

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEOFÍSICAS E GEOLÓGICAS

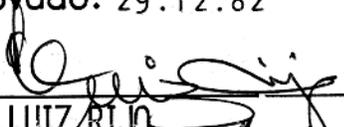
MÉTODOS GEOFÍSICOS APLICADOS A PROSPECÇÃO MINERAL NA  
REGIÃO DO IGARAPÉ CHEGA TUDO, MARANHÃO-BRASIL

Tese Apresentada por  
MOISÉS ORTEGA GONZALEZ

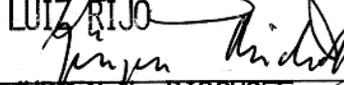
como requisito parcial à obtenção do grau em  
MESTRE EM CIÊNCIAS  
Na área de  
GEOFÍSICA

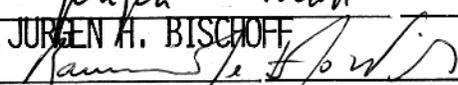
Conferido pelo Programa de Pós-Graduação em  
Ciências Geofísicas e Geológicas da  
Universidade Federal do Pará

Aprovado: 29.12.82

  
LUIZ RIJO

(ORIENTADOR)

  
JÜRGEN H. BISCHOFF

  
RAIMUNDO NETUNO NOBRE VILLAS

Comitê de Tese

T 186 GONZALEZ, Moisés Ortega

6635 Métodos Geofísicos Aplicados a Prospecção Mineral na Região do Igarapé-Chegado. Maranhão-Brasil. Belém, UFPa/NCGG, 1982.

114 p.

Tese apresentada ao Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas da Universidade Federal do Pará, para obter o grau de Mestre em Ciências na área de Geofísica.

1 - Geofísica - Prospecção 2 - Geofísica - Métodos Magnéticos. I - Universidade Federal do Pará - Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas. II - Título.

A minha esposa  
Gisela  
e meu filho  
Moisés Octávio

## AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Luiz Rijo pela orientação deste trabalho.

Ao Dr. Raimundo Netuno Nobre Villas pela co-orientação e sugestões como integrante da banca examinadora.

Ao Dr. Jürgen Bischoff pelo apoio durante os trabalhos de campo e pelas sugestões como integrante da banca examinadora.

Ao Dr. Om P. Verma pelas sugestões na parte de interpretação.

Ao pessoal técnico, administrativo e bibliotecárias do Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas da Universidade Federal do Pará.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudo concedida entre 1979 e 1980 e pelo auxílio número 40.2854/80 que permitiu a realização dos trabalhos de campo.

À Coordenação do Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudo concedida durante 1981 e 1982.

À Universidade Nacional de Panamá pelo apoio financeiro durante os estudos.

À Companhia Mineração Arapiranga Ltda. pelo apoio nos trabalhos de campo.

A todos os que colaboraram direta ou indiretamente na realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

	Pág
DEDICATÓRIA	
AGRADECIMENTOS	
RESUMO .....	1
ABSTRACT .....	3
INTRODUÇÃO .....	4
1 GEOLOGIA DA ÁREA DE TRABALHO .....	8
2 TRABALHOS ANTERIORES DE PROSPECÇÃO .....	12
2.1 <u>Trabalhos da Companhia de Mineração Arapiranga Ltda</u> .....	12
2.2 <u>Prospecção Geofísica</u> .....	12
3 MÉTODO MAGNÉTICO .....	15
3.1 <u>Introdução</u> .....	15
3.2 <u>Metodologia</u> .....	15
3.2.1 Metodologia no Campo .....	15
3.2.2 Metodologia no Laboratório .....	16
3.2.2.1 Organização dos Dados de Campo .....	16
3.2.2.2 Metodologia de Interpretação dos Dados .....	17
3.3 <u>Análise e Interpretação dos Dados</u> .....	21
3.3.1 Interpretação Qualitativa .....	21
3.3.2 Interpretação Quantitativa .....	22
3.3.3 Discussão dos Resultados Obtidos .....	24
4 MÉTODO ELETRO-RESISTIVO .....	34
4.1 <u>Introdução</u> .....	34
4.2 <u>Metodologia</u> .....	34
4.2.1 Metodologia no Campo .....	34
4.2.2 Metodologia no Laboratório .....	38
4.2.2.1 Organização dos Dados de Campo .....	39
4.2.2.2 Metodologia de Interpretação dos Dados .....	39
4.3 <u>Análise e Interpretação dos Dados</u> .....	43
4.3.1 Interpretação das Sondagens Schlumberger .....	43
4.3.2 Interpretação dos Caminhamentos Elétricos .....	52
4.3.2.1 Interpretação Qualitativa .....	52
4.3.2.2 Interpretação Quantitativa .....	53

	Pág
4.3.3 Discussão dos Resultados Obtidos .....	55
5 MÉTODO ELETROMAGNÉTICO .....	67
5.1 <u>Introdução</u> .....	67
5.2 <u>Metodologia</u> .....	67
5.2.1 Metodologia no Campo .....	67
5.2.2 Metodologia no Laboratório .....	69
5.2.2.1 Apresentação dos Dados de Campo .....	69
5.2.2.2 Metodologia de Interpretação dos Dados .....	69
5.3 <u>Análises e Interpretação dos Dados</u> .....	76
5.3.1 Interpretação Qualitativa .....	76
5.3.2 Interpretação Quantitativa .....	79
5.3.3 Discussão dos Resultados Obtidos .....	86
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	89
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	93
8 APÊNDICE 1 .....	95
9 APÊNDICE 2 .....	103

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<u>FIGURAS</u>		Pág
1	Mapa de Localização da Área de Trabalho, (Chega Tudo) .....	5
2	Área de Pesquisa (Área-R e Área-D) .....	7
3	Coluna Estratigráfica da Região Gurupi .....	9
4	Esboço Litológico da Área de Pesquisa .....	11
5	Localização dos Furos de Sondagem na Área Piloto .....	13
6	Perfis Magnéticos (Campo Total) ao longo das Travessas .....	18
7	Mapa Magnético. Área Chega Tudo .....	19
8	Modelo do Prisma Utilizado na Interpretação Magnética .....	20
9	Interpretação Magnética do Perfil T-71. Área Chega Tudo .....	25
10	Interpretação Magnética do Perfil T-41. Área Chega Tudo .....	26
11	Interpretação Magnética do Perfil T-1. Área Chega Tudo .....	27
12	Interpretação Magnética do Perfil T-30A. Área Chega Tudo .....	28
13	Teor de Ouro na Área Piloto .....	31
14	Descrição dos Furos de Sondagem. Área Mina Velha .....	32
15	Localização das Sondagens Schlumberger e dos Caminhamentos Elétricos. Área de Detalhe ...	37
16	Perfis Wenner e Half-Schlumberger. Área-1 e Área-2 .....	39
17	Perfis Wenner e Half-Schlumberger. Área-3 ..	40
18	Modelo do Prisma Utilizado na Interpretação Eletro-Resistiva .....	42
19	Perfis Mostrando a Espessura Média dos Diferentes Horizontes, Obtidos Através de Poços de Furos de Sondagem .....	45
20	Interpretação da Sondagem SA1 .....	46
21	Interpretação da Sondagem SA4 .....	47
22	Interpretação da Sondagem SA5 .....	48

	Pág
23	Interpretação da Sondagem SB3 ..... 49
24	Interpretação Wenner do Perfil 7. Área Mina <u>Ve</u> lha ..... 56
25	Interpretação Wenner do Perfil 23. Área <u>Encren</u> ca ..... 57
26	Interpretação Wenner do Perfil 36. Área <u>Encren</u> ca ..... 58
27	Interpretação Wenner do Perfil 3. Área <u>Chegatu</u> dinho ..... 59
28	Interpretação Half-Schlumberger do Perfil 4A. Área Mina Velha ..... 60
29	Interpretação Half-Schlumberger do Perfil 5. Área Mina Velha ..... 61
30	Interpretação Half-Schlumberger do Perfil 26. Área Encrenca ..... 62
31	Interpretação Half-Schlumberger do Perfil 2. Área <u>Chegatudinho</u> ..... 63
32	Perfil Litológico da Área <u>Chegatudinho</u> ..... 66
33	Localização dos Caminhamentos E.M. Área de <u>De</u> talhe ..... 68
34	Correção de Topografia para a Componente Real. 70
35	Perfis E.M. (2640 Hz), Área-1 e Área-2 ..... 71
36	Perfis E.M. (880 Hz), Área-1 e Área-2 ..... 72
37	Perfis E.M. (2640 Hz), Área-3 ..... 73
38	Perfis E.M. (880 Hz), Área-3 ..... 74
39	Diagrama de Fase do Método de Brant et al., 1966 ..... 77
40	Perfis E.M. (880 Hz) da Linha T-2A. Área Mina Velha ..... 80
41	Perfis E.M. (2640 Hz) da Linha T-5. Área <u>Chega</u> <u>tudinho</u> ..... 81
42	Modelos da Folha Semi-Infinita e do Prisma <u>Bi</u> dimensional Utilizados na Interpretação E.M. . 82
43	Esboço Esquemático Geométrico do Filão <u>Princi</u> pal. Área Mina Velha ..... 91
44	Fluxograma do Programa "MAG" ..... 96
45	Fluxograma do Programa "FILÃO" ..... 104

TABELAS

1	Parâmetros Iniciais do Programa "MAG", Obtidos como Método de Koulomzine et al., 1970 .....	23
2	Parâmetros Finais Obtidos com o Programa "MAG". Área Chega Tudo .....	29
3	Resultados das Sondagens Tipo A, B Schlumberger. Área de Detalhe .....	50
4	Resultados Finais Obtidos com o Programa "FILÃO" Área de Detalhe .....	64
5	Resultados Obtidos do Modelo da Folha Semi-Infinita (Strangway, 1966). Área de Detalhe .....	83
6	Resultados Obtidos do Modelo do Prisma Fino (Brant et al., 1966). Área de Detalhe .....	85

## RELAÇÃO DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

A	: eletrodo de corrente no método eletro-resistivo
Â	: mergulho do prisma bidimensional
AB	: distância entre os eletrodos de corrente no método Wenner
AC	: distância entre o eletrodo de corrente e o centro dos eletrodos de potenciais no método H.S.
Área-R	: área de reconhecimento
Área-D	: área de detalhe
B	: eletrodo de corrente no método eletro-resistivo
b	: espessura do prisma bidimensional
Bo	: ângulo antihorário entre o "strike" do corpo e o norte magnético
C	: constante obtida do diagrama de fase no método interpretativo de Brant et al., 1966
c.p.s.	: unidade de frequência em ciclos por segundo
d	: profundidade do topo da folha semi-infinita
Datum	: nível zero do perfil magnético
Em	: espaçamentos de medida no método magnético
F	: anomalia magnética total
f	: frequência
Fo	: intensidade do campo geomagnético total local
G	: unidade de indução magnética (gauss)
h	: profundidade do topo do prisma bidimensional
Hc	: espessura de uma seção geoeletrica
HI	: posição horizontal do centro do prisma bidimensional em relação à origem de cálculo
H.S.	: método eletro-resistivo Half-Schlumberger
Hz	: unidades de frequência em hertz
k	: susceptibilidade magnética volumétrica
L	: distância entre os zeros das anomalias E.M.
L.B.	: linha base
L.B.aux.	: linha base auxiliar
M	: eletrodo de potencial no método eletro-resistivo
m	: unidade de comprimento (metro)
MN	: distância entre os eletrodos de potenciais no método eletro-resistivo
N	: eletrodo de potencial no método eletro-resistivo
n	: diferença de nível topográfico entre Tx e Rx

Nc : número de estações medidas em cada perfil interpretado  
 NG : norte geográfico  
 NM : norte magnético  
 Oe : unidade de campo magnético (oersted)  
 PN : valor do pico negativo máximo nas anomalias E.M.  
 PP : valor pico a pico nas anomalias E.M.  
 R : resistividade elétrica aparente ou "bulk resistivity"  
 RA : razão entre as áreas dos lóbulos das anomalias E.M.  
 R1, R3 : resistividade aparente da rocha encaixante no modelo do prisma no método eletro-resistivo  
 R2 : resistividade aparente do prisma no método eletro-resistivo  
 Rt : resistividade transversal de uma seção geoeletrica  
 RX : bobina receptora no método E.M.  
 s : distância entre o TX e RX no método E.M.  
 SA : sondagem elétrica tipo A  
 SB : sondagem elétrica tipo B  
 SC : sondagem elétrica tipo C  
 Sc : espaçamento de medida nos métodos elétricos  
 SEV : sondagem elétrica vertical  
 Sl : condutividade longitudinal de uma seção geoeletrica  
 T : travessas  
 t : espessura da folha semi-infinita  
 TX : bobina transmissora no método E.M.  
 X<sub>l</sub> : posição horizontal do centro do prisma bidimensional em relação a linha base  
 α : parâmetro resposta no método E.M.  
 Ψ : parâmetro interpretativo no método de Koulomzine et al., 1970  
 φ<sub>T</sub> : ângulo topográfico entre o terreno e o solo plano  
 λ : coeficiente de anisotropia  
 Ω : unidade de medida de resistência (ohm)  
 Ω<sup>-1</sup> : unidade de medida de condutância (mhos)  
 γ : unidade de medida de campo magnético (gamma)  
 θ : mergulho da folha semi-infinita  
 σ : condutividade elétrica aparente ou "bulk conductivity"  
 ξ : parâmetro interpretativo no método de Koulomzine et al., 1970  
 δ : "Skin depth" no método E.M.

## RESUMO

O presente trabalho de prospecção geofísica abrange o levantamento de uma faixa de direção NW-SE, desde o local denominado Chatão, à margem direita do rio Gurupi, até 5 km além de Chega Tudo, no estado de Maranhão. Esse levantamento foi feito em travessas perpendiculares àquela faixa, a qual constitui uma extensa zona de falha.

Os trabalhos de geofísica de campo, envolvendo os métodos magnético (campo total), cintilométrico, eletro-resistivo (Schlumberger, Wenner e Half-Schlumberger) e E.M. (Slingram), foram realizados em duas etapas: a) levantamento de reconhecimento em uma área de 22 km<sup>2</sup>, onde foram aplicados magnetometria e cintilometria e b) levantamento de detalhe em uma área de 3,50 km<sup>2</sup>, onde foram aplicados eletro-resistividade e E.M.

Os objetivos principais deste trabalho foram determinar e localizar as principais feições estruturais e geo-elétricas associadas às zonas mineralizadas, e selecionar, entre os métodos geofísicos empregados, qual o de melhor poder resolutivo na indicação de veios de quartzo em sub-superfície, possivelmente associados à mineração de ouro.

O método magnético indicou uma anomalia principal no lado NE da área de reconhecimento, enquanto que o cintilométrico apresentou somente o valor do "background" da região. Por isso o método cintilométrico não será discutido nesse trabalho. Com os métodos eletro-resistivo e E.M. foram observadas várias anomalias ao longo de toda a área de detalhe.

A interpretação dos dados de magnetometria e de eletro-resistividade foi realizada com técnicas computacionais, enquanto que para a dos dados eletromagnéticos foram empregados diagramas de fase.

Os resultados apresentam uma estreita correlação das anomalias magnéticas e eletro-resistivas com a zona mineralizada. O método E.M. não apresentou nenhum poder resolutivo, uma vez que detectou anomalias semelhantes dentro e fora das áreas mais promissoras. Todas as anomalias foram confirmadas com furos de sondagem.

Considerando-se que a área prospectada apresenta, devido ao difícil acesso, o mesmo grau de dificuldade para realização da pesquisa por métodos diretos (perfuração, poços ou trincheiras), como qualquer outra área similar na região amazônica, os resultados aqui apresentados confirmaram que os métodos magnético e eletro-resistivo podem ser utilizados com sucesso como ferramenta indireta na localização de zonas promissoras à exploração de ouro dentro da zona de falha de Chega Tudo ou em outros ambientes geológicos de semelhantes características.

## ABSTRACT

This work of geophysical prospecting was carried out on a NW-SE geological lineament zone from Chatão on the right side of Gurupi river up to 5 km beyond Chega Tudo in the State of Maranhão.

The field work with the application of magnetic (total field), radiometric, electroresistivity (Schlumberger, Wenner and Half-Schlumberger) and EM (Sligram) methods was carried out in two stages: a) reconnaissance survey of a 22 km<sup>2</sup> area with magnetic and radiometric methods, and b) detailed survey of a 3.5 km<sup>2</sup> area with electroresistivity and EM methods.

The objectives were to study the main geoelectrical structures associated with mineralized zones, and to select among the used geophysical techniques the one with greater resolution to locate sub-surface quartz veins with gold mineralization.

The magnetic method shows a large anomaly in the NE region of the area of reconnaissance, whereas the radiometric method indicates only the background value everywhere. Therefore the latter will be not discussed.

The electroresistivity and EM surveys indicate many important anomalies on the detailed area.

The electroresistivity and magnetic interpretation were carried out by computational techniques whereas the EM data were interpreted by phase diagrams.

The results show a good correlation between the magnetic and electroresistivity anomalies and the mineralized zone. The EM method was not found effective because it could not discriminate the anomalies inside and outside the mineralized zone. All anomalies were tested with well logs.

Since the studied area has the same degree of difficulties for geological prospecting as any other similar area in the Amazon region, the results presented here show that the magnetic and electroresistivity methods, which turned out to be very effective as exploration tools for prospecting gold at Chega Tudo region, could be applied to any other environment with similar geological characteristics.

## INTRODUÇÃO

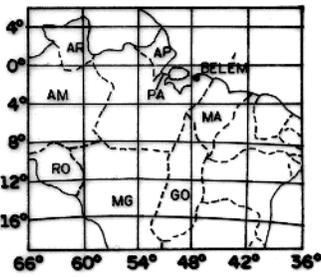
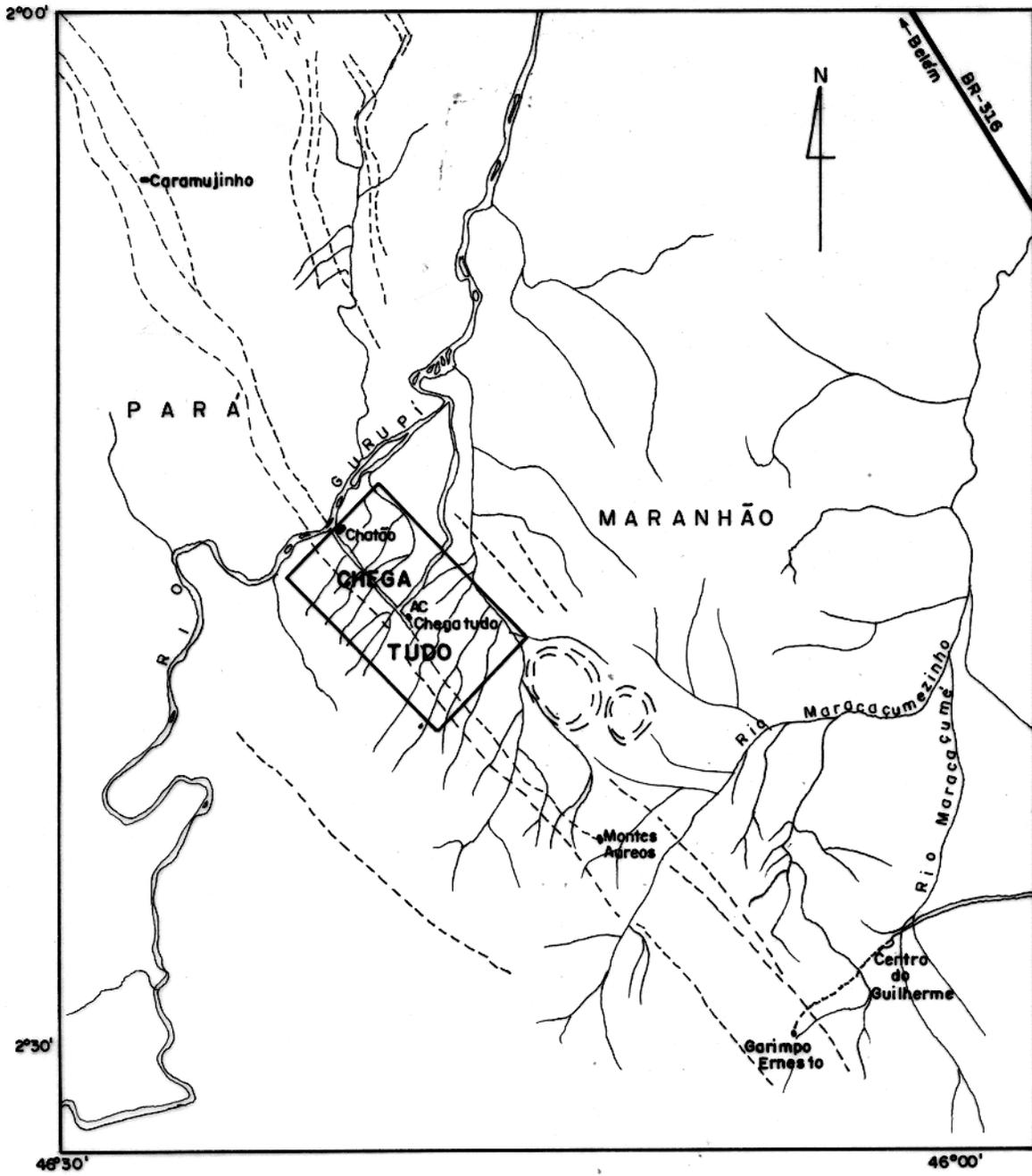
O presente trabalho foi realizado na área denominada Chega Tudo (Vila Tamataré) localizada na margem direita do rio Gurupi, no Estado de Maranhão, entre os paralelos de  $2^{\circ}12'$  e  $2^{\circ}20'$  sul e os meridianos de  $46^{\circ}14'$  e  $46^{\circ}22'$  oeste (Fig. 1). Nessa área destaca-se uma faixa estrutural retilínea de direção  $N140^{\circ}Az$  (zona de falha), facilmente identificada em imagens de radar, que vem sendo garimpada desde 1940.

Em 1979, a Companhia Mineração Arapiranga Ltda., através de inúmeras perfurações, identificou uma seqüência de rochas xistosas provisoriamente reunidas na "Formação" Chega Tudo. (Abreu et al., 1980). Aquelas sondagens visaram a definir a distribuição espacial de veios de quartzo auríferos que ocorrem na área.

Para melhor orientar os trabalhos da Companhia Mineração Arapiranga Ltda., foi proposto pelo Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas (NCGG) da UFPa uma campanha de prospecção geofísica, a qual teria como principais objetivos:

- a) determinar e localizar as principais feições estruturais e geo-elétricas;
- b) localizar possíveis contatos litológicos;
- c) tentar fornecer informações de sub-superfície para contribuir ao conhecimento da estratigrafia da região;
- d) determinar zonas mineralizadas de importância econômica associadas à feições estruturais; e
- e) selecionar, entre os métodos geofísicos empregados, qual o de melhor resolução na indicação de veios de quartzo em sub-superfície associados à mineralização de ouro.

Com base nas informações da geologia regional e local, foram escolhidos quatro métodos geofísicos. O trabalho de reconhecimento, realizado na área denominada Área-R, foi feito numa malha de  $22 \text{ km}^2$ , onde foram usadas magnetometria e cintilometria. Nessa área, a linha base tem direção  $N140^{\circ}Az$  e é cortada perpendicularmente por 12 travessas espaçadas de 1 km e numeradas de T-30A até T-81. Para facilitar o estudo, a área foi subdividida em três partes (Fig. 2):



LEGENDA

- Área de Trabalho
- - - Lineamento
- (( )) Estruturas circulares
- - - Caminho
- Estrada
- Rio ou igarapé

ESCALA - 1:400.000



FIG.1- MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE TRABALHO (CHEGA TUDO)

a) Área-1: do acampamento (T-21) até a T-30A, localizada na parte NE da zona de falha.

b) Área-2: do acampamento (T-21) até a T-81, localizada na parte NE da zona de falha.

c) Área-3: da T-304 até a T-81, localizada na parte SW da zona de falha.

Finalmente, foi realizada dentro da Área-R uma malha de detalhe, denominada Área-D, de 3,50 km<sup>2</sup>, onde foram aplicados os métodos de eletro-resistividade (Schlumberger, Wenner e Half Schlumberger) e de eletromagnetismo (Slingram). Essa área foi subdividida em três sub-áreas (Fig. 2):

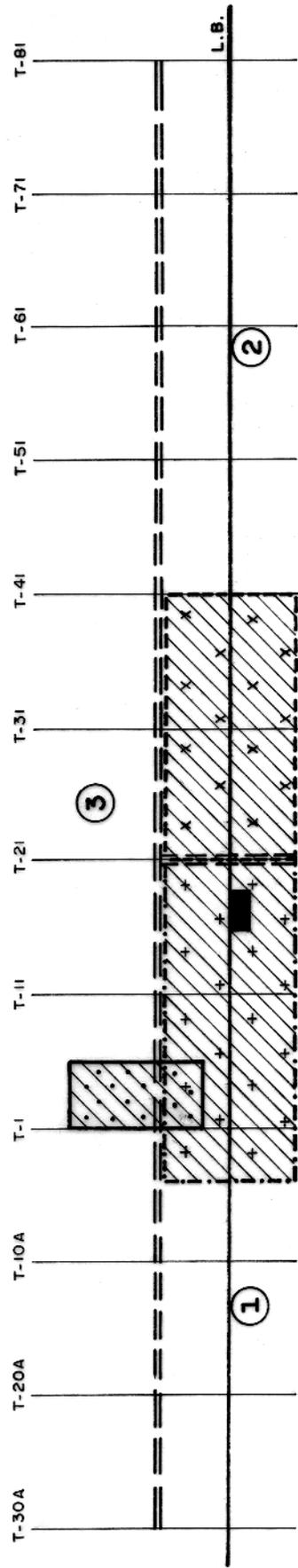
a) área Mina Velha: da T-4A até a T-21, localizada dentro da Área-1;

b) área Encrenca: da T-21 até a T-38, localizada dentro da Área 2;

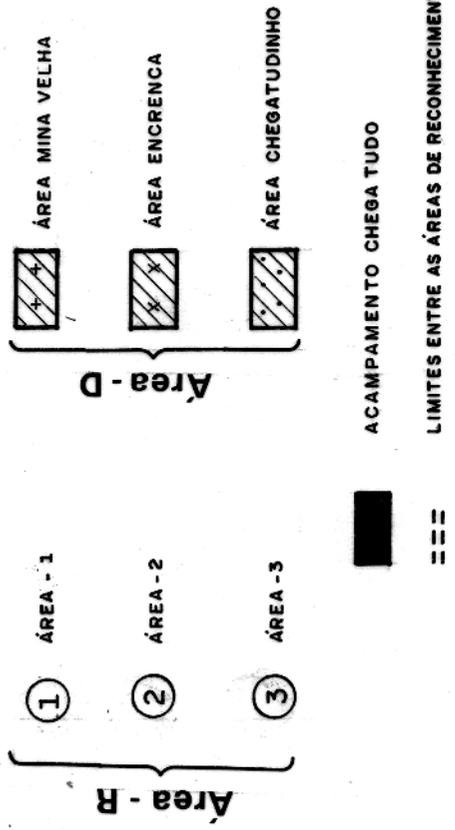
c) área Cheгатudinho: de T-1 até T-5, localizada dentro da Área-3.

A coleta dos dados foi realizada no período de julho de 1980 a janeiro de 1982. Nesse intervalo foram realizadas seis viagens, num total de 90 dias de campo.

Esta tese consiste de seis capítulos e dois apêndices. No capítulo 1 é apresentado uma síntese da geologia local da área prospectada; o capítulo 2 trata dos trabalhos anteriores de prospecção executados na área; os capítulos 3, 4 e 5 abordam os métodos magnético, eletro-resistivo e eletromagnético respectivamente. O último capítulo (seis) contém as conclusões e recomendações. O apêndice 1 descreve o programa "MAG" e o apêndice 2 o programa "FILÃO".



L E G E N D A



Esc. - 1:50.000

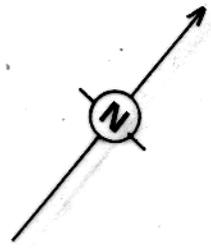


FIG. 2 - ÁREA DE PESQUISA (ÁREA - R e ÁREA - D)

## 1 GEOLOGIA DA ÁREA DE TRABALHO

A área de estudo abrange uma faixa linear NW-SE cuja geologia já está bem caracterizada nas circunvizinhanças da vila de Chega Tudo, aproximadamente 8 km da margem direita do rio Gurupi. Essa faixa bordeja a região cratônica de São Luiz a SE, onde se desenvolveu uma extensa zona de falha que aparentemente se prolonga desde Montes Áureos, no Maranhão, até o rio Piriá, no Pará (Fig. 1).

O embasamento da região é representado pela unidade estratigráfica denominada de Associação Metamórfica Maracaçumé ou Complexo Maracaçumé, composta por gnaisses e migmatitos, de composições que variam de granítica a tonalítica, além de corpos anfibolíticos alongados concordantemente às suas estruturações. O tipo dominante é o gnaissito tonalítico. Nele ocorrem por ordem de abundância os seguintes **minerais**: andesina, hornblenda, quartzo e feldspato potássico (Abreu et al., 1980).

Sobre as rochas da Associação Maracaçumé ocorre uma sequência vulcano-sedimentar metamorfisada na fácies xisto verde (Villas, comunicação verbal), reunida provisoriamente na "Formação" Chega Tudo. Apresenta composição mineralógica variável, onde se destacam as assembléias compostas de quartzo-sericita-xisto, quartzo-clorita-actinolita-xisto, clorita-calcita-sericita-quartzo-xisto, plagioclásio-sericita-clorita-quartzo-epidoto-tremolita-xisto. Essas rochas possuem uma xistosidade bem definida, à qual se superpõe uma foliação cataclástica como resultado dos esforços dinâmicos a que ficaram submetidas. Concordantemente com as xistosidades dessa sequência, ocorrem veios de quartzo os quais estão associados com o ouro.

Sobrejacentemente às rochas da "Formação" Chega Tudo existe uma cobertura de composição quartzo-feldspática similarmente cataclasada, preservando algumas estruturas sedimentares primárias tipo estratificação cruzada bem delineada pela disposição dos grãos de magnetita. Essa cobertura corresponde provavelmente aos arenitos imaturos da Formação Igarapé de Areia (Abreu et al., 1980).

À guisa de informação é apresentada a coluna estratigráfica (Fig. 3) da evolução geológica das rochas pré-Cambrianas da

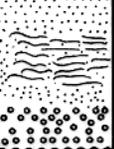
PERÍODO	UNIDADE ESTRATIGRÁFICA		DESCRIÇÃO LITOLÓGICA
EOPALEOZOICO	FORMAÇÃO PIRIA		SUB-ARCÓSIOS, ARENITOS FINOS, FOLHELHOS E ARGILITOS, MOSTRANDO ONDULAÇÕES SUAVES PROVAVEL OCORRÊNCIA CONGLOMERADO OLIGOMÍTICO NA BASE DA SEQUÊNCIA.
PROTEROZOICO	FM IGARAPÉ DE AREIA FM VIZEU		ARCÓSIOS E ARENITOS COM ESTRATIFICAÇÃO CRUZADA, MARCADAS POR FILME DE MINERAIS PESADOS. NÍVEIS CONGLOMERÁTICOS NA BASE METARENITOS(?) COM ESTRATIFICAÇÃO CRUZADA METAPELITOS(?)
	FM GURUPI		METAMORFITOS DE BAIXO GRAU REPRESENTADO POR ARDOSIAS, FILITOS, META-GRAUVACAS. ALGUNS NÍVEIS DE QUARTZITOS ROCHAS ALCALINAS DE BOCA NOVA E GRANTÓIDE DE NEY PEIXOTO.
	FM TROMAÍ		ROCHAS INTRUSIVAS E EXTRUSIVAS, TONALITOS QUARTZANDESITOS, GRANITOS, TRONDJEMITOS GRANODIORITO, RIOLITOS, TUFOS.
	FORMAÇÃO SANTA LUZIA		BIOTITA XISTOS, MUSCOVITA XISTOS, XISTOS GRANATÍFEROS, ESTAUROLITICOS E GRAFITOSOS.
ARQUEANO	COMPLEXO MARACACUMÉ		GNAISSES E MIGMATITOS DE COMPOSIÇÃO TONALÍTICA GRANÍTICA, CORPOS ANFIBOLITICOS CONCORDANTES.

FIG.3 - COLUNA ESTRATIGRÁFICA DA REGIÃO DO GURUPI.  
(SEGUNDO ABREU ET AL., 1982)

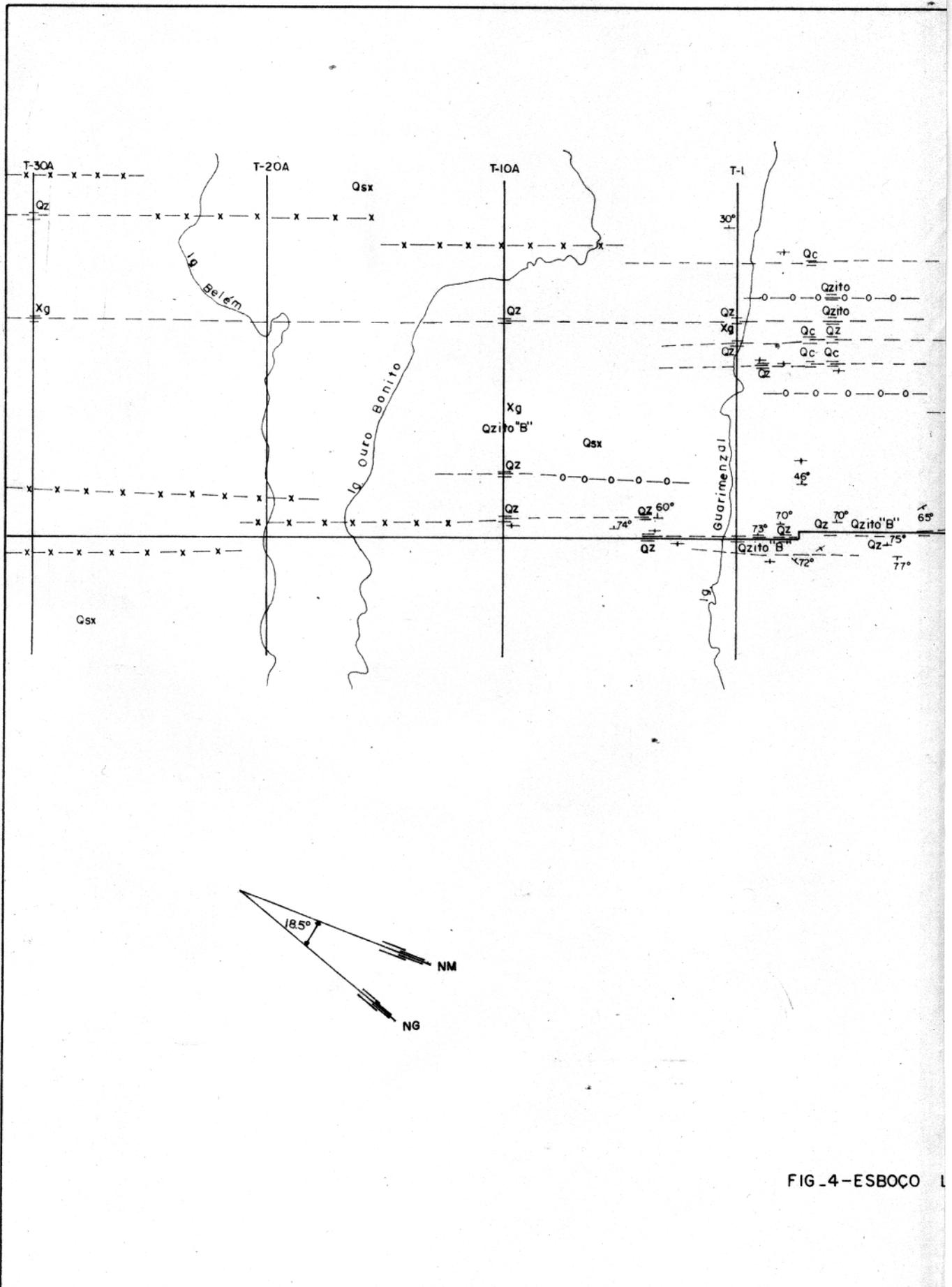
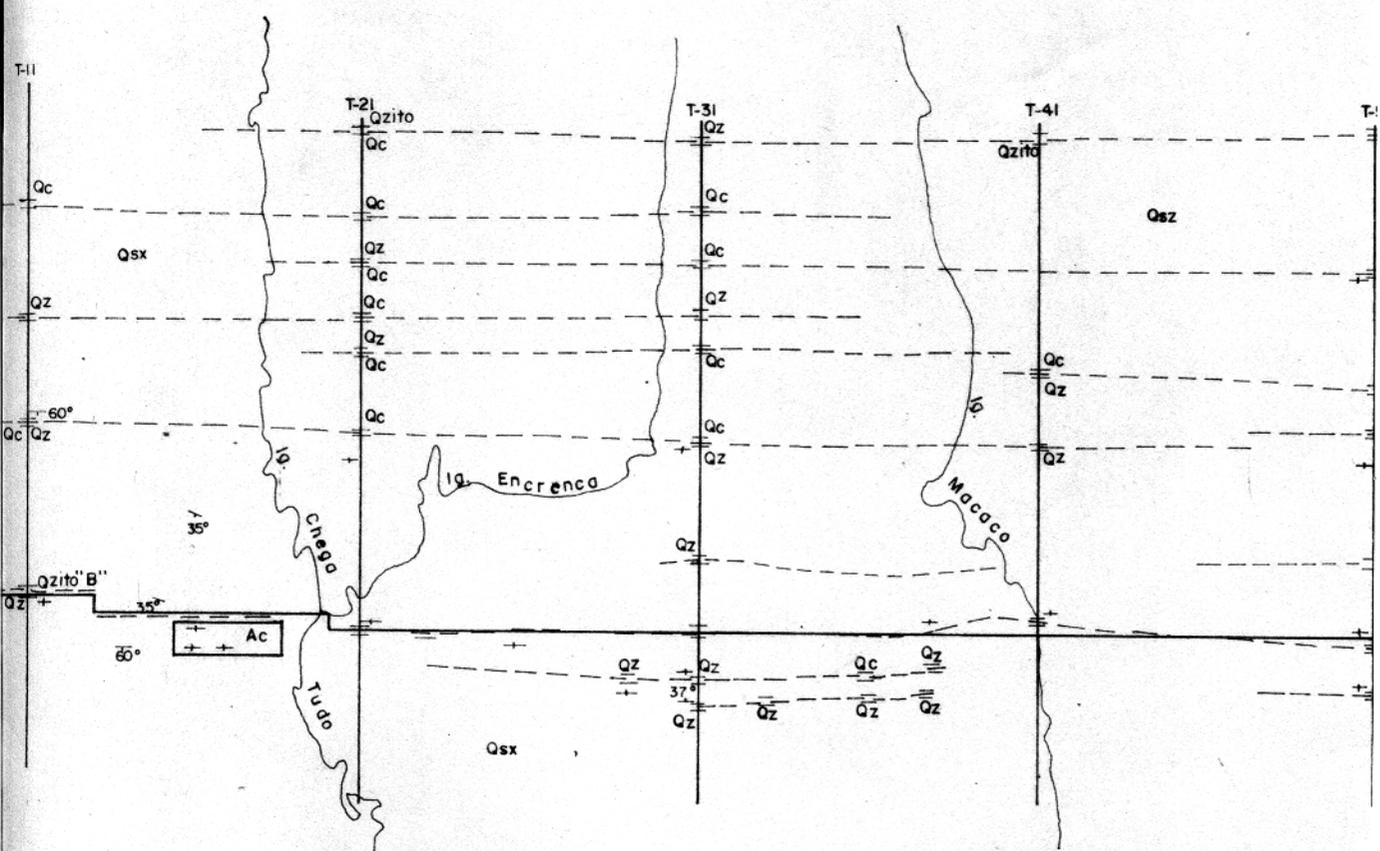


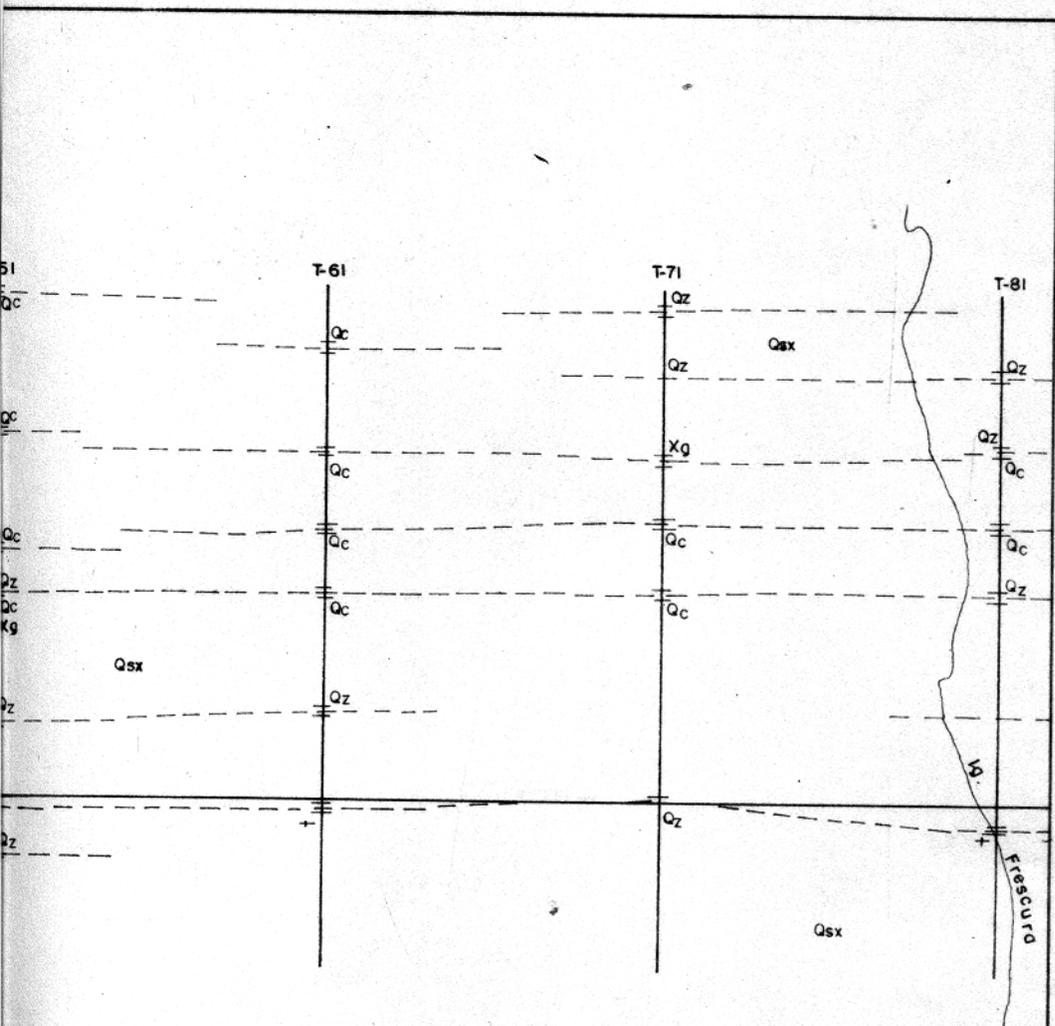
FIG. 4 - ESBOÇO



**CONVENÇÕES**

- Linha Base
- T-1 Linhas Transversais
- + Direção de Camada Vertical
- 35° Direção e Mergulho de Camada
- ≡ Afloramentos das Estruturas dos Veios de
- Lineamentos das Estruturas dos Veios inferi nos Afloramentos
- x- Lineamentos das Estruturas dos Veios inferi no Levantamento Magnético.
- o- Lineamentos das Estruturas dos Veios inferi nos Levantamentos Eletro-Resistivo e E
- ~ Igarapé
- Ac Acampamento

TOLOGÍCO DA ÁREA DE PESQUISA



**GEOLOGIA**

- Qz Veio de Quartzo
- Qc Veio de Quartzo Cataclásado
- Xg Xisto Grafitoso
- Qzito Quartzito
- Qzito Brechoso Quartzito Brechoso
- Qsx Quartzo-Sericita-Xisto

OBS. Não estão incluídos os sedimentos quaternário.

