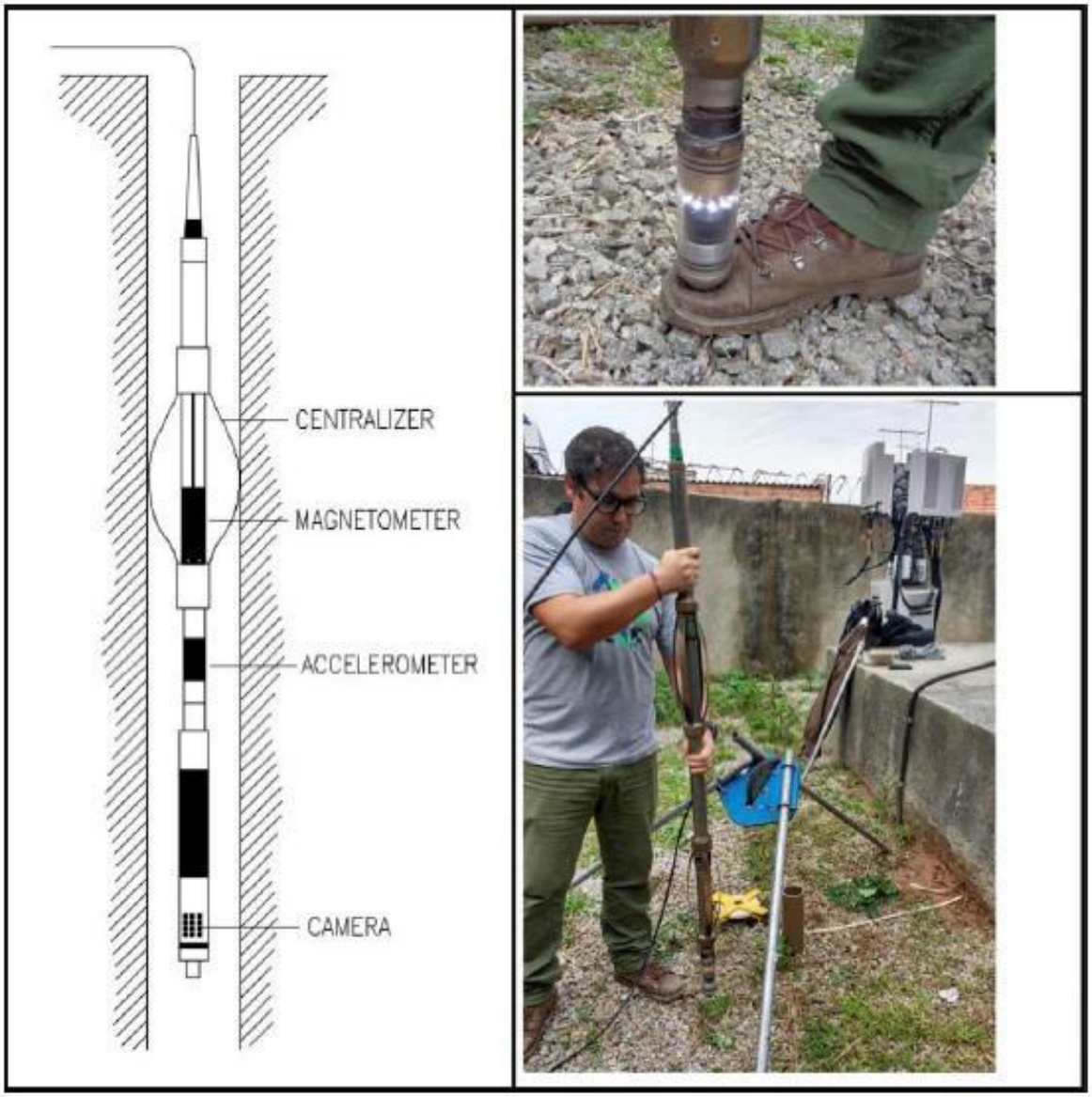


Ensaio de perfilagem magnética

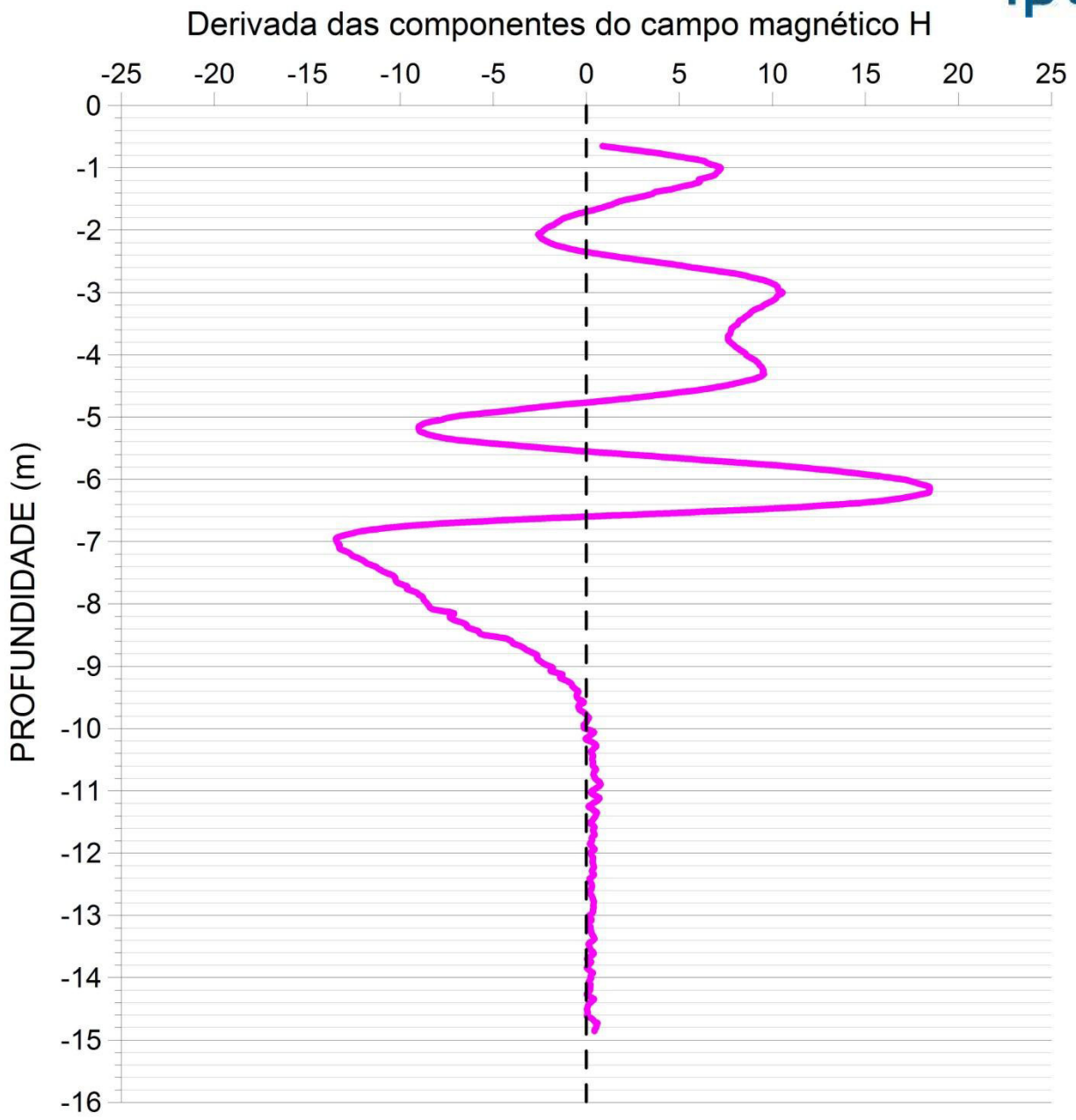


PERFILAGEM MAGNÉTICA UTILIZANDO UMA SONDA DE TELEVISIONAMENTO DE FURO (OPTV)





