

" A APLICAÇÃO DA MAGNETOMETRIA E GRAVIMETRIA  
NA PROSPECÇÃO DE COBRE, NA REGIÃO DO  
CURAÇÁ, ESTADO DA BAHIA, BRASIL "

Dissertação  
para obtenção do grau de Doutor  
na Escola Superior de Minas de  
Leoben

Apresentada pelo  
Engenheiro Geólogo Antonio Carlos Motta  
Leoben, em maio de 1974



## SUMÁRIO DO RESUMO EM PORTUGUÊS

	Página
1. Introdução .....	1
2. Informações gerais sobre a área .....	1
2.1 Histórico .....	1
2.2 Geologia Regional .....	2
2.3 Geologia da área da Mina .....	3
2.4 Tipos de Mineralizações .....	3
2.5 Solos da Região .....	4
2.6 Clima e Vegetação .....	4
2.7 Meios de transporte .....	5
3. Trabalhos anteriores .....	5
3.1 Fotogeologia .....	5
3.2 Geoquímica .....	6
3.3 Geofísica .....	6
3.3.1 Magnetometria .....	7
3.3.2 IP .....	7
3.3.3 Electro-Magnético .....	8
3.3.4 Combinação de Métodos .....	9
3.3.5 Outros métodos geofísicos .....	9
3.4 Perfurações .....	9
3.5 Resumo sobre utilização de métodos e possibilidades de prospecção .....	10
4. Propriedades Físicas das rochas da Região .....	13
4.1 Densidade .....	13
4.1.1 Medições diretas de testemunhos de perfurações .....	13
4.1.2 Medições diretas de amostras superficiais .....	14
4.2 Susceptibilidade magnética .....	14
5. Levantamentos na região da Mina Caraíba e arredores .....	14
5.1 Trabalhos gravimétricos .....	15
5.1.1 Revisão do conceito de Anomalia Bouguer ..	15

5.1.2 Gravidade Medida .....	15
5.1.2.1 Instrumento utilizado .....	15
5.1.2.2 Levantamentos Topográficos .....	15
5.1.2.3 Espaçamento das Estações .....	15
5.1.2.4 Medidas da Gravidade .....	16
5.1.2.5 Controle da precisão das medidas ..	16
5.1.3 Correção de Ar Livre e Bouguer .....	17
5.1.4 Correção Topográfica .....	17
5.1.5 Correção de Latitude - Gravidade Teórica ..	17
5.1.6 Obtenção do Mapa de Anomalia Bouguer .....	18
5.1.7 Separação Regional - Residual .....	18
5.1.7.1 Revisão do conceito de Mapas Resi - duais .....	18
5.1.7.2 "Trend Surface Analyses" .....	18
5.1.7.3 Mapa da Segunda Derivada .....	19
5.2 Trabalhos magnetométricos .....	20
5.2.1 Instrumento utilizado .....	20
5.2.2 Técnica de medidas de campo .....	20
5.2.3 Mapas magnetométricos .....	21
5.3 Interpretação dos resultados na área teste .....	22
5.3.1 Sistemática da interpretação .....	22
5.3.2 Interpretação qualitativa .....	22
5.3.3 Interpretação quantitativa .....	23
5.3.3.1 Cálculo da profundidade do Corpo Ca raíba .....	23
5.3.3.2 Cálculo das densidades .....	24
5.3.3.3 Cálculo das massas e das reservas .	24
5.3.3.4 Modelo geofísico teórico do Corpo Caraíba .....	25

6. Extensão dos trabalhos para novas áreas .....	26
6.1 Ampliação dos trabalhos de detalhe para norte e para oeste da área teste .....	26
6.1.1 Resultados .....	26
6.1.2 Conclusões .....	29
6.2 Trabalhos de semi-detallhe na área de Bom Despacho	30
6.2.1 Resultados .....	30
6.2.2 Conclusões .....	31
7. Conclusões e sugestões .....	32
7.1 Conclusões sobre a utilização da gravimetria e magnetometria na região do Curaçá .....	32
7.1.1 Gravimetria .....	32
7.1.2 Magnetometria .....	33
7.1.3 Informações estatísticas .....	34
7.2 Reservas atuais .....	35
7.3 Sugestão para um programa de Prospecção no Vale do Curaçá .....	36
8. Resumo dos resultados .....	39

## APRESENTAÇÃO

A presente publicação reúne o resumo em Português, em um total de 40 páginas, e o original em Alemão, da tese defendida na Universidade de Minas de Leoben, Austria, para a obtenção do grau de Doutor e denominada: "A aplicação da Magnetometria e Gravimetria na prospecção de cobre na região do Curaçá, Estado da Bahia, Brasil". As medições de campo e cerca de 70% dos demais trabalhos foram realizados entre 1970 e 1972, sendo o autor professor do Instituto de Geociências da UFBA.

Desejava-se dar ampla divulgação ao trabalho, desde que, ao realizá-lo, teve-se a pretensão de dar uma contribuição, mesmo que modesta, na definição de uma sistemática de pesquisa, a mais adequada possível, à prospecção de cobre naquela região. Como não se conseguiu a liberação da publicação junto à Caraíba Metais SA, antiga detentora dos direitos das áreas onde os trabalhos de campo foram realizados, é impossível no momento, realizar tal desejo.

Presentindo uma demora natural, até a liberação pela nova Empresa sucessora dos direitos, resolveu-se publicar antecipadamente seis vias que, em face ao problema legal referido, são CONFIDENCIAIS pelo que não se pode autorizar a sua reprodução ou citação, até que para isto tenha-se a liberação.

Duas vias são endereçadas ao maior interessado no problema que é o Governo Brasileiro, através o 7º Distrito do DNPM do Ministério das Minas e Energia.



Três vias são endereçadas à CPRM, Empresa que muito incentivou o autor para a continuidade do trabalho. Nesta Empresa o autor amadureceu muito com relação à prospecção de cobre, através a convivência com o experiente e eficiente grupo de técnicos que executaram o Projeto Cobre (CPRM/DNPM)-detentores do maior "know-how" no país sobre o assunto.

Espera-se que para estes maiores interessados, o trabalho seja útil, exatamente agora, quando a solução do problema está sendo encaminhada.

Salvador, janeiro de 1975

*Antonio Carlos Motta*

Dr. Geól. Antonio Carlos Motta

RESUMO EM PORTUGUÊS

## 1. INTRODUÇÃO

A Produção Brasileira de Cobre metálico alcançou em 1971, 5.100 Toneladas (23 pg. 40). Esta produção en tretanto está muito longe do consumo do País que no mesmo ano foi de 108.500 Toneladas (23 pg. 41). Esta situação motivou, tanto o Governo como a iniciativa privada, a dar um impulso na prospecção do Cobre através de uma política de pesquisa agressiva.

Desde 1962 foi iniciado o denominado "Projeto Cobre" que abrange uma área de cerca de 60.000 km<sup>2</sup> e alcança os Estados da Bahia, Pernambuco, Paraíba e Ceará (Figura 1), cujo objetivo é a prospecção geológica do Cobre. O Projeto objetivava indicar áreas menores e promissoras, onde seria posteriormente desenvolvido um programa sistemático de Prospecção. Barbosa sugeriu em 1972 (2) intensificar a Prospecção na área do Vale do Curaçá, onde desde longo tempo são conhecidas algumas ocorrências. A área Cuprífera se situa ao Norte do Estado da Bahia, entre os paralelos 9º e 10º e os Meridianos 40º 30' e 39º 30' (Figuras 1 e 2).

A maior parte dos nossos trabalhos de campo foram feitos na vizinhança da Mina Caraiba (Figura 3). Nós utilizamos Magnetometria e Gravimetria em áreas de interesse, onde, anteriormente, outros métodos de prospecção foram também utilizados, mas que entretanto, deixaram dúvidas quanto a Localização, Forma e Tamanho dos Corpos mineralizados na superfície.

## 2. INFORMAÇÕES GERAIS SOBRE A ÁREA

### 2.1. HISTÓRICO

Tem-se notícia que desde 1782, conseguiu-se



extrair cobre de algumas amostras da região, época em que foi descoberta a Serra da Borracha, no Município de Curaçá, próximo de Caraiba (22).

Com relação ao Cobre da Fazenda Caraiba, somente em 1871, foi feita uma primeira avaliação da ocorrência (22 pg. 15). Em 1938 foi feito o primeiro trabalho por um órgão oficial do Governo Brasileiro. Neste trabalho aparece a primeira referência como sendo o minério disseminado em rocha matriz básica, do tipo anfibolito. Os teores médios foram encontrados como sendo entre 2,89% até 12,03% (22 pg. 18).

Na década de 40 a mina da Caraiba passou para o controle do grupo industrial Pignatary (17). Nesta época começa praticamente a fase moderna da Prospecção de Cobre na Mina e nas regiões vizinhas.

No ano de 1966 Mahrholz (20) visitou e catalogou outras 14 ocorrências de Cobre na região (ver Figura 4).

Excluindo a Mina Caraiba, são conhecidas outras 6 ocorrências, que dão uma Reserva Total da ordem de 88 Milhões de Toneladas (7). O Teor de Cobre oscila entre 1,2% a 2,0%. Tais reservas poderiam ser maiores, caso se tivesse utilizado um Programa de Prospecção sistemático e intenso e que utilizasse a Geofísica.

## 2.2. GEOLOGIA REGIONAL

Embora intensamente estudada a área ainda apresenta problemas geológicos. Diversos trabalhos foram feitos em diferentes épocas. Segundo LEWIS e outros, 1971 (18) a maioria da área é constituída de rochas do cristalino de idade pré-cambriano médio, (Figura 4) que foram divididas em 4 unidades, na base da litologia geral, e do grau de metamorfismo e deformação.

As rochas ultramáficas, são de particular interesse, porque a maioria dos minerais primários de Cobre, estão a elas associados. A maioria destes corpos, formam complexos. Esta situação, ocorre na Mina de Caraiba, onde BARBOSA (2) calculou a idade de  $1880 \cdot 10^6$  anos para as rochas ultramáficas, pelo método do Potássio-Argônio.

### 2.3. GEOLOGIA DA ÁREA DA MINA

O depósito de Caraiba, situa-se numa faixa de gnaisses migmatíticos, pertencentes ao Grupo Uauá, às quais são atribuídas idade Pré-cambriano inferior (arqueano) (Figura 5). Os corpos de minério, ocorrem como intrusões de rochas ultrabásicas, que são noritos e piroxenitos. As rochas gnáissicas, são intensamente dobradas, com mergulho elevado e direção Norte.

Um anticlinal N-S corta a área e o depósito parece estar localizado na sua zona axial. Diversas falhas N-S cortam a área. Nas zonas de cisalhamento são encontradas alterações hidrotermais e acumulação de minerais secundários de Cobre.

As perfurações no Corpo Caraiba, mostram que as zonas mineralizadas, diminuem com a profundidade.

O corpo Barauna, ao Sul do Corpo Caraiba, é concordante com a direção geral NS, da foleação.

### 2.4. TIPOS DE MINERALIZAÇÕES

Segundo LEWIS e outros (6), existem 4 tipos de mineralizações, de acordo com as associações litológicas e estruturais:

a) A mais importante, do ponto de vista econômico

- co, é a mineralização primária de sulfetos associada às rochas ultramáficas;
- b) O segundo tipo, é representado por sulfetos primários, disseminados em anfibolitos de grão fino a médio;
  - c) O terceiro tipo, é a mineralização secundária, associada com grandes fraturas e zonas de cinzalhamento;
  - d) O quarto tipo, é calcopirita em veio de quartzo.

## 2.5. SOLOS DA REGIÃO

Os solos, são na maioria residuais, existindo entretanto, solos tipicamente coluviais (6). MATTOSO, 1971 (6), chega a duas conclusões importantes sobre os solos da região, do ponto de vista da Prospecção:

- a) "O Clima e a Topografia exercem influência marcada no desenvolvimento dos tipos de solo da região";
- b) "Os solos na região da Fazenda Caraiba, apresentam reação alcalina crescente em profundidade, o que ajuda a explicar porque a dispersão de cobre no solo se estende lateralmente, mais na superfície, do que nos horizontes mais profundos".

## 2.6. CLIMA E VEGETAÇÃO

O clima é Semiárido e quente. A média anual, embora variando de ano para ano, é em torno de 430 mm (29).

A vegetação pertence ao tipo conhecido como Caatinga que é típica do Nordeste brasileiro.

Do ponto de vista da Prospecção, são a Caatingueira (*Caesalpinia pyramidales*), pinhão (*Jatropha pohliana*) e matapasto, os mais importantes, pois formam conjuntos de vegetação, característicos de solos cinzas, formados sobre as rochas máficas e ultramáficas (5 pg. B 143).

## 2.7. MEIOS DE TRANSPORTE

A Estrada de Ferro do São Francisco que passa a 45 km da Mina de Caraiba, pode ser importante no transporte do concentrado de cobre.

Com exceção do S. Francisco, os demais rios da região, estão praticamente secos, durante quase todo o ano.

## 3. TRABALHOS ANTERIORES

### 3.1. FOTOGEOLOGIA

Foram feitos trabalhos rotineiros de Fotointerpretação, em escala 1:25.000, nos diversos trabalhos efetuados na região. Aparentemente, a identificação de Corpos Máficos, seria fácil, através as manchas (FOFOS) que caracterizam os seus solos. Entretanto como observa HERMANN (14 pg. 22): "Estas manchas podem ter outra origem, como pequenas bacias, onde se concentram sedimentos ricos em materiais orgânicos, ou ainda, decomposição de diques básicos, relativamente recentes, sem qualquer interesse como portadores de minerais de cobre".

Outro argumento que limita a utilização da Fotografia aérea, para a prospecção mineral na região, é apre -

sentado por MATTOSO (21 pg. 143): "A seleção de corpos máfi -  
cos, que são os portadores de minério de cobre, a partir de  
fotografias aéreas, não satisfazia, seja porque deixava de fo  
ra corpos muito pequenos para produzirem expressão fotográfi  
ca, seja também porque, as fotografias aérea disponíveis, a-  
presentam diferenças de revelação que perturbam o seu uso ade  
quado".

### 3.2. GEOQUIMICA

A fase científica e moderna de prospecção de  
cobre na área do Curaçá e particularmente na Fazenda Caraiba,  
foi iniciada em 1961 com o trabalho de LEWIS e outros (18). Nes  
ta campanha foram executados 3 tipos de Programa de amostra -  
gem: Regional, Semidetalhe e Detalhe.

Os resultados dos trabalhos de caráter Regio  
nal, são mostrados na Tabela 1 (Adaptada de LEWIS, MATTOSO e  
BRIM, 18 pg. B 147). Os valores do "background" variam entre  
9 ppm para solos provenientes de quartzito, até 38 ppm, para  
solos provenientes de rochas máficas. A geoquímica Regional so  
zinha não apresenta resultados conclusivos.

Na fase do Semiregional os resultados foram  
parcialmente bons.

Nos trabalhos de Detalhe foram utilizados cer  
ca de 1500 amostras e os resultados são mostrados na Tabela 2.

Trabalhos de biogeoquímica, também foram fei  
tos na região, sendo entretanto, os resultados desconhecidos  
(não publicados).

### 3.3. GEOFÍSICA

Paralelamente aos trabalhos de Geologia e Geo-

química, foram feitos também trabalhos de Geofísica. Nenhum deles entretanto, foi utilizado intensamente, que<sup>r</sup> devido a resultados nem sempre satisfatórios, quer talvez, pelo elevado preço de custo. Infelizmente, não existem muitas publicações sobre os resultados dos diferentes métodos. Alguns resultados são conhecidos:

### 3.3.1. MAGNETOMETRIA

Um trabalho experimental foi executado na Fazenda Caraiba e citado por FONTANELLI (6 pg. 11). Os resultados, talvez não tenham sido bons, devido aos seguintes fatores:

- a) Os autores do trabalho, eram Geoquímicos, e naturalmente não tinham experiência na aplicação de métodos geofísicos;
- b) Outros fatores que devem ter influenciado : A escolha do Equipamento, controle e precisão das medidas, e espaçamento das estações.

### 3.3.2. I. P.

Em 1967 foram realizados trabalhos de Polarização Induzida na área da Mina e adjacências. Infelizmente os resultados não foram publicados, entretanto a partir de informações verbais, as conclusões foram as seguintes:

- a) O método é caro e lento;
- b) Água subterrânea e lentes de grafita, influem nas leituras de forma considerável;
- c) Anomalias apresentadas por este método foram testadas, e os resultados, não foram encorajadores.

Em outubro de 1972, Hales e Chamon (11) publicaram um Resumo de um trabalho de I.P., executado para o D.N.P.M. e CPRM. Depois de fazer um trabalho experimental em área conhecida e mineralizada, o método foi empregado sistematicamente na região, e comprovado posteriormente, através de perfurações. Os resultados devem ter sido bons, uma vez que os autores, recomendam a aplicação rotineira do método.

### 3.3.3. ELETRO-MAGNÉTICO

Foi realizado por ELLERT em 1971 (5), trabalhos utilizando Eletro-Magnético Indutivo de Fonte Movel. Os resultados foram interpretados, através técnicas modernas, inclusive "trend surface analyses", e conferidos, por meio de medidas em modelos reduzidos. As aéreas trabalhadas, continham dados de Geologia e Geoquímica.

Na página 92 de seu trabalho, o autor, apresenta algumas conclusões:

- a) "Corpos de minérios disseminados, mesmo extensos, provocam aparecimento de anomalias geofísicas".
- b) "Faixas ricas em minerais máficos em rochas gnaissicas, parecem provocar o aparecimento de anomalias geofísicas".
- c) "O método, mostra-se mais conclusivo que o do Potencial Induzido, sobretudo em locais de cobertura aluvionar, de alta salinidade".
- d) "O método, demonstrou-se aplicável na região, porém as anomalias não são provocadas exclusivamente por sulfetos de cobre. É necessário haver uma perfeita correlação entre a posição das anomalias geoquímica e

geofísica, para que se justifique o emprego de métodos mais caros, para verificar a causa das anomalias".

#### 3.3.4. COMBINAÇÃO DE MÉTODOS

Em outubro de 1972, DIAS (3) publicou um trabalho executado em uma área situada 10 km ao norte da Mina Caraiba. Foram feitos trabalhos de AFMAG, Telúrico, I.P. e Resistividade. Infelizmente tal trabalho nada acrescentou quanto às possibilidades de utilização de métodos geofísicos de prospecção na área. Não foram feitos trabalhos de geoquímica método que é empregado normalmente em trabalhos de prospecção na região.

#### 3.3.5. OUTROS MÉTODOS GEOFÍSICOS

Tem-se conhecimento, que algum tempo atrás, foram utilizados outros métodos, como o S.P. e Eletroresistividade. Infelizmente desconhecemos os resultados ou publicações referentes a tais trabalhos. Informações indiretas nos levam a concluir que os resultados não foram encorajadores (ver parte 2.5., ítem b), desde que não são utilizados na rotina.

#### 3.4. PERFURAÇÕES

Concomitantemente com os trabalhos referidos anteriormente, a Empresa Caraiba Mineração e Metalurgia, executou (ou contratou) perfurações que alcançaram aproximadamente 26.000 m, em um total de 160 furos, na área da Mina.

Com estas perfurações foi possível prever



as reservas. O início da mineração e do refino do Cobre, está previsto para 1975. As instalações industriais, prevêem um investimento da ordem de US\$ 114.500.000,00 (preço do ano de 1972).

As Reservas da Caraiba, Baraúna, e Barauninha (Mina Caraiba) são mostradas na Tabela 3:

	Minério (Toneladas)	Cobre (Toneladas)	Teor de Cobre
a) Medida (30 pg. 1)	14.141.600	257.565	1,82%
b) Indicada(30 pg. 1)	7.570.400	130.027	1,72%
c) Inferida(22 pg 126)	17.159.000	257.385	1,50%
T O T A L	38.871.000	644.977	

### 3.5. RESUMO SOBRE UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS E POSSIBILIDADES DE PROSPECÇÃO.

O problema principal da Prospecção na área é encontrar um método geofísico ou uma combinação de métodos geofísicos que complementem os trabalhos geoquímicos. A Geoquímica é indiscutivelmente o melhor método para o início dos trabalhos. Entretanto alguns problemas surgidos mostraram a necessidade de métodos geofísicos. Em 1971, MATTOSO (21), refere-se a alguns destes problemas:

- a) "Zonas de cisalhamento com circulação de água, têm sido responsáveis por consideráveis deslocamentos de algumas anomalias de cobre".
- b) "Em dois dos alvos (geoquímicos) foram testados métodos geofísicos de prospecção que não acrescentaram informação nova, conforme os resultados das sondagens já efetuadas. To

davia se continuará testando prospecção geofísica, procurando-se sobretudo um método que alcance maior profundidade".

As conclusões a que chegaram os autores dos trabalhos geofísicos, resumidos anteriormente, resumiu todos os problemas ligados aos métodos elétricos e eletromagnéticos. Imaginamos então a possibilidade de aplicar o método Gravimétrico. Baseamo-nos nos seguintes pontos:

- 1) O método Geoquímico, que é um método barato, separa áreas mineralizadas, sem entre tanto indicar o local da perfuração com precisão, devido a deslocamentos relativos dos corpos mineralizados;
- 2) O método geofísico a ser empregado deverá, se possível, atender ao seguinte:
  - a) A falta de estradas e acessos, o que exige instrumentos portáteis;
  - b) O método deverá cobrir grandes áreas em pouco tempo;
  - c) Os custos operacionais devem ser baixos;
  - d) O método deve ter grande poder de penetração; e
  - e) O método não deve sofrer interferências de fatores rasos como a água subterrânea ou solo, como também não deve ser influenciado por grafita, magnetita, etc.
- 3) Características complementares a serem observadas: A Topografia é suave e quase completamente plana. Os corpos de maior interesse econômico, são do tipo de mineralização descrito no item 2.4. (1). Estes corpos máficos têm características diapíricas, e seu

contato é bem definido.

O método Gravimétrico satisfaz a todas estas condições. A utilização da Magnetometria combinada com a gravimetria, seria justificada, em face às facilidades operacionais.

A última dúvida quanto à aplicabilidade do método Gravimétrico, foi afastada através da medição da Densidade de algumas amostras de rochas da região. Encontramos os valores mostrados na Tabela 4.

R O C H A	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
Aplito	2,66
Granito Gnaiss	2,71
Rocha máfica sem mineralização	3,08
Rocha máfica mineralizada	3,60

O contraste máximo de Densidade é de 0,94 g/cm<sup>3</sup> entre as rochas félsicas e máficas mineralizadas. O contraste de Densidade entre as félsicas e máficas, não mineralizadas, é da ordem de 0,40 g/cm<sup>3</sup>. Assim, pode-se esperar que o método gravimétrico, com certeza, separe os corpos máficos dos félsicos. É necessário somente, calcular a dimensão mínima que deve ter um corpo soterrado, para ser detectado pela Gravimetria.

Utilizando a Fórmula de Nettleton (25):

$g_z = 8,53 R^3 / z^2 \cdot f(x/z)$ , foram feitos cálculos para 3 esferas de raios 25 m, 50 m e 100 m. Os resultados são mostrados na Tabela 5 e na Figura 6.

Considerando o Erro Médio Bouguer como igual a 0,05 mgal, podemos concluir, a partir da Figura 6, que o corpo mínimo deve ter um raio de 25 m. Por outro lado vemos através do Gradiente, que a distância entre as estações de

ve ser da ordem de 50 m. Estes cálculos teóricos, nos mostram ser viável a aplicação do método Gravimétrico, desde que é sabido através a Geologia, que os Corpos máficos da região, possuem Massa e Volume, maiores que os admitidos nestes cálculos teóricos.

Por outro lado, considerando que a susceptibilidade magnética das rochas envolvidas, devem ser suficientemente diferentes para provocar anomalias, nada mais natural que tentar aplicar o método magnetométrico, em conjunto com o gravimétrico, mesmo porque, não aumentaria muito os custos operacionais, desde quando a Topografia feita obrigatoriamente para a Gravimetria, serviria aos dois métodos.

#### 4. PROPRIEDADES FÍSICAS DAS ROCHAS DA REGIÃO

Decidido sobre a aplicação dos métodos Gravimétrico e Magnetométrico, realizamos medições para conhecer bem as propriedades físicas das Rochas, relacionadas aos citados métodos. As medições foram feitas antes dos trabalhos de campo. As medidas foram facilitadas devido a existência de grande número de amostras de Perfurações.

##### 4.1. DENSIDADE

Foram feitas, as seguintes medições das Densidades:

##### 4.1.1. MEDIÇÕES DIRETAS DE TESTEMUNHOS DE PERFURACÕES

Foram tomadas 154 amostras de diferentes tipos litológicos encontradas nos furos denominados FU, FB6, FC1, FL e FC4. Foi utilizado o Método de JOLLY.

#### 4.1.2. MEDIÇÕES DIRETAS DE AMOSTRAS SUPERFICIAIS

Foram utilizadas 40 amostras recolhidas em afloramentos na área da Fazenda Caraiba. São todas granitos, gnaisses e migmatitos. Nosso objetivo é o controle da densidade superficial.

Os resultados das medições realizadas em 4.1.1. e 4.1.2. são mostrados na Tabela 6 e na Figura 7.

#### 4.2. SUSCEPTIBILIDADE MAGNÉTICA

As medidas da susceptibilidade magnética foram feitas com o Instrumento "Magnetic Susceptibility Bridge", Modelo MS-3 da GISCO.

Foram utilizadas na pesquisa 56 amostras.

A Figura 8 mostra a Curva de Frequência correspondente.

O resultado das medições, permitiu dividir as rochas da região em 7 grupos, baseados na susceptibilidade magnética, e eles são mostrados na Tabela 7.

Para segurança das medições, e controle dos erros, algumas leituras foram repetidas, e os resultados, são mostrados na Tabela 8.

### 5. LEVANTAMENTOS NA REGIÃO DA MINA CARAIBA E ARREDORES

A utilização da Gravimetria e Magnetometria, foi testada inicialmente, na área da Mina Caraiba. Esta área, é bastante conhecida através da geologia e Perfuração, tornando fácil comparar os resultados obtidos, principalmente os dados quantitativos. A área é um retângulo de 2,0 km por 1,5 km (300 ha.) (Figuras 3 e 5).

## 5.1. TRABALHOS GRAVIMÉTRICOS

### 5.1.1. REVISÃO DO CONCEITO DE ANOMALIA BOUGUER

ANOMALIA BOUGUER = (Gravidade Medida - Correção Bouguer + Correção de Ar Livre + Correção Topográfica) - Gravidade Teórica.

### 5.1.2. GRAVIDADE MEDIDA

#### 5.1.2.1. INSTRUMENTO UTILIZADO

Foi utilizado o Gravímetro "Model 112 Standard Prospector Worden Gravity Meter SN 891" de ano de fabricação 1971. Dois tipos de controle da precisão do instrumento foram feitos:

- a) Testes diários da sensibilidade dos níveis transversais;
- b) "Drift" do instrumento, embora o aparelho fosse novo. A curva de Maré e o Drift para o dia 27.7.1971 são mostradas na Figura 9.

#### 5.1.2.2. LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS

Foram utilizados os dados plani-altimétricos da CARAIBA METAIS S.A., com pontos distanciados de 100 m. Tais pontos estão amarrados a RN's e Pontos Astronômicos.

#### 5.1.2.3. ESPAÇAMENTO DAS ESTAÇÕES

Foi aproveitada uma rede existente, com pontos separados de 100 m nas direções N-S e E-W. Em casos espe-

ciais, de suposição de pequenos corpos na subsuperfície, evidentemente detetáveis, tal distância poderá ser reduzida para 50 m ou até menos (25 m ou 30 m).

#### 5.1.2.4. MEDIDAS DA GRAVIDADE

- a) Rêde de Estações Base: As medições gravimétricas foram relacionadas a uma estação Base colocada no Ponto Topográfico N-131 L-110 e de valor absoluto igual a 978.067.96 gal. Este valor foi transportado a partir da estação Woolard do Aeroporto de Salvador (Wa 6083), constante da relação da publicação de Woolard e Rose (31 pa. 111).
- b) Estações de Primeira Ordem: são estações que estão ligadas à rêde de estações Base, e caracterizada por duas medições para o mesmo ponto.
- c) Estações de Segunda Ordem: São caracterizadas por uma só leitura para cada ponto.

#### 5.1.2.5. CONTRÔLE DA PRECISÃO DAS MEDIDAS

- a) Ajustamento dos valores do DRIFT: Em todas as medições gravimétricas, a duração do "lance" foi mantida rigorosamente menor que 120 minutos. O ajustamento do "lance" foi feito através da distribuição do erro de fechamento, em relação ao tempo total do lance, e aos tempos parciais de cada medição.
- b) Distribuição dos Erros: Foram feitos polígonos, contendo os erros formados pelas linhas

de 1ª Ordem. Os Erros dentro dos polígonos , foram posteriormente distribuídos nas linhas e estações, através o processo da Reiteração. A Figura 10 mostra o Mapa de Fechamento e Ajustamento Gravimétrico, feito para a área da Mina Caraiba.

#### 5.1.3. CORREÇÃO DE AR LIVRE E BOUGUER

Estas Correções foram aplicadas em conjunto. A fórmula utilizada foi:  $CORREÇÃO = H \cdot F_D$  onde  $H$  = Altitude da Estação com relação ao Nível do Mar;  $F_D$  = Constante = 0,2 mgal/metro, correspondente a uma densidade  $d = 2,59 \text{ g/cm}^3$  (24 pg. 55).

#### 5.1.4. CORREÇÃO TOPOGRÁFICA

Embora a feição topográfica de todo o vale do Curaçá dispense esta Correção, fizemos testes para comprovar, utilizando o procedimento de HAMMER (12). Para facilitar os trabalhos, construímos um Monograma, que com auxílio de uma régua graduada, fornece automaticamente a diferença de altitude, entre a estação a ser corrigida, e a altitude média do compartimento em questão. A correção a ser aplicada, aparece imediatamente no setor correspondente. A Figura 11, mostra o Monograma construído.

#### 5.1.5. CORREÇÃO DE LATITUDE - GRAVIDADE TEÓRICA

Para tal cálculo, foi utilizada a fórmula Internacional da Gravidade, a partir da Tabela calculada por Nettleton, 1940 (24 pg. 139).



#### 5.1.6. OBTENÇÃO DO MAPA DE ANOMALIA BOUGUER

Com os resultados obtidos nos ítems anteriores, calculamos os valores Bouguer, segundo a fórmula do ítem 5.1.1. Os valores contornados, constituem o Mapa Bouguer mostrado na Figura 12.

Observando o Mapa, percebemos um grande alto na parte centro-norte, e de direção N 45 W que corresponde ao Corpo de Caraiba. A Figura 13, é uma ampliação desta parte do Mapa, onde foram lançadas as perfurações, para mostrar o ajustamento das isogálicas com os Corpos mineralizados de Caraiba, Baraúna e Barauninha.

#### 5.1.7. SEPARAÇÃO REGIONAL - RESIDUAL

##### 5.1.7.1. REVISÃO DO CONCEITO DE MAPAS RESIDUAIS

Os Mapas gravimétricos Bouguer, como o obtido anteriormente, não se prestam isoladamente para uma interpretação geológica, pelo fato de representarem a soma dos efeitos devidos às massas profundas da Crosta Terrestre, e também das massas superficiais. Torna-se necessário, separar o efeito profundo (efeito regional), das massas superficiais (os Residuais) exatamente o que nos interessa.

Utilizamos duas técnicas diferentes, para fazer a separação Regional-Residual, pois assim, poderíamos comparar e melhorar a interpretação.

##### 5.1.7.2. "TREND SURFACE ANALYSIS"

Através da utilização desta técnica, observamos os conceitos de GRAND e WEST, 1965 (10 pg. 243) que sugere-

re técnicas de filtragem matemática, para um melhor resultado na separação Regional-Residual. Para isto, empregamos um Programa da IBM, denominado "1130 Numerical Surface Techniques and Contour Map Plotting, Version 2" (15).

As Figuras 14 (página 48 do Trabalho Original) e 15, se referem ao Programa de Computador utilizado.

As Figuras 16 até 20, mostram o resultado da utilização deste Programa de Computador:

- a) Figura 16 (página 49 do Trabalho Original) : Mostra o Mapa Bouguer, semelhante ao obtido na Figura 12. Superpondo os dois Mapas, percebemos que o Bouguer contornado pelo Computador, deixa de mostrar pequenas anomalias, que entretanto podem ter grande significado geológico, como aquela, em torno do ponto N-126 L-107, visto na Figura 12.
- b) Figuras 17 e 18 (páginas 50 e 51 do Trabalho Original): Mostra os Mapas Bouguer suavizados de 2º e 4º ordem. Quanto maior o grau de suavização, mais desaparece detalhes das isogáficas, quando tais mapas são comparados com o Mapa Bouguer Original.
- c) Figuras 19 e 20 (páginas 52 e 53 do Trabalho Original): Mostram respectivamente os Mapas Residual e Regional.

#### 5:1.7.3. MAPA DA SEGUNDA DERIVADA

É sempre recomendável, utilizar-se um Mapa derivado como complemento, e não como substituto, dos Mapas Residuais. O estudo comparativo dos dois mapas, facilita a interpretação (4 pg. 246). Uma das técnicas de cálculo da deri-

vada, é devida a HENDERSON e ZEITZ, 1949 (13), que devido a sua exatidão e simplicidade, foi escolhida por nós. Esta técnica utiliza a fórmula:

$$\partial^2 g / z^2 = 2/S^2 \left[ 3g(0) - 4g(S) + g(S \sqrt{2}) \right]$$

onde:

$g(0)$  = Valor Bouguer da Estação

$g(S)$  = Valor Bouguer com raio  $S = 100$  m

$g(S \sqrt{2})$  = Valor Bouguer com raio  $100 \cdot \sqrt{2} = 141$  m

A Tabela 11, mostra os valores obtidos nos cálculos referentes a esta fórmula.

Com os valores, foi feito o Mapa da Segunda Derivada, mostrado na Figura 21 (página 61 do Trabalho Original).

## 5.2. TRABALHOS MAGNETOMÉTRICOS

### 5.2.1. INSTRUMENTO UTILIZADO

Foi utilizado um instrumento M-700, do tipo Fluxgate, que mede a componente vertical do campo magnético terrestre. Os fabricantes fornecem uma precisão de 5 Gamma para o instrumento. Obtivemos entretanto na prática, uma precisão da ordem de 20 Gamma.

### 5.2.2. TÉCNICA DE MEDIDAS DE CAMPO

Devido a falta de um outro instrumento, para ficar em uma estação base traçando a curva para correção diária, utilizamos o princípio da reocupação de uma estação, para controlar e executar a correção diurna.

Inicialmente foi escolhida uma estação base, Estação Zero de Referência, 25 metros a oeste do ponto N-131 L-110. Todas as leituras foram relacionadas a este ponto.

Sabemos que devido a precisão do instrumento não ser das melhores, as leituras contem pequenos erros que não chegam entretanto a prejudicar a qualidade da interpretação, principalmente a Qualitativa. Infelizmente não podemos dispor de instrumento melhor.

### 5.2.3. MAPAS MAGNETOMÉTRICOS

#### a) MAPA ORIGINAL DOS VALORES DA COMPONENTE VERTICAL

Este mapa resulta do contôrno dos valores da componente vertical, após correção para a variação diurna, e é mostrado na Figura 22. Nele podem ser vistos os principais elementos da interpretação qualitativa:

- a 1) O grande alto representativo do Corpo Carai-  
ba;
- a 2) A tendência dos Máximos e Mínimos evidencian-  
do contatos litológicos e/ou falhamentos;
- a 3) Valores extremos de Máximos e Mínimos repre-  
sentando concentrações locais, ou bandas, de  
Magnetita nos Gnaisses e Migmatitos.

#### b) MAPAS MAGNETOMÉTRICOS USANDO VALORES INTERPO- LADOS

O fato dos valores extremos dos Máximos e/ou Mínimos, não terem significado geológico com relação às grandes unidades litológicas, mas, tão somente, refletindo as

bandas de Magnetita dentro de Gnaisses e Migmatitos, nos sugeriu testar Mapas Magnetométricos, onde tais valores, não aparecessem para não interferir nos mapas Residuais. Em seu lugar foram interpolados valores medianos das leituras vizinhas.

Para isto, foi feito um Programa de Computador, semelhante em objetivos ao preparado para a Gravimetria. As figuras 23, 24 e 25, são os Mapas Magnetométrico da Componente Vertical, e os mapas Regional e Residual, respectivamente.

### 5.3. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS NA ÁREA TESTE

#### 5.3.1. SISTEMÁTICA DA INTERPRETAÇÃO

Os resultados obtidos pela geofísica, foram depois de interpretados, confrontados com os dados da Geologia e da Perfuração, fornecidos pela CARAIBA METAIS S.A.

#### 5.3.2. INTERPRETAÇÃO QUALITATIVA

- a) Os Corpos Máficos e Ultramáficos, são perfeitamente definidos pela Gravimetria. Os Corpos A, B, C e D da Figura 26 estão localizados nos altos. As perfurações realizadas mostram perfeita coincidência com a Anomalia Gravimétrica;
- b) Os valores magnetométricos sobre os Corpos, são característicos da Componente Z do Campo Total, para Latitudes próximas do Equador Magnético, como mostra a Figura 28;
- c) O Mapa Geológico, resultante da interpretação

do Mapa Magnetométrico, foi superposto ao Mapa Geológico normal, e o resultado, é mostrado na Figura 27-A e 27-B;

- d) É necessário, fazer sempre os Mapas Gravimétricos Residuais e de Segunda Derivada, simultâneamente. A divisão do Corpo B do Corpo C em subsuperfície, só foi observado no Mapa da Segunda Derivada;
- e) O Mapa Magnetométrico original foi o que mais se prestou para uma interpretação qualitativa;
- f) A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que o método Aeromagnetométrico, dará bons resultados na Região

### 5.3.3. INTERPRETAÇÃO QUANTITATIVA

Com o objetivo de testar os resultados obtidos, foram feitos cálculos quantitativos, depois comparados, com os resultados encontrados pelas Perfurações.

#### 5.3.3.1. CÁLCULO DA PROFUNDIDADE DO CORPO CARAIBA

- a) A partir da fórmula:

$$h \leq 0.86 \Delta g_{\max} / (\Delta g_{\max}) \quad (27 \text{ pg. } 52)$$

$$h \leq 212 \text{ m}$$

- b) A partir do método do  $x_{1/2}$

$$h = 87 \text{ m}$$

- c) A partir da fórmula:

$$h > 23.9 \Delta g_{\max} / \Delta \sigma_{\min} \quad (28 \text{ pg. } 269)$$

$$h > 83 \text{ m}$$

### 5.3.3.2. CÁLCULO DAS DENSIDADES

$D = \text{Densidade} = \bar{\Delta} g(d) - \Delta g (X, Y, 0)$  (27 pg. 53).

$$|D| \geq 0.58 \text{ g/cm}^3$$

Este, é o contraste de densidade mínimo, entre o Corpo de Minério e as rochas encaixantes. Se tomarmos a densidade das encaixantes, como  $2.60 \text{ g/cm}^3$ , teríamos para a densidade do Corpo de Minério  $= 2.60 + 0.58 = 3.18 \text{ g/cm}^3$ .

Na realidade, esta densidade parece um pouco exagerada. Considerando a relação de 1:2 entre o Minério e o Estéril (uma estimativa dos técnicos da CARAIBA METAIS S.A.) e considerando os valores obtidos na Figura 7, teríamos:

CORPO DE MINÉRIO:  $3.031 \text{ g/cm}^3$ , ESTÉRIL :  
 $2.773 \text{ g/cm}^3$

A verdadeira Densidade seria:

$$D = (2.773 \cdot 0.67 \%) + (3.031 \cdot 0.33\%)$$

$$D = 2.86 \text{ g/cm}^3$$

Este valor concorda melhor com as medidas encontradas. Desta maneira, considerou-se um contraste de densidade de  $0.30 \text{ g/cm}^3$ , entre o Corpo de Minério e as Encaixantes. Com tal contraste foram feitos os cálculos seguintes:

### 5.3.3.3. CÁLCULO DAS MASSAS E DAS RESERVAS

$\iint \Delta g \, ds = 2 \tilde{\Pi} G$  (27 pg. 54) nos leva até a fórmula:  $M = 23.9 \iint \Delta g \, \Delta s$  Toneladas métricas.

