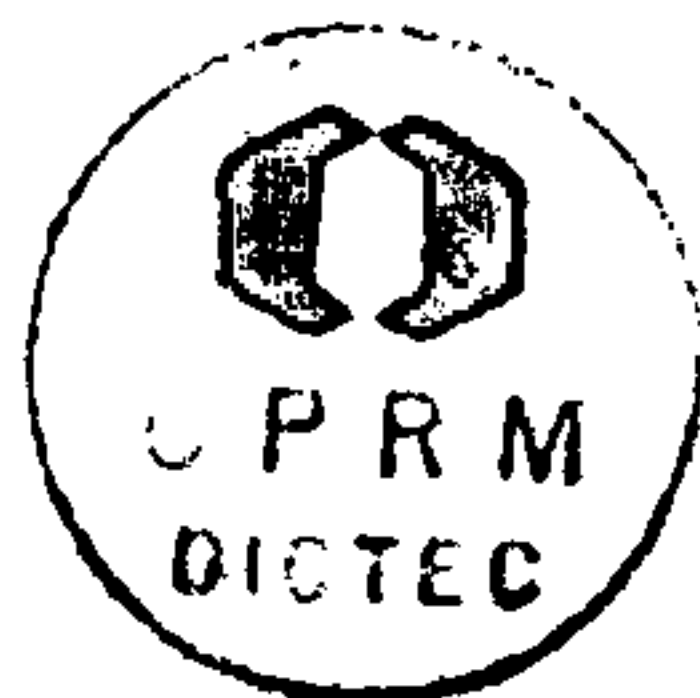


PROSPECÇÃO GEOFÍSICA
PARA CARVÃO

li
0729



COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS

PROSPECÇÃO GEOFÍSICA PARA CARVÃO

Moysés Bentes
Antonio Flavio Uberti Costa

SEMINÁRIO BRASILEIRO SOBRE TÉCNICAS EXPLORATÓRIAS NA
GEOLOGIA - Gravatal -- SC - Fev. 79

1. INTRODUÇÃO

A indústria do carvão, no mundo, vem se beneficiando de métodos geofísicos em múltiplos aspectos:

- 1 - detecção de veios de carvão e delineamento estrutural para a descoberta de novas jazidas;
- 2 - planejamento de minas novas;
- 3 - desenvolvimento e extensão de minas existentes.

Os métodos geofísicos de que se trata aqui são os métodos sísmicos - refração e reflexão - e a eletrorresistividade - sondagens elétricas verticais.

A pesquisa de carvão tem alguns pontos de comparação com a pesquisa de petróleo que são muito significativos. A matéria orgânica, matriz do carvão, se deposita sobre áreas mais ou menos vastas e aí permanece, sem migrar. O petróleo migra e para se acumular requer barreiras, sejam de natureza estrutural, sejam de natureza estratigráfica. Estruturas como falhas e dobras são frequentemente vitais para se ter uma acumulação econômica de petróleo. Estruturas dessa mesma natureza podem inviabilizar economicamente a exploração do carvão.

Do ponto de vista dos métodos geofísicos é igualmente importante o condicionamento estrutural da ocorrência de petróleo e de carvão. Do ponto de vista da extração, algumas condicionantes são distintas num caso e noutro. No caso de petróleo a fluidez, a pressão e o tipo de acumulação (estrutural versus estratigráfica) são altamente relevantes. No caso do carvão a ausência de complicações estruturais afeta de forma importante a economia da extração. Importa em ambos os casos: a qualidade, a profundidade e as determinantes genéticas das ocorrências.

Todas essas considerações advêm do fato de que os métodos geofísicos que ora se empregam na pesquisa de carvão, e, particu-

larmente, os que serão comentados neste trabalho, tiveram seus mais significativos desenvolvimentos na exploração de petróleo.

Além da abordagem dos métodos em si, de seus "modus operandi" do tratamento dos dados por eles obtidos, é de fundamental importância observar as propriedades físicas do carvão, aquelas que o distinguem das rochas que o contem e que, podem servir para individualizá-lo.

Quanto aos métodos aqui enfocados, dois - a refração sísmica e a eletrorresistividade - são indiretos, e um - a reflexão sísmica - pode ser direto.

A reflexão sísmica que tem sido empregada para carvão é a de alta resolução.

No caso específico do Rio Grande do Sul a metodologia aplicada combinou refração sísmica com sondagens elétricas verticais. Essa combinação de métodos visou, como é lógico, o delineamento estrutural, e, neste caso, em particular, o do embasamento precambriano. Isto se baseou em que, nessa região, os furos de sonda, previamente praticados, permitiram perceber a existência de uma relação entre depressões basais e o espessamento do conjunto de camadas de carvão, acompanhando o espessamento da Formação Rio Bonito que as contem.

2. PROPRIEDADES FÍSICAS DO CARVÃO

Algumas propriedades físicas do carvão são particularmente propícias à geofísica. A resistividade elétrica é média a alta, a suscetibilidade é próxima da do vácuo, a radioatividade em geral é baixa, a densidade é muito baixa e as velocidades sísmicas são baixas, se se levar em consideração idade e profundidade.

Para ilustrar a importância de algumas dessas propriedades tomen-se algumas figuras de um trabalho de Hagemann, R.F. e Peace, D.C. (1976). Na figura 1, são apresentados perfis de velocidade contínua (sônico), densidade e impedância acústica. Acima das camadas de car

vão, até quase 300 metros, todos os três perfis são relativamente mo-
nótonos. Daí para baixo diversos contrastes de densidade e velocidade
evidenciam a sucessão das camadas de carvão. A figura 2 representa
a ampliação para que se visualize melhor, do perfil sônico, onde se
vê a camada de carvão dos 517 aos 518,8m.

A figura 3 é, também, uma ampliação. Aí se podem observar três
camadas de carvão. Na ilustração seguinte, figura 4 está feita uma
análise de refletividade (coeficiente de reflexão) na base da cama-
da superior de carvão, em função do contraste de velocidades (coef.
0,242) e do contraste de velocidades e densidades (coef. 0,450). De
todo modo são coeficientes de reflexão altos. O valor 0,242, por e-
xemplo, equivaleria a uma interface entre sedimentos com velocidade
3660 m/s e embasamento com velocidade 6000 m/s.

3. REFLEXÃO SÍSMICA DE ALTA RESOLUÇÃO

Quando se gera um pulso de energia com propósito de pesqui-
sa sísmica, esse pulso contém um largo espectro de frequências, das
mais baixas às mais altas. Um tal trem de ondas ao atravessar um pa-
cote de rochas tem atenuada sua fração de altas frequências. Por
outro lado, são as frequências mais altas que, através dos fenome-
nos conhecidos, permitem uma resolução melhor das feições de me-
nor magnitude, como camadas finas, falhas de pequeno rejeito, etc.
Em resumo: frequência baixa, maior penetração; frequência alta, me-
lhor resolução.

Daí decorre que, se o que se quer investigar está a peque-
na profundidade, basta melhorar a seletividade e recepção das fre-
quências altas. Mas a profundidades médias e grandes, os sinais des-
sas frequências retornam de tal sorte fracos, que o único recurso
seria o de amplificá-los e reforçá-los, de algum jeito. Assim, nos
dias que correm, acumulando conquistas passadas, recentes e mais
remotas, se chegou à reflexão sísmica de alta resolução, combinan-
do:

DEPTH TO TIME CONVERSION

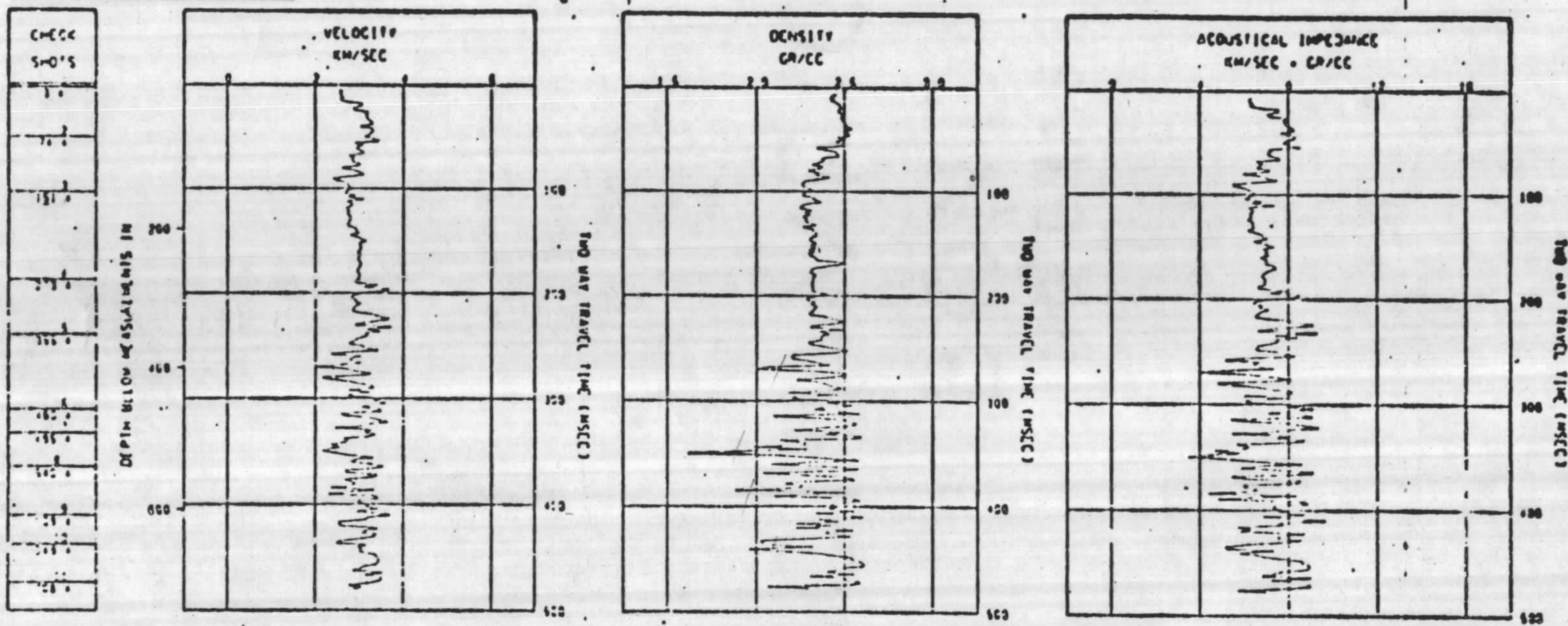


FIGURA 2

CONTINUOUS VELOCITY LOG

Sonic transit time (micro. sec/ft)

