

RESUMO

Este documento, que é uma norma técnica, fixa o procedimento a ser adotado na execução e interpretação de prospecção geofísica pelo método de sísmica de refração. Enumera os campos de aplicação da norma, apresenta definições dos principais termos técnicos sobre a matéria, e prescreve ainda a aparelhagem necessária e a sistemática de apresentação dos resultados.

ABSTRACT

This document presents the procedure for execution and interpretation of the geophysical prospecting by the method of the seismic of refraction. It enumerates the application fields, the definition of the main terms used and prescribes the apparatus and the conditions for obtention of the results.

SUMÁRIO

- 0 Apresentação
- 1 Objetivo
- 2 Referências
- 3 Campo de aplicação
- 4 Conceituação
- 5 Definições
- 6 Aparelhagem
- 7 Ensaio
- 8 Resultados
- Anexo normativo
- Anexo informativo

Macrodescriptores MT: ensaio, ensaio de campo, geofísica

Microdescriptores DNER: ensaio, ensaio de campo, geofísica, sondagem

Palavras-chave IRRD/IPR: ensaio (6255), método de ensaio (6288), geofísica (5742), refração (6788), sísmico (5731), sondagem (5720)

Descritores SINORTEC: ensaio, ensaio de solo, refração, sondagem, sondagem de solo

Aprovada pelo Conselho Administrativo em 27/12/95
Resolução nº 178/95, Sessão nº CA/45/95
Processo nº 20100001599/78-3

Autor: DNER/DrDTc (IPR)
Revisão e adaptação da DNER-ME 045/87
à DNER-PRO 101/93.

0 APRESENTAÇÃO

Esta Norma decorreu da necessidade de se adaptar, quanto à forma, a DNER-ME 045/87 à DNER-PRO 101/93, fazendo-se inserções ou atualizações, julgadas necessárias.

1 OBJETIVO

Esta Norma fixa as condições mínimas exigíveis para execução e interpretação de prospecção geofísica pelo método da sísmica de refração.

2 REFERÊNCIAS

2.1 Referência bibliográfica

No preparo desta Norma foram consultados os seguintes documentos:

- a) DNER-ME 045/87, designada Prospecção geofísica pelo método de sísmica de refração;
- b) ABGE - Glossário de termos técnicos de geologia de engenharia (1ª edição) - geofísica 1975;
- c) Minette, Enivaldo - Geofísica aplicada - Universidade Federal de Viçosa - 1984;
- d) American Association of State Highway and Transportation Official - Manual on subsurface investigations - Washington. D.C. 1988;
- e) Dobrim, Milton B. - Introducción a la prospección geofísica - Ediciones Omega S.A - Barcelona. 1961;
- f) Heiland, C. A., - Sc. D. - Geophysical exploration - New York - 1946;
- g) Dourado, - J. Carlos - A utilização da sísmica na determinação de parâmetros elásticos de maciços rochosos e terrosos "in situ" - ABGE - 1984;
- h) Lessa, Gildézio e Dourado, J. Carlos - Os ensaios "cross-hole" aplicados na obtenção de parâmetros elásticos dos materiais - 1º Encontro Regional de Geofísica - SBGf - 1985;
- i) Cordeiro, Rubens Pascoal et Alli - Mecanismo para obtenção de ondas transversais visando à definição de parâmetros associados ao comportamento mecânico de solos e rochas - 1º Encontro Regional de Geofísica - SBGf - 1985;
- j) Filho, Walter Malagutti et Alli - A sísmica de refração aplicada à definição de grau de escarificação de maciços rochosos;
- k) DNER-IPR - Manual de projeto de engenharia rodoviária - 2º volume. Rio de Janeiro 1974;
- l) Figuerola, J. C. - Tratado de geofísica aplicada, Instituto Geológico y Minero de España, Madri, 2ª ed, 1978.
- m) Ele International - Civil and environmental engineering test equipment, 9th edition catalogue - 1993.