## a) Corpo de Caraiba:

$M = 3.750.000$  Toneladas Métricas

$R = \text{Reservas} = 36.431.200$  Toneladas

Considerando o teor médio de 1,66% de Cu, teríamos uma Reserva de Cobre de 605.900 Toneladas.

## b) Corpos de Baraúna e Barauninha

$R' = 14.129.200$  Toneladas

## c) Reservas Totais da Mina Caraiba:

$R + R' = 50.560.400$  Toneladas (Comparar com o ítem 3.4)

#### 5.3.3.4. MODELO GEOFÍSICO TEÓRICO DO CORPO CARAIBA

## a) Modelo a partir da Gravimetria:

## a 1) Cálculo do Raio R do Corpo:

Foi utilizada a fórmula do "Vertical Line Element" (25 pg. 298)

$$R = 0.4 = 400'$$

## a 2) Cálculo do Modelo geofísico Teórico

A Tabela 12 (página 77 do trabalho Original), mostra os valores encontrados e a Figura 28 o resultado.

## b) Modelo a partir da Magnetometria:

## b 1) Relação entre a Gravimetria e a Magnetometria

Fórmula :  $V/g = I/d \cdot C/Z$  (25 pg. 305)

$$I = 0.000645 = 645 \cdot 10^{-6} \text{ cgs}$$



b 2) Cálculo do Modelo geofísico Teórico

Foi utilizada a fórmula do "Vertical Line Element" (25 pg. 298).

A Tabela 13 (página 79 do trabalho Original) mostra os valores encontrados e a Figura 28 o resultado.

## 6. EXTENSÃO DOS TRABALHOS PARA NOVAS AREAS

Após concluídos os trabalhos na área Teste da Fazenda Caraiba, foram levantadas novas áreas que são vistas na Figura 3.

### 6.1. AMPLIAÇÃO DOS TRABALHOS DE DETALHE PARA NORTE E PARA OESTE DA ÁREA TESTE

Nas direções Norte e Oeste da área teste, e existiam algumas perfurações. Estes furos foram suportados em trabalhos de geologia de detalhe e geoquímica. Os resultados das perfurações não foram bons. Após discutir o problema com os Técnicos da CARAIBA METAIS S.A., estendemos nossos trabalhos para estas áreas.

A sistemática utilizada, tanto nos trabalhos de campo, quanto na interpretação, foi exatamente igual à anterior, razão porque, discutiremos de imediato, os resultados obtidos.

#### 6.1.1. RESULTADOS

O significado de cada mapa, como também as observações mais importantes sobre cada um deles, está mostrado na Tabela 14.

TABELA 14.

FIGURA Nº	TIPO DE MAPA	OBSERVAÇÕES
30	GRAVIMETRIA Mapa Bouguer	Mostra a área Teste da Mina de Caraiba e as áreas adjacentes, a norte e a oeste, para onde foi estendido o DETALHE.
31	GRAVIMETRIA Mapa Bouguer	Mostra a área ao norte da Mina Caraiba. Nosso trabalho mostra que cerca de 6% desta área, é constituída de rochas máficas e ultramáficas.
32	GRAVIMETRIA Mapa da Segunda Derivada	Mostra as principais anomalias, desta parte norte da Mina Caraiba. Máximos relativos: A, C, D, E, F, G, H, I e M. Mínimos relativos: B, I, J e K
33	GRAVIMETRIA Mapa Bouguer Computador	Mapa semelhante ao da Figura 31, feito para testar as Isogálicas.
34	GRAVIMETRIA Mapa Regional Computador	Este mapa Regional mostra um gradiente regular, na metade norte da área, que varia entre -42,00 a -43,00 miligal, significando que não existem grandes variações, quer litológicas que estruturais.
35	GRAVIMETRIA Mapa Residual Computador	Chama a atenção para a anomalia L, que aparece também nos mapas Bouguer e geoquímico. Destaca também a anomalia A (da Figura 32).

Continuação ...

FIGURA Nº	TIPO DE MAPA	OBSERVAÇÕES
36	Mapa de Interpretação geológica	Mostra uma tentativa de Interpretação geológica da área, a partir de mapas Magnetométricos e Gravimétricos.
37	Mapa Magnetométrico (AZ) Computador	Este mapa se refere à mesma área da Figura 38. É uma pesquisa, pela qual os valores extremos dos picos e cavas, devidos às bandas de magnetita, foram substituídos pela média das 4 estações mais próximas.
38	Mapa Magnetométrico ( $\Delta z$ ).	Mostra a área Teste da Mina Carai - ba e as áreas vizinhas, à Norte e Nordeste, para onde foi estendido o Detalhe.
39	Mapa Regional Magnetométrico ( $\Delta z$ ) Computador	Mostra o Mapa Regional, relativo à Figura 37.
40	Mapa Residual Magnetométrico ( $\Delta z$ ) Computador	Mapa Residual relativo às Figuras 37 e 39.
41	Geoquímico	Mapa geoquímico da parte Norte da Mi na Caraiba. Mostra a posição das Anomalias Geoquímicas, e das perfurações antigas. Somente nos furos 14.2 e 14.3, foi encontrado sulfetos. Nos-

Continuação ...

FIGURA Nº	TIPO DE MAPA	OBSERVAÇÕES
41	Geoquímico	Os trabalhos geofísicos mostraram o deslocamento relativo entre as anomalias geoquímicas e as anomalias geofísicas.

#### 6.1.2. CONCLUSÕES

Os trabalhos nestas áreas permitiram as seguintes conclusões:

- a) Foram encontrados novos corpos máficos que não afloram, e que são mostrados no mapa de Interpretação geológica, baseado na gravimetria e na magnetometria;
- b) As perfurações existentes e que foram baseadas em mapeamento geológico e geoquímico, somente encontraram sulfetos de cobre nos furos 14.2 e 14.3. O Corpo "D" na Figura 32, que foi descoberto com o nosso trabalho, mostra que as referidas perfurações, não foram bem localadas, com relação ao centro do Corpo D. Elas precisariam ser deslocadas, cerca de 200 m ou 300 m para oeste (dependendo da inclinação do furo). Com isto, acreditamos, seja encontrada a mineralização, que sem dúvida nenhuma existe, pois foi detetada pela geoquímica;
- c) Foi descoberto um TREND de direção aproximadamente NW-SE que é constituído de Corpos máficos soterrados, e denominados A, C, D, F, G, H e T. A projeção destas anomalias, ocupa uma á-

rea, que somada alcança cerca de 19 ha, cerca de 6% da área estudada. A Tabela 15, resume o estudo destas anomalias (página 84 do Trabalho Original).

A descoberta do referido TREND, permite concentrar a prospecção nesta área. Ao que parece, este TREND, é constituído de rochas máficas e ultramáficas que são o prolongamento Norte, dos Corpos da Mina Caraiba.

A Figura 42 (página 85 do Trabalho Original), mostra melhor, a relação entre o Corpo Caraiba, e o TREND descoberto.

## 6.2. TRABALHOS DE SEMI-DETALHE NA ÁREA DE BOM DESPACHO

A área de Bom Despacho, está situada cerca de 12 km a sudeste da Mina de Caraiba (ver Figura 3). Ai foram feitos anteriormente trabalhos de geoquímica e geologia. Em face aos resultados da geoquímica, foram feitas trincheiras, tendo sido encontrados minerais secundários de Cobre (Malachita, Azurita, etc). Posteriormente, foram feitos 3 furos no local, não tendo sido encontrado, nem a rocha máfica, nem o minério primário.

Assim, o problema da área, era encontrar a rocha máfica portadora do minério primário, uma vez que tal rocha não foi encontrada com o mapeamento geológico.

Para isto, utilizamos Magnetometria e Gravimetria em Semidetalhe, aproveitando a rede de estações existentes, e constituída de linhas espaçadas de 200 m ou 400 m, onde foram lançadas estações a cada 100 m.

### 6.2.1. RESULTADOS

Os Mapas que resultaram deste trabalho, como tam

bém as principais observações, encontram-se resumidos na Tabela 16.

TABELA 16.

FIGURA Nº	TIPO DE MAPA	OBSERVAÇÕES
43	Geológico e Geoquímico	São mostrados as principais falhas e Corpos Máficos. O Mapa mostra ainda a posição das antigas perfurações, e as principais anomalias geoquímicas.
44	Gravimétrico Mapa Bouguer	Destaca um grande alto, encontrado na parte sul da área. O centro desta ano- malia, é o ponto N-61 L-33, e trata- se sem dúvida, de um grande Corpo Má- fico.
45	Gravimétrico Mapa Regional	Mostra o Mapa Regional, utilizado na obtenção do Mapa Residual.
46	Gravimétrico Mapa Residual	Destaca as principais anomalias A, B e C, e as perfurações efetuadas, su- geridas por nosso trabalho, sobre a Anomalia A.
47	Magnetométrico ( $\Delta Z$ )	Destaca as principais anomalias mag- netométricas, particularmente a que se refere ao Corpo A.
48	Interpretação Geológica	Mostra uma tentativa de Interpreta- ção geológica, baseada em dados de magnetometria e gravimetria.

#### 6.2.2. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, foram sugeri-

dos 3 perfurações na área, denominadas F 16-1, F 16-2 e F 16-3, cuja posição são mostradas na Figura 46. Foram feitos cálculos, para prever a profundidade do Corpo A.

a) Cálculo a partir da fórmula:

$$h \leq 0.86 \Delta g_{\max} \Delta g'_{\max} \quad (27 \text{ pg. } 52)$$

$$h \leq 110 \text{ m}$$

b) Cálculo a partir da fórmula:

$$h \leq 1.50 \Delta g(x) \Delta g'(x) \quad (27 \text{ pg. } 52)$$

$$h \leq 64$$

Este último resultado, coincide melhor com as perfurações, que mostram uma profundidade média da ordem de 60 m para o topo do Corpo Máfico. A Figura 49 (página 89 do Trabalho Original), mostra os resultados das 3 perfurações realizadas.

## 7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

### 7.1. CONCLUSÕES SOBRE A UTILIZAÇÃO DA GRAVIMETRIA E MAGNETOMETRIA NA REGIÃO DO CURAÇÁ.

A partir dos resultados encontrados nos capítulos 3, 4, 5 e 6, podemos tirar algumas conclusões, sobre a utilização dos métodos referidos, com o objetivo de prospectar cobre no Vale do Curaçá.

#### 7.1.1. GRAVIMETRIA

a) O método gravimétrico é o único capaz de detectar corpos máficos profundos, mineralizados ou não, sem sofrer interferência de fatô

res superficiais;

- b) É possível através dos contrastes de densidades (entre o minério e as encaixantes), especular-se quanto à esterilidade ou não, dos corpos máficos. Os resultados mostraram, que contrastes de densidades maiores que  $0.25\text{g/cm}^3$ , parecem indicar mineralizações. O contraste de densidade, é diretamente proporcional ao teor de metais existentes na rocha;
- c) As dúvidas sobre mineralizações associadas à rochas máficas, deixadas pelo método, podem ser levantadas, utilizando-o em combinação com Magnetometria, I.P. e geoquímica;
- d) Para que os dados gravimétricos mereçam crédito, o Erro Médio Bouguer, deve ser em torno de  $\pm 0.05$  miligal;
- e) Devido a ser um método portátil, e considerando as características topográficas da região, os levantamentos gravimétricos são rápidos e baratos;
- f) Para trabalhos de detalhe, pode-se utilizar pontos de 25 m, em linhas espaçadas de 50 m. Para Semi-detalhe, as linhas e os pontos, podem ser espaçadas de 100 m ou 200 m.

#### 7.1.2. MAGNETOMETRIA

- a) Sobre Corpos máficos encontram-se anomalias positivas, características da componente vertical. À medida que cresce o contraste de susceptibilidade magnética (entre o minério e as encaixantes) até a ordem de  $7.000 \times 10^{-6}$  cgs, aumenta a possibilidade do corpo máfico



- estar mineralizado. Também foram medidas, em rochas mineralizadas, valores da susceptibilidade magnética da ordem de  $3.000 \times 10^{-6}$  cgs;
- b) As rochas sem interesse para prospecção de cobre apresentam susceptibilidade da ordem de  $500 \times 10^{-6}$  cgs;
- c) O método elimina as incertezas deixadas pela gravimetria relacionadas a existência de magnetita junto (ou em vez) às mineralizações;
- d) O método magnetométrico, é o mais barato, dentre todos possíveis de aplicar na região;
- e) A magnetometria, permite tirar boas conclusões geológicas, através de dados estruturais, pois mostra muito bem as falhas, contatos, etc.;
- f) O espaçamento das estações, deve ser feito, na mesma rede da gravimetria;
- g) É aconselhável utilizar-se instrumentos com precisão da ordem de 1 gamma;
- h) Os mapas residuais, tanto magnetométricos quanto gravimétricos, calculados através computador, se prestam também para interpretação;
- i) Em face aos resultados obtidos, é de se esperar, que a magnetometria aérea, funcione muito bem na região.

### 7.1.3. INFORMAÇÕES ESTATÍSTICAS

- a) Produção: foram feitos nos trabalhos cerca de 220,1 km lineares, abrangendo uma área de 2.280 ha.
- b) Custos: o custo dos trabalhos de Gravimetria foi calculado em US\$ 380 por km linear, e

para a Magnetometria foi calculado US\$ 137,6 na mesma unidade.

## 7.2. RESERVAS ATUAIS

Até o presente, são conhecidas 15 ocorrências de cobre no Vale do Curaçá. Para as seguintes foram calculadas reservas (medidas, indicadas e inferidas): Caraiba, Baraúna e Barauninha, Surubim, Lagoa da Mina, Cercado Velho, Bela Vista e Pirulito. O total das reservas são citadas como sendo de 88 milhões de toneladas de minério, com um teor de cobre variando desde 1,2% até 2,0% (7).

O índice das perfurações estéreis, é muito elevado, e da ordem de 80%. A lavra, e as instalações industriais, necessárias à produção do concentrado, exigem investimentos da ordem de US\$ 114,5 milhões (preço para 1972), investimento este, que só é rentável, a partir de uma reserva mínima da ordem de 100 milhões de toneladas de minério. Para utilizar toda capacidade industrial prevista para a segunda fase do Projeto, ou seja, uma produção anual de 70.000 toneladas de cobre metálico, considerando-se as reservas atuais, seria necessário importar cerca de 70% de minério.

Assim, para aumentar a precisão das reservas conhecidas e para descobrir-se novas reservas (com perfurações mais bem localizadas), o que satisfaria o Projeto Industrial, sugere-se os seguintes passos:

- a) Perfurações adicionais com o objetivo de definir, com mais segurança, as reservas atuais, resultando isto em um plano de lavra, mais acurado. A relação existente, de cerca de 3,3 milhões de toneladas de minério cubado, por cada 1000 m de perfuração realizada, é alta e insegura, considerando-se

o tipo irregular da mineralização;

- b) Um programa de prospecção, com base científica, e cuja sistemática inclua métodos geofísicos, quer aéreo quer terrestre.

### 7.3. SUGESTÃO PARA UM PROGRAMA DE PROSPECÇÃO NO VALE DO CURAÇÁ

A presente sugestão, está baseada nos resultados obtidos com os métodos gravimétrico e magnetométrico testados por nós, como também, através discursões e leitura dos trabalhos de autores que nos precederam nos demais trabalhos executados na região.

Nossa sugestão é feita, para uma área hipotética, de cerca de 1.400 km<sup>2</sup>, medindo 20 x 70 km, onde ocorram cerca de 6% de rochas máficas e ultramáficas.

A duração total do Programa sugerido é de cerca de 21 meses (ver Tabela 18).

TABELA 18-a - Trabalhos de Semi-detulhe (Trabalhos iniciais da área hipotética de 1.400 ha.)

FASE DA PROSPECÇÃO	ESPECIFICAÇÕES		CUSTOS UNITÁRIOS (US\$)	CUSTOS TOTAIS US\$ 1000
Foto Interpretação e Geologia de campo	Escala: 1.25.000	DURAÇÃO 7 meses	45/km <sup>2</sup>	58,8
Geofísica aérea: magnetometria + cintilometria + eletromagnético	Total 2.800 km: 40 Perfis de 70 km espaçados de 500 m.		30/km <sup>2</sup>	42,0

Continuação ...

FASE DA PROSPECÇÃO	ESPECIFICAÇÕES	DURAÇÃO	CUSTOS UNITÁRIOS (US\$)	CUSTOS TOTAIS (US\$1000)
Petrografia e Petrologia	Estudo completo de 100 lâminas e 30 seções polidas.	7 meses	42 e 30 respectivamente p/lâmina	5,7
Abertura de Picadas	2.800 km.		7/km	19,6
Geoquímica	Amostragem a cada 300 m em perfis de 500 m, Total 4500 amostras. Análises para Cu, Pb, Zn, Ni e Co.		10 por análise	45,5
Interpretação	Escolha de áreas para detalhe.			10,0

TABELA 18-b - Trabalhos de Detalhe (Considera-se que cerca de 10% da área inicial, ou seja 140 km<sup>2</sup>, seja detalhada).

FASE DA PROSPECÇÃO	ESPECIFICAÇÕES	DURAÇÃO	CUSTOS UNITÁRIOS (US\$)	CUSTOS TOTAIS (US\$1000)
Abertura de picadas	Abertura de 1360 km de picadas com linhas de 100 m.	8 meses	17/km	9,52
Geoquímica	2700 amostras em uma rede de 100 x 50 m. Análise de 3 elementos.		4/km	108,0

Continuação ...

FASE DA PROSPECÇÃO	ESPECIFICAÇÕES	DURAÇÃO	CUSTOS UNITÁRIOS (US\$)	CUSTOS TOTAIS (US\$ 1000)
Mapeamento Geológico	Mapeamento em escala 1:1000. Escavações e Trincheiras	0 meses	4150/km <sup>2</sup>	580,0
Geofísica: Gravimetria + Magnetometria + I.P.	1500 km de perfil em uma rede de 100x x 50 m. Previstos 140 km adicionais		930/km	1395,0
Integração de todos os dados	Estudo especial para locação de perfurações			9,0
<p>Considera-se que cerca de 1,7% da área apresente interesse e que 50 corpos sejam testados com perfurações. As dimensões dos corpos são 100 x 250 e a profundidade 200 m.</p>				
PERFURAÇÕES PIONEIRAS	2 furos por corpo, com 200 m de profundidade. Total: 20.000 m.	2 meses	55/m	1100,0
Avaliação provisória	a) Análise química de testemunhos. b) Estudos da viabilidade econômica do Projeto			50,00
<p>Considera-se que metade dos corpos perfurados sejam de interesse econômico. O Programa faria perfurações adicionais em rede de 25 m.</p>				

TABELA 18-c - Trabalhos de Detalhe

FASE DA PROSPECÇÃO	ESPECIFICAÇÕES	DURAÇÃO	CUSTOS UNITÁRIOS (US\$)	CUSTOS TOTAIS (US\$ 1000)
PERFURAÇÕES ADICIONAIS	36 perfurações de 150 m por corpo. Total: 5000 m por Corpo. Total para 25 corpos: 75.000m.	4 meses	55/m	4125,0
CÁLCULOS DAS RESERVAS	a) Análise química dos testemunhos b) Estudos finais de viabilidade			200,0

Se for descoberto através desta sistemática, reservas da ordem de 3,5 milhões de toneladas para cada corpo, o Projeto teria no final descoberto reservas totais de 87,5 milhões de toneladas. O custo de uma tonelada de minério "in situ" seria de US\$ 0.097.

## 8. RESUMO DOS RESULTADOS

Desde a segunda metade do século XIX, são conhecidas mineralizações de Cobre no Vale do Curaçá.

Até o presente estágio de conhecimento, é admitido estarem tais mineralizações, associadas a "complexos máficos", onde se encontram disseminados os sulfetos de cobre. As rochas encaixantes são gnaisses, migmatitos e granitos do Precambriano. Segundo as medições geofísicas realizadas, estes complexos máficos sugerem, por vezes, a forma dômica, cuja projeção é uma elipse, medindo o eixo maior desde 20 m até 215 m.

Desde muito tempo são feitas pesquisas na região. No início da década de 60 foram feitas prospecções geoquímica. Nesta mesma época, foram feitos trabalhos experimentais e elementares de magnetometria. A partir do ano de 1967, foram feitos trabalhos com o método geofísico de IP, AFMAG e Telúrico.

De todos os métodos anteriormente utilizados, a geoquímica e o IP são os que apresentaram melhores resultados. Entretanto a geoquímica, tem uma séria limitação, que é o fato de fornecer anomalias deslocadas (anomalias de exudação) e o IP, apresenta dificuldades de interpretação, como a devida existência de grafite, comum na região, resultando normalmente em locação errada das perfurações.

No ano de 1970 o autor deste trabalho, pensou em utilizar a combinação dos métodos magnetométrico e gravimétrico para localizar complexos máficos soterrados. A vantagem desta combinação está na possibilidade de se fazer um controle mútuo dos métodos, resultando na segurança da interpretação qualitativa e quantitativa, das anomalias. Também, considera-se que utilizando-se a gravimetria, método mais caro que a magnetometria, os custos deste último método, associado ao primeiro, é insignificante.

Através da utilização destes métodos, na área de trabalho da Tese, e também posteriormente na CPRM, o autor teve oportunidade de descobrir diversos corpos máficos. O passo seguinte, para a descoberta de eventuais mineralizações de cobre associada, será a utilização de trabalhos de detalhe, de geoquímica, IP e perfuração.

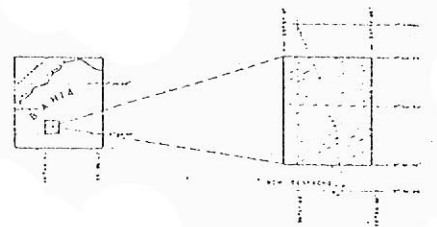
Finalmente o autor sugere um modelo da sistemática de Prospecção, a ser utilizada na área do Curaçá, e em regiões geologicamente análogas.

DIE ANWENDUNG VON MAGNETIK UND GRAVIMETRIE  
 IN DER PROSPEKTION FÜR KUPFERERZE IN DER  
 GEGEND VON COPACA, PROVINZ BAHIA, BRASILIEN

**MAGNETISCHE ANOMALIEN**  
**( $\Delta Z$ )**

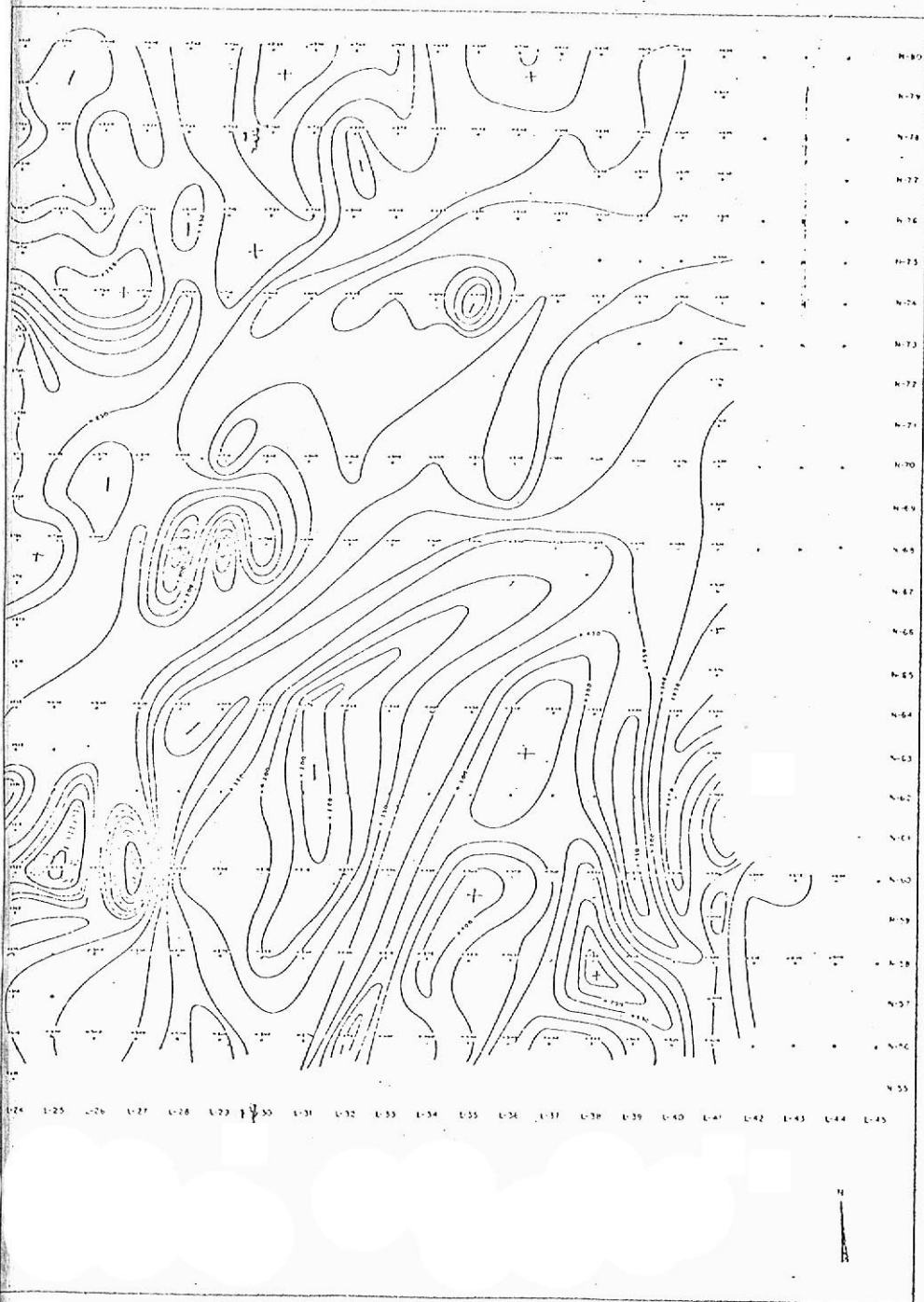
MESSRIEHT, VOM DESPACHO  
 WÄSSTEN

SITUATION



LEGENDE

- MAGNETISCHER BEZUGSPUNKT
- + 870 MAGNETISCHE ANOMALIE ( $\Delta Z$ )
- ANOMALIEN VON  $\Delta Z$  (1 G)
- MESSPROFIL
- RELATIVES MAXIMUM
- RELATIVES MINIMUM
- VERTEILUNGEN ODER KONTAKE (GEOGRAPHISCHE AUSWERTUNG)



FIGUR-47



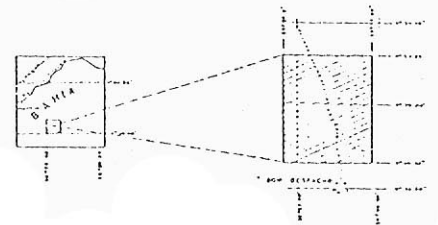
" DIE ANWENDUNG VON MAGNETIK UND GRAVIMETRIE  
 IN DER PROSPEKTION FÜR KUPFERERZE IN DER  
 GEGEND VON CURACA, PROVINZ BAHIA, BRASILIEN "

MAGNETISCHE ANOMALIEN  
 UND  
 (GEOLOGISCHE INTERPRETATION)

MESSEGEbiet, BOM DESPACHO

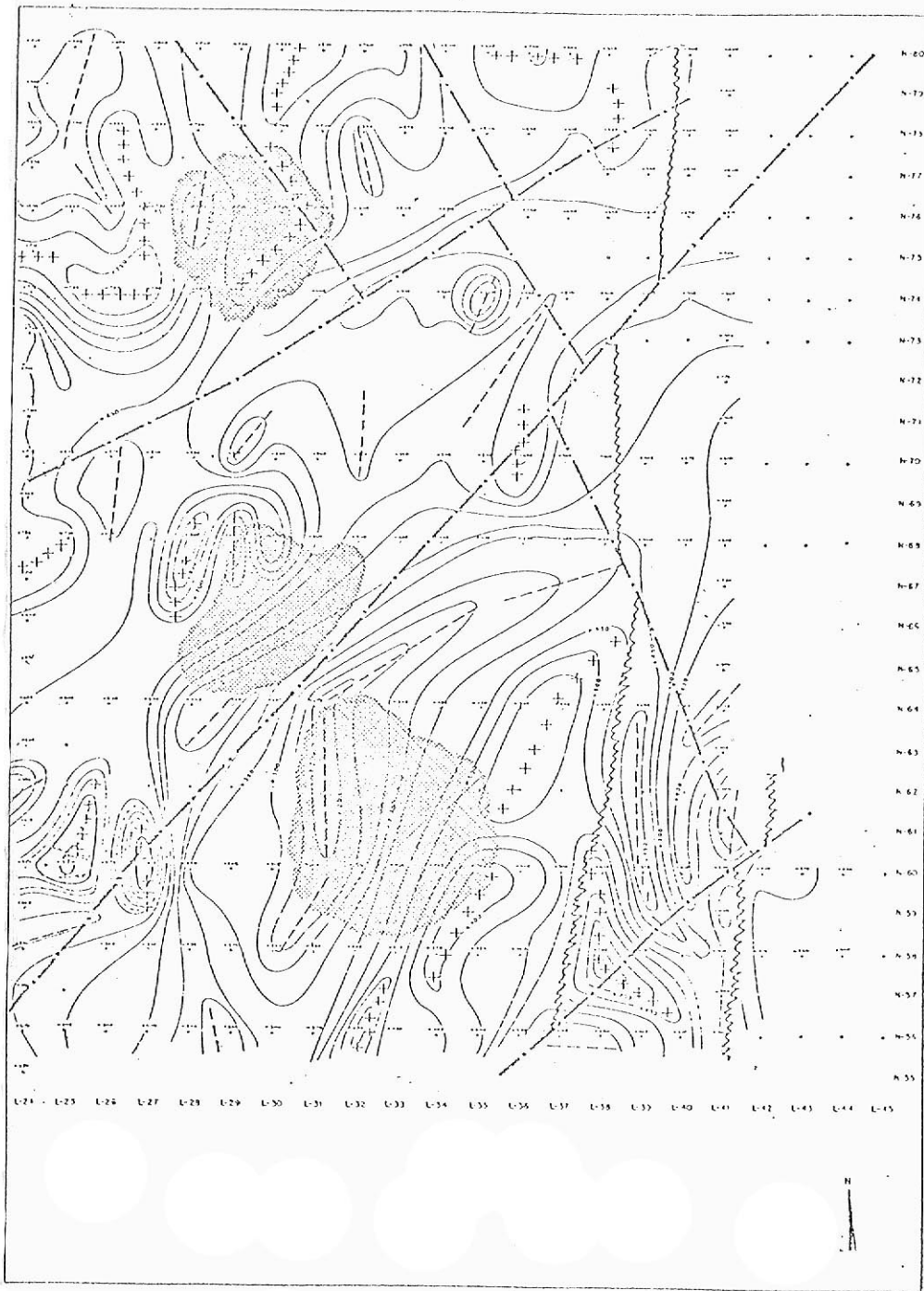


SITUATION



LEGENDE

- MAGNETISCHER MASSSTAB
- + 320 MAGNETISCHE ANOMALIE (E<sub>1</sub>)
- ISANOMALIE VON ΔZ (E<sub>2</sub>)  
INTERVALL 200 G
- N-90  
L-42 MEßSTRICH
- + + + RELATIVES MAXIMUM
- - - RELATIVES MINIMUM
- VERWÄRTUNGEN ODER KONTAKTE  
GEOGNOSTISCHE AUSGÄHNDE
- KONTAKTE
- MAGNISCHE KOMPLEX



FIGUR- 48

\* Os dois paragrafos seguintes devem vir após a Figura 49.

\* Nach mündlichen Informationen der Techniker der Caraiba Metais S.A. betrug der mittlere Kupfergehalt in diesem Körper bis zum Zeitpunkt der Information unglücklicherweise nur 0.4 % Kupfer.

Selbst wenn die geochemische Sekundäranomalie, die zu den ersten drei Bohrungen führte (ohne Resultate) ihren Ursprung in einem anderen als dem von uns gefundenen Körper haben sollte, bleibt doch die Evidenz, daß es sich wahrscheinlich um eine verschleppte Anomalie handelt. Eine solche Schlußfolgerung wird die Anwendung der Geophysik in diesem Gebiet verstärken.

#### 6.2.2. Schlußfolgerungen

Von den Resultaten ausgehend schlugen wir drei Bohrungen vor, die F 16-1, F 16-2 und F 16-3 benannt wurden. Die Lage der Bohrpunkte kann der Figur 46 entnommen werden. Wir unternahmen Berechnungen, durch welche wir die Tiefen des mafischen Körpers voraussagen konnten. Die Berechnungen waren folgende und beziehen sich auf die Anomalie A der Figur 46.

a) Berechnung nach der Formel:

$$h \leq 0.86 \Delta g_{\max} / |\Delta g'_{\max}| \quad (27, S.52)$$

$$\Delta g_{\max} = 1.10 \text{ milligal} \quad \text{und} \quad \Delta g'_{\max} = 0.87 / 100 \text{ m}$$

$$h \leq 0.86 \cdot 1.10 / 0.87 / 100 \rightarrow \boxed{h \leq 110 \text{ m}}$$

b) Berechnung nach der Formel:

$$h \approx 1.50 \Delta g (x) / \Delta g' (x) \quad (27, S.52) , \text{ wo}$$

$\Delta g$  und  $\Delta g'$  in eine gewisse (x) Entfernung gebracht werden.

$$g = 1.10 \text{ milligal}$$

$$g' = 0.64 \text{ milligal} / 250 \text{ m}$$

$$h \approx 1.50 \cdot 1.10 / 0.64 / 250$$

$$h \approx 64 \text{ m}$$

Letzteres Resultat stimmt mehr mit den durch die Bohrungen ermittelten Tiefen überein. Die mittlere Tiefe der Oberkante des mafischen Körpers beträgt etwa 60 m. Die Resultate der drei Bohrungen finden sich in Figur 49.

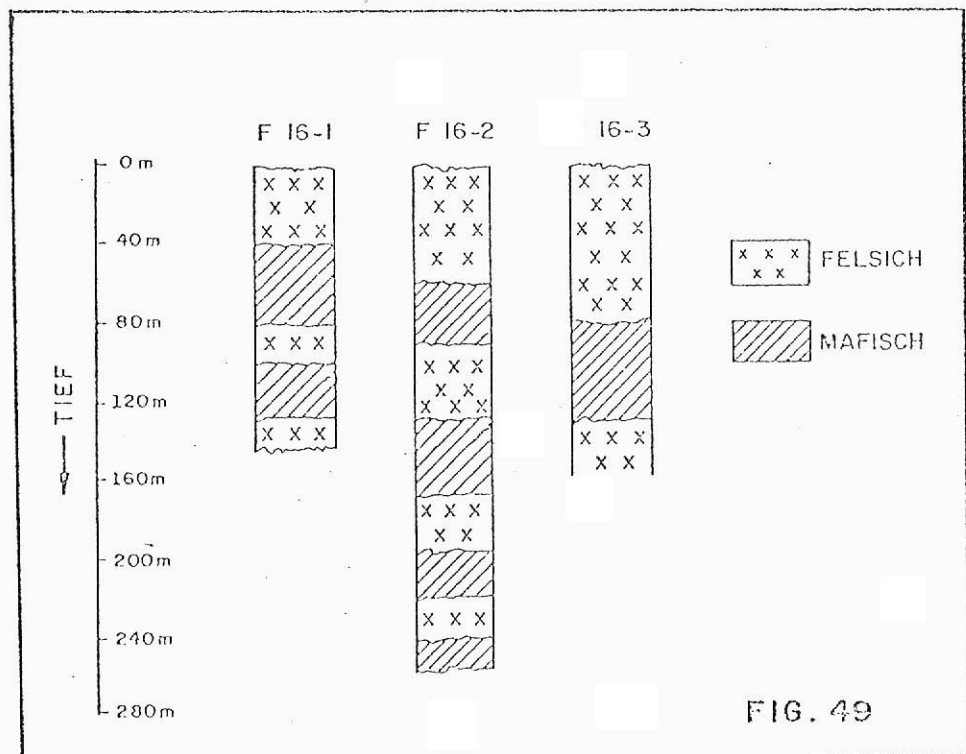


FIG. 49

## 7.0. Zusammenfassung und Vorschläge

### 7.1. Schlußfolgerungen über die Anwendung gravimetrischer und magnetischer Aufnahmen im Gebiet von Curaca

Auf Grund der Ergebnisse, die in den Kapiteln 3., 4., 5. und 6. zusammengestellt sind, können folgende Schlußfolgerungen über die Anwendung der getesteten Methoden im Tal des Curaca hinsichtlich der Kupferprospektion gezogen werden.

#### 7.1.1. Gravimetrie

- a) Gravimetrische Aufnahmen stellen die einzige Methode dar, die unabhängig von Oberflächenstörungen tief-liegende mafische Körper, mineralisiert oder nicht, entdecken können.
- b) Ein Auswerter, der das Gebiet gut kennt, kann unter Umständen an Hand der Dichtedifferenzen, die aus Bouguer- oder Residualkarten berechnet werden, abschätzen, ob es sich um taube oder mineralisierte mafische Gesteine handelt. Dichtedifferenzen größer als  $0.25 \text{ g/cm}^3$  scheinen charakteristisch für Erzanreicherungen zu sein. Der Dichtekontrast ist proportional zum Erzgehalt.
- c) Obwohl die Methode nicht mit Sicherheit Schlüsse

## 7.0. Zusammenfassung und Vorschläge

### 7.1. Schlußfolgerungen über die Anwendung gravimetrischer und magnetischer Aufnahmen im Gebiet von Curaca

Auf Grund der Ergebnisse, die in den Kapiteln 3., 4., 5. und 6. zusammengestellt sind, können folgende Schlußfolgerungen über die Anwendung der getesteten Methoden im Tal des Curaca hinsichtlich der Kupferprospektion gezogen werden.

#### 7.1.1. Gravimetrie

- a) Gravimetrische Aufnahmen stellen die einzige Methode dar, die unabhängig von Oberflächenstörungen tief-liegende mafische Körper, mineralisiert oder nicht, entdecken können.
- b) Ein Auswerter, der das Gebiet gut kennt, kann unter Umständen an Hand der Dichtedifferenzen, die aus Bouguer- oder Residualkarten berechnet werden, abschätzen, ob es sich um taube oder mineralisierte mafische Gesteine handelt. Dichtedifferenzen größer als  $0.25 \text{ g/cm}^3$  scheinen charakteristisch für Erzanreicherungen zu sein. Der Dichtekontrast ist proportional zum Erzgehalt.
- c) Obwohl die Methode nicht mit Sicherheit Schlüsse

über den Typ der Mineralisierung erlaubt, kann sie im Zusammenhang mit magnetischen, geochemischen und I.P.-Aufnahmen bestehende Zweifel klären und somit wesentlich zum größeren Erfolg der Bohrungen beitragen.

d) Um sichere Aussagen machen zu können, ist eine Genauigkeit von 0.05 milligal der Bouguerwerte erforderlich.

e) Im Gegensatz zu transportabhängigen Methoden können gravimetrische Aufnahmen schnell und mit geringen Kosten in nicht aufgeschlossenen Gebieten durchgeführt werden.

f) Für Detailaufnahmen empfiehlt sich ein Aufnahmernetz mit folgenden Ausmaßen:

Linienabstand 50 m und innerhalb der Profile ein Punktabstand von 25 m. Für Semi-Detail-Vermessungen kann der Profilabstand auf 100 oder 200 m vergrößert werden mit entsprechenden Punktabständen von 100 bis 200 m.

#### 7.1.2. Magnetik

a) Positive magnetische Vertikalanomalien scheinen über mafischen Körpern vorzukommen. In dem Maß wie die Suszeptibilitätskontraste ansteigen, vergrößern sich die Möglichkeiten, daß die mafischen Körper mineralisiert sind ( $7.000 \times 10^{-6}$  cgs). Allerdings sind auch mineralisierte Gesteine mit geringen Suszeptibilitätswerten von der Größenordnung  $3.000 \times 10^{-6}$  cgs bekannt.