240

140

40

500

Depth
Meters

COAL
517m
518.8m

525

FIGURA 2

6

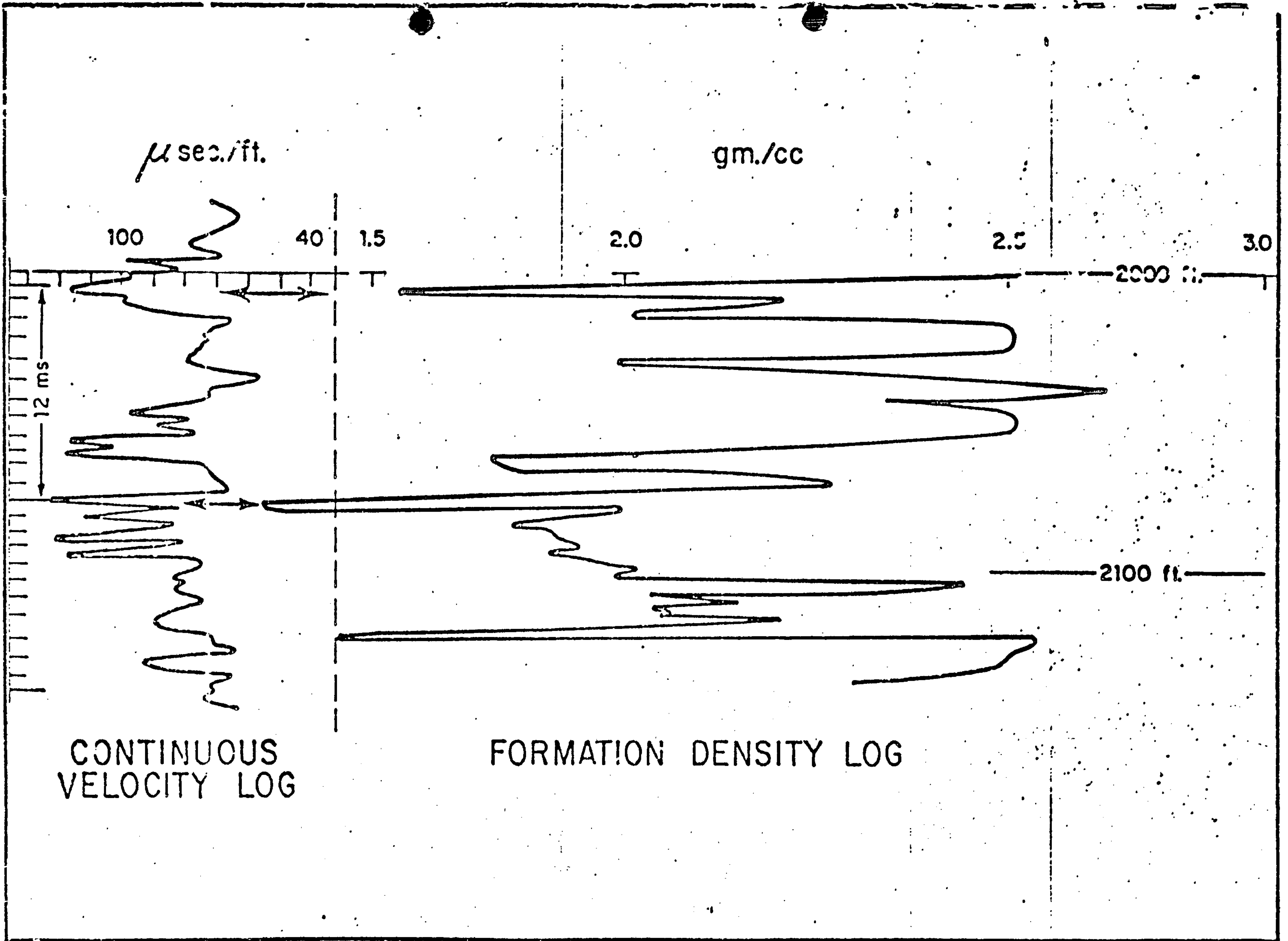


FIGURA 3

**COEFICIENTE DE REFLEXÃO DA BASE
DE UMA CAMADA DE CARVÃO
(deduzido da fig. 3)**

$$\delta_0 = 1,55 \text{ g/cm}^3 \quad (\text{CARVÃO})$$

$$V_0 = \frac{1}{118 \times 10^{-6}} \text{ ft/s} = 8475 \text{ ft/s} = 2584 \text{ m/s}$$

$$\delta_0 V_0 = 4,00475 \times 10^{-3}$$

$$\delta_1 = 2,50 \text{ g/cm}^3 \quad (\text{FOLHELHO SOTOPOSTO AO CARVÃO})$$

$$V_1 = \frac{1}{72 \times 10^{-6}} \text{ ft/s} = 13889 \text{ ft/s} = 4234 \text{ m/s}$$

$$\delta_1 V_1 = 10,58604 \times 10^{-3}$$

Se não se consideram as densidades:

$$\text{Coef. de Refl.} = \frac{V_1 - V_0}{V_1 + V_0} = 0,242$$

Mas, se considerarmos os contrastes de densidades:

$$\text{Coef. de Refl.} = \frac{\delta_1 V_1 - \delta_0 V_0}{\delta_1 V_1 + \delta_0 V_0} = 0,450$$

- melhoria nos equipamentos;
- técnicas de campo adequadas;
- técnicas de processamento eletrônico.

Considerando-se o renovado interesse pelo carvão, não tardou que essas novas técnicas viessem a ser aplicadas à sua pesquisa e à sua lavra. As excepcionais propriedades físicas do carvão, de que já se deu notícia neste trabalho, são um fator de grande ajuda neste tipo de pesquisa.

A figura 5, segundo Farr, J.B. (1978) mostra uma equipe de alta resolução operando sobre uma seção geológica onde aparecem alguns dos alvos típicos de uma pesquisa para carvão. As técnicas de campo são comparáveis, em escala reduzida, às da reflexão sísmica convencional. Os geofones-tipo "downhole" são enterrados a intervalos que, em geral, variam de 5 a 20 m. Esses detectores produzem um traço comparável a um pseudo perfil sísmico de alta resolução e que, com os parâmetros adequados, pode ter o mesmo grau de resolução de um perfil geofísico de poço. As informações que se podem inferir de um conjunto de tais traços compreendem a locação de falhas de rejeito muito pequeno, canais de areia, "shale-outs" e outras feições lateralmente cambiantes, estruturais e estratigráficas, que afetam a qualidade geológica de uma ocorrência de carvão. No caso da figura 5, furos rasos, foram feitos a cada 10 m. Depois de desocupados (dos geofones) são usados como pontos de tiro. As cargas de explosivo, pequenas, ao serem detonadas, produzem energia sísmica de frequência muito alta, detectada nos geofones e registrada digitalmente em aparelhagem especial de campo expandido.

A cada detonação se avança 10 m. Esta é a bem conhecida técnica de Common Depth Point (CDP). Os registros de campo são processados em computador, onde se aplicam as correções estáticas e dinâmicas adequadas e se empilham os traços correspondentes a non

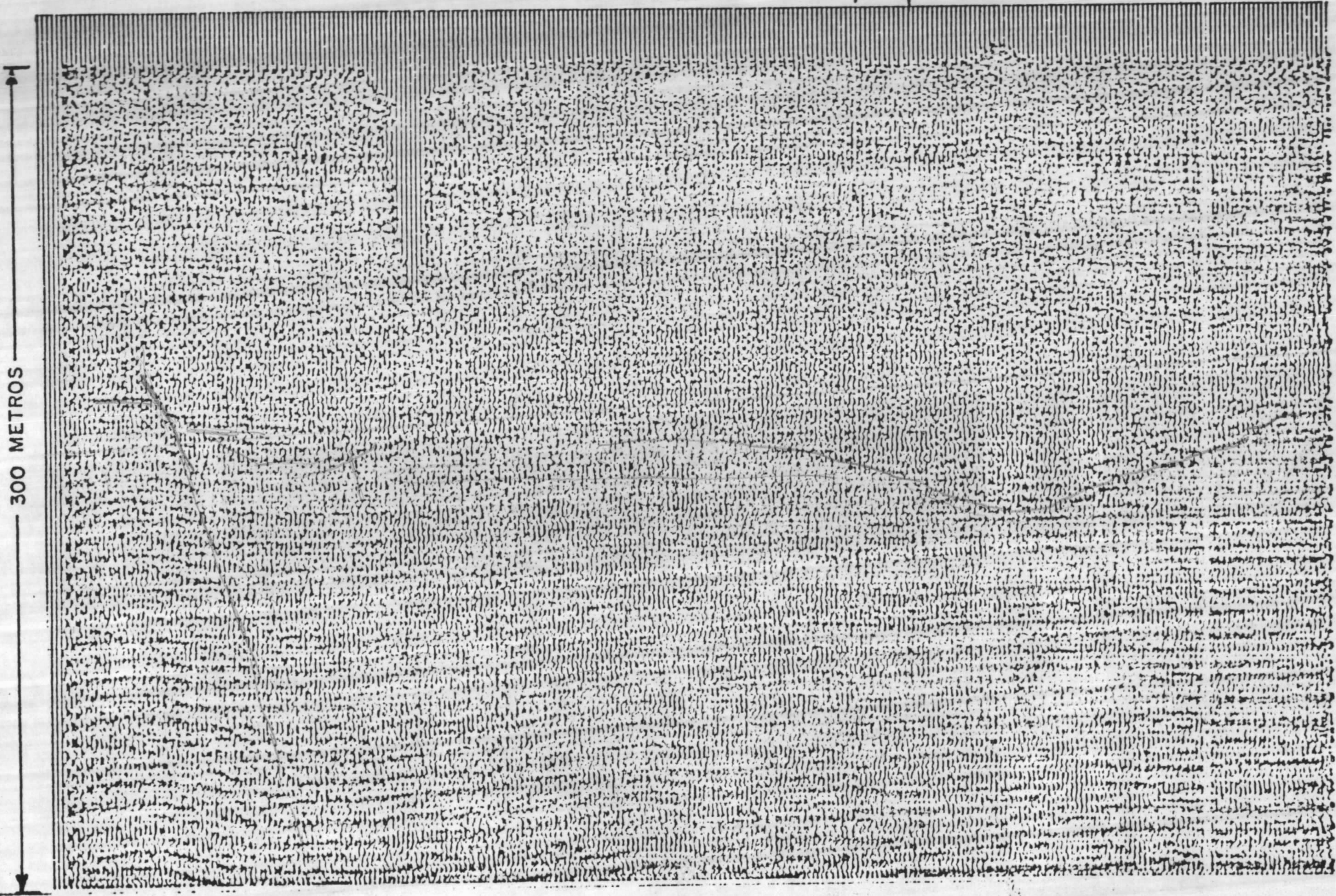


FIGURA 6

Segundo Farr, J.B., 1978 , Seismic Profiling for Coal
Mining Planning, SEG Int. Meeting

10

BORHOLE CROSS SECTION

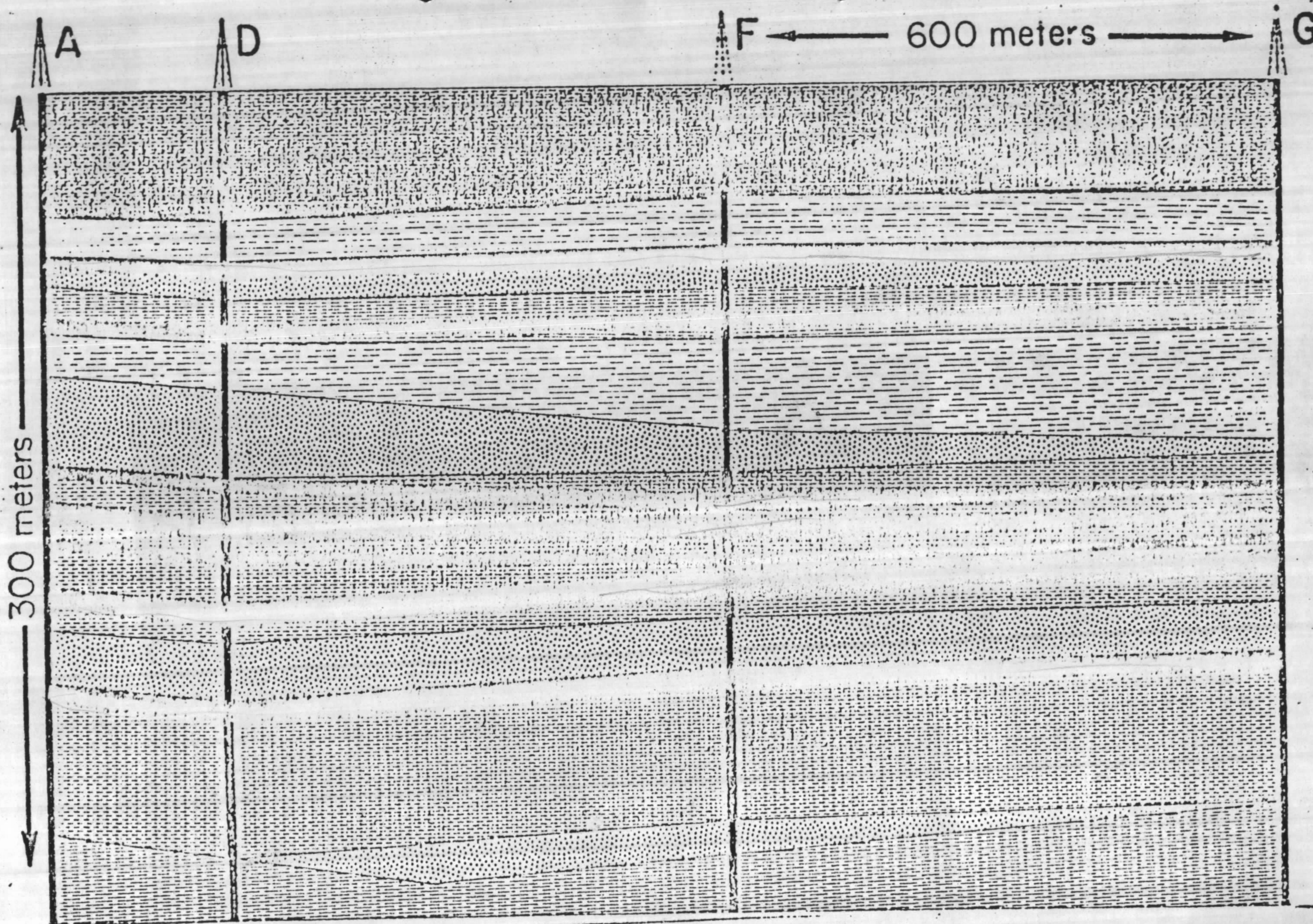


FIGURA 7

Segundo Farr, J.B., 1978, Seismic Profiling for Coal Mining Planning, SEG Int. Meeting