3 CAMPO DE APLICAÇÃO

O método de prospecção geofísica baseado na refração sísmica é utilizado no campo da engenharia civil, com as seguintes finalidades principais:

- a) prospecção e cubagem de áreas de empréstimo e jazidas, permitindo uma caracterização geral da natureza dos materiais e, também, o conhecimento dos volumes disponíveis em um determinado local;
- b) estudo de locais de pedreiras;
- c) estudos de zonas do terreno em processo de ruptura;
- d) definição de características geológicas do subsolo, como: profundidades dos contatos solo/rocha, ocorrência do lençol freático ou zonas de saturação, presença de estratos, estruturas tectônicas e zonas mais fraturadas, ocorrência de depósitos de tálus;
- e) determinação das características dinâmicas dos terrenos, através da avaliação dos parâmetros elásticos;
- f) determinação das características de escarificação ou ripabilidade dos terrenos (tabelas constantes do Anexo informativo).

4 CONCEITUAÇÃO

4.1 Bases do método

O método da refração sísmica se baseia no fato de que, geralmente, terrenos (litologias) diferentes apresentam diferentes velocidades de propagação de ondas elásticas. Seu objetivo básico é a determinação dos tempos de chegada das ondas diretas, que se propagam junto à superfície, e das ondas refratadas em subsuperfície através de arranjos de geofones distribuídos na superfície do terreno. Como método indireto que é, necessita do apoio de sondagens mecânicas para sua interpretação.

5 DEFINIÇÕES

5.1 Linha sísmica

Alinhamento lançado no terreno, que corresponde à extensão da seção sísmica de subsuperfície que se deseja investigar. Esta linha é formada por uma sequência de uma ou mais bases sísmicas, sendo, em geral, uma reta.

5.2 Base sísmica

Alinhamento de geofones e pontos de tiro que compõem um arranjo de prospecção. Geralmente, este arranjo forma, em planta, uma linha reta, sendo que os geofones são em número de 12 ou 24. Nos pontos de tiros são detonadas, uma por vez, cinco cargas explosivas em cinco diferentes pontos, assim denominados: tiros extremos externos, esquerdo e direito (detonados em geral a 50 m do arranjo de geofones); tiros extremos internos, esquerdo e direito (detonados, respectivamente, entre o primeiro e o segundo e entre o penúltimo e o último geofones do arranjo); tiro central (detonado no centro do arranjo dos geofones).

No caso de utilização de aparelho mono-canal, as ondas sísmicas são geradas através de impacto superficial do martelo sobre uma placa metálica espaçada a intervalos crescentes e regulares do geofone, até alcançar um comprimento máximo de 50,0 metros.

5.3 Ponto de tiro

Furo ou série de furos onde se detona uma carga explosiva, para geração de ondas sísmicas que serão captadas pelos geofones.

O termo é empregado, também, para o local onde são geradas ondas sísmicas, através de impacto superficial.

5.4 Ponto de geofone

Ponto onde está localizado um geofone ou uma associação de geofones correspondentes a um canal de registro.

5.5 Tiro em leque

Procedimento de campo segundo o qual os geofones são dispostos em forma de leque em redor do ponto de tiro.

5.6 Prospeção sísmica com registro

Prospeção realizada com conjunto sismográfico que fornece registro permanente das ondas elásticas.

5.7 Prospeção sísmica sem registro

Prospeção realizada com conjunto sismográfico de leitura direta dos tempos de chegada das ondas elásticas.

6 APARELHAGEM

6.1 Requisitos básicos

A aparelhagem deve ser adequada ao tipo de trabalho, à penetração exigida e às condições de campo e seção litológica, com o objetivo de produzir eventos sísmicos destacados do ruído local. Deve possuir, em particular, resolução adequada e base de tempo estável, com um erro de calibração não superior a 1 ms (um milissegundo).

6.2 Geofones

Os geofones devem possuir frequência natural e amortecimento adequado.

6.3 Registrador

Quando exigido equipamento com registro, pode-se recorrer a qualquer técnica que produza registro permanente, estável e calibrado, de precisão e resolução adequadas, por exemplo, em papel ou filme fotossensível.