- b) Gesteine ohne Interesse für die Kupferprospektion weisen im allgemeinen eine niedrige Suszeptibilität auf und zwar in der Größenordnung von  $500 \times 10^{-6}$  cgs.
- c) Die Methode eliminiert Unsicherheiten hinsichtlich der Anwesenheit von Magnetit in der Mineralisierung.
- d) Die magnetische Aufnahme ist die billigste Methode im Arbeitsgebiet.
- e) Magnetische Vermessungen unterstützen sehr gut die geologischen Aufnahmen, da sie Schlußfolgerungen über Strukturen erlauben und außerdem Verwerfungen, Brüche und Kontakte gut definieren.
- f) Die Aufnahmen sollten im gleichen Aufnahmenetz wie für die Gravimetrie durchgeführt werden.
- g) Es empfiehlt sich, Instrumente mit einer Ablesegenauigkeit von 1 Gamma zu benützen.
- h) Kleine örtliche Konzentrationen von Magnetit können scharfe und unregelmäßig verteilte Anomalien verursachen.
- i) Sowohl gravimetrische als auch magnetische Residualkarten, die vom Rechenautomaten reproduziert werden, eignen sich sehr gut für Interpretationszwecke.
- j) Auf Grund der vorliegenden Ergebnisse ist zu erwarten, daß aeromagnetische Aufnahmen gute Resultate liefern können.

### 7.1.3. Statistische Informationen

#### a) Produktion

Für die vorliegende Arbeit wurden 220,1 km vermessen, die sich über ein Gebiet von 2.280 ha erstrecken. Die weiter unten angeführte Tabelle 17 gibt zusätzliche Informationen über Arbeitsleistungen an.

Tabelle 17

	Gravimetrie		Magnetik	
	Stationen	km	Stationen	km
Testgebiet	437	43.7	312	31.2
Detail	811	81.1	686	68.6
Semi-Detail	142	28.4	210	42.0
Total	953	109.5	896	110.6

#### b) Kosten

Die angegebenen Werte schließen alle Kosten ein, angefangen von topographischen Aufnahmen bis zur endgültigen Datenverarbeitung. "Stand by" - Kosten der Instrumente sind auch berücksichtigt worden.

	Gravimetrie		Magnetik	
Kosten pro km	380	US \$	137,6	US \$
Kosten pro km <sup>2</sup>	3650	US \$	1335	US \$
Kosten pro Meßpunkt	43,65	US \$	17	US \$
Total	41600	US \$	15220	US \$



## 7.2. Aktuelle Reserven

Es sind zur Zeit 15 Kupfervorkommen im Tal des Curaca bekannt. Für die folgenden wurden Reserven (sicher, wahrscheinlich, angedeutet) berechnet: Caraiba, Barauna und Barauninha, Surubin, Lagoa da Mina, Cercado Velho, Bela Vista und Pirulito. Die Gesamtmenge der Erzreserven wurde mit 88 Millionen Tonnen berechnet mit einem ungefähren Kupfergehalt von 1,2 % bis 2,0 % (7). Alle diese Minen wurden vor der Ausführung dieser Arbeit entdeckt und zwar fast ausschließlich nach geologischen oder geochemischen Aufnahmen, was dadurch zu erklären ist, daß die Erzanreicherungen an der Oberfläche oder sehr dicht darunter vorkommen.

Die Anwendung der herkömmlichen Prospektionsmethoden zur Auffindung neuer und tieferliegender Erzkörper war nicht erfolgreich. Der Index der Mißerfolge der Bohrungen stieg auf ungefähr 80 % an. Die Industrialisierung des Abbaus und der Aufbereitung, die Kapitalsanlagen von ungefähr US \$ 114,5 Millionen erfordert, ist nur mit einer Mindestreserve von 100 Millionen Tonnen von Kupfererzen wirtschaftlich.

Zur Ausnützung der Kapazität der geplanten Aufbereitungs- und Verhüttungsanlage, die im zweiten Bauplan für eine Jahresproduktion von 70.000 Tonnen metallischen Kupfers ausgelegt ist, kann mit den bekannten Reserven nur voll ausgenützt werden, wenn ungefähr 70 % von Kupfererzen eingeführt werden.

Zur Bestätigung der bekannten Reserven und zur Auffindung neuer Vorkommen sollten die folgenden Punkte berücksichtigt werden:

- a) Zusätzliche Bohrungen mit dem Ziel, bekannte Reserven zu definieren und damit die Wirtschaftlichkeit des Abbaus zu garantieren. Das Verhältnis von 3,3 Millionen Tonnen Erzvorkommen zu ungefähr 1000 m Bohrung ist relativ unsicher, wenn man die Unregelmäßigkeit der Erzanreicherungen in Betracht zieht.
  
- b) Es muß ein rationelleres Prospektionsprogramm eingeführt werden, um den Index der Mißerfolge der Bohrungen herunterzudrücken. Die herkömmliche Prospektionspolitik ist falsch, da keine systematischen geophysikalischen Untersuchungen, seien es Luft- oder Oberflächenmessungen, durchgeführt wurden. Einwendungen von Seiten der Privatfirmen gegen die Anwendung von geophysikalischen Methoden sind nicht stichhaltig. Glücklicherweise scheinen die brasilianischen Staatsfirmen anderer Auffassung zu sein, was auf eine mögliche Änderung der Prospektionspolitik hoffen läßt. Geophysikalische Untersuchungen dieser Firmen sind schon von Erfolg gekrönt worden.

### 7.3. Vorschläge für ein Prospektionsprogramm im Tal des Curaca

Mit dem Ziel, die Fehler der Prospektionsprogramme zu korrigieren, wird in diesem Abschnitt eine Systematik der Prospektion unterbreitet. Die Grundlagen dieser Vorschläge basieren auf den Ergebnissen der gravimetrischen und magnetischen Untersuchungen dieser Arbeit und auf Diskussionen mit Autoren anderer Veröffentlichungen, die im Arbeitsgebiet tätig waren.

Zur besseren Übersicht wurden die Kosten für die verschiedenen Phasen des Programms und für ein Arbeitsgebiet von  $1.400 \text{ km}^2$  mit den Ausmaßen von  $20 \times 70 \text{ km}$  diskutiert. Diese Ausmaße entsprechen ungefähr dem Gebiet des Tals von Curaca, in dem 6 % von mafischen und ultramafischen Gesteinen vorkommen.

Die Zeitdauer für die Durchführung dieses Programms wird auf ungefähr 21 Monate geschätzt (Tabelle 18).

Phasen der Prospektion	B e s c h r e i b u n g	Dauer	Kosten pro Einheit US \$	Totale Kosten US \$ 1000
Luftbildgeologie und geologische Feldaufnahmen	Maßstab 1 : 25.000	7 M o n a t e	45 / km <sup>2</sup>	58,8
Fluggeophysik: Aeromagnetik + Szintillometrie + E.M.	Total 2.800 km: 40 Profile von 70 km Länge und 500 m Abstand		30 / km <sup>2</sup>	42,0
Petrographie und Petrologie	Komplette Untersuchungen von 100 Dünn- schliffen. Untersuchungen von 30 Anschliffen		42 und 30 pro Schliff	5,7
Ausschlagen von Meßprofilen	2.800 km		7 / km	19,6
Geochemie	Probenentnahme im Punkt- abstand von 300 m in Profilen mit 500 m Ab- stand, 4500 Proben. Analyse auf Cu, Pb, Zn, Ni und Co.		10 pro Analyse	45,5
Auswertung	Auswahl von Gebieten für Detailaufnahmen			10,0

Tabelle 18 a : Semi-Detail-Aufnahme

Es ist anzunehmen, daß 10 % des Gebietes, ungefähr 140 km<sup>2</sup>, näher zu untersuchen sind.

Phasen der Prospektion	B e s c h r e i b u n g	Deuer	Kosten pro Einheit US \$	Totale Kosten US \$ 1000
Ausschlagen von Meßprofilen	Ausschlagen von 1360 km Meßprofilen im Abstand von 100 m	S M o n a t e	17 /km	9,52
Geochemie	2700 Proben in einem Entnahmenetz von 100 x 50 m. Analyse auf 3 Elemente		4 /km	108,0
Feldgeologie	Kartierung im Maßstab 1 : 1000. Schürfgärten und Bohrungen		4150 / km <sup>2</sup>	580,0
Geophysik: Gravimetrie + Magnetik + I.P.	Aufnahmenetz 100 x 50 m Total: 1500 km, Profillänge. Vorgesehen 140 km zusätzlicher Profile		930 / km	1395,0
Einheitliche Auswertung aller Informationen	Spezialauswertungen zur Auswahl von Bohrpunkten		.	9,0
<p>In der Annahme, daß 1,7 % des Gesamtgebietes höffig sind, kann erwartet werden, daß 50 Körner durch Bohrungen getestet werden müssen. Mit einer mittleren Bohrteufe von 200 m und einer Ausdehnung der Körper von 100 x 250 m sind anzusetzen:</p>				
Prospektionsbohrungen	2 Bohrungen pro Körper mit 200 m Bohrteufe. Total: 20.000 m	S M o n a t e	55 / m	1100,0
Vorläufige Beurteilung	a) Chemische Analysen der Bohrproben b) Abschätzung der Wirtschaftlichkeit des Projektes			50,0
<p>In der Annahme, daß die Hälfte der abgebohrten Körper von wirtschaftlichem Interesse sein könnte, wären folgende zusätzliche Bohrungen nötig (Bohrnetz von 25 x 25 m).</p>				

Tabelle 18 b : Detailaufnahme

Phasen der Prospektion	B e s c h r e i b u n g	Dauer	Kosten pro Einheit US \$	Totale Kosten US \$ 1000
Zusätzliche Bohrungen	36 Bohrungen mit 150 m Bohrteufe. 5000 m / Körper. Total für 25 Erzkörper: 75.000 m	4 Monate	55 / m	4125,0
Berechnung der Reserven	a) Chemische Analyse der Bohrproben b) Abschließende Beurteilung			200,0

Tabelle 18 c : Detailaufnahme

Wenn jeder durch diese Systematik entdeckte Körper eine Kupferreserve von 3,5 Millionen Tonnen hat, hätten wir eine Totalreserve von 87,5 Millionen Tonnen. Die Kosten einer Tonne "in situ" wären US \$ 0.097 .

## 8.0. Zusammenfassung der Ergebnisse

Das Vorhandensein von Kupfererzen im Gebiet von Curaca wurde bereits in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts auf Grund von Ausbissen bzw. Verfärbungen an der Oberfläche registriert.

Soweit bisher bekannt, ist die Kupfervererzung dieses Gebietes nur auf die sogenannten "Complex basic rocks" beschränkt. Diese basischen Gesteinskörper, die im selben Komplex Übergänge vom Gabbro zum Norit und zum Pyroxenit aufweisen, sind stellenweise mit Kupfersulfiden unregelmäßig imprägniert. Das Nebengestein besteht aus stark metamorphen Gneisen, Migmatiten und Graniten des Präkambriums. Diese basischen Gesteinskörper haben oft eine linear gestreckte Form und fallen meist steil ein. Gelegentlich scheinen diese Körper eine domartige, an elliptische Zylinder erinnernde Form zu haben. Ihre Querschnittsdimensionen variieren recht stark. Bisher konnten solche von etwa 20 m bis ca. 215 m geophysikalisch vermessen werden.

Die Überdeckung der basischen Gesteinskörper ist verschieden mächtig und kann etwa zwischen 2 m bis über 10 m variieren. Die Überdeckung besteht aus Verwitterungsböden bzw. angeschwemmten Alluvionen.

Im Laufe der Zeit wurden hier auch verschiedene Untersuchungen, allerdings meist mit unzureichenden Mitteln, zwecks Feststellung der Ausdehnung der Kupfervererzung und der Kupfergehalte vorgenommen.

Seit dem Beginn der Sechzigerjahre hat man hier - allerdings mehr in Teilgebieten der Region - mit der geochemischen Prospektion begonnen. Zur selben Zeit erfolgten einige rudimentäre Versuche mit Magnetik. Seit dem Jahre 1967 wurden hier Versuche zwecks Auffindung neuer Kupfervorkommen mit den Methoden der Induzierten Polarisation, der AFMAG und der Tellurik vorgenommen. Von all den zuletzt angewandten Methoden scheinen sich in diesem Gebiet die Geochemie sowie die Induzierte Polarisation bewährt zu haben. Bei der Geochemie tritt allerdings eine recht unangenehme Komplikation in Form verschleppter Anomalien auf und bei der I.P.-Methode das Auftreten des Graphits in diesem Gebiet, was zu gewissen Schwierigkeiten in der Interpretation der Meßergebnisse und zum Ansatz von Fehlbohrungen führt bzw. führen kann.

Im Jahre 1970 schlug schließlich der Verfasser dieser Arbeit erstmalig die Anwendung einer Kombination der Magnetik und der Gravimetrie zur Auffindung überdeckter basischer Gesteinskomplexe vor. Der Vorteil dieser Kombination besteht einmal in der gegenseitigen Kontrolle der Meßergebnisse beider Apparaturen sowie vor allem in der Möglichkeit einer weitgehend korrekten qualitativen und quantitativen Interpretation der Meßergebnisse bzw. der gegebenen Anomalien. Übrigens fallen bei den relativ hohen Kosten der Gravimetrie die niedrigen Kosten der Magnetik kaum ins Gewicht. Durch die Anwendung dieses Verfahrens ist es dem Verfasser bzw. den Herren der ihm unterstehenden Abteilung der CPRM in der letzten Zeit ge-



lungen, neue basische Gesteinskörper im obigen Gebiet zu entdecken, was die Richtigkeit dieses Verfahrens überzeugend bestätigt. Durch die nachfolgende Überprüfung einer eventuell vorhandenen Kupfervererzung in diesen basischen Gesteinskörpern mittels detaillierter Geochemie, I.P. und schließlich Bohrungen ist es bisher zur Auffindung eines vererzten Komplexes gekommen. Einige weitere dieser neu aufgefunderer basischer Gesteinskörper werden demnächst durch aufschließende Methoden untersucht.

Auf Grund seiner seit mehreren Jahren gesammelten Erfahrungen auf dem Prospektionsgebiet in dieser schwierigen Gegend hat der Verfasser schließlich in vorliegender Arbeit ein Modell der Durchführung von Prospektionsarbeiten in dieser Region sowie in analogen Gebieten aufgestellt.

## LITERATURNACHWEIS

1. BARBOSA, O., 1970: Geologia Economica da Parte da Regiao do medio Sao Francisco Nordeste do Brasil.  
Boletim Nr. 14o - M.M.E. - Departamento Nacional da Producao Mineral - Rio de Janeiro - Brasil.
2. BARBOSA, O., 1966: Origem e idade do deposito de Cobre de Caraiba, Bahia.  
Publicacao Nr. 1 - Sociedade Brasileira de Geologia - Pagina 39 - 2o. Congresso Brasileiro de Geologia - Rio de Janeiro - Brasil.
3. DIAS, A. da C., 1972: Uma nova ocorrencia de Cobre determinada por Metodos Geofisicos na Fazenda Bela Vista - Bahia.  
Tese de Mestrado - Universidade Federal da Bahia - Salvador-Bahia.
4. DOBRIN, M., B., 1960: Introduction to geophysical Prospecting - Second Edition -  
Mc Graw Hill Book Company, Inc., Tokyo.
5. ELLERT, N., 1971: Aplicacao do metodo Electro-Magnetico Indutivo na Prospeccao de Minerio de Cobre.  
Tese para Professor - Instituto de Geociencias e Astronomia - Universidade de Sao Paulo - Sao Paulo - Brasil.
6. FONTANELLI, W., S., u. BRIM, R., J., P., 1969: Catalogo geoquimico de ocorrencias minerais na Bahia - Pagina 12 - Resumo dos Relatorios de LEWIS, R., W., MATTOSO, S., Q., e BRIM, R., J., P.  
Geoquimica Nr. 4 - Departamento OI - IGUFBA. Salvador - Bahia - Brasil.
7. FILHO, N., C., da S., 1973: Entrevista dada ao Jornal da Bahia.  
Edicao do dia 23/11/73. Editora Jornal da Bahia, Salvador - Bahia - Brasil.

8. GEOPHYSICAL PROSPECTING, 1970: Official Journal of European Association of Exploration Geophysicists - Volume XVIII - Supplement No. 1 - Tidal Gravity Corrections for 1971, Netherlands.
9. GISCO, 1969: Magnetic Susceptibility Bridge - Instructions Manual - Gisco - United States of America.
10. GRANT, F., S., u. WEST, G., F., 1965: Interpretation Theory in Applied Geophysics. Mc Graw Hill Book Company, New York, USA.
11. HALES, F., W., u. CHAMON, N., 1972: Metodo Geofísico da Polarizacão - Induzida nas áreas Cupríferas da Bahia. XXVI Congresso Brasileiro de Geologia Boletim Nr. 1 - Sociedade Brasileira de Geologia - Belem - Para - Brasil.
12. HAMMER, S., 1939: Terrain Corrections for gravimeter Stations. Geophysics, Vol. 4, page 184/194. Society of Exploration Geophysicists - Oklahoma - USA.
13. HENDERSON, R., G., u. ZIETZ, 1949: Geophysics, Vol. 14, page 508 . Society of Exploration Geophysicists - Oklahoma - USA.
14. HERMANN, E., 1968: Informacão sobre Pesquisa de Minérios de Cobre no Norte da Bahia. Boletim de Estudos Nr. 4 - Divisao de Geologia - SUDENE - Recife - Pernambuco - Brasil.
15. I.B.M., 1971: Application Program GH 20-o35-7-1 1130 Numerical Surface Techniques and Contour Map Plotting (1130 - CX - IIX) - Programmer's Manual I.B.M. - USA.
16. KANE, M., F., 1962: A comprehensive System of Terrain Corrections using a digital computer. Geophysics, Vol. XXVIII, page 455/462. Society of Exploration Geophysicists - Oklahoma - USA.

17. LEONARDOS, O., H., 1956: Cobre no Brasil e no estrangeiro - Avulso Nr. 79 - Ministerio da Agricultura - Departamento Nacional da Producao Mineral - Rio de Janeiro - Brasil.
18. LEWIS JR., R., W., MATTOSO, S., Q., u. BRIM, R., J., P., 1971: Geochemical Reconnaissance of the Curaca River Basin Area, Bahia - Brasil. Geological Survey Professional Paper 750-B, page B-143/B-150 - United States Government Printing Office, Washington - USA.
19. LUETZELBURG, P. v., 1923: Estudo Botanico do Nordeste - Publicacao Nr. 57 - Inspetoria - Fed. Contra Seca - Min. Viacao e Obras Publicas - Brasil.
20. MAHRHOLZ, W., W., 1966: Data collections for geological investigations and mineral exploration in the State of Bahia - Brasil. Fundacao Comissao de Planejamento Economico do Estado da Bahia - Salvador - Bahia - Brasil.
21. MATTOSO, S., Q., u. FONTANELLI, W., S., 1971: Prospeccao geoquimica para Cobre na area da Fazenda Caraiba, Municipio de Jaguarari, Bahia. Boletim especial Nr. 1 - XXV Congresso Brasileiro de Geologia - Resumo das Comunicacoes - Sao Paulo - Brasil.
22. MELLO JR., J., L., POUCHAIN, E., B., u. CASTIEL, N., 1962: Relatorio sobre a mina de Cobre da Caraiba - Estado da Bahia. Boletim Nr. 117 - M.M.E. - Departamento Nacional da Producao Mineral - Rio de Janeiro - Brasil.
23. MINERACAO E METALURGIA, 1972: Numero 330 - Junho Revista de Engenharia, Mineracao e Metalurgia, Ltda. - Rio de Janeiro - Brasil.

24. NETTLETON, L., L., 1940: Geophysical Prospecting for Oil - Mc Graw Hill Book Company, Inc., New York and London.
25. NETTLETON, L., L., 1942: Gravity and Magnetic Calculations Geophysics, Vol. 7, page 293/310.  
Society of Exploration Geophysicists - Oklahoma - USA.
26. NETTLETON, L., L., 1971: Elementary Gravity and Magnetics for Geologists and Seismologists - Society of Explorations Geophysicists Monograph Series - Paul C. Wuenschel - Editor Oklahoma - USA.
27. PARASNIS, D., S., 1967: Principles of Applied Geophysics - Methuen's Monograph on physical Subjects - Butler & Tanner Ltda. London - Great Britain.
28. PARASNIS, D., S., 1971: Geofisica Minera - Editora Paraninfo - Madrid - Espana.
29. SILVA, B. C., N., u. SILVA, S., B., De M., 1973: O cobre e suas repercussões na Região de Juazeiro (Ba) - Petrolina (Pe). Instituto de Geociencias da U.F.Ba. Salvador - Bahia - Brasil.
30. SUDENE, 1970: Parecer da Reuniao do Conselho da Sudene sobre o Projeto Caraiba. SUDENE - Recife - Brasil.
31. WOOLARD, G., P., u. ROSE, J., C., 1963: International Gravity Measurements. Society of Exploration Geophysicists - Oklahoma - USA.

### 6.1.2. Ergebnisse

Unsere Arbeiten im Kupfergebiet führten zu folgenden Ergebnissen:

a) Es wurde eine geologische Karte angefertigt, die auf magnetischen und gravimetrischen Untersuchungen basiert. Sie kann dazu dienen, daß man weitere mafische Körper entdeckt.

b) Die neun Bohrungen, die bereits vor einigen Jahren in dem Gebiet durchgeführt wurden (Figur 41), dienten geochemischen und oberflächengeologischen Untersuchungen. Lediglich in zwei der Bohrungen, nämlich mit den Nummern 14.2 und 14.3, fand man Kupfersulfate.

Der von uns entdeckte Körper D (Figur 32) zeigt, daß die Bohrungen in bezug auf das Zentrum des Körpers D falsch angesetzt sind. Sie müssen um etwa 200 bis 300 m (je nach dem Winkel der Bohrung) nach Osten verschoben werden. In diesem Fall wird man mit Sicherheit auf Kupfersulfate stoßen, da sie durch die geochemischen Untersuchungen bereits gefunden worden sind, wenn auch mit verschobener Anomalie.

c) Ein starker NW-"Trend" wurde entdeckt. Dieser Trend wird durch eine Folge von Anomalien gebildet, die wir mit A, C, D, F, G, H und T bezeichneten. Dieser Trend ist im nördlichen Teil der erwähnten Anomalien etwas nach Westen verschoben.

Die von uns entdeckten neuen Anomalien wurden untersucht und sind in Tabelle 15 zusammengefaßt. Sie befinden sich in einem 19 ha großen Gebiet, das 6 % der nördlichen Gesamtfläche der Caraiba Mine ausmacht. Die Körper sind, wie schon erwähnt, bezeichnet.

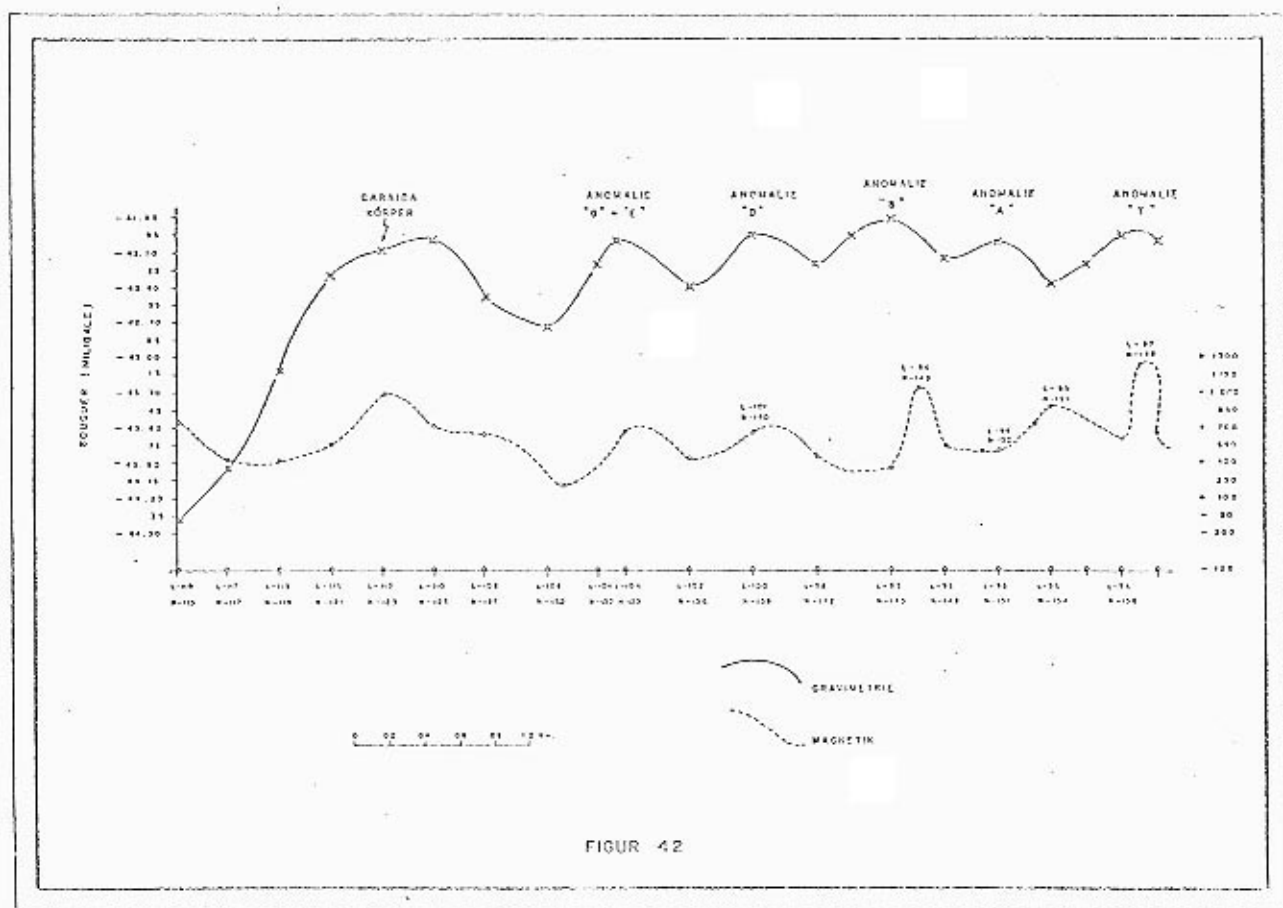
Anomalie	Situation		Geophysikalisches Modell oder geologische Interpretation	
	Karte	Zentrum		Flächeninhalt (Projektion)
A	Residual und Bouguer	N-151 L- 96	Mafischer Körper von annähernd zylindrischer Form	3.14 ha
C	Residual	N-145 L-102	Wahrscheinlich Verwerfungszone	-
D	Residual und Bouguer	N-139 L-101	Mafischer Körper von annähernd zylindrischer Form	0.91 ha
E	Residual und Bouguer	N-133 L-104	Mafischer Körper von annähernd zylindrischer Form	2.33 ha
F	Residual	N-140 L-108	Verwerfungszone oder diabasischer Körper	-
G	Residual und Bouguer	N-131 L-103	Mafischer Körper von annähernd zylindrischer Form	1.09 ha
H	Residual	N-131 L-109	Verwerfungszone oder diabasischer Körper	-
L	-Bouguer	N-144 L- 96	Mafischer Körper von annähernd zylindrischer Form	7.08 ha
M	Bouguer	N-158 L- 95	Mafischer Körper von annähernd zylindrischer Form	4.55 ha

Tabelle 15

Die Entdeckung dieser Trends erlaubt, daß man die Prospektion entlang der Hauptrichtung konzentrieren kann.

Es scheint, daß die mafischen Körper, die diesen Trend bilden, die nördliche Verlängerung des Körpers von Caraiba sind (siehe Figur 30).

Die Figur 42 zeigt besser die Beziehungen zwischen dem Trend und dem Körper von Caraiba.





## 6.2. Semi-Detail-Arbeiten im Gebiet Bom Despacho

Bom Despacho ist ein Gebiet, das sich etwa 12 km südlich der Caraiba Mine befindet (siehe Figur 3). Die geologischen und die geochemischen Arbeiten waren bereits durchgeführt worden. Im Hinblick auf die hohen Kupfergehalte per ppm, die sich aus den geochemischen Analysen ablesen ließen, wurden Schürfgräben angelegt. Dort wurden Sekundärminerale von Kupfer festgestellt (Malachit, Azurit etc.).

Aus diesen Arbeiten ergab sich die Lokation und Durchführung von drei Bohrungen, wobei weder mafisches Gestein noch Primärerz gefunden wurden.

Das Problem, das sich uns zur Lösung stellte, war, zu versuchen, die mafischen Körper zu finden, die mit Sicherheit in der Tiefe sein würden, da die geologischen Karten an der Oberfläche nichts aufwiesen.

Wir führten daher Semi-Detail-Arbeiten unter Anwendung von Schwerkraftmessungen und Magnetik durch, wobei wir das existierende Netz benützten, das aus Linien im Abstand von 200 m bzw. 400 m gebildet wurde, wobei die Punkte in Abständen von je 100 m waren. Die Feldarbeiten und das gesamte weitere Vorgehen wurden analog dem Vorgehen im Testgebiet vorgenommen.

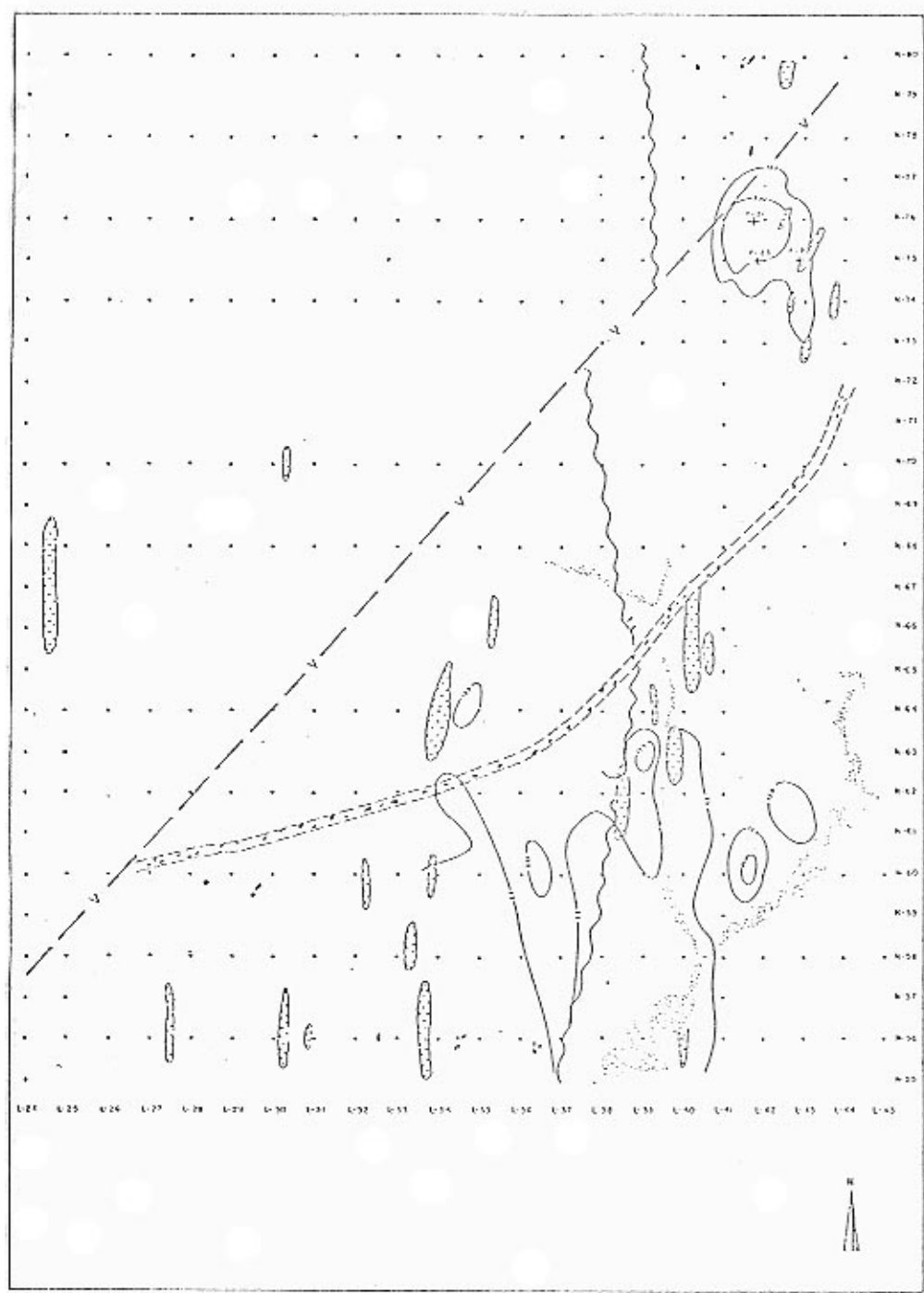
### 6.2.1. Resultate

Die erhaltenen Karten sowie auch die wichtigsten Bemerkungen zu jeder von ihnen finden sich zusammen-

gefaßt im Anhang (Tabelle 16).

Figur Nummer	Kartentypen	E r k l ä r u n g
43	Geologie und Geochemie	An der Oberfläche erscheinen wichtige Verwerfungen und Lage der mafischen Körper. Die Karte zeigt gleichzeitig die alten Bohrungen und die hauptsächlichsten geochemischen Anomalien.
44	Gravimetrie Bouguer- Anomalien	Es zeichnet sich ein großes Maximum ab, das im südlichen Gebiet entdeckt worden ist. Das Zentrum liegt im Punkt N-61 L-33 und bezieht sich zweifellos auf einen mafischen Körper.
45	Gravimetrie Regional- karte	Regionalkarte, die zur Berechnung der Residualkarte diente.
46	Gravimetrie Residual- karte	Die drei größten Anomalien A, B und C sowie vorgeschlagene Bohrungen in der Anomalie A.
47	Magnetische Anomalien ( $\Delta Z$ )	Die größten magnetischen Anomalien, besonders in bezug auf Körper A.
48	Geologische Interpre- tation	Versuch einer geologischen Kartierung, basierend auf geophysikalischen Daten.