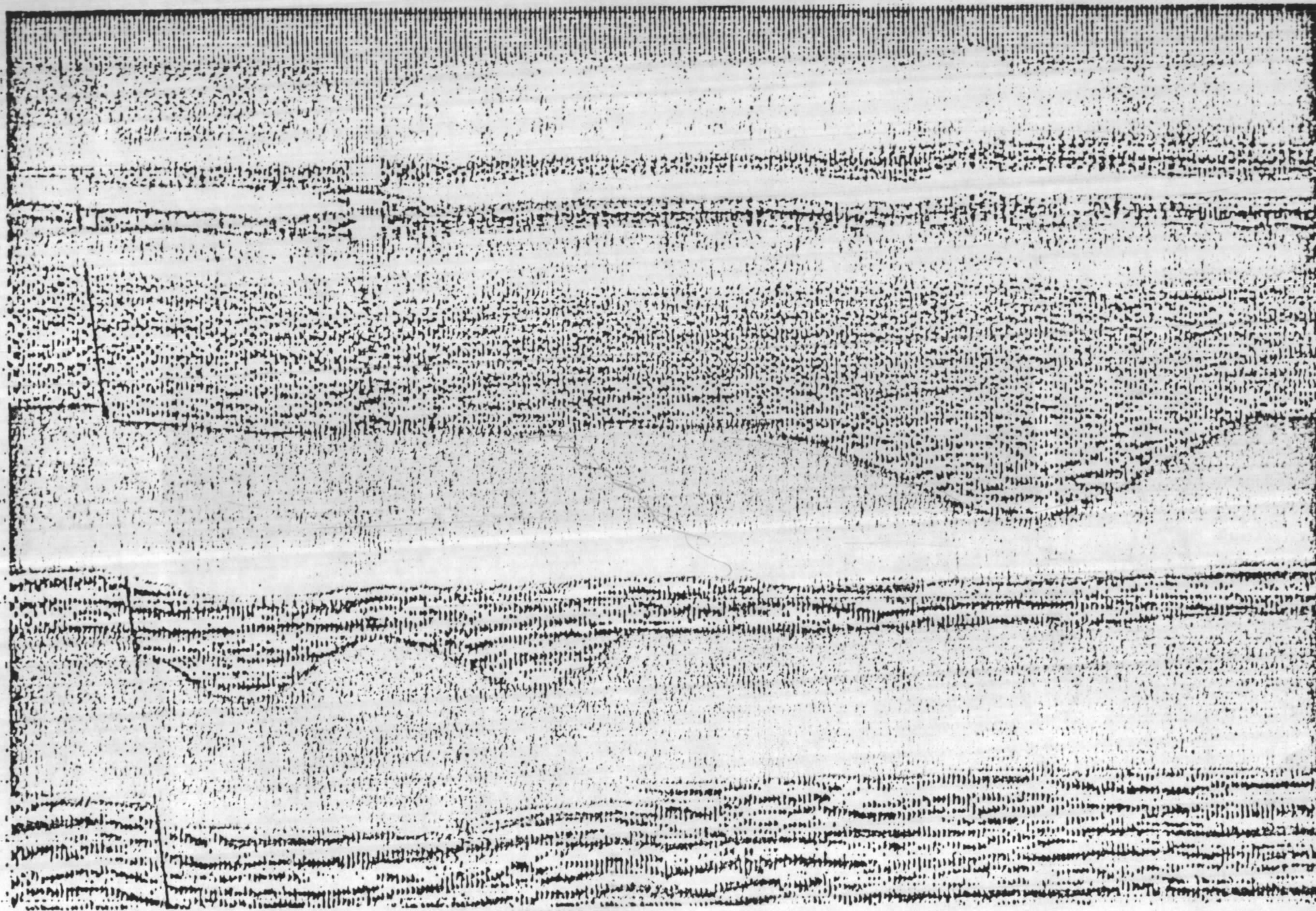


FIGURA 8

Segundo Farr, J.B., 1978, Seismic Profiling for Coal
Mining Planning, SEG Int. Meeting

12

SEISMIC CROSS SECTION

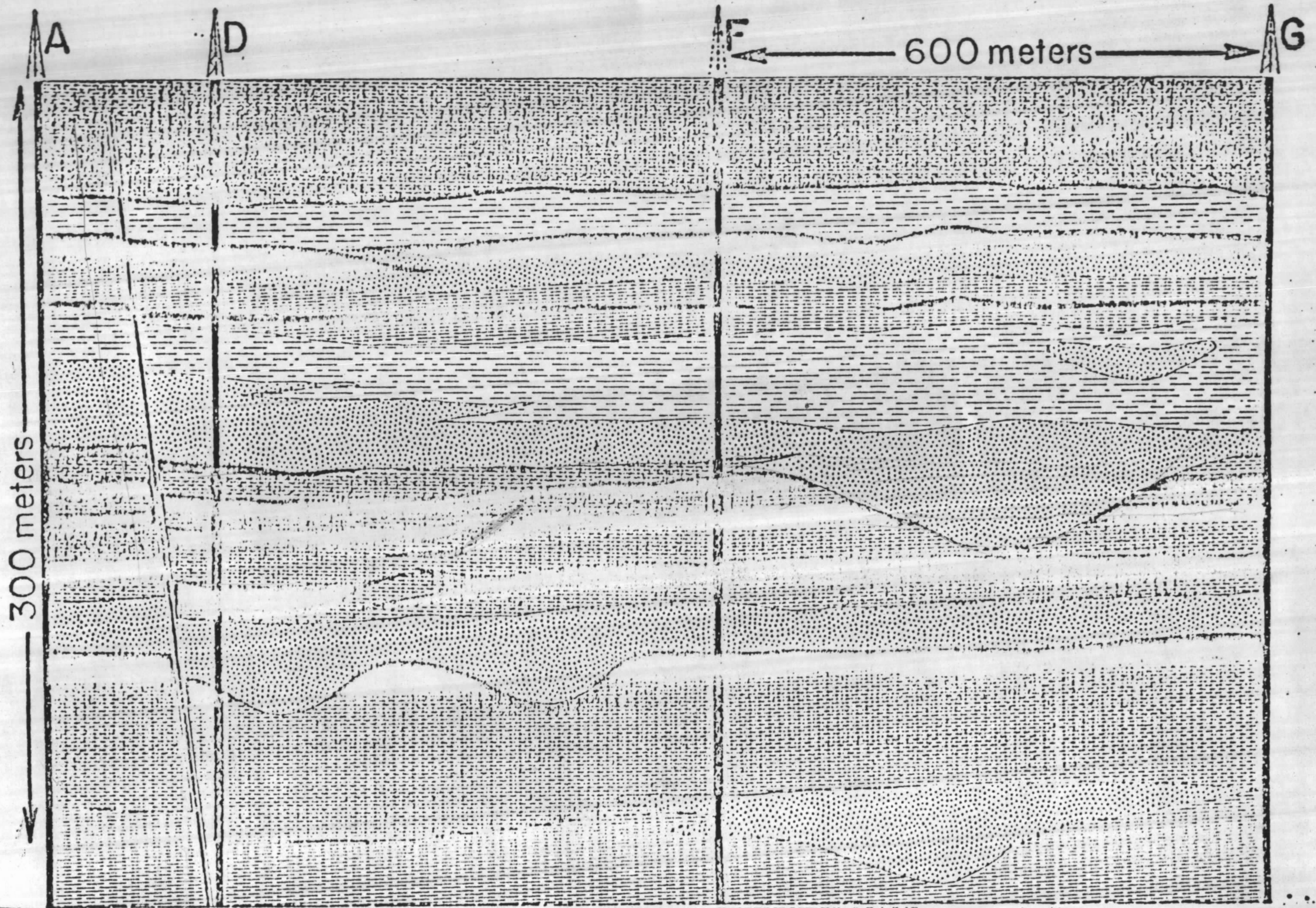


FIGURA . 9

Segundo Farr, J.B., 1978, Seismic Profiling for Coal Mining Planning, SEG Int. Meeting

SHOT
POINT

FIELD
RECORDING
UNIT

DRILL

DOWNHOLE
DETECTORS

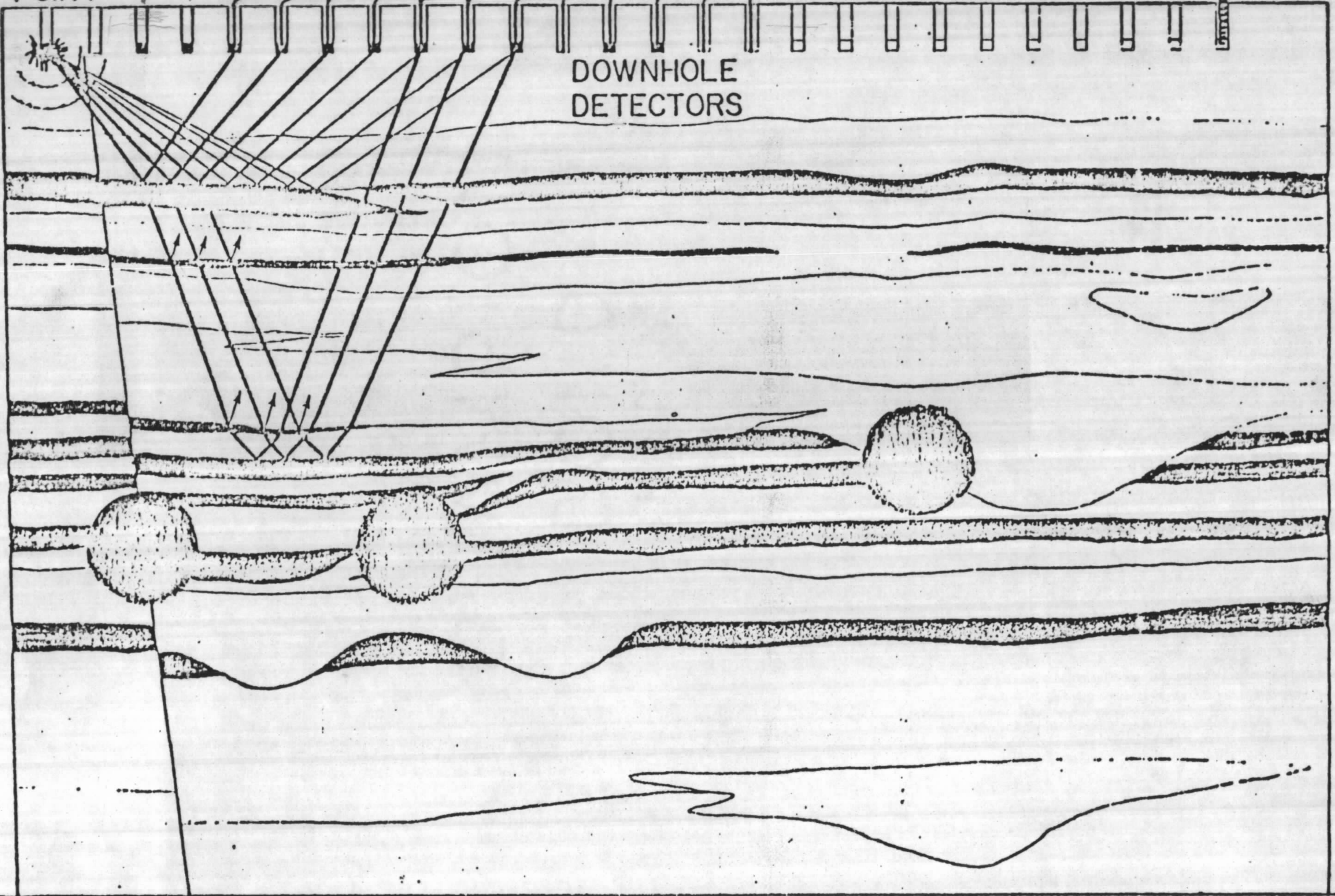


FIGURA 5

48

4800%

Segundo Farr, J.B., 1978, Seismic Profiling for Coal Mining Planning, SEG Int. Meeting

2000

tos comuns em profundidade (CDP), obtendo-se assim o reforço dos fracos sinais de alta frequência.