Quartzo  
Com Base  
Com Base  
Com Base

## 2 TRABALHOS ANTERIORES DE PROSPECÇÃO

Nessa área existem poucos trabalhos de prospecção geofísica efetuados e escassa bibliografia. Os únicos disponíveis foram efetuados pela Companhia Mineração Arapiranga Ltda. entre 1979 e 1980 e o da CPRM executado em 1979 para a Companhia Mineração Arapiranga. Depois desse período a Companhia concluiu os trabalhos de pesquisa quicá pelo baixo potencial da área no que concerne à mineralização de ouro.

### 2.1 Trabalhos da Companhia Mineração Arapiranga Ltda

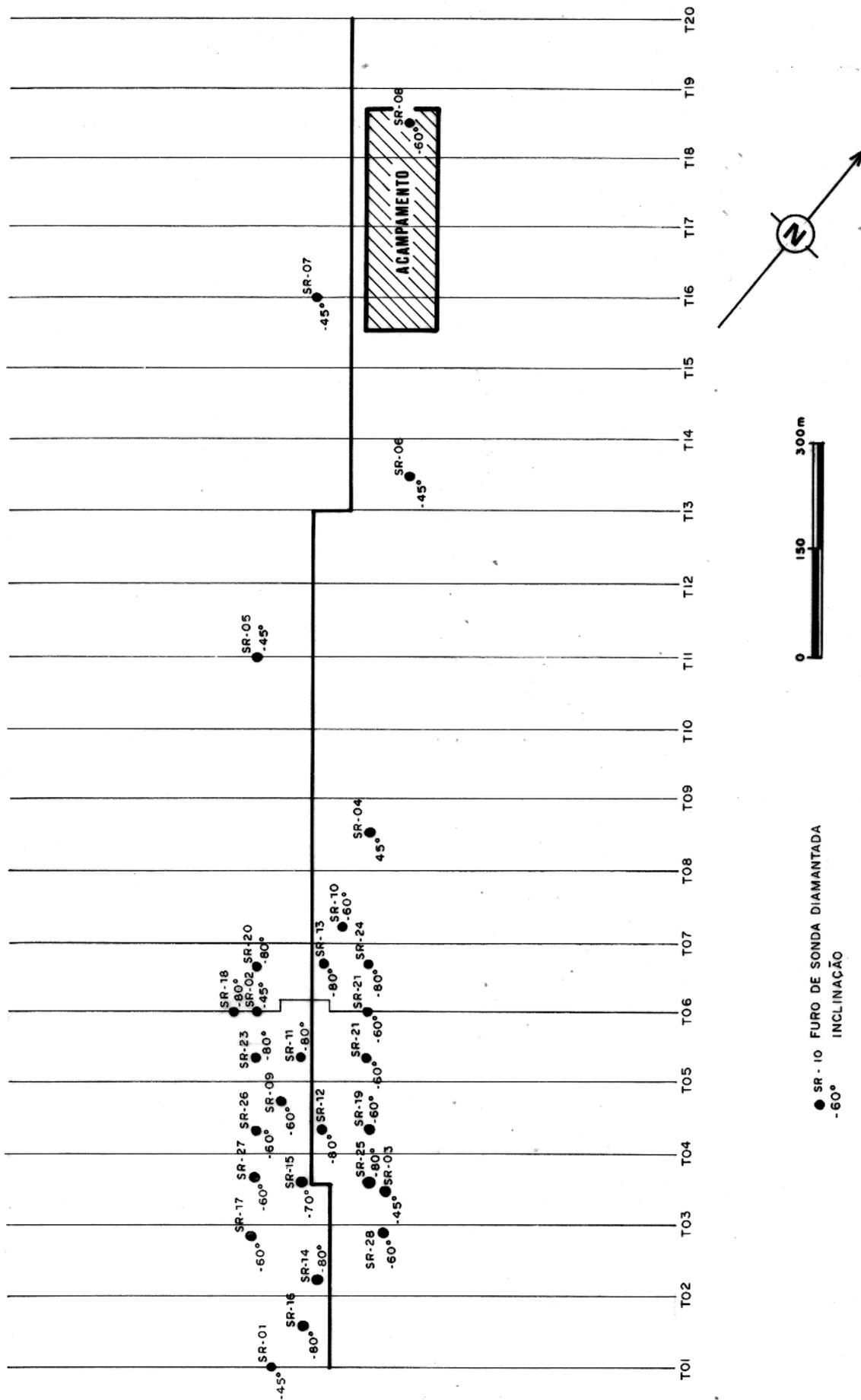
A Companhia efetuou um programa de abertura de poços com 1 m<sup>2</sup> de área e profundidade média de 2 m, e furos de trado, concentrados especialmente na área piloto, entre as linhas T-1 até T-41, com a finalidade de estudar e determinar o teor de ouro em coluvião e cascalho. Também realizou, de março a dezembro de 1979, uma série de perfurações especialmente na área piloto. Os objetivos principais desses trabalhos foram determinar os tipos litológicos associados à zona de cisalhamento e pesquisar a ocorrência de veios de quartzo auríferos nela presentes (Fig. 4).

### 2.2 Prospecção Geofísica

A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), por solicitação da Companhia Mineração Arapiranga Ltda., executou durante o segundo semestre de 1979, um pequeno levantamento geofísico com a finalidade de selecionar os métodos geofísicos com maior poder resolutivo na indicação de veios de quartzo em superfície, associados à mineração de ouro.

Os métodos empregados foram: magnetometria, eletromagnetismo (VLF) e eletro-resistividade (Wenner). Com os dois primeiros métodos foram executados nove perfis de 200 m de extensão, ampliadas no levantamento eletro-resistivo para 240 m.

Os resultados desse trabalho indicaram que o método eletro-resistivo foi mais efetivo que o VLF nas duas áreas de trabalho (Mina Velha e Cheгатudinho). O método magnético não apre



● SR - 10 FURO DE SONDA DIAMANTADA  
-60° INCLINAÇÃO

Fonte: Companhia Mineração Arapiranga LTDA.

FIG. 5 - LOCALIZAÇÃO DOS FUROS DE SONDAGEM NA ÁREA PILOTO.

sentou nenhum poder resolutivo na área Cheгатudinho. Na área Mi  
na Velha foram observadas algumas anomalias, porém não foram in  
terpretadas quantitativamente (Martins, 1979).

### 3 MÉTODO MAGNÉTICO

#### 3.1 Introdução

Com base em algumas informações geológicas da área, foi escolhido o método magnético para iniciar a campanha de geofísica, por ser esse o método mais rápido, simples e economicamente atrativo para levantamentos de reconhecimento. O objetivo desse levantamento seria correlacionar as anomalias magnéticas com as possíveis zonas mineralizadas; analisar e tentar quantificar o corpo magnético na sub-superfície.

#### 3.2 Metodologia

Neste item será apresentada a metodologia empregada na coleta e no tratamento dos dados de campo.

##### 3.2.1 Metodologia no Campo

No levantamento magnetométrico realizado em 16 dias de campo, foi utilizada um magnetômetro de precessão de prótons GP-70, construído pela McPhar Geophysics Limited.

Na malha de reconhecimento (Área-R) foram levantadas 12 linhas, espaçadas de 1 km, com 2 km de extensão cada uma e orientadas na direção 50°Az. A numeração das linhas foi a mesma adotada pela Companhia, onde a origem corresponde a picada que acompanha o igarapé Guarimanzal, denominada de T-1. A partir dela, na direção NW, existem 8 linhas numeradas de T-11 até T-81, e na direção SE existem 3, numeradas de T-10A (Fig. 2). A linha base, com 11 km de extensão, acompanha, o denominado, filão principal interceptando perpendicularmente as travessas.

O magnetômetro da base foi localizado na linha T-14, a 200 m do filão principal, onde não foi observada nenhuma perturbação magnética. Isso foi comprovado fazendo-se observações tanto na base como em pontos afastados de 70 m no sentido radial, indicando medidas com variações menores de 5 gammas. As leituras na base foram tomadas em intervalos de 10 minutos, observando-se uma variação média máxima de 72 gammas. Além disso, as ob

servações feitas nas estações de medidas, espaçadas de 50 m, foram obtidas através de 5 leituras para determinar um valor médio. Durante o levantamento não foi verificada nenhuma instabilidade do aparelho devida a altos gradientes do campo magnético. As flutuações observadas no magnetômetro de campo, principalmente no final do mês de setembro e início de outubro, foram devidas a tempestades magnéticas. Essas flutuações também foram detectadas no magnetômetro de base. Durante essas perturbações magnéticas, as observações com o magnetômetro de campo foram suspensas no período de 3 a 4 horas. Desde o início dos trabalhos, foi observado, que as variações das leituras feitas numa mesma estação durante um intervalo de tempo de 2,5 horas, correspondente a ida e volta em cada picada, variava em torno de 30 gammas. Para controlar essa variação, foram escolhidas estações bases auxiliares nos pontos de interseção entre a linha base e as picadas.

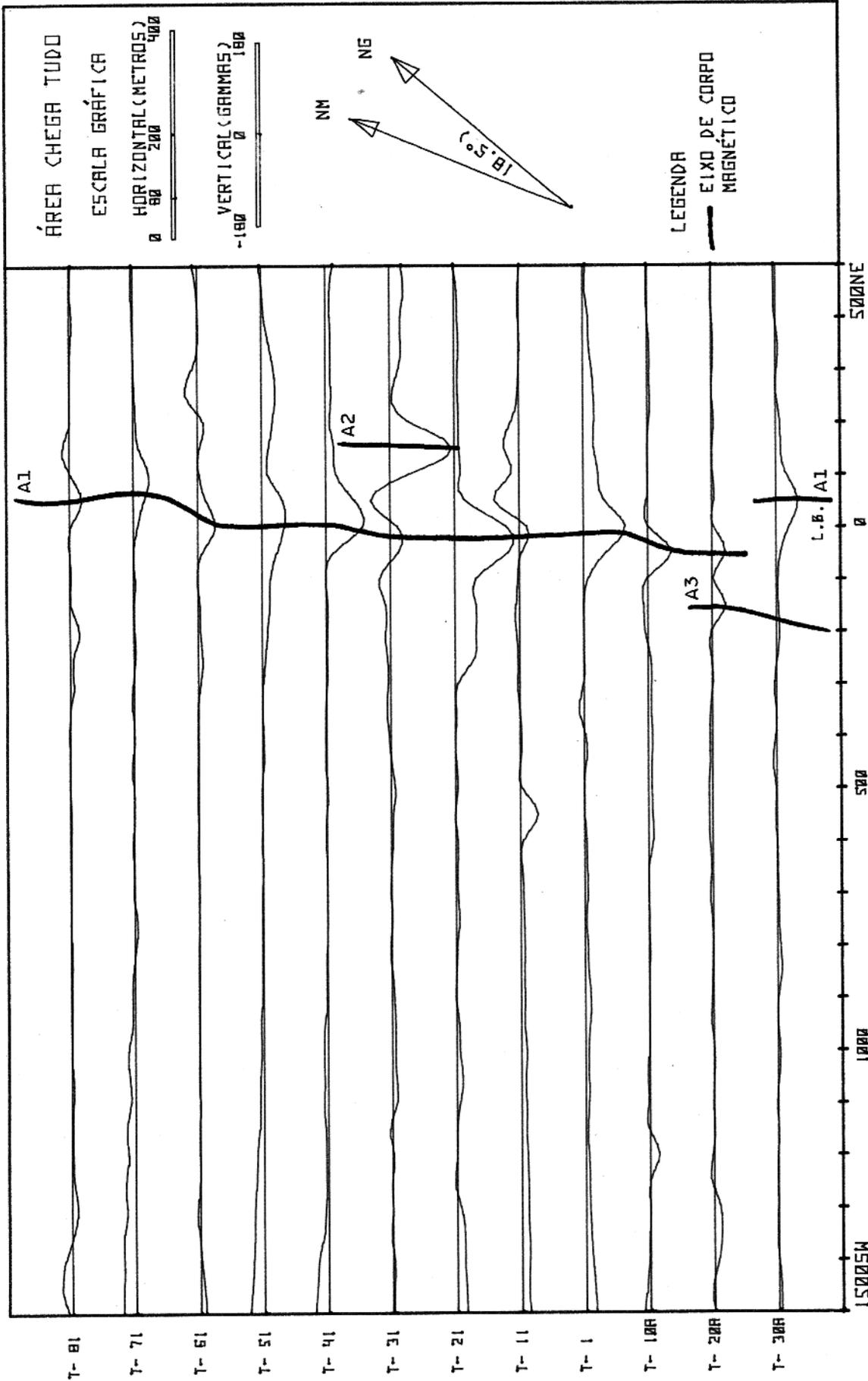
### 3.2.2 Metodologia no Laboratório

Para facilitar a análises dos dados os trabalhos de Laboratórios foram divididos em duas etapas: a) organização dos dados de campo e b) metodologia de interpretação dos dados.

#### 3.2.2.1 Organização dos Dados de Campo

Com os dados obtidos na base, foram feito 12 perfis para determinar a correção diurna das medidas de campo. Após a seleção dos perfis não afetados de perturbações magnéticas, foi calculado o valor médio diário do campo magnético total. Com esses valores foi determinada a média do valor regional da área (background), igual a 27740 gammas.

Para facilitar o processamento dos dados do levantamento magnético, todas as leituras foram armazenadas em fita magnética usando-se o programa "Dados de Campo", desenvolvido para a máquina HP-9830. Através de um outro programa denominada "Perfis" e desenvolvido também para a máquina HP-9830 e para o "plotter" HP9862A foram traçados todos os perfis magnéticos (Fig. 5). Com base nesses perfis foi feito um mapa isogâmico (Fig.A2), onde foi subtraído o valor absoluto do campo regional (27740 gammas),



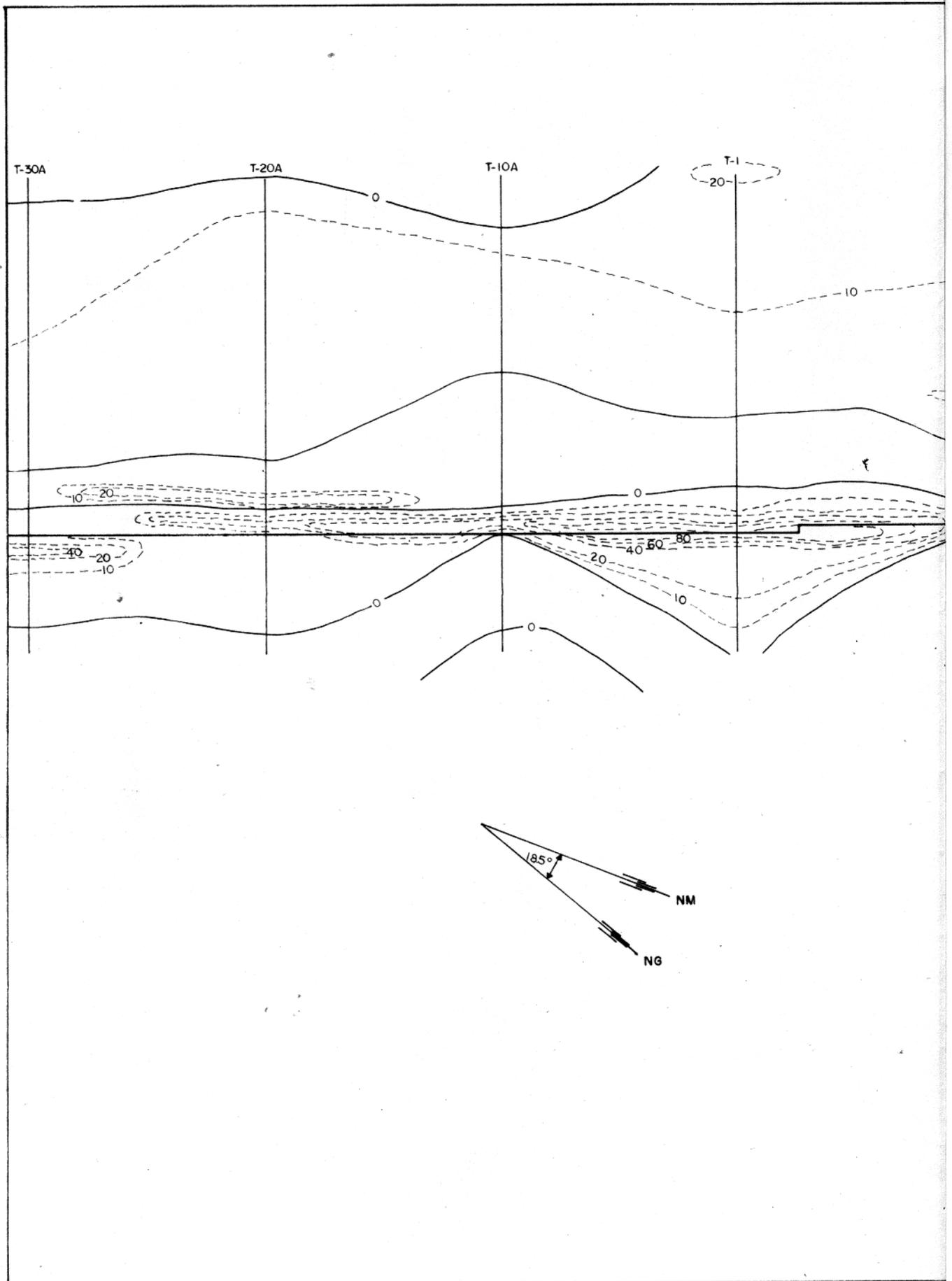
ÁREA CHEGA TUDO  
 ESCALA GRÁFICA

HORIZONTAL (METROS)  
 0 50 100 200 400

VERTICAL (GAMMAS)  
 -100 0 100

LEGENDA  
 EIXO DE CORPO  
 MAGNÉTICO

FIG. 6 - PERFIS MAGNÉTICOS (CAMPO TOTAL) AO LONGO DAS TRAVESSAS...



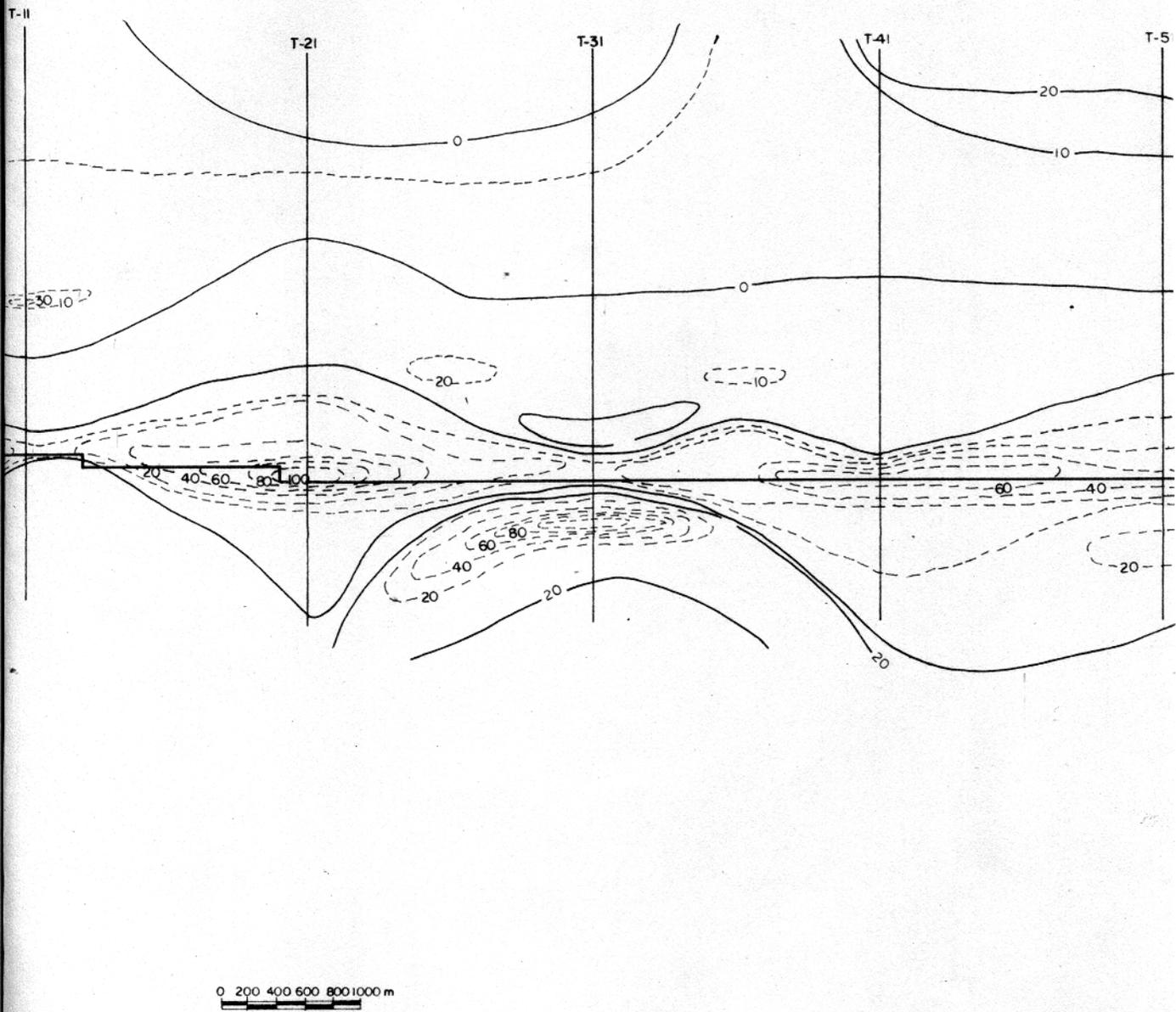
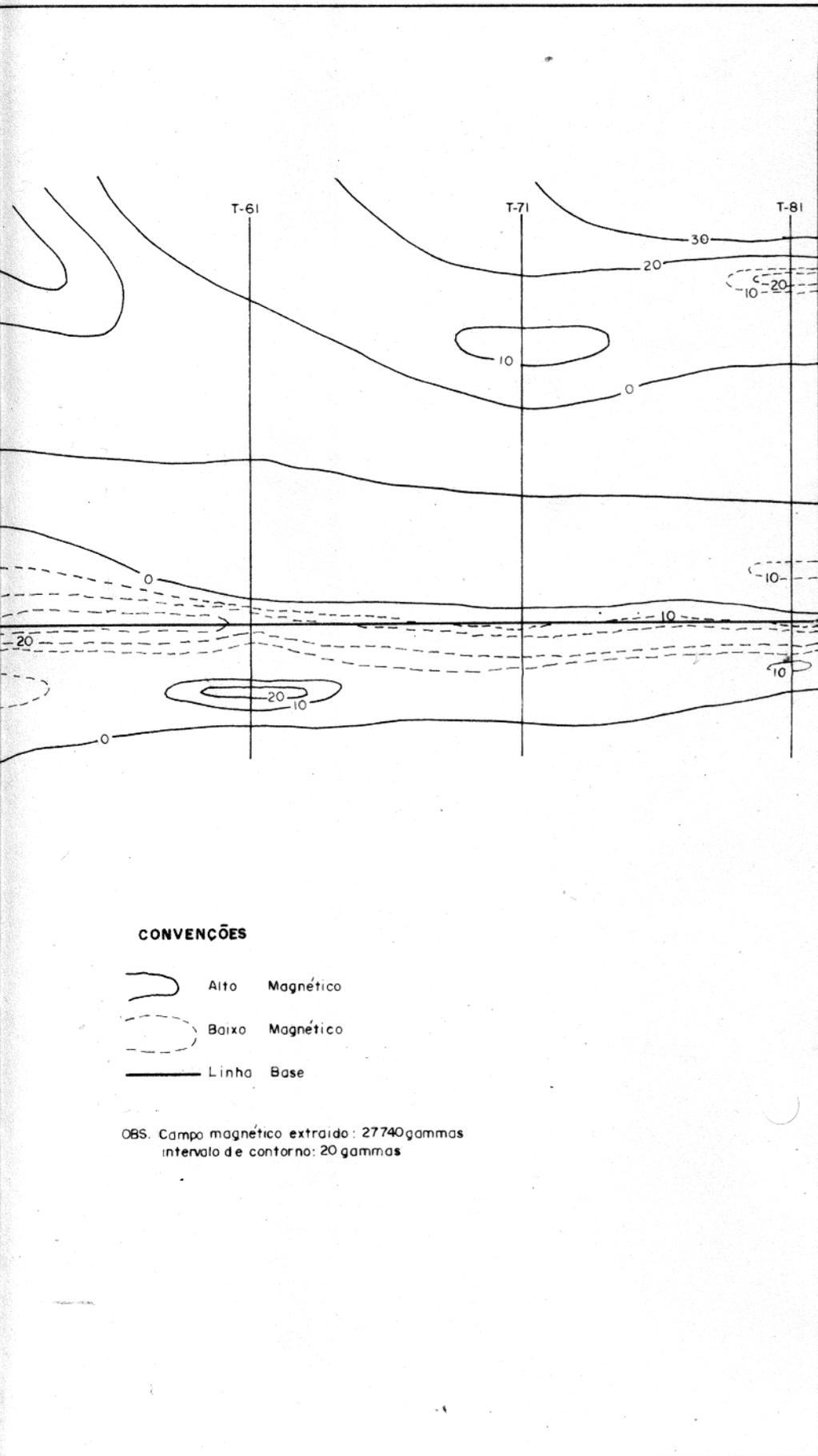


FIG.7 - MAPA MAGNÉTICO DA ÁREA CHEGA TUDO (ÁREA-R)



admitindo-se que a magnetização remanente era nula ou muito menor que a magnetização (Telford et al., 1976).

### 3.2.2.2 Metodologia de Interpretação dos Dados

A interpretação dos dados magnetométricos foi feita qualitativa e quantitativamente, sempre levando-se em consideração as informações geológicas.

A interpretação qualitativa constou da análise do mapa isogâmico e de perfis isolados para inferir as estruturas geológicas através das anomalias locais de interesse. Já os vários métodos usados na interpretação quantitativa serviram para calcular alguns parâmetros que determinam os corpos causadores das anomalias. Entre esses parâmetros figuram a profundidade, a espessura, o mergulho do corpo e a susceptibilidade magnética.

A interpretação quantitativa foi executada através de um programa de computador de mesa, denominada "MAG" (Apêndice 1), aplicado em perfis isolados que cortam perpendicularmente as anomalias magnéticas. O programa foi desenvolvido durante os trabalhos de laboratório para a máquina HP-9845, utilizando-se a teoria do campo magnético total sobre um prisma inclinado de duas dimensões (Telford et al., 1976; Won, 1981), modelo esse que melhor se adapta às informações de campo (Fig. 7).

Considerando-se que a aplicação do programa "MAG" na interpretação quantitativa é um processo iterativo por tentativa, é necessário o conhecimento a priori dos parâmetros iniciais para iniciar o processo, garantindo-se assim, uma convergência rápida e eliminando resultados finais ambíguos.

Os parâmetros iniciais a serem utilizados no programa "MAG", com exceção da susceptibilidade, foram calculados aplicando-se a cada perfil o método de Koulomzine (Koulomzine et al., 1970). O valor inicial da susceptibilidade foi obtida a partir de medidas diretas sobre 10 amostras de furos de sondagem, assumindo-se como valor final a média das leituras. O aparelho utilizado para essas medições foi o SM-5. Digital Magnetic Susceptibility Meter, da Scintrex, do laboratório de Propriedades Física das Rochas do NCGG.

Através do programa "MAG", com base nos parâmetros iniciais

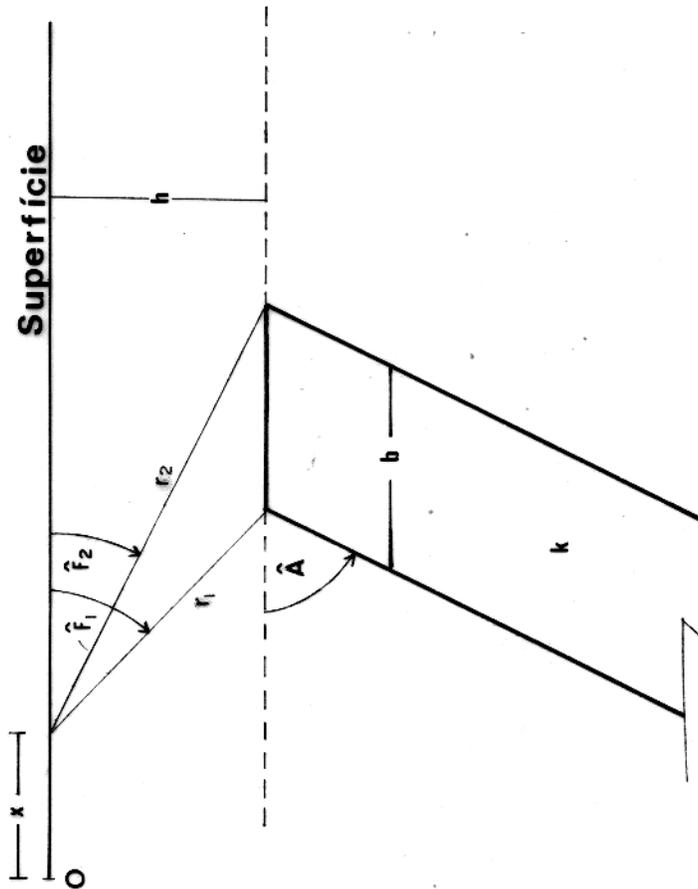
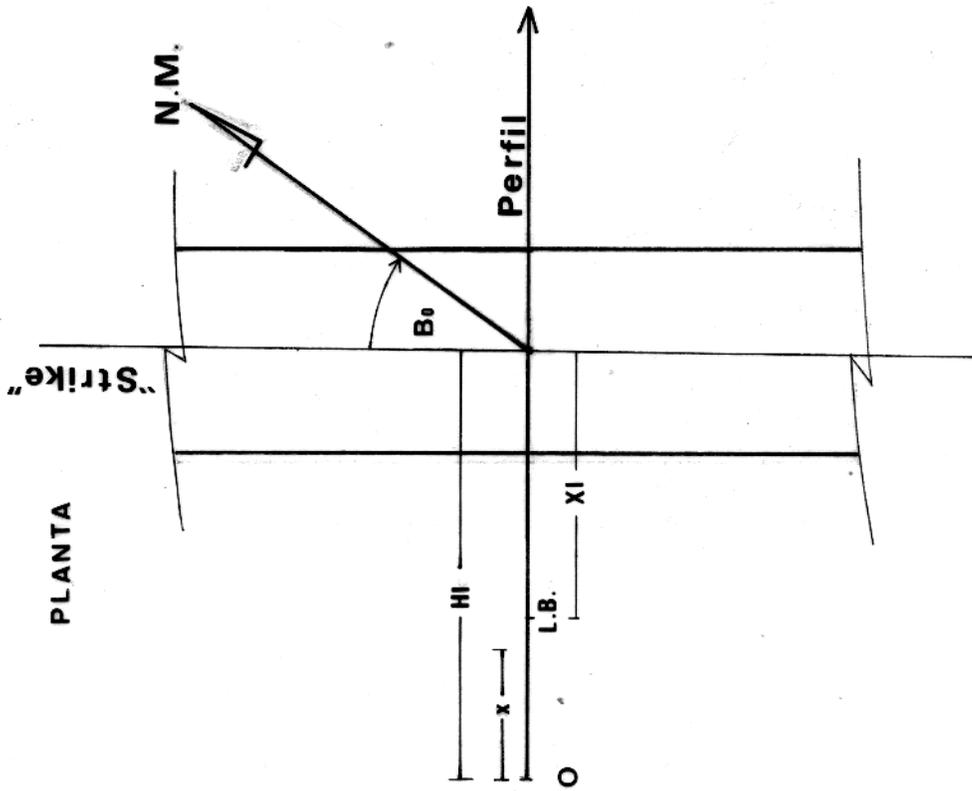


FIG. 8 - MODELO DO PRISMA UTILIZADO NA INTERPRETAÇÃO MAGNÉTICA.

ciais, foram calculadas curvas teóricas, num processo iterativo visual, através do TRC da HP9845 até o melhor ajuste com as curvas de campo, para obter os parâmetros finais do campo.

### 3.3 Análise e Interpretação dos Dados

A análise dos dados magnéticos foi executado em três etapas: a) interpretação qualitativa; b) interpretação quantitativa; c) discussão dos resultados obtidos.

#### 3.3.1 Interpretação Qualitativa

Na interpretação qualitativa foram empregados os dados apresentados nas figuras 6 e 7, que correspondem respectivamente aos perfis magnéticos e às curvas de contorno isogâmicos. Nessas figuras observam-se claramente as seguintes feições:

a) a principal anomalia magnética da área, denominada de A1 e orientada aproximadamente na direção  $140^{\circ}$  Az, acompanha a estrutura do filão principal;

b) a anomalia magnética principal se estreita e diminui em amplitude nos extremos noroeste e sudeste, apresentando uma descontinuidade entre as linhas T-20A e T-30A;

c) existem entre as linhas T-36 e T-21 entre as linhas T-20A e T-30A duas anomalias menores paralelas a anterior, denominadas A2 e A3 respectivamente, e

d) observa-se também anomalias locais menores nas seguintes linhas

T-81 entre as estações 200 SW-400SW e 1200SW-1400SW

T-11 entre as estações 500SW-600SW

T-10A entre as estações 1150SW-1250SW

T-20A entre as estações 1250SW-1450SW

Com base nessas feições foi concluído que, somente a anomalia principal (A1) justificava uma análise quantitativa na área, visto que a forma alongada dessa anomalia é a única que pode ser relacionada a ocorrência de veios de quartzo. As demais

anomalias da área de caráter local, apresenta pouca ou nenhuma característica de lineamentos estruturais e, portanto, ficaram fora dos objetivos de trabalho.

### 3.3.2 Interpretação Quantitativa

Para a interpretação quantitativa, o padrão da anomalia magnética principal no mapa foi importante para escolher o modelo a ser utilizado na determinação dos parâmetros do corpo magnético. Uma anomalia alongada, como é o caso, poderia ser modelada utilizando-se linhas de polos, linhas de dipolo ou prisma bidimensionais de quatro ou dois vértices. Para selecionar o melhor modelo foram utilizadas informações dos furos de sondagem, que permitiram considerar o corpo magnético como tendo duas dimensões com profundidade da base infinita, ajustando-se o modelo a linha de polos ou de prisma de duas dimensões. Entretanto, considerando-se que nos afloramentos do filão principal a estrutura apresenta uma certa espessura em relação ao espaçamento de medida, foi escolhido o prisma como modelo interpretativo mais provável.

Na interpretação quantitativa foram selecionados quatro perfis que cortam perpendicularmente a anomalia principal, correspondentes às linhas T-71, T-41, T-1 e T-30A (Fig. 6).

Os parâmetros iniciais usados no programa "MAG", obtidos anteriormente através do método de Koulomzine, estão apresentados na tabela 1. A primeira coluna dessa tabela contém o número do perfil; a segunda e a terceira colunas correspondem aos parâmetros  $\psi$  e  $\xi$  do método de Koulomzine, utilizados no cálculo dos parâmetros do corpo magnético; a quarta, a quinta e a sexta colunas correspondem aos parâmetros do corpo magnético: profundidade, espessura e mergulho do corpo; a última coluna contém a susceptibilidade magnética volumétrica, obtida no laboratório com o aparelho SM-5.

Uma das desvantagens do método de Koulomzine e co-autores é a não convergência para valores do parâmetro  $\psi$  igual ou maior  $\sqrt{3}$ . Esse fato foi observado nos perfis dos extremos da anomalia principal. Pode-se notar na tabela 1 que o parâmetro  $\psi$  correspondente à linha T-71, encontra-se no limite de convergência, en

TABELA - 1 - PARÂMETROS INICIAIS DO PROGRAMA "MAG" OBTIDOS COM O MÉTODO DE KOULOMZINE ET AL., 1970.