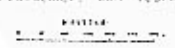
Tabelle 16



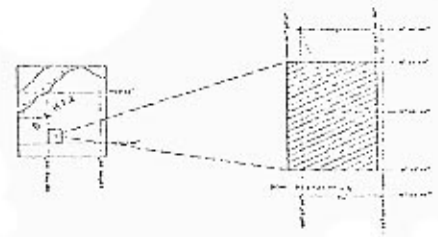
\* DIE ANWENDUNG VON MAGNETIK UND GEOCHEMIE  
 IN DER PROSPEKTION AUF KUPFERERZE IN DER  
 GEGEND VON DURICA, PROVINZ BANIA, ERGÄNZT

**GEOLOGIE UND  
 GEOCHEMIE**

MESSGERÄT: ROM GESCHÜTZT



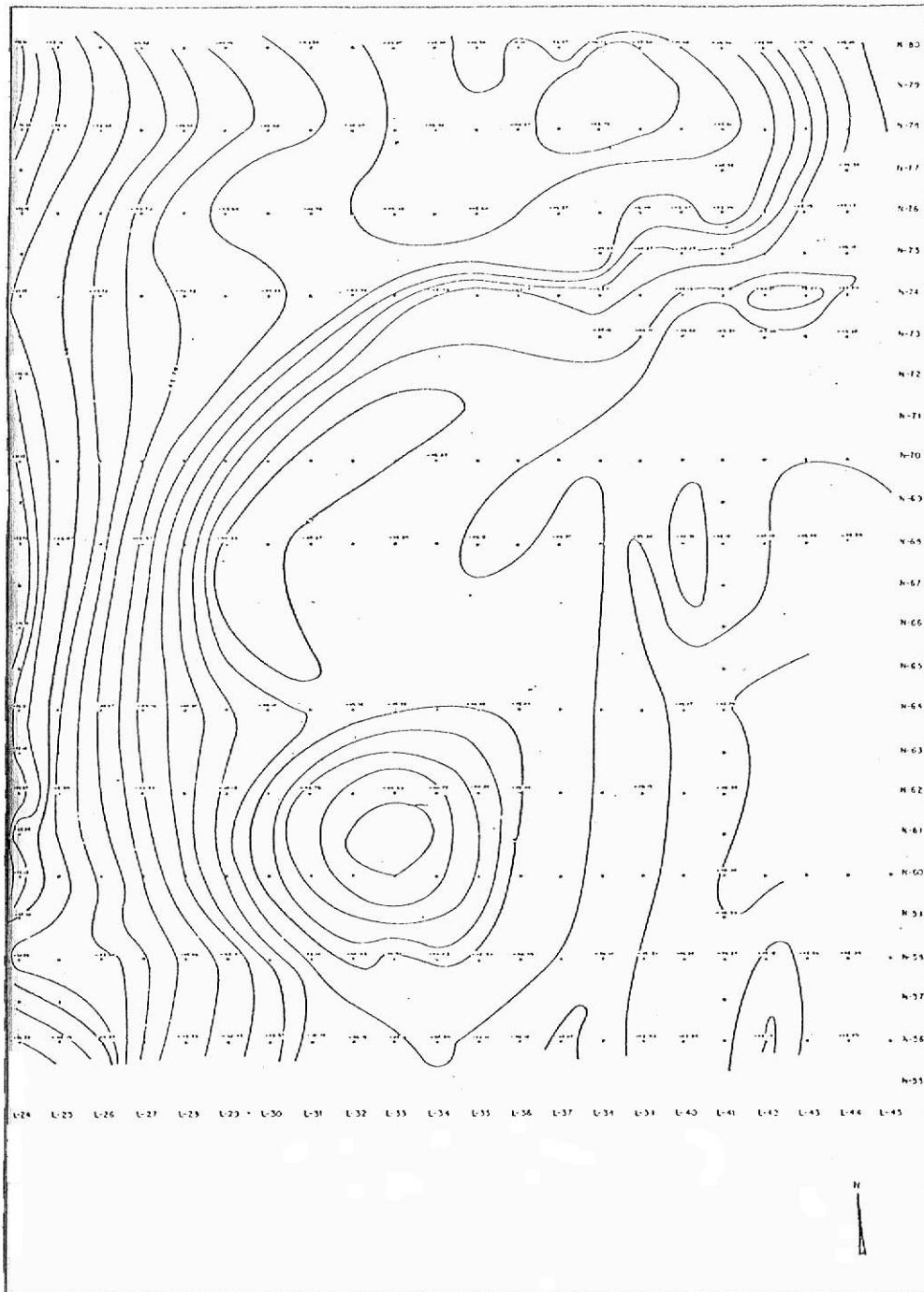
**SITUATION**



**LEGENDE**

- ERZE (EISEN)
- MAGNETIT u. ERZE
- EROSION - DARRS
- ALLUVION
- VERTEILUNG
- ALTE WÄRMELINIE
- MANGAN
- ANHÄNGE

FIGUR-43



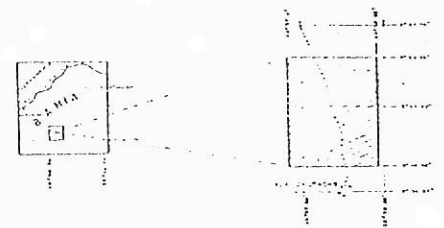
" DIE ANWENDUNG VON MAGNETIK UND GRAVIMETRIE  
 IN DER PROSPEKTION FÜR ZINNEERZ IN DER  
 GEGEND VON CURACA, PROVINZ JAMAICA, BRASILIEN "

GRAVIMETRIE  
 BOUGUER - ANOMALIEN

MESSUNG VON H. J. HEDRICH

1:50,000

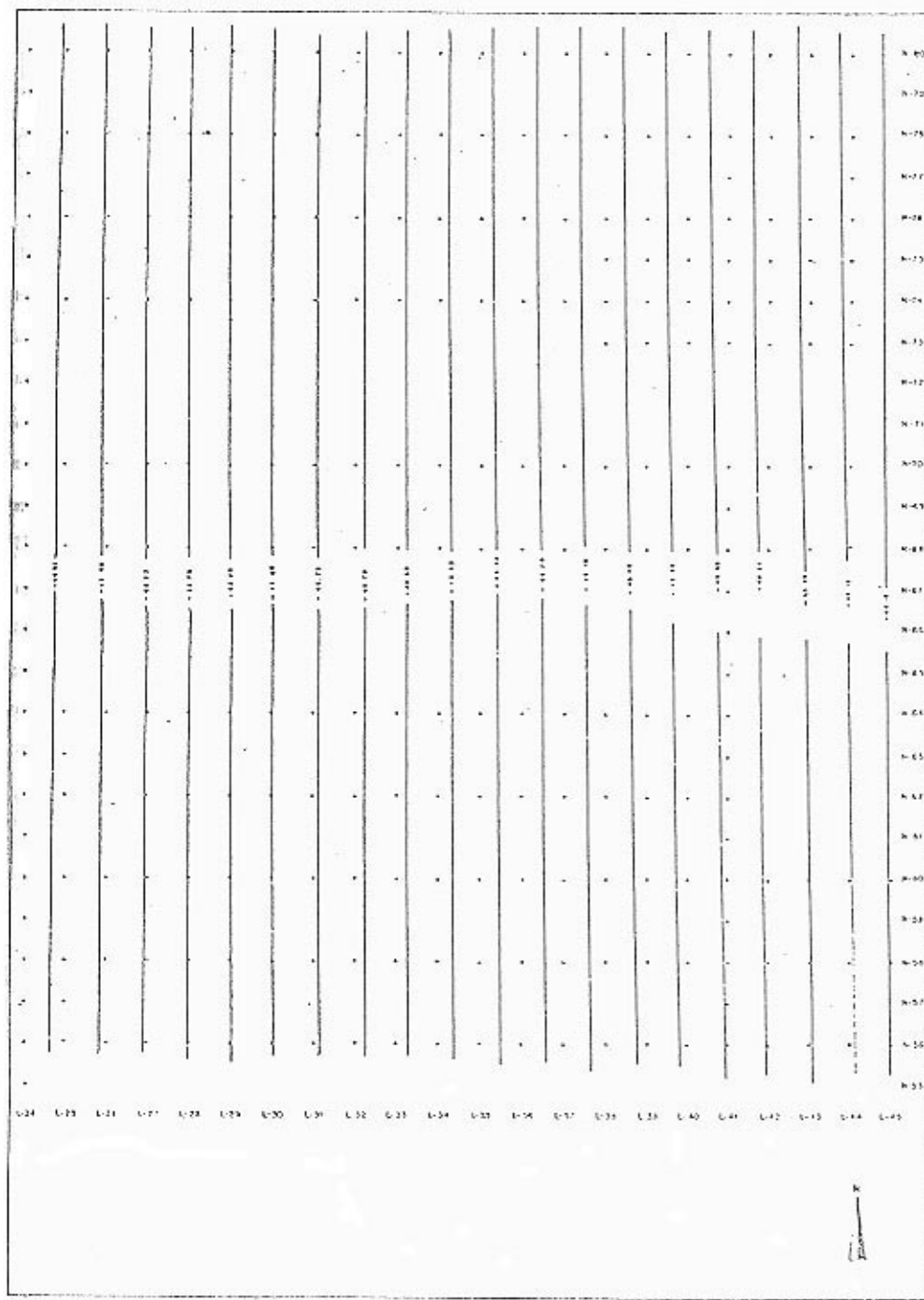
1:50,000



LEGENDE

- STATIONEN STAND
- - - - - LINIEN ANOMALIE
- ~~~~~~ VERLAUF DER SCHWARZE ERZAD. (N-50, L-42)

FIGUR-44



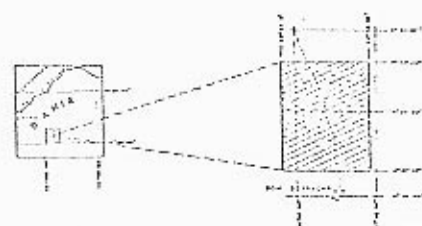
\* DE ANWENDUNG VON MAGNETIK UND GRAVIMETRIE  
 IN DER PROSPEKTION FÜR KUPFERERZE IN DER  
 GEGEND VON CURACA, PROVINZ BAHIA, BRASILIEN\*

GRAVIMETRIE  
 REGIONAL KARTE

MESSEGEHT: DOM ESPACHO

MASSSTAB  
 1:100,000

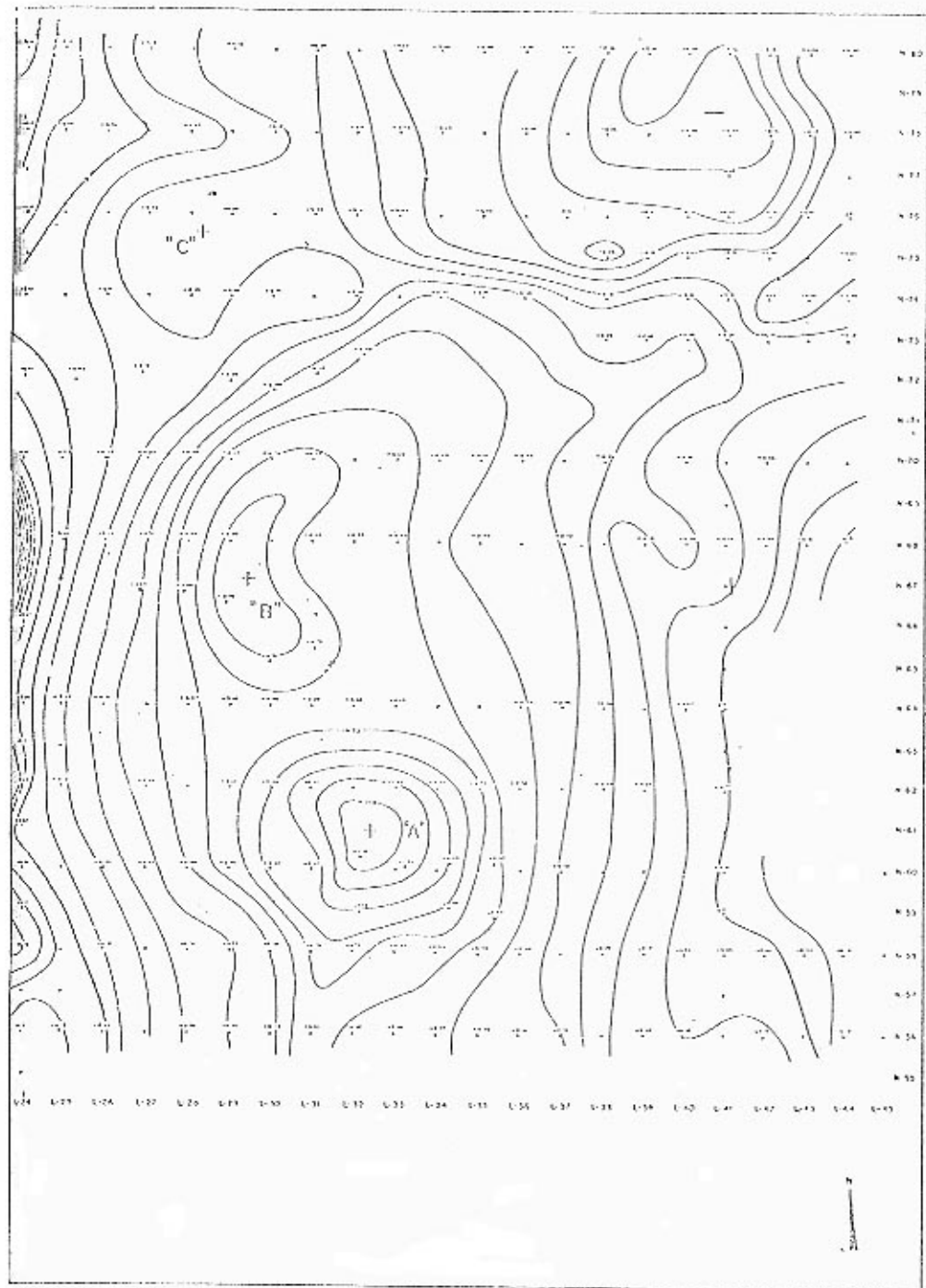
SITUATION



LEGENDE

- GRAVIMETR. STATION
- GEOSTRUKTUR DER KORREKTURT. EPÖCHE
- N 75 > MEERESNIVEAU
- N 60 > MEERESNIVEAU

FIGUR-45



7. DIE ANWENDUNG VON MAGNETIK UND GRAVIMETRIE  
 IN DER PROSPEKTION FÜR KUPFERERZE IN DER  
 GEGEND VON CURACA, PROVINZ BAHIA, BRASILIEN

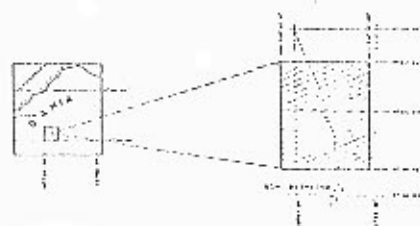
GRAVIMETRIE

"RESIDUAL" - WERTE DER SCHWERKRAFT

MESSBEREICH: 1000 DES-ACQU

WÄRMEN  
 1000 2000 3000

SITUATION



LEGENDE

- ENKLAVEN STADT
- GRENZEN DER KUPFERERZE (MAGNET.)
- + RELATIVES MINIMUM
- RELATIVES MAXIMUM
- 1000  
— 2000  
— 3000
- VERTEILUNG DER SCHWERKRAFT  
 (GRAVIMETRISCHE ANZEIGUNG)

FIGUR- 46

## LITERATURNACHWEIS

1. BARBOSA, O., 1970: Geologia Economica da Parte da Regiao do medio Sao Francisco Nordeste do Brasil.  
Boletim Nr. 140 - M.M.E. - Departamento Nacional da Producao Mineral - Rio de Janeiro - Brasil.
2. BARBOSA, O., 1966: Origem e idade do deposito de Cobre de Caraiba, Bahia.  
Publicacao Nr. 1 - Sociedade Brasileira de Geologia - Pagina 39 - 2o. Congresso Brasileiro de Geologia - Rio de Janeiro - Brasil.
3. DIAS, A. da C., 1972: Uma nova ocorrencia de Cobre determinada por Metodos Geofisicos na Fazenda Bela Vista - Bahia.  
Tese de Mestrado - Universidade Federal da Bahia - Salvador-Bahia.
4. DOBRIN, M., B., 1960: Introduction to geophysical Prospecting - Second Edition -  
Mc Graw Hill Book Company, Inc., Tokyo.
5. ELLERT, N., 1971: Aplicacao do metodo Electro-Magnetico Indutivo na Prospeccao de Minerio de Cobre.  
Tese para Professor - Instituto de Geociencias e Astronomia - Universidade de Sao Paulo - Sao Paulo - Brasil.
6. FONTANELLI, W., S., u. BRIM, R., J., P., 1969: Catalogo geoquimico de ocorrencias minerais na Bahia - Pagina 12 - Resumo dos Relatorios de LEWIS, R., W., MATTOSO, S., Q., e BRIM, R., J., P.  
Geoquimica Nr. 4 - Departamento 01 - IGUFBA. Salvador - Bahia - Brasil.
7. FILHO, N., C., da S., 1973: Entrevista dada ao Jornal da Bahia.  
Edicao do dia 23/11/73. Editora Jornal da Bahia, Salvador - Bahia - Brasil.

\* DIE ANWENDUNG VON MAGNETIK UND GRAVIMETRIE  
 IN DER PROSPEKTION FÜR KUPFERERZE IN DER  
 GEBIET VON CURACÁ, PROVINZ BAHIA, BRASILIEN

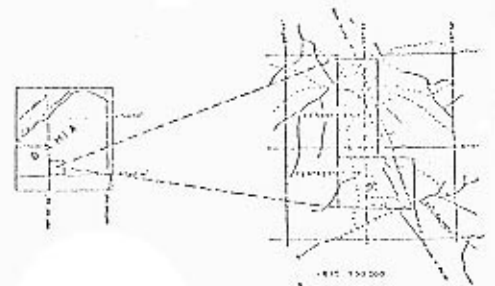
### GRAVIMETRIE BOUGUER - ANOMALIEN

MASCHINEN - PROGRAMM NBT (1964)

MESSGEBIET NÖRDLICH DER MINE



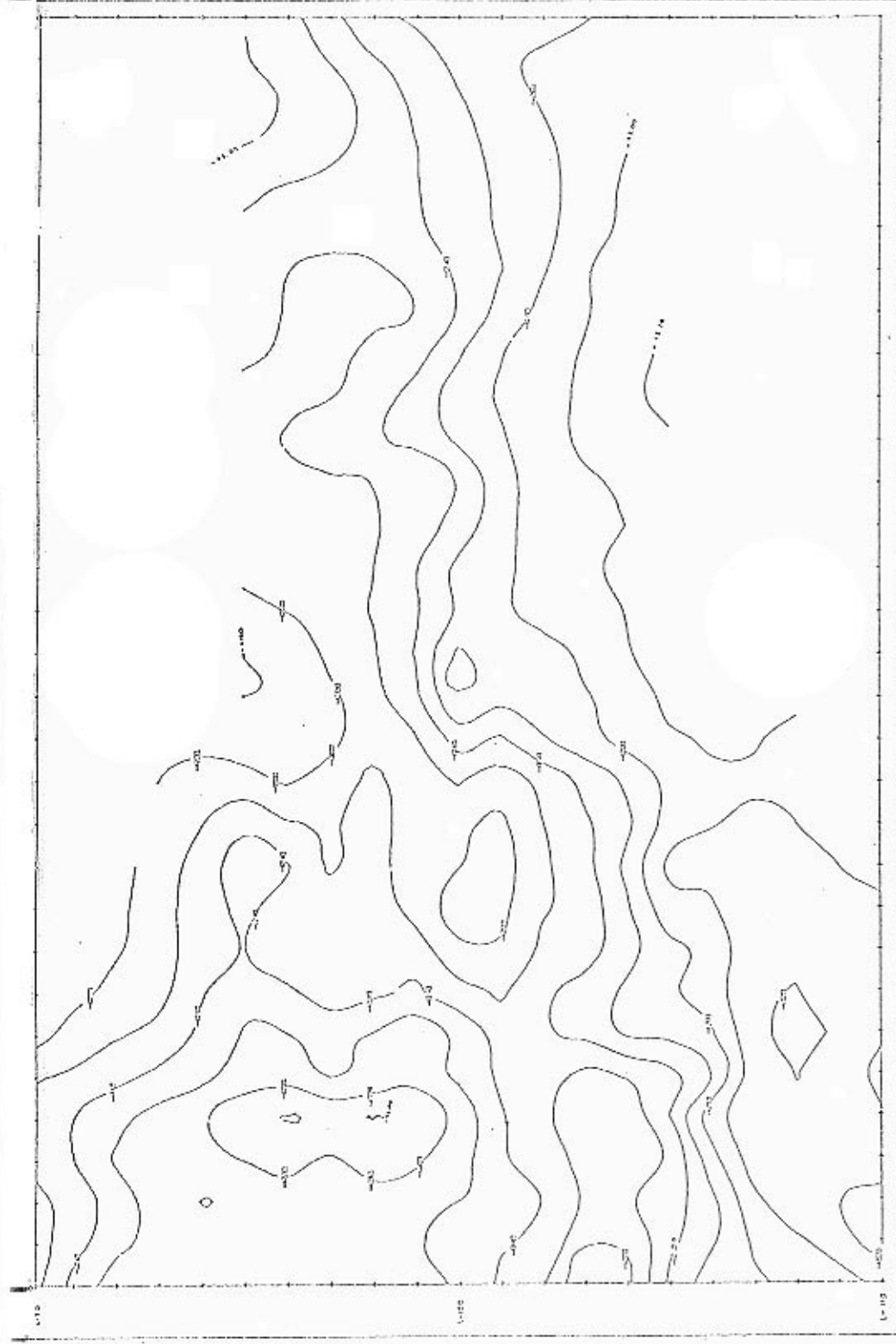
#### SITUATION



#### LEGENDE

- MASCHINEN - PROGRAMM "1964"
- - - - BOUGUER - ANOMALIE (100 MG)
- ~~~~ ANOMALIE DER SCHWERMETALLE
- M-150 MASS PROFIL
- L-100 MASS PROFIL

FIGUR - 33



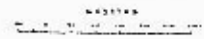


DIE ANWENDUNG VON MAGNETIK UND GRAVIMETRIE  
 IN DER PROSPEKTION FÜR KUPFERERZE IN DER  
 GEGEND VON CURACÁ, PROVINZ BAHIA, BRASILIEN

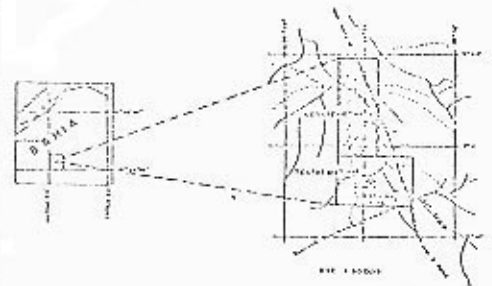
GRAVIMETRIE  
 REGIONAL

MASCHINEN-PROGRAMM #SE (11M)

MESSGEBIET NÖRDLICH DER MINE



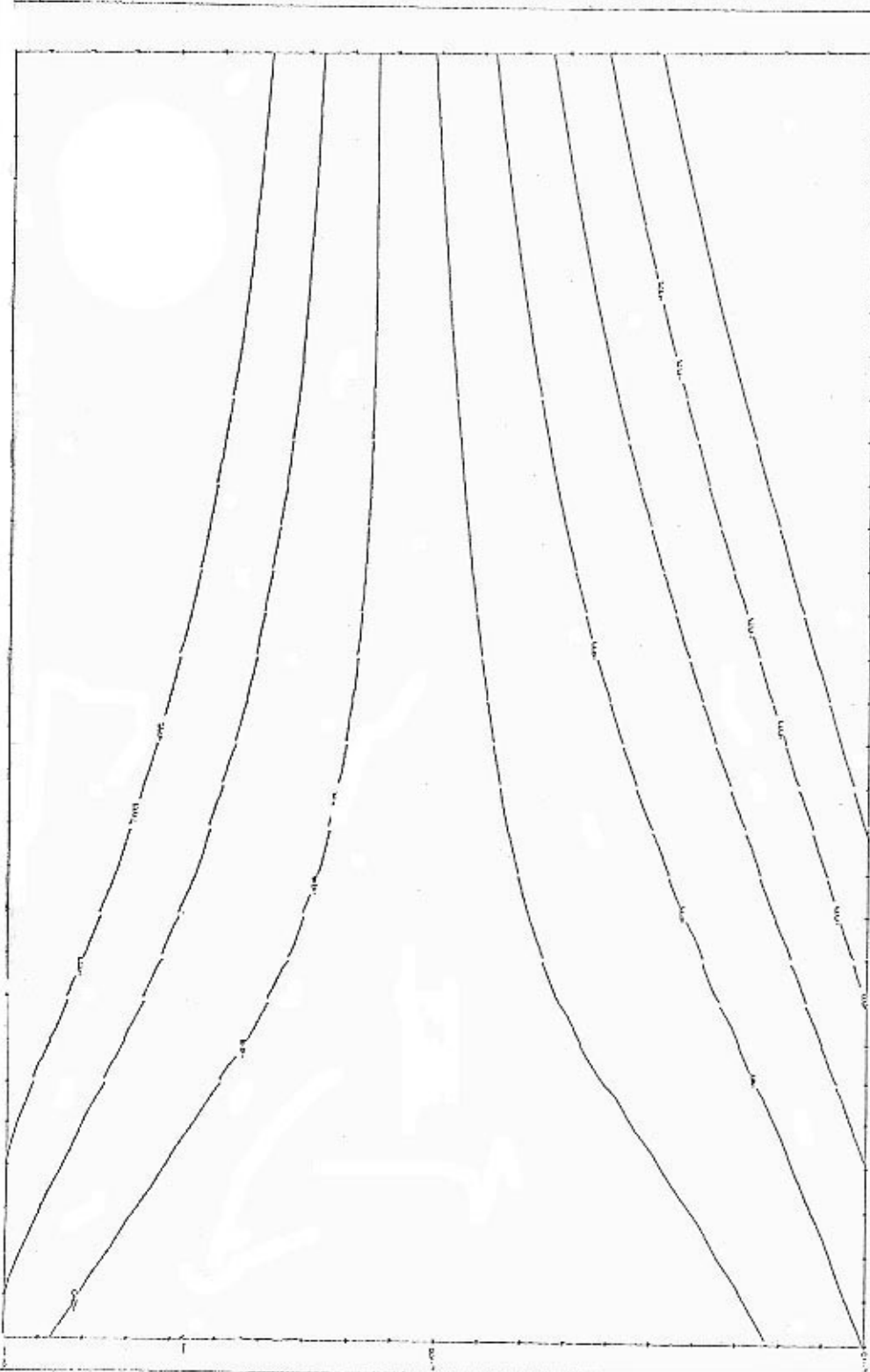
SITUATION



LEGENDE

- MASCHINEN-PROFIL (1:100)
- KUGEL-PROFIL (1:100)
- ~ HANDBILDER DER SCHWARZE (1:100)
- M-150 MASSPROFIL
- G-45 MASSPROFIL

FIGUR-34



• DIE ANWENDUNG VON MAGNETIK UND GRAVIMETRIE  
 IN DER PROSPEKTION FÜR KUPFERERZE IN DER  
 GEGEND VON CURAÇÁ, PROVINZ PÁRIA, BRASILIEN

### GRAVIMETRIE

"RESIDUAL-WERTE" DER SCHWERKRAFT

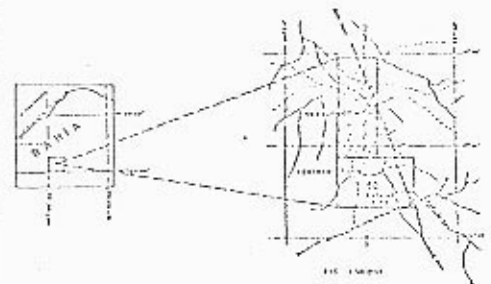
MASCHINEN-PROGRAMM NDT (1964)

MESSGEBIET NÖRDLICH DER MINE

MASZKAR

1:50.000

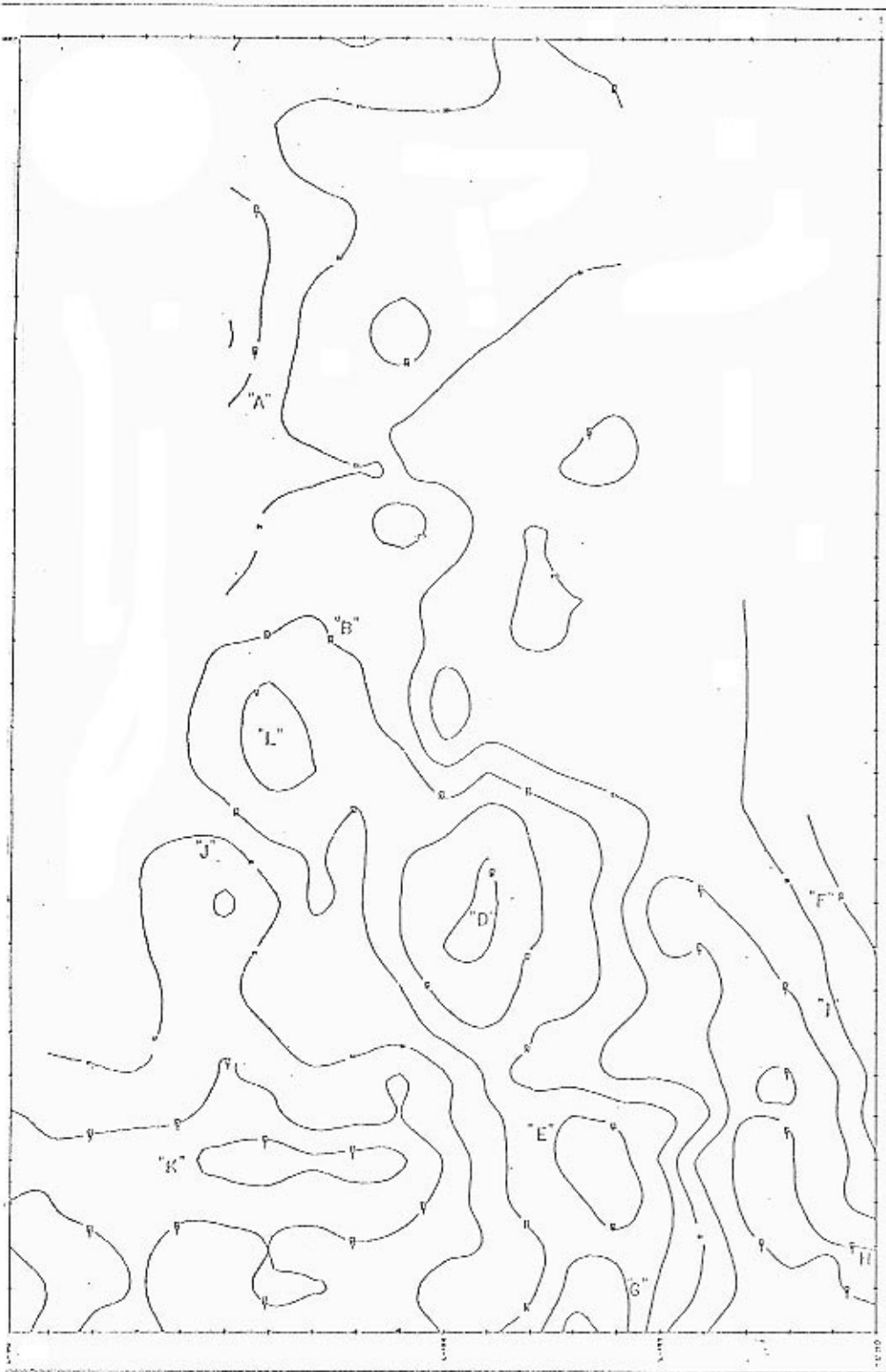
SITUATION



LEGENDE

- MASCHINEN-PROGRAMM "NDT"
- ISOLINIEN DER SCHWERKRAFT
- 6-100 RELATIVHÖHE
- 4-50
- 10 RESIDUAL-ANOMALIE
- 4 RELATIVES MAXIMUM
- RELATIVES MINIMUM

FIGUR-35



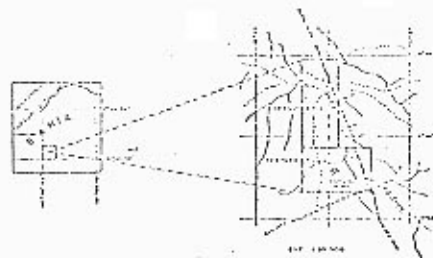
7 DIE ANNAHME VON MAGNETISCH UND GRAVIMETRISCHEN ANOMALIEN IN DER ANFORDERUNG FÜR KUPFERERZE IN DER GEGEND VON SURUCA, PROVINZ BAMBIA, BRASILIEN

MAGNETISCHE ANOMALIEN UND  
(GEOLOGISCHE INTERPRETATION)

BEREICHET VON DER KARTEN

1:50000

SITUATION



LEGENDE

- MANGELNDE BEWEISUNG
- + 100 MAGNETISCHE ANOMALIE (25)
- 100 MAGNETISCHE ANOMALIE (25)
- 200 MAGNETISCHE ANOMALIE (25)
- + + + RELATIVE MINIMUM 70, 80, 90, 100, 110
- — — RELATIVE MINIMUM 70, 80, 90, 100, 110
- — — — — GEFÄHRE
- — — — — ANOMALIE
- — — — — MAGNETISCHE ANOMALIE



FIGURE 36



\* DIE ANWENDUNG VON MAGNETIK UND GRAVIMETRIE  
 IN DER PROSPEKTION FÜR KUPFERERZE IN DER  
 GEBIET VON CURACÁ, PROVINZ BAHIA, BRASILIEN\*

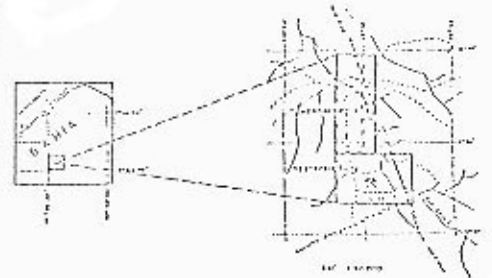
MAGNETISCHE ANOMALIEN  
 ( $\Delta Z$ )

MASCHINEN-PROGRAMM NSE (IBM)

MESSGEBIET SÜDLICH DER MINE



SITUATION



LEGENDE

- MASCHINEN-PROGRAMM "IBM"
- + 500 MAGNETISCHE ANOMALIE (m)
- ~ GRADUALEN VON 50
- M-113 MESSPUNKTE
- L-106 MESSPUNKTE

FIGUR-37

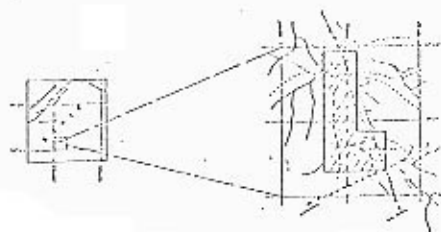
7 DIE ANOMALIE VON MAGNETIK UND GEOMETRIE  
 IN DEN ERDBERÄUM UND KONTINENTE IN DEN  
 BEGRIFF VON CURACE, PROVINZ MARSA, BRILLIANT

## MAGNETISCHE ANOMALIEN (Δ Z)

1. BEZUGSWEISE: CANADA UND AUSTRALIA DER NAD

1:100,000

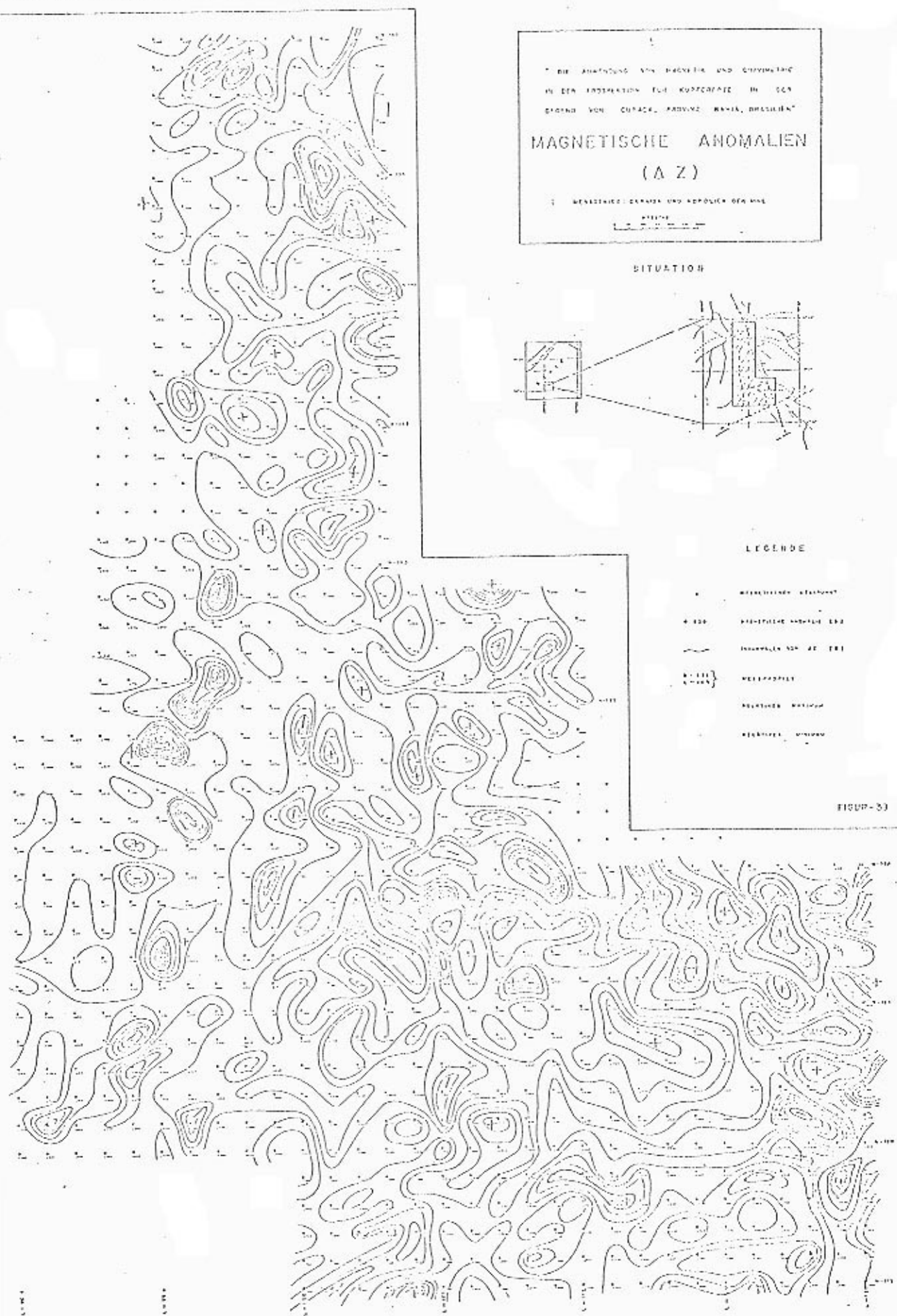
SITUATION



LEGENDE

- BEZUGSWEISE: CANADA
- + 1000 BEZUGSWEISE: AUSTRALIA
- 1000 BEZUGSWEISE: AUSTRALIA
- 1000 } BEZUGSWEISE: AUSTRALIA
- 1000 } BEZUGSWEISE: AUSTRALIA
- 1000 } BEZUGSWEISE: AUSTRALIA
- 1000 } BEZUGSWEISE: AUSTRALIA

FIGUR-53



\* DIE ANWENDUNG VON MAGNETIK UND GRAVIMETRIE  
 IN DER PROSPEKTION FÜR KUPFERERZE IN DER  
 GEGEND VON CURACÁ, PROVINZ PARRÁ, BRASILIEN\*

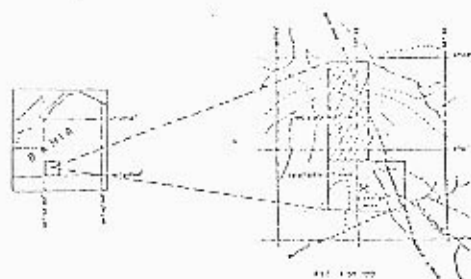
MAGNETOMETRIE  
 REGIONAL

MASCHINEN-PROGRAMM 755 (1944)

MESSENETZ GEGENÜBER MINE



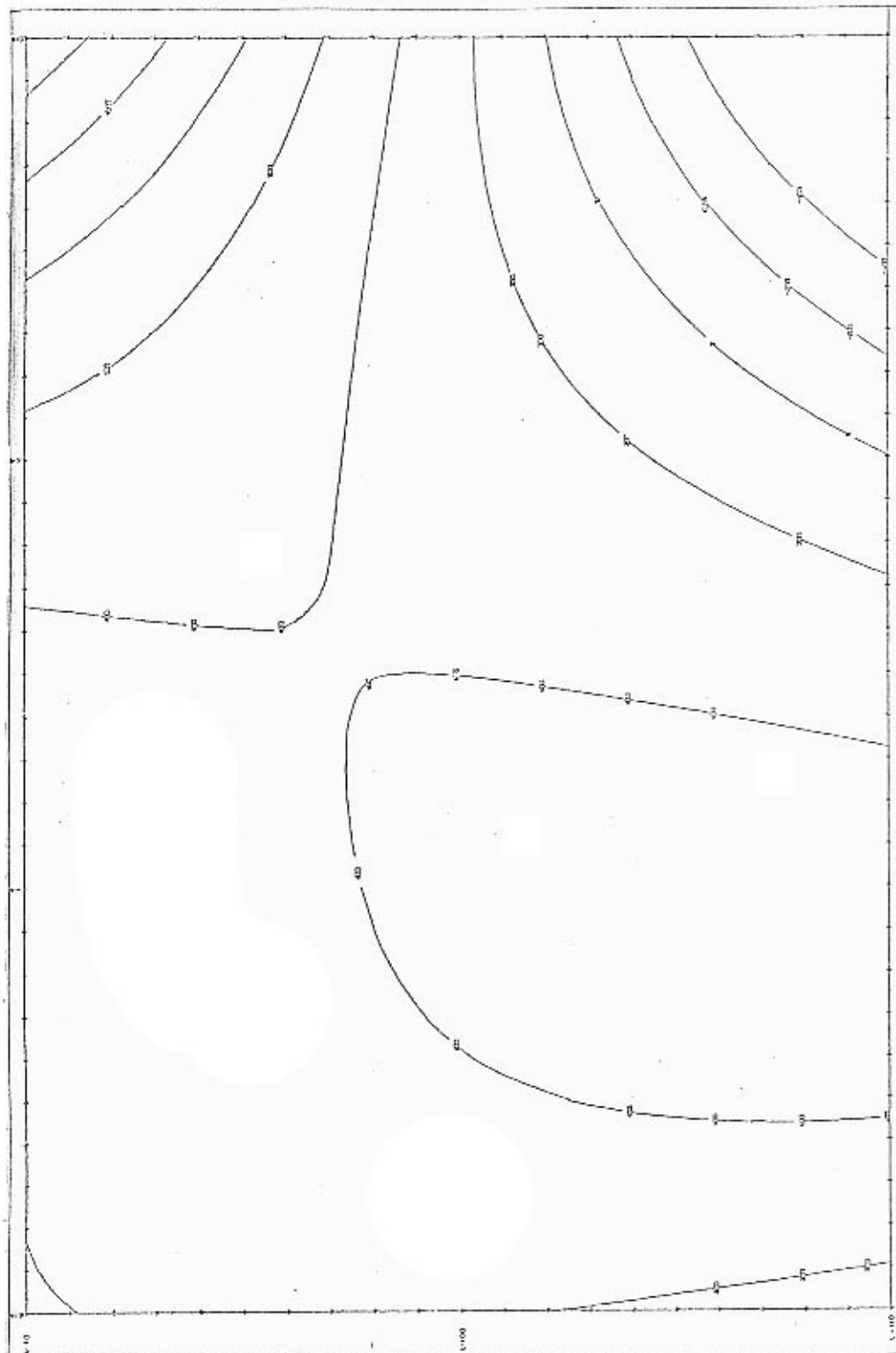
SITUATION



LEGENDE

- MASCHINEN-PROGRAMM "END"
- ~ ISOBALLEN VON 30
- M-100 MESSPROFIL
- L-34 MESSPROFIL

FIGUR-39



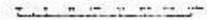
DIE ANWENDUNG VON MAGNETIK UND GRAVIMETRIE  
 IN DER PROSPEKTION FÜR KUPFERERZE IN DER  
 GEGEND VON CURACÁ, PROVINZ BAHIA, BRASILIEN

MAGNETOMETRIE  
 RESIDUAL

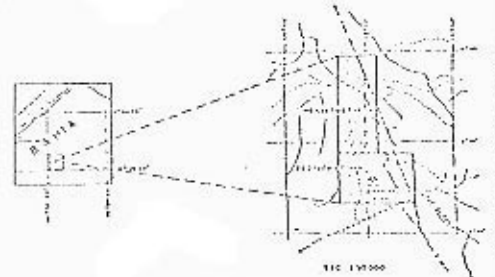
MASCHINEN-PROGRAMM NST (IBM)