6.4 Fonte de energia

A fonte de energia pode ser explosiva ou de impacto. Como fonte explosiva, deve ser empregada dinamite com potência de 60% ou explosivo à base de nitrato de amônio. Como fonte de impacto, pode ser empregada percussão com a utilização de martelo, marrão ou qualquer dispositivo similar.

As espoletas devem ser do tipo especial para fins sismográficos, admitindo-se espoletas elétricas instantâneas. O transporte, manuseio e guarda dos explosivos devem obedecer aos requisitos de segurança exigidos.

6.5 No caso de utilização das técnicas "down-hole", "up-hole" e "cross-hole" o equipamento a ser utilizado em um determinado ensaio depende de muitas variáveis tais como: tipo de material, profundidade do material, precisão requerida, coeficiente de segurança a ser adotado no projeto.

Entretanto, o equipamento básico consiste de:

- a) receptor (geofone)
- b) fonte geradora de ondas
- c) sismógrafo (amplificador de sinais e registrador de sinais)

Os geofones são de componentes verticais ou triaxiais; a fonte geradora é geralmente constituída por queda de peso ou impacto de martelo (raramente é utilizado explosivo); os sismógrafos normalmente não precisam ter mais que seis canais.

Quanto às fontes de ondas, as mesmas são elaboradas de modo a gerarem preferencialmente ondas transversais (Vs), o que é conseguido aumentando-se o componente cisalhante do esforço aplicado.

7 ENSAIO

7.1 Aplicação

A prospecção sísmica tem aplicação nas seguintes fases do projeto rodoviário:

- a) estudo de viabilidade;
- b) anteprojeto;
- c) projeto final;
- d) fase de pós-construção.

Na fase de viabilidade, pode ser aplicada a estudos de área de jazidas ou com o apoio na definição da diretriz, incluindo possíveis locais de obras de arte.

Na fase de anteprojeto, pode ser aplicada à prospecção de jazidas, à investigação da linha do projeto e suas alternativas, principalmente em terrenos cársticos, na definição de cavernas e cavidades e nos locais de obras de arte.

Na fase de projeto final, pode ser aplicada no detalhamento de jazidas e investigação de locais especiais, como túneis, grandes cortes, zonas de instabilidade, eventos geológicos, etc.

Na fase de pós-construção o emprego da sísmica de refração encontra vasta aplicação nos estudos de estabilidade de taludes de corte e encostas, mediante o uso de bases sísmicas ou pela utilização de técnicas de "down-hole", "up-hole" e "cross-hole", em furos de sondagens.

Nas fases de viabilidade e anteprojeto, será admitido o emprego de equipamento de leitura direta e a utilização de impacto como fonte de energia.

A utilização de explosivos como fonte de energia será condicionada pela profundidade que se deseja investigar, bem como das características da área em estudo.

7.2 Procedimento de campo

7.2.1 A prospecção deve ser executada de modo a produzir eventos sísmicos destacados do ruído local.

7.2.2 As linhas onde serão executadas as bases sísmicas de refração devem ser locadas, estaqueadas e niveladas convenientemente.

7.2.3 Os pontos de tiro devem ser de, no mínimo 2 (dois), situados nas extremidades das bases.

7.2.4 Para bases mais longas, podem ser utilizados 5 (cinco) pontos de tiro; sendo 2 (dois) externos, afastados dos geofones extremos: 2 (dois) tiros internos, próximos aos geofones extremos, e 1 (um) tiro central, conforme figura 1 do Anexo normativo.

7.2.5 As bases sísmicas podem ser estabelecidas mantendo-se fixo o ponto de tiro e móveis os pontos de geofone, ou vice-versa.

7.2.6 Deverá haver uma superposição de dois pontos de geofones, entre bases sísmicas consecutivas, conforme a figura 2 do Anexo normativo.

7.2.7 É recomendável incluírem-se, conforme o objetivo, linhas transversais e tiros em leque.

7.2.8 Na prospecção sísmica sem registro, as leituras correspondentes aos eventos sísmicos devem ser anotados em formulário próprio.