PERFIL	$\psi$	$\xi$	PROF. (m)	ESPESSURA (m)	MERGULHO	SUCEPTIBILIDADE $GO_1^1$
T-71	$0.95\sqrt{3}$	0.08	49	60	79°	$9 \times 10^{-3}$
T-41	1.38	0.11	40	75	77°	$9 \times 10^{-3}$
T-01	1.58	0.11	40	63	78°	$9 \times 10^{-3}$
T-30A	$1.15\sqrt{3}$	0.12	...	...	75°	$9 \times 10^{-3}$

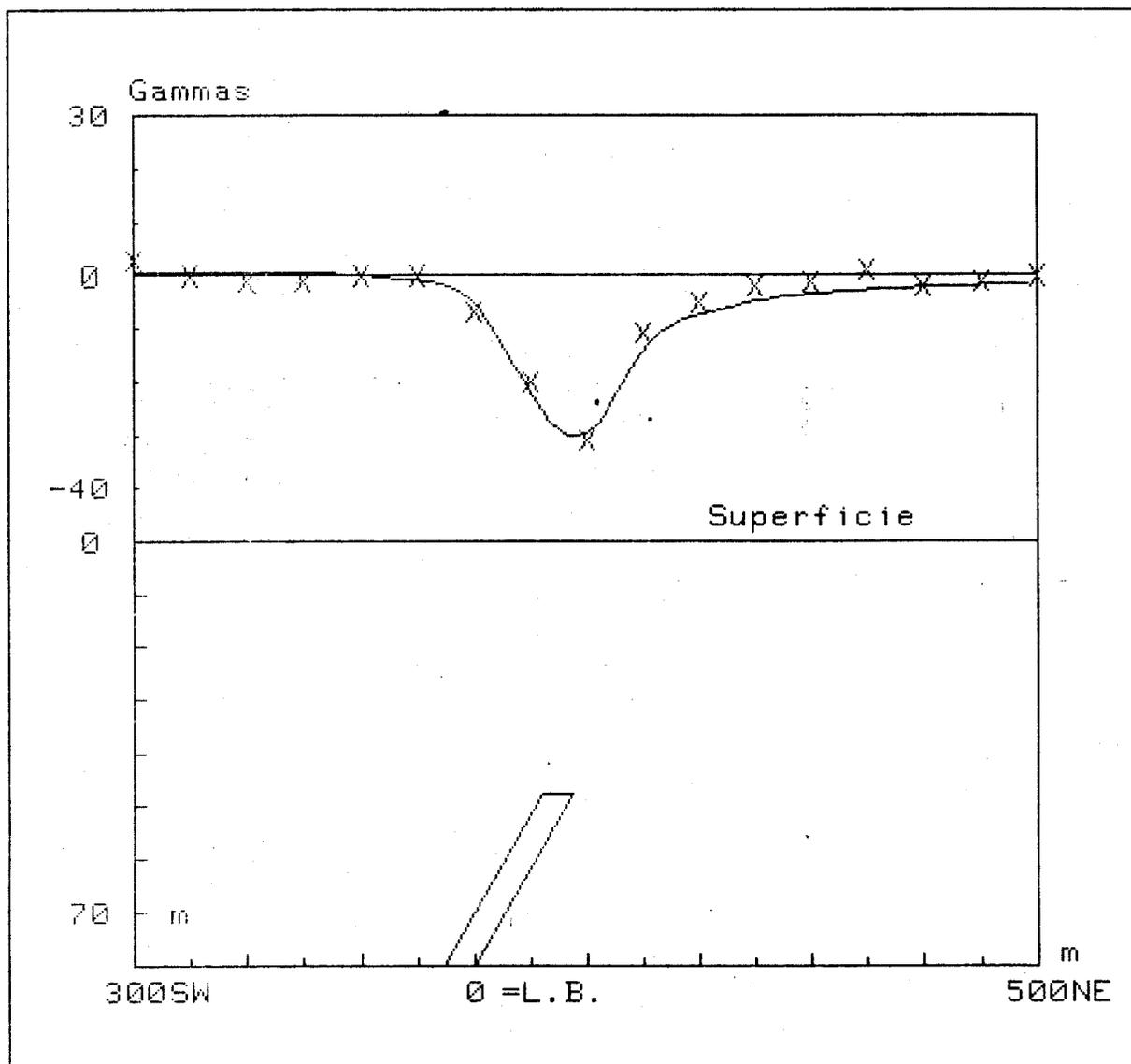
quanto que para a linha T-30A é superior, e como consequência, os valores correspondentes à profundidade e à espessura foram in determinados.

Ao contrário da interpretação quantitativa dos perfis no centro da anomalia principal (T-41, T-1), os perfis laterais (T-71, T-30A) apresentaram dificuldades na sua interpretação de vido a diminuição da amplitude dos perfis e da falta dos parâmetros iniciais no perfil T-30A (tabela 1). A diminuição da amplitude dessas anomalias poderia ser causado por três fatores: a) aumento da profundidade; b) diminuição da espessura e c) variação na susceptibilidade magnética. A determinação de um ou mais desses fatores, seriam necessário para a obtenção de uma interpretação quantitativa correta. Para solucionar esse problema, se fez uso mais uma vez do método de Koulomzine, concluindo-se que para valores do parâmetro maiores ou iguais a 3 corresponde uma diminuição da espessura com aumento da susceptibilidade. Des sa maneira, a possível variação da profundidade do corpo foi eli minada. A concentração de material magnético, ou seja, o aumento da susceptibilidade, não foi detectada no campo, uma vez que as amplitudes dos perfis nos extremos são muito menores que no cen tro da anomalia principal. Considerando-se esses fatos, foi con cluído finalmente que o corpo magnético da anomalia principal di minui sua espessura na direção dos extremos, mantendo sua profun didade e susceptibilidade magnética aproximadamente constantes . Esse resultado foi muito importante, visto que facilitou a sele ção dos parâmetros iniciais do perfil T-30A e contribuiu para eliminar qualquer ambiguidade na interpretação final.

Os resultados finais pelo processo iterativo visual atra vés do TRC da HP9895 usado no programa "MAG" estão apresentados graficamente nas figuras 9, 10, 11 e 12, podendo-se observar, den tro da precisão do instrumento (1 gamma) e da precisão das corre ções feitas nas medidas de campo, um ajuste bastante preciso en tre as curvas calculadas com as obtidas no campo. Os valores dos parâmetros finais estão resumidos na tabela 2.

### 3.3.3 Discussão dos Resultados Obtidos

O método magnético nesse trabalho se apresentou muito e



## VALORES CONSTANTES

Fo = 27740 gammas

Io = 9°

Bo = 21.5°

## PARÂMETROS FINAIS

A = 60°

k = .0080 G/Oe

h = 47.5m

b = 27.5 m

X1 = 75.0 m

## LEGENDA

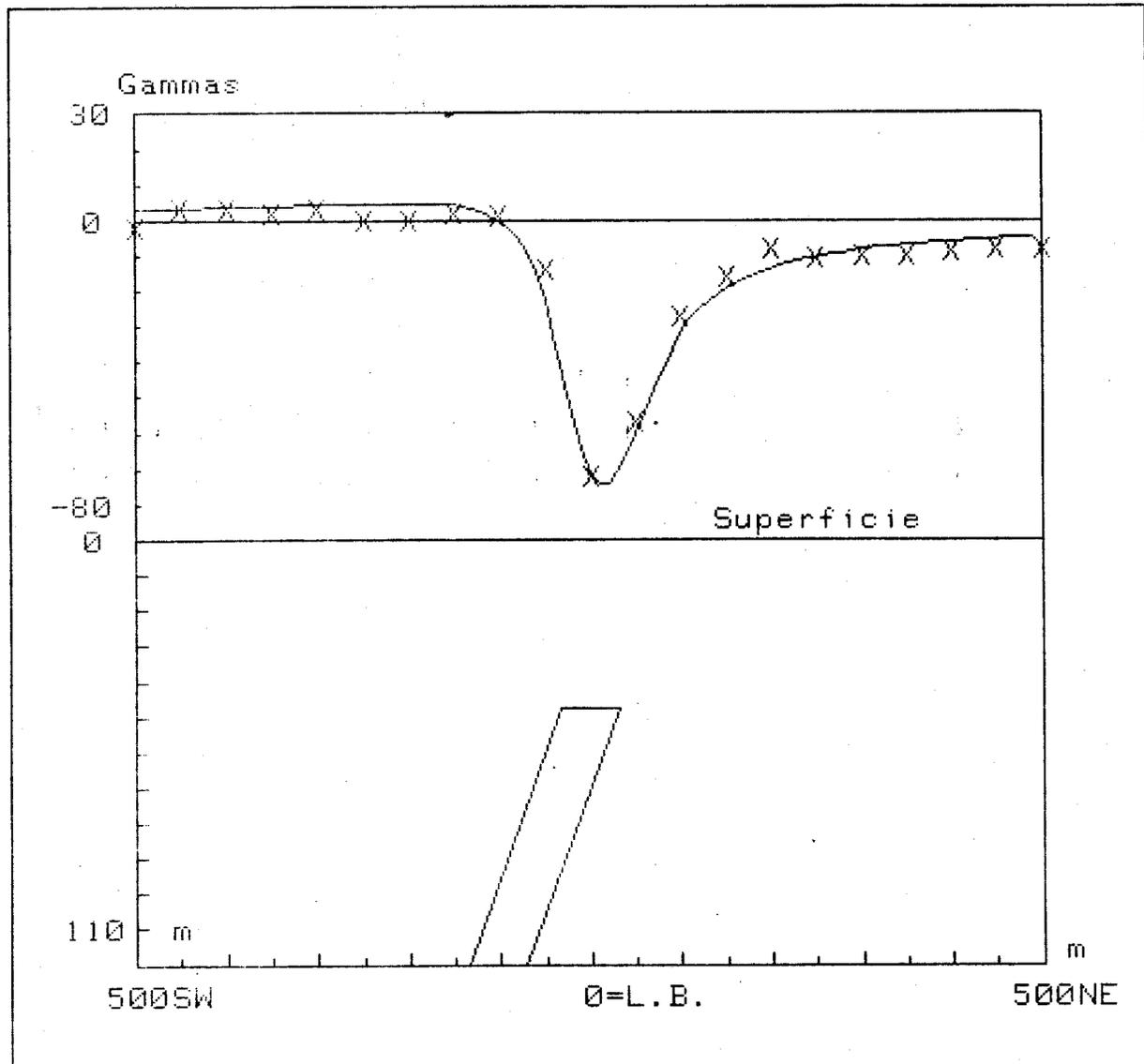
x x x

DADOS DE CAMPO

—

CURVA CALCULADA

FIG. 9 - INTERPRETAÇÃO MAGNÉTICA DO PERFIL 71.  
ÁREA CHEGA TUDO.



## VALORES CONSTANTES

 $F_0 = 27740 \text{ gammas}$  $I_0 = 9^\circ$  $B_0 = 21.5^\circ$ 

## PARÂMETROS FINAIS

 $\hat{A} = 70^\circ$  $k = .0082 \text{ G/Oe}$  $h = 47.5 \text{ m}$  $b = 65.0 \text{ m}$  $X_1 = 0.0 \text{ m}$ 

## LEGENDA

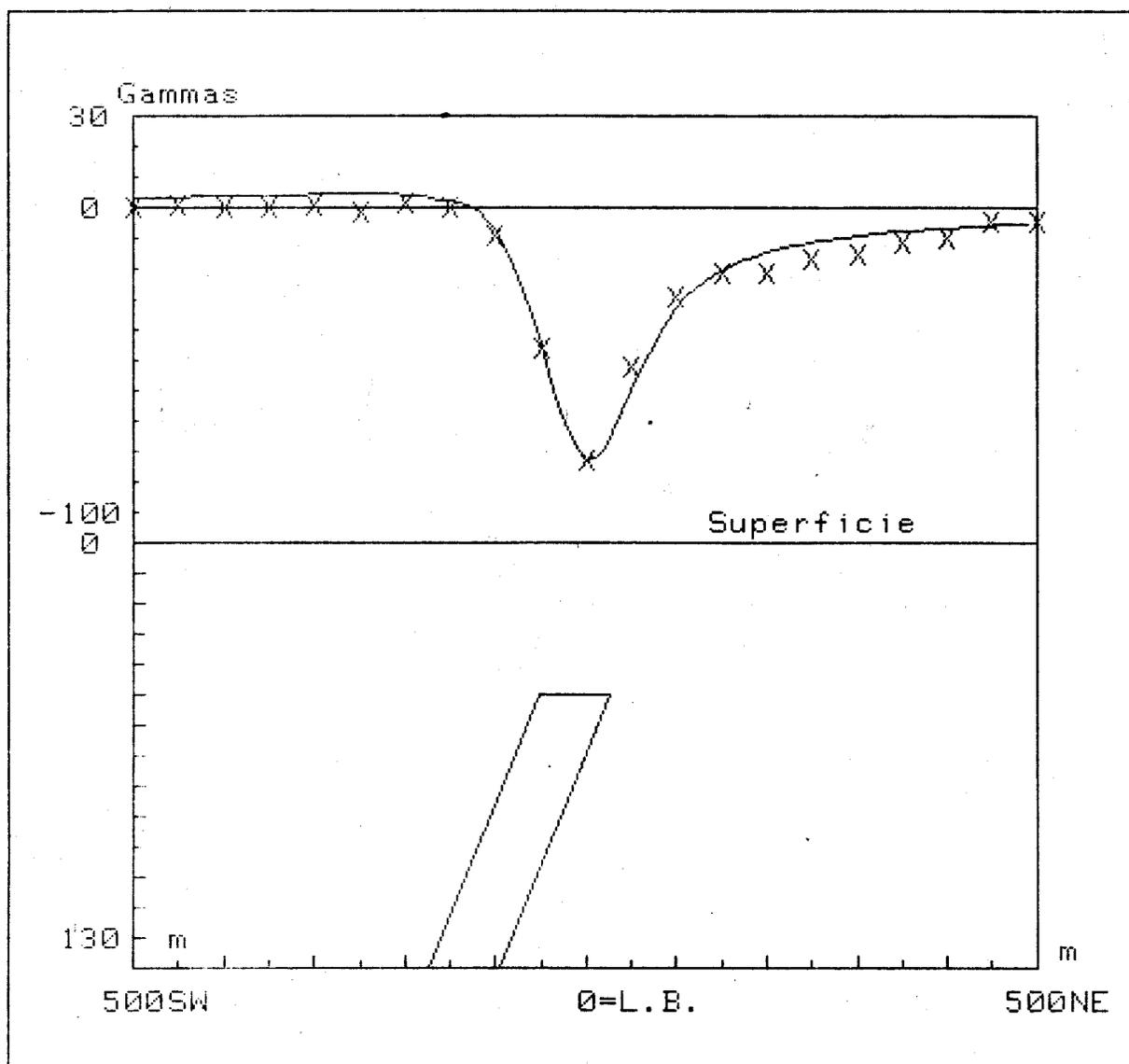
x x x

DADOS DE CAMPO

—

CURVA CALCULADA

FIG. 10-INTERPRETAÇÃO MAGNÉTICA DO PERFIL 41.  
ÁREA CHEGA TUDO.



## VALORES CONSTANTES

 $F_0 = 27740 \text{ gammas}$  $I_0 = 9^\circ$  $B_0 = 21.5^\circ$ 

## PARÂMETROS FINAIS

 $\hat{A} = 68^\circ$  $k = .0080 \text{ G/Oe}$  $h = 50.0 \text{ m}$  $b = 80.0 \text{ m}$  $X_1 = -12.5 \text{ m}$ 

## LEGENDA

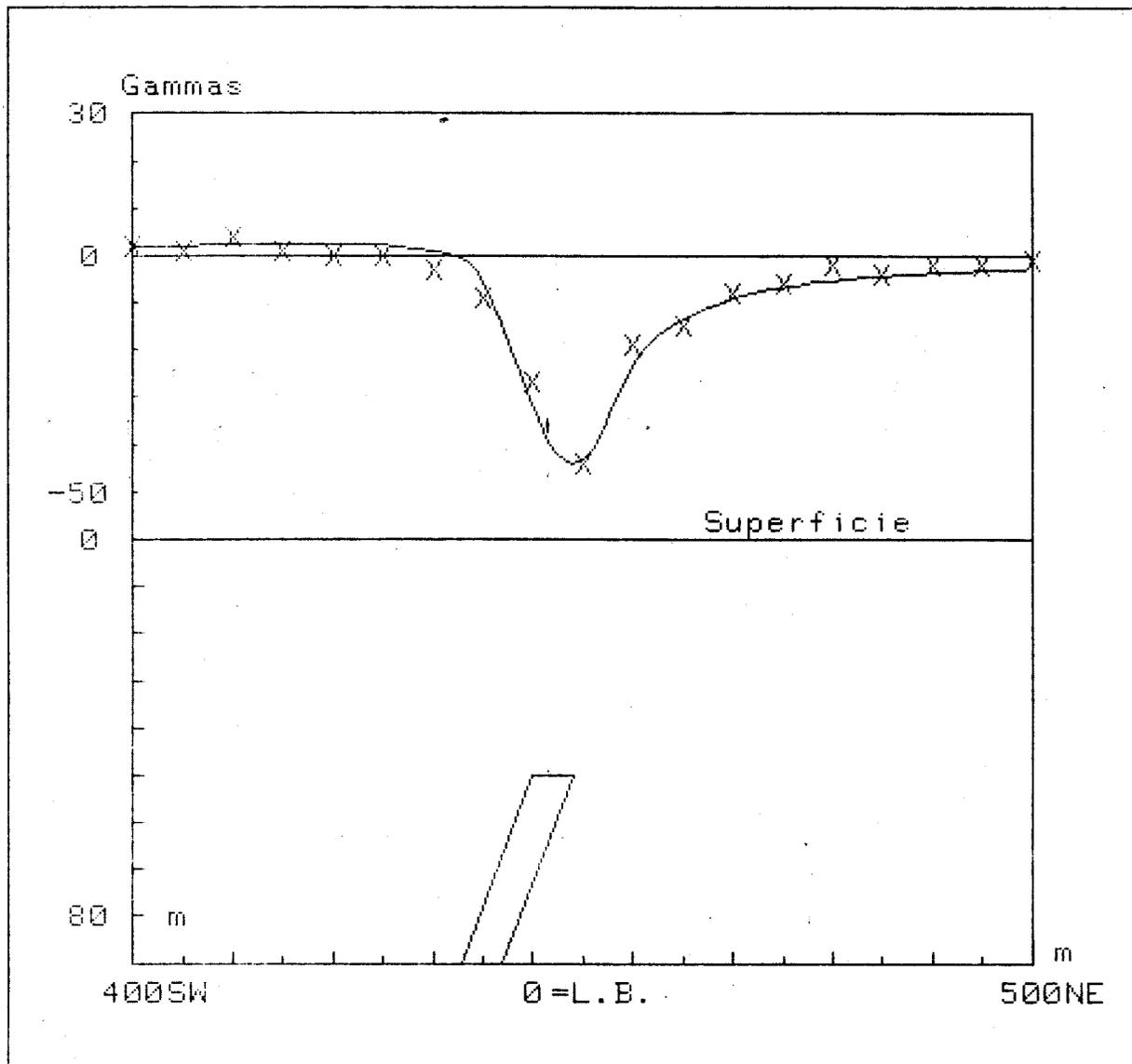
x x x

DADOS DE CAMPO

—

CURVA CALCULADA

FIG. 11-INTERPRETAÇÃO MAGNÉTICA DO PERFIL 1 .  
ÁREA CHEGA TUDO.



## VALORES CONSTANTES

 $F_0 = 27740 \text{ gammas}$ 
 $I_0 = 9^\circ$ 
 $B_0 = 21.5^\circ$ 

## PARÂMETROS FINAIS

 $\hat{A} = 69^\circ$ 
 $k = .0080 \text{ G/Oe}$ 
 $h = 50.0 \text{ m}$ 
 $b = 40.0 \text{ m}$ 
 $X_1 = 20.0 \text{ m}$ 

## LEGENDA

x x x

DADOS DE CAMPO

—

CURVA CALCULADA

FIG. 12-INTERPRETAÇÃO MAGNÉTICA DO PERFIL 30A.  
ÁREA CHEGA TUDO.

TABELA 2 - PARÂMETROS FINAIS OBTIDOS COM O PROGRAMA "MAG". ÁREA CHEGA TUDO.

LINHA	PROFUNDIDADE (m)	ESPESSURA (m)	MERGULHO	SUCEPTIBILIDADE ( $10^4 \times 10^3$ )	POSICÃO HORIZONTAL DO CENTRO EM RE- LAÇÃO A L.B. (m)
T-71	48	28	60°	8.0	75 NE
T-41	48	65	70°	8.2	L.B.
T-1	50	80	68°	8.0	12.5 SW
T-30A	50	40	69°	8.0	20 NE

fetivo na pesquisa de zonas mineralizadas. As informações obtidas pela Companhia Arapiranga através dos furos de trado e poços escavados levaram à conclusão que a região com maior potencialidade mineral a ser explorado (teor de ouro), tanto na rocha dura (filão) quanto nos coluviões, localiza-se ao longo da linha base que acompanha a estrutura do filão principal. Dessa maneira, a coincidência entre a localização da área mineralizada com a anomalia magnética principal (Fig. 6), indica uma correlação entre a ocorrência de veios de quartzo auríferos e material magnético, no caso, magnetita, constatada em furos de sondagem. Esse fato poderá ser utilizado com proveito em futuros trabalhos de pesquisa dentro da estrutura Chega Tudo, podendo-se estender para fora da área prospectada.

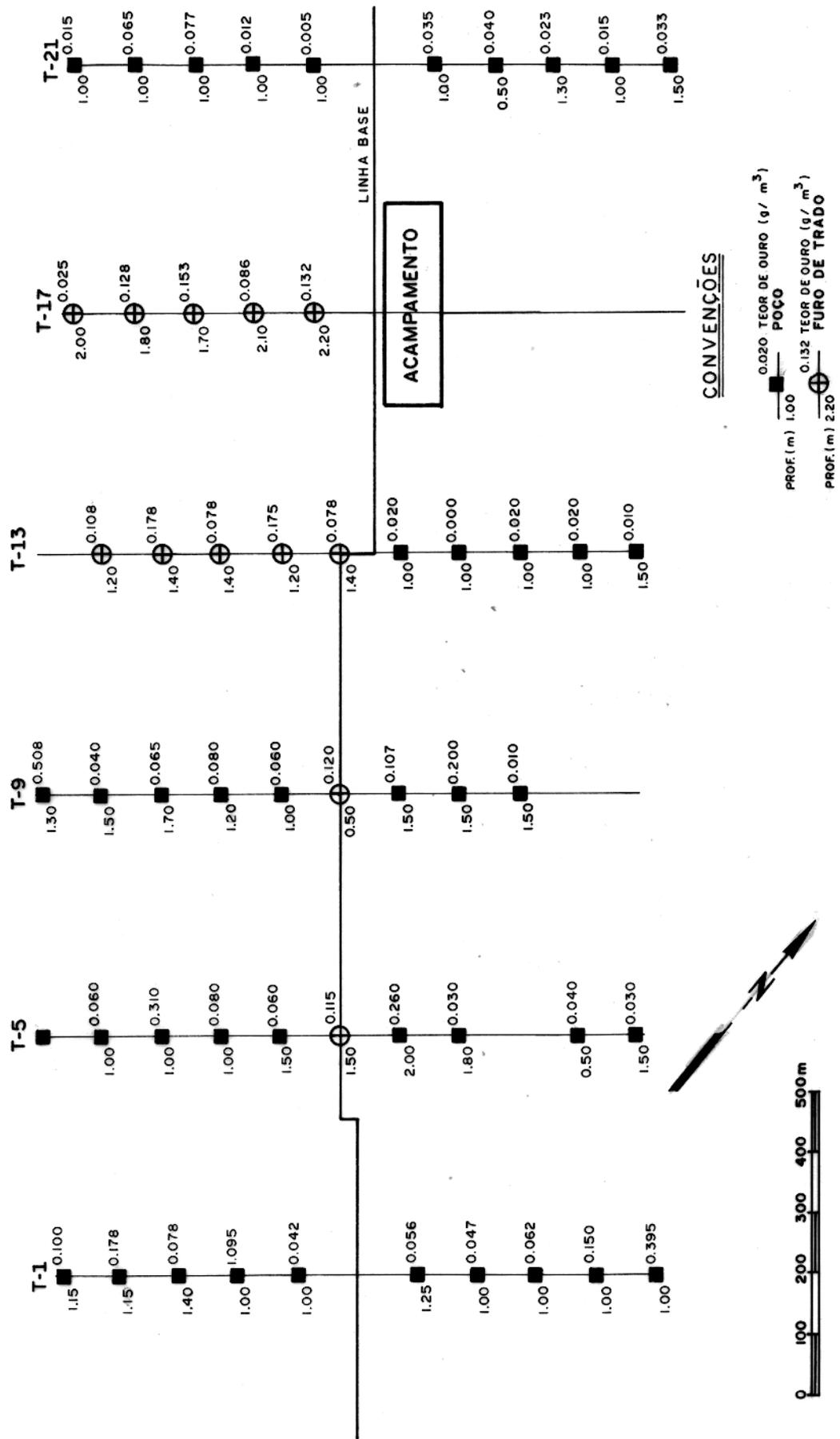
Com base na interpretação quantitativa dos quatro perfis isolados, foi concluído que o corpo magnético correspondente a anomalia principal tem maior espessura no centro da área, em torno de 80 m, diminuindo para os extremos noroeste e sudeste para 30 m e 40 m, respectivamente. A profundidade ao longo do filão é aproximadamente constante, com um valor médio de 49 m. O mergulho médio da estrutura é S67°W. A determinação do mergulho do corpo como sendo no sentido sudoeste constitui um resultado importante desse trabalho uma vez que ele é indeterminado através dos furos de sonda e poderá ser empregado no planejamento de futuros trabalhos.

Como verificação das conclusões anteriores, apresentamos alguns resultados obtidos pela Companhia Arapiranga na parte central da área (Fig. 13 e Fig. 14).

A figura 13 contém os resultados do teor do ouro do material coletado em lavagem de cascalho entre as linhas T-21 até T-1 (área piloto), os quais comprovam a existência de mineralização de ouro ao longo da estrutura do filão principal.

Na figura 14 são apresentados em detalhe os furos de sonda SR-11, SR-21 e SR-23, localizados entre as linhas T-5 e T-6 na área Mina Velha (Fig. 5), o primeiro com 160 m de profundidade e uma inclinação de 80°NE, e os outros dois com 200 m de profundidade e inclinações de 60°SW e 60°NE, respectivamente. As descrições dos testemunhos desses furos apontam:

a) solo orgânico argilo-arenoso ou areno-argiloso de espessura média 0,6 m, contendo entre 0,4 m e 0,6 m um nível de cas



FONTE: MINERAÇÃO ARAPJURANGA LTDA.

FIG. 13 - TEOR DE OURO NA ÁREA PILOTO.



calho composto de seixos de quartzo com diâmetro médio de 4 cm e area grossa.

b) rocha alterada (quartzo-sericita-xisto) de espessura média 24,4 m, cortada por veios de quartzo, com presença de pirita e hematita a partir de aproximadamente 20 m.

c) rocha fresca (quartzo sericita-xisto), cortada por veios de quartzo, apresentando pirita e, a partir de aproximadamente 60 m, bandas de magnetita acompanhando a xistosidade com inclinação em torno de  $65^{\circ}$ , numa zona de aproximadamente 80 m de espessura.

Considerando-se a localização e as descrições desses temunhos, pode-se verificar que existe uma coerência entre as informações desses furos de sondagem com os parâmetros magnéticos interpretados (tabela 1).

## 4 MÉTODO ELETRO-RESISTIVO

### 4.1 Introdução

O passo seguinte desse trabalho consiste no estudo detalhado das estruturas filonares, em especial a área do filão principal.

O método eletro-resistivo foi escolhido com o objetivo de correlacionar as anomalias eletro-resistivas com as possíveis zonas mineralizadas e descrever geo-elêtricamente, tanto a rocha encaixante como a cobertura superior dessas estruturas, associadas ou não às anomalias magnéticas. A descrição geo-elétrica com base em qualquer método elétrico corresponde à determinação do parâmetro conhecido como resistividade aparente ou "bulk resistivity", a qual corresponde a resistividade de uma estrutura geológica composta de um material condutor- numa ganga não condutora para um corpo condutor e vice-versa para um corpo resistivo (Bosschart, 1961; Grant e West, 1965).

Para detectar variações laterais de resistividade, foram empregados caminhamentos Wenner e Half-Schlumberger, enquanto que na determinação das variações em profundidade foram feitas sondagens elétricas Schlumberger.

### 4.2 Metodologia

Neste item será feita uma descrição detalhada da metodologia empregada nos trabalhos de campo, como também adotada na interpretação dos dados.

#### 4.2.1 Metodologia no Campo

No levantamento eletro-resistivo, realizado em 20 dias de campo, foram usados dois aparelhos de corrente contínua: a) o GGA-30 construído pela Bodenseewerke da Alemanha, utilizado nas sondagens elétrica Schlumberger e nos caminhamentos Half-Schlumberger e b) o ER-300 da Multitron que foi empregado nos caminhamentos Wenner.

No trabalho de campo inicialmente foi definida, dentro da área de reconhecimento, uma malha de detalhe denominada Área-D, composta de 21 travessas orientadas na direção de 50°Az. Essa malha, que cobre praticamente a área piloto selecionada pela Companhia Arapiranga (4 km<sup>2</sup>), foi sub-dividida em três partes (Fig. 2):

a) área Mina Velha, de 1,54 km<sup>2</sup>: constando de 8 linhas, espaçadas de 200 m, com 1,1 km de extensão cada uma, numeradas de T-4A até T-11.

b) área Encrenca, de 1,8 km<sup>2</sup>, composta de 8 travessas, espaçadas de 200 m e 300 m, cada qual com 1 km de extensão, e numeradas de T-21 até T-38.

Nessas duas áreas, a linha base corta perpendicularmente todas as travessas.

c) área Cheгатudinho, de 0,4 km<sup>2</sup>, constando de 5 linhas, espaçadas de 100 m, com 1 km de extensão cada uma e numeradas de T-1 até T-5. Essas linhas, que são prolongações das linhas da área Mina Velha, são cortadas perpendicularmente por uma linha base auxiliar, localizada paralelamente a 900 m ao sudoeste da linha base.

O levantamento de campo foi executado em três etapas:

a) Sondagem Elétrica Vertical Schlumberger

Para se conhecer a variação em profundidade da resistividade na área e com isso auxiliar a interpretação quantitativa dos caminhamentos elétricos, foi feito na Área-D um total de quatorze sondagens, com espaçamento máximo entre os eletrodos de corrente de 80 m a 100 m. Nessas sondagens, dependendo da distância do centro das sondagens em relação as estruturas filonares, foram obtidas respostas ou curvas de campo diferentes. Assim, aquelas feitas a aproximadamente 200 m das estruturas filonares foram denominadas sondagens tipo A, enquanto que as localizadas a aproximadamente 400 m, de tipo-B. Também foram realizadas dez sondagens sobre as estruturas filonares, com espaçamento máximo entre os eletrodos de corrente de 20 m, denominadas sondagens tipo-C (Fig. 15).

A finalidade das sondagens tipos A e B foi determinar as resistividades e espessuras do solo, rocha alterada e da rocha fresca encaixantes dos veios de quartzo. Nessas sondagens o cen

tro do arranjo foi colocado a 100 m, 200 m, 350 m e 400 m das estruturas. Por outro lado, o objetivo das sondagens tipo C foi calcular a resistividade das estruturas filonares perto da superfície. Em ambos casos, os caminhamentos foram ao longo das travessas. Para cada sondagem elétrica vertical (SEV) foi construída uma curva de campo em papel bilogarítmico para controlar a precisão das medidas.

#### b) Método Wenner

Esse método foi aplicado na área de detalhe num total de onze perfis, sendo quatro na área Mina Velha, quatro na área Encrenca e três em Chegatudinho, num total de 5,65 km de linhas levantadas (Fig. 15).

No levantamento de campo, as perfilagens foram realizadas invertendo-se a direção de caminhamento em cada par de linhas contiguas. Com isso, houve economia de tempo e otimização do trabalho. Para o acesso entre as travessas, foram utilizadas linhas bases auxiliares e, em alguns casos, por dentro da mata com auxílio da bússola. Tanto o espaçamento de medida como a distância entre cada par de eletrodos consecutivos foi de 25 m.

#### c) Método Half-Schlumberger

Na área de reconhecimento, esse método foi aplicado sobre um total de dez perfis, dos quais quatro foram na área Mina Velha, quatro na área Encrenca e dois em Chegatudinho, num total de 5,5 km de linhas levantadas (Fig. 15).

Em todos os caminhamentos o eletrodo de corrente B sempre foi o mais afastado, ficando localizado a uma distância de 500 m ao noroeste da estrutura pesquisada. Nos eletrodos móveis, os de potenciais M e N, com uma separação de 2 m, adiantaram-se ao eletrodo da corrente A. O espaçamento de medida, ou seja, a distância do centro dos eletrodos M, N ao eletrodo A foi de 25 m.

Nas áreas Mina Velha e Encrenca, os caminhamentos foram sempre iniciados com uma distância mínima de 200 m entre os eletrodos de corrente, enquanto que na área Chegatudinho dessa distância foi de 350 m. Logicamente que durante as perfilagens essa distância foi aumentando, uma vez que o eletrodo B se mantinha fixo. O espaçamento de medida foi de 25 m, ou seja, a mesma distância entre os eletrodos móveis.

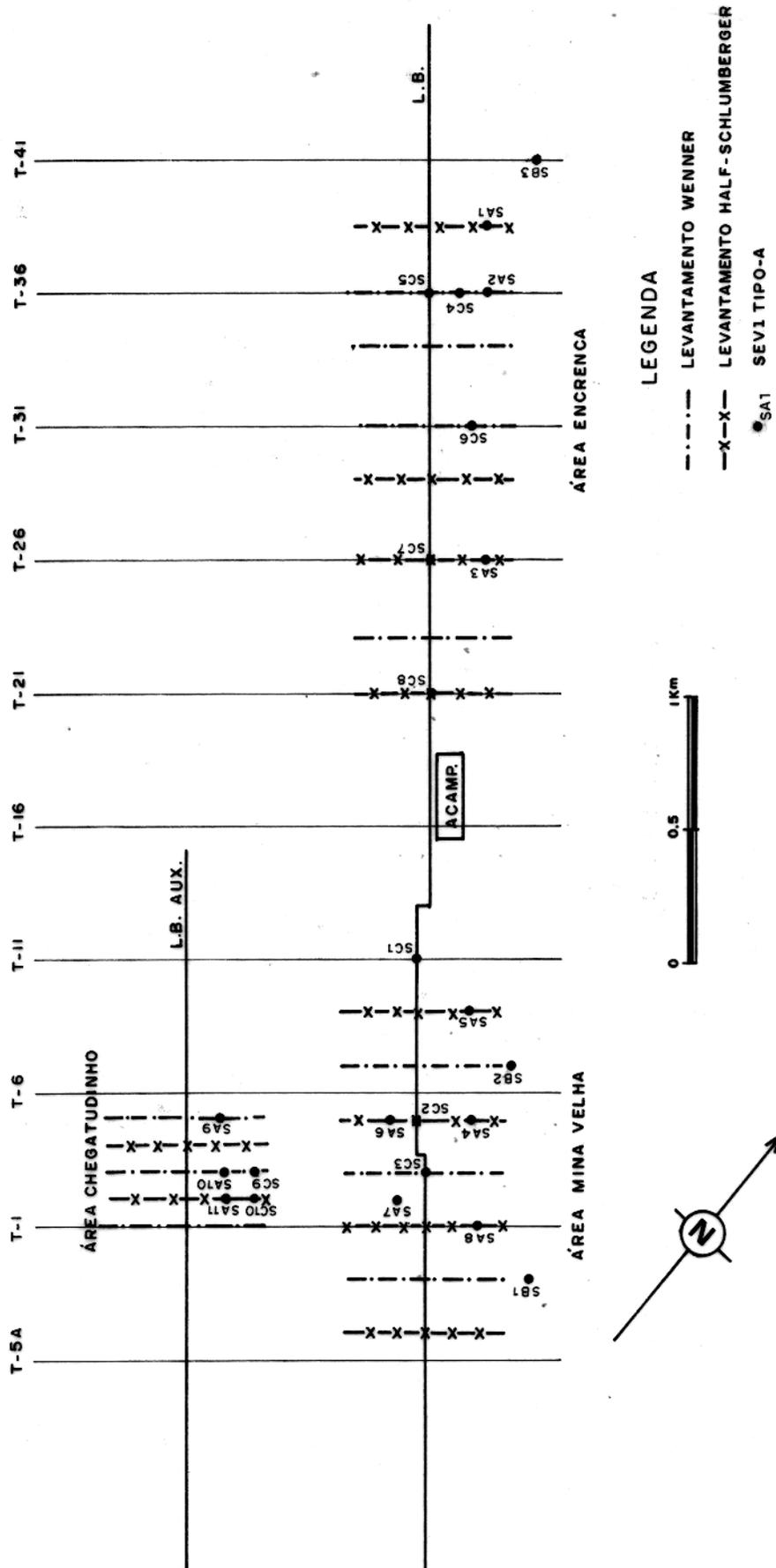


FIG. 15 - LOCALIZAÇÃO DAS SONDAGENS SCHLUMBERGER E DOS CAMINHAMENTOS ELÉTRICOS. ÁREA DE DETALHE.

#### 4.2.2 Metodologia no Laboratório

Para facilitar a análise dos dados, os trabalhos de laboratório foram realizados em duas etapas: organização dos dados de campo e técnica empregada na interpretação dos dados.

##### 4.2.2.1 Organização dos Dados de Campo

Para facilitar o processamento dos dados do levantamento eletro-resistivo, todas as leituras foram armazenadas em fita magnética através do programa de computador "Dados de Campo".

Os dados do método Half-Schlumberger e Wenner foram apresentados na forma de perfis (Fig. 16 e 17), através do programa de computador "Perfis". Para o primeiro método, o ponto de "plotting" correspondeu ao ponto médio entre o eletrodo de corrente e o centro dos eletrodos de potencial, enquanto que para o segundo, correspondeu ao ponto médio do arranjo simétrico.

##### 4.2.2.2 Metodologia de Interpretação dos Dados

###### a) Sondagem Elétrica Vertical (SEV)

Com os dados traçados, foi feito inicialmente um estudo qualitativo para se determinar o número possível de camadas existentes com base na teoria do Ponto Auxiliar e nos dados geológicos disponíveis. Em seguida, foi feita uma interpretação quantitativa, empregando-se o programa de computador "SEV", do NCGG, para a máquina HP-9845, o qual consiste em gerar curvas teóricas de um determinado modelo para comparação com as curvas de campo. Essa técnica de tentativa e erro foi empregada repetidamente até o ajuste final das curvas. Em continuidade, foi feita uma correlação entre os parâmetros obtidos (resistividade e espessura das camadas), e os dados dos furos de sondagem e perfis geológicos da área, tentando-se eliminar qualquer ambigüidade. Para tanto, foi empregado o princípio da equivalência com base na resistência transversal para as camadas mais resistivas e na condutância longitudinal para as camadas mais condutoras (Kunetz, 1966).

###### b) Caminhamentos Elétricos

Os dados obtidos com as técnicas Wenner e Half-Schlumber-

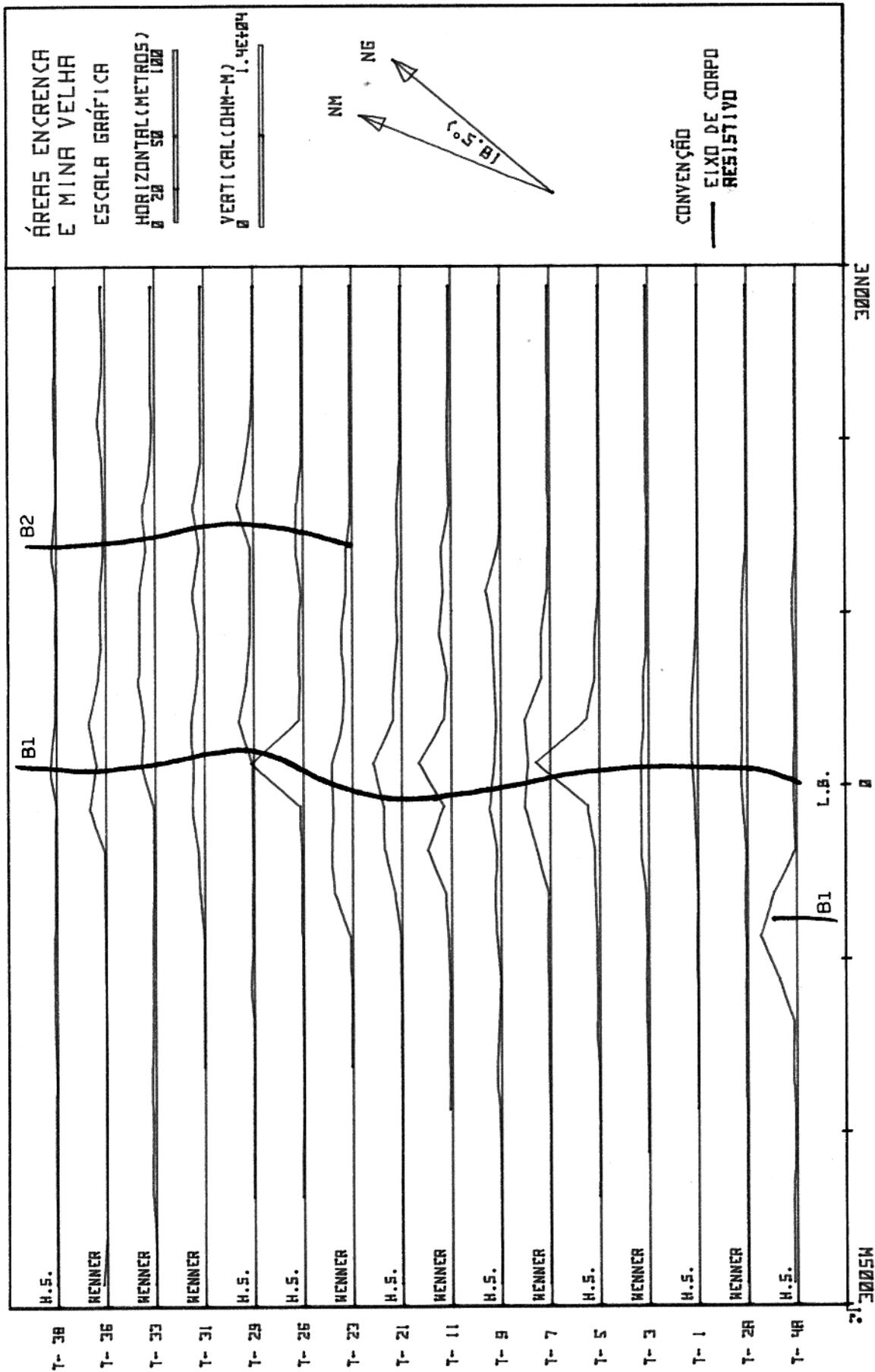


FIG. 16 - PERFIS WENNER E HALF-SCHLUMBERGER. ÁREA-1 E ÁREA-2.