MESSGEBIET NÖRDLICH DER MINE

MASSSTAB



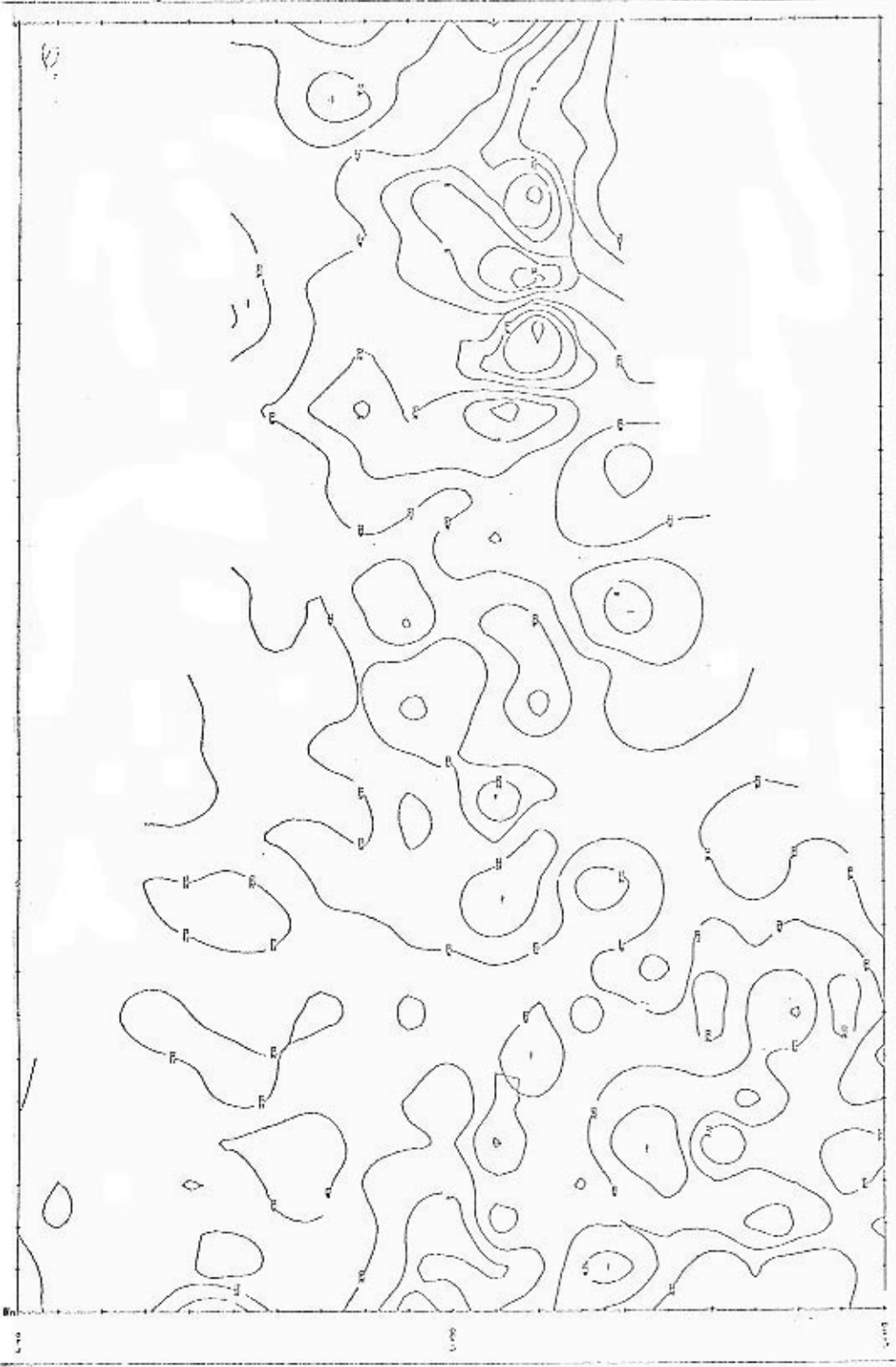
SITUATION

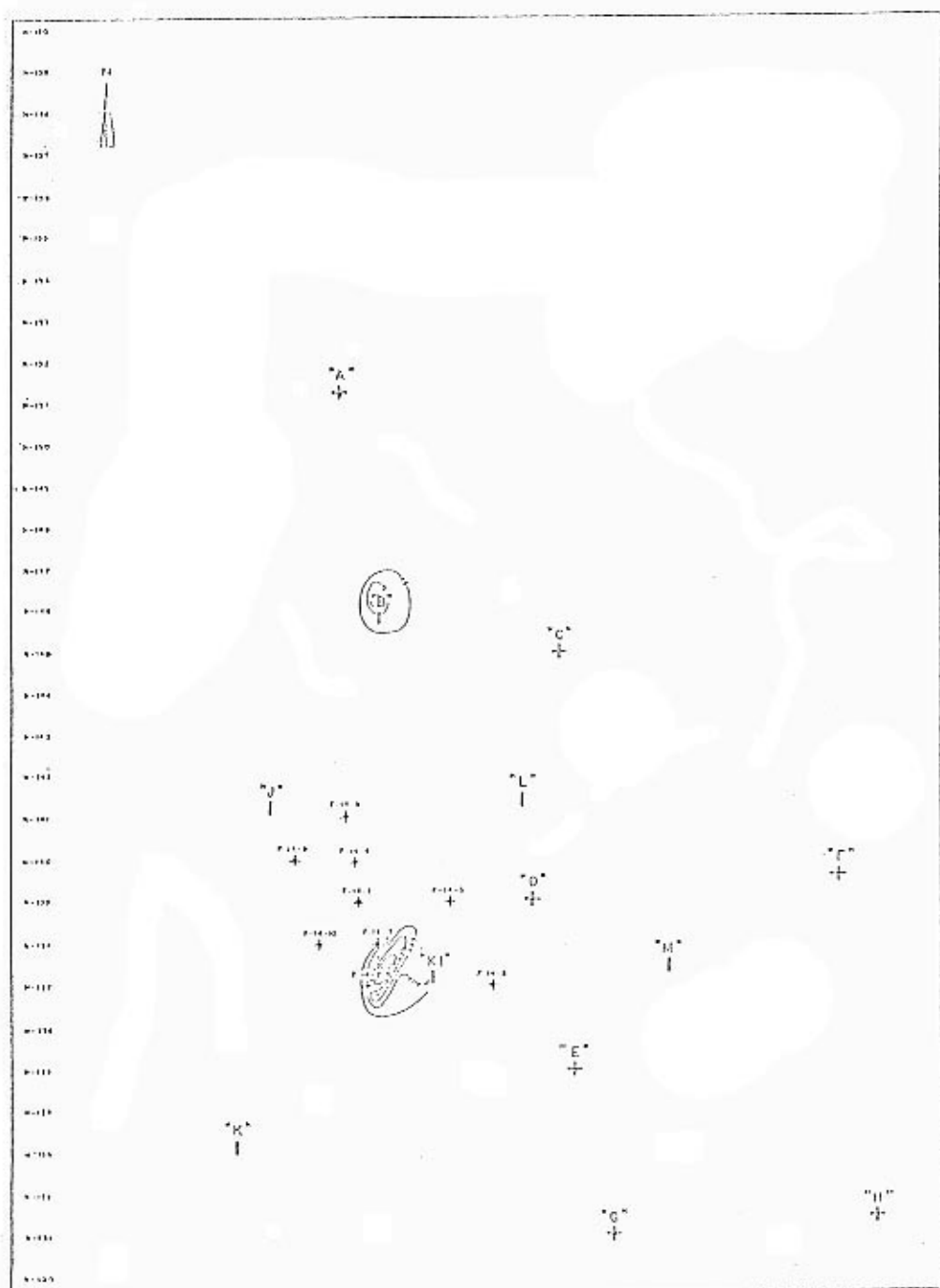


LEGENDE

- MASCHINEN-PROGRAMM "NST"
- ~ MESSPROFIL
- 100 RESIDUAL-PROFIL
- + RELATIVES MAXIMUM
- RELATIVES MINIMUM

FIGUR-40

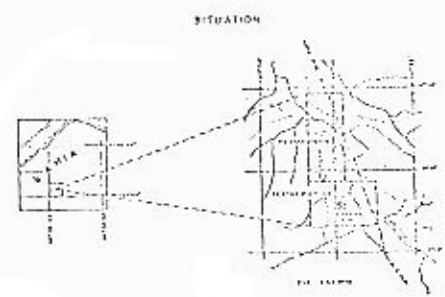




\* DIE ANWENDUNG VON MAGNETIK UND GRAVIMETRIE  
 IN DER PROSPEKTION FÜR KUPFERERZE IN DER  
 REGION VON EURICA, PROVINZ BAHIA, BRASILIEN\*

GEOCHEMIE UND BOHRUNGEN

MESSSTREIFEN NÖRDLICH DER MALE  
 HILLER



LEGENDE

- ⊥ RELATIVES MAGNET
- ⊕ RELATIVES GRAVIMETER
- ⊕ ALTES BOHRUNGEN
- GEOCHEMISCHES PROFIL (N. 1000)
- BOHRUNG
- WEISSSTRASSE

FIGUR - 41



b) Die Körper B und F (Figur 26), von der Geologie her unbekannt, wurden durch die gravimetrischen Karten entdeckt; besonders durch die Karte der zweiten Ableitung.

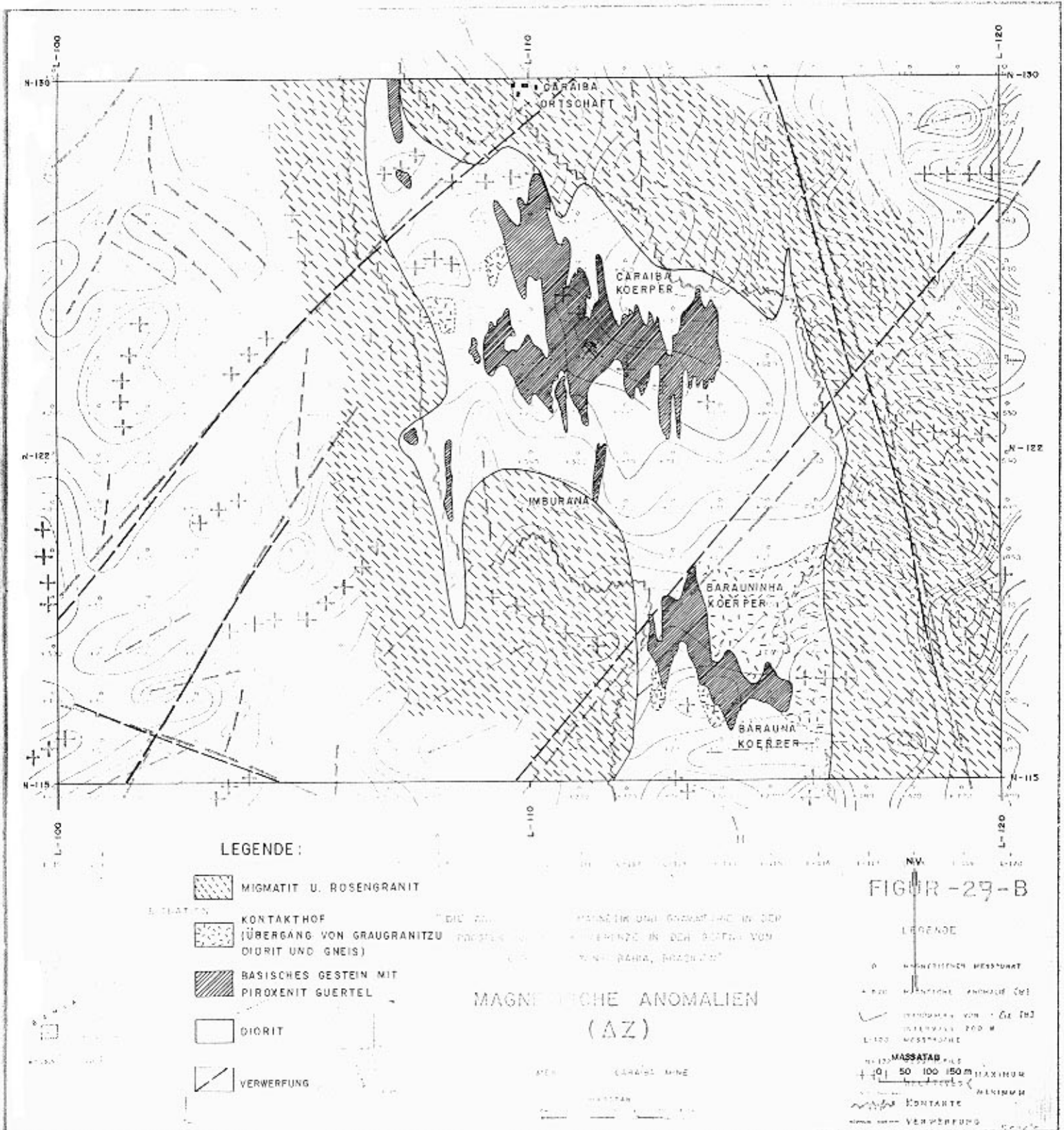
c) Die magnetischen Werte über den angeführten Körpern sind Charakteristika der "Z"-Komponente des Totalfeldes für Breiten nahe dem magnetischen Äquator. Sie erscheint mit symmetrischen Maxima in bezug auf das Zentrum des Körpers, wie in Figur 28 zu sehen ist.

d) Die geologische Karte, die sich aus der qualitativen Interpretation der magnetischen Karten ergibt, wurde über die normale geologische Karte gelegt, wobei sich eine ziemlich gute Übereinstimmung ergab, wie in Figur 27 zu sehen ist.

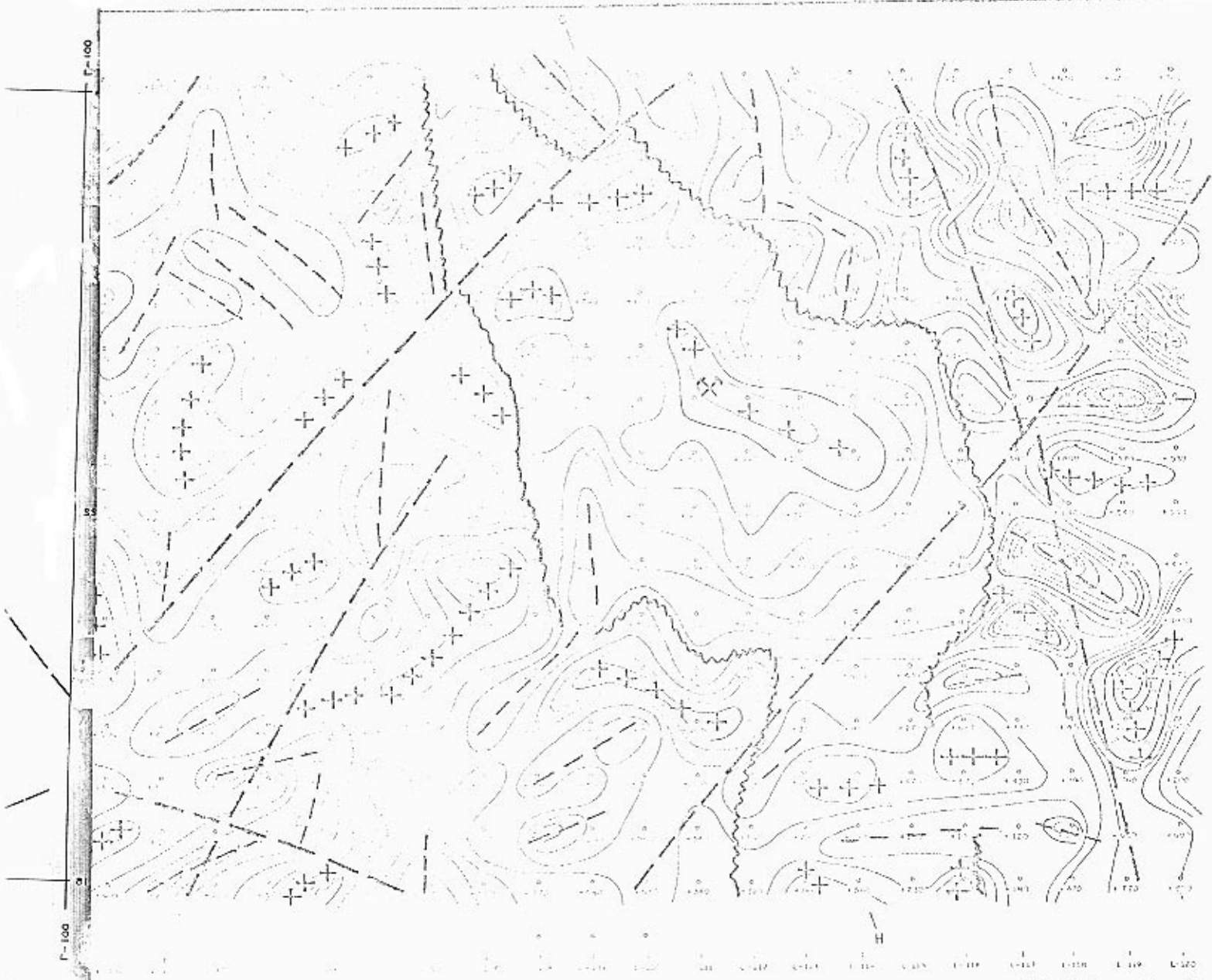
e) Es müssen immer gravimetrische Residualkarten angefertigt werden, sowie Karten der zweiten Ableitung. Letztere trennt den Körper B (Barauna) vom Körper C (Barauninha) (Figur 26), wodurch bewiesen wird, daß es sich um zwei voneinander unabhängige Körper im Untergrund handelt. Diese Tatsache wurde durch die Geologie nicht erkannt. Daher ist diese Trennung in der Residualkarte nicht zu sehen.

f) Von allen Karten trug die originale magnetische Karte am meisten zur qualitativen Interpretation bei. Mit den jeweiligen Residualkarten erzielten wir nicht so gute Resultate, wahrscheinlich wegen der örtlichen Konzentration von Magnetit.

# CARAIBA KUPFERBERGWERK GEOLOGISCHE KARTE



FIGUR 29-A



FIGUR - 27 - B

SITUATION

DIE ANWENDUNG VON MAGNETIK UND GRAVITÄT IN DER PROSPEKTION FÜR KUPFERERZE IN DER GEBIET VON CARAJÁS, PROVINZ PARAÍBA, BRASILIEN

MAGNETISCHE ANOMALIEN  
( $\Delta Z$ )

PERIODEN: CARAJÁS MINE

MASSSTAB

LEGENDE

- o MAGNETISCHER PUNKT
- + 500 MAGNETISCHE ANOMALIE (mT)
- ✓ KONTURVON  $\Delta Z$  200 M
- 100 MASSSTREIFE
- 150 MESSPUNKT
- +++ RELATIVES MAXIMUM
- RELATIVES MINIMUM
- ~ KONTAKT
- KONTAKT

g) Die originalen gravimetrischen Karten trugen weniger zur qualitativen Interpretation bei als die originalen magnetischen Karten.

h) Die Aeromagnetometrie würde wahrscheinlich gute Resultate liefern, wenn sie in dem Gebiet angewandt werden würde, vor allem angesichts der Abschwächung die die Anomalien wegen der Oberflächenkonzentration von Magnetit erleiden würden.

### 5.3.3. Quantitative Interpretation

Mit dem Ziel, die erreichten Resultate zu testen, unternahmen wir quantitative Berechnungen, um sie mit den Bohrungsergebnissen zu vergleichen. Nachstehend unsere Berechnungen:

#### 5.3.3.1. Berechnung der Tiefe des Körpers Caraiba

a) nach der Formel:  $h \approx 0.86 \Delta g_{\max} / (\Delta g'_{\max})$  (27, S.52)

$h$  = größtmögliche Tiefe

$\Delta g_{\max}$  = Maximalwert der gravimetrischen Anomalie

$\Delta g'_{\max}$  = Horizontalgradient von  $\Delta g_{\max}$ .

$$\Delta g_{\max} = 1.04 \text{ milligal (Station N-124 L-112, Figur 2o)}$$

$$\Delta g'_{\max} = 0.84 \text{ milligal / 200 m (Figur 2o)}$$

$$h \leq 0.86 \cdot 1.04 / 0.84 / 200$$

$$h \leq 212 \text{ m}$$

b) nach der Methode von  $x_{1/2}$

$$x_{1/2} = 540' \text{ (Figur 2o)}$$

$$\text{Für } x_{1/2} \rightarrow g_z / 2 = 1.8 \text{ (25, S.299)}$$

$$h = 540 / 1.8 = 285' = 87 \text{ m}$$

c) nach der Formel  $h > 23.9 \cdot \Delta g_{\max} / \Delta \sigma_{\min}$  (28, S.269)

$$\Delta g_{\max} = 1.04 \text{ (Figur 2o) und } \Delta \sigma_{\min} = 0.30 \text{ g/cm}^3 \text{ (5.3.3.2.)}$$

$$h > 23.9 \cdot 1.04 / 0.30$$

$$h > 83 \text{ m}$$

5.3.3.2. Dichteberechnung

$$D = \text{Dichte} = \bar{\Delta} g(d) - \Delta g(X, Y, 0) \quad (27, \text{S.53})$$

$\bar{\Delta} g(d)$  = mittlerer Wert von  $\Delta g(X, Y)$  um den Strahlenkreis "D" auf der Ebene "Z" = 0, mit dem Zentrum in X, Y, 0.

Für  $(d) = 200 \text{ m} \rightarrow \alpha/4 = 0.58 \text{ milligal}$  (Figur 20)

$$|D| = 1.04 - 0.58 = 0.46$$

Angenommen, daß das Erz sich zwischen D (Oberfläche) und - 500 m befindet :

$$Z = h = 0, \quad Z = 1 = 500 \text{ m}, \quad d = 200 \text{ m}$$

$$\alpha = h/d = 0, \quad \beta = 1/d = 2.5$$

Nach der Figur (27, S.53, Figur 19):  $\begin{cases} J(0) = 6.591 \\ J(2.5) = 0.69 \end{cases}$

$$\alpha = 0 = 6.591, \quad \beta = 2.5 = 0.69$$

Bei Benützung der Formel:

$$|D| = G \left| \delta \right|_{\max} d \left[ J(\alpha) - J(\beta) \right], \text{ wo}$$

$$|\delta|_{\max} = \text{größter Dichtekontrast}$$

$$|D| = 0.46 \text{ milligal} = 46.10^{-15} \text{ gal}$$

$$46.10^{-15} \leq 6.67 \cdot 10^{-8} \cdot |\delta| \cdot 2 \cdot 10^3 (6.591 - 0.69)$$

$$46 \approx 78.72 |\delta| \cdot \boxed{|\delta| \geq 0.58 \text{ g / cm}^3}$$

Dies ist die mindeste Dichtedifferenz zwischen dem Erz und dem umgebenden Gestein. Wenn man sie als  $2.60 \text{ g/cm}^3$  nimmt, erhalten wir das Ergebnis, daß die Dichte des Erzes =  $2.60 + 0.58 = 3.18 \text{ g/cm}^3$  sein wird.

In Wirklichkeit erscheint dieser Dichtewert ein wenig übertrieben. Bedenkt man, daß die Beziehung zwischen dem tauben Material und dem Erz etwa 1 : 2 entspricht (ein Wert, der von der Caraiba Metais S.A. angegeben wurde) und nimmt man die in Figur 7 gefundenen Werte, so erhalten wir:

$$\text{Erz : } D_1 = 3.031 \text{ g/cm}^3, \text{ taubes Gestein} = 2.773 \text{ g/cm}^3$$

Die wahrscheinlichste Dichte wird sein:

$$D = (2.773 \cdot 0.67 \%) + (3.031 \cdot 0.33 \%)$$

$$\boxed{D = 2.86 \text{ g/cm}^3}$$

Da diese Werte ziemlich verschieden sind, nahmen wir einen Wert von  $2.90 \text{ g/cm}^3$  für den Körper von Caraiba an und den Wert von  $2.60 \text{ g/cm}^3$  für das das Erz umgebende Gestein. Mit diesem Kontrast von  $0.30 \text{ g/cm}^3$  unternahmen wir die folgenden Berechnungen.

#### 5.3.3.3. Berechnung der Masse und der Reserven

$\iint \Delta g \, ds = 2 \tilde{\pi} G$  (27, S.54), führt uns zu der

Formel

$$M = 23.9 \iint \Delta g \, \Delta s \quad \text{metrische Tonnen}$$

a) Körper von Caraiba

Wenn wir den Körper durch die Punkte L-106 L-117 und N-122 N-130 begrenzen, erhalten wir:

$$\Delta g = + 15.78 \text{ milligal}$$

$$\Delta s = 100 \text{ m} \cdot 100 \text{ m} = 10^4 \text{ m}^2$$

$$\text{Anomale Masse } M = 23.9 \cdot 15.78 \cdot 10^4 =$$

3.750.000 metrische Tonnen



Dies ist die Differenz zwischen der Masse des Körpers von Caraiba und dem umgebenden Gestein. Wenn der Körper eine Dichte  $P_1$  innerhalb eines Gesteins der Dichte  $P_2$  aufweist, dann ist die reale Masse:

$$M_r = 23.9 ( P_1 / P_1 - P_2 ) \Delta g \Delta s \quad \text{Tonnen}$$

$$P_1 = 2.90 \text{ g/cm}^3 \quad \text{und} \quad P_2 = 2.60 \text{ g/cm}^3$$

$$M_r = 23.9 ( 2.90 / 2.90 - 2.60 ) 15.78 \cdot 10^4 \quad \text{Tonnen}$$

$$M_r = 230.87 \cdot 15.78 \cdot 10^4$$

$$M_r = 36.431.200 \quad \text{Tonnen}$$

Bedenken wir, daß der mittlere Gehalt 1,66 % Cu ist, erhalten wir eine Reserve von 605.900 Tonnen Kupfer.

b) Körper von Barauna und Barauninha

$$\Delta g = + 6.12 \text{ milligal}$$

$$M_r' = 230.87 \cdot 6.12 \cdot 10^4 = 14.129.200 \text{ Tonnen}$$

Die Reserve ist 464.800 Tonnen Kupfer.

c) Totale Reserve:  $M_r + M_r' = 36.431.200 + 14.129.200$

Totale Reserve = 50.560.400 Tonnen (siehe 3.4.)

5.3.3.4. Geophysikalisches theoretisches Modell des Körpers Caraiba

a) Ausgehend von der Gravimetrie:

a 1) Errechnung des Radius R des Körpers:

Folgende Formel wurde zur Errechnung des "Vertical line Element" benützt (25, S.298):

$$g = k f ( x/Z ) \quad \text{wo: } k = 6.39 \ R^2 \sigma / Z \quad \text{und}$$

$$f ( x/Z ) = ( 1 + x^2/Z^2 )^{-1/2}$$

$$g = \text{gemessener gravimetrischer Effekt (milligal)} = 1.04$$

$$\sigma = \text{Dichtekontrast (cgs)} = 0.30 \text{ g/cm}^3 \text{ (siehe 5.4.3.2.)}$$

Z = Tiefe von der Erdoberfläche bis zur Oberfläche des zylindrischen Körpers, der Anomalien zeigt = 279' = 0.279' (Wert in 1000 Fuß).

x = Horizontale Entfernung in der Oberfläche des gemessenen Gebietes. Die Messung geht vom Zentrum des Körpers bis zu dem Punkt, wo die Anomalie gemessen worden ist (Wert in 1000 Fuß).

$$R = ?$$

Wo  $x = 0$   $f(x/Z) = 1$  und  $g = k = 6.39 R^2 \sigma / Z$

Einsetzen der Werte:  $1.04 = 6.39 R^2 \cdot 0.30 / 0.279$

$R = 0.4 = 400'$
------------------

a 2) Errechnung des theoretischen geophysikalischen Modells:

Wir benützen die oben gefundenen Werte und variieren  $x$  und erhalten so die Tabelle 12 mit den theoretischen Werten in bezug auf den Körper von Cariba.

$x \cdot 10^{-3}$	0	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	1.00
$f(x/Z)$	1.00	0.93	0.78	0.64	0.53	0.45	0.38	0.33	0.30	0.27	0.24
$g$	1.04	0.97	0.81	0.67	0.55	0.47	0.40	0.34	0.31	0.28	0.25

Tabelle 12

Abbildung 28 zeigt die Resultate.

b) Ausgehend von der Magnetometrie:

b 1) Beziehung zwischen den gravimetrischen und magnetischen Magnituden

Formel :  $V/g = I/d \cdot C/Z$  (25, S.305), wo:

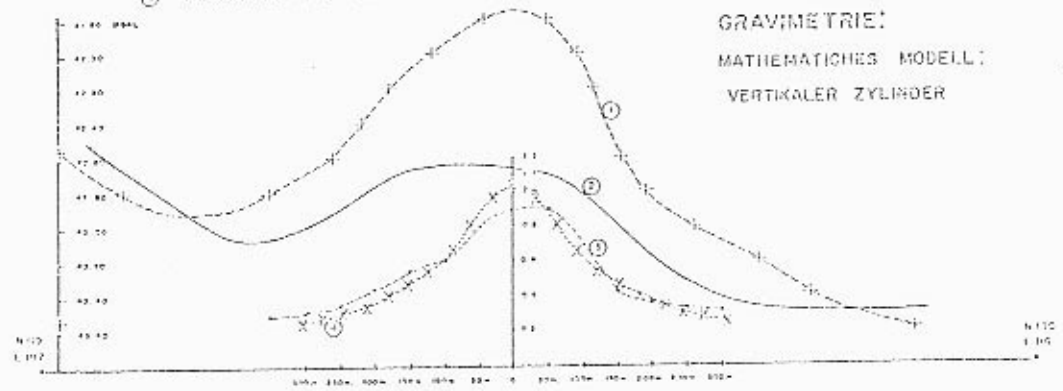
# MESSPROFILE DES KÖRPERS CARAIBA UND MATHEMATISCHES MODELL

- ① BOUGUER - ANOMALIE
- ② REGIONALEFFEKT
- ③ RESIDUAL - ANOMALIE
- ④ THEORETISCHE ANOMALIE



## A) - GRAVIMETRIE

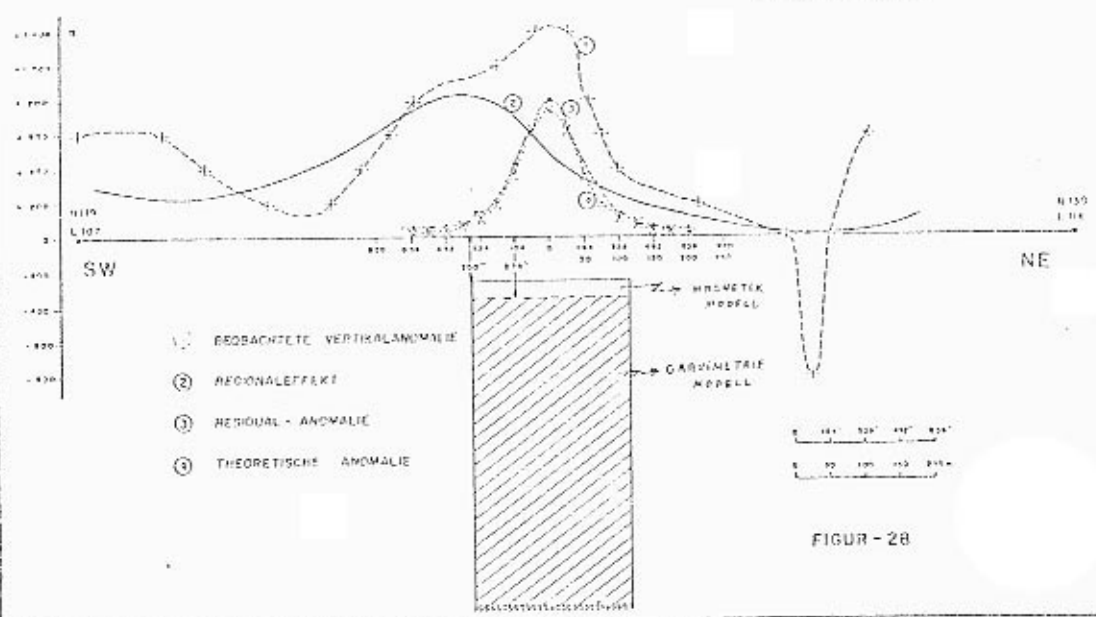
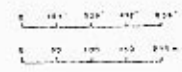
GRAVIMETRIE:  
MATHEMATISCHES MODELL:  
VERTIKALER ZYLINDER



## B) - MAGNETIK

- ① BEOBSCHTETE VERTIKALANOMALIE
- ② REGIONALEFFEKT
- ③ RESIDUAL - ANOMALIE
- ④ THEORETISCHE ANOMALIE

MAGNETIK  
MODELL  
CARAIBTRIF  
MODELL



FIGUR - 28

- V = Magnetischer Effekt = 800 Gamma (Figur 28)  
I = Kontrast der magnetischen Polarisation = ?  
g = Gemessener gravimetrischer Effekt = 1.04 milligal  
d = Dichtekontrast (cgs) = 0.30 g/cm<sup>3</sup>  
Z = 0.279' (siehe a 1) - 5.3.3.4.)  
C = Konstante = Verhältnis der numerischen Faktoren = 1.0

Einsetzen der Werte:  $I / 0.30 = 0.279 \cdot 800 / 1.04$

$$I = 0.000645 \text{ cgs} = 645 \cdot 10^{-6}$$

b 2) Errechnung des theoretischen geophysikalischen Modells:

Folgende Formel wurde zur Errechnung des "Vertical line Element" benützt (25, S.298):

$$V = K \cdot f_1 (x/Z) \quad \text{wo :}$$

$$K = 3.14 \cdot 10^5 \cdot I (R/Z)^2 \quad \text{und}$$

$$f_1 (x/Z) = \left[ 1 + (x/Z)^2 \right]^{-3/2}$$

$$R = 400' = 0.4 \quad (\text{siehe 5.3.3.4. - a 1})$$

$$I = 645 \cdot 10^{-6} \quad (\text{siehe 5.3.3.4. - b 1})$$

$$\text{Wo } x = 0 \rightarrow f_1 (x/Z) = 1 \quad \text{und } V = K$$

Einsetzen der Werte:

$$800 = 3.14 \cdot 10^5 \cdot 645 \cdot 10^{-6} (0.4 / Z)^2$$

$$Z = 201' \approx 200'$$

Der Wert Z unterscheidet sich um 79 Fuß vom Wert, der durch die gravimetrischen Berechnungen gewonnen wurde. In der Praxis wirkt sich dieser Unterschied aber nicht nachteilig aus.

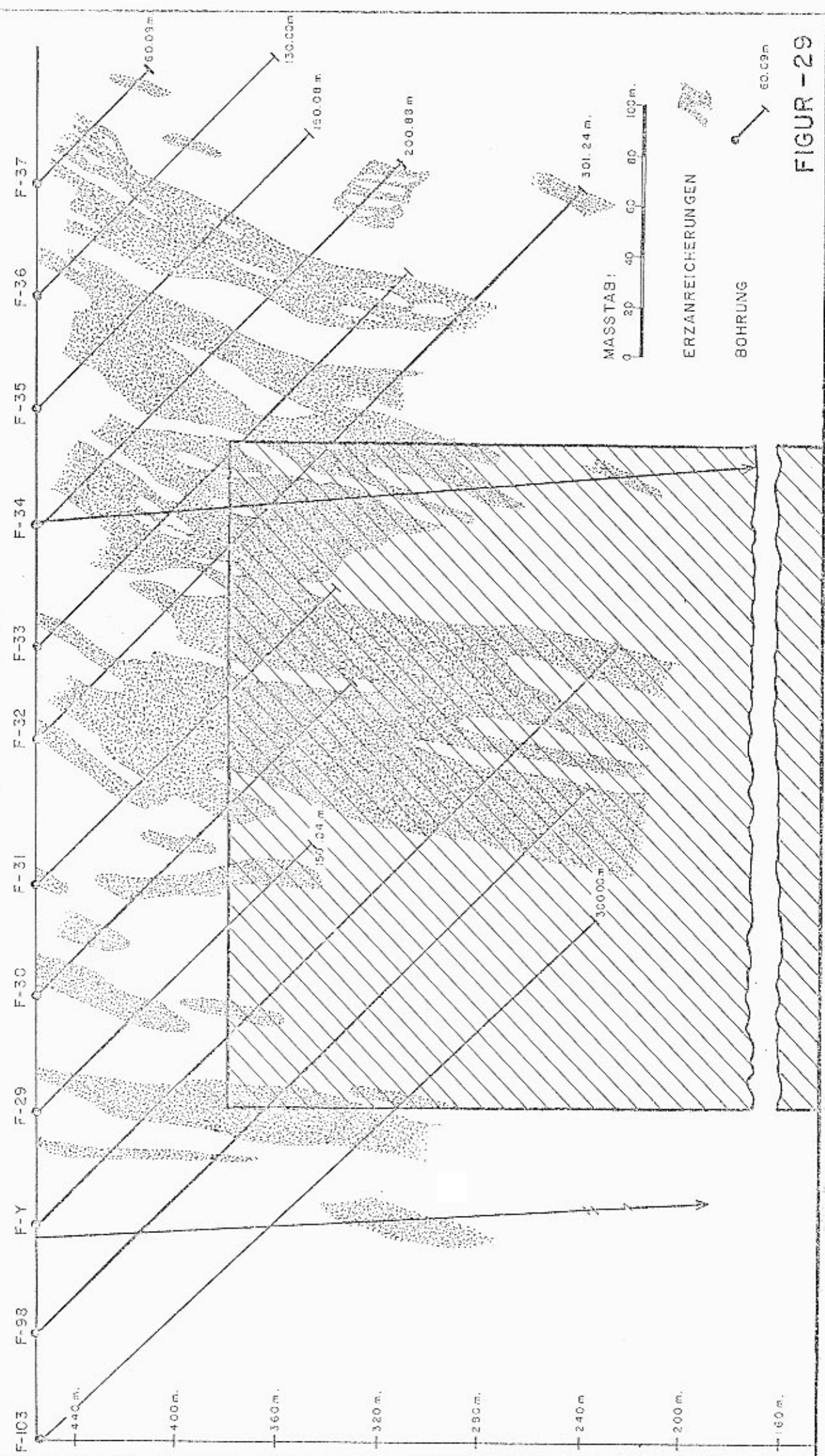
Wir benützen die oben gefundenen Werte und variieren x und erhalten so die Tabelle 13 mit den theoretischen Werten in bezug auf den Körper von Caraiiba.

$x$ (Fuß)	$x/Z$	$[1+(x/Z)^2]^3$	$\Lambda$	$f_1(x/Z)$	K	V
			$\sqrt{[1+(x/Z)^2]^3}$	$1 / \sqrt{\Lambda}$		
0	0	1.0	1.0	1.0	800	800
82	0.41	1.5938	1.2625	0.792	"	634
164	0.82	4.6776	2.1628	0.462	"	370
246	1.23	15.8681	3.9835	0.251	"	201
328	1.64	50.2271	7.0871	0.141	"	113
410	2.05	140.8109	11.8664	0.084	"	67
492	2.46	350.6413	18.7254	0.053	"	42
574	2.87	788.0953	28.0730	0.036	"	29
656	3.28	1625.7160	40.3202	0.025	"	20
738	3.69	3122.4430	55.8788	0.018	"	14
820	4.10	5649.2625	75.1616	0.013	"	10

Tabelle 13

Figur 28 zeigt die Resultate.

# BOHRUNGEN, ERZKÖRPER UND GEOPHYSIKALISCHES MODELL W-E PROFIL



FIGUR - 29

## 6.0. Ausweitung der Arbeiten auf neue Gebiete

Nachdem wir die Arbeiten im Testgebiet der Mine auf der Fazenda Caraiba abgeschlossen hatten, weiteten wir selbige auf neue Gebiete aus, die die Abbildung 3 anzeigt.

### 6.1. Verlängerung der Detailarbeiten nach Norden und nach Westen des Testgebietes

Im Norden und Westen des Testgebietes wurden einige Bohrungen vorgenommen. Diese Bohrungen waren von den detail-geologischen Daten und von der Geochemie angeregt worden. Die Resultate waren allerdings nicht eindeutig. Aus diesem Grund beschlossen wir mit dem Einverständnis der Techniker der Caraiba Metais S.A. die Ausdehnung unserer Arbeiten auf jene Gebiete.

Die Methode, mit der wir vorgehen, war genau die gleiche wie bei den vorherigen Arbeiten sowohl bei den Feldarbeiten als auch bei den Berechnungen und der Interpretation. Aus diesem Grund werden wir direkt die erhaltenen Resultate analysieren.

#### 6.1.1. Resultate

Die Bedeutung jeder Karte und die wichtigsten Bemerkungen dazu sind in Tabelle 14 zusammengefaßt.