O resultado desse processamento é o que se vê na figura 6 (Farr-op.cit.). Essa seção sísmica deve, agora, ser interpretada.

Antes, porém, de mostrar a interpretação, convém fazer uma pequena digressão. Qualidade, em sentido produtivo, é descrita pela palavra alemã BONITAT. Por sugestão de Fettweis (1977) essa palavra vem sendo usada para designar os fatores de qualidade geológica relativos ao condicionamento de um corpo de carvão. O termo BONITAT se aplica às condicionantes de área e de ambiente e não às qualidades do carvão como produto. Estas últimas são, segundo Farr (op.cit.) as qualidades tangíveis como: umidade, valor calórico, teor de cinzas, de enxofre ou de outros constituintes deletérios, qualidade siderúrgica, etc.

Os fatores ou qualidades que constituem a "bonität", seriam:

- condições geométricas - extensão das camadas, direção e mergulho, profundidade, dobramentos, falhamentos, intrusões, "partings", espessura total de carvão, continuidade e regularidade das condições geométricas;
- condições geomecânicas - estratificação, clivagens, foliação, tenacidade, dureza, abrasividade, permeabilidade; continuidade e regularidade dessas condições; pressão;
- condições geoquímicas
- condições hidrogeológicas
- condições relativas a gases naturais - perigo de combustão espontânea (p.ex. liberação de metano).

No que diz respeito às qualidades tangíveis e a algumas qualidades "bonität" somente a sondagem pode fornecer informação,

como é obvio. Por outro lado o arcabouço tectônico da área, a continuidade (ou falta de) das camadas, os fatores de regularidade em geral, são difíceis de estabelecer somente com furos de sonda (ou extremamente dispendiosos).

Voltando ao exemplo em discussão: a figura 7 apresenta uma seção geológica obtida por correlação entre os furos A, D, F e G. Como se vê, excelente "bonität". Na figura 8 tem início a interpretação da seção sísmica mostrada na figura 6. Já se observam aí, nitidamente: uma falha, e paleocanais, além de alguns outros detalhes. Na figura 9, amarrando-se os dados sísmicos aos de sondagem (dos mesmos furos A, D, F e G) chega-se a novo estágio de interpretação, inteiramente compatível com os dados conhecidos e com uma situação de "bonität" inteiramente distinta.

As figuras 10 e 11 constituem outro exemplo de sísmica de alta resolução para carvão.

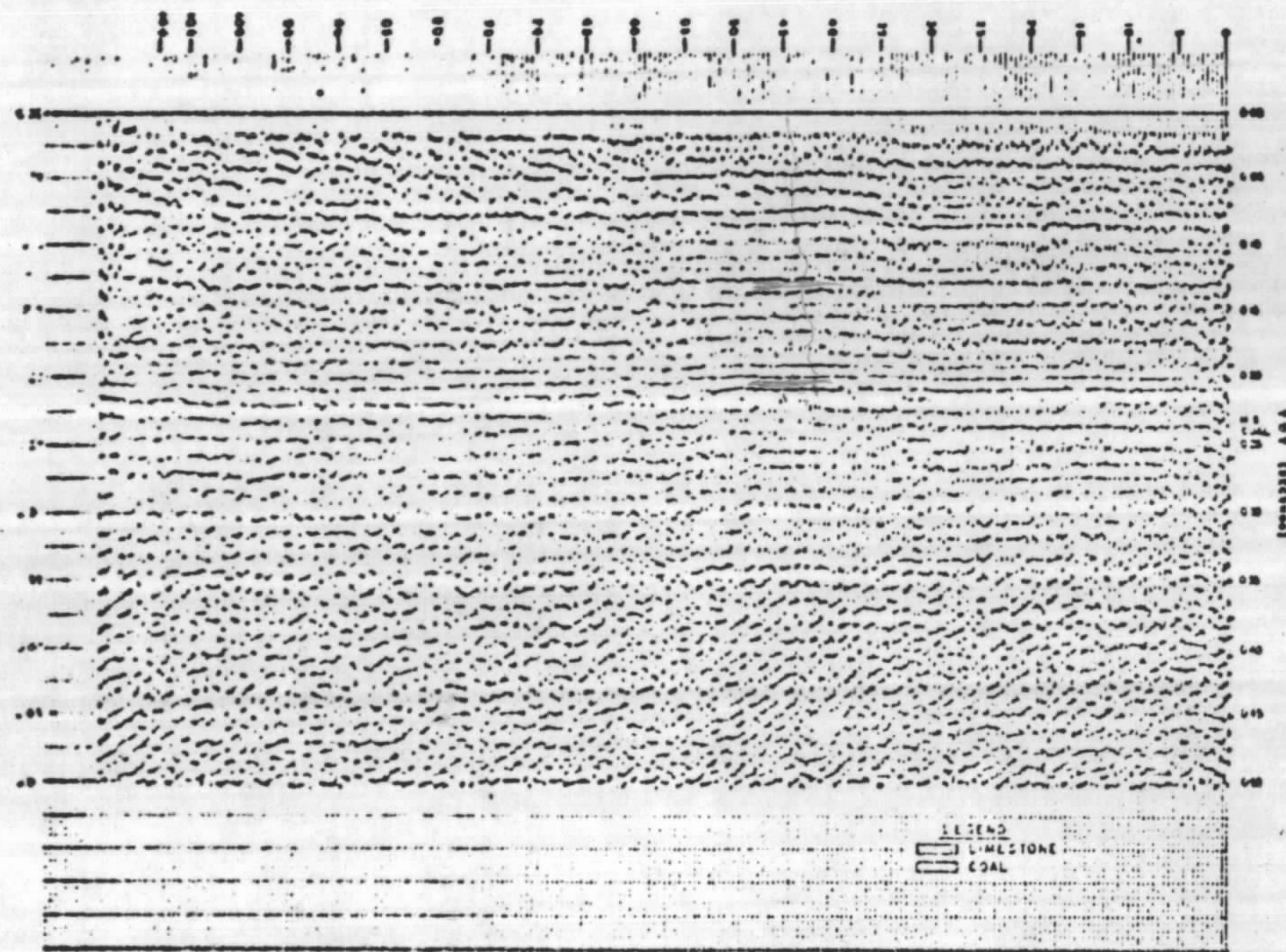
4. REFRAÇÃO SÍSMICA E ELETORRESISTIVIDADE

O método sísmico de refração e a eletrorresistividade podem ser utilizados com sucesso, na pesquisa de carvão, sempre que a presença deste se relacione de alguma forma com condicionamen - tos tectono-estruturais.

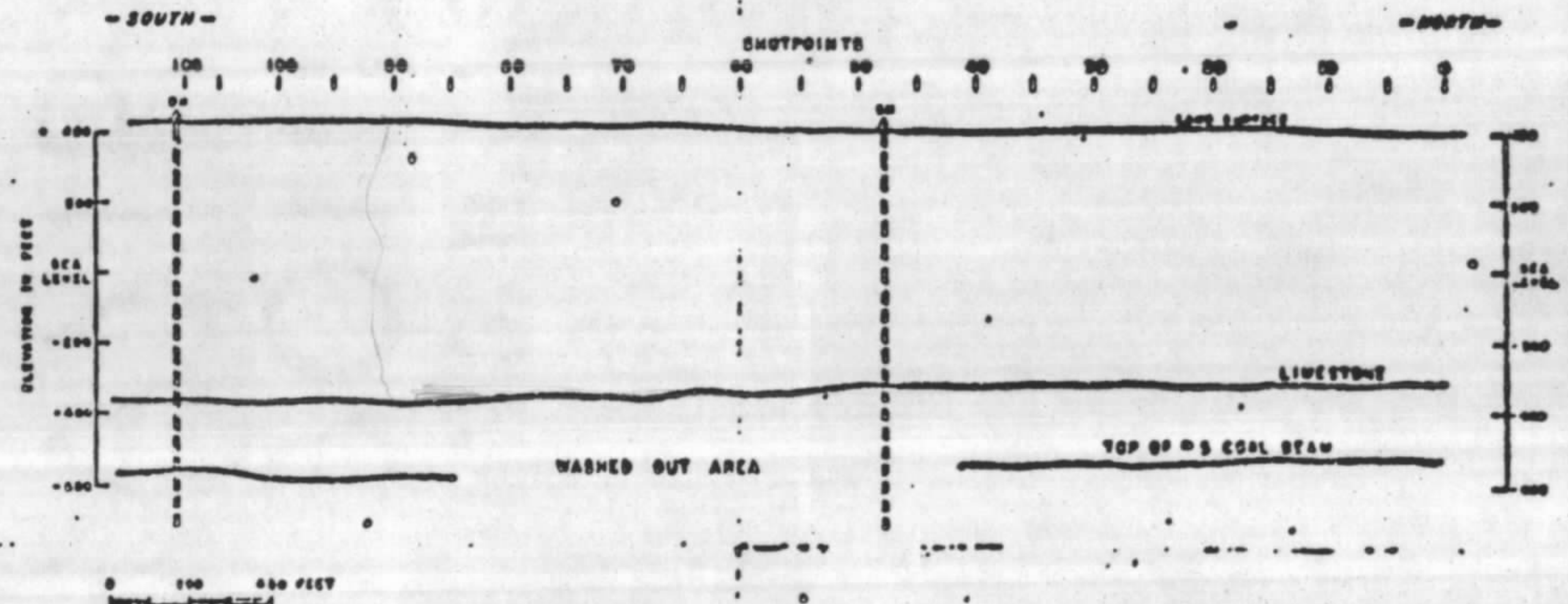
A figura 12 é um sismograma típico de levantamento no Rio Grande do Sul. Foi registrado em sismógrafo RS-4/SIE de 12 canais de amplificadores e um de "time break". O afastamento entre geofonos foi de 100 m e o "offset" entre o ponto de tiro e a posição 1 do dispositivo, de 950 m. A carga, de gelatina sismográfica, foi de 36 Kg, distribuída em 18 furos de trac, em estrela, com 0,8 m cada, de profundidade. O "time break" (momento da explosão) foi transmitido por rádio. O tempo entre cada dois traços verticais é de 0,010 segundos.