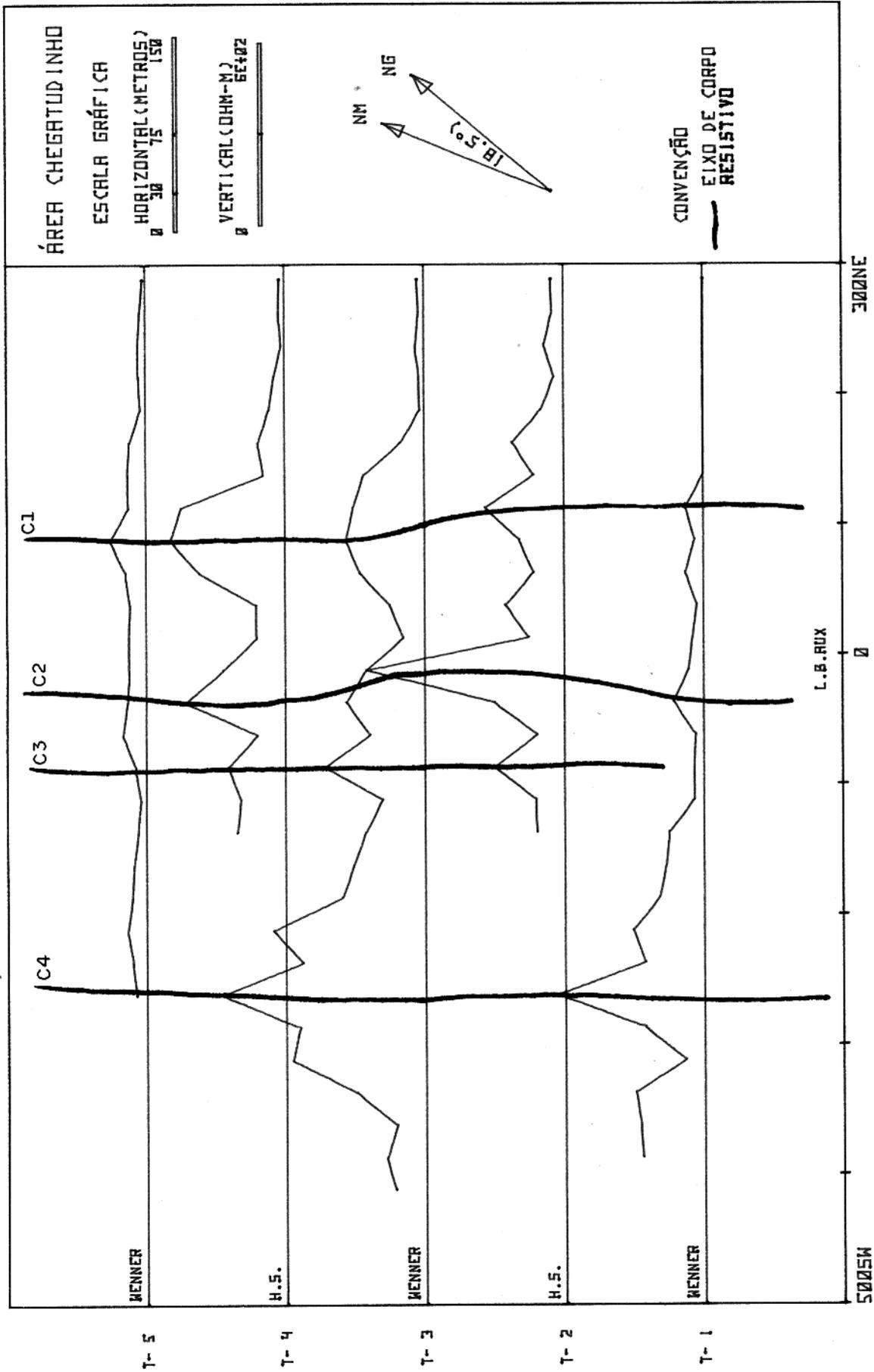


FIG. 17 - PERFIS WENNER E HALF-SCHLUMBERGER. ÁREA-3.

ger foram interpretados qualitativa e quantitativamente, valendo-se das informações geológicas da área.

A interpretação qualitativa constou da análises dos perfis elétricos isolados para inferir as estruturas geológicas através das anomalias.

A interpretação quantitativa foi realizada através de um programa de computador, denominado "FILÃO" (Apêndice 2), aplicado em perfis isolados que cortam perpendicularmente as anomalias. O programa foi elaborado durante os trabalhos de laboratório para a máquina HP-9845, utilizando-se a teoria das imagens (Keller e Frischknecht, 1966; Ludwig e Henson, 1967), para determinar a resistividade aparente ("bulk resistivity") de um prisma vertical aflorante de duas dimensões e profundidade da base infinita (Fig. 18). Os parâmetros principais são as resistividades do prisma ( $R_2$ ) e da rocha encaixante ( $R_1$ ,  $R_3$ ), e a posição das faces laterais do prisma em relação a origem ( $X_1$ ,  $X_2$ ). Dos parâmetros anteriores, pode-se calcular a espessura do prisma ( $b$ ), a posição do centro do prisma em relação à linha base ( $X_1$ ) e a posição do centro do prisma em relação à origem de cálculo ( $H_1$ ).

Considerando-se que na interpretação quantitativa o programa "FILÃO" usa um processo iterativo por tentativa, se fez necessário então o conhecimento dos parâmetros iniciais para garantir uma convergência rápida e eliminar resultados ambíguos.

Os parâmetros iniciais do programa foram determinados com base na interpretação das sondagens Schlumberger e das análises dos próprios perfis dos caminhamentos elétricos. Nesses perfis observou-se que os valores da resistividade longe das estruturas filonares se aproximam de um valor constante correspondente à resistividade da rocha encaixante, enquanto que os valores mais altos correspondem à resistividade das estruturas filonares. Dessa maneira, foi calculada a média dos valores obtidos dos perfis elétricos, sendo comparadas com aquelas calculadas na interpretação Schlumberger. O valor médio da espessura dos filões também foi avaliado diretamente a partir dos perfis elétricos, considerando-se que existe uma descontinuidade brusca no valor da resistividade aparente em cada contato litológico entre as estruturas filonares e a rocha encaixante.

Através do programa "FILÃO", com base nos parâmetros ini

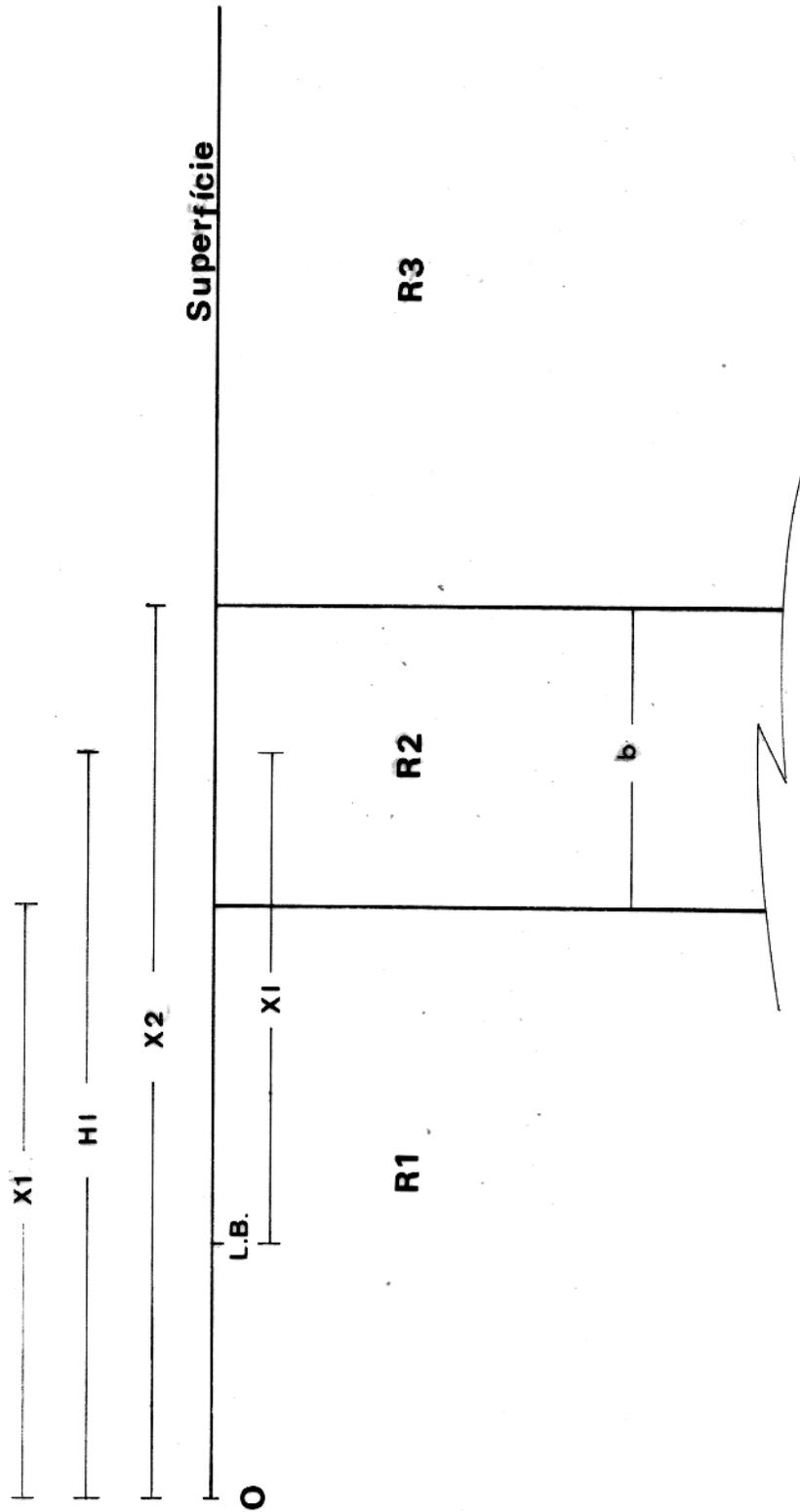


FIG. 18 - MODELO DO PRISMA UTILIZADO NA INTERPRETAÇÃO ELETRORRESISTIVA.

ciais, foram calculadas curvas teóricas num processo iterativo visual, através do TRC da HP9895 até o melhor ajuste com as curvas de campo para obter os parâmetros finais do modelo.

#### 4.3 Análises e Interpretação dos Dados

Nas análises qualitativa e quantitativa dos dados eletroresistivo, inicialmente foram tratadas sondagens Schlumberger correspondentes a área do filão principal (áreas Mina Velha e Encrenca) e, em segundo lugar, foram processados caminhamentos elétricos correspondentes à área do filão principal (áreas Mina Velha e Encrenca) e da área Chegatudinho.

##### 4.3.1 Interpretação das Sondagens Schlumberger

O programa "SEV", utilizado na interpretação das sondagens Schlumberger, foi elaborado para aplicação em meios estratificados, com camadas mergulhando com ângulos não superiores a  $20^\circ$ . Mesmo não sendo a área de trabalho um ambiente sedimentar típico, uma vez que está bem metamorfizada, observou-se que afastando-se das estruturas filonares existem vários horizontes de mergulhos suaves representados pelo solo, pela rocha alterada e pela rocha fresca. Esse fato foi constatado nos poços escavados e nos furos de sondagens. Na área também existe uma certa anisotropia em relação à direção de qualquer levantamento elétrico, pelo fato que a rocha encaixante apresenta uma xistosidade sub-vertical. A resistividade, logicamente, será menor na direção paralela à mesma. Todo o trabalho foi realizado em perfilações perpendiculares à essa xistosidade.

No levantamento de campo Schlumberger, notou-se que em muitas sondagens tipo A, quando se alcançava a rocha fresca o ramo terminal da curva subia com um ângulo maior que  $45^\circ$ , vindo a conflitar com a teoria de sondagens verticais em ambiente de camadas horizontais. Isso aconteceu devido a presença dos contatos laterais das estruturas filonares (Kunetz, 1966) o que foi resolvido afastando-se, tanto quanto possível, o centro das sondagens dos filões.

Pelo exposto, é importante lembrar que os resultados da in

interpretação feita neste trabalho com o programa "SEV" são aproximados pela impossibilidade de eliminar-se por completo os efeitos laterais das estruturas filonares.

Do estudo qualitativo feito através das curvas das sondagens, foi possível constatar que as tipo A, feitas a 200 m do filão principal (Fig. 20 a 22), apresentam um horizonte muito resistivo abaixo do solo, o qual não aparece nas curvas das sondagens tipo B, feitas a 400 m do filão principal (Fig. 23). Esse fato também pôde ser verificado no campo, cujo horizonte resistivo corresponde a um fino nível de cascalho composto de seixos com diâmetro médio de 4 cm e areia grossa.

Com ajuda do padrão das curvas de campo e das informações dos poços escavados e furos de sondagem, também foi constatado que as sondagens tipo A correspondem à uma curva tipo K-Q-H envolvendo cinco camadas, no caso horizontes, enquanto que as sondagens tipo K, apresentam curvas do tipo H, correspondentes a três horizontes. Essa conclusão foi importante para a interpretação quantitativa.

Com auxílio das informações dos perfis dos poços escavados e testemunhos dos furos de sondagem, também foi possível determinar o valor médio da espessura dos diferentes horizontes (Fig. 19), cujos valores, com base no princípio da equivalência, foram utilizados para eliminar qualquer ambigüidade da interpretação final.

Na interpretação quantitativa foi utilizado o programa "SEV" para as três sondagens tipo A (SA1, SA4 e SA5), e para uma sondagem tipo B (SB3), cujos resultados estão apresentados graficamente nas figuras 20, 21, 22 e 23. Os valores finais da resistividade longitudinal, resistividade transversal, resistividade média e constante de anisotropia do modelo correspondentes a cada perfil interpretado, estão resumidos na tabela 3. Desses resultados pode-se concluir que:

a) o material encaixante do filão principal está composto por uma camada de solo, um fino horizonte de cascalho, um horizonte de rocha muito alterada (quartzo-sericita-xisto) constituída na parte superior por material areno-argiloso, na parte inferior por material argilo-arenoso e na parte mais profunda por um horizonte formado por rochas pouco alteradas a frescas (quartzo

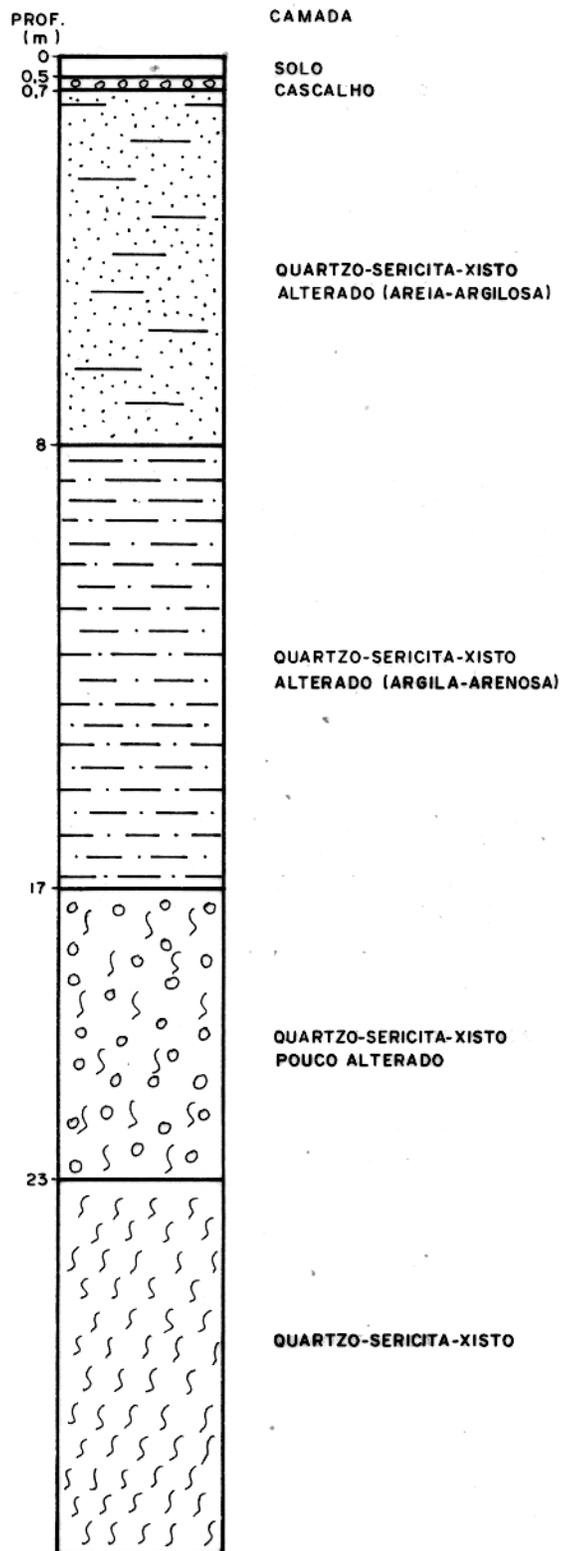
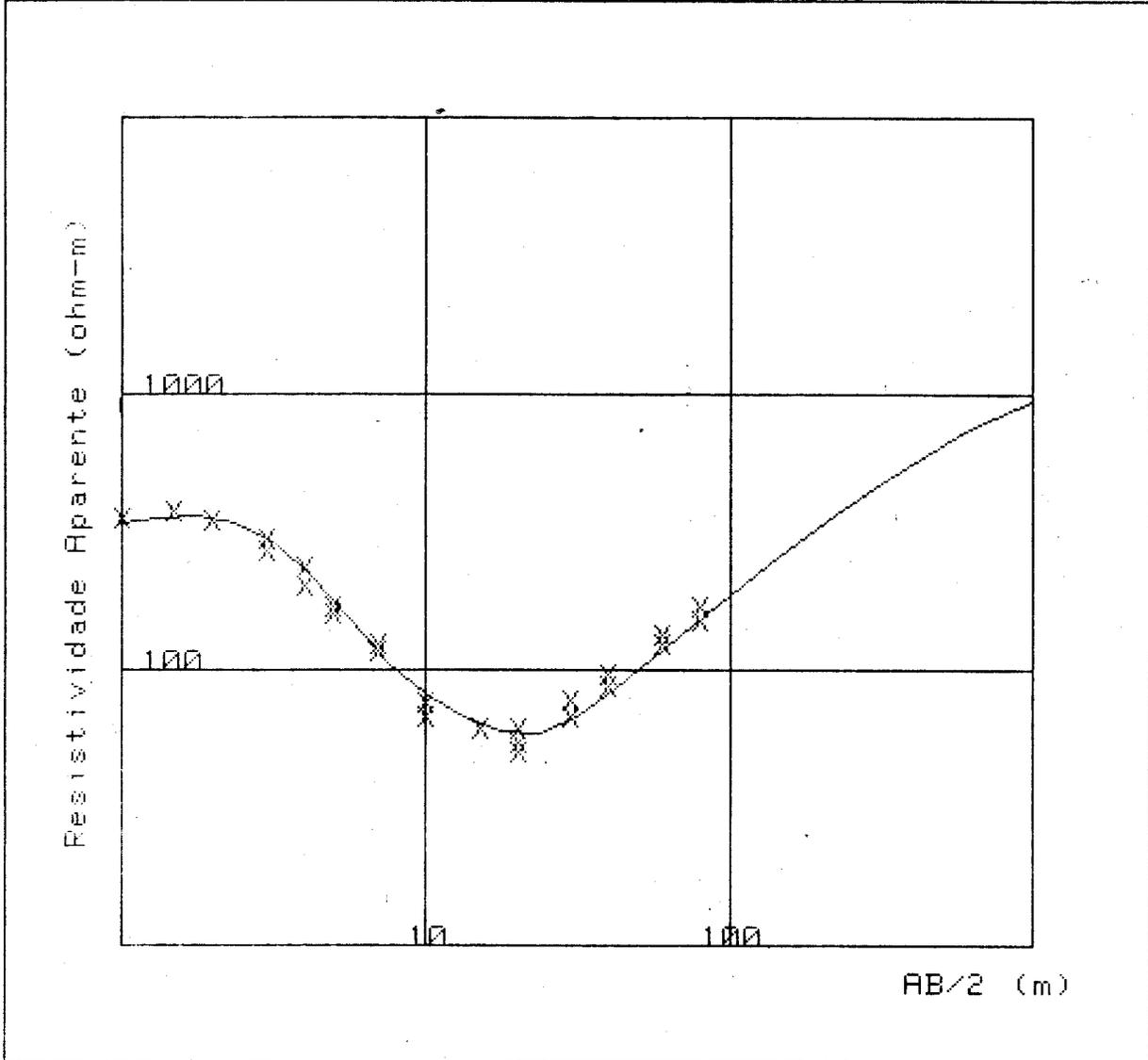


FIG. 19 - PERFIL MOSTRANDO A ESPESSURA MÉDIA DOS DIFERENTES HORIZONTES, OBTIDOS ATRAVÉS DE POÇOS E FUROS DE SONDAGEM.



PARÂMETROS FINAIS

RESISTIVIDADE

(ohm-m)  
 300.00  
 1000.00  
 78.00  
 24.00  
 1450.00

ESPESSURA

(m)  
 .70  
 .50  
 7.50  
 9.00

-----  
 Hc=17.70

CONDUTÂNCIA LONGITUDINAL

(mho)  
 .00  
 .00  
 .10  
 .38

-----  
 St= .47

RESISTÊNCIA TRANSVERSAL

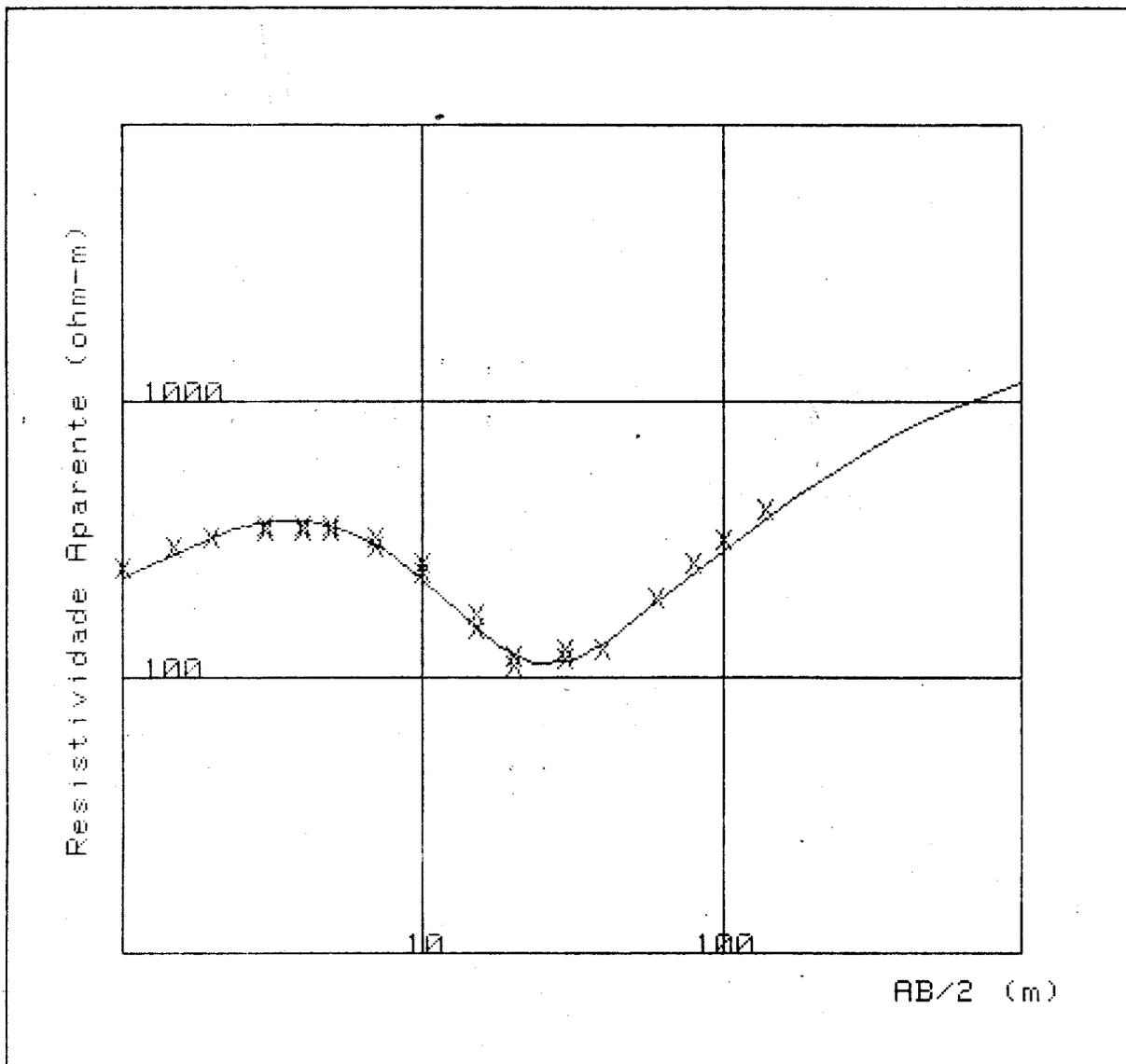
(ohm)  
 210.00  
 500.00  
 585.00  
 216.00

-----  
 Rt=1511.00

LEGENDA

x x x DADOS DE CAMPO  
 \_\_\_\_\_ CURVA CALCULADA

FIG. 20 - INTERPRETAÇÃO DA SONDAGEM SA1



PARÂMETROS FINAIS

RESISTIVIDADE  
(ohm-m)

185.00  
3300.00  
170.00  
37.00  
1500.00

ESPESSURA  
(m)

.80  
.30  
7.00  
9.00

Hc=17.10

CONDUTÂNCIA LONGITUDINAL  
(mho)

.00  
.00  
.04  
-----  
SI= .29

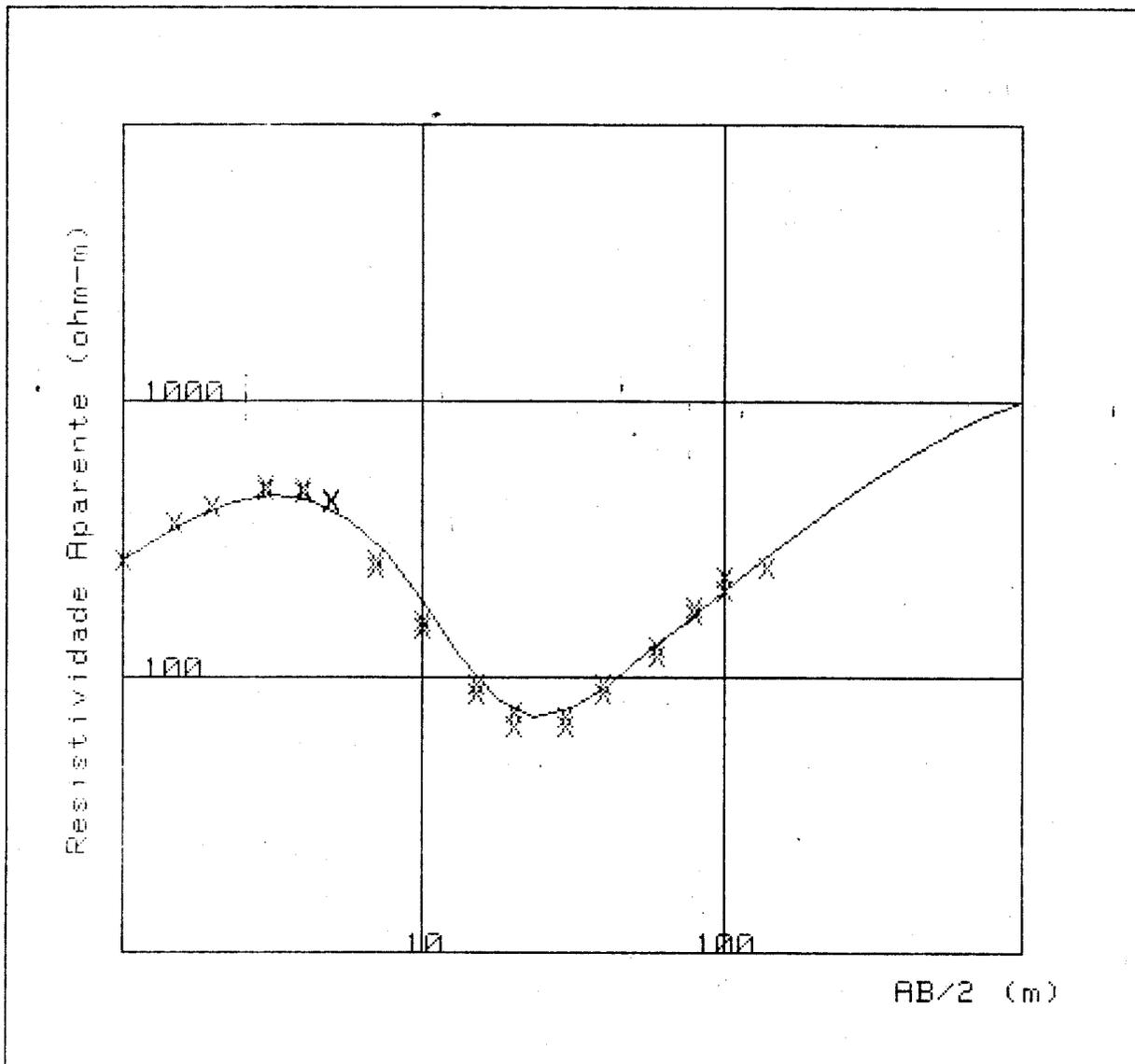
RESISTÊNCIA TRANSVERSAL  
(ohm)

148.00  
990.00  
1190.00  
333.00  
-----  
Rt=2661.00

LEGENDA

x x x      DADOS DE CAMPO  
-----      CURVA CALCULADA

FIG. 21-INTERPRETAÇÃO DA SONDAGEM SA4



### PARÂMETROS FINAIS

RESISTIVIDADE  
(ohm-m)

150.00  
5000.00  
80.00  
28.00  
1500.00

ESPESSURA  
(m)

.50  
.30  
8.00  
9.00

-----  
Hc=17.80

CONDUTÂNCIA LONGITUDINAL  
(mho)

.00  
.00  
.10  
.32  
-----  
SI= .42

RESISTÊNCIA TRANSVERSAL  
(ohm)

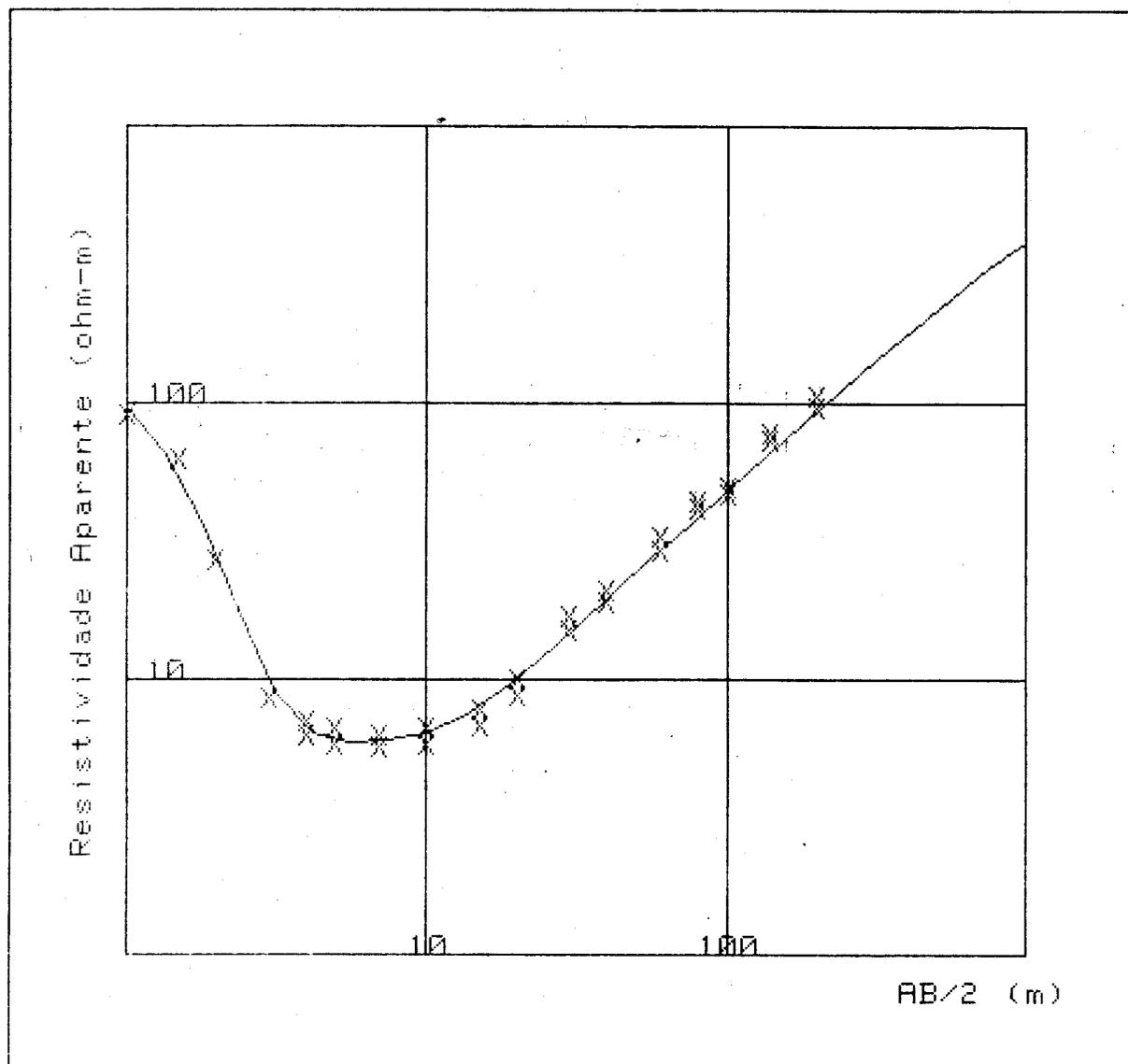
75.00  
1500.00  
640.00  
252.00  
-----  
Rt=2467.00

### LEGENDA

x x x

DADOS DE CAMPO  
CURVA CALCULADA

FIG. 22 - INTERPRETAÇÃO DA SONDAGEM SAS



### PARÂMETROS FINAIS

RESISTIVIDADE  
(ohm-m)

150.00  
5.50  
1500.00

ESPESSURA  
(m)

.65  
11.00  
Hc=11.65

CONDUTÂNCIA LONGITUDINAL  
(mho)

.00  
2.00  
Sl=2.00

RESISTÊNCIA TRANSVERSAL  
(ohm)

97.50  
60.50  
Rt= 158.00

### LEGENDA

x x x

DADOS DE CAMPO

—

CURVA CALCULADA

FIG. 23 - INTERPRETAÇÃO DA SONDAGEM SB3

TABELA 3 - RESULTADOS DAS SONDAGENS TIPOS A,B SCHLUMBERGE. ÁREA DE DETALHE.

LINHA	NÚMERO DE SONDAGEM	RESISTIVIDADE LONGITUDINAL (Ω.m)	RESISTIVIDADE TRANSVERSAL (Ω.m)	RESISTIVIDADE MÉDIA (Ω.m)	CONSTANTE DE ANISOTROPIA
ÁREA ENCRENCA					
T-41	B3	5.81	13.56	8.88	1.53
T-38	A1	37.34	85.37	53.46	1.51
ÁREA MINA VELHA					
T-9	A5	41.34	135.57	74.86	1.80
T-5	A4	59.20	155.61	95.98	1.62

sericita-xisto), com características elétricas diferentes. Os valores médios da resistividade e de espessura desse horizontes são:

Horizontes	Resistividade ( $\Omega\text{m}$ )	Espessura (m)
solo	212	0,67
cascalho	3100	0,37
areia-argilosa	110	7,00
argila-arenosa	30	9,00
rocha fresca	1500	

b) a área mais afastada do filão principal, que corresponde à parte mais baixa da região, apresenta uma camada de solo, um horizonte de rocha muito alterada (quartzo-sericita-xisto) formado de material argilo-arenoso que gradua nas partes mais profundas, para rocha fresca à levemente alterada (quartzo-sericita-xisto). A ausência do fino horizonte de cascalho nessa parte pode ser explicada como consequência da maior distância da fonte produtora de seixos. Os valores médios da resistividade e espessura desses horizontes são:

Horizonte	Resistividade ( $\Omega\text{m}$ )	Espessura (m)
solo	150	0,65
argila-arenosa	6	11,00
rocha fresca	1500	

c) Como os horizontes do solo e do cascalho apresentam espessuras muito menores que as dos horizontes de areia argilosa e argila arenosa, os quais, além disso, possuem espessuras e resistividades comparáveis entre si, a constante de anisotropia foi baixa e próxima da unidade ( $\lambda = 1,6$ ). Concluiu-se, com isso, que o pacote geo-elétrico acima da rocha fresca e da pouca alterada comporta-se aproximadamente como um meio homogêneo (Keller et al. 1966). Isso também pôde ser observado com relação ao valor da resistividade equivalente ( $R_m = 75 \Omega\text{m}$ ), cujo valor médio situa-se entre os valores da resistividade dos horizontes mais espessos. Esses resultados foram importantes para a análise dos caminhamentos elétricos.

As sondagens tipo C, que foram localizadas no centro das

estruturas filonares, foram as mais afetadas pelos contatos em ambos os lados. Contudo, foi possível encontrar dois bons afloramentos suficientemente grandes e bastante planos nas linhas T-5 e T-21 do filão principal onde foi obtido um resultado razoável. As medidas corresponderam às sondagens SC2 e SC8 (Fig. 15), com resistividade média de 2000  $\Omega$ m.

Através do levantamento Schlumberger, foi determinada a ordem de magnitude da resistividade tanto da rocha encaixante como das estruturas dos veios de quartzo, indicando valores comparáveis com os obtidos nos caminhamentos elétricos, tentando-se eliminar qualquer ambigüidade ou erro nos levantamentos de campo posteriores.

#### 4.3.2 Interpretação dos Caminhamentos Elétricos

Na análise dos dados dos caminhamentos elétricos Wenner e Half-Schlumberger foram feitos estudos qualitativo e quantitativo com a finalidade de correlacionar as anomalias com as zonas de interesse e tentar posicionar e quantificar, dentro das estruturas filonares, os corpos resistivos.

##### 4.3.2.1 Interpretação Qualitativa

Analisando-se os perfis eletro-resistivos das áreas Mina Velha e Encrenca, correspondentes ao levantamento Wenner e Half-Schlumberger, observou-se claramente a existência de uma anomalia de alta resistividade acompanhando a estrutura do filão principal, denominada B1 (Fig. 16). Essa anomalia apresenta descontinuidade na linha T-4A, o que pode indicar possíveis movimentos laterais nessa estrutura. Na área Encrenca existe ainda outra anomalia, paralela à anterior, entre as linhas T-21 e T-38, localizada aproximadamente a 150 m noroeste da linha base, denominada B2.

Outra característica importante observada na anomalia B1 é a grande faixa de variação na resistividade calculada ("bulk resistivity"), registrando-se valores altos da ordem de 4900  $\Omega$ m na T-5 e baixos como 520  $\Omega$ m na T-1 e T-38. Isso indica que a densidade de veios de quartzo ou a presença de água

nas fissuras ao longo do filão principal não está uniformemente distribuída. Os valores mais altos de resistividade se concentram entre as linhas T-7 e T-36. A diminuição da resistividade entre as linhas T-2 e T-3 e na T-38 no outro extremo (Fig. 16), pode ser explicada como sendo produto da maior concentração de água, devido a drenagem dos igarapés Guarimanzal e Macacos, ambos de regime perene, uma vez que estando a estrutura localizada em uma área topograficamente mais baixa, sua resistividade se vê afetada pela maior infiltração da água.

O levantamento feito na área Cheгатudinho revelou quatro anomalias eletro-resistivas, localizadas a 800 m, 925 m, 1000m e 1150 m a sudoeste da linha base, denominadas C1, C2, C3 e C4 (Fig. 17). Contudo, existe uma grande diferença em comparação com as anomalias obtidas na área do filão principal (áreas Mina Velha e Encrenca). Nessa área, a resistividade calculada é muito menor, podendo indicar uma menor densidade de veios de quartzo nas estruturas.

A análise qualitativa das anomalias demonstrou que o método do eletro-resistivo foi efetivo nesse trabalho, uma vez que detectou anomalias diferentes dentro (área Mina Velha e Encrenca) e fora (área Cheгатudinho) da zona de maior interesse econômico. A interpretação quantitativa reforça essa conclusão, como será visto adiante. Observando-se os perfis, pode-se concluir que tanto a anomalia B1 do filão principal como todas as da área Cheгатudinho justificariam um estudo quantitativo, já que a forma alongada dessas anomalias pode ser relacionada à ocorrência de veios de quartzo.