Figur Nummer	Kartentypen	E r k l ä r u n g
30	Gravimetrie Bouguer-Anomalien	Testgebiet der Caraiba Mine und angrenzende nördliche und nord-östliche Gebiete.
31	Gravimetrie Bouguer-Anomalien	Nördlicher Teil der Caraiba Mine. Unsere Arbeit zeigt, daß etwa 6 % des Gebietes aus mafischen und ultramafischen Gesteinen bestehen.
32	Gravimetrie Zweite Ableitung der Schwerkraft	Hauptsächlichste Anomalien des nördlichen Teiles der Caraiba Mine Relatives Maximum: A, C, D, E, F, G, H, L und M Relatives Minimum: B, I, J und K
33	Gravimetrie Bouguer-Anomalien (Computer)	Gleich Figur 31, zum Testen des Isogammenverlaufs.
34	Gravimetrie Regionalkarte (Computer)	Regionalkarte, die einen regelmäßigen Gradienten in der nördlichen Hälfte des Gebietes zeigt. Der Gradient schwankt zwischen -42.00 bis -43.00 milligal und weist somit darauf hin, daß keine großen Variationen vorliegen, seien es mineralische oder strukturelle.
35	Gravimetrie Residualkarte (Computer)	Besonderer Hinweis auf Anomalie L, die auch in der Bouguerkarte und in der geochemischen Karte erscheint. Diese Karte zeigt die Anomalie A (Figur 32).

Tabelle 14

36	Geologische Interpretation	Versuch der geologischen Kartierung, basierend auf den gravimetrischen und magnetischen Karten.
37	Magnetische Anomalien ( $\Delta Z$ ) (Computer)	Die Computerkarte stellt das selbe Gebiet wie in Figur 38 dar. Es war ein Versuch, indem die Werte der Stationen durch das Mittel der vier benachbarten Werte ersetzt wurden und zwar dort, wo die Magnetik anomale Werte zeigte.
38	Magnetische Anomalien ( $\Delta Z$ )	Testgebiet der Caraiba Mine und angrenzende nördliche und nordöstliche Gebiete.
39	Magnetische Anomalien ( $\Delta Z$ ) Regionalkarte (Computer)	Regionalkarte, die sich auf Figur 37 bezieht.
40	Magnetische Anomalien ( $\Delta Z$ ) Residualkarte (Computer)	Residualkarte, die sich auf Figur 37 und 39 bezieht.
41	Geochemie	Geochemische Karte des nördlichen Teiles der Caraiba Mine. Sie zeigt die Lage der geochemischen Anomalien und durchgeführten Bohrungen. Nur in den Bohrungen 14.2 und 14.3 stieß man auf Sulfate. In der vorliegenden Arbeit wird auf die Verschiebung der geochemischen und geophysikalischen Anomalien hingewiesen.

Tabelle 14

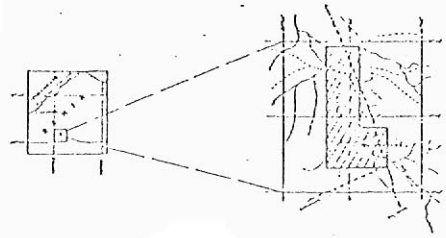


„ DIE ANWENDUNG VON MAGNETIK UND GRAVIMETRIE  
 IN DER PROSPEKTION FÜR KUPFERERZE IN DER  
 REGIÃO VON CURAÇA, PROVÍNCIA BAHIA, BRASÍLIA ”

GRAVIMETRIE  
 BOUGUER ANOMALIEN

MESSEGEbiet: CURAIBA UND NÖRDLICH DER MINE

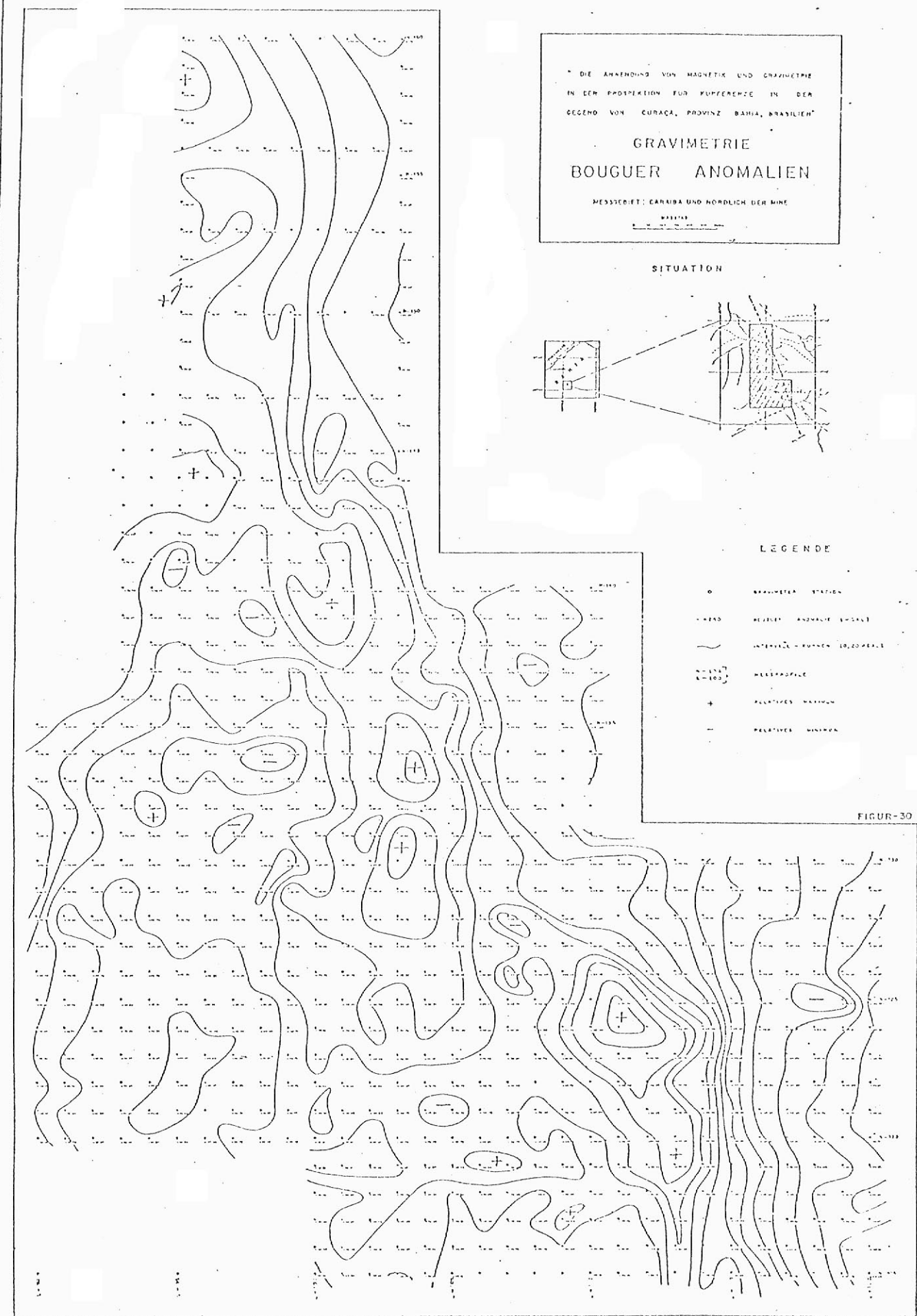
SITUATION



LEGENDE

- GRAVIMETER STATION
- BOUGUER ANOMALIE LINIEN
- INTERVALL-KURVEN (20, 30, 40, 50)
- KONTUR-LINIE
- + RELATIVES MAXIMUM
- RELATIVES MINIMUM

FIGUR-30



" DIE ANWENDUNG VON MAGNETIK UND GRAVIMETRIE  
 IN DER PROSPEKTION FÜR KUPFERERZE IN DER  
 GEGEND VON CURAÇA, PROVINZ BAHIA, BRASILIEN "

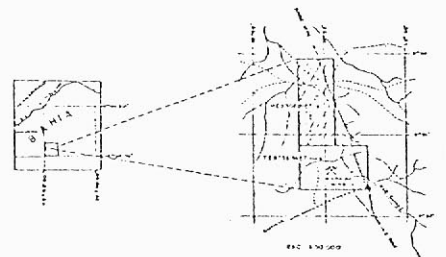
GRAVIMETRIE

BOUGUER ANOMALIEN

MESSGEBIET: NÖRDLICH DER MINE

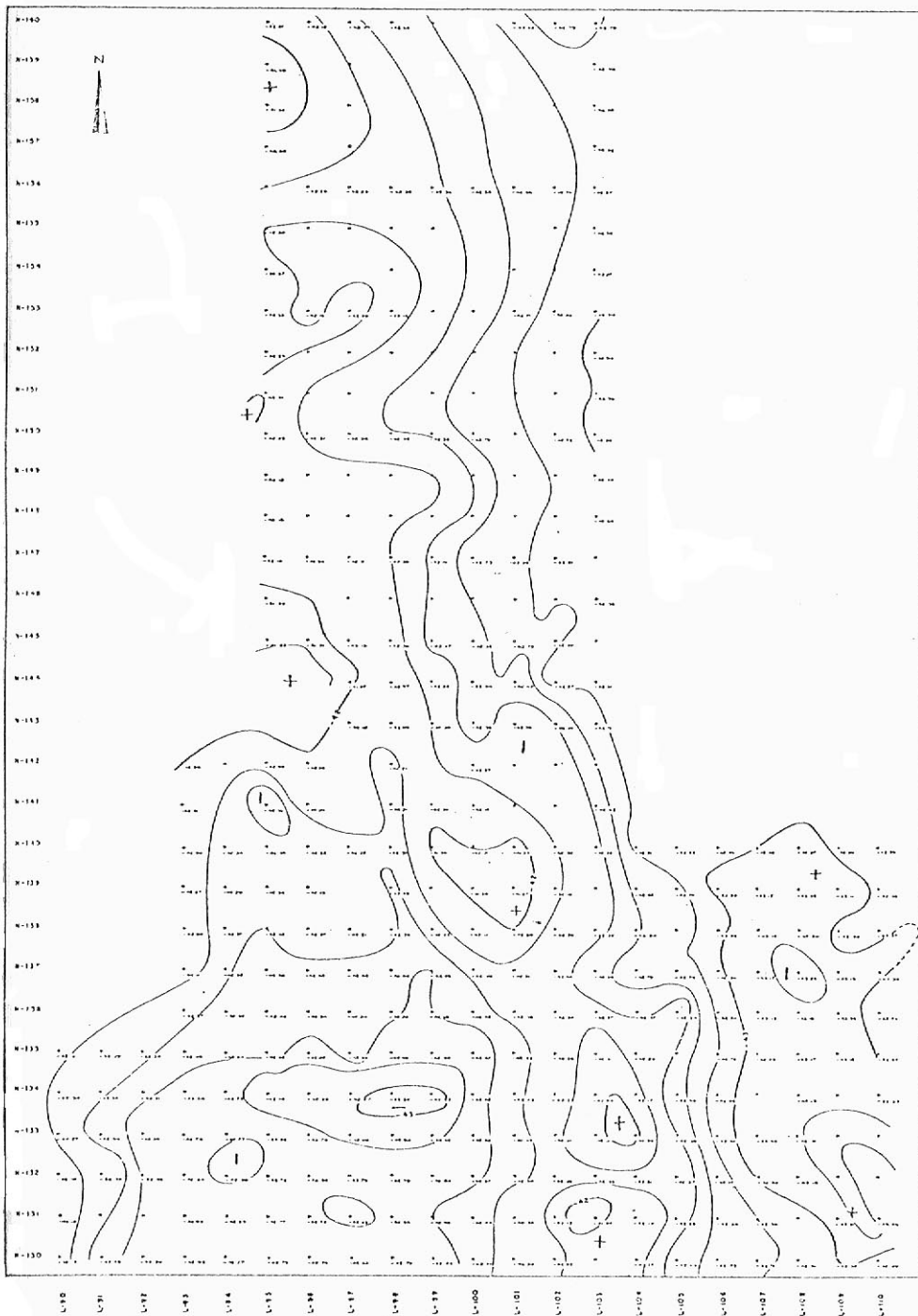
MASSSTAB  
 1 : 100 000

SITUATION



LEGENDE

- GRAVIMETER STATION
- 42.56 BOUGUER ANOMALIE (MGAL)
- INTERVALL-LINIE (D. 20 MGAL)
- M=126  
N=100 MESSPROFILE
- + RELATIVES MAXIMUM
- RELATIVES MINIMUM



FIGUR - 31

DE ANWENDUNG VON MAGNETIK UND GRAVIMETRIE  
 IN DER PROSPEKTION FÜR KUPFERERZE IN DER  
 GEGEND VON CURAÇA, PROVINZ BAHIA, BRASILIEN\*

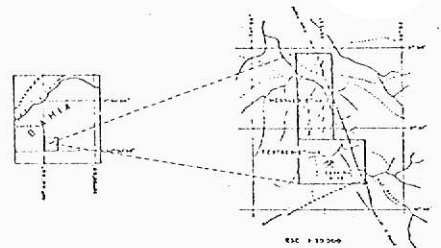
GRAVIMETRIE

ZWEITE ABLEITUNG DER SCHWERKRAFT

MESSGEBIET NÖRDLICH DER MINE

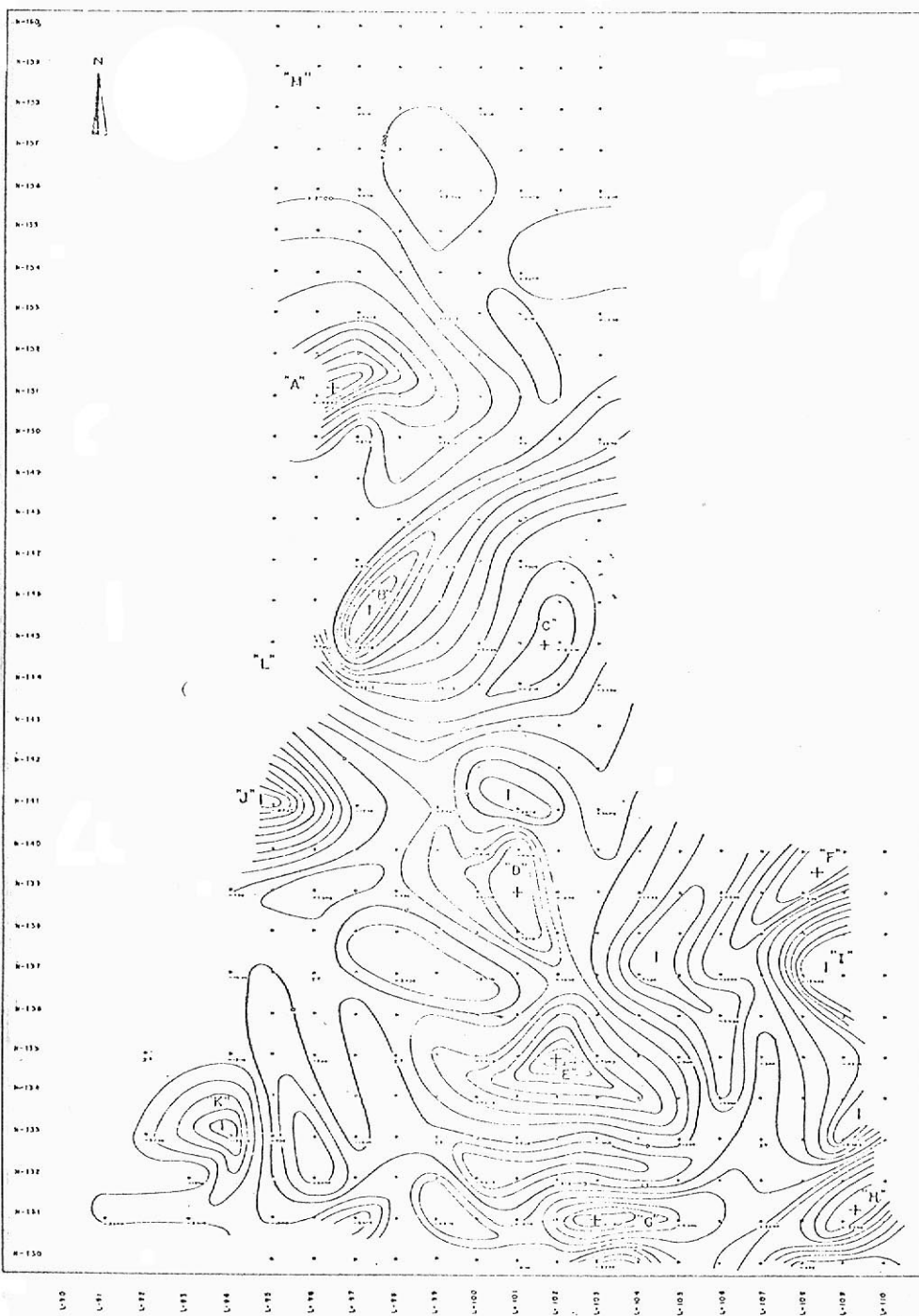
MASSSTAB  
 1:10000

SITUATION



LEGENDE

- GRAVIMETER STATION
- + RELATIVES MAXIMUM
- RELATIVES MINIMUM
- N-150  
N-98 MESSHÖHE
- ISODHALEN DER ZWEITEN ABLEITUNG DER SCHWERKRAFT (10-15 C.B.S.)



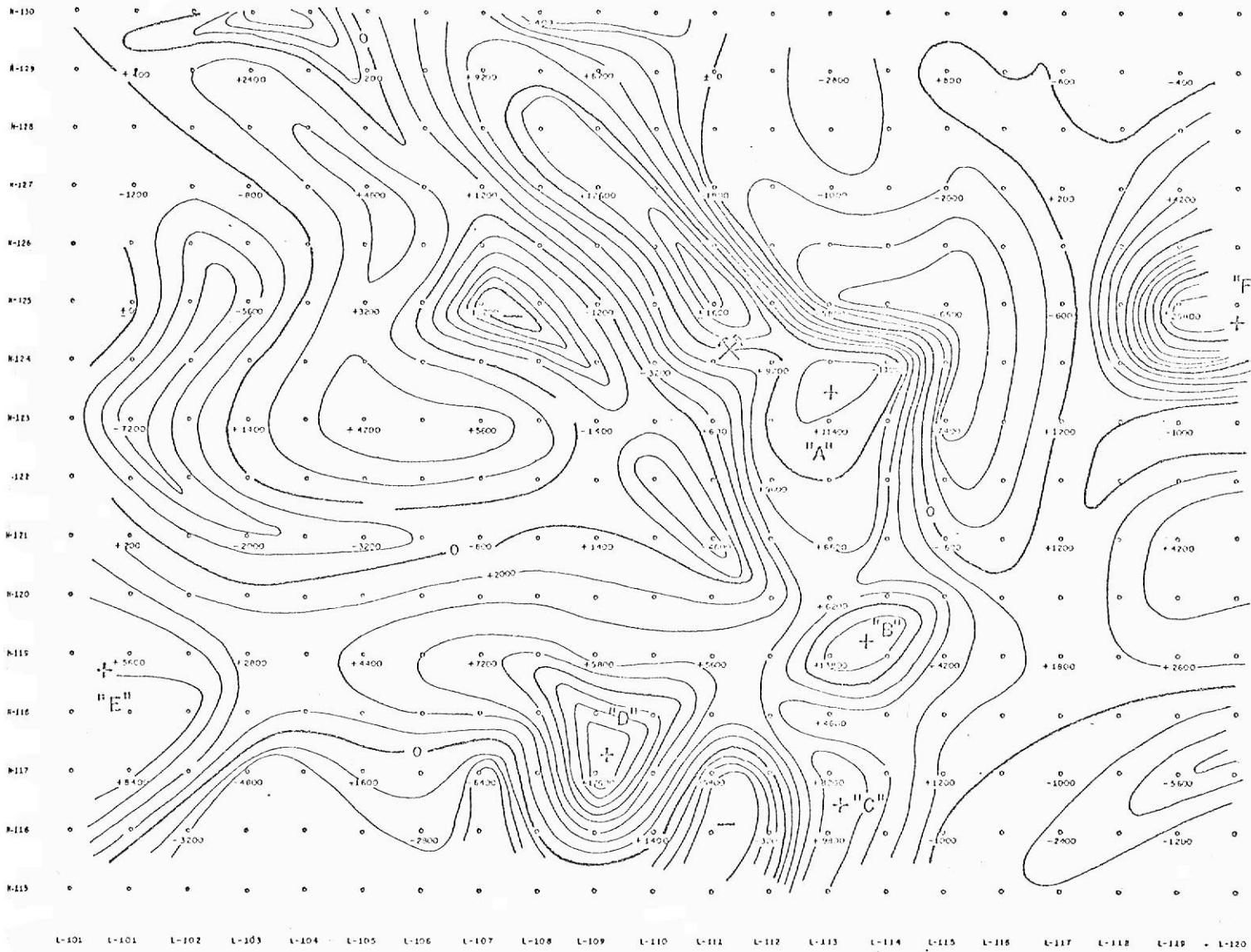
FIGUR-32

N-119 L-107	-42.54	-127.62	-170.85	-171.48	-42.87	+36	+7200
N-119 L-109	-42.69	-128.07	-171.30	-171.77	-42.94	+29	+5800
N-119 L-111	-42.65	-127.95	-171.03	-171.23	-42.80	+28	+5600
N-120 L-113	-42.28	-126.84	-169.65	-170.01	-42.50	+31	+6200
N-119 L-113	-42.15	-126.45	-169.88	-170.99	-42.74	+69	+13800
N-119 L-115	-43.10	-129.30	-172.70	-173.02	-43.25	+21	+4200
N-119 L-117	-43.83	-131.49	-175.52	-175.70	-43.94	+9	+1800
N-119 L-119	-44.15	-132.45	-176.92	-177.38	-44.34	+13	+2600
N-117 L-101	-42.64	-127.92	-171.23	-171.59	-42.89	+42	+8400
N-117 L-103	-42.90	-128.70	-171.32	-171.47	-42.86	-24	-4800
N-117 L-105	-43.02	-129.00	-171.93	-171.83	-42.95	-8	-1600
N-117 L-107	-43.07	-129.21	-171.92	-172.15	-43.03	-32	-6400
N-117 L-109	-42.69	-128.07	-172.00	-172.20	-43.05	+88	+17600
N-117 L-111	-43.11	-129.33	-172.02	-171.93	-42.98	-29	-5800





Mit obigen Werten erstellten wir die Karte der zweiten Ableitung, wie die Figur 21 zeigt.



FIGUR - 21

LEGENDE

- GRAVIMETER STATION
- ⊕ RELATIVES MAXIMUM
- ⊖ RELATIVES MINIMUM (mgn)
- ANOMALIEN DER ZWEITEN ABLEITUNG DER SCHWERKRAFT [10<sup>-11</sup>]
- L-120 MESSPROFILLE
- N-132 MESSPROFILLE

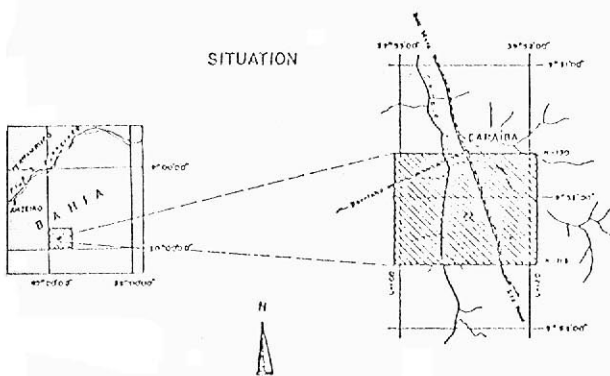
"DIE ANWENDUNG VON MAGNETIK UND GRAVIMETRIE IN DER PROSPEKTION FÜR KUPFERERZE IN DER GEGEND VON CURAÇA, PROVINZ BAHIA, BRASILIEN"

GRAVIMETRIE  
ZWEITE ABLEITUNG DER SCHWERKRAFT

MESSGEBIET: CURAÇA MINE

MASSTAB  
0 50 100 150 200 250 300 350 400

SITUATION



Figur 21

## 5.2. Magnetische Arbeiten

### 5.2.1. Benütztes Instrument

Es wurde ein Magnetometer M-700 des Typs Fluxgate benützt, das die vertikale Komponente des Magnetfeldes mißt. Es ist ein tragbares Transistorgerät und wiegt etwa 6.5 Pfund. Der Meßumfang geht von + 100 000 bis - 100 000 Gamma. Es wird kein Dreifuß (Ständer) für das Instrument benötigt, wobei die Ablesung vorgenommen wird, nachdem mit der Hand nivelliert (ausgeglichen) wurde. Das Gerät hat einen Temperaturkompensator.

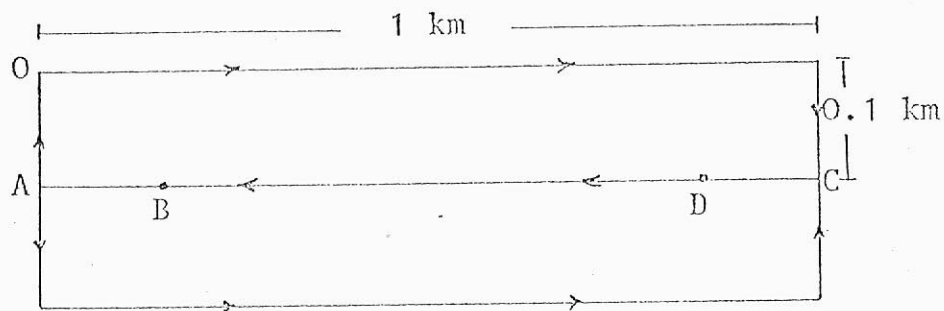
Die vom Hersteller angegebene Genauigkeit beträgt 5 Gamma. Tatsächlich wurde dieser Wert nicht erreicht, in Wirklichkeit beträgt die Genauigkeit etwa 20 Gamma.

### 5.2.2. Feldarbeiten

Bedingt durch das Fehlen eines anderen Instruments, das fest an der Basisstation zu bleiben hätte und die tägliche Korrekturkurve zeichnen würde, benützten wir das Prinzip der Neubesetzung von besonderen Stationen, um eine Kontrollmöglichkeit der Ablesungen zu haben.

Zunächst wurde eine Basisstation ausgesucht, 25 m westlich vom Punkt N-131 L-110 gelegen. Von diesem Punkt aus wurden Messungen in aufeinanderfolgenden Stationen durchgeführt, die dadurch charakterisiert werden, daß wir in Intervallen von 60 bis 120 Minuten zur Ausgangsstation zurückkehrten. Nicht immer war die wieder benützte Station die Basisstation, da die allgemeinen Bedingungen des Gebiets dies nicht zuließen. In der Hauptsache wurden Stationen wiederbesetzt, die schon vorher durch ihre sicheren Werte bekannt waren.

Nachstehendes Schema zeigt die Art des Vorgehens:



O = Null-Station

A, B = Bezugsstation, Ausgangspunkt für neue Stationen

C, D = Wieder benützte Station, dient zum "Schließen"  
für die von A und B begonnenen Schleifen

Diese Art des Vorgehens erlaubt die beste Ausnützung im Feld, da die durch die Schließung der Schleifen verlorene Zeit dem notwendigen Zeitaufwand für das Zurücklegen von 200 m (100 m hin und zurück zum Aus-

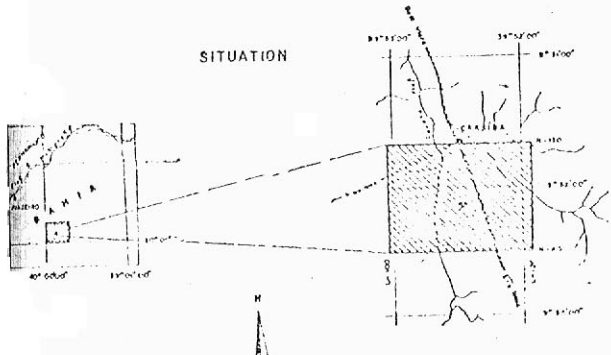
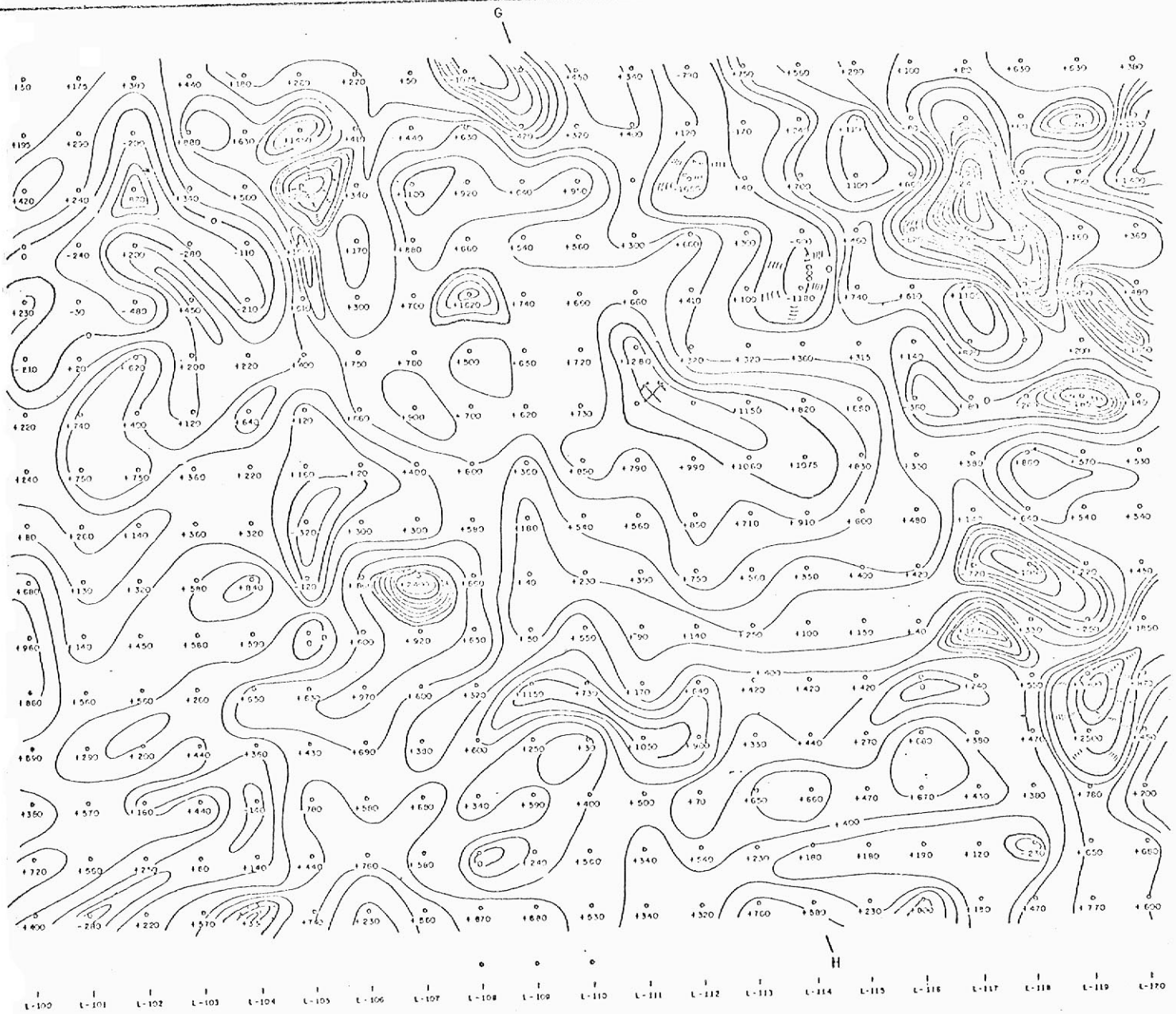
gangspunkt der neuen Schleife) entspricht. Es ist offensichtlich, daß ein solches Vorgehen auch mit dem Fehlen von Straßen in dem Gebiet in Verbindung steht. Bei der erneuten Benützung von Stationen wurden die Werte mit den dort vorher erhaltenen verglichen. Das Exakteste wäre natürlich eine Aufteilung des gefundenen Fehlers zwischen den beiden Ablesungen gewesen. Dies wurde jedoch nicht unternommen, da bedacht wurde, daß die wirkliche Präzision des Gerätes gleich oder sogar größer ist als der vorgefundene Fehler. In jedem Fall wurden Abweichungen von mehr als 20 Gamma zwischen beiden Ablesungen niemals zugelassen.

Es ist eine Tatsache, daß das benützte Instrument Fehler in die Messungen einführt, jedoch wirken sich diese nicht schädlich für die Interpretation aus, besonders in qualitativer Hinsicht. Leider konnte über ein anderes und besseres Instrument nicht verfügt werden.

### 5.2.3. Magnetische Karten

#### a) Magnetische Originalkarte der Vertikalkomponente:

Diese Karte resultiert aus den Höhenlinien der Werte der Vertikalkomponente, die direkt im Feld gemessen wurde (Figur 22).



DIE ANWENDUNG VON MAGNETIK UND GRAVIMETRIE IN DER PROSPEKTION FÜR KUPFERERZE IN DER GEGEND VON CURAÇÁ, PROVINZ BAHIA, BRASILIEN

### MAGNETISCHE ANOMALIEN ( $\Delta Z$ )

MESSGEBIET: CANAÍDA MINE

MASSTAB  
1:50,000

#### LEGENDE

- MAGNETISCHER MESSPUNKT
- + 880 MAGNETISCHE ANOMALIE [G]
- ✓ ANOMALIEN VON  $\Delta z$  [G]
- INTERVALL 200 M
- L-170 MESSPROFILE
- M-152 MESSPROFILE

FIGUR- 22

In ihr sind die Hauptelemente der qualitativen Interpretation verzeichnet. Es wurde eine Trennung in der Ausrichtung der hohen und der niedrigen Werte vorgenommen, die zur Trennung von einigen lithologischen und / oder strukturellen Einheiten führte.

a 1) Die Gestalt, die dem mafischen Körper von Caraiba entspricht, erscheint fast perfekt als Umriß. Ihr Hauptkennzeichen sind die relativ hohen Werte, die radial vom Zentrum des Körpers abnehmen.

a 2) Ortsveränderung der Tendenz der Maxima und Minima, die in der Karte erscheinen, können lithologische Kontakte und / oder Verwerfungen bedeuten.

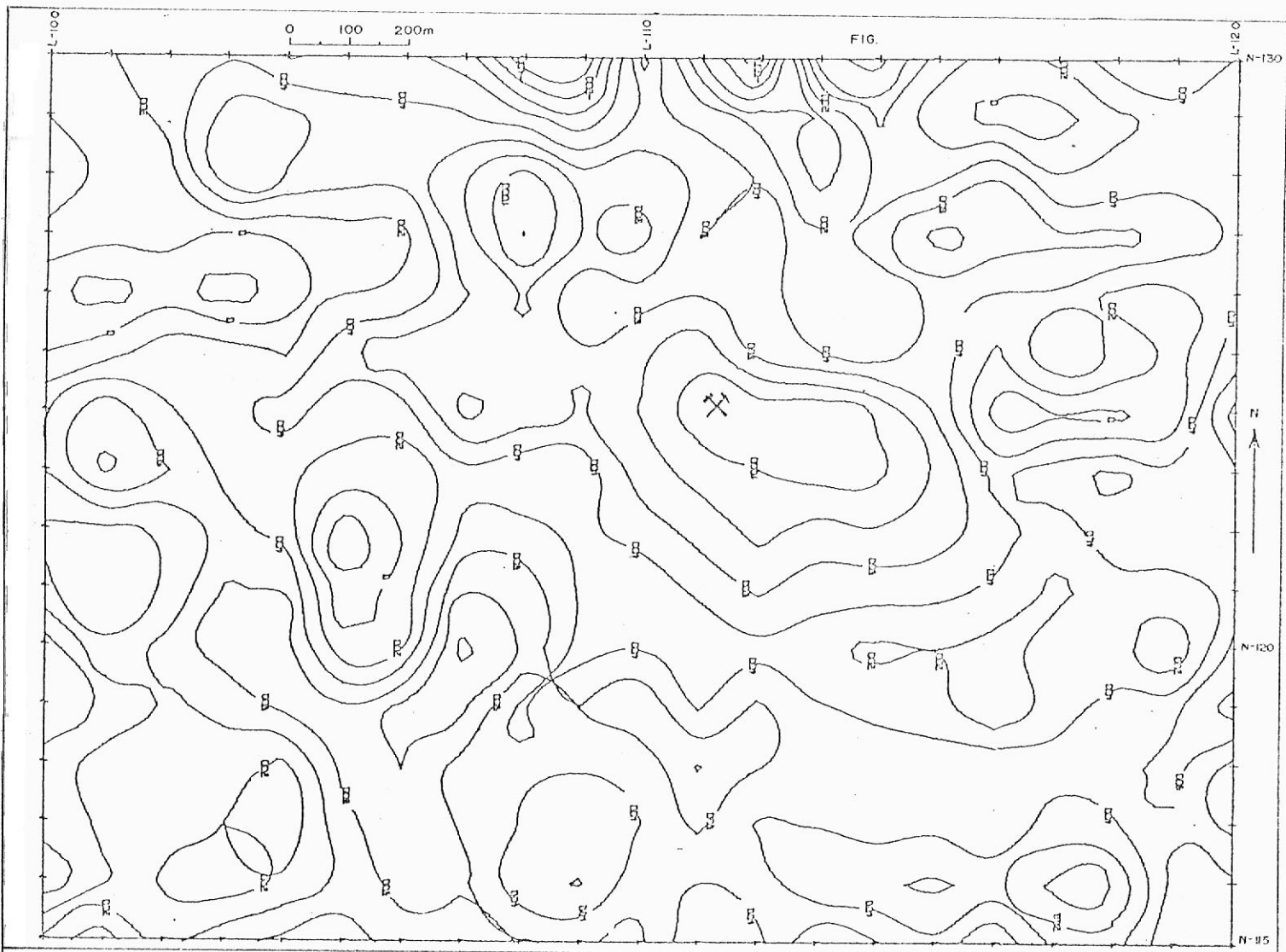
a 3) Die besonders hohen Spitzenwerte, die zum Teil nur aus einzelnen isolierten Werten bestehen, bedeuten lokale Konzentrationen (Bänder) von Magnetit in den Gneisen und Migmatiten. Ein Abstand zwischen 2 und 1 m vom Ort der Ablesung läßt diese Werte total verändert erscheinen. Hierdurch können wir sehen, daß diese Werte nicht für Berechnungen der regional-residualen Trennung in Betracht gezogen werden können.

b) Magnetische Karten aus interpolierten Werten:

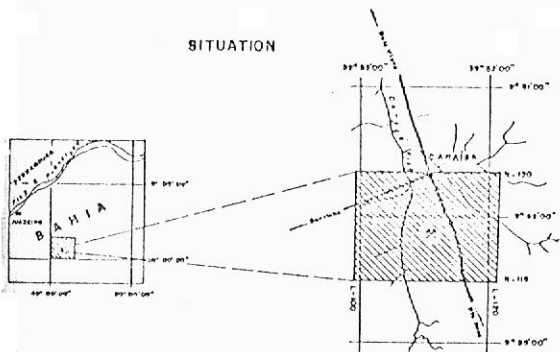
Die außergewöhnlich hohen bzw. niedrigen Werte, von denen schon gesprochen wurde, haben keine große geologische Bedeutung, da sie nur Bänder von Magnetit innerhalb von Gneis und Migmatit darstellen.

Aus diesem Grund unternahmen wir einen Test, um diese originären "Spitzen"-Werte und Minima zu ersetzen durch Werte, die die Interpolierung der normalen und für den Untergrund als Ganzes repräsentativen Seitenwerte darstellen.

Hierfür bereiteten wir ein Programm für den Computer vor, ähnlich dem, das für die Gravimetrie gemacht wurde. Die Figuren 23, 24 und 25 sind jeweils die magnetische, die regionale und die residuale Karte.