Os primeiros eventos estão assinalados e contados, mas não

MINI-SOSIE[®] FOR COAL EXPLORATION: EXAMPLE OF A WASHOUT (SOUTHEAST ILLINOIS)



® TRADEMARK OF SOCIETE NATIONALE ELF-AQUITAINE (PRODUCTION)



FIELD PARAMETERS			
PROCESSED BY	SEFEL J. & ASSOC.	DATE	NOV. 1977
TYPE INST.	MINI-SOSIE	FORMAT	SEG-Y
REC. LEN.	1 SECOND	S.I.	IMS.
SOURCE	RAMMER	TYPE	GVR-181
PPS/SP	1700	FIELD FLT.	30HZ. LO-CUT
SR INT.	10 METERS	SP INT.	10 METERS
NO. TRACES	12	FOLD	6
FIELD GEOMETRY	X-20-130 METERS		

PROCESSING SEQUENCE			
1.	REFORMAT TO SEFEL N-CHANNEL FORMAT		
2.	DC BIAS REMOVAL AND 60HZ NOTCH FILTER		
3.	DISPLAY RECORDS		
4.	CDP GATHER		
5.	STRUCTURAL STATICS		
	CORRECTION VELOCITY	1525 M/SEC.	
	ELEVATION OF DATUM	125 METERS	
6.	VELOCITY ANALYSIS		CVB
7.	NMO CORRECTION		
8.	MUTE APPLICATION		
9.	60% PERCENT STACK		
10.	SIGNALING DECONVOLUTION		
11.	LO-CUT FILTER		60HZ.
12.	T.V. EQUALIZATION		
13.	FILM DISPLAY		0.500 SECOND
	13.3 TPI		20 IPS



OTTAWA: YVES BERRER
 2653 HALELEY ROAD
 OTTAWA, ONTARIO K1B 9P6
 PHONE: (613) 751-9571
 TELEX: 655-2508

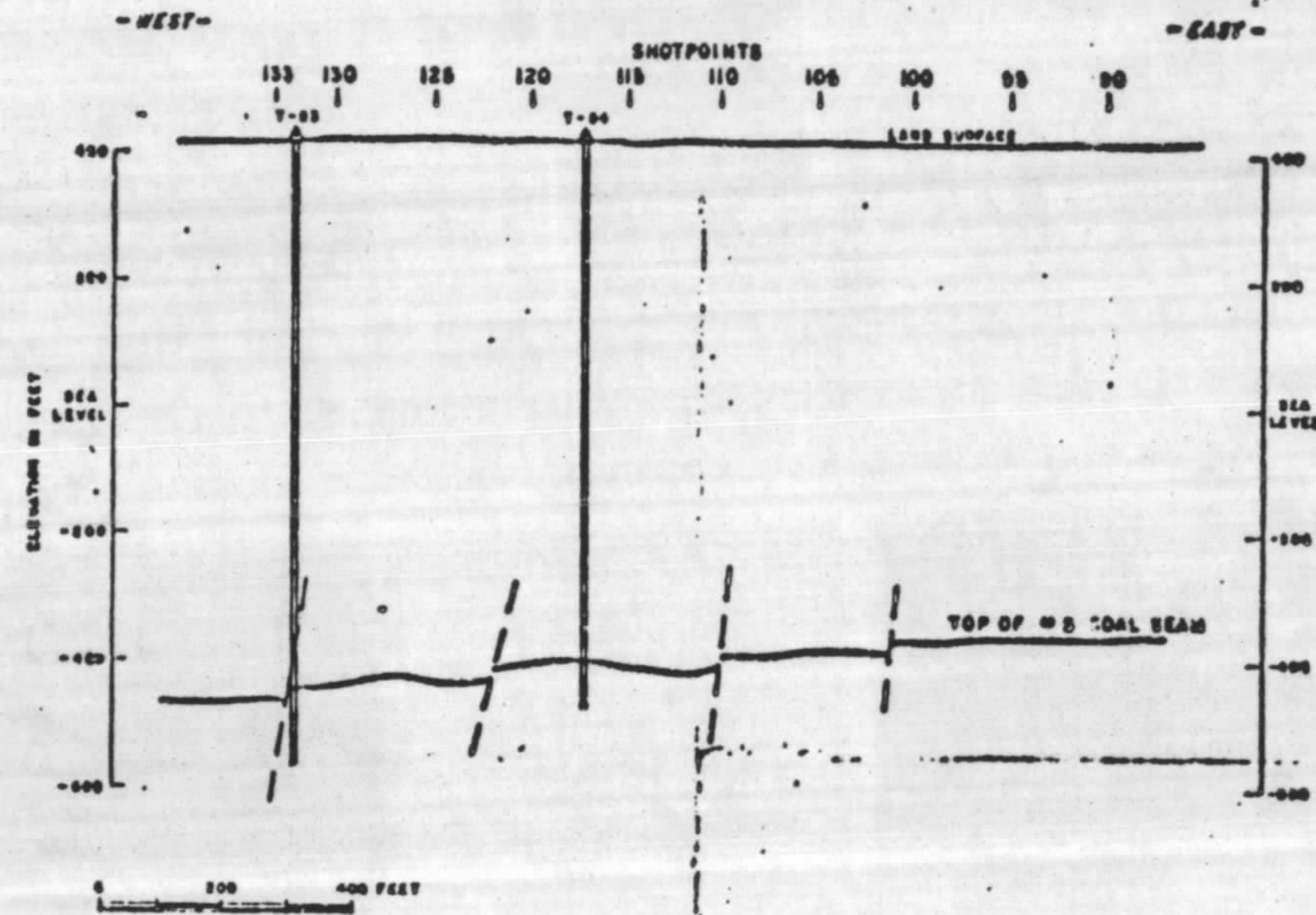
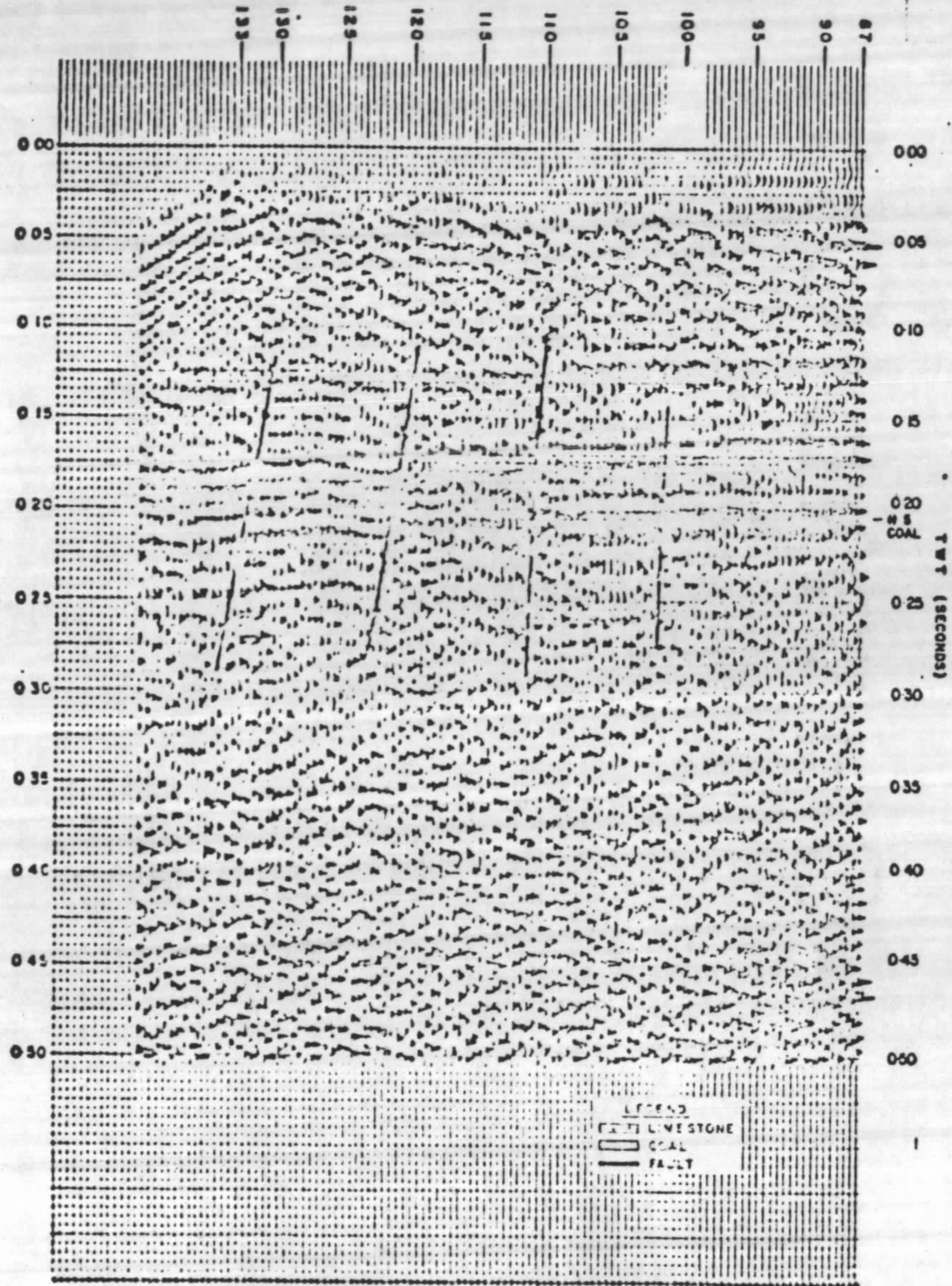
HOUSTON: JACK LAND
 8170 WESTGLEN
 HOUSTON, TEXAS 77048
 PHONE: (713) 761-8830
 TELEX: 775248

DENVER: CHRIS WILES
 THREE PARK CENTRAL, SUITE 308
 1515 ANAPACHE STREET
 DENVER, COLORADO 80202
 PHONE: (303) 871-1148
 TELEX: 454348

FIGURA 10

7-1

MINI-SOSIE[®] FOR COAL EXPLORATION: EXAMPLE OF A FAULTED SEAM (SOUTHEAST ILLINOIS)



FIELD PARAMETERS		
PROCESSED BY SEFEL J. & ASSOC.	DATE	NOV. 1977
TYPE INST. MINI-SOSIE	FORMAT	SEG-Y
REC. LEN. 1 SECOND	S. I.	1 MB.
SOURCE RAMMER	TYPE	8VR-181
POPS/SP 1700	FIELD FLT.	30HZ. LD-CUT
GR. INT. 10 METERS	SP INT.	10 METERS
NO. TRACES 12	FOLD	6
FIELD GEOMETRY		X-40-150 METERS

PROCESSING SEQUENCE	
1. REFORMAT TO SEFEL M-CHANNEL FORMAT	
2. DC BIAS REMOVAL AND 60HZ. NOTCH FILTER	
3. DISPLAY RECORDS	
4. CDP GATHER	
5. STRUCTURAL STATICS	
CORRECTION VELOCITY	1525 M/SEC.
ELEVATION OF DATUM	125 METERS
6. VELOCITY ANALYSIS	CV8
7. NMO CORRECTION	
8. MUTE APPLICATION	
9. 600 PERCENT STACK	
10. SIGNATURE DECONVOLUTION	
11. BANDPASS FILTER	62-140 HZ.
12. T.V. EQUALIZATION	
13. FILM DISPLAY	0.800 SECOND
13.3 TPI 20 IPS	



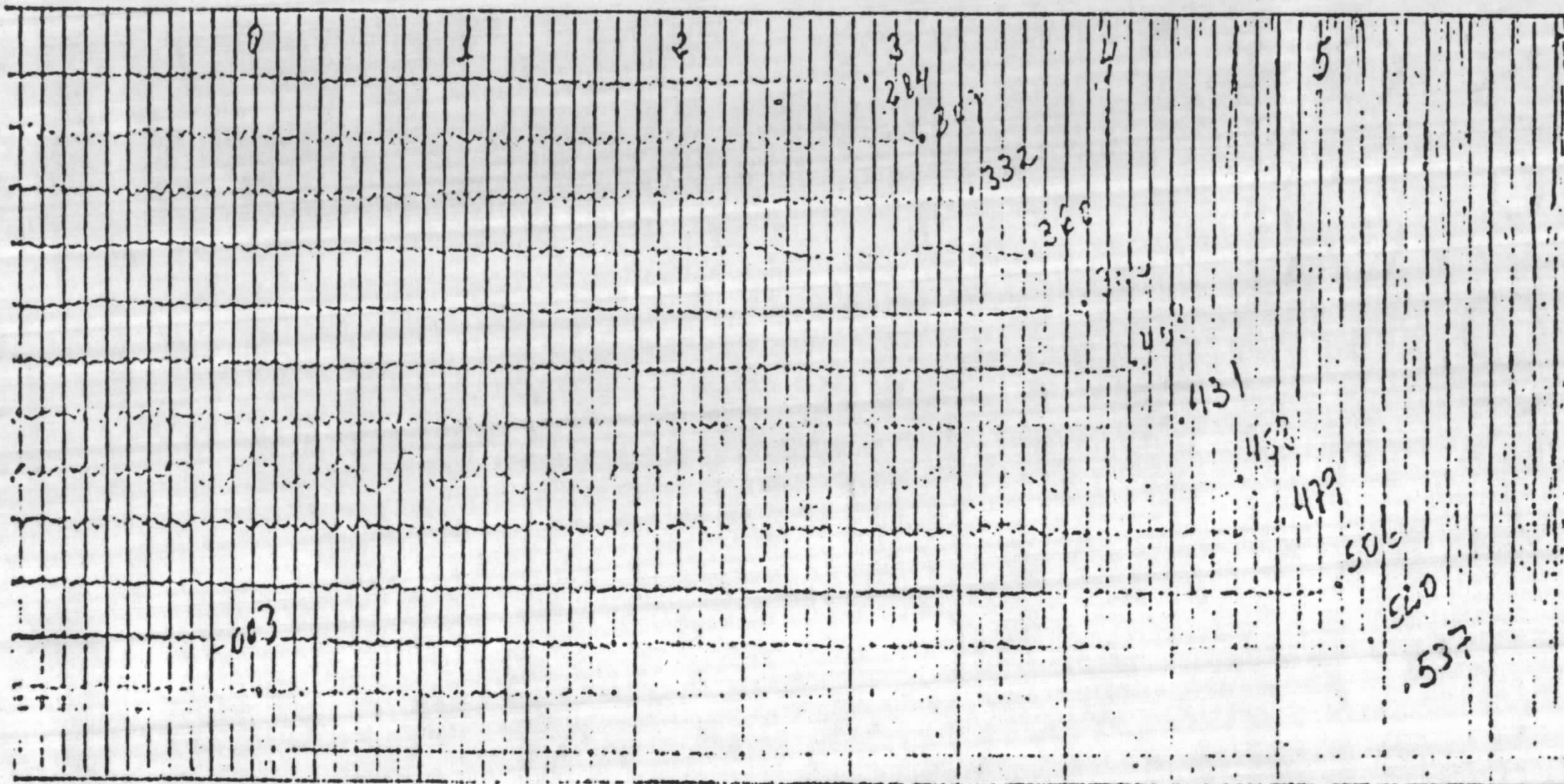
OTTAWA: YVES BERRIS
 2042 WALKLEY ROAD
 OTTAWA, ONTARIO K1G3P8
 PHONE: (513) 731-9871
 TELEX: 033-3302