Resultado do ensaio de perfilagem magnética

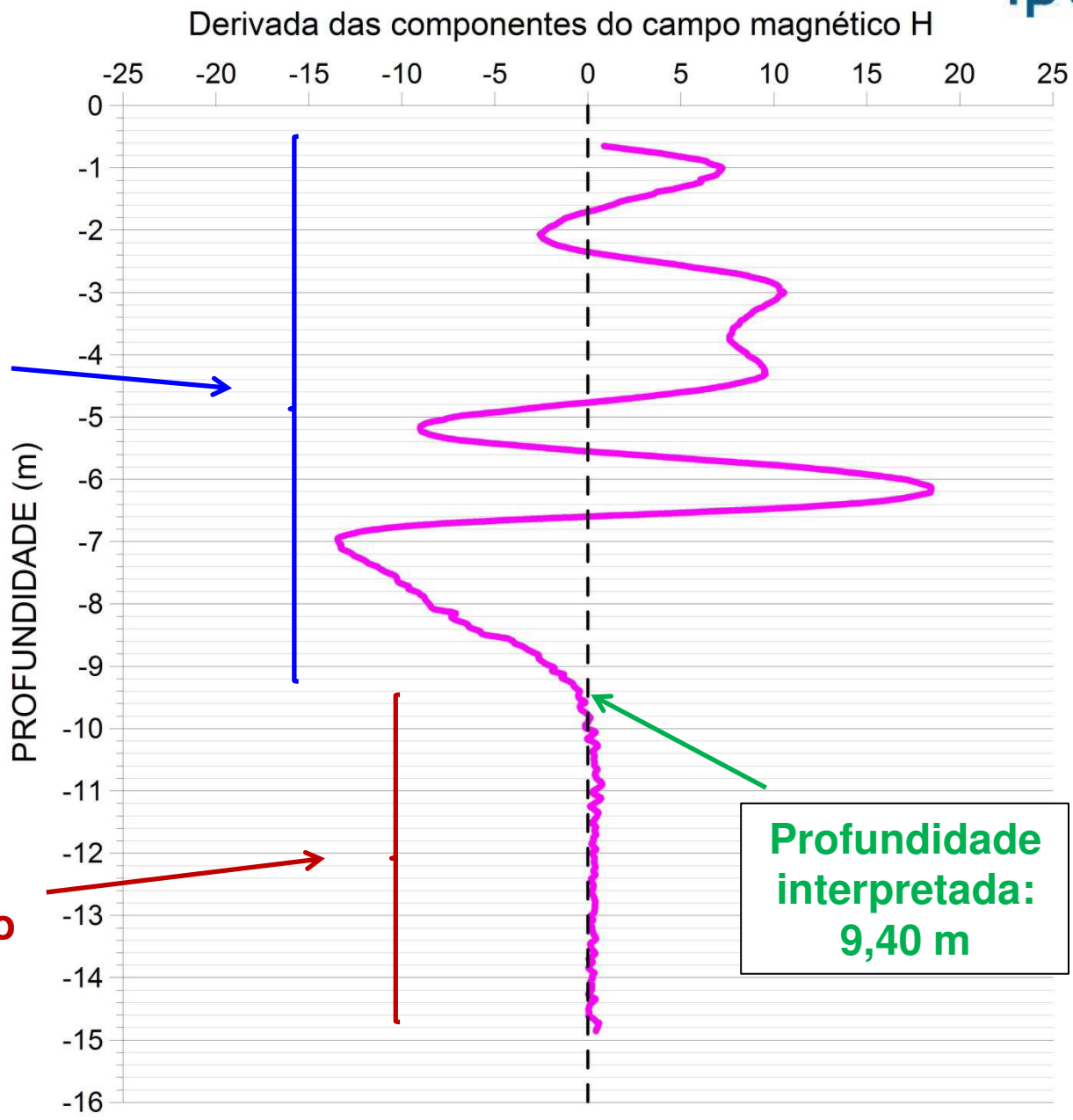


Resultado do ensaio
de perfilagem magnética

INTERPRETAÇÃO

Sinal do campo magnético perturbado (devido à presença da ferragem da fundação)