SITUATION



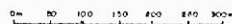
DIE ANWENDUNG VON MAGNETIK UND GRAVIMETRIE IN DER  
 PROSPEKTION FÜR KUPFERERZE IN DER GEGEND VON  
 CURAÇA, PROVINZ BAHIA, BRASILIEN"

MAGNETISCHE ANOMALIEN  
 ( $\Delta Z$ )

MASCHINEN PROGRAMM NST (19M)

MESSGEBIET: CARAIBA MINE

MASSTAB

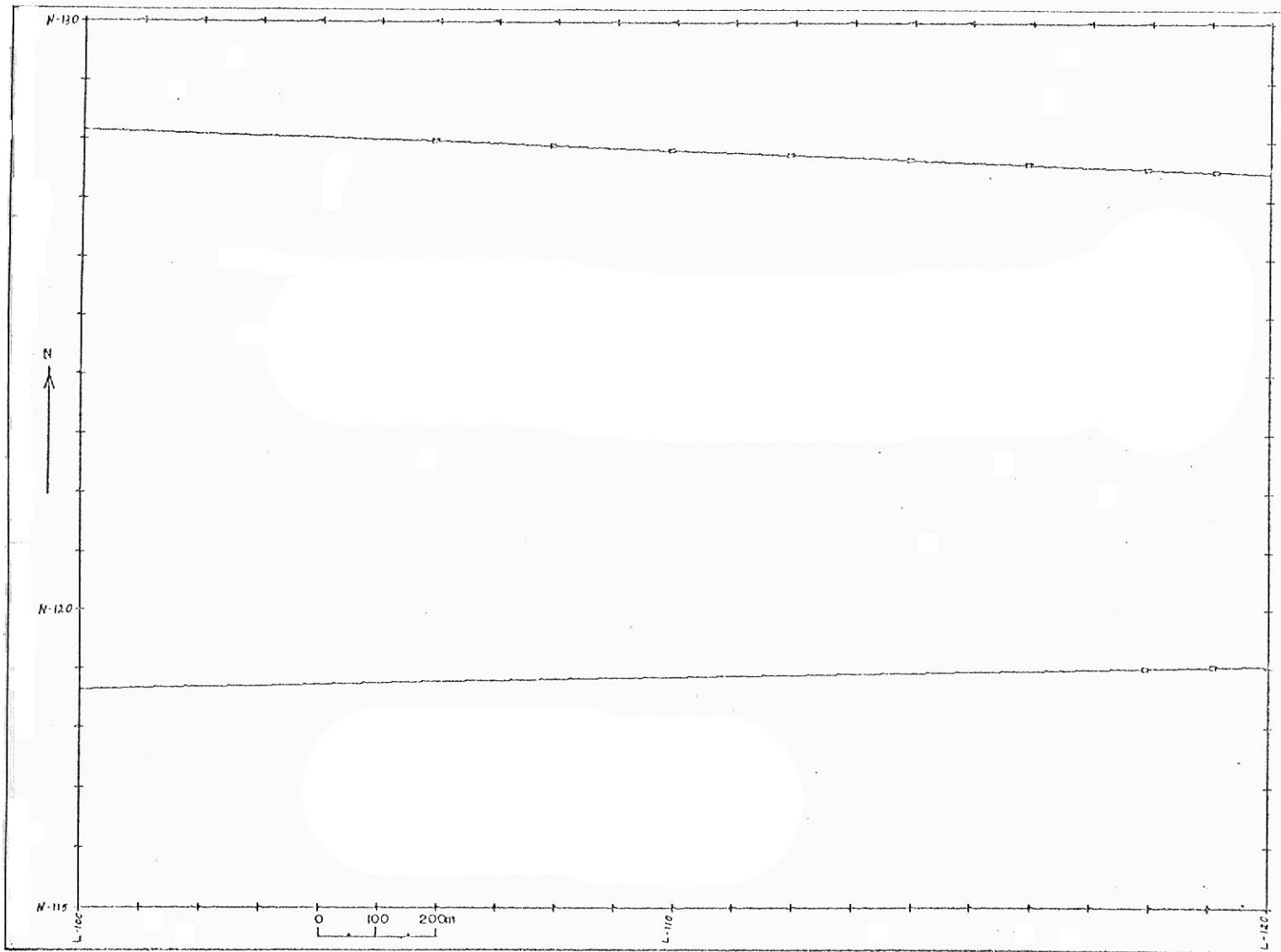


FIGUR 23

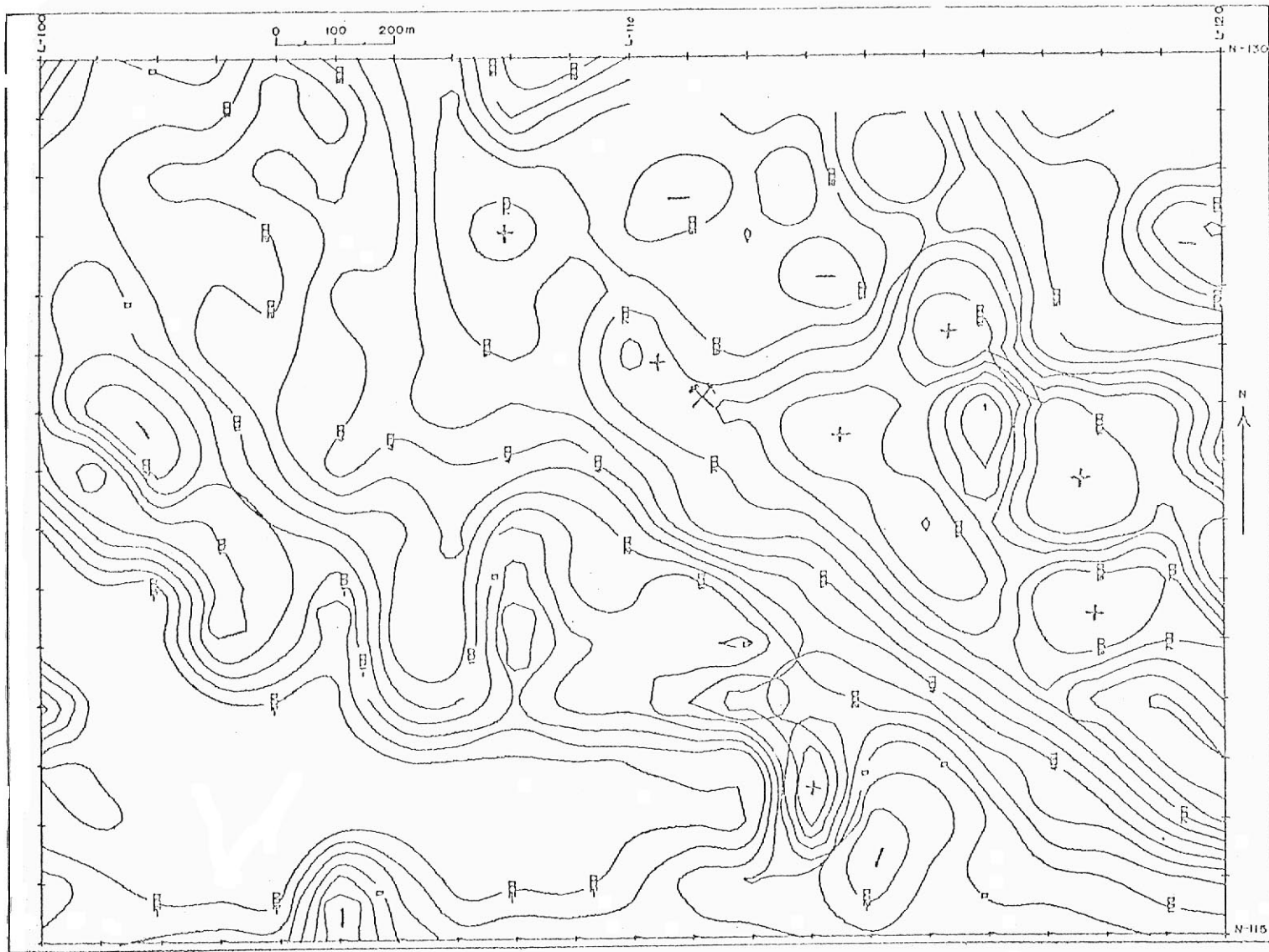
LEGENDE

- MASCHINEN PROGRAMM "GRID"
- 840 MAGNETISCHE ANOMALIE [B]
- ~ ISOCHEMALEN VON  $\Delta Z$
- N-125 MESSPROFILE
- L-111 MESSPROFILE

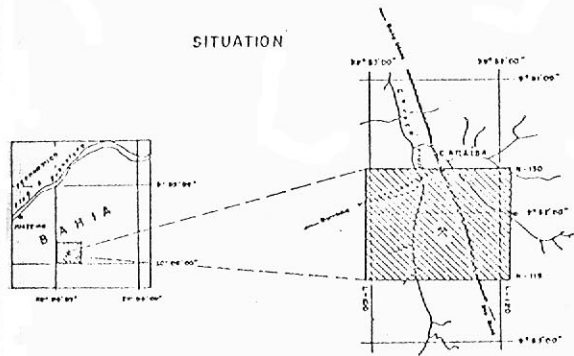




Figur 24: Regionalkarte



SITUATION



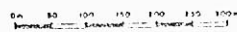
DIE ANWENDUNG VON MAGNETIK UND GRAVIMETRIE IN DER PROSPEKTION FÜR KUPFERERZE IN DER GEGEND VON CURAÇÁ, PROVINZ BAHIA, BRÁSILIEN

MAGNETIK RESIDUAL

MASCHINEN PROGRAMM NST (IBM)

MESSGEBIET: CARAÍDA MIHÉ

MASSTAB



FIGUR-29

LEGENDE

- MASCHINEN PROGRAMM "GRID"
- ~ ISOMALEN DER SCHWERKRAFT INTERVALL 100 G
- N-125 MESSPROFILE
- L-100 MESSPROFILE
- L-110 MESSPROFILE
- L-115 MESSPROFILE
- + RELATIVES MAXIMUM
- RELATIVES MINIMUM

### 5.3. Interpretation der Resultate aus dem Testgebiet

#### 5.3.1. Systematik der Interpretation

Nach dem Erhalt aller Karten, wie in 5.1., 5.2. und 5.3. beschrieben, unternahmen wir die qualitative und quantitative Interpretation des Gebietes.

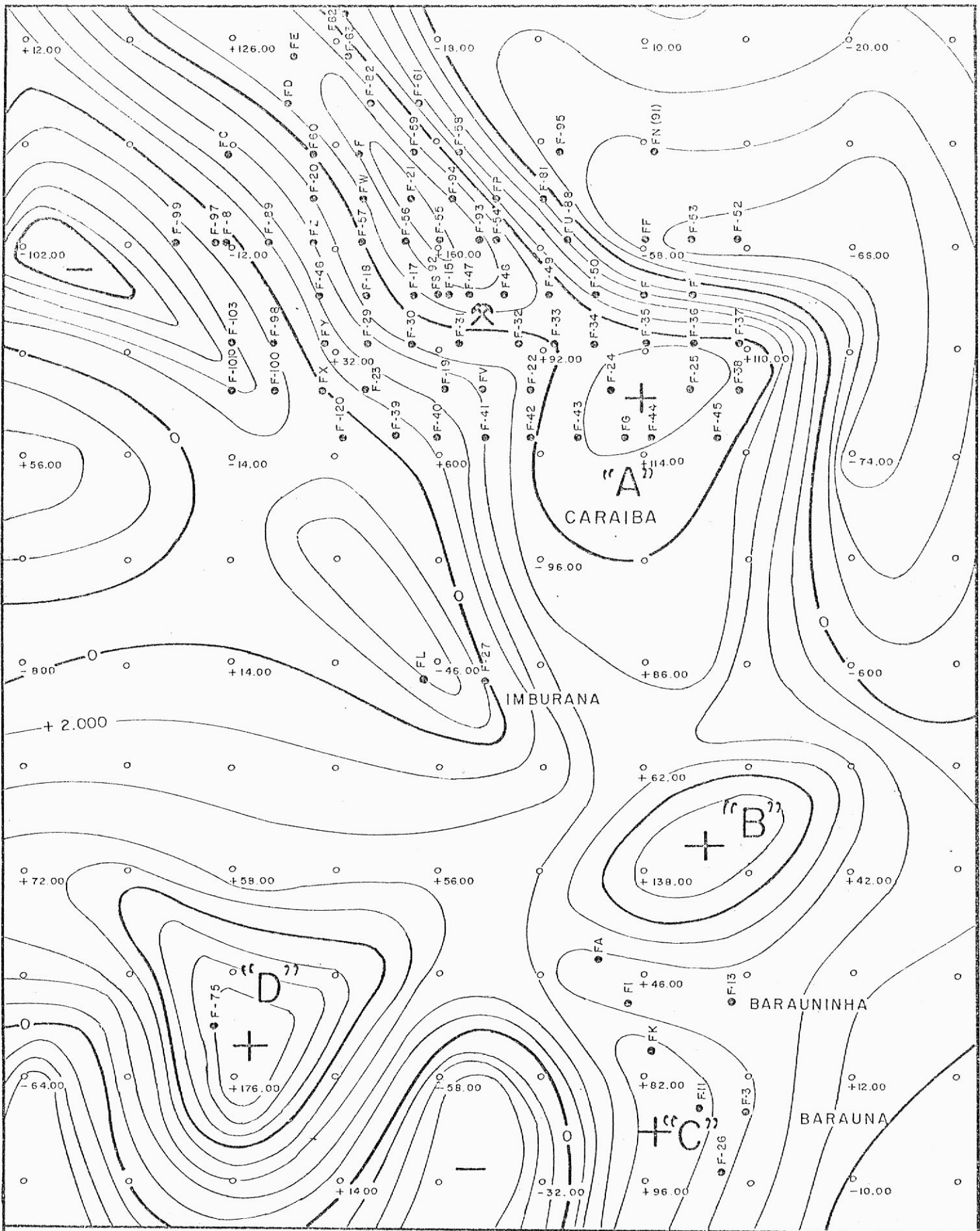
Unsere Resultate wurden nachträglich verglichen mit der geologischen Karte und mit den noch vorhandenen Daten vorheriger Bohrungen. Diese Daten wurden von der Caraiba Metais S.A. zur Verfügung gestellt. In den folgenden Abschnitten diskutieren wir einige der wichtigsten hieraus gezogenen Schlüsse.

#### 5.3.2. Qualitative Interpretation

Diese wurde in der bekannten Weise unternommen, wobei die iso-anomalen Kurven sorgfältig studiert werden im Hinblick auf Richtung, Gefälle, absolute und relative Werte, Positionen von Verwerfungen und von geologischen Kontakten, Kurvensymmetrie etc. Die wichtigsten Rückschlüsse waren folgende:

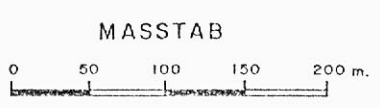
a) Die mafischen und ultramafischen Körper, die bereits durch die Geologie und vorherigen Bohrungen bekannt waren, wurden ziemlich eingegrenzt und mit Hilfe der Gravimetrie definiert. Die Körper A, B, C und D der Figur 26 erscheinen in den hohen Werten.

Die Positionen der durchgeführten Bohrungen zeigen perfekte Übereinstimmung mit den gravimetrischen Anomalien. Die Figur 26 ist die Karte der zweiten Ableitung mit den Bohrungen.



**LEGENDE**

- F-52 BOHRUNGEN (MIT KUPFER)
- -14.00 GRAVIMETER STATION
- ISANOMALEN DER ZWEITEN ABLEITUNG DER SCHWERKRAFT
- RELATIVES MAXIMUM
- RELATIVES MINIMUM



**FIGUR - 26**

Zur Abschätzung der Genauigkeit der Methode wurden verschiedene Messungen wiederholt mit den folgenden Ergebnissen (Tabelle 8):

Tabelle 8

Probe Nr.	1. Ablesung	2. Ablesung	Abweichung in %
1	7400	7400	0
11	2850	2800	1,8 (-)
14	3400	3400	0
18	3150	3100	1,6 (-)
39	750	800	6,6 (+)
41	400	450	12,5 (+)

## 5.0. Arbeiten im Gebiet der Mine von Caraiba und Umgebung

Mit der Anwendung magnetischer und gravimetrischer Methoden wurde im Gebiet der Mine von Caraiba begonnen, da dieses die am besten untersuchte Region darstellt, wie in den vorangegangenen Kapiteln schon ausgeführt wurde. Da die Fundstätte geologisch bekannt und vermessen ist, war es leicht, die erreichten Resultate zu vergleichen, besonders die quantitativen Daten.

Dieses Testgebiet stellt ein Rechteck von 2,0 x 1,5 km dar, das total eine Fläche von 3 km<sup>2</sup> (300 ha) bedeckt und in dessen Zentrum sich die drei Erzkörper mit den Bezeichnungen Caraiba, Barauna und Baraunhina befinden, von denen der erstere vom Standpunkt der Wirtschaftlichkeit gesehen der bedeutendste im ganzen Curaca-Tal ist (Figur 3 und 5).

### 5.1. Gravimetrische Arbeiten

#### 5.1.1. Überprüfung des Begriffs Bougueranomalie

Wir benützten bei unserer Arbeit die Bougueranomalien, um eine Bouguerkarte zu erhalten, wobei sich diese

definieren läßt wie folgt:

$$\begin{aligned} \text{BOUGUERANOMALIE} &= (\text{Gemessene Schwerkraft} + \\ &(-\text{Bouguerkorrektur}) + \text{Freiluftkorrektur} + \text{Geländekorrektur}) \\ &- \text{Theoretische Schwerkraft} \end{aligned}$$

### 5.1.2. Schwerkraftmessung

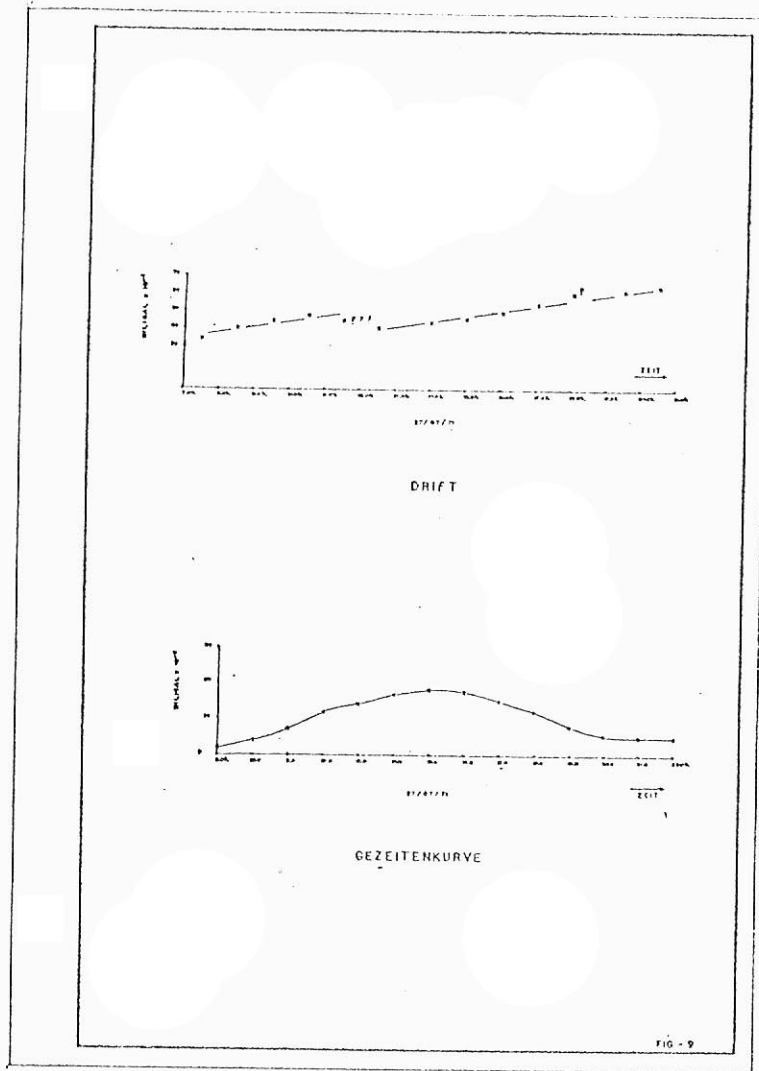
#### 5.1.2.1. Meßinstrument

Es wurde ein Gravimeter "Model 112 Standard Prospector Worden Gravity Meter SN 891" der Firma Atlas Instruments mit Fabrikationsdatum 1971 verwendet. Wir kontrollierten die Genauigkeit des Instruments auf zwei verschiedene Arten:

- a) Tägliche Empfindlichkeitsmessungen der Längs- und Quersohlen. Eine Berichtigung der Sohlen wurde während der Arbeit nicht notwendig.
- b) Tägliche Drift: obwohl das Instrument fabriksneu war, machten wir einige Tests in bezug auf die tägliche Drift. Die Gezeitenkorrektur wurde nach einer Anleitung vorgenommen, die wir in der Zeitschrift "Geophysical Prospecting" (8) fanden.

Die nachstehende Abbildung stellt die Drift und die Gezeitenkurve für den 27.7.1971 dar (Figur 9).





Der "jump" zwischen 11,30 und 13,00 Uhr wurde durch andere Drifts bestätigt, wie auch durch ein Schließen der Linien. Ein solcher Sprung kann nur durch eine außergewöhnliche Veränderung der Temperaturen stattgefunden haben, wie sie sich in diesem Zeitraum vollzog. Aus diesem Grund sollten Feldarbeiten in dieser Zeit vermieden werden. Außer diesem Grund vermieden wir die Arbeit zu dieser Zeit auch wegen der hohen

Temperaturen, die in jenem Gebiet etwa 38 Grad Celsius erreichen und die auf den menschlichen Organismus schädigend wirken.

#### 5.1.2.2. Topographische Erhebungen

Wir benützten die von der Caraiba Metais S.A. zur Verfügung gestellten Daten. Die Gesellschaft besitzt Angaben über plane Höhenmessungen zwischen Punkten im Abstand von jeweils 100 m. Die Genauigkeit der Arbeiten ist außergewöhnlich gut und das ganze System ist in bezug gesetzt RNs und zu astronomischen Punkten, welche durch verantwortliche brasilianische Organe kontrolliert wurden.

#### 5.1.2.3. Verteilung der Stationen

Es wurde aus dem existierenden Netz Nutzen gezogen mit Punkten in jeweils 100 m Abstand in N-S- wie auch in E-W-Richtung. In besonderen Fällen, wenn kleine Lager im Untergrund vorkommen, kann diese Entfernung auch auf 50 m oder sogar darunter (25 oder 30 m) verringert werden, da die angewandte Methode eine genügende Genauigkeit hierfür bietet.

Abhängig vom zu bearbeitenden Gebiet zeigt die anfänglich benützte Raumaufteilung der Stationen sofort die größeren Lager, d.h. diejenigen von größtem wirtschaftlichem Interesse.

#### 5.1.2.4. Schwerkraftmessungen

a) Netz der Basisstationen: die gravimetrischen Messungen wurden in bezug gesetzt zu einer Basisstation, die sich auf dem topographischen Punkt N-131 L-110 befindet und die einen Wert absolut gleich 978 067 96 gal hat. Dieser Wert wurde von der Station Woolard aus transportiert, die sich im Flughafen von Salvador (Bahia) befindet, der Station Wa 6083, veröffentlicht von WOOLARD und ROSE (31, S.111), die einen Wert von 978 344 30 gal hat. Der Transport des Woolard-Wertes wurde durch Drifts vom Typ  $A \rightarrow B \rightarrow A$  vorgenommen, die zwei Stunden nicht überschritten. Die erreichte Genauigkeit belief sich auf 0.08 mgal / 60 Minuten. Die Tabelle 9 zeigt die Basisstationen und ihre Werte.

b) Stationen erster Ordnung: dies sind Stationen, die sich durch zwei Ablesungen charakterisieren lassen und ein Präzisionsnetz bilden. Die Drifts waren vom Typ  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \dots A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$ , wobei sie ein geschlossenes Vieleck bildeten.

Die maximal erlaubte Abweichung der Schließung war  $\pm 0.08$  mgal. Diese Abweichungen wurden nachträglich durch Wiederholungen verteilt.

Tabelle 9

NAME DER STATION	LAGE (ORTSCHAFT)	ABSOLUTER SCHWERKRAFTWERT (Gal)
Wa 6083	Salvador 12°54.5' S 38°21.0' W	978 344 30
RN 305 C	Serrinha	978 157 18
RN 307 F	Bomfim	978 049 08
Topographischer Punkt Nr.N-131 L-110	Caraiba	978 067 96
Topographischer Punkt Nr.N-130 L-110	Caraiba	978 067 26

c) Stationen zweiter Ordnung: sie werden durch nur eine Ablesung charakterisiert. Die Drifts sind vom Typ  $A \rightarrow B \rightarrow a_1 \rightarrow a_2 \rightarrow a_3 \dots a_n \rightarrow C \rightarrow D$ , wobei  $a_1, a_2, a_3 \dots a_n$  = Punkte zweiter Ordnung.

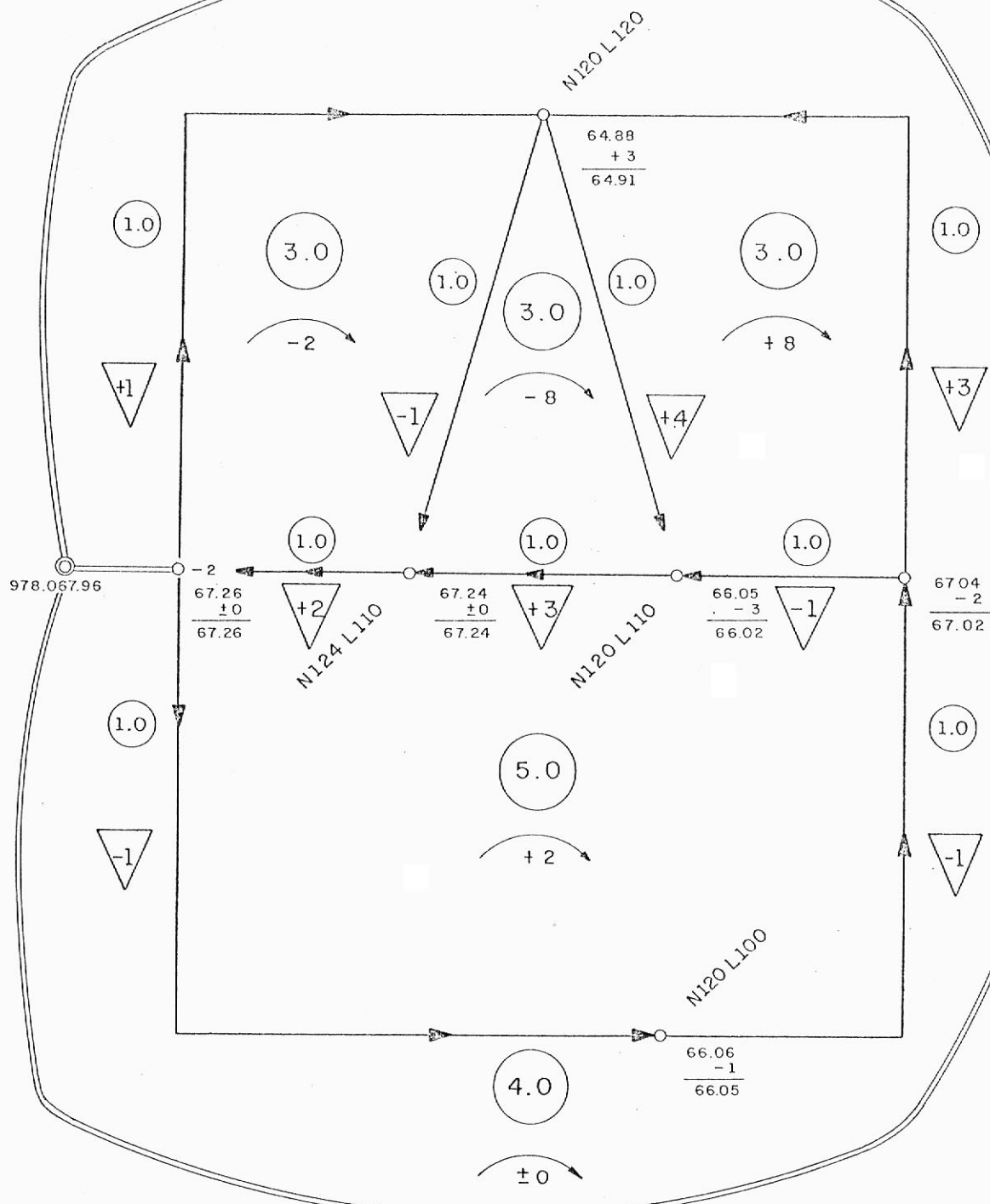
Die erlaubten Abweichungen betragen  $0.06$  mgal /  $60$  Mi-

nuten und es wurden einige Berichtigungen vorgenommen, wenn dieses Limit überschritten wurde.

#### 5.1.2.5. Präzisionskontrolle der Schwerkraftmessungen

a) Justierung der Driftwerte: bei allen gravimetrischen Messungen wurde die Dauer der Lancierung rigoros unter 120 Minuten gehalten. Hierdurch wird die Gezeitenkorrektur vermieden. Die Justierung der Zeit wurde durch die Verteilung der Endabweichung in Beziehung zur Gesamtzeit der Lancierung und zu den Teilzeiten jeder Messung vorgenommen.

b) Methode der Wiederholung: sie besteht darin, Vielecke durch Linien zu schließen, die die Punkte erster Ordnung umfassen. Die in den Vielecken enthaltenen Abweichungen werden nachträglich über die Stationen der Linien verteilt. Die folgende Abbildung stellt die Karte der Schließung und der gravimetrischen Justierung für das Testgebiet der Fazenda Caraiba dar (Figur 10).



## MESSFEHLER UND AUSGLEICHUNG DER GRAVIMETRISCHEN AUFNAHME

### LEGENDE

©	BASIS STATION		WIDERSPRUCH DES POLYGONOS
	STATION ERSTER ORDNUNG		GEWICHT FÜR DIE ITERATION
978 066 06	ANFANGS WERT		ENDVERBESSERUNG DER ITERATION
-1	VERBESSERUNG		BASIS-VERBINDUNG
66.05	AUSGLEICHENER WERT		MESS-RICHTUNG
	GEWICHT EINES POLYGONOS		

FIGUR-10

### 5.1.3. Freiluft- und Bouguer'sche Korrektur

Diese Korrekturen wurden zusammen vorgenommen, zumal beide ständig mit der Höhendifferenz multipliziert werden. Die benützte Formel lautet:

$$\text{Korrektur} = H \times F_D$$

H = Höhe des Punktes in bezug auf Meeresniveau

$F_D$  = Konstante, die eine Funktion der Oberflächen-dichte der Gesteine darstellt.

Wir benützten den Faktor  $F_D = 0.2 \text{ mgal / Meter}$ , was einer Dichte von  $d = 2.59 \text{ g/cm}^3$  entspricht (24, S.55).

### 5.1.4. Geländekorrektur

Obwohl die Topographie des Curaca-Tales eine solche Korrektur überflüssig macht, unternahmen wir eine Nachprüfung. Wir gingen nach der Methode von HAMMER (12) vor. Zuerst hatten wir eine topographische Karte im Maßstab 1 : 5000 zu erstellen, zumal Flächen-Höhenkarten in diesem Maßstab nicht existieren. Wir korrigierten die Punkte bis zu einer Höchstdistanz von 1529 m, da über diese Distanz hinaus keine Beeinflussung mehr besteht.

Die Entfernungen der verschiedenen Strahlen, die in der Originalarbeit von HAMMER in englischem Maß (Fuß) erscheinen, wurden in Meter umgewandelt, weswegen

sie in Bruchzahlen erscheinen. Um die Berechnungen zu erleichtern, wurde ein Nomogramm konstruiert, das mit einer Meßschiene automatisch die Differenz der Höhen zwischen der zu korrigierenden Station und der mittleren Höhe des in Untersuchung befindlichen Teilstückes liefert. Die vorzunehmende Korrektur erscheint sofort in dem ihr zugehörigen Sektor. Die Figur 11 zeigt das erstellte Nomogramm.

#### 5.1.5. Normalschwere - Breitenkorrektur

Um diese Berechnung durchzuführen, benützten wir die internationale Schwerkraftformel, wie sie durch NETTLETON, 1940 (24, S.139) berechnet wurde. Die Werte, die aus NETTLETON's Tabelle benützt wurden, waren (Tabelle 10):

Tabelle 10

Geographische Breite (Breitengrad)	Normale Schwerkraft (Gals)
9° 50'	978 199 209
10° 00'	978 204 293

Von diesen Werten ausgehend wurde eine andere graphische Tabelle in durchsichtigem Papier angelegt und im gleichen Maßstab der Karte der Stationsverteilung. Die entnommenen Werte für jeweils 100 m wurden der Breitenkorrektur unterworfen.



MONOGRAMM DER GELÄNDE KORREKTION  
2m - 1529m

KORREKTION [MGAL] =  $W \times 0,013$

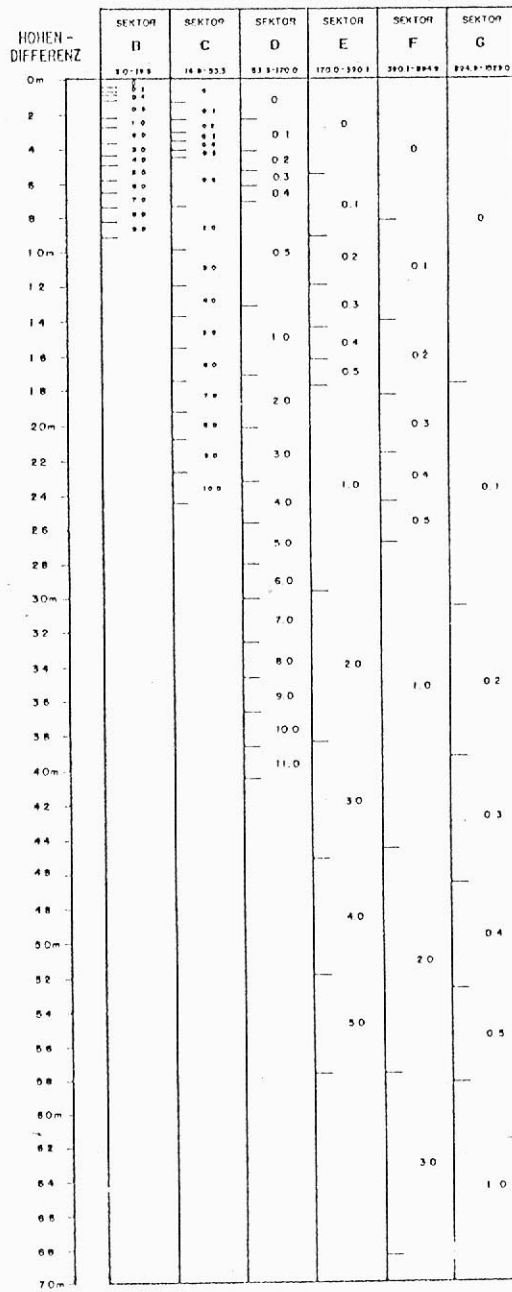


FIG. - 11

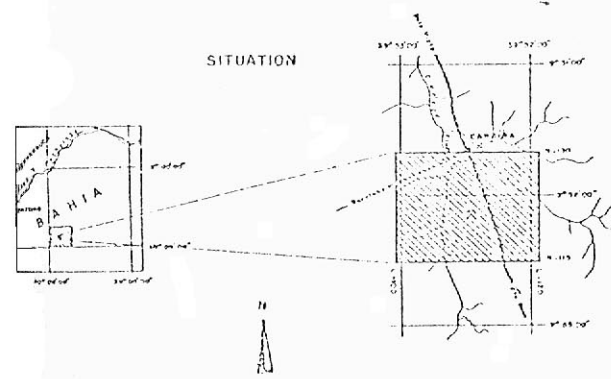
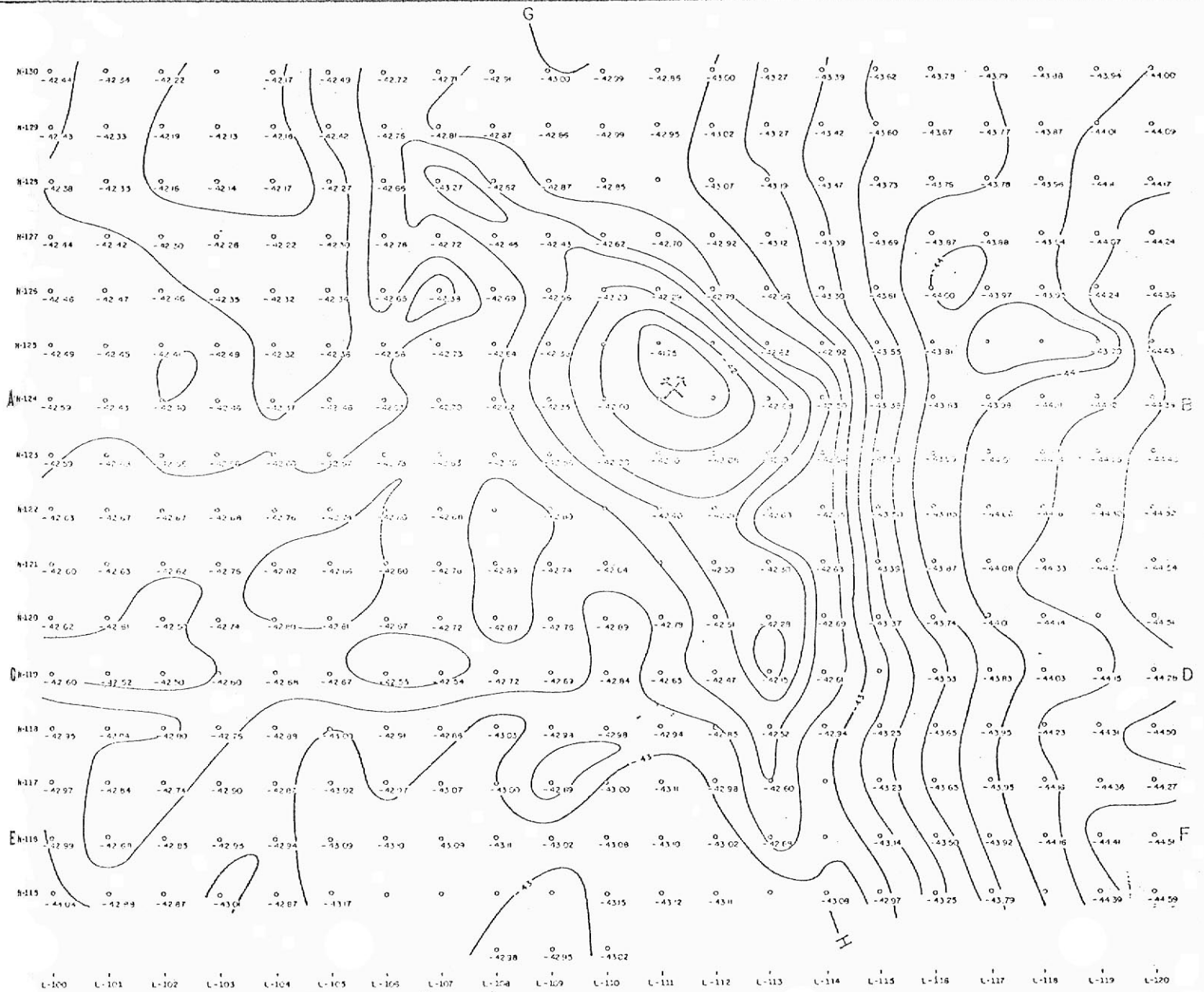
#### 5.1.6. Konstruktion der Bouguerschwerekarte

Mit den in der dargelegten Weise erhaltenen Resultaten errechnete ich die Bouguerwerte und zwar nach der in Kapitel 5.1.1. angegebenen Formel. Durch die Höhenlinienkurven der Bouguerwerte wird die Bouguerkarte erhalten, wobei der Abstand zwischen den Höhenlinien mit 0.20 milligal angenommen ist. Die Figur 12 zeigt die Karte. Bei Betrachtung der Karte bemerkt man sofort ein Maximum im Abschnitt nördlich der Mitte mit Richtung N 45° W. Diese Anomalie entspricht dem Caraiba-Körper. In Richtung Süden befinden sich in der Fortsetzung der Anomalie die Barauna- und Barauninha-Körper. Die Figur 13 zeigt eine Vergrößerung des Zentrums der vorherigen Karte; die damals vorgenommenen Bohrungen wurden eingesetzt, um die Beziehung zu den Isogammen aufzuzeigen.