HOUSTON: JACK LAND
 8120 WESTGLEN
 HOUSTON, TEXAS 77042
 PHONE: (713) 781-3830
 TELEX: 773268

DENVER: CHRIS WILES
 THREE PARK CENTRAL, SUITE 820
 1515 ARAPAHOE STREET
 DENVER, COLORADO 80202
 PHONE: (303) 571-1148
 TELEX: 484348

® TRADEMARK OF SOCIETE NATIONALE ELF-AQUITAINE (PRODUCTION)

FIGURA 11



F

FIGURA 12

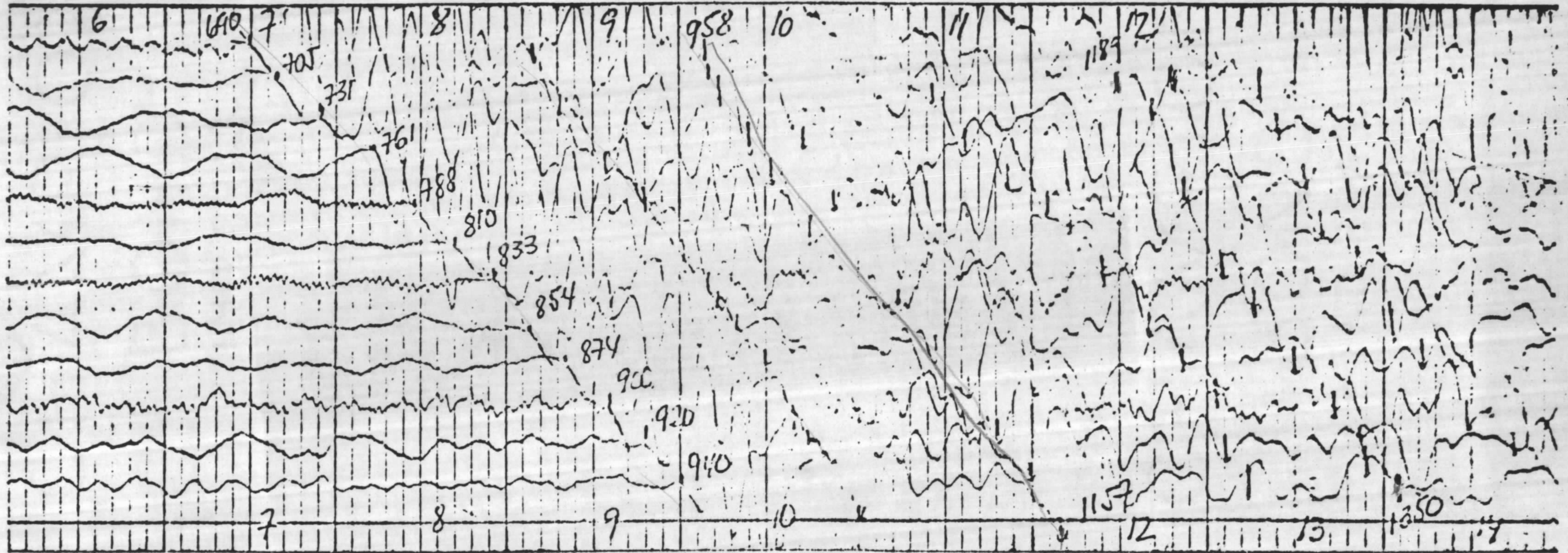


FIGURA 13

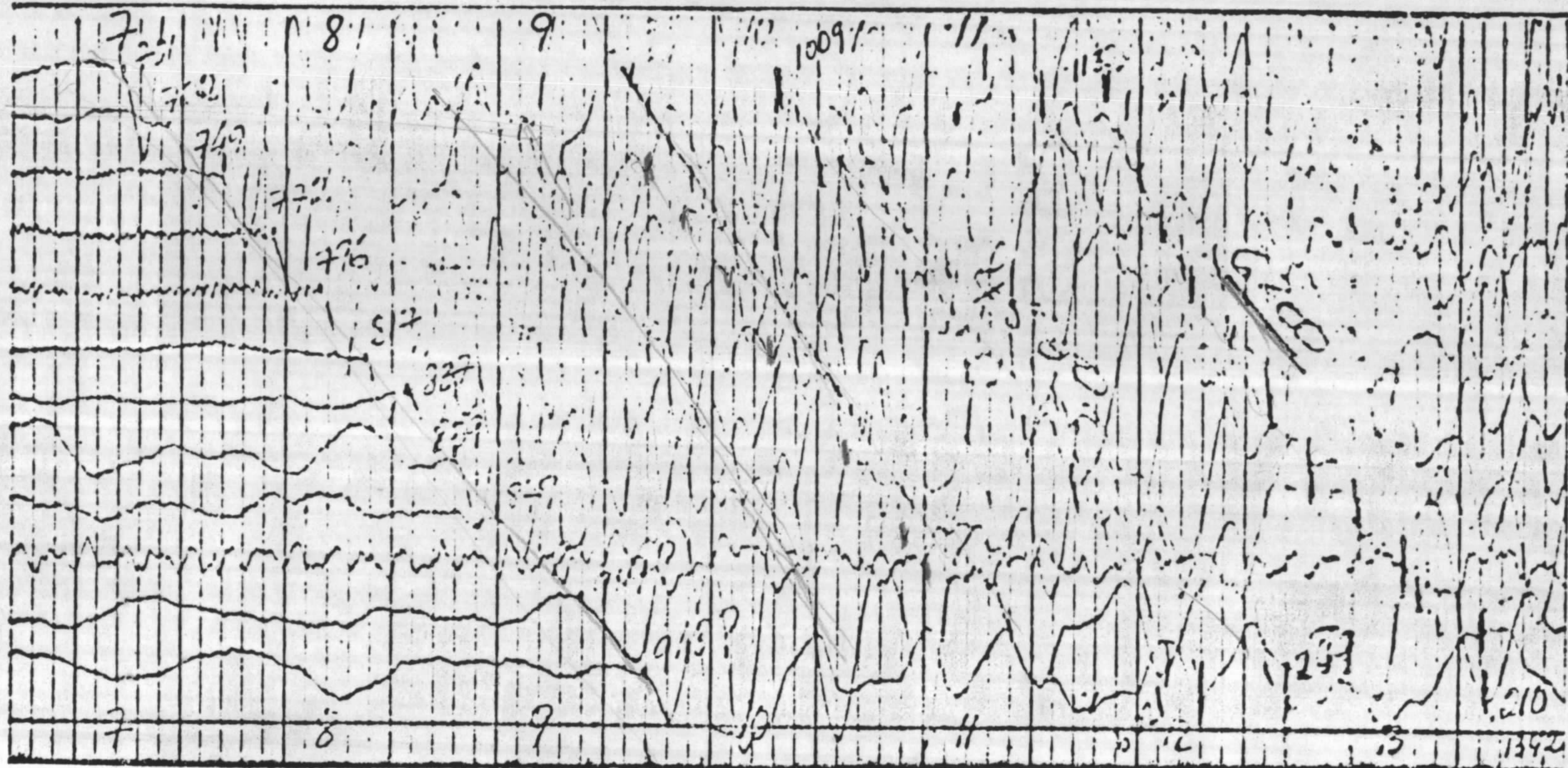
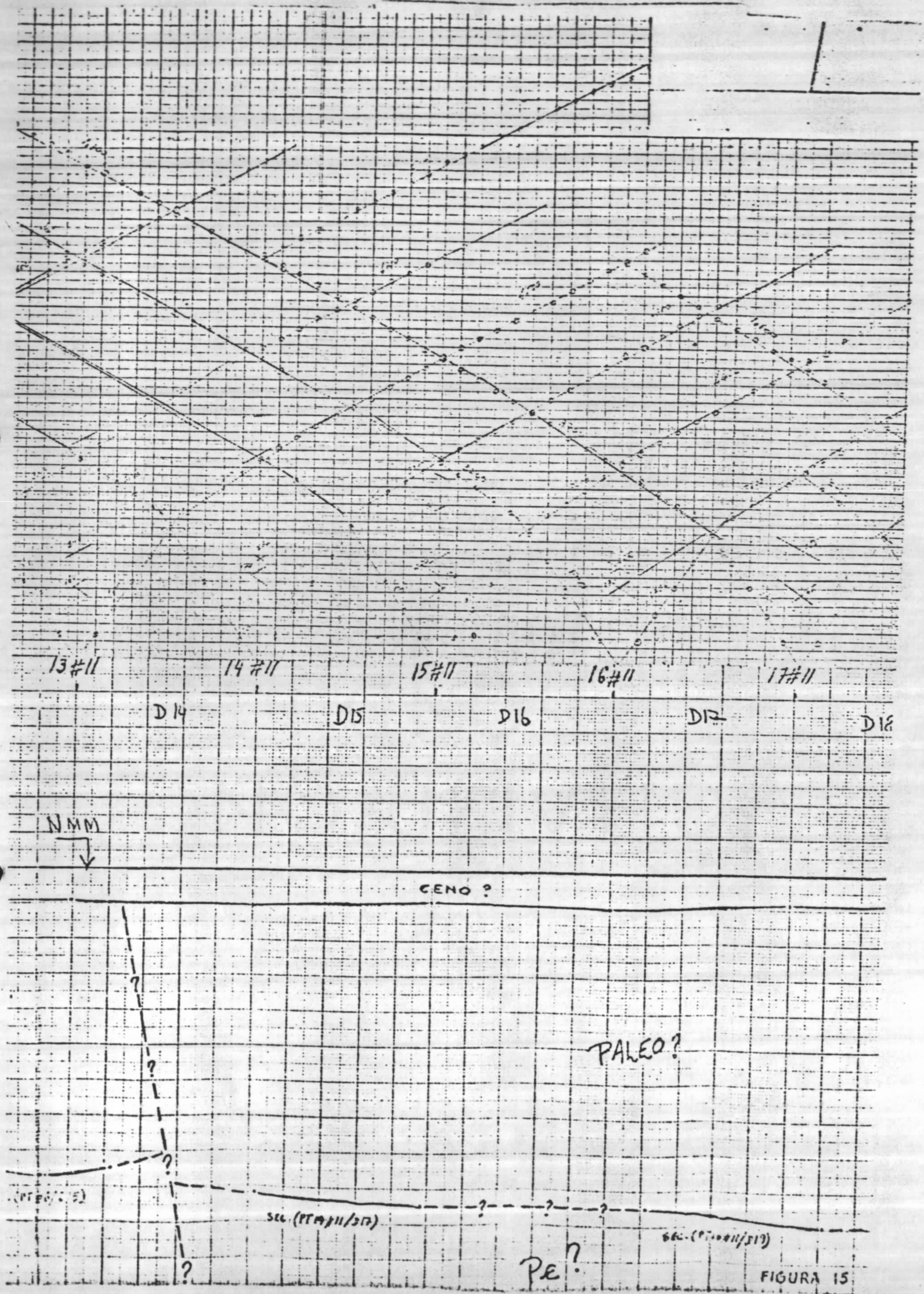