7.2.9 Para cada base sísmica, serão obtidas curvas “tempo x distâncias”, “dromocrônicas” ou “gráficos T - X” que serão utilizados no cálculo das profundidades dos horizontes refratores e das correspondentes velocidades de propagação das ondas sísmicas. (Anexo - Tabela de velocidades longitudinais de propagação nas rochas).

7.2.10 Técnicas “down-hole”, “up-hole” e “cross-hole”

Essas técnicas permitem captar as velocidades das ondas longitudinais ou principais (V_p) e as velocidades das ondas transversais ou cizalhantes (V_s).

A técnica “down-hole” permite captar ondas em várias profundidades, dentro de um mesmo furo de sondagem. A fonte geradora dessas ondas situa-se na superfície do terreno, e o geofone fica dentro do furo de sondagem.

Para a técnica “up-hole” o procedimento é o inverso da técnica “down-hole”, pois neste caso a fonte geradora de ondas situa-se dentro do furo de sondagem, enquanto que o geofone fica na superfície do terreno. E a técnica “cross-hole”, também conhecida por transmissão direta, consiste em captar em um furo de sondagem ondas geradas em um outro furo. O procedimento de campo é desenvolvido de maneira que o receptor (geofone) e o gerador de ondas fiquem na mesma profundidade ou camada a ser investigada.

Essas técnicas, além da definição das espessuras e velocidades de camadas em profundidade (muitas das quais, às vezes, não são detectáveis pela técnica comum da refração sísmica), são utilizadas na determinação das constantes elásticas dessas camadas, através dos “valores dinâmicos”, obtidos nos parâmetros elásticos pela relação existente entre as velocidades de propagação das ondas longitudinais (V_p) e das ondas transversais (V_s), como por exemplo:

- a) Módulo de Young
- b) Módulo de compressibilidade
- c) Coeficiente de Poisson
- d) Módulo de rigidez
- e) Densidade do material

Os parâmetros elásticos são denominados "dinâmicos", quando obtidos através da sísmica de refração, para diferenciar de quando esses valores são obtidos através de ensaios estáticos.

A experiência tem mostrado que os valores dinâmicos são maiores que os estáticos (7 a 10 vezes), sendo que essa diferença aumenta em materiais com menores valores de módulos de elasticidade (Módulo de Young).

7.3 Interpretação

7.3.1 A correlação entre velocidades sísmicas e natureza dos terrenos devem ser estabelecida com base nos resultados obtidos em sondagens mecânicas com amostragem, locadas estrategicamente na área investigada, ou por meio da execução de uma base sísmica junto a uma sondagem com amostragem preexistente.

No estudo de fundação e/ou estabilidade de encostas, algumas propriedades mecânicas do meio podem ser determinadas, com o emprego de técnicas tais como: "down-hole", "up-hole", "cross-hole" ou com a utilização de geofones especialmente sensíveis às ondas transversais, empregados de maneira idêntica à técnica com utilização de geofones especialmente sensíveis a ondas longitudinais. Assim, são determinadas mais facilmente os dois tipos de ondas elásticas internas (V_p e V_s), que mostram correlação aproximada entre os diversos tipos de terrenos e relações entre velocidades de ondas longitudinais (V_p) e de ondas transversais ou cizalhantes (V_s), para os diversos valores de velocidades de ondas longitudinais (V_p).

Para auxiliar e acelerar as interpretações de qualquer tipo de sondagem sísmica, podem ser usados programas de computador.

7.3.2 Os parâmetros utilizados para definir as características de escarificação devem ser claramente evidenciados. No Anexo informativo, são apresentadas tabelas orientadoras de escarificabilidade de terreno em função do tipo de potência de máquina utilizada.

8 RESULTADOS

Os resultados da refração sísmica devem ser apresentados em forma de boletins diários de produção e seções sísmicas interpretadas, incluindo a respectiva memória de cálculo e as cópias dos registros ou dos formulários de leitura ou, ainda, de transcrições das fitas magnéticas.

Todos os documentos devem ser identificados e numerados conforme sistemática que permita a perfeita correlação com o local de investigação, no campo.