#### 4.3.2.2 Interpretação Quantitativa

Na interpretação quantitativa dos dados dos caminhamentos eletro-resistivos o emprego de um prisma bidimensional vertical aflorante e de superfície plana (Fig. 18) é justificado pelo fato que na Área-D a estrutura aflora ou é quase aflorante, estendendo-se na direção do "strike" da zona de falha e apresentando uma xistosidade vertical pelo menos na parte superior das estruturas filonares. Além disso, a área apresenta um relevo suave com elevações máximas de aproximadamente 30 m em relação ao solo plano. Mesmo assim, os resultados devem ser considerados aproxima

mados, visto que o modelo considera um prisma de resistividade alta e constante em profundidade, o qual não confere com os resultados do método magnético onde, a partir de 49 m, se vê afetação pela presença de magnetita na rocha.

No levantamento Wenner, considerando-se a teoria da profundidade de investigação (Roy e Apparao, 1971; Bhattacharya e Sen, 1981), assim como os resultados das sondagens Schlumberger em relação a constante de anisotropia e a presença de uma existência sub-vertical perpendicular ao levantamento, foi possível considerar como sendo  $0,1L$  a profundidade de investigação, onde  $L$  é a distância entre os eletrodos extremos do arranjo. Como o valor entre os eletrodos extremos foi de 75 m, obtivemos uma profundidade de investigação máxima de 7,5 m.

No levantamento Half-Schlumberger, levando-se em conta os mesmos pontos observados para o método Wenner, determinamos que a profundidade de investigação foi avaliada como sendo  $0,3L$ . Como a distância entre os eletrodos extremos foi de 26 m, o valor computado foi 7,8 m.

Na interpretação quantitativa dos caminhamentos elétricos foram selecionados quatro perfis Wenner e quatro perfis Half-Schlumberger, que cortam perpendicularmente as estruturas filonares. Os perfis estão distribuídos da seguinte forma:

a) na anomalia B1 (áreas Mina Velha e Encrenca) foram interpretados três perfis Wenner, correspondentes às linhas T-7, T-23 e T-36 e três perfis Half-Schlumberger correspondentes às linhas T-4A, T-5 e T-26 (Fig. 15).

b) nas anomalias D2 e D4 (área Chegatudinho) foram interpretados respectivamente o perfil Wenner da linha T-3 e o perfil Half-Schlumberger da linha T-2 (Fig. 15).

Os parâmetros iniciais do programa "FILÃO", determinados com base nos valores obtidos na interpretação Schlumberger e na análise dos perfis dos caminhamentos elétricos, foram:

a) Anomalia da área Mina Velha e Encrenca:

Espessura da estrutura filonar	75 m
Resistividade da estrutura filonar	3500 $\Omega$ m
Resistividade da rocha encaixante	140 $\Omega$ m

## b) Anomalia na área Chegatudinho

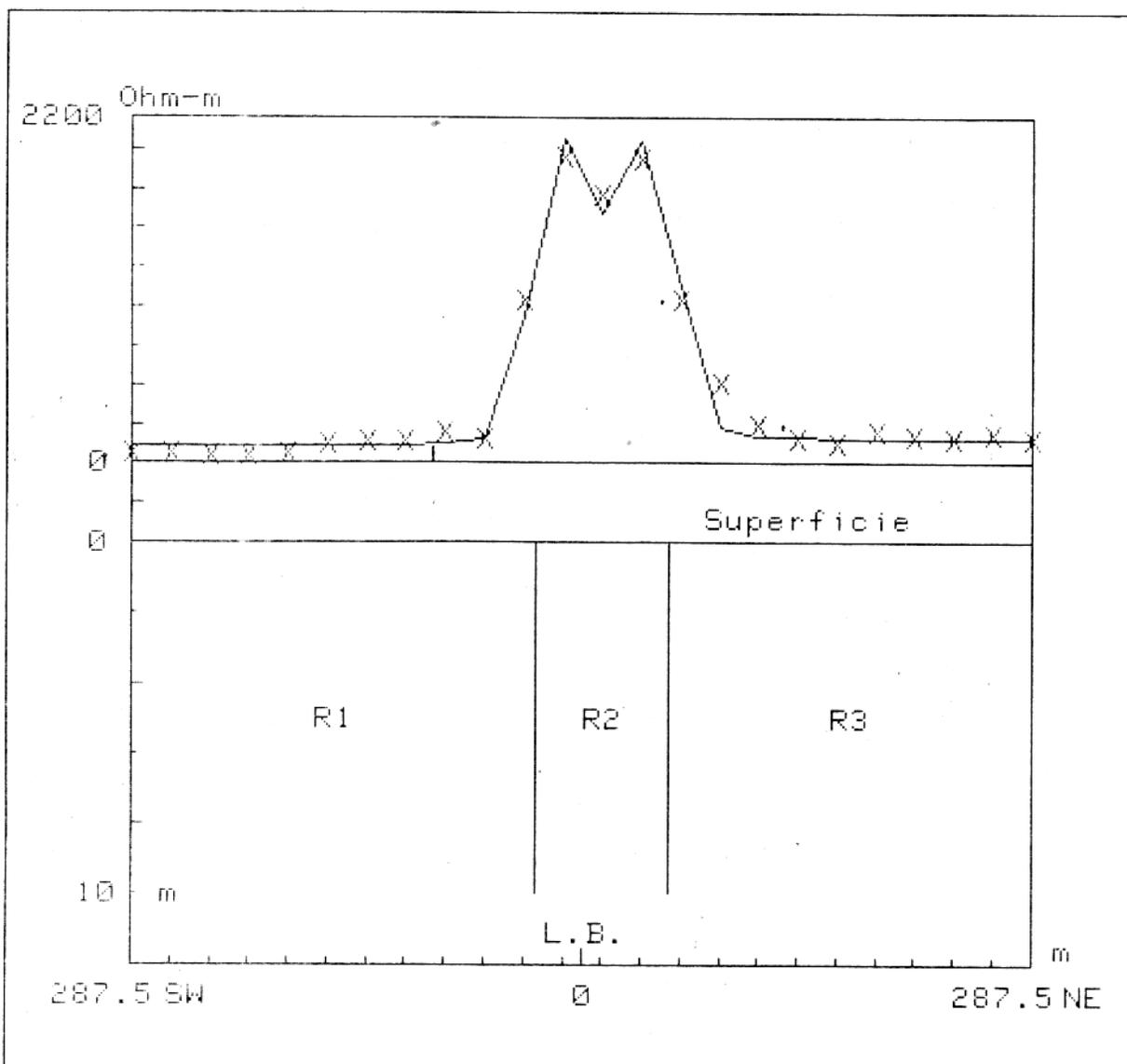
Espessura da estrutura filonar	80 m
Resistividade da estrutura filonar	700 $\Omega$ m
Resistividade da rocha encaixante	90 $\Omega$ m

Os resultados pelo processo iterativo visual usado no programa "FILÃO" estão apresentados graficamente nas figuras 24 a 31, podendo-se observar, dentro da precisão dos aparelhos e da precisão dos cálculos efetuados na determinação das resistividades, um ajuste adequado entre as curvas calculadas e as obtidas no campo. Os parâmetros finais estão resumidos na tabela 4.

## 4.3.3 Discussão dos Resultados Obtidos

Das observações de campo e dos furos de sondagem concluiu-se que as anomalias eletro-resistivos foram produzidas principalmente pela presença de veios de quartzo ao longo dos planos das falhas. Contudo, é bom lembrar que a resistividade aqui calculada corresponde a "bulk resistivity", ou seja, a resistividade das denominadas estruturas filonares e não propriamente a dos veios de quartzo.

Dos resultados anteriores, foi verificado que as maiores anomalias geo-elétricas também estão correlacionadas à região mineralizada, ao longo da linha base que acompanha a estrutura do filão principal. O corpo resistivo nessa área corresponde à uma estrutura tabular vertical aflorante, com uma espessura média de 70 m e resistividade média de 3900  $\Omega$ m, encaixada numa rocha com resistividade média de 150  $\Omega$ m. Considerando-se a profundidade de investigação dos métodos elétricos (7,8 m) e os resultados obtidos das sondagens Schlumberger, concluiu-se que a estrutura do filão principal tem uma resistividade muito maior que a correspondente rocha encaixante (rocha alterada com predominância de material areno-argiloso), indicando, com isso, uma concentração de quartzo na parte superior dessa estrutura, pelo menos até a proximadamente 10 m de profundidade. Essa conclusão é importante, uma vez que, sendo um dos objetivos dessa pesquisa determinar a ocorrência de veios de quartzo auríferos, é muito provável que nessa área essas estruturas estejam mais correlacionadas com as



## VALORES CONSTANTES

AB= 75m

MN= 25m

Em= 25m

N= 24 pontos

## PARÂMETROS FINAIS

R1= 110ohm-m

R2= 3600ohm-m

R3= 160ohm-m

b= 84.0m

## LEGENDA

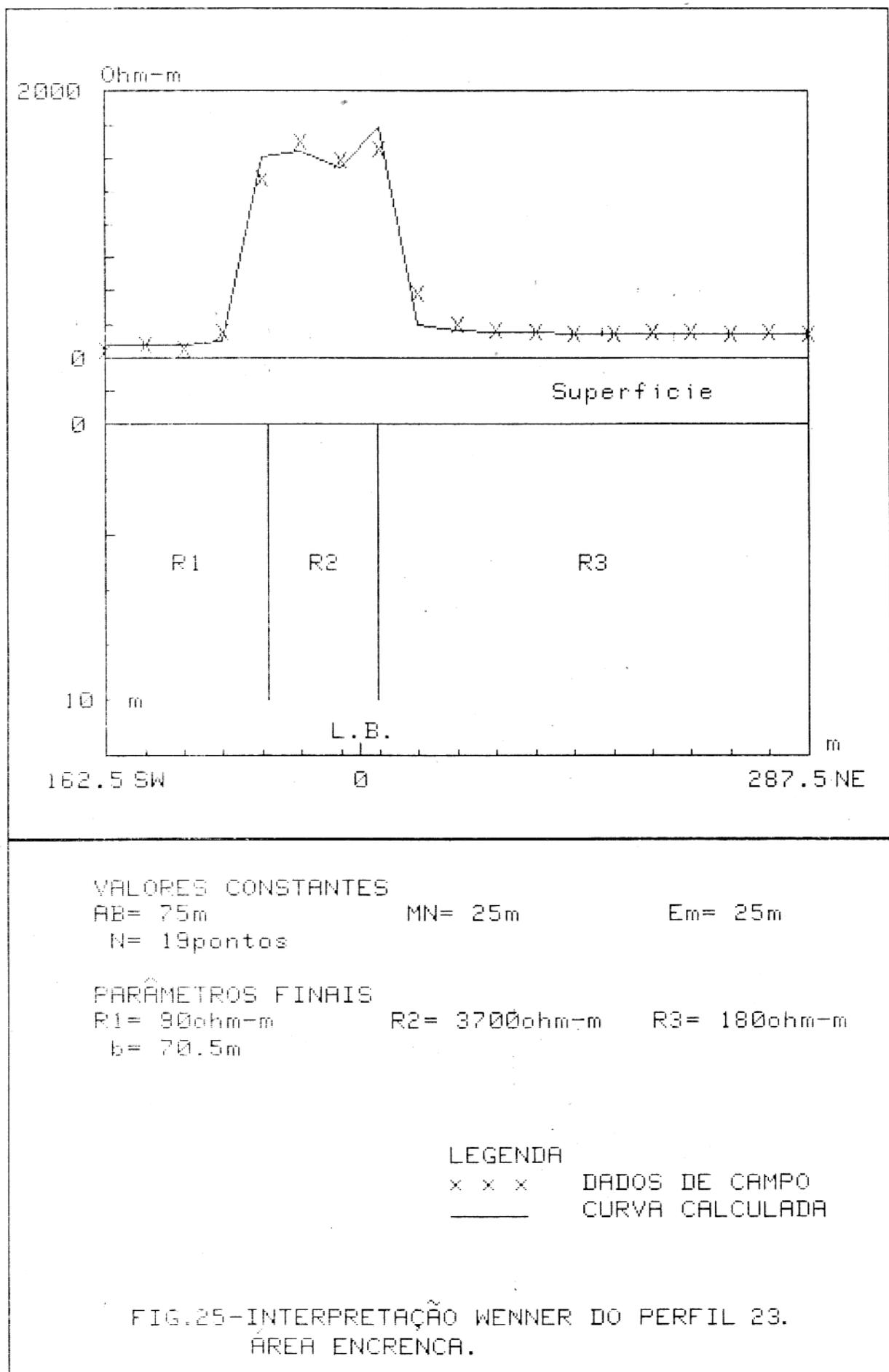
x x x

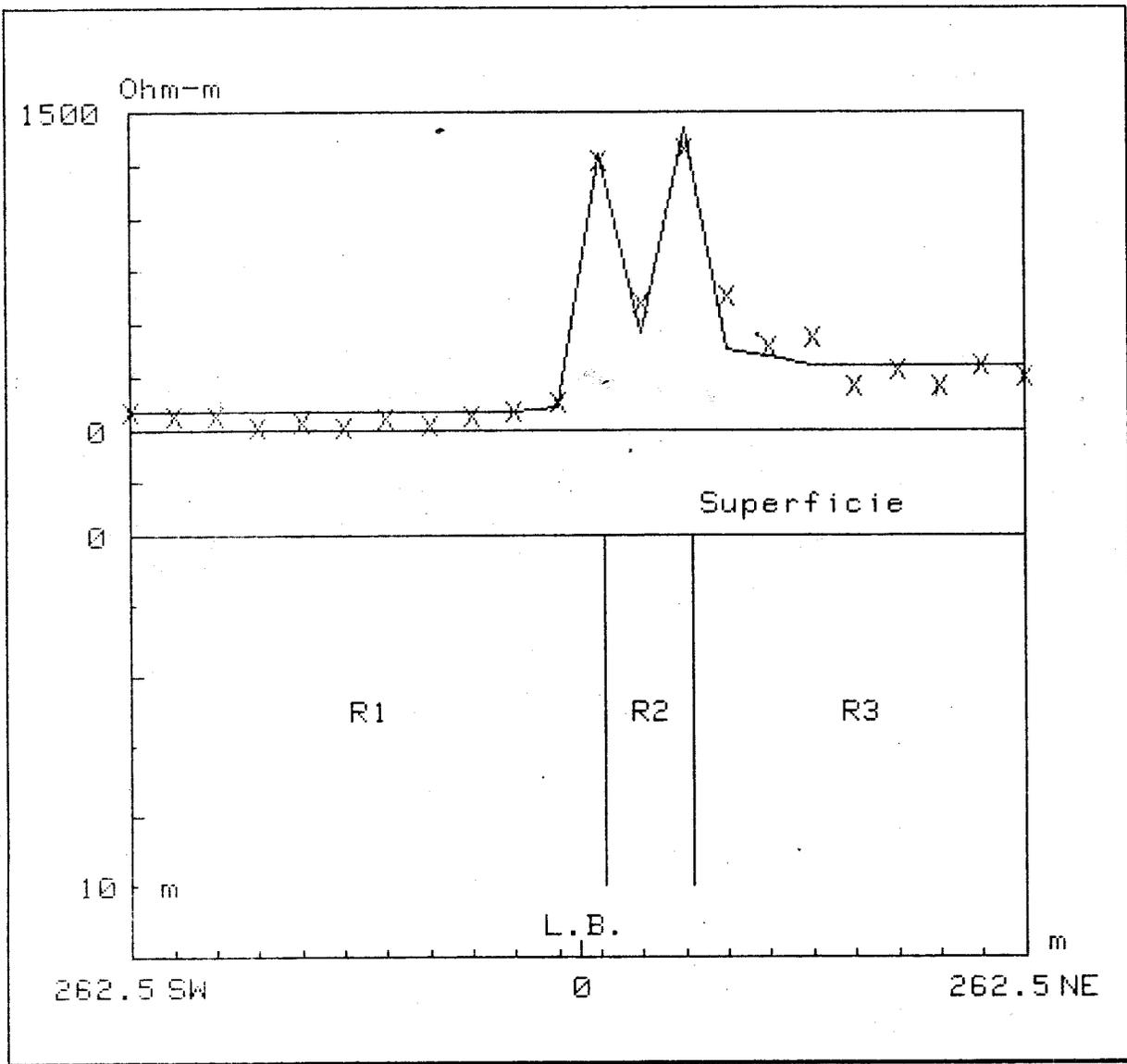
DADOS DE CAMPO

—

CURVA CALCULADA

FIG.24-INTERPRETAÇÃO WENNER DO PERFIL 7 .  
ÁREA MINA VELHA.



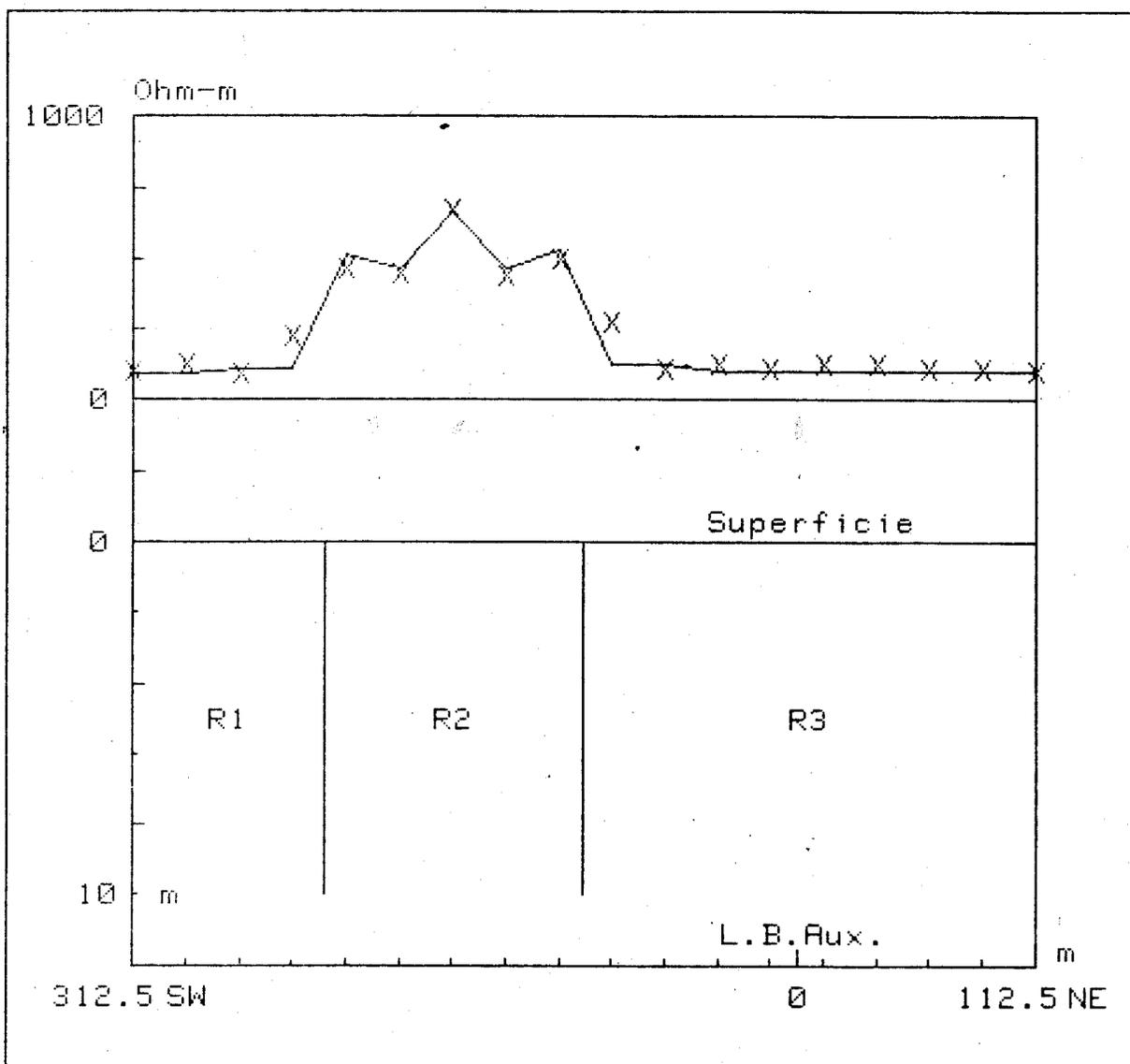


VALORES CONSTANTES  
 AB= 75m                      MN= 25m                      Em= 25m  
 N= 22 pontos

PARÂMETROS FINAIS  
 R1= 80ohm-m                      R2= 3500ohm-m                      R3= 300ohm-m  
 b= 52.0m

LEGENDA  
 x x x                      DADOS DE CAMPO  
 \_\_\_\_\_                      CURVA CALCULADA

FIG.26-INTERPRETAÇÃO WENNER DO PERFIL 36.  
 ÁREA ENCRENCA.



## VALORES CONSTANTES

AB= 75m

MN= 25m

Em= 25m

N= 18 pontos

## PARÂMETROS FINAIS

R1= 90ohm-m

R2= 745ohm-m

R3= 100ohm-m

b= 121.5m

## LEGENDA

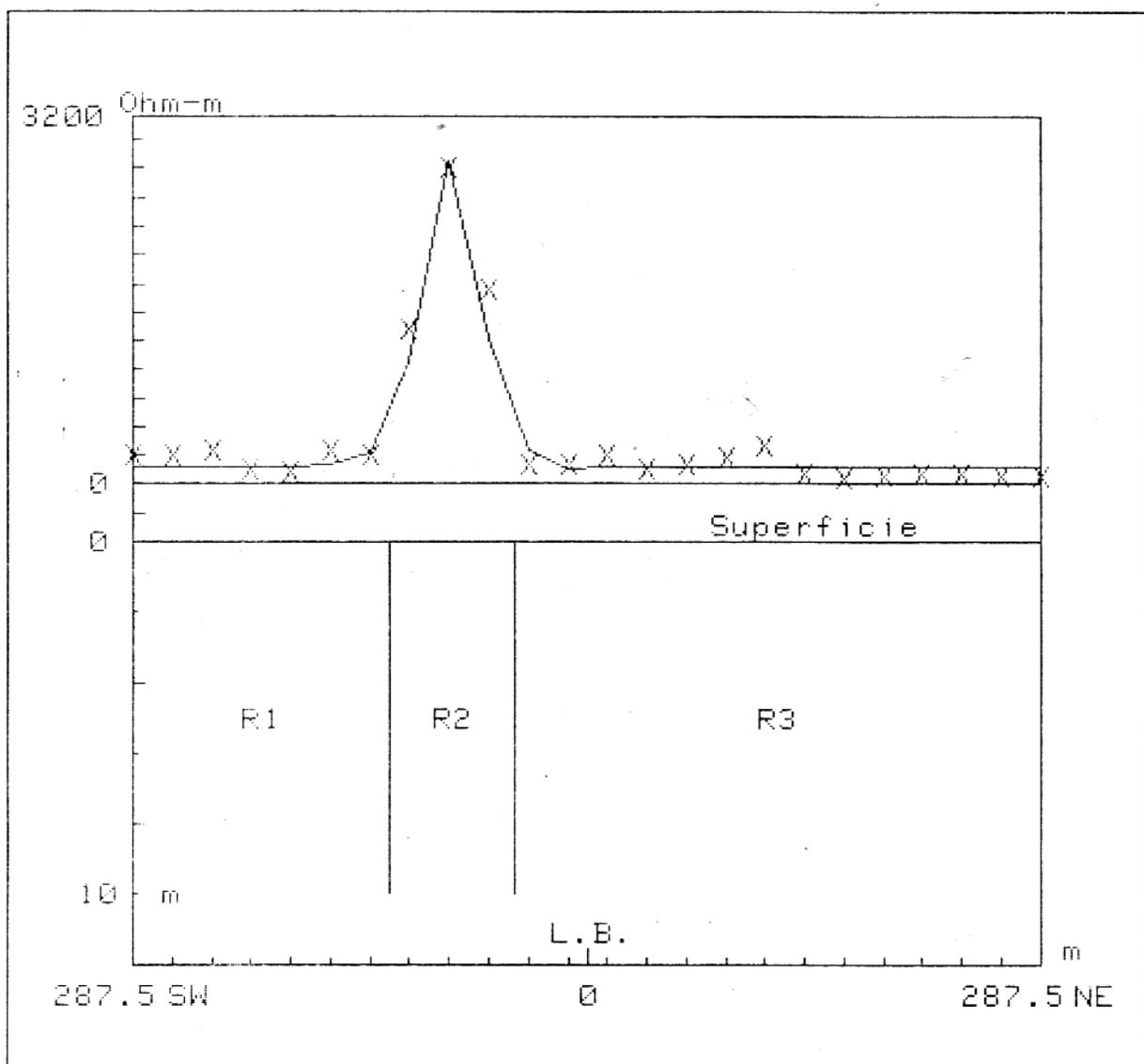
x x x

DADOS DE CAMPO

—

CURVA CALCULADA

FIG.27-INTERPRETAÇÃO WENNER DO PERFIL 3 .  
ÁREA CHEGATUDINHO.



## VALORES CONSTANTES

AC= 26m

MN= 2m

Em= 25m

N= 24 pontos

## PARÂMETROS FINAIS

R1= 150ohm-m

R2= 2800ohm-m

R3= 150ohm-m

b= 78.8m

## LEGENDA

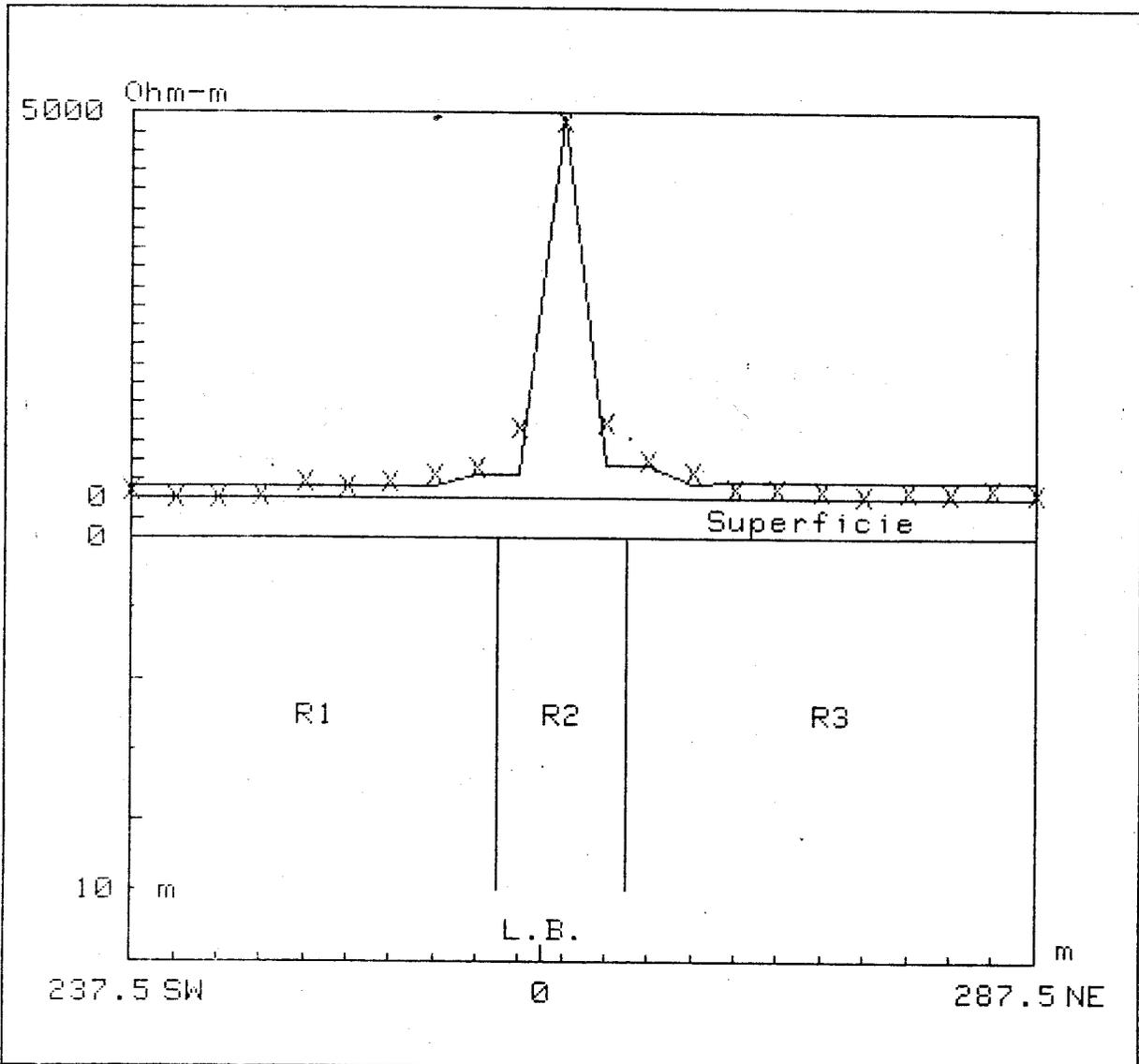
x x x

DADOS DE CAMPO

—

CURVA CALCULADA

FIG.28 -INTERPRETAÇÃO HALF-SCLUMBERGER DO PERFIL 4A.  
ÁREA MINA VELHA.



## VALORES CONSTANTES

AC= 26m

MN= 2m

Em= 25m

N= 22 pontos

## PARÂMETROS FINAIS

R1= 160ohm-m

R2= 5000ohm-m

R3= 220ohm-m

b= 75.0m

## LEGENDA

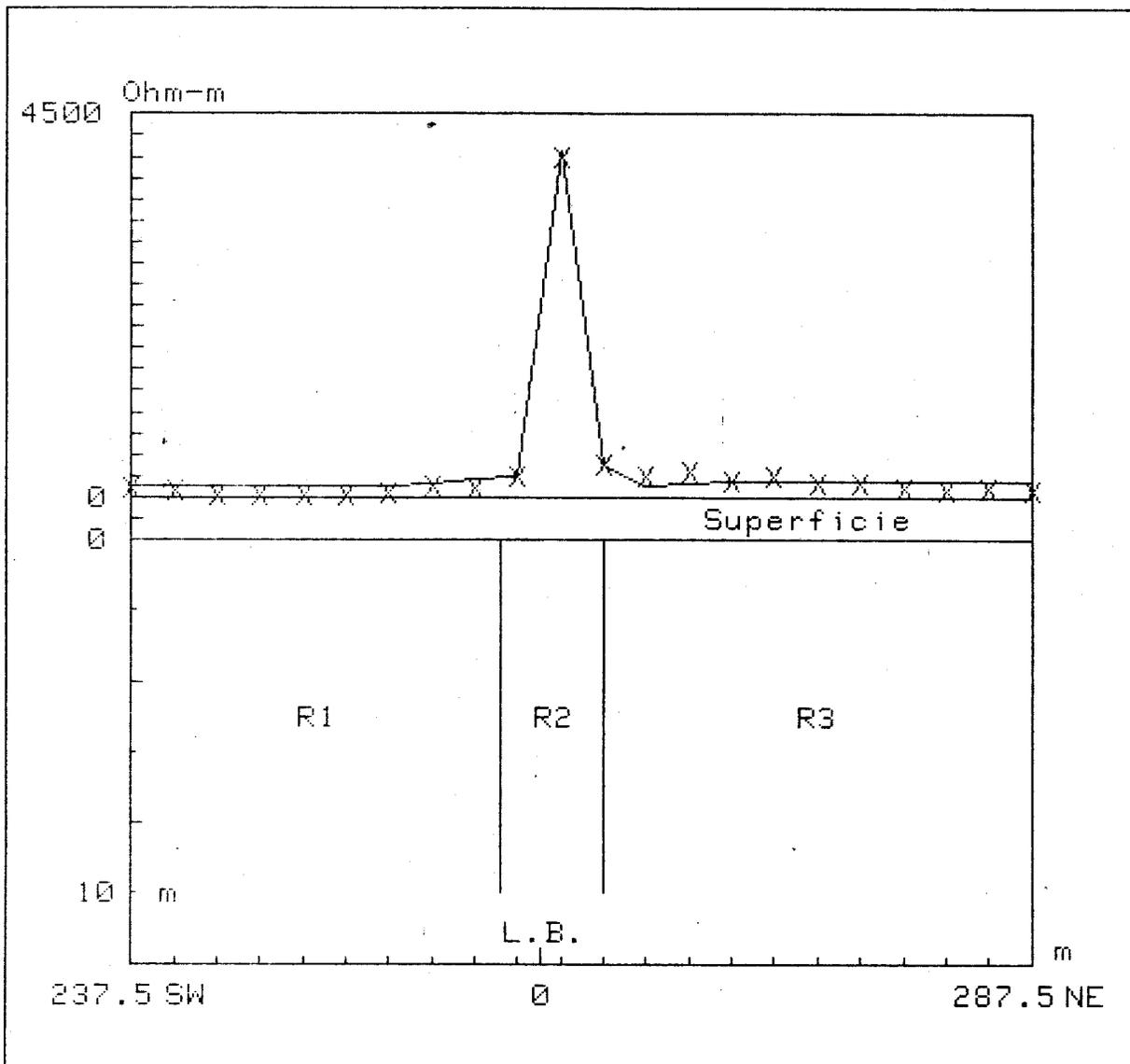
x x x

DADOS DE CAMPO

—

CURVA CALCULADA

FIG. 29 - INTERPRETAÇÃO HALF-SCLUMBERGER DO PERFIL 5 .  
ÁREA MINA VELHA.



## VALORES CONSTANTES

AC= 26m

MN= 2m

Em= 25m

N= 22 pontos

## PARÂMETROS FINAIS

R1= 135ohm-m

R2= 4800ohm-m

R3= 185ohm-m

b= 60.0m

## LEGENDA

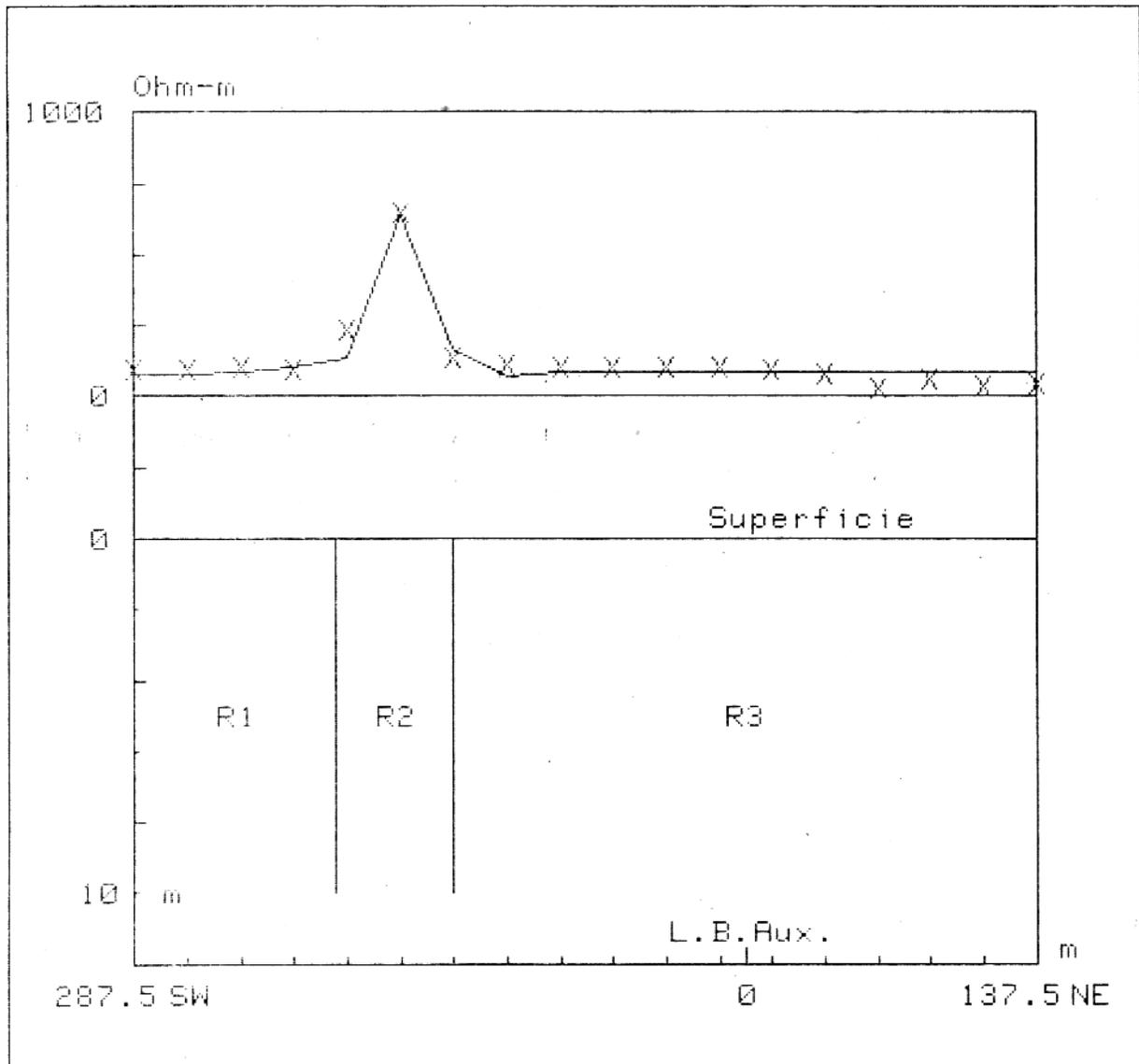
x x x

DADOS DE CAMPO

————

CURVA CALCULADA

FIG.30 - INTERPRETAÇÃO HALF-SCLUMBERGER DO PERFIL 26.  
ÁREA ENCRENCA.



## VALORES CONSTANTES

AC= 26m

MN= 2m

Em= 25m

N= 18 pontos

## PARÂMETROS FINAIS

R1= 80ohm-m

R2= 700ohm-m

R3= 90ohm-m

b= 55.0m

## LEGENDA

x x x

DADOS DE CAMPO

—

CURVA CALCULADA

FIG. 31 - INTERPRETAÇÃO HALF-SCLUMBERGER DO PERFIL 2 .  
ÁREA CHEGATUDINHO.

TABELA 4 - RESULTADOS FINAIS OBTIDOS COM O PROGRAMA "FILÃO". ÁREA DE DETALHE.

LINHA	TIPO DE ARRANJO	RESISTIVIDADE DO FILÃO (Ω.m)	RESISTIVIDADE DA ROCHA ENCAIXANTE		ESPESSURA DO FILÃO (m)	POSICÃO HORIZONTAL DO CENTRO EM RELAÇÃO A L.B. (m)
			ESQUERDA (Ω.m)	DIREITA (Ω.m)		
ÁREA ENCRENCA						
T-36	WENNER	3 500	80	300	52.0	50.0 NE
T-26	H-S	4 800	135	185	60.0	7.5 NE
T-23	WENNER	3 700	90	180	71.3	25.0 SW
ÁREA MINA VELHA						
T-7	WENNER	3 600	110	160	85.0	15.0 NE
T-5	H-S	5 000	160	220	75.0	12.5 NE
T-4A	H-S	2 800	150	150	78.8	87.5 SW
ÁREA CHEGATUDINHO						
T-3	WENNER	745	90	100	121.5	1162.5 SW
T-2	H-S	700	80	90	55.0	915.0 SW

anomalias de alta resistividade. A ocorrência de veios de quartzo na parte superior da estrutura do filão principal pode ser verificada nos testemunhos dos furos de sondagem e nos muitos afloramentos da área.

Na interpretação das duas anomalias da área Cheгатudinho, concluiu-se que o corpo resistivo também corresponde à uma estrutura tabular vertical aflorante, de espessura média de 88 m e uma resistividade média de 723  $\Omega$ m, encaixado numa rocha alterada (areia-argilosa) de resistividade média 90  $\Omega$ m. A causa da menor resistividade obtida nas anomalias dessa área foi interpretada como sendo devida à menor densidade de veios de quartzo nas estruturas filonares. A presença de material condutor (grafite), somente foi detectada a uma profundidade de 23 m (Fig. 23), a qual é muito maior que a profundidade de investigação dos métodos elêtricos. Sendo assim, a ação do intemperismo deve ter sido mais intenso e atingido maior profundidade, pelo fato da rocha dessas estruturas ser composta de material menos resistente ao intemperismo, como mostra, por exemplo, o furo de sondagem SR-34 (Fig. 32), onde se obteve rocha alterada até 80 m de profundidade. Nessa área, se ocorreram veios de quartzo auríferos, dever-se-ia ter um bom teor de ouro nos coluviões. Contudo, os resultados obtidos pela Companhia Arapiranga, em comparação com os do filão principal, não foram muito satisfatórios.

Finalmente, o fato de que as maiores anomalias eletro-resistivas estão correlacionadas à zona mineralizada, faz do método eletro-resistivo uma ferramenta útil neste trabalho, podendo ser utilizado com sucesso em futuros levantamentos dentro da faixa Cheга Tudo.