Sinal do campo magnético sem perturbação



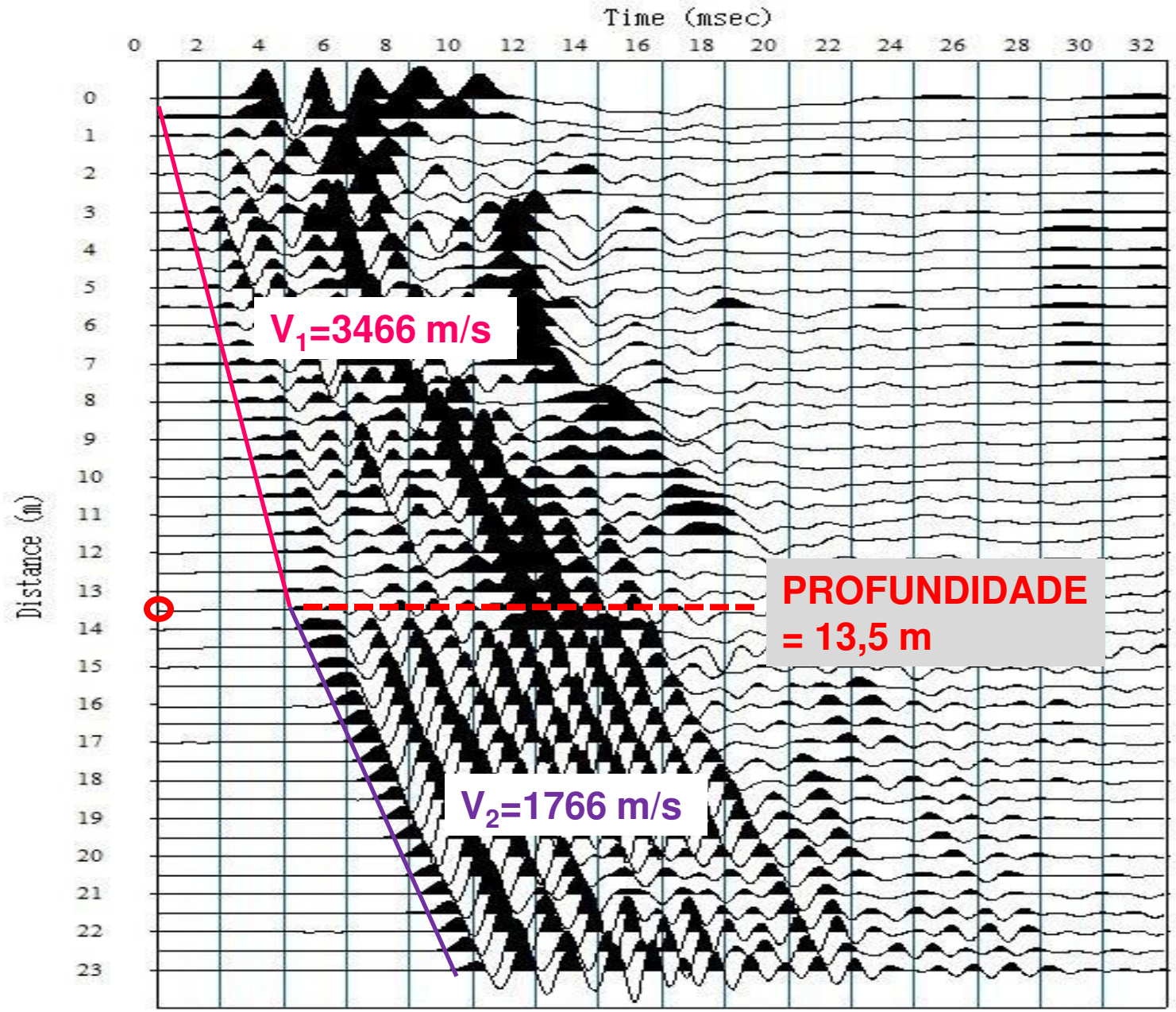
Os dois ensaios (perfilagem magnética e paralelo sísmico) indicam que a profundidade máxima da fundação (possivelmente um tubulão) encontra-se na faixa entre 8,25 m e 9,40 m, não ultrapassando 9,50 m.