Nessa documentação devem constar, onde aplicáveis, os seguintes elementos:

- a) nome da firma executora;
- b) nome da norma;
- c) número da(s) linha(s);
- d) número da(s) base(s);

- e) número do(s) tiro(s);
- f) data(s);
- g) tipo e número de série da aparelhagem;
- h) escalas horizontal e vertical;
- i) natureza dos materiais e respectivas velocidades de propagação de onda;
- j) amarração topográfica a um RN;
- k) observações;
- l) assinatura do técnico responsável.

/Anexos

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

ANEXO NORMATIVO - FIGURAS

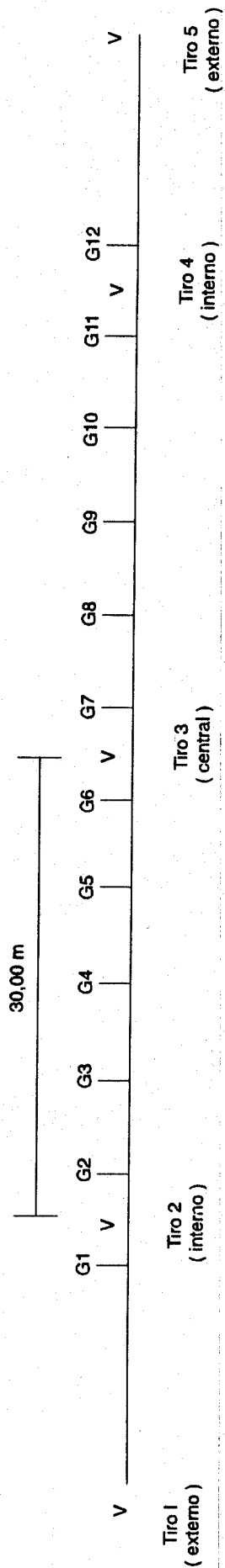


Figura 1

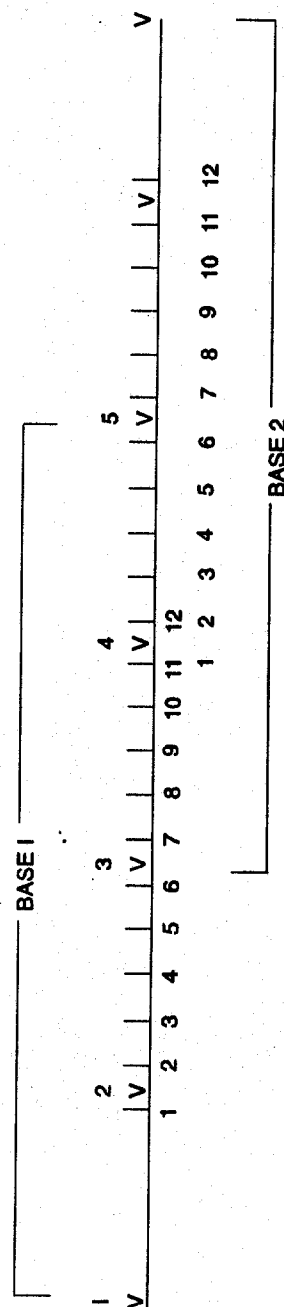