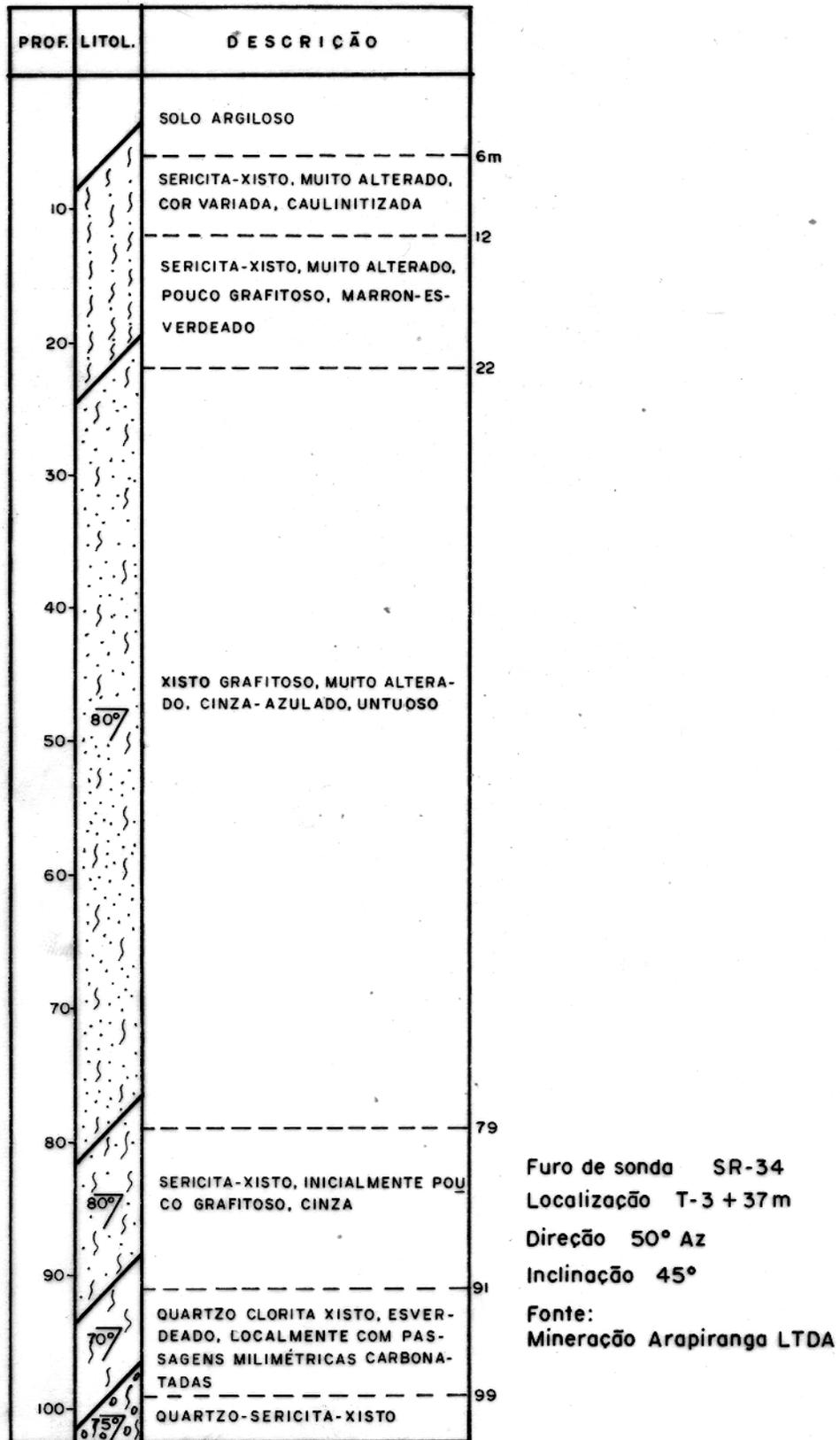


FIG.32 - PERFIL LITOLÓGICO DA ÁREA CHEGATUDINHO.

## 5 MÉTODO ELETROMAGNÉTICO

### 5.1 Introdução

A finalidade da campanha do levantamento com o método eletromagnético (Slingram) foi estudar as estruturas filonares a uma profundidade intermediária entre aquelas pesquisadas pelos métodos eletro-resistivo e magnético. Assim, os objetivos foram correlacionar as anomalias eletromagnéticas com as possíveis zonas mineralizadas e analisar, em profundidades intermediárias em torno de 30 m, o comportamento geo-elétrico dessas estruturas dentro da Área-D.

### 5.2 Metodologia

Neste item será apresentada a metodologia empregada tanto na coleta como no tratamento dos dados de campo.

#### 5.2.1 Metodologia no Campo

No levantamento eletromagnético foi utilizado o aparelho ABEM, com duas frequências (880 Hz e 2640 Hz), num período de 15 dias de trabalho de campo, na mesma área de detalhe onde havia sido usado o método eletro-resistivo. Na área Chegatudinho a linha base auxiliar está localizada paralelamente a 500 m SW da linha base. O levantamento constou de 20 perfis, para um total de 20,7 km de linha levantada (Fig. 33).

Na área Mina Velha foram levantadas 7 travessas, cada qual com 1,1 km de extensão, cobrindo 1,2 km<sup>2</sup>. Na área Encrenca foram levantadas 8 linhas, totalizando 1,7 km<sup>2</sup>, enquanto que na área Chegatudinho foram feitos 5 perfis, correspondendo a 0,4km<sup>2</sup>. Nas duas últimas áreas, cada linha tinha 1 km de extensão (Fig. 33).

Como o método utilizado foi o Slingram, o piqueteamento a cada 25 m, feito com antecedência, foi muito importante, visto que a orientação e espaçamento das bobinas são críticos para se obter uma precisão de 1% nas medidas em terrenos planos (Grant e West, 1965). Nas perfilagens, a posição do transmissor (TX) sem

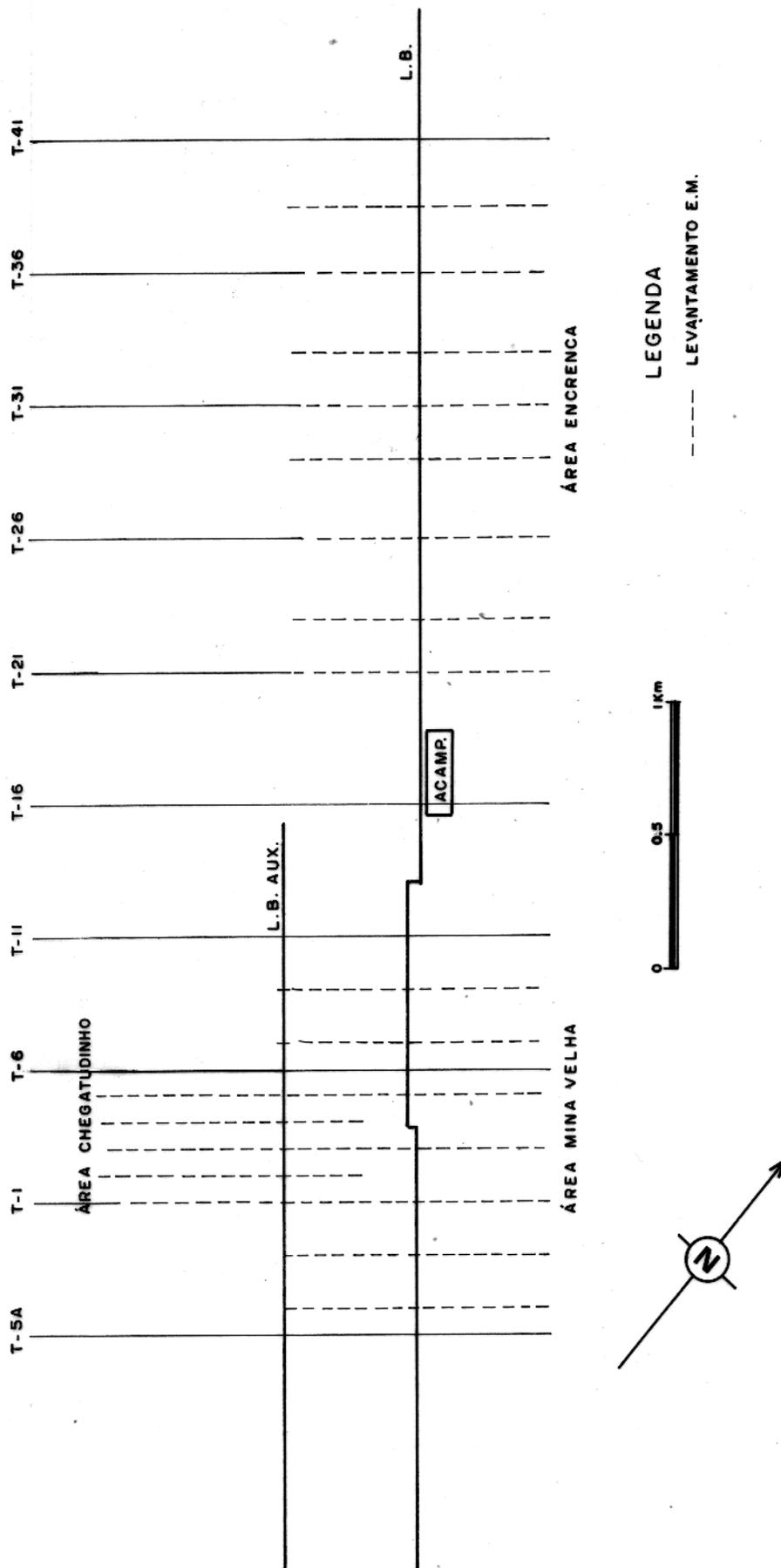


FIG. 33 - LOCALIZAÇÃO DOS CAMINHAMENTOS E.M. - ÁREA DE DETALHE.

pre antecedeu ao receptor (RX), por ser o RX leve, facilitando assim o movimento do cabo de referência entre as estações de medidas. A distância entre TX e RX foi de 50 m, considerando que com o aparelho se pode ter, em condições normais, uma sondagem máxima de 70% da distância entre as bobinas, no caso, 35 m. O espaçamento nos caminhamentos foi de 25 m. ou seja, a metade da distância entre transmissor-receptor, como indicado na literatura.

Em terrenos acidentados as bobinas se mantiveram horizontais, mantendo-se a distância de 50 m paralela ao terreno. Isso foi importante para as correções topográficas das medidas.

### 5.2.2 Metodologia no Laboratório

Os trabalhos de laboratório foram divididos em duas etapas: a) apresentação dos dados de campo, b) metodologia empregada na interpretação.

#### 5.2.2.1 Apresentação dos Dados de Campo

A correção topográfica nas leituras foi feita utilizando-se o gráfico anexo fornecida pelo fabricante (Fig. 34), o qual mostra a relação entre o erro cometido em função do desnível entre TX e RX. Esse erro só foi somado à componente real, já que a componente imaginária nunca é afetada pela topografia.

Para facilitar o processamento dos dados eletromagnéticos, todas as leituras foram armazenadas em fita magnética, usando-se o programa "Dados de Campo". Através do programa "Perfis", foram traçados todos os perfis eletromagnéticos da malha de detalhe, cada qual apresentando simultaneamente as componentes real e imaginária, tanto da alta como da baixa frequência (Fig. 35 a 38). Os pontos de "plotting" para cada medida correspondem aos pontos médios entre o transmissor e o receptor.

#### 5.2.2.2 Metodologia de Interpretação dos Dados

A interpretação foi feita qualitativa e quantitativamente com ajuda das informações geológicas disponíveis.

Na interpretação qualitativa foi feita a análise dos per

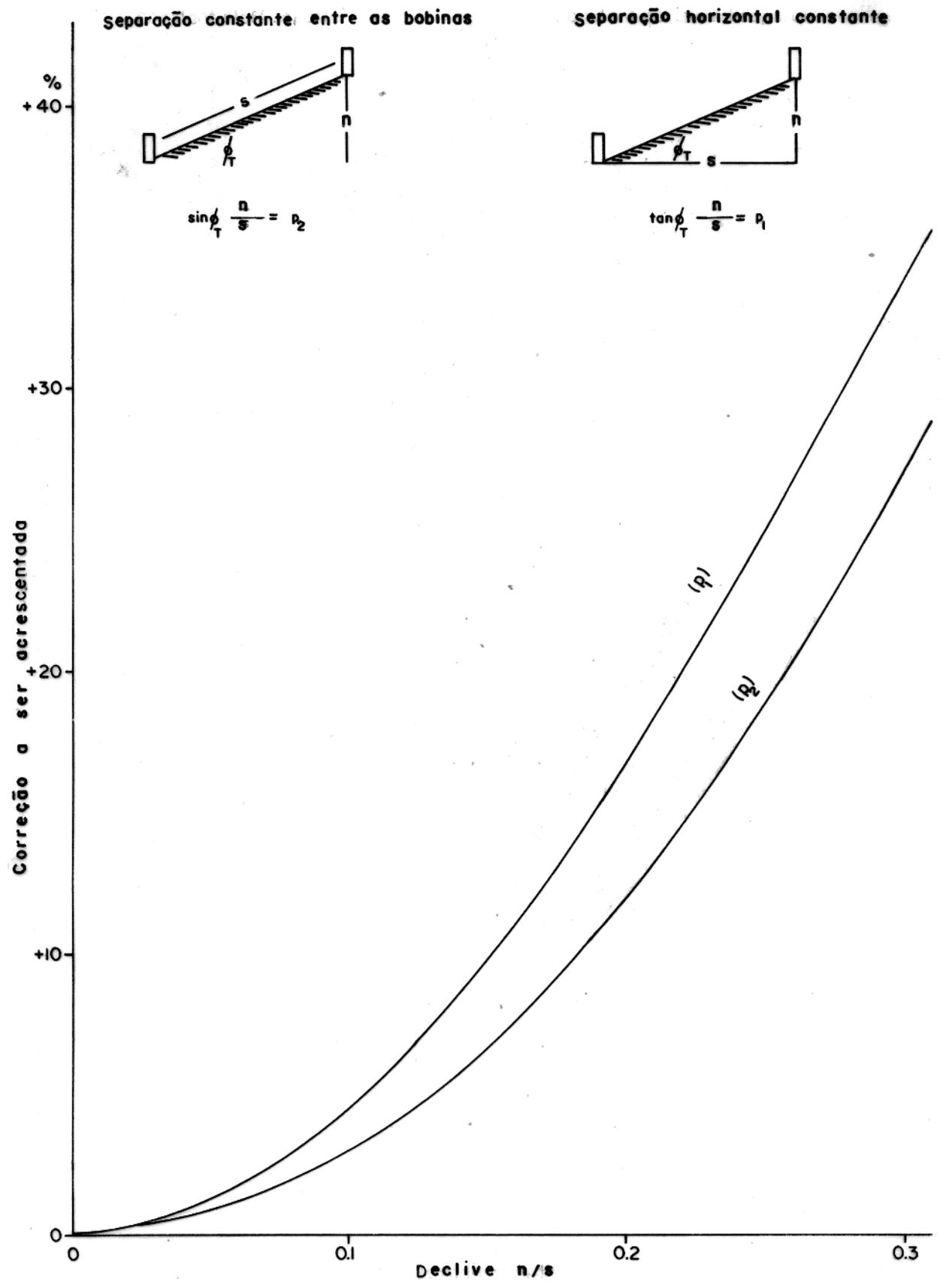


FIG. 34 - CORREÇÃO DE TOPOGRAFIA PARA A COMPONENTE REAL.

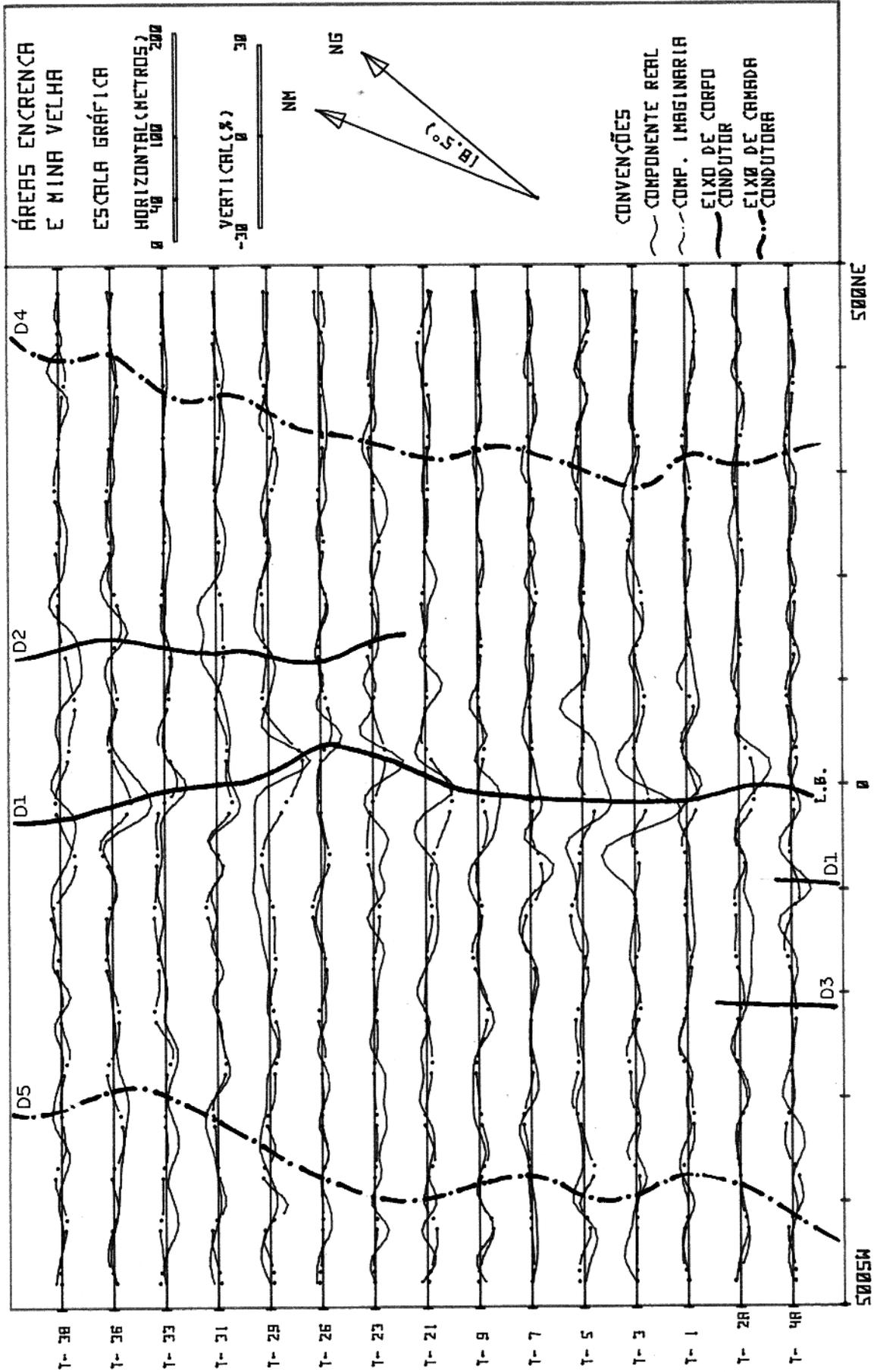


FIG. 35.-PERFIS E.M. (2640 HZ), ÁREA-1 E ÁREA-2.

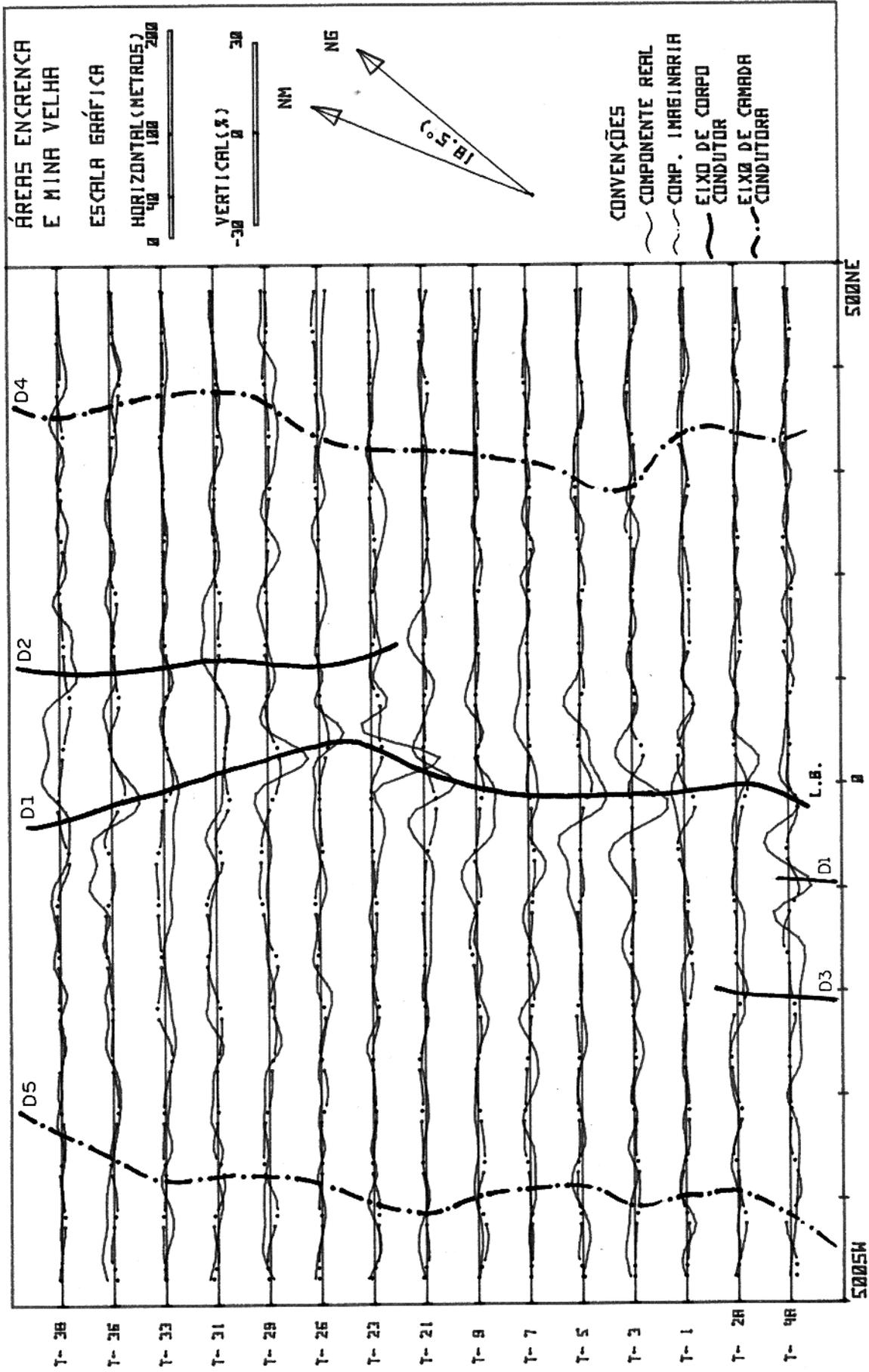


FIG. 36 -PERFIS E.M.(800 HZ), ÁREA-1 E ÁREA-2.



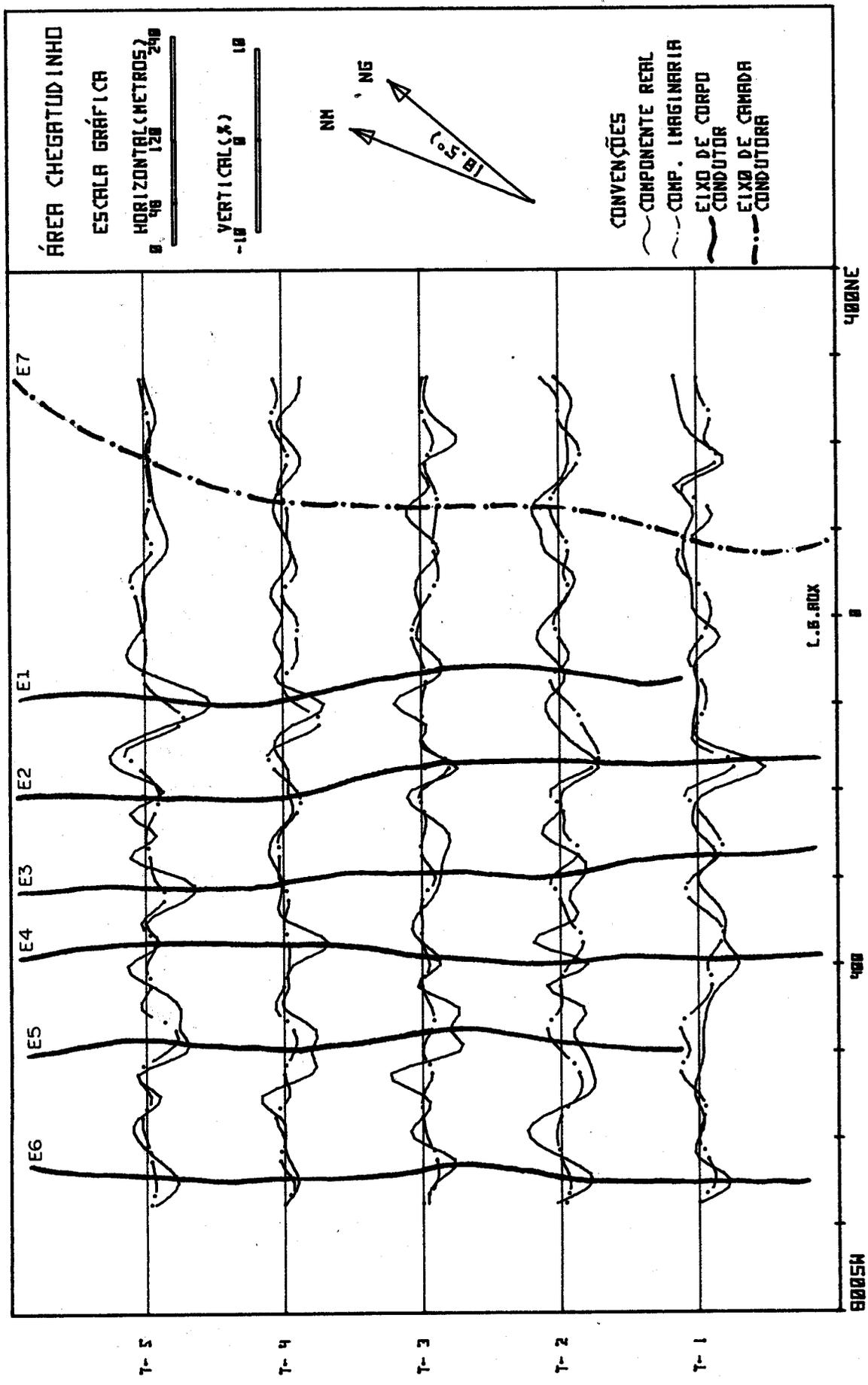


FIG. 3B - PERFILES E.M. (800 HZ), ÁREA-3.

fis isolados, com o objetivo de determinar os corpos condutores e correlacioná-los com as estruturas geológicas da Área-D. Em virtude da assimetria das curvas, foi possível inferir a direção do mergulho do corpo.

A interpretação quantitativa foi executada utilizando-se diagramas de fase, obtidos a partir de modelos reduzidos. Como o principal objetivo foi determinar um modelo teórico que melhor se ajustasse aos dados de campo e geológicos da área, foram testados vários modelos: o semi-plano infinito segundo vários autores; o tablóide; e o prisma bidimensional de profundidade da base infinita.

Nos trabalhos interpretativos foi escolhido uma linha de cada sub-área: T-2A na área Mina Velha; T-36 na área Encrenca, e T-5 na área Cheгатudinho. Em cada linha foram interpretados dois pares de perfis, correspondentes às componentes real e imaginária de cada frequência utilizada (880 Hz e 2640 Hz).

Na interpretação com o modelo da folha semi-infinita e o tablóide, o procedimento foi o seguinte:

- a) determina-se o nível zero das curvas de campos;
- b) para cada frequência de operação, a partir dos perfis das componentes em fase e quadratura, foram calculados: o valor do pico negativo máximo (Grant e West, 1965); pico negativo máximo e área dos ombros laterais das anomalias (Strangway, 1966); pico negativo máximo e pico positivo máximo (Nair et al., 1968); pico a pico a favor e pico a pico contra (Silva, 1981). No caso do tablóide, foram calculados os valores pico a pico (Jones e Wong, 1975);
- c) com os valores calculados, dependendo do diagrama de fase correspondente, foram determinados: o mergulho da folha ( $\theta$ ), a profundidade do topo em relação ao espaçamento entre as bobinas ( $d/s$ ) e o parâmetro resposta ( $\alpha$ ), a partir do qual é computado o produto condutividade versus espessura, e

d) o produto condutividade versus espessura é calculado da equação:

$$\sigma t = 1,27 \times 10^6 \alpha / fs \text{ mhos} \quad (5.1)$$

onde  $f$  é a frequência utilizada.

Na interpretação com o prisma bidimensional, o procedimento foi o seguinte (Brant et al., 1966):

- a) determina-se o nível zero das curvas anômalas;
- b) calcula-se o valor do pico negativo máximo das componentes real e imaginária de cada frequência utilizada;
- c) a partir do diagrama de fase correspondente (Fig. 39), se obtém de cada par de valores calculados: a profundidade do corpo em relação ao espaçamento entre as bobinas (h/s) e o valor da espessura vezes o espaçamento entre as bobinas sobre o quadrado do "skin depth" ( $bs/\delta^2 = C$ ), e
- d) o produto condutividade versus espessura é calculado da expressão:

$$\sigma b = (503,3)^2 C / fs \text{ mhos} \quad (5.2)$$

O valor da condutividade ("bulk conductivity") pode ser determinado do produto condutividade versus espessura, visto que o valor da espessura (t ou b) é facilmente determinado pelo método empírico apresentado por Grant e West (1966, p. 556).

### 5.3 Análise e Interpretação dos Dados

A interpretação dos dados de campo foi realizada em duas etapas: a) uma qualitativa, com base nos perfis e nas informações geológicas e b) outra quantitativa, empregando-se diagramas de fase de modelos reduzidos.

#### 5.3.1 Interpretação Qualitativa

Da análise dos perfis eletromagnéticos em ambas frequências, nas áreas Mina Velha e Encrenca, pode-se observar várias anomalias alongadas e alinhadas aproximadamente na direção do "strike" da zona de falha (Fig. 35 e 36). A principal anomalia, denominada D1, é a que acompanha a estrutura do filão principal, onde se obtiveram as maiores amplitudes tanto da componente real como imaginária. Nessa anomalia observa-se uma descontinuidade

DIAGRAMA INTERPRETATIVO  
BOBINAS COPLANARES ATRAVÉS DO DIQUE  
 $b \leq 1/2 S$

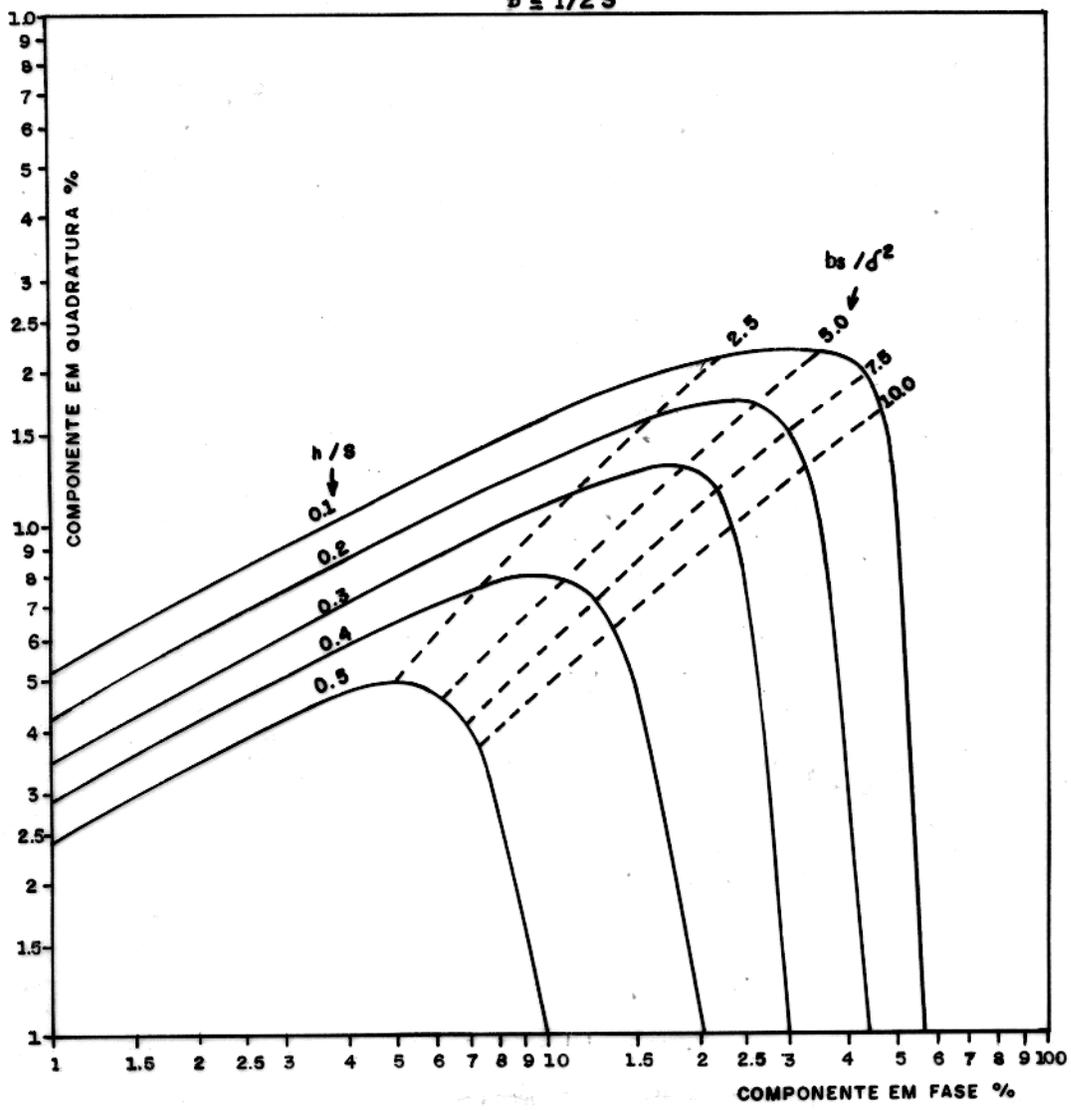


FIG. 39 - DIAGRAMA DE FASE DO MÉTODO DE BRANT ET. AL., 1966.

na linha T-4A, indicando possíveis deslocamentos laterais na estrutura. Além da anomalia descrita, existem outras menores. Por exemplo, as duas quase paralelas e semelhantes à anterior, uma aproximadamente a 125 m NE da linha base, estendendo-se entre as linhas T-23 até a T-38, denominada D2, e a outra, a 200 m SW da linha base, entre as linhas T-2A até a T-4A, denominada D3. Também existem outras duas semelhantes entre si, ao longo de toda a Área-D, uma entre as estações 200 m NE e 400 m NE, denominada D4, e a outra entre 450 m SW e 200 m SW, denominada D5. Essas duas últimas anomalias caracterizam camadas horizontais, onde os picos negativos correspondem aos extremos da camada e o pico positivo ao centro (Strangway, 1966). Logicamente, elas também poderiam representar duas estruturas tabulares. No entanto, a primeira conclusão é a mais coerente, uma vez que a localização dessas anomalias corresponde à região mais plana e baixa da área, formada principalmente por horizontes de areia argilosa e de argila arenosa, que apresentam certa condutividade em relação a maior resistividade do solo e da recha fresca (quartzo-sericita-xisto). Considerando-se os resultados das sondagens Schlumberger, essas anomalias estão localizadas entre 8 e 15 m de profundidade, representando corpos pouco condutores indicados pelas pequenas amplitudes observadas nas curvas.

Dos perfis da área Cheгатudinho foram observadas nitidamente seis anomalias alongadas e aproximadamente paralelas a direção de 140°Az. Essas anomalias estão localizadas a 600 m, 700m, 800 m, 900 m, 1000 m e 1150 m a sudoeste da linha base, sendo denominadas de E1 a E6 (Fig. 37 e 38). Também foi determinada uma sétima anomalia entre as estações 50 m NE e 250 m NE da linha base auxiliar, denominada E7, correspondendo à uma camada horizontal que coincide com aquela descrita anteriormente na parte esquerda da área Mina Velha. É conveniente lembrar que parte da área Cheгатudinho está incluída na área Mina Velha (Fig. 2) e que a linha base auxiliar no levantamento eletromagnético está localizada a 500 m SW da linha base.

Da análise qualitativa dos perfis também foi inferido o sentido SW do mergulho dos corpos condutores, com base no comportamento das curvas de campo, embora deva-se ressaltar que existem algumas variações locais.

A análise qualitativa das anomalias demonstrou que o método

do E.M. não foi efetivo neste trabalho, uma vez que foram determinados anomalias semelhantes dentro (áreas Mina Velha e Encrenca) e fora (área Cheгатudinho) da zona de maior potencialidade econômica. A interpretação quantitativa reforçará essa conclusão.

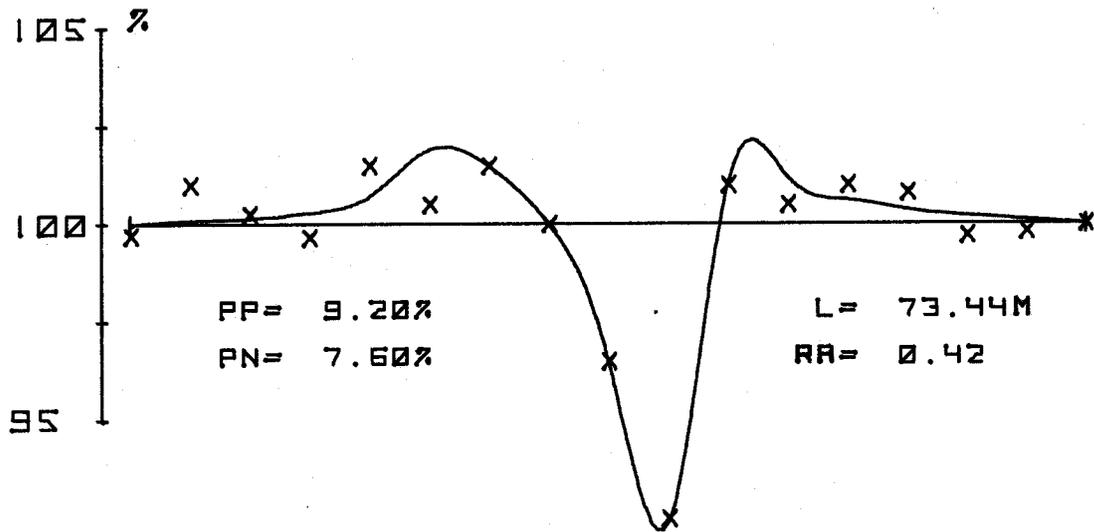
### 5.3.2 Interpretação Quantitativa

Observando-se os mapas dos perfis, pôde-se concluir que tanto a anomalia D1 do filão principal como todas as da área Cheгатudinho, justificavam um estudo quantitativo, já que a forma alongada dessas anomalias pode ser relacionada à ocorrência de veios de quartzo. O padrão das curvas e a seqüência dos eixos dos condutores foram importantes na escolha do modelo a ser utilizado na interpretação quantitativa para a determinação dos parâmetros do corpo condutor. Anomalias alongadas, como é o caso, poderiam ser modeladas empregando-se uma folha semi-infinita, ou um tablóide ou um prisma bidimensional. A escolha do modelo com profundidade da base infinita foi justificada pela natureza dos testemunhos de furos de sondagem, que revelam a existência de material condutor (magnetita e grafita) a profundidade bem maiores relativamente ao espaçamento entre as bobinas. Com isso, o modelo do tablóide foi eliminado.

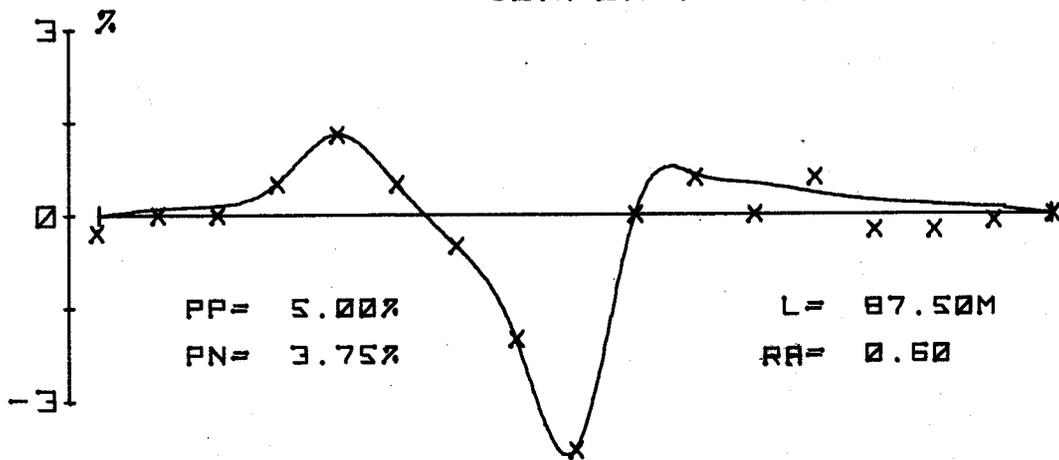
Na análise das anomalias do filão principal, foram selecionados os perfis das linhas T-2A e T-36, correspondendo às áreas Mina Velha e Encrenca, respectivamente. Na área Cheгатudinho, da anomalia localizada a 600 m SW da linha base, foi selecionado o perfil da linha T-5. Para facilitar a análise dos dados, as curvas de campo foram suavizadas para interpretação quantitativa. Dos 12 perfis interpretados, são apresentados como ilustração somente quatro: as componentes real e imaginária da baixa freqüência (880 Hz) da linha T-2A (Fig. 40) e as componentes real e imaginária da alta freqüência (2640 Hz) da linha T-5 (Fig. 41).