FIGURA 14



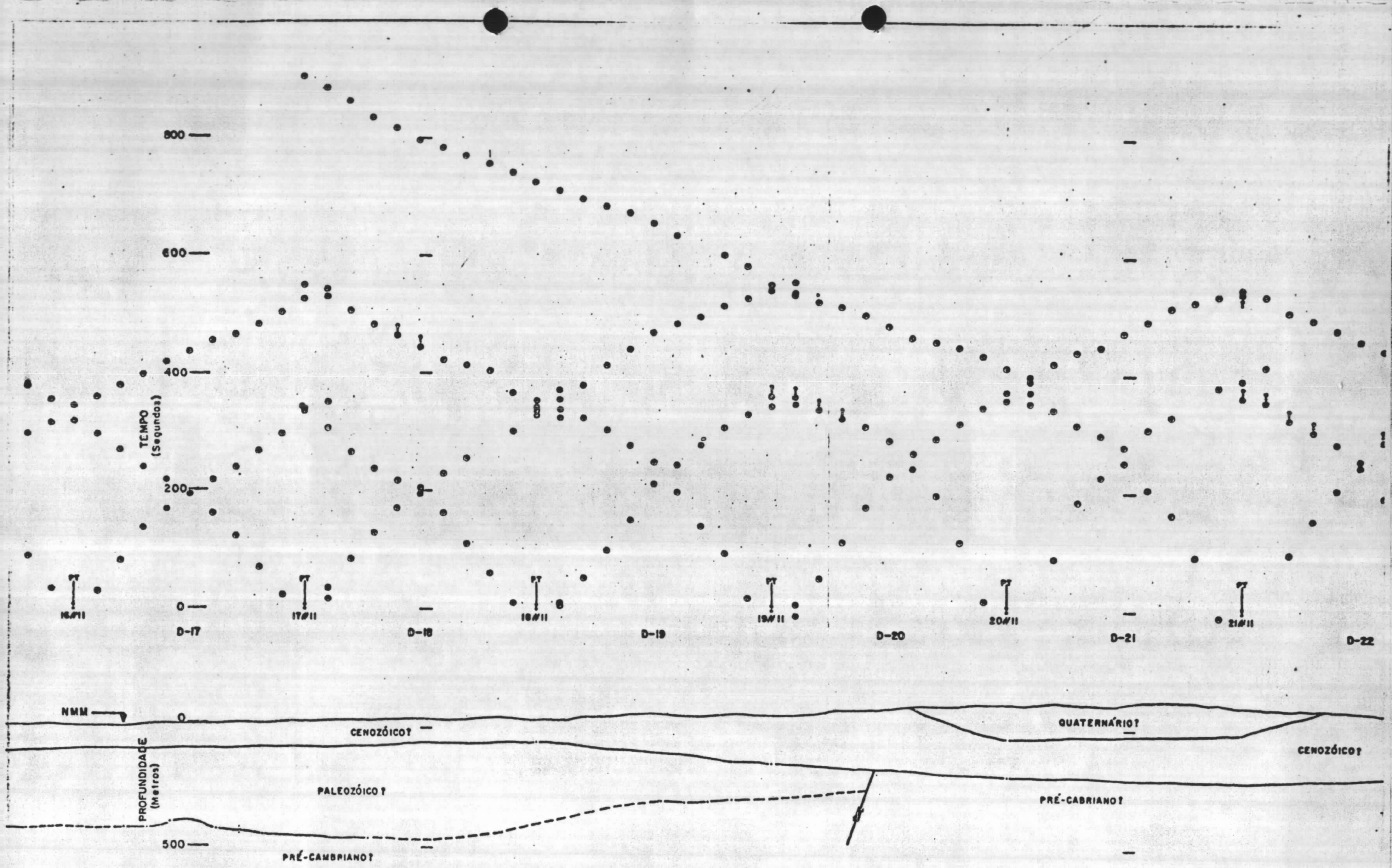


FIGURA 16

26

corrigidos (por sinal que esta área é essencialmente plana e as correções estáticas para o nível do mar são quase idênticas e em torno de 0,050 s). Neste registro todas as primeiras quebras re apresentam chegadas de ondas refratadas. A distância crítica a um refrator foi aqui atingida entre os traços 9 e 10. Os traços 1 a 9 indicam velocidade média aparente de 4000 m/s, o que, na área, deve corresponder ao pacote paleozóico. Os traços 10 a 12 tem como velocidade média aparente 6500 m/s, ao que tudo indica, correspondente a embasamento cristalino inclinado (no caso aparentemente, mergulhando do 12 para o 10, pois a velocidade real do embasamento, aqui, se situa em torno dos 5800 m/s).

As figuras 13 e 14 são sismogramas com eventos secundários utilizados para localizar o embasamento que havia, eventualmente, escapado ao controle da programação. Na figura 14, por exemplo, a secundária correspondente ao embasamento mostra velocidade aparente de 6200 m/s. Na figura 15 estão mostrados os trechos do gráfico tempo-distância e do perfil do embasamento calculado com base neste evento secundário (em torno de -1900m). No gráfico T-X (tempo-distância) onde estão plotadas apenas as primeiras chegadas, não se vê nenhum segmento representativo do embasamento.

A figura 16 é um gráfico T-X com o perfil geológico correspondente abaixo, computado por método de "delay times". As estruturas aí observadas decorrem da interpretação. A falha terminal da bacia paleozóica tem, entretanto, evidenciação em superfície.

Este rápido perpassar de alguns elementos de sísmica do Projeto Geofísica Terrestre para Carvão em Santa Catarina e Rio Grande do Sul, tem por único objetivo demonstrar, embora pálidamente, algumas das possibilidades do método.

O que se busca aqui são depressões ou "baixos" no embasamento, pois, a eles, em geral, correspondem promissoras ocorrên-cias de carvão.

No Projeto acima mencionado a refração sísmica serviu de apoio a sondagens elétricas verticais (SEV's).

As figuras 18, 19 e 20 são curvas de campo de SEV's. A figura 18, SEV SA-23 serviu de apoio à perfuração de um furo de sonda que confirmou a estrutura observada no mapa de contornos do embasamento (fig.21).

Um dos maiores problemas contornados na aplicação da ele -
trorresistividade foi o da macroanisotropia. Esse fenômeno distorce a curva e faz aparentar profundidades muito maiores do que as reais. Estimaram-se, por comparação com a sísmica e com dados de furos de sonda, coeficientes regionais de anisotropia, os quais, aplicados, tornaram os resultados compatíveis com os fatos geológicos.

Do término da etapa de campo, em setembro de 1978, para cá, alguns furos de sonda foram executados com resultados satisfatóriamente condizentes com as previsões geofísicas.

CROQUIS:

EQUIPE:

SE SA23

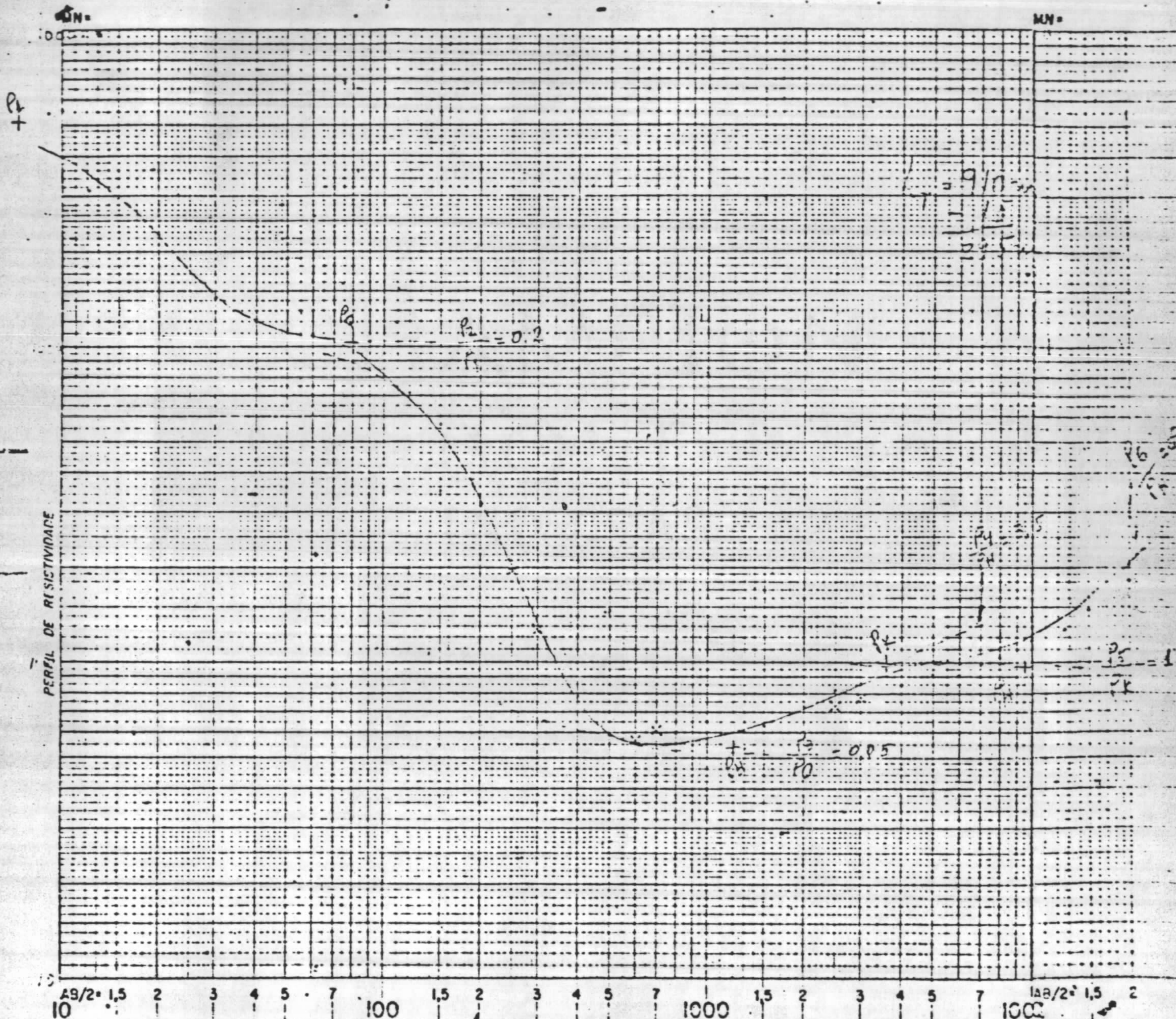
DISTRITO:

DATA:

ÁREA:

AZIMUTE:

COTA: 15m



COLUNA LITOLÓGICA

POCO:

OBSERVAÇÕES:

OBSE:

$$\begin{aligned}
 \text{Prof. Eurb.} &= 950 \div 2,7 = 352 \text{ m} \\
 \text{Prof. Eurb (NMM)} &= 352 - 15 = 337 \text{ m} \\
 \text{Elv} &= 337 - 222,5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

FIGURA 18

310

REI ATÓPICO:

310

CRDQUIS:

EQUIPE:

SEV

SA-31

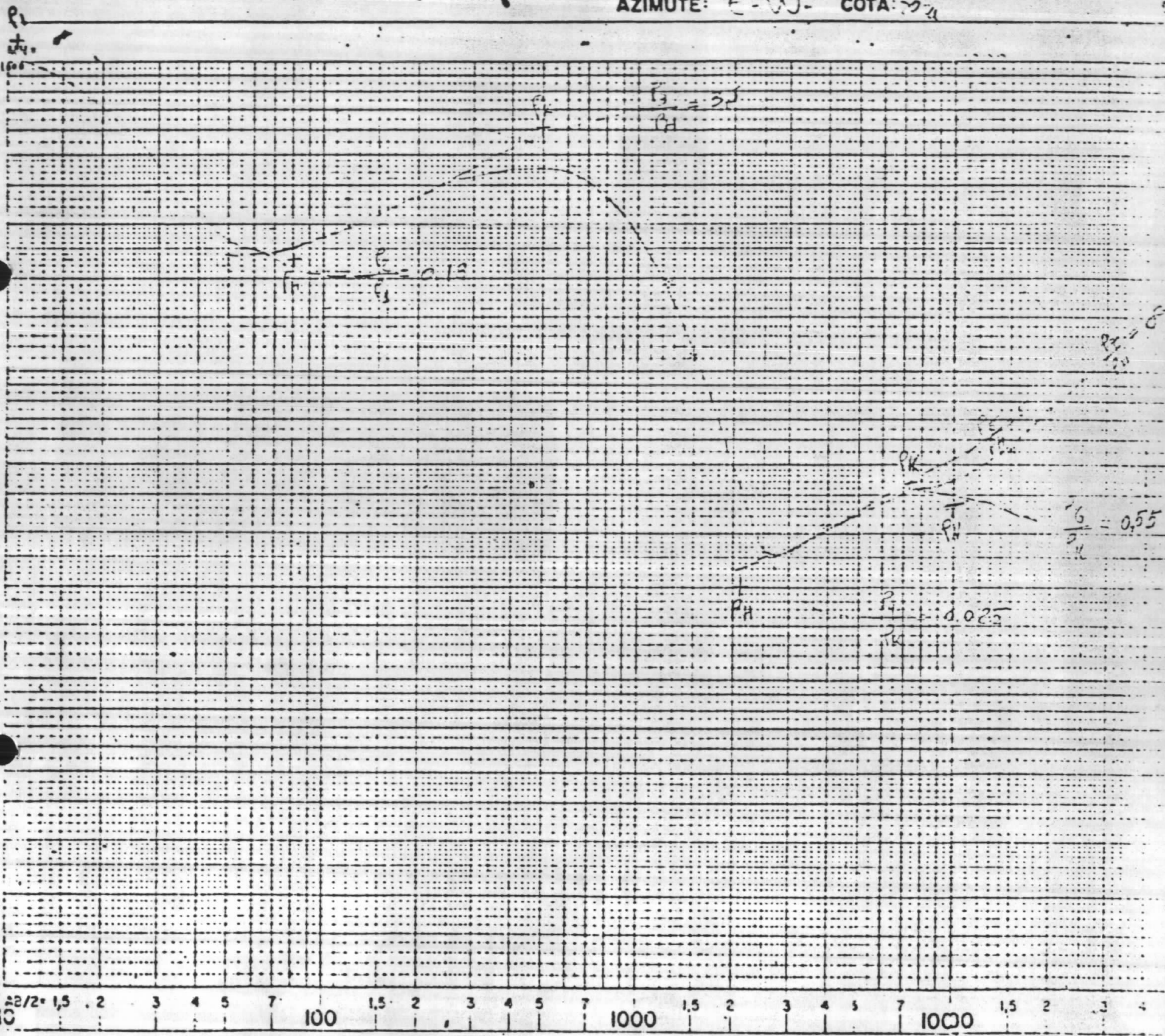
DISTRITO:

DATA:

ÁREA:

AZIMUTE: E-W

COTA: 30



COLUNA LITOLÓGICA

POCG:

OBSERVAÇÕES:

Prof. emb. $1000 \div 2.7 = 370$ 250
 Prof. emb. (11111): $370 - 30 = 340$
 Elv. 250 220

FIGURA 19

RELATÓRIO:

219

CROQUIS:

EQUIPE:

SEV **GR-21**

DISTRITO:

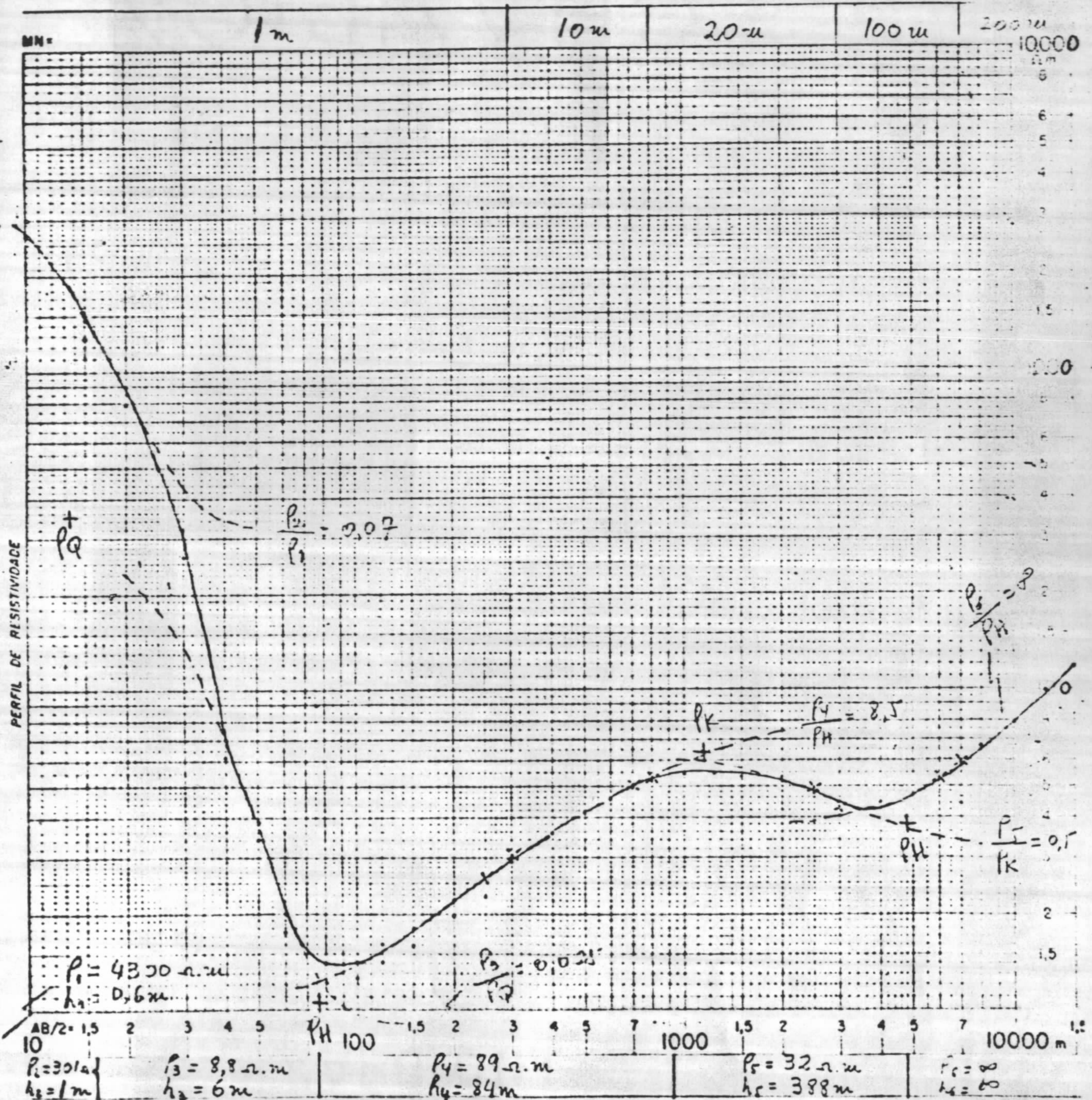
DATA: 07.06.78

Curva: QH KH

ÁREA:

AZIMUTE: E-W

COTA: 26 m



COLUNA LITOLÓGICA

POCO: 5-CA-104-RS

OBSERVAÇÕES:

Coef. Anisotropia: $480 \div 177 = 2,7$

Prof. Emb.: $177 - 26 = -151m$

118

RELATÓRIO

FIGURA 20

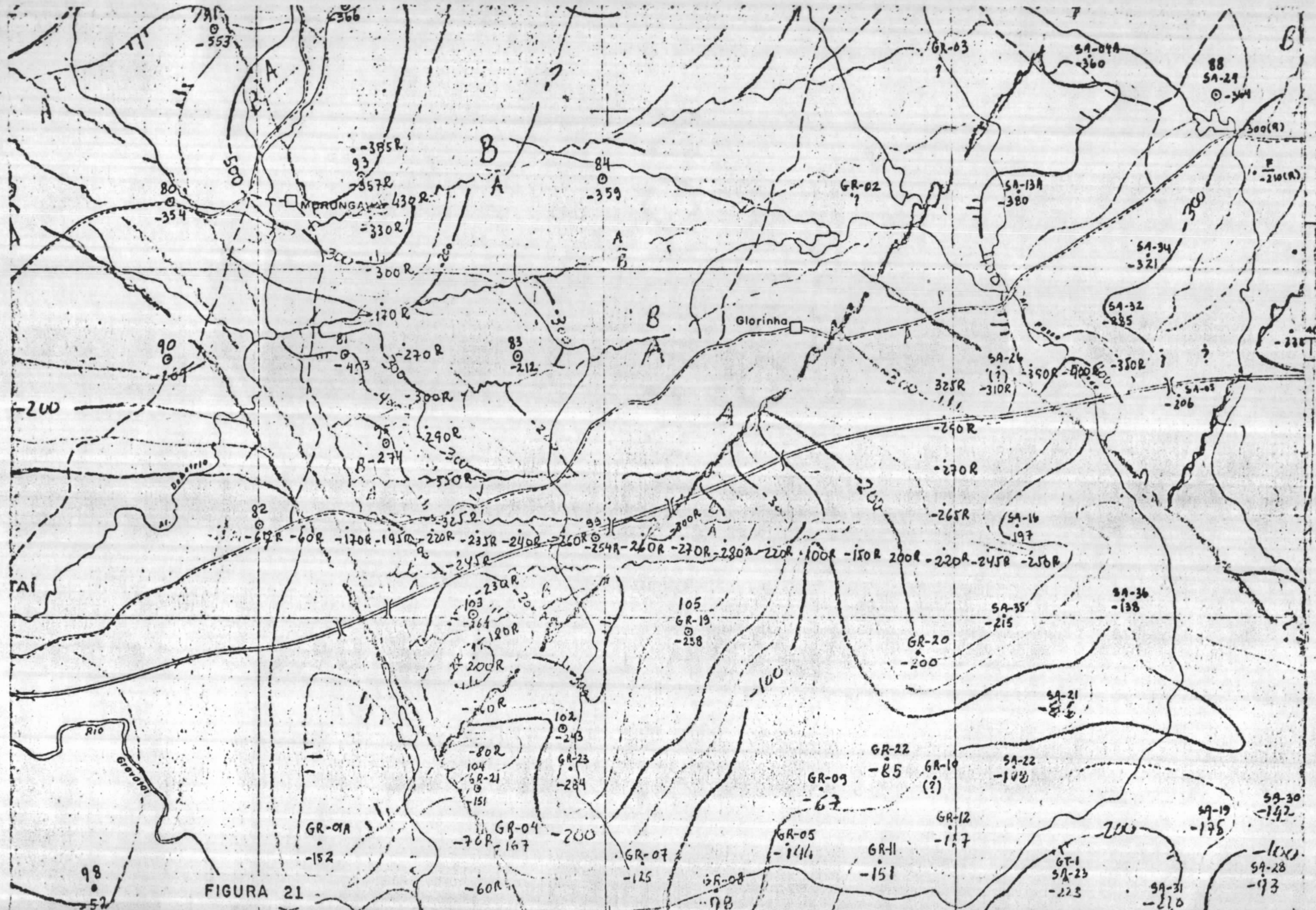


FIGURA 21

60

5. BIBLIOGRAFIA

- 5.1 - Farr, J.B. - Seismic Profilling For Coal Mining Planning - 1978 - 48º Congresso Anual Internacional da SEG - San Francisco - California - USA.
- 5.2 - Fettweis, G.B. - Some Basic Considerations on the Question of Mineability - 1977 - 3ª Conferência da IIASA sobre fontes de Energia, Moscou, USSR.
- 5.3 - Hagemann, R.F. e Peace D.C. - High Resolution Seismic Exploration For The Coal Mining Industry - 1976 - 46º Congresso Anual Internacional da SEG - Houston - Texas - USA.