Figura 2

ANEXO INFORMATIVO - TABELAS

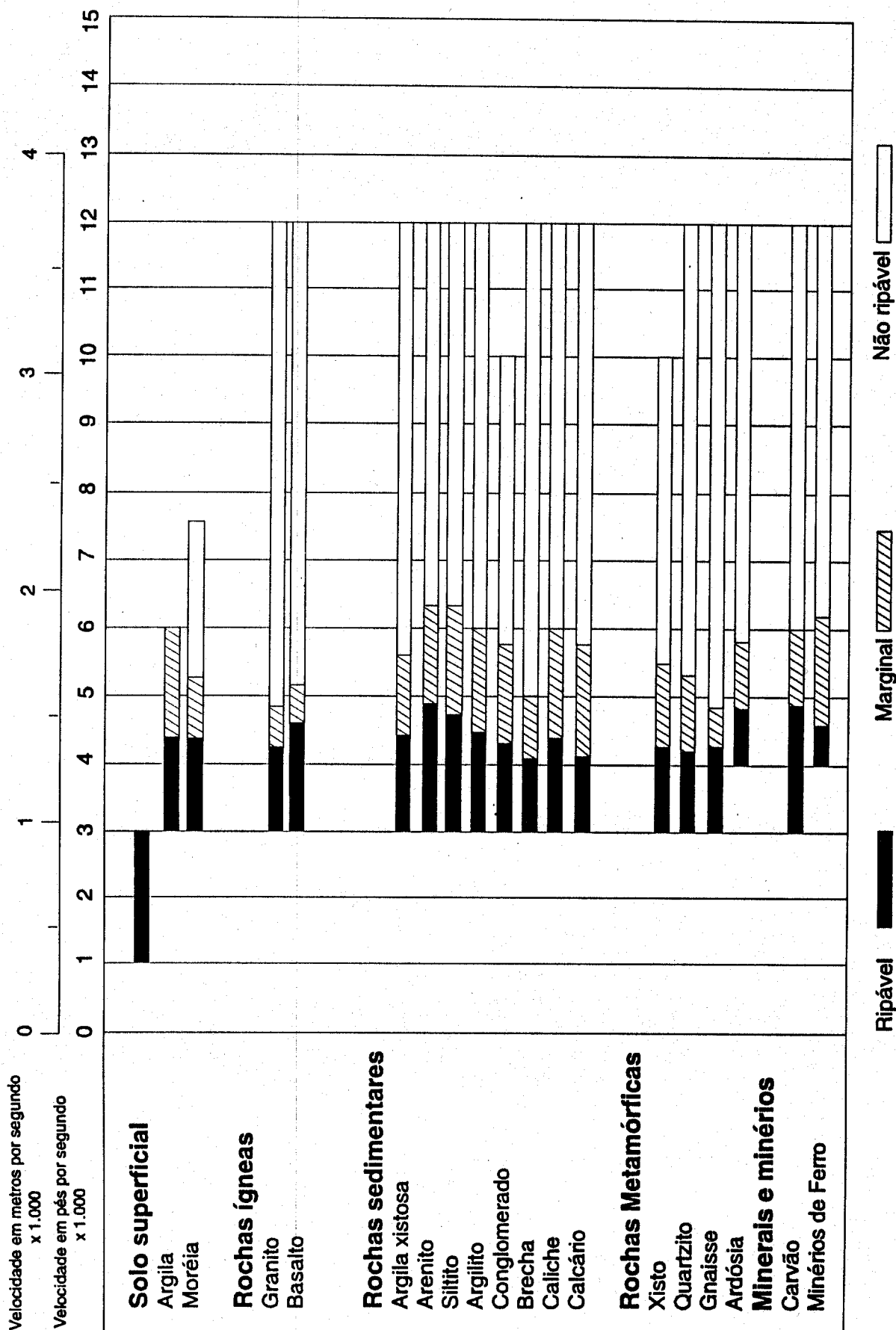
Tabela 1 - Velocidade longitudinal de propagação das ondas sísmicas nas rochas (Figuerola - 1978)

Material	V_p (m/s)		
Capa meteorizada	300	a	900
aluviões recentes	350	a	1.500
argilas	1.000	a	2.000
margas	1.800	a	3.200
arenitos	1.400	a	4.500
conglomerados	2.500	a	5.000
calcários	4.000	a	6.000
dolomitas	5.000	a	6.000
sal	4.500	a	6.500
gesso	3.000	a	4.000
anidrita	3.000	a	6.000
gnaisse	3.100	a	5.400
quartzito	5.100	a	6.100
granitos	4.000	a	6.000
gabros	6.700	a	7.300
dunitos	7.900	a	8.400
diabásio	5.800	a	7.100
ar	330*		
água	1.450*		