Inicialmente foi empregado o plano semi-infinito como modelo (Fig. 42), utilizando-se vários métodos dos diferentes autores referenciados anteriormente. Os resultados finais foram semelhantes, por isso somente aqueles obtidos através do método de Strangway foram apresentados (tabela 5). Dos dados computados nessa tabela, pode-se observar que o mergulho do corpo condutor no

COMPONENTE REAL



COMPONENTE IMAGINARIA



LEGENDA  
 x x x DADOS DE CAMPO  
 \_\_\_\_\_ CURVA SUAVIZADA

FIG.40 - PERFILES E.M. (880 HZ) DA LINHA T-2A. ÁREA MINA VELHA.

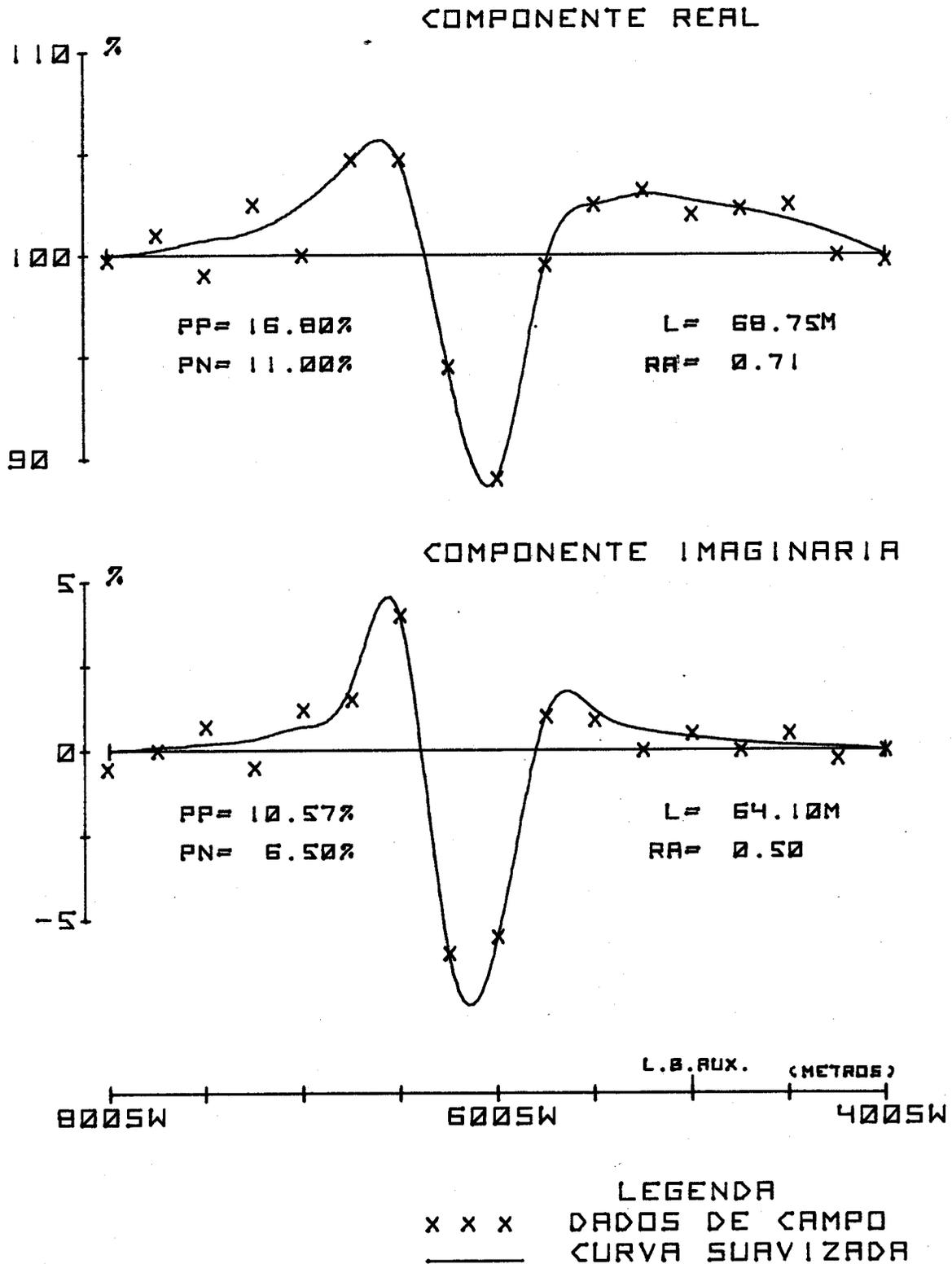


FIG. 41 - PERFILES E.M. (2640 HZ) DA LINHA T-5. ÁREA CHEGATUDINHO.

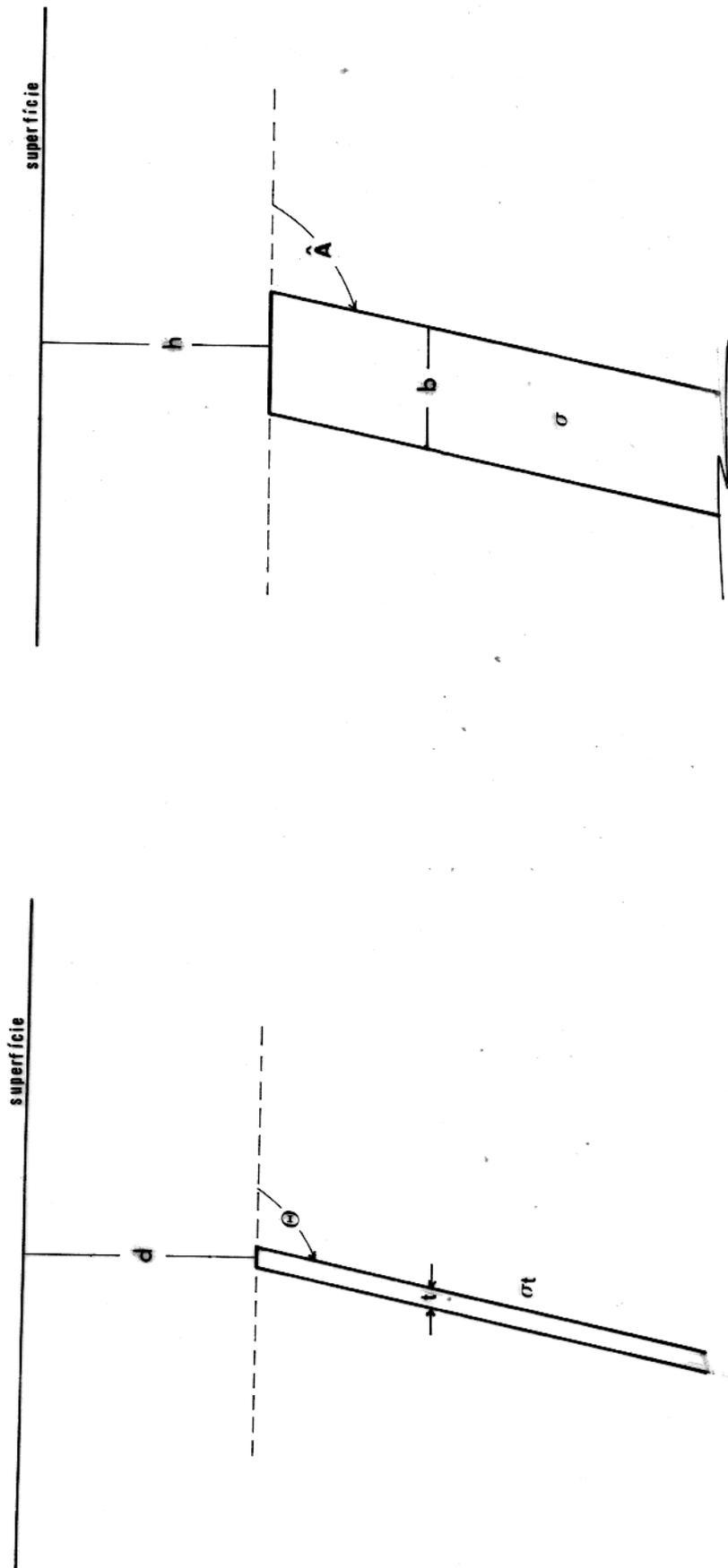


FIG. 42 - MODELOS DA FOLHA SEMI-INFINITA E DO PRISMA BIDIMENSIONAL UTILIZADOS NA INTERPRETAÇÃO E.M.

TABELA 5 - RESULTADOS OBTIDOS DO MODELO DA FOLHA SEM-INFINITA, STRANGWAY, 1966. ÁREA DE DETALHE.

LINHA	COMPONENTE	FREQÜÊNCIA (c.p.s)	MERGULHO	PROFUNDIDADE (m)	PARÂMETRO RESPOSTA (u.s.i)	CONDUTIVIDADE x ESPESSURA (mhos)
			ÁREA ENCRENCA			
T-36	REAL	880	76.0°	24	25.0	71.96
T-36	IMAGINÁRIA	2640	77.5°	19	36.5	35.02
			ÁREA MINA VELHA			
T-2A	REAL	880	73.0°	25	32.5	93.55
T-2A	REAL	2640	78.5°	21	31.5	29.74
			ÁREA CHEGATUDINHO			
T-5	REAL	880	81.0°	26	30.0	86.36
T-5	REAL	2640	82.5°	18	20.0	19.19

filão principal, áreas Mina Velha e Encrenca, varia entre  $73^{\circ}$  e  $78,5^{\circ}$ , com um valor médio de  $76^{\circ}$  SW. Na área Chegatudinho o corpo é mais vertical, com um valor médio de  $81^{\circ}$  SW. Para ambos os casos, a profundidade média do topo foi estimada em 25 m e 19 m para as frequências baixa e alta respectivamente. Os valores calculados para o produto condutividade versus espessura são muito altos quando comparados com os valores publicados por outros pesquisadores para depósitos de sulfetos maciços, que são aproximadamente 25 mhos (Strangway, 1966). Esse fato foi também verificado através dos outros métodos empregados. Assim, ambos os corpos se apresentam como super-condutores, contrariando os dados geológicos da área. O excesso do aumento nos valores de  $\sigma t$  pode ser justificado mais pelo aumento da espessura que pelo alto valor da condutividade. Com isso, a folha semi-infinita tornou-se um modelo inadequado.

Considerando-se o aumento na espessura do corpo condutor, foi escolhido o modelo do prisma bidimensional para a interpretação dos dados (Brant et al., 1966), cujos resultados estão resumidos na tabela 6. (Dessa tabela pode-se observar que a profundidade média do topo do corpo condutor tanto nas áreas Mina Velha e Encrenca como na área Chegatudinho foi, para a baixa frequência, 25 m, e para a alta frequência, 20 m, valores comparáveis com aqueles obtidos no modelo da folha semi-infinita. O método de Brant e co-autores não fornece o mergulho do corpo, o qual deve ser estimado no campo. Dos furos de sondagem na Área-D, foi verificado que, para uma profundidade de 25 m, o mergulho médio das estruturas filonares e de cerca de  $80^{\circ}$ , também muito próximo do valor encontrado à essa profundidade como o modelo da folha semi-infinita. Logicamente, a variação da espessura de um corpo tabular não deve afetar sua profundidade nem seu mergulho e sim o produto condutividade versus espessura. Os produtos  $\sigma b$ , obtidos da interpretação com o modelo do prisma bidimensional na Área-D, foram muito próximos tanto na baixa como na alta frequência. Outra característica é que na alta frequência esses produtos são menores. Os valores da condutividade aparente ("bulk conductivity") foram menores que 10 mhos, indicando que a anomalia não corresponde a um corpo maciço e sim à uma estrutura laminada ou entrelaçada, com uma ganga não condutora (Brant et al., 1966). Os valores médios computados são:

TABELA 6 - RESULTADOS OBTIDOS DO MODELO DO PRISMA FINO, BRANT ET AL, 1966. ÁREA DE DETALHE.

LINHA	FREQÜÊNCIA (c.p.s)	PROFUNDIDADE (m)	CONDUTIVIDADE x ESPESSURA (mhos)	ESPESSURA (m)	CONDUTIVIDADE APARENTE (mhos/m)	RESISTIVIDADE APARENTE ( $\times 10^5 \Omega \cdot m$ )
ÁREA ENCRENCA						
T-36	880	24	57.57	20.32	2.83	353
T-36	2640	20	21.11	23.44	0.90	1111
ÁREA MINA VELHA						
T-2A	880	25	57.57	34.22	1.68	594
T-2A	2640	21	16.00	35.16	0.46	2174
ÁREA CHEGATUDINHO						
T-5	880	25	51.81	18.66	2.77	360
T-5	2640	20	14.39	16.43	0.88	1136

Anomalia	f (Hz)	$\sigma_b$ (mho)	b (m)	$\sigma$ (mhos/m)	R ( $\Omega \cdot m$ )
D1	880	57,57	25	2,50	$400 \times 10^{-3}$
	2640	18,50	20	0,75	$133 \times 10^{-2}$
E1	880	51,81	25	2,70	$363 \times 10^{-3}$
	2640	14,50	20	0,85	$117 \times 10^{-2}$

Dos valores acima, pode-se concluir que ambos os corpos apresentam aproximadamente a mesma condutividade aparente. O aumento da resistividade aparente ("bulk resistivity") com a diminuição da profundidade, indica que a resistividade aumenta na direção da superfície, devido logicamente ao aumento da densidade de veios de quartzo como foi comprovado no levantamento eletroresistivo.

É oportuno notar que o método de Brant e co-autores só é válido para estruturas tabulares de espessuras menores ou iguais a metade do espaçamento entre as bobinas, no caso, 25 m. Ainda que as espessuras calculadas dos perfis escolhidos para a interpretação estejam dentro ou próximo dessa faixa, o mesmo não é verdadeiro para a maioria dos perfis da área, onde alguns apresentam espessuras de até 50 m. Assim sendo, os valores computados para a profundidade e o mergulho do corpo são confiáveis e extensivos à toda a área, enquanto os valores de condutividade  $\sigma$  são apenas aproximados. Na literatura disponível, não foi possível encontrar o material necessário para interpretar os dados eletromagnéticos correspondente a um corpo tabular espesso.

### 5.3.3 Discussão dos Resultados Obtidos

Sintetizando-se todos os resultados obtidos nesse capítulo, pode-se concluir que o corpo condutor sobre a estrutura do filão principal tem uma profundidade média de 23 m e uma espessura média de 40 m, mergulhando aproximadamente com  $78^\circ$  SW. A condutividade aparente é 2.5 mhos/m, correspondendo à uma "bulk resistivity" de  $400 \times 10^{-3} \Omega m$ , valor esse muito maior que o obtido por outros pesquisadores para depósito de sulfeto maciço, cujo valor fica em torno de  $43 \times 10^{-3} \Omega m$  (Brant et al., 1966). Isso permitiu eliminar definitivamente a conclusão obtida anteriormente com

o modelo da folha semi-infinita em relação ao corpo super- condutor. Do levantamento Schlumberger pôde-se determinar que a rocha encaixante corresponde à rocha fresca ou pouca alterada (quartzo-sericita-xisto), com uma resistividade média de 1500  $\Omega$ m. Sendo assim, a estrutura do filão principal, a uma profundidade maior que 23 m, apresenta-se como um condutor dentro do meio resistivo.

Da análise dos furos de sondagem (Fig. 14), localizados entre as linhas T-5 e T-6, na área Mina Velha, foi verificado que a anomalia sobre o filão principal é produzida principalmente pela presença de pirita, hematita bandeada na rocha e pela água contida nas fissuras ("bulk resistivity"). A hematita geralmente não é um bom condutor, mas na forma especular, especialmente quando concentrada em lâminas, se transforma em um semi-condutor. Existe a possibilidade que devido ao esforço a que provavelmente foi submetida, tenha adquirido certo grau de condutividade, contribuindo assim para a anomalia detectada. A contribuição da pirita foi menor, considerando-se que ocorre em forma disseminada e esporadicamente em forma maciça ou em finas lâminas delgadas. Com base nas informações extraídas dos testemunhos de sondagem, pode-se observar que os parâmetros calculados com o modelo do prisma apresentam certa consistência com aqueles obtidos dos furos de sondagem.

O corpo condutor na área Chegatudinho se situa a uma profundidade média de 23 m, mergulhando aproximadamente com 81° SW e tendo uma espessura média de 40 m. A condutividade aparente é 2.7 mhos/m, ligeiramente maior que a do corpo anterior. Mesmo que as sondagens Schlumberger nessa área não tenham sido muito boas, devido a existência de várias estruturas filonares (Fig. 4), pode-se concluir que a resistividade rocha encaixante a essa profundidade é maior que a das estruturas filonares, simplesmente pela forma das curvas de campo.

A figura 32 apresenta a descrição do furo SR-34, localizado entre as linhas T-3 e T-4, na área Chegatudinho, com 105 m de profundidade e 45° de inclinação. As características principais observadas nesse furo são:

a) solo argiloso de granulação fina e espessura média de 5 m;

b) rocha alterada de espessura média de 80 m, composta na parte superior de sericita-xisto e, a partir de aproximadamente

20 m, de xisto grafitoso e

c) rocha fresca composta de sericita-xisto, quartzo-clorita-xisto e, a partir de 100 m, quartzo sericita xisto.

Da análise desses furos, pode-se concluir que as anomalias na área Cheгатudinho refletem a presença de grafite e da água nas fissuras das estruturas filonares ("bulk resistivity"). A grafite, como se sabe, produz grandes anomalias E.M. Contudo, as estruturas não apresentaram essa característica, talvez, pela pouca quantidade de grafite presente.

Finalmente, o método eletromagnético utilizado como ferramenta indireta na determinação de possíveis zonas mineralizadas é menos eficiente que os anteriores, considerando-se que responde em forma semelhante, tanto na área de maior interesse, ou seja, aquela correlacionada à magnetita, hematita e pirita, como à ligada a grafite, onde os trabalhos feitos pela companhia foram mais escassos, devido ao menor interesse econômico. Mesmo assim, acoplado aos outros dois, foi muito útil na análise das estruturas filonares no sub-solo e facilitou grandemente o levantamento de campo, uma vez que eliminou o problema da resistência de contacto característico do levantamento eletro-resistivo.

Comparando-se a espessura média obtida dos perfis E.M. (40 m) com a computada nos dois métodos anteriores (70 m), concluiu-se que a espessura do corpo condutor na estrutura do filão principal diminuiu na direção da superfície. Esse fato pode ser constatado através dos furos de sondagem mais rasos e inclinados, onde a pirita e hematita estão presentes na parte central dessa estrutura. Além disso, os únicos afloramentos com presença de pirita se encontram exatamente sobre o filão principal, perto da linha base, nas travessas T-5, T-6 e T-11 na área Mina Velha.

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A área de pesquisa esteve sujeita a esforços de cisalhamentos e, ao longo dos planos das falhas resultantes, formaram-se estruturas filonares. Essas estruturas foram localizadas no mapa litológico com base nos afloramentos existentes na região e mostram-se encaixadas em quartzo-sericita-xistos.

Nos levantamentos de campo, as maiores anomalias detectadas estão no lado NE da área. Do tratamento dos dados foi determinada uma estreita correlação entre as principais anomalias magnéticas e eletro-resistivas com a zona de maior mineralização, tornando esses dois métodos ferramentas muito úteis e eficazes para futuros trabalhos de pesquisa. O método eletromagnético não apresentou nenhum poder resolutivo, uma vez que detectou anomalias semelhantes dentro e fora da área mais promissora.

Da análise do esboço litológico e dos perfis do levantamento de campo, observam-se as seguintes características principais:

a) a localização das principais anomalias na Área-1 e Área-2 coincide com a da estrutura do filão principal. As maiores anomalias magnéticas e eletro-resistivas se localizam entre as linhas T-41 e T-1. As eletromagnéticas estão mais uniformemente distribuídas, apresentando os maiores valores entre as linhas T-21 até a T-29 e T-3 até a T-5.

b) nas anomalias sobre a estrutura do filão principal existem descontinuidades nas linhas T-4A e T-30A, indicando deslocamentos laterais na área de pesquisa.

c) existem duas anomalias paralelas à anterior. Uma na Área-2, que coincide com a estrutura de veios de quartzo localizada entre as linhas T-23 e T-38, a 150 m NE da linha base, e outra na Área-1, que coincide com a estrutura de veios de quartzo localizada entre as linhas T-20A e T-30A, aproximadamente a 150 m da linha base.

d) todas as anomalias eletro-resistivas e eletro-magnéticas na área Chegatudinho, pertencentes à Área-3, coincidem com estruturas de veios de quartzo aproximadamente paralelas, localizadas a 600 m SW, 700 m SW, 800 m SW, 900 m SW, 1000 m SW e

1150 m SW da linha base.

c) todas as anomalias da área Cheгатudinho estão uniformemente distribuídas, apresentando, portanto, pouca densidade de veios de quartzo e baixas concentrações de grafite.

Com os dados interpretados, foi elaborado um esboço esquemático do perfil geo-elétrico da área do filão principal (Fig.43). Nessa figura se observa que o mergulho do corpo não é constante, diminuindo com o aumento da profundidade. Essa variação é de 90° a 80° até 70°, correspondendo, respectivamente, aos mergulhos dos corpos eletro-resistivo, eletromagnético e magnético, os dois últimos com uma profundidade do topo a 23 m e 49 m, respectivamente. Conforme foi comentado anteriormente, o corpo eletromagnético diminui sua espessura na direção da superfície até perder suas características condutoras dentro do corpo eletro-resistivo. Isso indica que a resistividade aumenta na direção da superfície. Existe a possibilidade que, no sentido contrário, na direção do corpo magnético, a resistividade da estrutura do filão principal diminua devido a presença de magnetita na rocha. Em relação a resistividade da rocha encaixante, foi determinado que, pelo menos até cerca de 10 m de profundidade, a estrutura do filão principal é muito mais resistiva que a correspondente rocha encaixante (rocha alterada a material areno-argiloso). Na parte mais profunda, a partir aproximadamente de 23 m, responde como um condutor -dentro da rocha fresca ou pouca alterada (quartzo-sericita-xisto). Isso poderia ser um indicador que tanto o teor de quartzo como a presença de veios de quartzo, diminuem com o aumento da profundidade.

O estudo da denominada resistividade de transição entre os corpos eletro-resistivo e eletromagnético na estrutura do filão principal é importante porque ajudará a localizar exatamente o corpo eletro-resistivo, o qual está correlacionado principalmente com a densidade de veios de quartzo perto da superfície ou a pequenas profundidades. Esse trabalho poderia ser efetuado futuramente, utilizando-se qualquer dos dois métodos empregados no levantamento de detalhe. No método eletro-resistivo bastaria aumentar-se a distância entre os eletrodos e no método eletromagnético bastaria aumentar a frequência ou diminuir a distância entre as bobinas.

Recomenda-se fazer um furo de sondagem e análise química

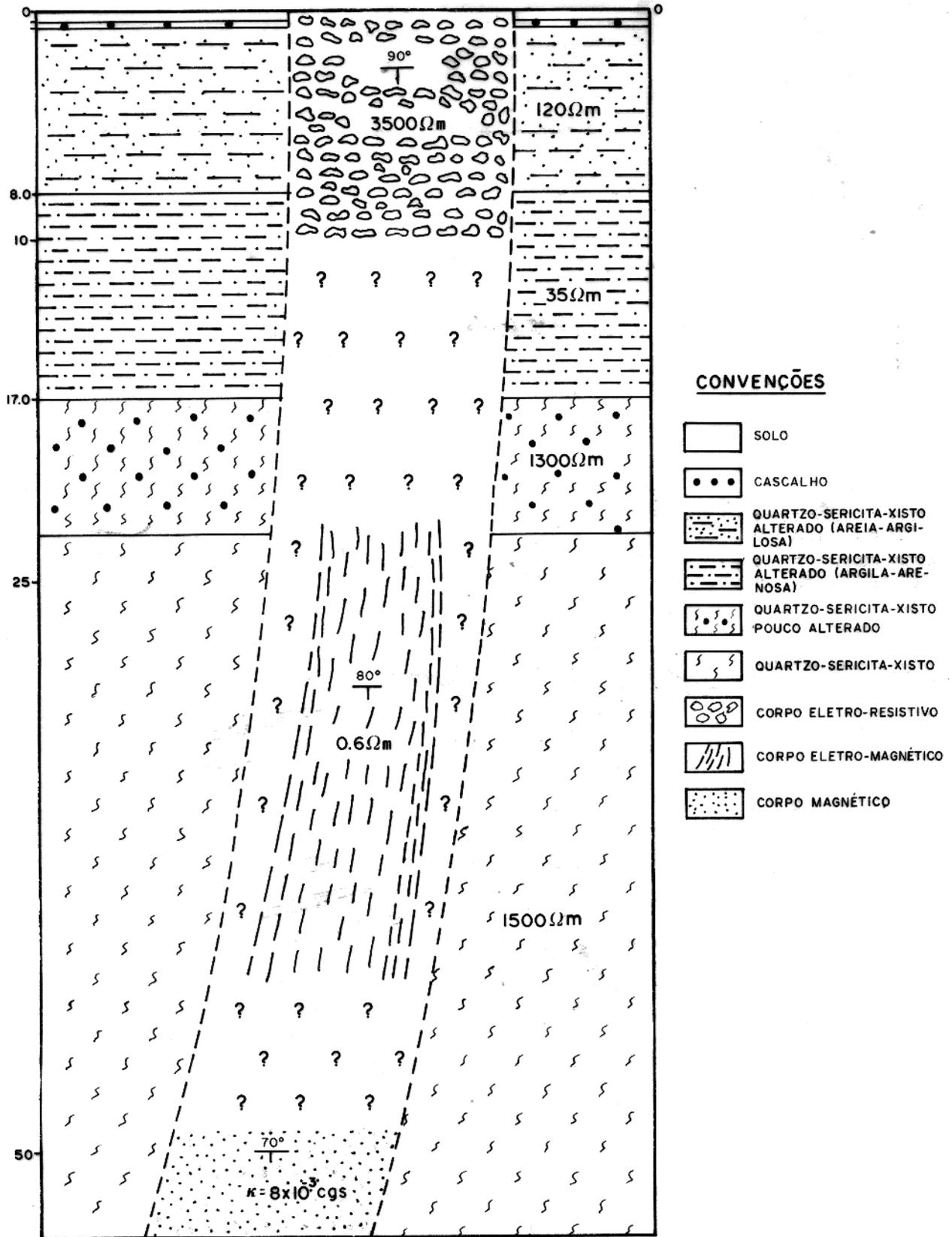


FIG.43- ESBOÇO ESQUEMÁTICO GEOELÉTRICO DO FILÃO PRINCIPAL. ÁREA MINA VELHA.

sobre a anomalia magnética local da linha T-11, localizada entre as estações 500 m SW e 600 m SW, correlacionando-se esses resultados com os obtidos anteriormente na área do filão principal. Isso servirá para testar a efetividade do método magnético fora da anomalia principal. Recomenda-se também estender a área de pesquisa tanto lateral como longitudinalmente, tentando-se cobrir toda a zona de falha. Nesse caso, aconselha-se a fazer inicialmente um levantamento magnético de reconhecimento em toda a área. Depois, sobre as maiores anomalias detectadas, efetuar um levantamento eletro-resistivo e opcionalmente um eletromagnético, acompanhado de alguns poços e furos de sondagem. Com isso, reduzir-se-á grandemente o custo total de pesquisa, uma vez que evitará a execução de furos de sondagem em área sem nenhum ou com pouco potencial.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, F.A.M. de; VILLAS, R.N.; HASUI, Y. - 1980 - Esboço estratigráfico do Precambriano da Região Gurupi, Estado do Pará e Maranhão. In: XXXI Congresso Brasileiro de Geologia. Camboriú, SC, v. 2, p. 697-658.
- BHATTACHARYA, B.B.; SEN, M.K. - 1981 - Depth of Investigation of Collinear Eletrode Arrays Over Homogeneous Anisotropic Half-Space in Direct Current Methods. *Geophysics*. 46(5):768-780.
- BOSSCHART, R.A. - 1961 - On the Occurrence of Low Resistivity Geological Conductors. *Geophysical Prospecting*. 9(2):223-212.
- BRANT, A.A.; DOLANT, W.M.; ELLIOT, C.L. - 1966 - Coplanar and Coaxial EM Test in Bathurst Area, New Brunswick, Canada, 1956 In: *Mining Geophysics*, Tulsa, Society of Exploration Geophysicists. v. 1, p. 130-141.
- GRANT, F.A.; WEST, G.F. - 1965 - Interpretation Theory in Applied Geophysics. New York, McGraw-Hill. 584 p.
- JONES, B.; WONG, J. - 1975 - Some Thin Sheet Response to a Model Dipole-Dipole Prosepcting System. *Geoexploration*. 13(3)187-196.
- KELLER, G.V.; FRISCHKNECHT, F.C. - 1966 - Electrical Methods in Geophysical Prospecting. New York, Pergamon Press. 517 p.
- KOULOMZINE, Th.; LAMONTAGNE, Y.; NADEAU, A. - 1970 - New Methods for Direct Interpretation of Magnetic Anomalies Caused by Inclined Dikes of Infinite Lenght. *Geophysics*. 35(5):812-830.
- KUNETZ, G. - 1966 - Principles of Direct Current Resistivity Prospecting. Berlin, Gebrüder Borntraeger. 103 p.
- LUDWIG, C.S.; HENSON, H.K. - 1967 - Theoretical Induced Polarization and Resistivity Response for the Dual Frequency System Collinear Dipole-Dipole Array. Tucson, Arizona, Heinrichs Geoexploration Company. 34 p.
- MARTINS, R.C. - 1979 - Levantamento Geofísico para Mineração Arapiranga Ltda. Relatório - Belém, CPRM. 14 p.
- NAIR, M.R.; BISWAS, K.K.; MAZUMDAR, K. - 1968 - Experimental Studies on the Eletromagnetic Response of Tilted Conducting Half-Planes to a Horizontal - Loop Prospecting System.

- Geoexploration. 6(4):207-244.
- PARASNIS, D.S. - 1973 - Mining Geophysics. Amsterdam. Elsevier, 395 p.
- ROY, A.; APPARAO, A. - 1971 - Depth of Investigation in Direct Current Methods. Geophysics. 36(5):943-959.
- SILVA, L.M.C. - 1981 - Efeito do Manto de Intemperismo sobre a anomalias Electromagnéticas Provocadas por Corpos Tabulares Inclínados - Um manto através de Modelamento Reduzido. Tese de Mestrado. Belém, UFPa/NCGG. 115 p.
- STRANGWAY, D.W. - 1966 - Electromagnetic Parameters of some sulfide bodies. In: Mining Geophysics. Tulsa, Society of Exploration Geophysicists. Vol. 1, p. 227-242.
- TELFORD, W.M.; GELDART, L.P.; SHERIFF, R.E.; KEYS, D.A. - 1976 - Applied Geophysics. London, Cambridge University Press. 860 p.
- WON, I.J. - 1981 - Application of Gauss's Method to Magnetic Anomalies of Dipping Dikes. Geophysics. 46(2):211-215.

## 8 APÊNDICE 1

Na interpretação em que se usou o programa "MAG", foi empregado o método de tentativa e erro, conhecido como problema direto. O fluxograma (Fig. 44) ilustra as seguintes etapas:

a) entrada dos dados de campo, armazenando-se cada par de valores (posição horizontal, anomalia magnética) nos vetores  $Xobs(I)$  e  $Fobs(I)$ ;

b) determinam-se as posições de cálculo ao longo do perfil, que são armazenadas no vetor  $Xc(I)$ ;

c) entrada dos valores constantes do programa: intensidade do campo magnético local ( $Fo$ ), ângulo antihorário entre o "strike" do corpo e o norte magnético ( $Bo$ ) e inclinação do campo magnético local ( $Io$ );

d) entrada dos parâmetros iniciais calculados anteriormente pelo método de Koulomzine et al., (1970): mergulho do corpo ( $\hat{A}$ ), susceptibilidade magnética ( $k$ ), profundidade ( $h$ ), espessura ( $b$ ), posição horizontal do centro do prisma em relação a origem cálculo ( $H1$ ), a qual está localizada a esquerda dos perfis a interpretar (Fig. 8). O parâmetro Datum (nível zero do perfil), cujo efeito é deslocar verticalmente a curva teórica ou calculada, foi considerado constante e igual a zero;

e) através da sub-rotina "Função" se calcula, em cada ponto do vetor  $Xc(I)$ , o valor do campo magnético ( $F$ ) correspondente ao modelo, que são armazenados no vetor  $Fc(I)$ ;

f) imprime-se os valores máximos e mínimos dos vetores  $Fobs(I)$  e  $Fc(I)$ ;

g) através da sub-rotina "Spline" se efetua uma interpolação de  $Ni$  pontos dos dados magnéticos calculados, que são armazenados nos vetores  $Xi(I)$  e  $Fi(I)$ ;

h) constroem-se dois gráficos:  $Fobs(I)$  versus  $Xobs(I)$  e  $Fi(I)$  versus  $Xi(I)$ ;

i) o programa é iterativo e volta ao item (d) até o melhor ajuste das curvas traçadas, quando então são obtidos os parâmetros finais do corpo.

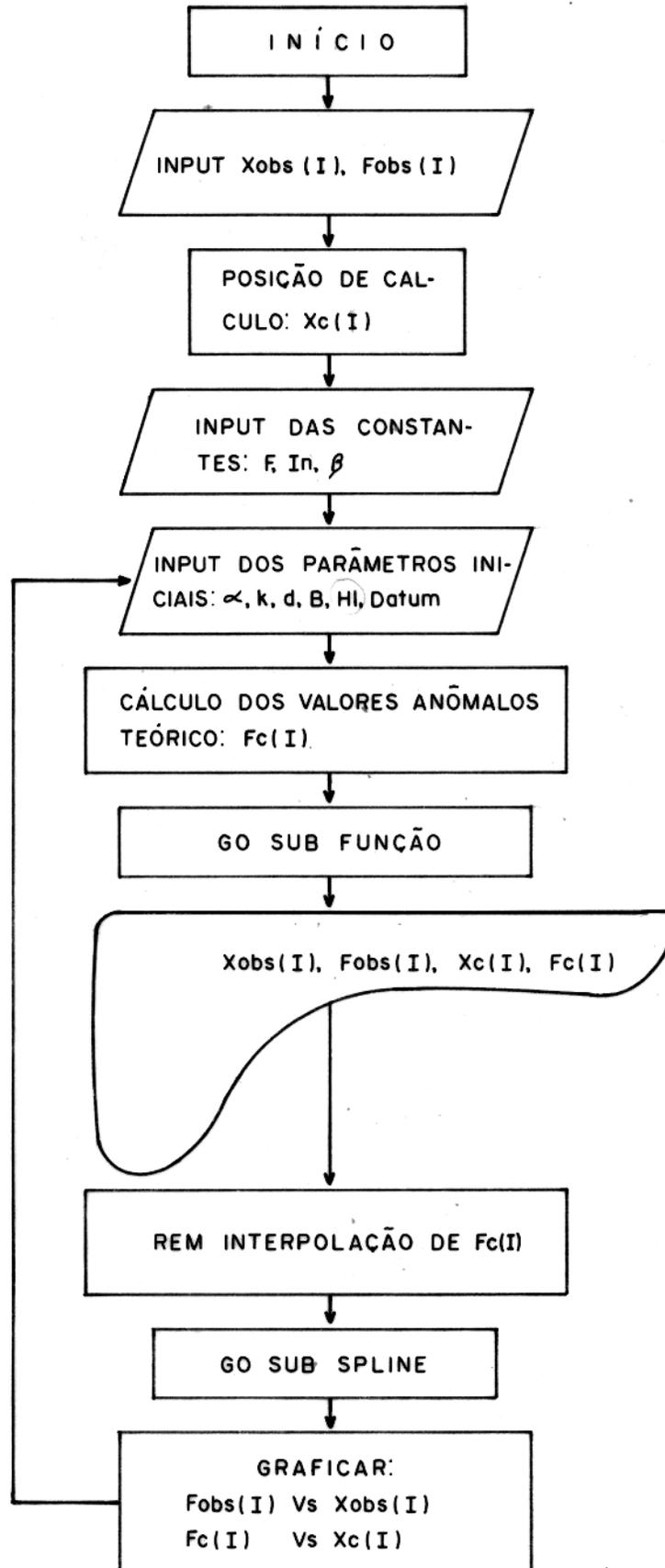


FIG. 44- FLUXOGRAMA DO PROGRAMA "MAG"

```

10  OPTION BASE 1
20  DIM Fobs(60),Xobs(60),Fc(60),Xc(60),Fc1(300),Xc1(300),Faux(60)
30  DIM D(100)
40  REM PROGRAMAXXXXXX"MOBAG"XXXXXX
50  REM "PROGRAMA DIRETO COM 5 PARAMETROS,E ORIGEM DE CALCULO A
60  REM  EZQUERDA DO PRISMA"
70  RAD
80  Int=0
90  PRINT "ENTRADA DOS DADOS DE CAMPO"
100 INPUT "# DO PERFIL",Pe
110 PRINT "I-","Pe
120 INPUT "Espacamento de medida,# DE Pontos",Em,Nc
130 REM X1=0 (ORIGEM DE CALCULO)
140 X1=0
150 X2=(Nc-1)*Em
160 PRINT " I           Xobs(I)           Fobs(I)"
170 FOR I=1 TO Nc
180 Xobs(I)=(I-1)*Em
190 DISP "Fobs(I)",I;
200 INPUT Fobs(I)
210 PRINT I,Xobs(I),Fobs(I)
220 NEXT I
230 INPUT "QUERES Connegin,SIM=1",Sii
240 IF Sii<>1 THEN 260
250 GOTO 170
260 REM # DE PONTOS E ESPACAMENTO DE CALCULO DO MODELO = N,Ec
270 N=Nc
280 Ec=Em
290 M=6
300 FOR I=1 TO N
310 Xc(I)=(I-1)*Ec
320 NEXT I
330 PRINT "INPUT DAS CONSTANTES DO MODELO"
340 DISP "F0,BETA,INCLINACAO";
350 INPUT F0,B1,I1
360 PRINT "CAMPO TOTAL=",F0,"BETA=",B1,"INCLINACAO=",I1
370 REM "VALOR DO PARAMETRO Datum=0"
380 Datum=0
390 PRINT "INPUT DOS PARAMETROS INICIAIS"
400 DISP "MERGULHO,SUSCEPTIBILIDADE";
410 INPUT A1,K
420 Kt=K*F0
430 PRINT "MERGULHO=",A1,"SUSCEPTIBILIDADE=",K,"PRDUTO K*F0=",Kt
440 DISP "PROFUNDIDADE,ESPESSURA";
450 INPUT D0,B
460 PRINT "PROFUNDIDADE",D0,"ESPESSURA=",B
470 DISP "Posicao Horizontal DO CENTRO DO DIKE EM RELACAO A Origem";
480 INPUT H1
490 PRINT "POSICAO HORIZONTAL",H1
500 A0=A1*PI/180
510 B0=B1*PI/180
520 I0=I1*PI/180
530 GOSUB Funcao
540 FOR I=1 TO N
550 Fc(I)=Faux(I)
560 NEXT I
570 PRINT "Xc(I)           Fc(I)"
580 FOR I=1 TO N
590 PRINT Xc(I),Fc(I)
600 NEXT I
610 PAUSE
620 GOTO 890
630 Funcao:

```

```

640 S=SIN(A0)
650 T1=S*SIN(2*I0)+SIN(B0)+COS(A0)*(SIN(I0)^2-COS(I0)^2*SIN(B0)^2)
660 T2=S*(SIN(I0)^2-COS(I0)^2*SIN(B0)^2)-COS(A0)*SIN(B0)*SIN(2*I0)
670 T3=2*Kt*SIN(A0)
680 FOR I=1 TO N
690 R1=SQR(D0^2+(H1-Xc(I)-.5*B)^2)
700 R3=SQR(D0^2+(H1-Xc(I)+.5*B)^2)
710 IF Xc(I)<>H1-.5*B THEN 740
720 F1=PI/2
730 GOTO 790
740 IF Xc(I)<>H1+.5*B THEN 780
750 F3=PI/2
760 F1=ATN(D0/(H1-Xc(I)-.5*B))
770 GOTO 800
780 F1=ATN(D0/(H1-Xc(I)-.5*B))
790 F3=ATN(D0/(H1-Xc(I)+.5*B))
800 IF Xc(I)>H1-.5*B THEN 820
810 GOTO 870
820 IF Xc(I)>H1+.5*B THEN 850
830 F1=PI+F1
840 GOTO 870
850 F1=PI+F1
860 F3=PI+F3
870 Faux(I)=T3*(T1*LOG(R3/R1)+T2*(F1-F3))+Datum
880 NEXT I
890 RETURN
900 U1=-10^15
910 V1=10^15
920 U=-10^15
930 V=10^15
940 FOR I=1 TO N
950 IF Fobs(I)<U1 THEN 970
960 U1=Fobs(I)
970 IF Fobs(I)>V1 THEN 990
980 V1=Fobs(I)
990 IF Fc(I)<U THEN 1010
1000 U=Fc(I)
1010 IF Fc(I)>V THEN 1030
1020 V=Fc(I)
1030 NEXT I
1040 PRINT "PROGRAMA PARA GRAFICAR OS DADOS"
1050 INPUT "# DA FIGURA",Fi
1060 PRINT "Fobs(min)=",V1,"Fobs(max)=",U1
1070 PRINT "Fc(min)=",V,"Fc(max)=",U
1080 INPUT "Ymin,Ymax",Ymin,Ymax
1090 PRINT "Xmin=",X1,"Xmax=",X2
1100 PRINT "Ymin=",Ymin,"Ymax=",Ymax
1110 DISP "QUERES PROGRAMA Interpolacao,SIM=1";
1120 INPUT Y9
1130 IF Y9<>1 THEN 1260
1140 IF Int<>0 THEN 1180
1150 Int=1
1160 PRINT "ESTA CARREGANDO O PROGRAMA Spline NA MEMORIA"
1170 LINK "Spline",4000,1180
1180 DISP "NUM.DE PTOS. INTERPOLADOS";
1190 INPUT L9
1200 Xc1(1)=Xc(1)
1210 H9=(Xc(N)-Xc(1))/L9
1220 FOR I=2 TO L9
1230 Xc1(I)=Xc1(I-1)+H9
1240 NEXT I
1250 CALL Spline(N,L9,X(*),Fc(*),X1(*),Fc1(*),D(*),Int,1E-6)
1260 DISP "DISTANCIAS DAS ESTACOES EXTREMAS(SW,NE)EM RELACAO A L.B.";

```

```

1270 INPUT S0,Na
1280 Lb=Sw
1290 Grafico: !
1300 PLOTTER IS "GRAPHICS"
1310 GRAPHICS
1320 CLIP 8.3,115.2,0,100
1330 FRAME
1340 LOCATE 20.3,105.2,50,90
1350 FRAME
1360 SCALE 0,Xc(N),Ymin,Ymax
1370 AXES 0,Datum
1380 LORG 5
1390 FOR I=1 TO N
1400 X=Xobs(I)
1410 Y=Fobs(I)
1420 MOVE X,Y
1430 LABEL "X"
1440 NEXT I
1450 MOVE X(1),Fc(1)
1460 IF Y9<>1 THEN 1510
1470 FOR I=1 TO L9
1480 DRAW Xc1(I),Fc1(I)
1490 NEXT I
1500 GOTO 1540
1510 FOR I=1 TO N
1520 DRAW Xc(I),Fc(I)
1530 NEXT I
1540 A=.1*Ymin
1550 E=-.05*Xc(N)
1560 C=.06*Xc(N)
1570 AXES Xc(N),10,0,Ymin,Xc(N),Ymax-Ymin
1580 MOVE E,Ymax
1590 LABEL Ymax
1600 MOVE E,Datum
1610 LABEL "0"
1620 MOVE E,Ymin+10
1630 LABEL Ymin+10
1640 IF ABS(Ymin)>100 THEN 1670
1650 MOVE 50,Ymax-A
1660 GOTO 1680
1670 MOVE 50,Ymax-.75*A
1680 LABEL "Gamma"
1690 IF ABS(Ymin)<70 THEN 1780
1700 IF ABS(Ymin)>100 THEN 1730
1710 MOVE .75*Xc(N),Ymin+15+A
1720 GOTO 1790
1730 IF ABS(Ymin)>110 THEN 1760
1740 MOVE .75*Xc(N),Ymin+18+A
1750 GOTO 1790
1760 MOVE .75*Xc(N),Ymin+22+A
1770 GOTO 1790
1780 MOVE .75*Xc(N),Ymin+10+A
1790 LABEL "Superficie"
1800 LOCATE 20.3,105.2,10,50
1810 FRAME
1820 SCALE 0,Xc(N),Ymin,Ymax
1830 LORG 5
1840 AXES Em,Ymax-Ymin,0,Ymin,2,-Ymin
1850 MOVE 0,Ymin+A
1860 LABEL Sw
1870 MOVE C,Ymin+A
1880 LABEL "SW"
1890 MOVE Lb,Ymin+A

```

```

1900 LABEL "0"
1910 IF Lb<=8 THEN 1940
1920 MOVE Lb+1.4*Em,Ymin+A
1930 GOTO 1950
1940 MOVE Lb+1.25*Em,Ymin+A
1950 LABEL "=L.B."
1960 MOVE Xc(N)-.001*Xc(N),Ymin+A
1970 LABEL Ne
1980 MOVE Xc(N)+C,Ymin+A
1990 LABEL "NE"
2000 MOVE Xc(N)+.035*Xc(N),Ymin-A/2
2010 LABEL "m"
2020 GOTO 2050
2030 MOVE Lb+.025*Lb,Ymin-.1*Ymin
2040 LABEL "L.B."
2050 L1=84.9*100/Xc(N)
2060 L2=40*100/(Ymax-Ymin)
2070 Fac=L1/L2
2080 MOVE H1+B/2,Ymax-D0
2090 DRAW H1-B/2,Ymax-D0
2100 MOVE H1-B/2,Ymax-D0
2110 X=-8000*COS(A0)+(H1-B/2)
2120 Y=-8000*SIN(A0)*Fac-D0
2130 PLOT X,Y,-1
2140 MOVE H1+B/2,Ymax-D0
2150 X=-2000*COS(A0)+(H1+B/2)
2160 Y=-2000*SIN(A0)*Fac+Ymax-D0
2170 DRAW X,Y
2180 AXES Xc(N),10,0,Ymin
2190 MOVE E,Ymax
2200 LABEL "0"
2210 MOVE E,Ymin+10
2220 LABEL Ymax-Ymin-10
2230 MOVE -E,Ymin+10
2240 LABEL "m"
2250 BEEP
2260 PAUSE
2270 EXIT GRAPHICS
2280 INPUT "GRAFICO NA IMPRESSORA,SIM=1",Cgra
2290 IF Cgra<>1 THEN 2350
2300 INPUT "GRAFICO FINAL,SIM=1",Gf
2310 IF Gf=1 THEN 2400
2320 PRINTER IS 0
2330 PRINT "Fobs(min)=",V1,"Fobs(max)=",U1
2340 PRINT "Fc(min)=",V,"Fc(max)=",U
2350 PRINT "F0=",F0,"BETA=",B1,"INCLINACAO=",I1
2360 PRINT "DIP=",A1,"SUSCETIBILIDADE=",K,"DEPTH=",D0,"ESPESSURA=",B
2370 PRINT "HORIZONTAL LOCATION=",H1,"DATUM=",Datum
2380 PRINTER IS 16
2390 IF Cgra<>1 THEN 330
2400 DUMP GRAPHICS
2410 IF Gf<>1 THEN 330
2420 PLOTTER IS "GRAPHICS"
2430 GRAPHICS
2440 CLIP 8.3,115.2,35,100
2450 FRAME
2460 LOCATE 8.3,115.2,35,100
2470 FRAME
2480 SCALE 0,100,0,100
2490 MOVE 10,90
2500 LABEL "VALORES CONSTANTES"
2510 MOVE 10,85
2520 IMAGE "Fo=",M5D,"gammas",5X,"Io=",M1D,12X,"Bo=",M2D.1D

```

```
2530 LABEL USING 2520;F0,180/PI*10,180/PI*B0
2540 MOVE 56.5,86
2550 LABEL "o"
2560 MOVE 93.5,86
2570 LABEL "o"
2580 MOVE 10,75
2590 LABEL "PARAMETROS FINAIS"
2600 MOVE 15.5,77.5
2610 LABEL "^^"
2620 MOVE 10,69
2630 IMAGE " A=",M2D,14X," k=",M.4D," G/Oe",4X,"h=",M2D.1D,"m"
2640 LABEL USING 2630;180/PI*A0,K,D0
2650 MOVE 10,71.5
2660 LABEL " ^"
2670 MOVE 21,70.3
2680 LABEL "o"
2690 MOVE 10,64
2700 IMAGE " b=",M2D.1D," m",10X,"X1=",M2D.1D," m"
2710 LABEL USING 2700;B,H1-Lb
2720 MOVE 50,40
2730 LABEL "LEGENDA"
2740 MOVE 50,35
2750 LABEL "x x x"
2760 MOVE 65,35
2770 LABEL "DADOS DE CAMPO"
2780 MOVE 50,30
2790 PLOT 58.5,30,-1
2800 MOVE 65,30
2810 LABEL "CURVA CALCULADA"
2820 MOVE 11,10
2830 LABEL "FIG.  "
2840 MOVE 17.5,10
2850 LABEL Fi
2860 MOVE 23,10
2870 LABEL "-INTERPRETACAO MAGNETICA DO PERFIL"
2880 MOVE 85,10
2890 LABEL Pe
2900 MOVE 90,10
2910 IF Pe=1 THEN 2980
2920 P1=INT(Pe/10)
2930 P1=10*P1
2940 IF P1<>Pe THEN 2980
2950 MOVE 91,10
2960 LABEL "A."
2970 GOTO 2990
2980 LABEL "."
2990 MOVE 45.25,12.5
3000 LABEL "~"
3010 MOVE 43.5,9.5
3020 LABEL ","
3030 MOVE 58.5,12
3040 LABEL "/"
3050 MOVE 25,4.5
3060 LABEL "AREA CHEGA TUDO."
3070 MOVE 25.7,6.3
3080 LABEL "/*"
3090 BEEP
3100 PAUSE
3110 EXIT GRAPHICS
3120 DUMP GRAPHICS
3130 GOTO 90
3140 END
```

## 9 APÊNDICE 2

A teoria das imagens é amplamente utilizada no modelamento devido a sua simplicidade e ao fácil controle na precisão dos resultados. Mesmo sendo muito limitada em relação a corpos de forma complexa, é muito útil no modelamento de algumas estruturas geológicas comuns na natureza: contacto vertical, corpo tabular vertical e camada horizontal simples.

O programa "FILÃO" utiliza a técnica de tentativa e erro (método direto), aplicado aos caminhamentos Wenner e Half-Schlumberger, podendo facilmente ser estendido a qualquer outro arranjo eletro-resistivo. O fluxograma (Fig. 45) apresenta como características principais:

a) entrada dos dados de campo, colocando as posições horizontais e as correspondentes leituras de resistividades aparentes, nos vetores  $Xobs(I)$  e  $Robs(I)$ ;

b) entrada dos parâmetros iniciais do modelo direto: resistividade dos três meios ( $R1$ ,  $R2$  e  $R3$ ), posições das duas fases do prisma em relação à origem de cálculo ( $X1$ ,  $X2$ ), a qual está localizada no extremo esquerdo dos perfis (Fig. 18);

c) escolha do arranjo: Wenner ou Half-Schlumberger;

d) determinarm-se as posições de cálculos, armazenando-as no vetor  $Xc(I)$ ;

e) em cada posição de  $Xc(I)$  são calculados quatro potenciais  $V_{AM}$ ,  $V_{AN}$ ,  $V_{BM}$  e  $V_{BN}$ , através da sub-rotina "Potencial", cuja soma algébrica é armazenada no vetor  $V(I)$ ;

f) a sub-rotina "Potencial", dependendo das posições relativas entre os eletrodos de corrente (A,B) e dos potenciais (M, N) dentro da estrutura (meios um, dois ou três), escolhe uma sub-rotina (Um-um, Dois-dois, Três-três, Um-dois, Um-três, Dois-três), que fornece a equação de potencial correspondente. Por exemplo, a equação "Um-três" corresponde ao eletrodo de corrente no meio um e o de potencial no meio três ou vice-versa;

g) calcula-se a resistividade aparente correspondente a cada posição de  $Xc(I)$ , armazenando-a no vetor  $Res(I)$ ;

h) imprime-se duas tabelas: uma de  $Xobs(I)$  e  $Robs(I)$  e a

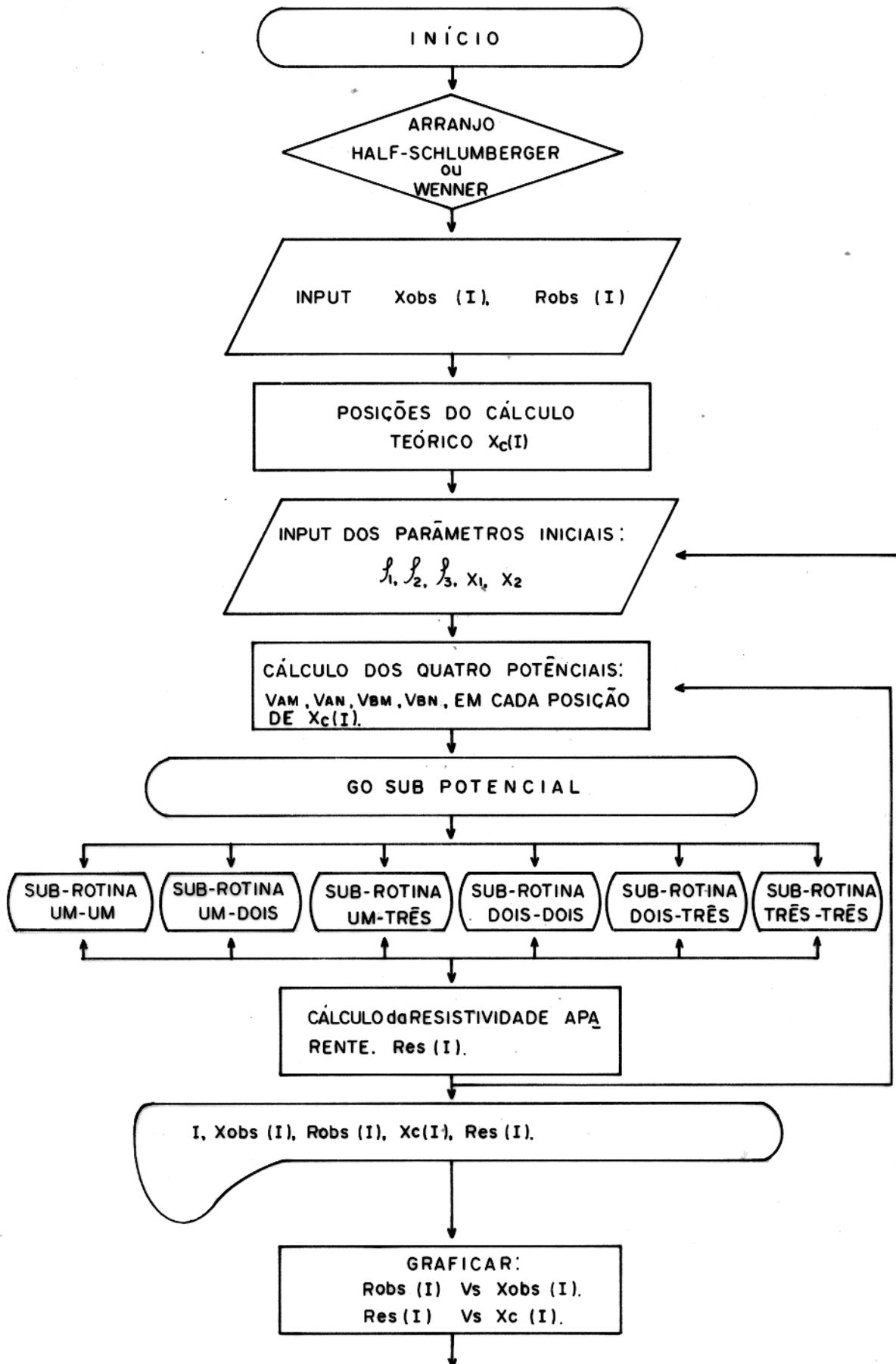


FIG. 45 - FLUXÓGRAMA DO PROGRAMA "FILÃO".

outra de  $X_c(I)$  e  $Res(I)$ ;

i) calculam-se os valores máximos e mínimos dos vetores  $R_{obs}(I)$  e  $Res(I)$ ;

j) constroem-se dois gráficos:  $R_{obs}(I)$  versus  $X_{obs}(I)$  e  $Res(I)$  versus  $X_c(I)$ ;

l) o processo é iterativo e volta ao item (b), até o melhor ajuste das curvas quando, então, são obtidos os parâmetros finais do corpo.

```

10  OPTION BASE 1
20  DIM X(100),Res(100),Xobs(100),Robs(100),V(100),Rc1(100)
30  DIM Rc2(100),R1(100),R2(100),X1(800),Fc1(800),D(100)
40  REM XXXX NOME DO PROGRAMA XXX"MFILAO=HS-W"XXX
50  REM PROGRAMA DIRETO DE CAMINHAMENTO ELETRICO PERPENDICULAR AO
60  REM "STRIKE" DE UM PRISMA VERTICAL AFLORANTE.
70  Int=0
80  PRINT "ENTRADA DE DADOS DE CAMPO: OHM-Metros"
90  INPUT "Caminhamento HALF-SCHLUMBERGER=1,WENNER=0",Hs
100 INPUT "Dados de CAMPO:Area-1=1,Area-2=2,Area-3=3",L0
110 INPUT "# DO PERFIL",Pe
120 IF Hs=1 THEN 160
130 PRINT "ENTRADA DOS DADOS DE CAMPO WENNER NO SENTIDO OESTE-ESTE"
140 Cam=1
150 GOTO 170
160 INPUT "Caminhamento no campo:ESTE-OESTE(0);OESTE-ESTE(1)",Cam
170 INPUT "# DE Medidas e Espacamento de Campo",Nc,Sc
180 IF Cam<>0 THEN 210
190 PRINT "Entrada dos dados:ESTE-OESTE"
200 GOTO 220
210 PRINT "Entrada dos dados:OESTE-ESTE"
220 PRINT "PERFIL",Pe
230 PRINT "I          Xobs(I)          Robs(I)"
240 FOR I=1 TO Nc
250 Xobs(I)=(I-1)*Sc
260 DISP "R(aparente) de campo",I;
270 INPUT Robs(I)
280 IF Cam<>0 THEN 310
290 Rc1(Nc-(I-1))=Robs(I)
300 Rc2(I)=Robs(I)
310 PRINT I,Xobs(I),Robs(I)
320 NEXT I
330 INPUT "QUERES CORREGIR DADOS,SIM=1",Si
340 IF Si<>1 THEN 360
350 GOTO 220
360 X3=Sc*(Nc-1)
370 REM Eb=0:ARRANJO HS COM ELETRODO B A ESQUERDA DA ORIGEM
380 REM Eb=1:ARRANJO WENNER. ELETRODO B NA FRENTE DO CAMINHAMENTO
390 IF Hs<>1 THEN 460
400 Eb=0
410 Wi=0
420 INPUT "Posicao CONSTANTE do eletrodo B a ESQUERDA da ORIGEM",Xb
430 INPUT "Distancia AM-MN no arranjo HALF-SCHLUMBERGER",Am1,Mn
440 An1=Am1+Mn
450 GOTO 520
460 Eb=1
470 Wi=0
480 INPUT "Distancia AB e MN do Arranjo WENNER",Ab,Mn
490 Am1=Ab/2-Mn/2
500 An1=Ab/2+Mn/2
510 K=PI/(1/Am1-1/An1)
520 PRINT "ENTRADA DOS Parametros do modelo Direto"
530 INPUT "Resistencia no meio 1,2 e 3",R1,R2,R3
540 INPUT "Posicoes das faces do prisma em relacao a origem",X1,X2
550 T=X2-X1
560 K21=(R2-R1)/(R2+R1)
570 K23=(R2-R3)/(R2+R3)
580 REM NUMERO DE PONTOS A CALCULAR:N
590 N=Nc
600 Em=X3/(N-1)
610 M=100
620 Alfa=10^(-5)
630 REM CALCULO DOS PARAMETROS DO MODELO

```

```

640 FOR L=1 TO N
650 IF Hs<>1 THEN 750
660 Xa=(L-1)*Em-Am1/2
670 Xm=Xa+Am1
680 Xn=Xa+An1
690 X(L)=Xa+Am1/2
700 Dba=Xa-Xb
710 Bm1=Dba+Am1
720 Bn1=Bm1+Mn
730 K=2*PI/(1/Am1-1/Bm1-1/An1+1/Bn1)
740 GOTO 800
750 Xa=(L-1)*Em-Ab/2
760 Xb=Xa+Ab
770 Xm=Xa+Am1
780 Xn=Xa+An1
790 X(L)=Xa+Ab/2
800 C=0
810 REM CALCULO DO POTENCIAL A em M
820 V1=V2=V3=V4=V5=V6=0
830 A=Xa
840 M1=Xm
850 F=Am1
860 GOSUB Potencial
870 Am=V1+V2+V3+V4+V5+V6
880 REM CALCULO DO POTENCIAL A em N
890 V1=V2=V3=V4=V5=V6=0
900 M1=Xn
910 F=An1
920 GOSUB Potencial
930 An=V1+V2+V3+V4+V5+V6
940 REM CALCULO DO POTENCIAL B em M
950 C=1
960 V1=V2=V3=V4=V5=V6=0
970 IF Eb<>0 THEN 1020
980 A=Xb
990 M1=Xm
1000 F=Bm1
1010 GOTO 1050
1020 M1=Xb
1030 A=Xm
1040 F=An1
1050 GOSUB Potencial
1060 Bm=V1+V2+V3+V4+V5+V6
1070 REM CALCULO DO POTENCIAL B em N
1080 V1=V2=V3=V4=V5=V6=0
1090 IF Eb<>0 THEN 1130
1100 M1=Xn
1110 F=Bn1
1120 GOTO 1150
1130 A=Xn
1140 F=Am1
1150 GOSUB Potencial
1160 Bn=V1+V2+V3+V4+V5+V6
1170 REM CALCULO DA RESISTIVIDADE APARENTE
1180 V(L)=Am-An-Bm+Bn
1190 Res(L)=V(L)*K/(2*PI)*R1
1200 IF Cam<>0 THEN 1230
1210 R1(N-(L-1))=Res(L)
1220 R2(L)=Res(L)
1230 NEXT L
1240 GOTO 2870
1250 REM SUBROTINA POTENCIAL
1260 Potencial: !

```

```

1270 IF A>X1 THEN 1310
1280 IF M1>X1 THEN 1370
1290 GOSUB Umum
1300 GOTO 1430
1310 IF A>X2 THEN 1350
1320 IF M1>X2 THEN 1400
1330 GOSUB Doisdois
1340 GOTO 1430
1350 GOSUB Trestres
1360 GOTO 1430
1370 IF M1>X2 THEN 1420
1380 GOSUB Umdois
1390 GOTO 1430
1400 GOSUB Doistres
1410 GOTO 1430
1420 GOSUB Umtres
1430 RETURN
1440 REM SUBROTINA UM UM
1450 Umum: !
1460 Eq=11
1470 IF C<>0 THEN 1500
1480 D=X1-Xa
1490 GOTO 1540
1500 IF Eb<>0 THEN 1530
1510 D=X1-Xb
1520 GOTO 1540
1530 D=X1-Xb+F
1540 Temp=W1=0
1550 FOR I=1 TO M
1560 W1=W1+(K21*K23)^(I-1)/(2*(I-1+1)*T+2*D-F)
1570 IF ABS(W1-Temp)<=Alfa THEN 1600
1580 Temp=W1
1590 NEXT I
1600 W2=K23*(1-K21^2)*W1
1610 V1=1/F+K21/(2*D-F)-W2
1620 RETURN
1630 REM SUBROTINA DOIS DOIS
1640 Doisdois: !
1650 Eq=22
1660 IF C<>0 THEN 1690
1670 D=Xa-X1
1680 GOTO 1700
1690 D=Xb-X1-F
1700 K1=K21*K23
1710 W1=W2=W3=W4=Temp=0
1720 FOR I=1 TO M
1730 M0=I-1
1740 W1=W1+K1^M0/(2*(M0+1)*T+F)
1750 IF ABS(W1-Temp)<=Alfa THEN 1780
1760 Temp=W1
1770 NEXT I
1780 Temp=0
1790 FOR I=1 TO M
1800 M0=I-1
1810 W2=W2+K1^M0/(2*(M0+1)*T-F)
1820 IF ABS(W2-Temp)<=Alfa THEN 1850
1830 Temp=W2
1840 NEXT I
1850 Temp=0
1860 FOR I=1 TO M
1870 M0=I-1
1880 W3=W3+K1^M0/(2*M0*T+2*D+F)
1890 IF ABS(W3-Temp)<=Alfa THEN 1920

```

```

1900 Temp=W3
1910 NEXT I
1920 Temp=0
1930 FOR I=1 TO M
1940 M0=I-1
1950 W4=W4+K1^M0/(2*(M0+1)*T-2*D-F)
1960 IF ABS(W4-Temp)<=Alfa THEN 1990
1970 Temp=W4
1980 NEXT I
1990 V2=(1+K21)/(1-K21)*(1/F+K1*(W1+W2)-K21*W3-K23*W4)
2000 RETURN
2010 REM SUBROTINA TRES TRES
2020 Trestres: !
2030 Eq=33
2040 IF C<>0 THEN 2070
2050 D=Xa-X1
2060 GOTO 2080
2070 D=Xb-X1-F
2080 W1=Temp=0
2090 FOR I=1 TO M
2100 M0=I-1
2110 W1=W1+(K21*K23)^M0/(2*M0*T+2*D+F)
2120 IF ABS(W1-Temp)<=Alfa THEN 2150
2130 Temp=W1
2140 NEXT I
2150 W2=1/F+K23/(2*(D-T)+F)-K21*(1-K23^2)*W1
2160 W3=(1+K21)*(1-K23)/((1-K21)*(1+K23))
2170 V3=W3*W2
2180 RETURN
2190 REM SUBROTINA UM DOIS
2200 Umdois: !
2210 Eq=12
2220 IF C<>0 THEN 2250
2230 D=X1-Xa
2240 GOTO 2290
2250 IF Eb<>0 THEN 2280
2260 D=X1-Xb
2270 GOTO 2290
2280 D=X1-Xb+F
2290 Temp=0
2300 W1=W2=0
2310 FOR I=1 TO M
2320 W1=W1+(K21*K23)^(I-1)/(2*(I-1)*T+2*D-F)
2330 IF ABS(W1-Temp)<=Alfa THEN 2360
2340 Temp=W1
2350 NEXT I
2360 Temp=0
2370 FOR I=1 TO M
2380 W2=W2+(K21*K23)^(I-1)/(2*(I-1)*T+F)
2390 IF ABS(W2-Temp)<=Alfa THEN 2420
2400 Temp=W2
2410 NEXT I
2420 V4=(1+K21)*W2-K23*(1+K21)*W1
2430 RETURN
2440 REM SUBROTINA DOIS TRES
2450 Doistres: !
2460 Eq=23
2470 IF C<>0 THEN 2500
2480 D=Xa-X1
2490 GOTO 2510
2500 D=Xb-X1-F
2510 K1=K21*K23
2520 Temp=0

```

```

2530 W1=W2=0
2540 FOR I=1 TO M
2550 M0=I-1
2560 W1=W1+K1^M0/(2*M0*T+F)
2570 IF ABS(W1-Temp)<=Alfa THEN 2600
2580 Temp=W1
2590 NEXT I
2600 Temp=0
2610 FOR I=1 TO M
2620 M0=I-1
2630 W2=W2+K1^M0/(2*M0*T+2*D+F)
2640 IF ABS(W2-Temp)<=Alfa THEN 2670
2650 Temp=W2
2660 NEXT I
2670 V5=(1+K21)/(1-K21)*((1-K23)*W1-K21*(1-K23)*W2)
2680 RETURN
2690 REM SUBROTINA UM TRES
2700 Umtres: !
2710 Eq=13
2720 IF C<>0 THEN 2750
2730 D=X1-Xa
2740 GOTO 2790
2750 IF Eb<>0 THEN 2780
2760 D=X1-Xb
2770 GOTO 2790
2780 D=Xb-X1
2790 Temp=W1=0
2800 FOR I=1 TO M
2810 W1=W1+(K21*K23)^(I-1)/(2*(I-1)*T+F)
2820 IF ABS(W1-Temp)<=Alfa THEN 2850
2830 Temp=W1
2840 NEXT I
2850 V6=(1+K21)*(1-K23)*W1
2860 RETURN
2870 PRINT " I      V(I)      Xobs(I)=X(I)      Rcampo(I)      Rmodelo(I)"
2880 IMAGE M2D, M4D, 3D, 5X, M3D, 3X, M9D, 2D, 4X, M5D, 2D
2881 N=10
2890 FOR I=1 TO N
2900 PRINT USING 2880; I, V(I), X(I), Robs(I), Res(I)
2910 NEXT I
2920 BEEP
2930 PAUSE
2940 Uc=1E15
2950 Vc=-1E15
2960 U0=1E15
2970 V0=-1E15
2980 FOR I=1 TO Nc
2990 IF Robs(I)>Uc THEN 3010
3000 Uc=Robs(I)
3010 IF Robs(I)<Vc THEN 3030
3020 Vc=Robs(I)
3030 IF Res(I)>U0 THEN 3050
3040 U0=Res(I)
3050 IF Res(I)<V0 THEN 3070
3060 V0=Res(I)
3070 NEXT I
3080 PRINT "PROGRAMA PARA PLOTAR OS DADOS"
3090 INPUT "# DA FIGURA", Fi
3100 PRINT "Robs(I)min=", Uc, "Robs(I)max=", Vc
3110 PRINT "Rmodelo(I)min=", U0, "Rmodelo(I)max=", V0
3120 INPUT "Ymin, Ymax", Y1, Y2
3130 Final=0
3140 DISP "DISTANCIAS DAS ESTACOES EXTREMA(SW,NE) EM RELACAO A L.B.";
3150 INPUT Sw, Ne

```

```
3160 Lb=Sw
3170 Ymin=-12
3180 Ymax=0
3190 Grafico: !
3200 Y1=-500
3210 Xi=Xobs(1)
3220 Xf=Xobs(Nc)
3230 PLOTTER IS "GRAPHICS"
3240 GRAPHICS
3250 CLIP 8.3,115.2,0,100
3260 FRAME
3270 LOCATE 20.3,105.2,50,90
3280 FRAME
3290 SCALE Xi,Xf,Y1,Y2
3300 AXES 0,0
3310 LORG 5
3320 MOVE 0,0
3330 FOR I=1 TO Nc
3340 X=Xobs(I)
3350 Y=Robs(I)
3360 MOVE X,Y
3370 LABEL "X"
3380 NEXT I
3390 MOVE X(1),Res(1)
3400 FOR I=1 TO N
3410 DRAW X(I),Res(I)
3420 NEXT I
3430 IF R2<=2500 THEN 3460
3440 A2=.5*Y1
3450 GOTO 3470
3460 A2=.25*Y1
3470 E0=-.08*Xf
3480 C0=.06*Xf
3490 IF Final<>1 THEN 3740
3500 AXES Xf,250,0,0
3510 MOVE E0,Y2
3520 LABEL Y2
3530 MOVE -.04*Xf,0
3540 LABEL "0"
3550 IF R2>1000 THEN 3580
3560 MOVE X3/Nc,Y2-.75*A2
3570 GOTO 3650
3580 IF R2<=2500 THEN 3640
3590 IF R2<4000 THEN 3620
3600 MOVE X3/Nc,Y2-A2
3610 GOTO 3650
3620 MOVE X3/Nc,Y2-.5*A2
3630 GOTO 3650
3640 MOVE X3/Nc,Y2-A2
3650 LABEL "Ohm-m"
3660 IF R2<=2500 THEN 3720
3670 IF R2<=3600 THEN 3700
3680 MOVE .75*Xf,Y1+500+A2
3690 GOTO 3730
3700 MOVE .75*Xf,Y1+400+A2
3710 GOTO 3730
3720 MOVE .75*Xf,Y1+200+A2
3730 LABEL "Superficie"
3740 LOCATE 20.3,105.2,10,50
3750 FRAME
3760 SCALE Xi,Xf,Ymin,Ymax
3770 LORG 5
3780 A5=.075*Ymin
```

```

3790 IF Final<>1 THEN 5360
3800 AXES Sc,2,0,Ymin,Xf,2
3810 MOVE E0/2.5,Ymin+A5
3820 LABEL Sw
3830 MOVE C0,Ymin+A5
3840 LABEL "SW"
3850 MOVE Lb,Ymin+A5
3860 LABEL "0"
3870 MOVE X(N)-.03*X(N),Ymin+A5
3880 LABEL Ne
3890 MOVE X(N)+C0,Ymin+A5
3900 LABEL "NE"
3910 MOVE X(N)+.035*X(N),Ymin-A5/2
3920 LABEL "m"
3930 MOVE Lb,Ymin
3940 DRAW Lb,Ymin-.0375*Ymin
3950 IF L0<>3 THEN 3990
3960 MOVE Lb+.01*Lb,Ymin-.075*Ymin
3970 LABEL "L.B.Aux."
3980 GOTO 4010
3990 MOVE Lb+.01*Lb,Ymin-.075*Ymin
4000 LABEL "L.B."
4010 MOVE .5*E0,Ymax
4020 LABEL "0"
4030 MOVE .5*E0,Ymin+2
4040 LABEL Ymax-Ymin-2
4050 MOVE -.5*E0,Ymin+2
4060 LABEL "m"
4070 MOVE X1,Ymax
4080 DRAW X1,-10
4090 MOVE X2,Ymax
4100 DRAW X2,-10
4110 MOVE X1/2,-5
4120 LABEL "R1"
4130 MOVE X1+T/2,-5
4140 LABEL "R2"
4150 MOVE X2+(X3-X2)/2,-5
4160 LABEL "R3"
4170 BEEP
4180 PAUSE
4190 EXIT GRAPHICS
4200 DUMP GRAPHICS
4210 PLOTTER IS "GRAPHICS"
4220 GRAPHICS
4230 CLIP 8.3,115.2,35,100
4240 FRAME
4250 LOCATE 8.3,115.2,35,100
4260 FRAME
4270 SCALE 0,100,0,100
4280 MOVE 10,90
4290 LABEL "VALORES CONSTANTES"
4300 MOVE 10,85
4310 IF Hs<>1 THEN 4350
4320 IMAGE "AC=",M2D,"m",12X,"MN=",M1D,"m",9X,"Em=",M2D,"m"
4330 LABEL USING 4320;Am1+Mn/2,Mn,Em
4340 GOTO 4370
4350 IMAGE "AB=",M2D,"m",12X,"MN=",M2D,"m",9X,"Em=",M2D,"m"
4360 LABEL USING 4350;Ab,Mn,Em
4370 MOVE 10,80
4380 IMAGE " N=",M2D,"pontos"
4390 LABEL USING 4380;N
4400 MOVE 10,70
4410 LABEL "PARAMETROS FINAIS"

```

```
4420 MOVE 15.5,72.5
4430 LABEL "a"
4440 IF Hs<>1 THEN 4470
4450 MOVE 10,65
4460 GOTO 4480
4470 MOVE 8,65
4480 IMAGE "R1="M3D,"ohm-m",7X,"R2="M4D,"ohm-m",3X,"R3="M3D,"ohm-m"
4490 LABEL USING 4480;R1,R2,R3
4500 MOVE 10,60
4510 IMAGE "b="M3D.1D,"m"
4520 LABEL USING 4510;T
4530 MOVE 50,40
4540 LABEL "LEGENDA"
4550 MOVE 50,35
4560 LABEL "x x x"
4570 MOVE 65,35
4580 LABEL "DADOS DE CAMPO"
4590 MOVE 50,30
4600 PLOT 58.5,30,-1
4610 MOVE 65,30
4620 LABEL "CURVA CALCULADA"
4630 IF Hs<>1 THEN 4960
4640 MOVE 4,10
4650 LABEL "FIG. "
4660 MOVE 9.5,10
4670 LABEL Fi
4680 MOVE 17,10
4690 LABEL "-INTERPRETACAO HALF-SCLUMBERGER DO PERFIL"
4700 MOVE 92,10
4710 IF Pe>0 THEN 4740
4720 LABEL -Pe
4730 GOTO 4750
4740 LABEL Pe
4750 IF Pe>0 THEN 4790
4760 MOVE 95.75,10
4770 LABEL "A."
4780 GOTO 4810
4790 MOVE 97,10
4800 LABEL "."
4810 MOVE 39.25,12.5
4820 LABEL "~"
4830 MOVE 37.5,9.5
4840 LABEL ","
4850 MOVE 19.5,4.5
4860 IF L0<>3 THEN 4890
4870 LABEL "AREA CHEGATUDINHO."
4880 GOTO 4930
4890 IF L0<>1 THEN 4920
4900 LABEL "AREA MINA VELHA."
4910 GOTO 4930
4920 LABEL "AREA ENCRENCA."
4930 MOVE 19.7,6.3
4940 LABEL "/"
4950 GOTO 5200
4960 MOVE 14,10
4970 LABEL "FIG. "
4980 MOVE 19.5,10
4990 LABEL Fi
5000 MOVE 25,10
5010 LABEL "-INTERPRETACAO WENNER DO PERFIL"
5020 MOVE 82,10
5030 LABEL Pe
5040 MOVE 87,10
```

```
5050 LABEL "1."
5060 MOVE 47.25,12.5
5070 LABEL "2"
5080 MOVE 45.6,9.5
5090 LABEL "3,"
5100 MOVE 27.5,4.5
5110 IF L0<>3 THEN 5140
5120 LABEL "AREA CHEGATUDINHO."
5130 GOTO 5180
5140 IF L0<>1 THEN 5170
5150 LABEL "AREA MINA VELHA."
5160 GOTO 5180
5170 LABEL "AREA ENCRENCA."
5180 MOVE 27.7,6.3
5190 LABEL "4"
5200 EXIT GRAPHICS
5210 DUMP GRAPHICS
5220 Final=0
5230 Wi=0
5240 IF Cam<>0 THEN 80
5250 X1=Tem1
5260 X2=Tem2
5270 R1=Tem3
5280 R3=Tem4
5290 FOR I=1 TO Nc
5300 Robs(I)=Rc2(I)
5310 NEXT I
5320 FOR I=1 TO N
5330 Res(I)=R2(I)
5340 NEXT I
5350 GOTO 80
5360 IF Cam<>1 THEN 5420
5370 MOVE 0,Ymin+A5
5380 LABEL "OESTE"
5390 MOVE X(N)-.001*X(N),Ymin+A5
5400 LABEL "ESTE"
5410 GOTO 5460
5420 MOVE 0,Ymin+A5
5430 LABEL "ESTE"
5440 MOVE X(N)-.001*X(N),Ymin+A5
5450 LABEL "OESTE"
5460 MOVE 1/3*X3,-11.5
5470 IF Hs<>1 THEN 5500
5480 LABEL "ARRANJO HALF-SCHLUMBERGER"
5490 GOTO 5510
5500 LABEL "ARRANJO WENNER"
5510 MOVE X1,Ymax
5520 DRAW X1,-10
5530 MOVE X2,Ymax
5540 DRAW X2,-10
5550 BEEP
5560 PAUSE
5570 EXIT GRAPHICS
5580 INPUT "DESEJA GRAFICO FINAL,SIM=1",Final
5590 IF Final<>1 THEN 5770
5600 Wi=1
5610 IF Cam<>0 THEN 3190
5620 Tem1=X1
5630 Tem2=X2
5640 X1=X3-X2
5650 X2=X3-Tem1
5660 Tem3=R1
5670 Tem4=R3
```

```
5680 R1=R3
5690 R3=Ten3
5700 FOR I=1 TO Nc
5710 Robs(I)=Rc1(I)
5720 NEXT I
5730 FOR I=1 TO N
5740 Res(I)=R1(I)
5750 NEXT I
5760 GOTO 3190
5770 INPUT "DESEJA COPIA NA IMPRESSORA, SIM=1",Cp
5780 IF Cp<>1 THEN 5830
5790 PRINTER IS 0
5800 PRINT "X1=",X1,"X2=",X2
5810 DUMP GRAPHICS
5820 GOTO 5840
5830 GCLEAR
5840 PRINT "
"
5850 PRINT "XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX"
5860 PRINT USING 4480;R1,R2,R3
5870 PRINT "-----"
5880 IMAGE "X1="M5D.2D,"m",5X,"X2="M5D.2D,"m"
5890 PRINT USING 5880;X1,X2
5900 PRINT "-----"
5910 IMAGE "T="M5D.2D,"m",8X,"N="M2D,"pontos"
5920 PRINT USING 5910;T,N
5930 PRINT "XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX"
5940 PRINT "
"
5950 PRINTER IS 16
5960 GOTO 530
5970 END
```