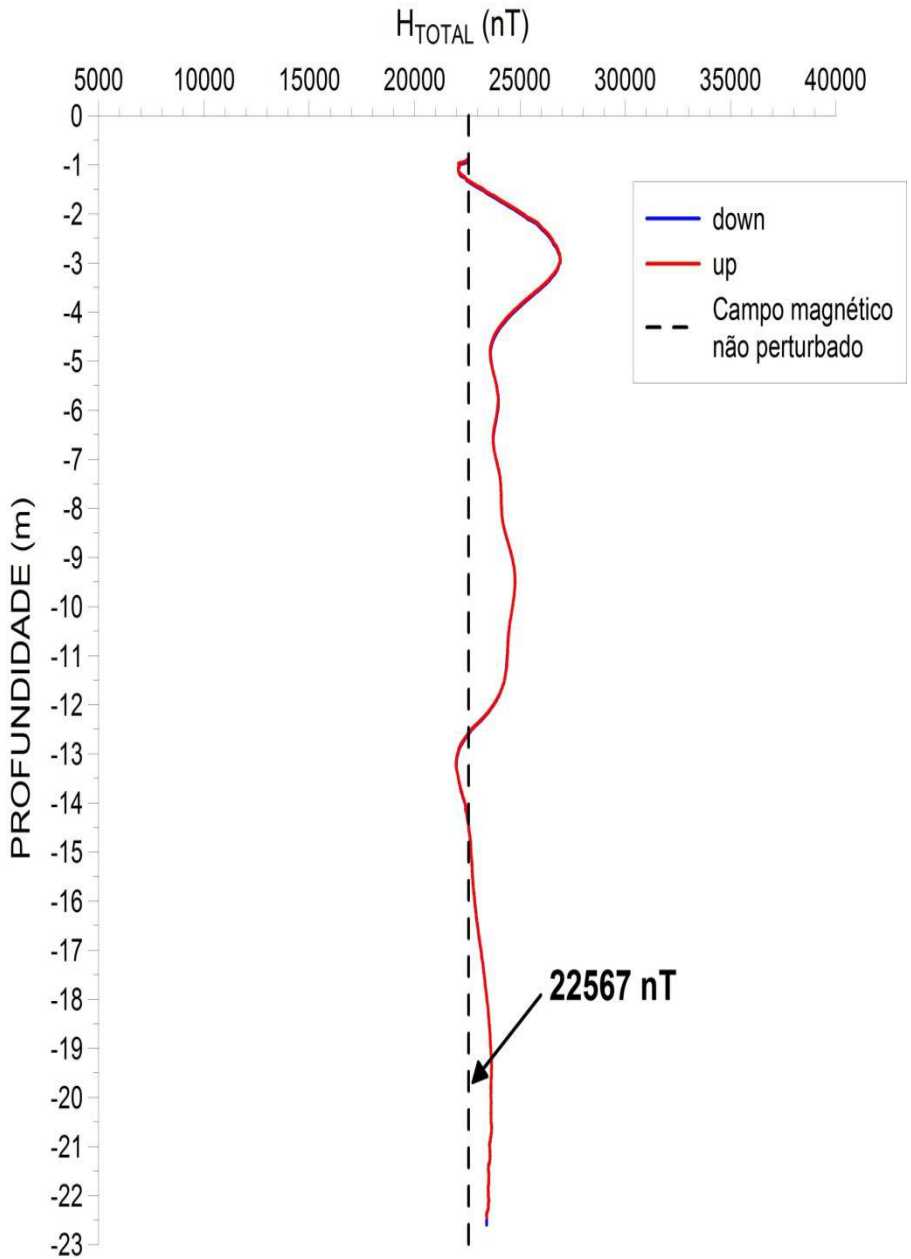
ESTUDO DE CASO 3: CAMPO LARGO-PR

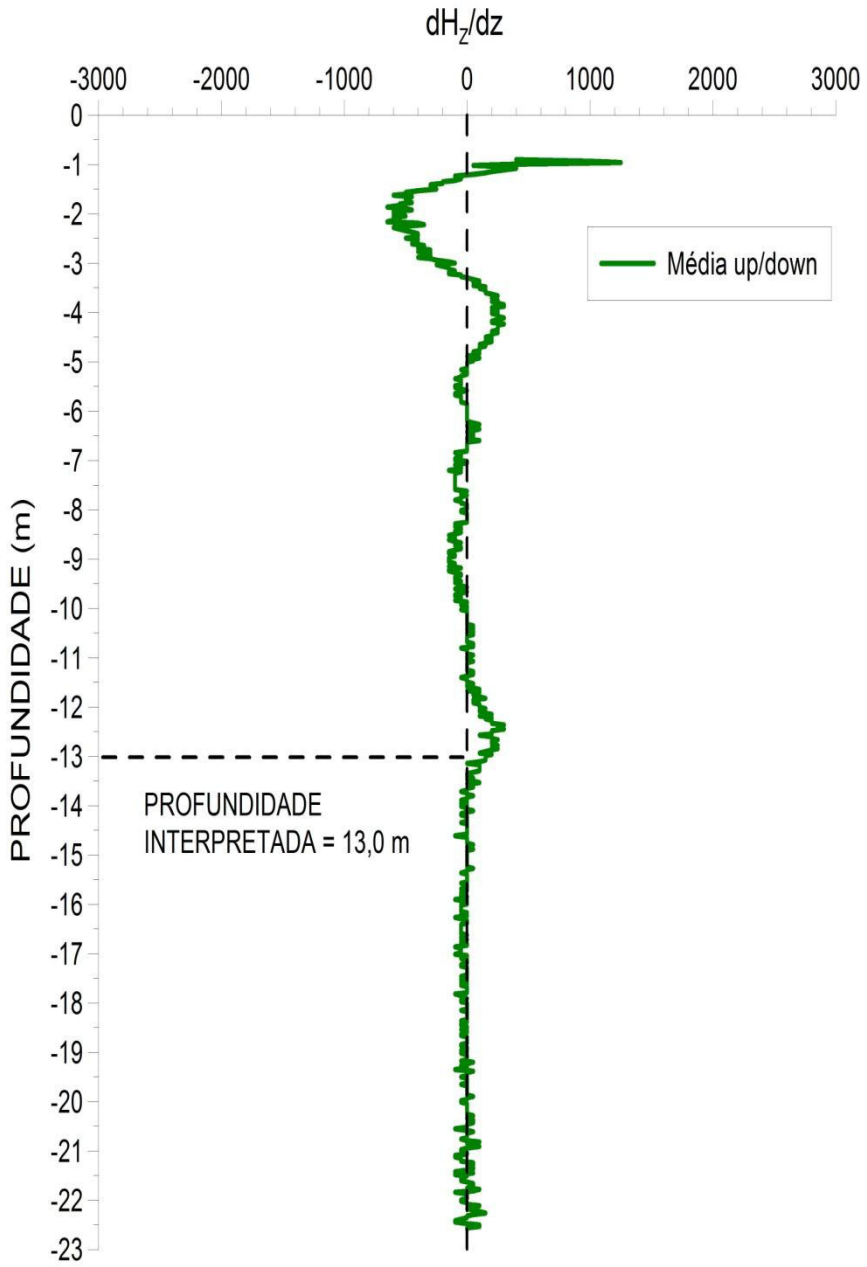
ENSAIO SÍSMICO PARALELO

PERFILAGEM MAGNÉTICA

ESTUDO DE CASO: CAMPO LARGO-PR







Profundidade do elemento de fundação (estaca): entre 13,0 m e 13,5 m