* Segundo LNEC

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

Tabela 2 - Carta de ripabilidades para "Ripper" D7F



Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

Tabela 3 - Carta de ripabilidades para "Ripper" D8H

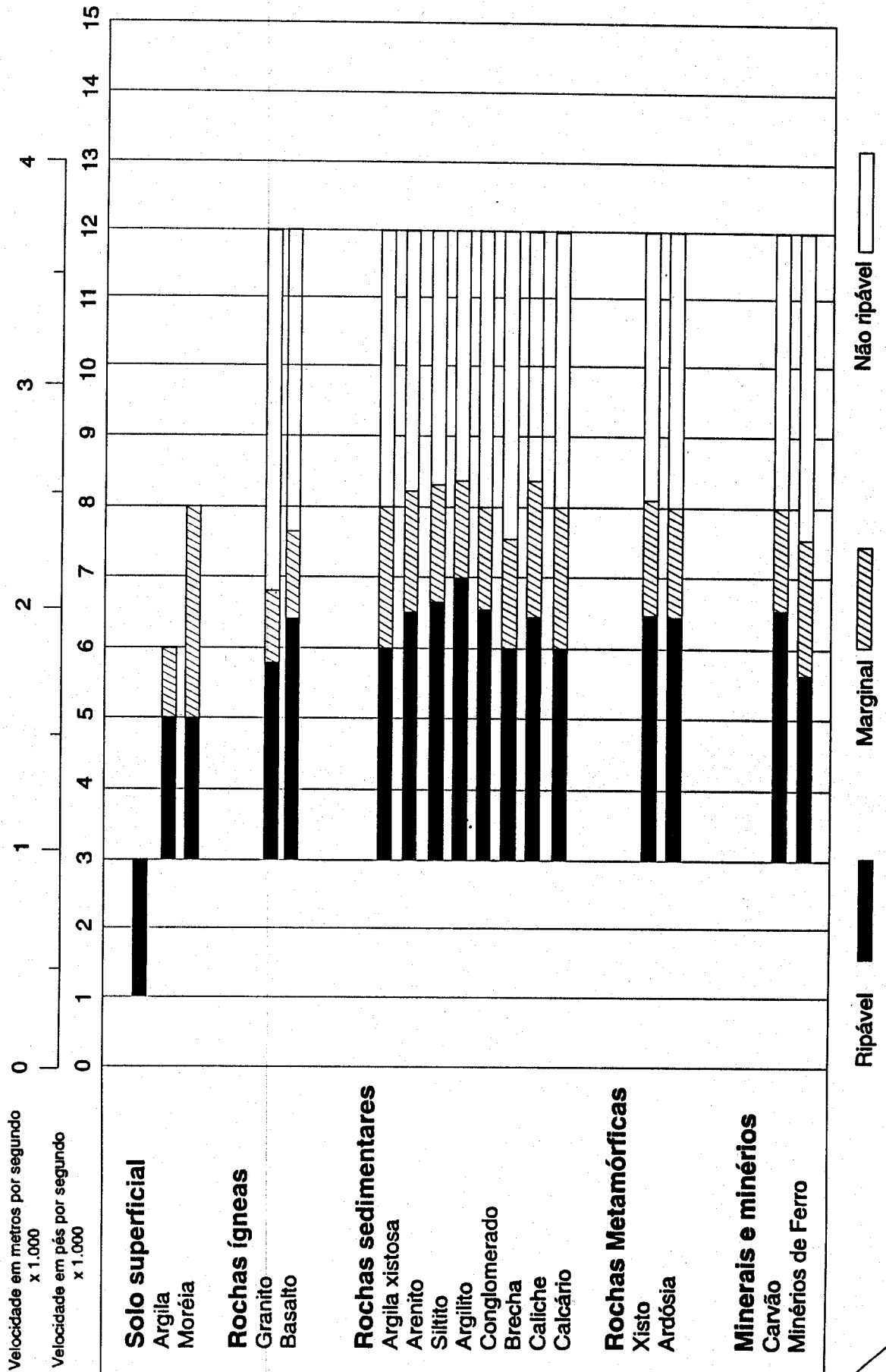


Tabela 4

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

Tabela 4 - Carta de ripabilidades para "Ripper" D9G