#### 5.1.7. Regional-Residual-Trennung

##### 5.1.7.1. Revision des Begriffs der Residualkarten

Die gravimetrischen Karten von Bouguer, wie die zuvor erhaltene, genügen für sich allein nicht für eine geologische Interpretation, weil sie die Summe der Effekte darstellen, die sich sowohl von den tiefen Massen der Erdkruste als auch den oberflächennahen herleiten. Diese überlagern andererseits manchmal



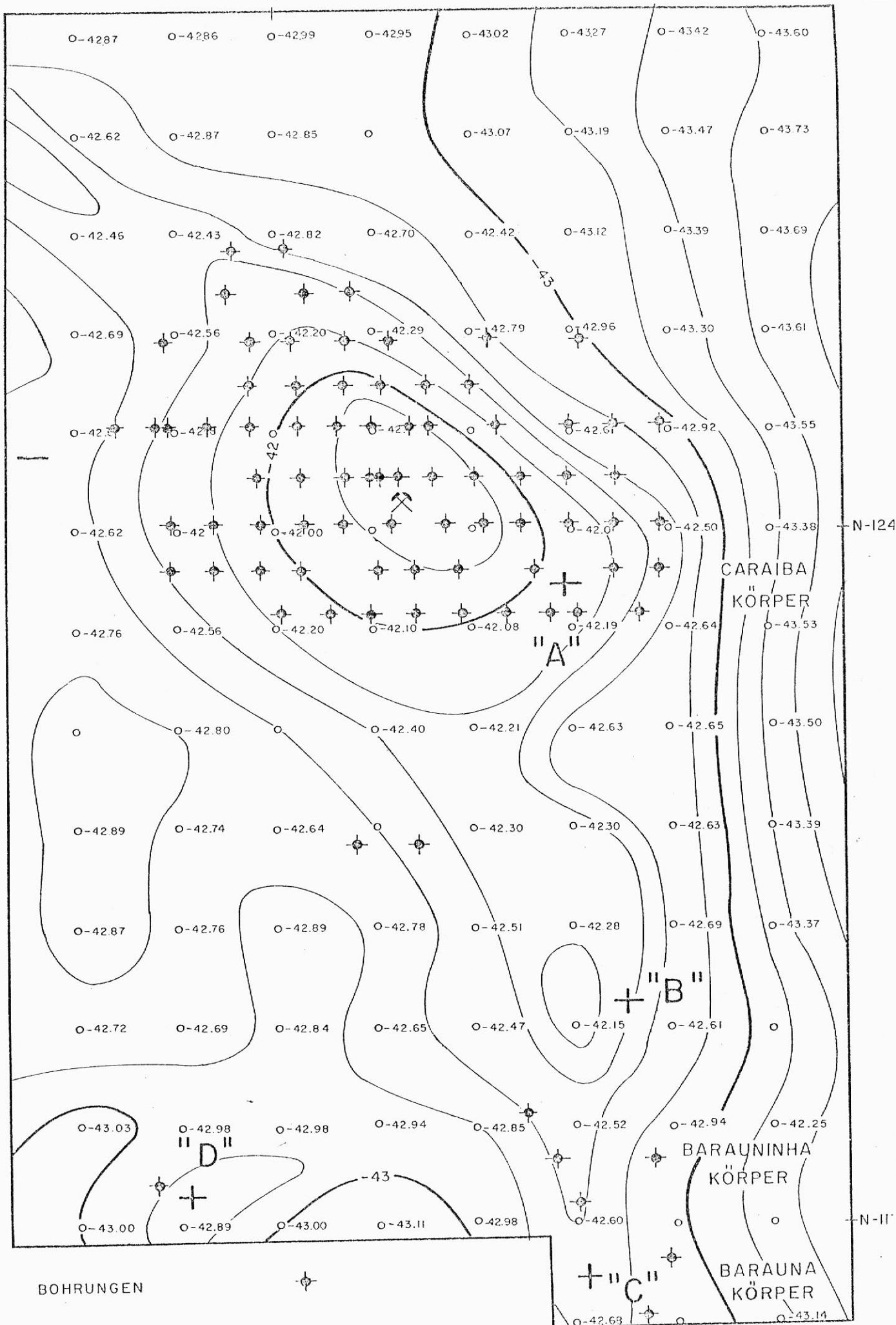
\* DIE ANWENDUNG VON MAGNETIK UND GRAVIMETRIE IN DER PROSPEKTION FÜR KUPFERERZE IN DER GEGEND VON CARAJÁ, PROVINZ BAHIA, BRASILIEN \*

GRAVIMETRIE  
BOUGUER ANOMALIEN

MESSGEBIET: CARAJÁ MINE

MASSTAB  
1:50,000

- LEGENDE
- GRAVIMETER STATION
  - 42.60 BOUGUER ANOMALIE [mgal]
  - ISANOMALIE DER SCHWERKRAFT
  - INTERVALL 0,20 mgal
  - L-120 MESSPROFILLE
  - N-122 MESSPROFILLE



FIGUR - 13

DESENHO DE ZÓZIMA FONSECA

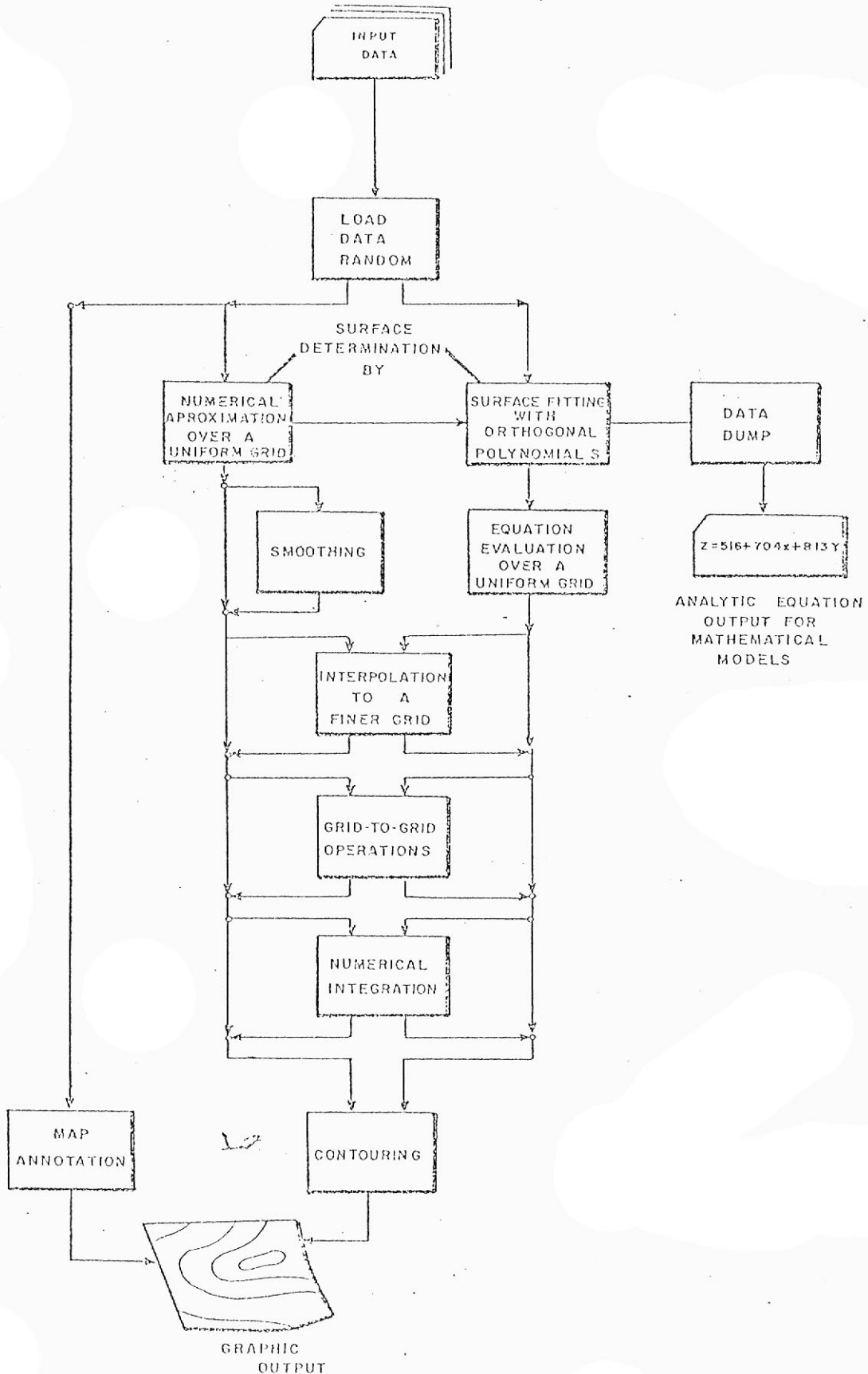
jene Effekte, wodurch ein oder mehrere Lager als nur ein einziges erscheinen. Da wir an diesen Oberflächenmassen interessiert sind, welche die möglichen Gesteinsakkumulationen darstellen, die Kupfer enthalten, wird es notwendig, den Effekt der tiefen Massen - den Regionaleffekt - von dem der oberflächennahen, die Residuen sind, zu trennen. In einer vorhergehenden Etappe wird versucht, das Residuum, das von einem Körper ausgeht, von dem zu unterscheiden, das aus der Summe mehrerer Körper herrührt.

Wir wandten zwei verschiedene Techniken an, um die regional-residuale Trennung vorzunehmen, da wir die Notwendigkeit in Betracht zogen, bei der Interpretation eine Vergleichsmöglichkeit zu haben. Diese Techniken sind im folgenden beschrieben.

#### 5.1.7.2. "Trend Surface Analysis"

Bei Anwendung dieser Technik benützten wir die Anleitung von GRANT und WEST, 1965 (10, S.243) in bezug auf die Notwendigkeit, eine mathematische Filtertechnik zu haben, um eine bessere Lösung für die regional-residuale Trennung zu erhalten. Hierzu benützten wir ein Programm von IBM, programmiert für den Computer 1130 mit der Bezeichnung "1130 Numerical Surface Techniques and Contour Map Plotting, Version 2" (15). In den Computer wurden die Koordinaten X und Y des Punktes eingespeist sowie die dritte Variable Z,

die den absoluten Wert der Schwerkraft darstellen kann - wie in diesem Fall - oder die magnetische Intensität. Die Figuren 14 u. 15 stellen das durchgeführte Programm dar.



RELATIONSHIP BETWEEN PROGRAMS

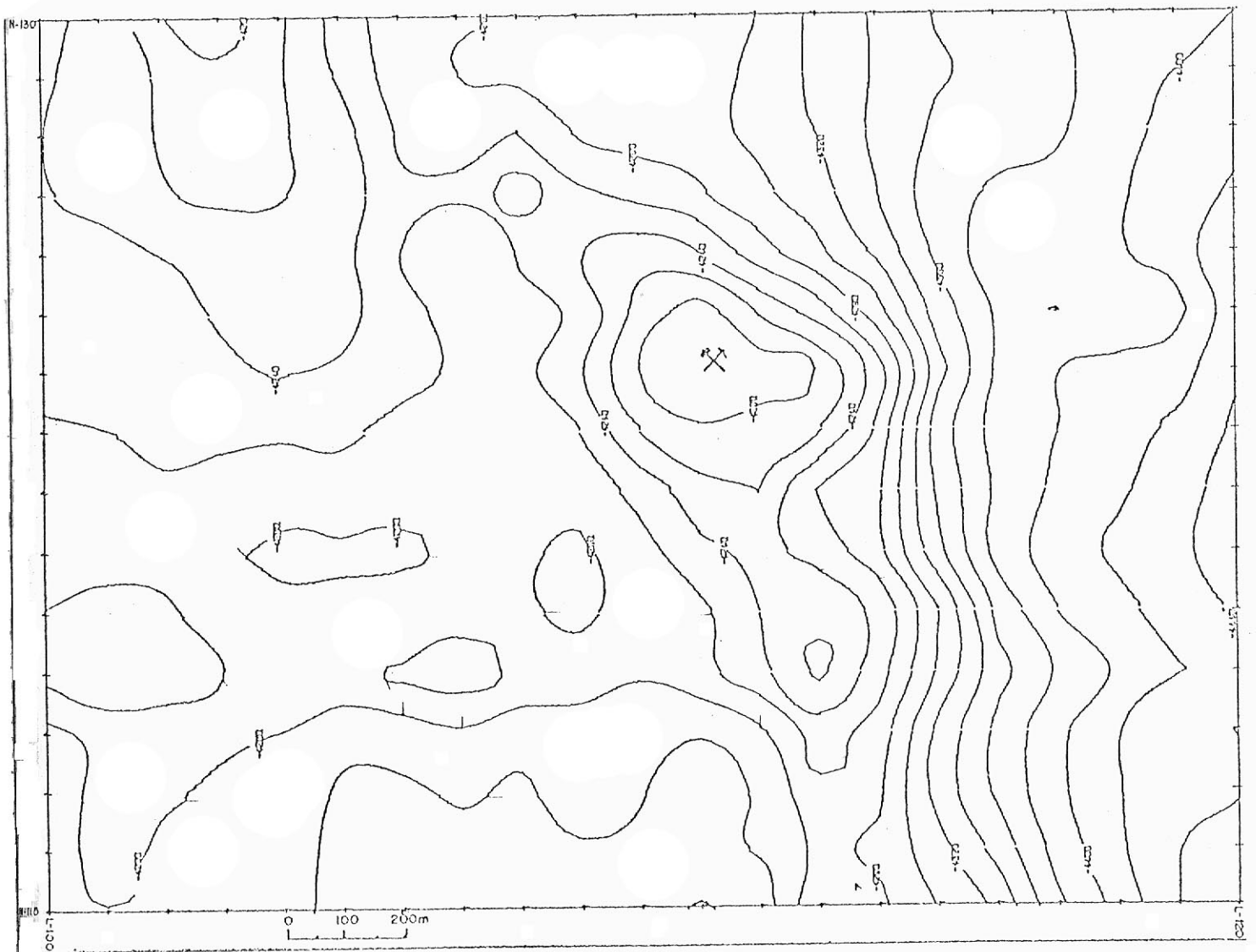
( NACH IBM )

Figur 14



Die folgenden Abbildungen mit den Nummern 16 bis 20 stellen die erhaltenen Karten dar, die vom Computer gezeichnet wurden und bedeuten jeweils:

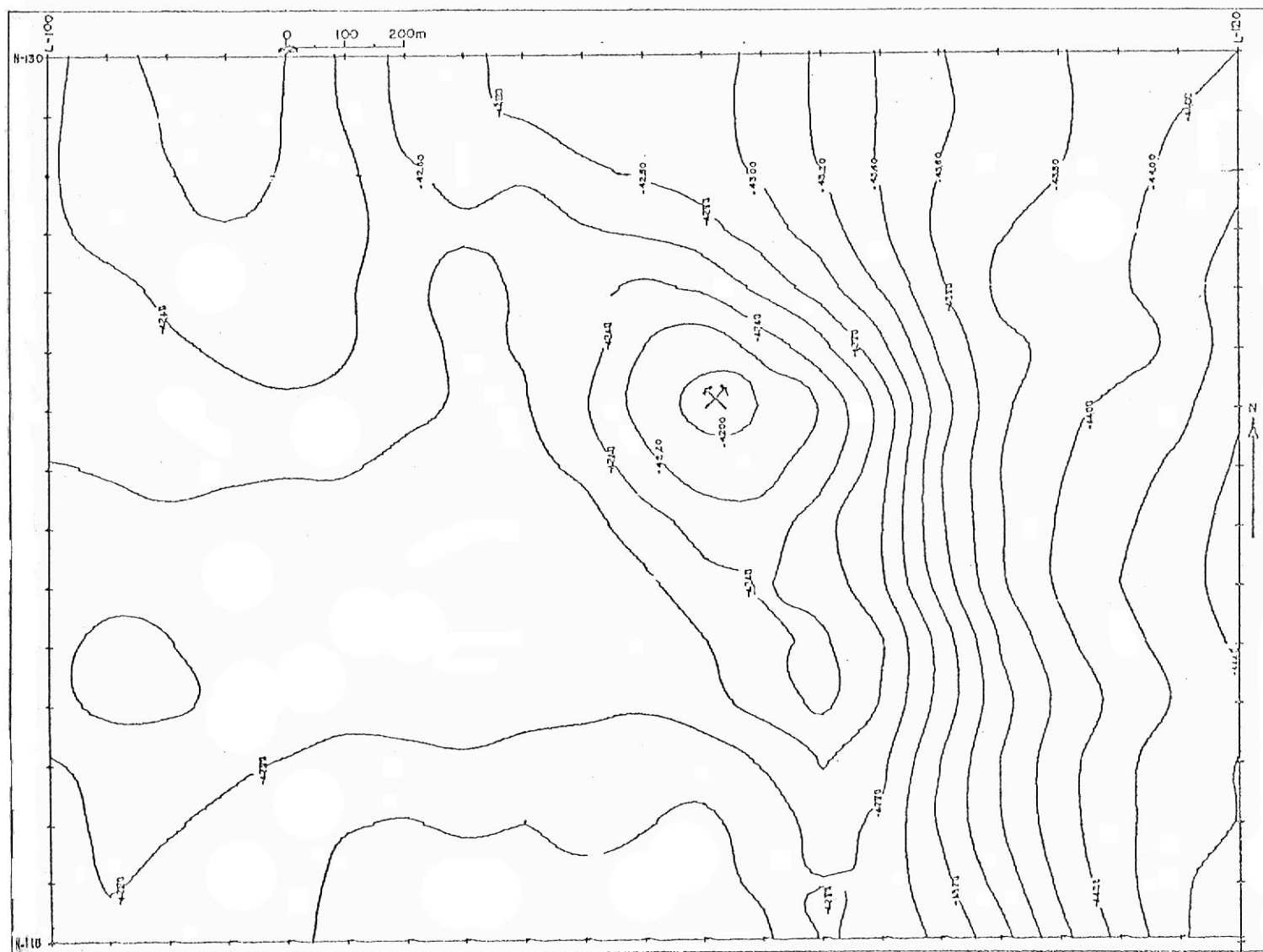
a) Figur 16: die ursprüngliche Karte von Bouguer, die derjenigen der Figur 12 ähnelt. Beim Vergleich beider Karten stellen wir fest, daß die vom Computer gezeichnete Karte kleine isolierte und anormale Werte nicht umreißt, wie den Wert um den Punkt N-126 L-1o7 (Figur 12), der von großer geologischer Bedeutung sein kann.



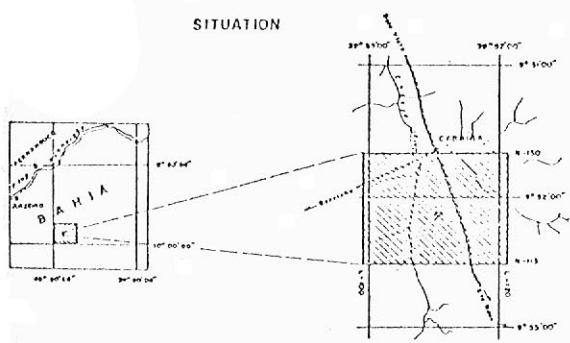
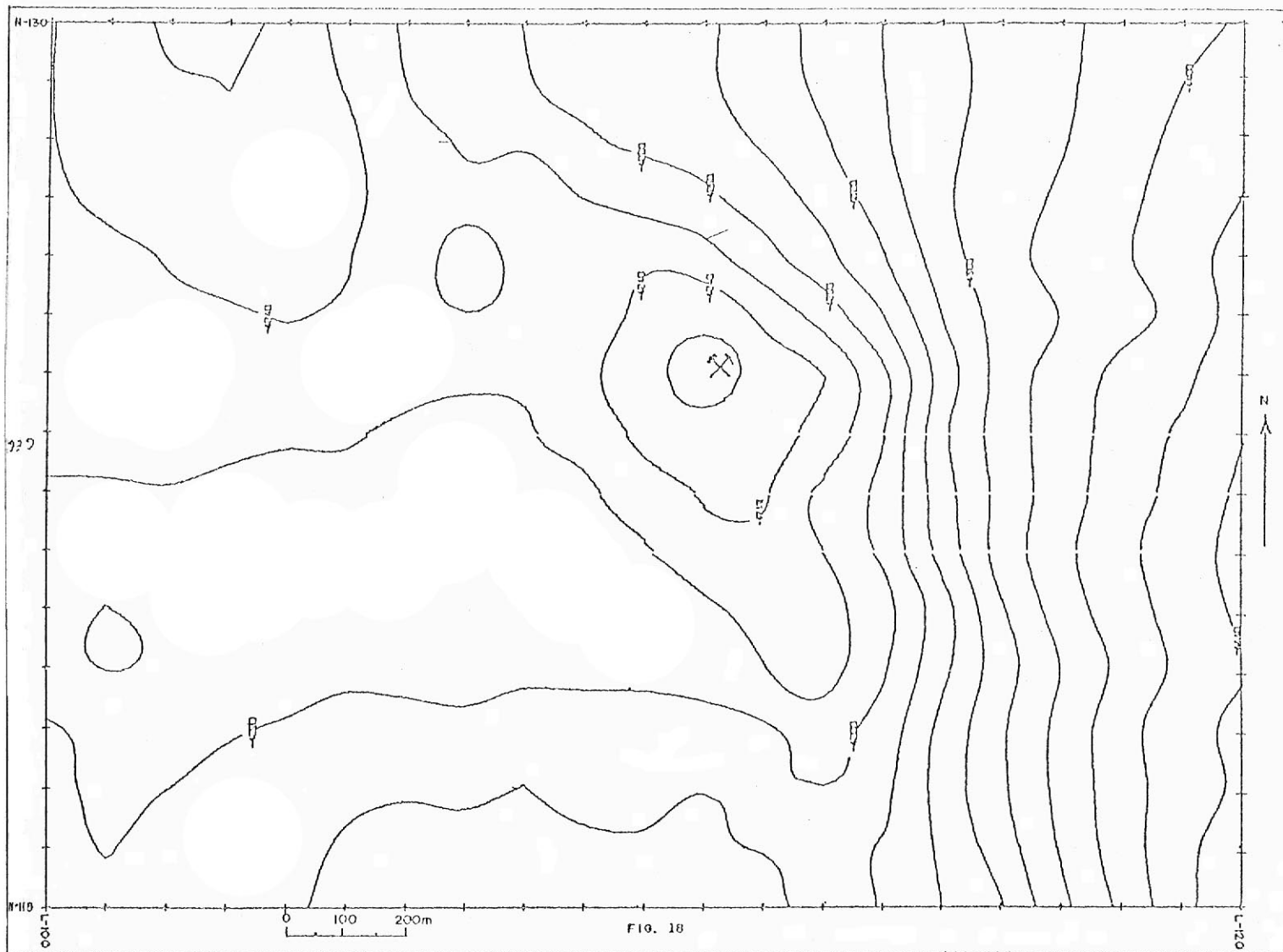
Figur 16: Bouguerkarte



b) Figur 17 und 18: Ausgegliche Bouguerkarte; es wurden zwei hergestellt, eine Karte zweiter Ordnung (Gleichung des 2. Grades) und eine andere vierter Ordnung (Gleichung des 4. Grades). Je größer der Grad, desto mehr Details der ursprünglichen Bouguerkarte wurden ausgelassen, weswegen diese Karten nur beschränkt benützlich sind.



Figur 17: Ausgleichung zweiter Ordnung



• DIE ANWENDUNG VON MAGNETIK UND GRAVIMETRIE IN DER PROSPEKTION FÜR KUPFERERZE IN DER GEGEND VON CURAÇA, PROVINZ BAHIA, BRASILIEN

GRAVIMETRIE  
BOUGUER ANOMALIEN  
MASCHINEN - PROGRAMM NST (IBM)  
4. ORDNUNG

MESSGEBIET: CARAÍGA MINE

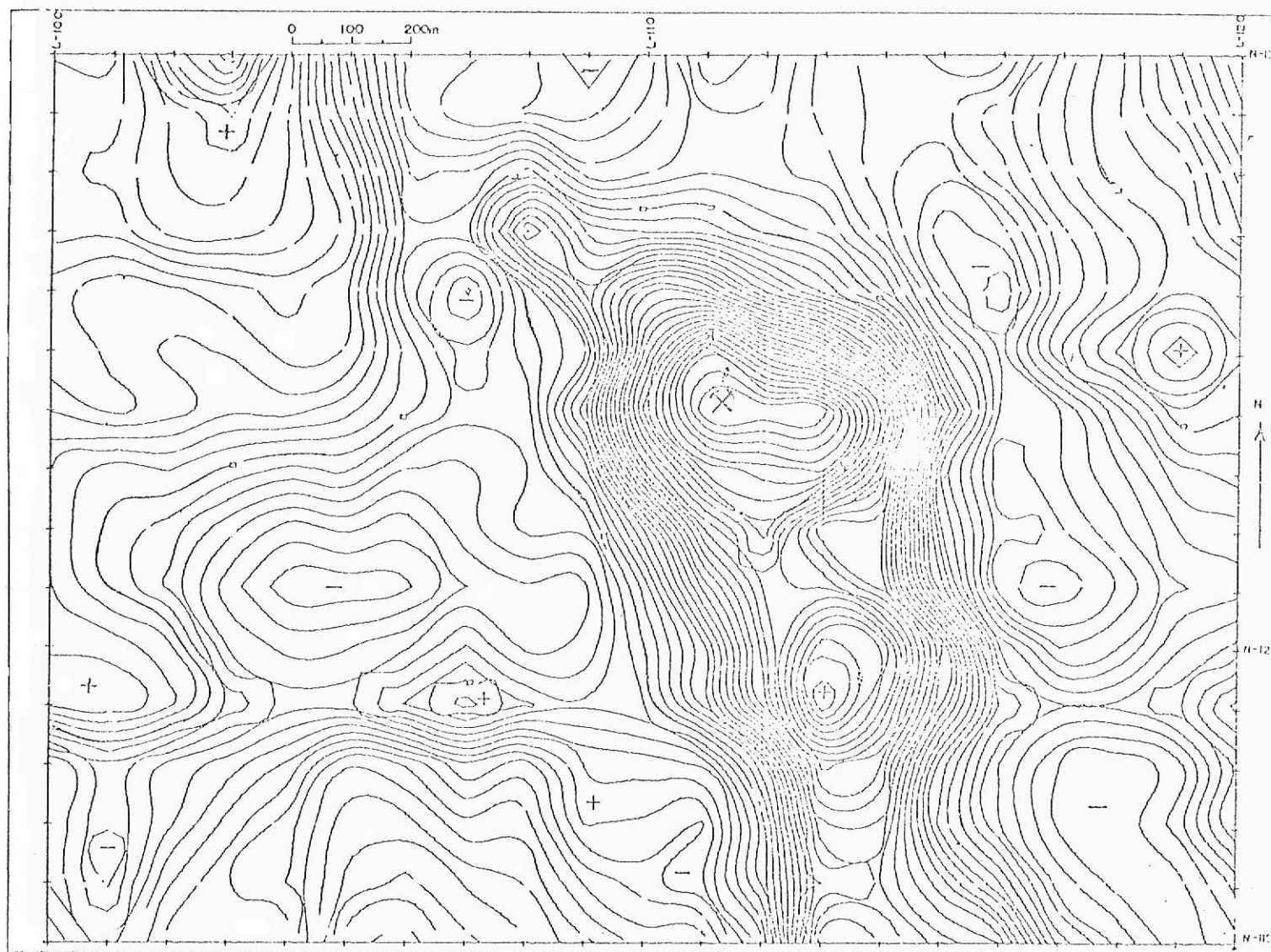
MASSTAB  
0m 50 100 150 200 250 300m

LEGENDE

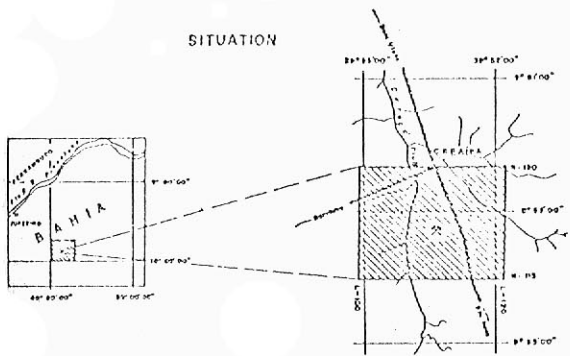
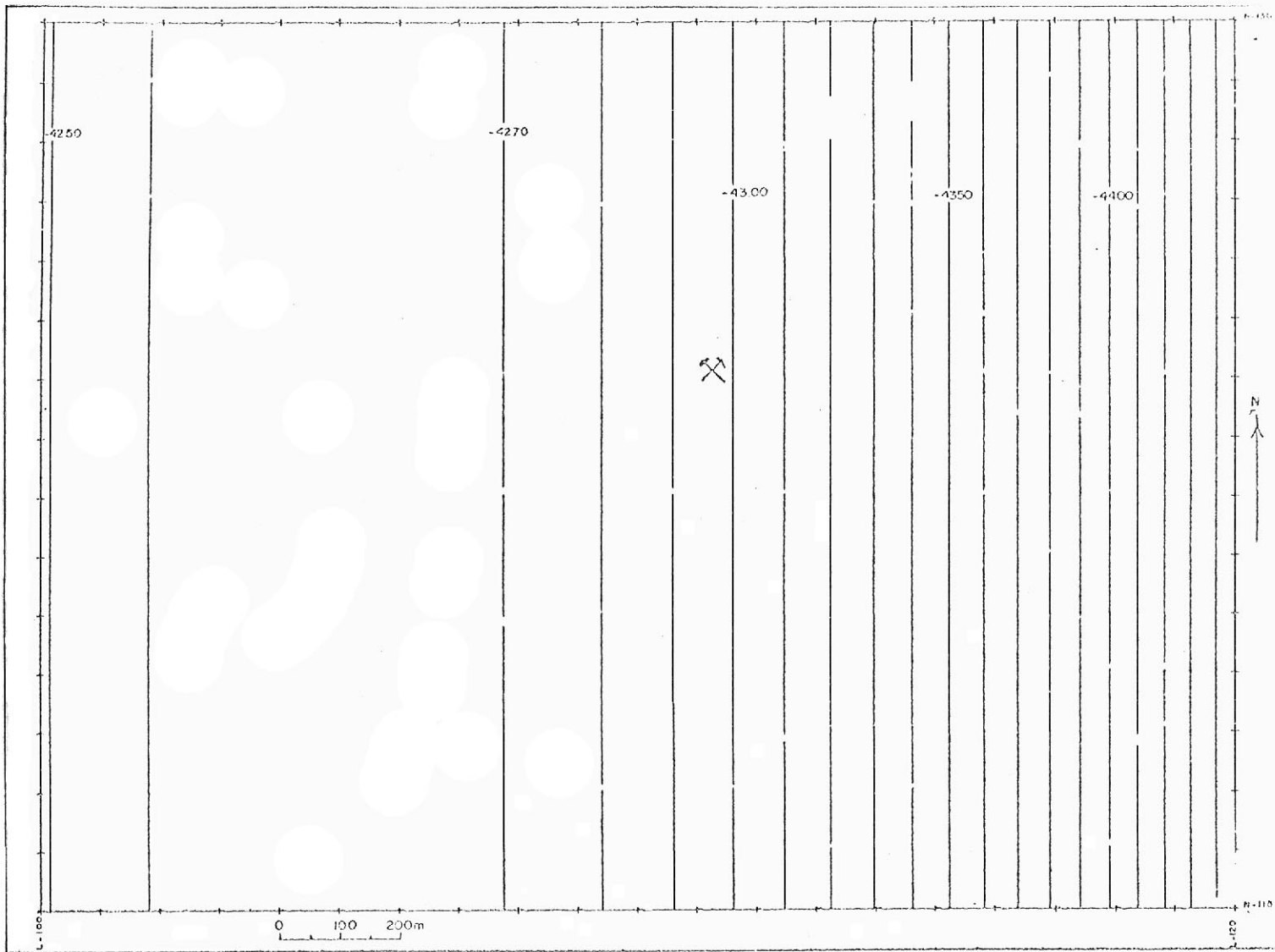
- MASCHINEN-PROGRAMM "GRID"
- ~ ISANOMALIEN DER SCHWERKRAFT INTERVALL 0,20 mgal
- N-126 MESSPROFILE
- L-110 MESSPROFILE

Figur 18: Ausgleichung vierter Ordnung

c) Figur 19 und 20: die folgenden Figuren sind die Residual- bzw. Regionalkarte (Residual = Werte von Figur 16 - Werte von Figur 20).



Figur 19: Residualkarte



„DIE ANWENDUNG VON MAGNETIK UND GRAVIMETRIE IN DER PROSPEKTION FÜR KUPFERERZE IN DER GEGEND VON CURAÇA, PROVINZ BAHIA, BRASILIEN“

GRAVIMETRIE  
REGIONAL  
MASCHINEN PROGRAMM NST(IBM)

MESSGEBIET: CARAIBA MINE  
MASSTAB



FIGUR 20

LEGENDE

- MASCHINEN-PROGRAMM "GRID"
- ISOGAMEN DER SCHWERKRAFT INTERVALL 0,2 mgal
- N-125 MESSPROFILE
- L-211 MESSPROFILE

Figur 20: Regionalschwerekarte

5.1.7.3. Karten der zweiten Ableitung

Es ist immer empfehlenswert, sich der "abgeleiteten" Karte zu bedienen, um die Residualkarten zu vervollständigen. Das vergleichende Studium beider Karten erleichtert die geologische Interpretation (4, S.246). Eine der Techniken der Errechnung der Ableitung ist die von HENDERSON und ZIETZ, 1949 (3), die wegen ihrer Exaktheit und Einfachheit von uns ausgewählt wurde. Diese Technik benützt die Formel:

$$\partial^2 g / \partial z^2 = 2/S^2 \left[ 3\bar{g}(0) - 4\bar{g}(S) + \bar{g}(S\sqrt{2}) \right], \text{ wo}$$

$\bar{g}(0)$  = Bouguerwert der Station

$\bar{g}(S)$  = Bouguerwert mit dem Strahl  $S = 100$  m

$\bar{g}(S\sqrt{2})$  = Bouguerwert mit dem Strahl  $100\sqrt{2} = 141$  m

Die nachstehende Tabelle 11 zeigt die aus dieser Formel erhaltenen Werte.

Tabelle 11

		1	2		3	1+2+3	$\frac{\partial^2 g}{\partial z^2} \times \frac{2}{S^2}$
Station Nr.	$\bar{g}(0)$	$3 \times \bar{g}(0)$	$\sum^4 \bar{g}(S)$	$\sum^4 \bar{g}(S\sqrt{2})$	$\bar{g}(S\sqrt{2})$	$\sum$	$10^{-15}$ cgs
N-129 L-101	-42.33	-126.99	-169.31	-169.20	-42.30	+ 2	+ 400

N-129 L-103	-42.13	-126.39	-168.69	-168.72	-42.18	+12	+2400
N-129 L-105	-42.42	-127.26	-169.68	-169.72	-42.43	-1	-200
N-129 L-107	-42.81	-128.43	-171.61	-170.91	-42.72	+46	+9200
N-129 L-109	-42.86	-128.58	-171.73	-171.37	-42.84	+31	+6200
N-129 L-111	-42.95	-128.85	-171.82	-171.91	-42.97	0	0
N-129 L-113	-43.27	-129.81	-172.90	-172.93	-43.23	-14	-2800
N-129 L-115	-43.60	-130.80	-174.44	-174.40	-43.60	+4	+800
N-129 L-117	-43.77	-131.31	-175.11	-175.38	-43.84	-4	-800
N-129 L-119	-44.01	-132.03	-176.01	-176.01	-44.00	-2	-400
N-127 L-101	-42.42	-127.26	-169.56	-169.46	-42.36	-6	-1200
N-127 L-103	-42.26	-126.78	-169.01	-169.11	-42.27	-4	-800
N-127 L-105	-42.30	-126.90	-169.59	-169.80	-42.45	+24	+4800
N-127 L-107	-42.72	-128.16	-170.87	-170.62	-42.65	+6	+1200
N-127 L-109	-42.43	-127.29	-170.51	-170.36	-42.59	+63	+12600

N-127 L-111	-42.70	-128.10	-170.73	-170.91	-42.72	-9	-1800
N-127 L-113	-43.12	-129.36	-172.46	-172.63	-43.15	-5	-1000
N-127 L-115	-43.69	-131.07	-174.60	-174.53	-43.63	-10	-2000
N-127 L-117	-43.88	-131.64	-175.56	-175.67	-43.91	+1	+200
N-127 L-119	-44.07	-132.21	-176.53	-176.44	-44.11	+21	+4200
N-125 L-101	-42.45	-127.35	-169.80	-169.81	-42.45	0	0
N-125 L-103	-42.48	-127.44	-169.54	-169.55	-42.38	-28	-5600
N-125 L-105	-42.36	-127.08	-169.70	-169.87	-42.46	+16	+3200
N-125 L-107	-42.73	-128.19	-170.30	-170.49	-42.62	-51	-10200
N-125 L-109	-42.38	-127.14	-169.45	-169.51	-42.37	-6	-1200
N-125 L-111	-41.75	-125.25	-168.24	-168.79	-42.19	+80	+16000
N-125 L-113	-42.62	-127.86	-170.16	-170.39	-42.59	-29	-5800
N-125 L-115	-43.55	-130.65	-173.72	-173.63	-43.40	-33	-6600
N-125 L-117	-43.85	-131.55	-175.49	-175.89	-43.97	-3	-600

N-125 L-119	-43.70	-131.10	-176.59	-176.80	-44.20	+129	+25800
N-123 L-101	-42.68	-128.04	-170.25	-170.29	-42.57	-36	-7200
N-123 L-103	-42.56	-127.68	-170.30	-170.20	-42.55	+7	+1400
N-123 L-105	-42.57	-127.71	-170.53	-170.46	-42.61	+21	+4200
N-123 L-107	-42.63	-127.89	-170.87	-170.80	-42.70	+28	+5600
N-123 L-109	-42.56	-127.68	-170.11	-170.02	-42.50	-7	-1400
N-124 L-110	-42.00	-126.00	-168.35	-168.79	-42.19	+16	+3200
N-124 L-112	-41.78	-125.34	-167.90	-168.66	-42.16	+46	+9200
N-123 L-111	-42.10	-126.30	-168.48	-168.61	-42.15	+3	+600
N-123 L-113	-42.19	-126.57	-169.43	-169.10	-42.29	+57	+11400
N-123 L-115	-43.53	-130.59	-173.42	-172.83	-43.20	-37	-7400
N-124 L-114	-42.50	-127.50	-171.02	-171.89	-42.97	+55	+11000
N-123 L-117	-44.01	-132.03	-176.08	-175.97	-43.99	+6	+1200
N-123 L-119	-44.25	-132.75	-176.99	-177.19	-44.29	-5	-1000



N-121 L-101	-42.63	-127.89	-170.50	-170.42	-42.60	+1	+200
N-121 L-103	-42.76	-128.28	-170.86	-170.73	-42.68	-10	-2000
N-121 L-105	-42.86	-128.58	-171.17	-171.03	-42.75	-16	-3200
N-121 L-107	-42.78	-128.34	-171.09	-171.19	-42.79	-4	-800
N-121 L-109	-42.74	-128.22	-171.09	-171.21	-42.80	+7	+1400
N-121 L-111	-42.60	-127.80	-170.12	-170.21	-42.55	-23	-4600
N-122 L-112	-42.21	-126.63	-169.41	-169.19	-42.30	+48	+9600
N-121 L-113	-42.30	-126.90	-169.84	-170.00	-42.51	+43	+8600
N-121 L-115	-43.39	-130.17	-173.37	-172.93	-43.23	-3	-600
N-121 L-117	-44.08	-132.24	-176.27	-175.91	-43.97	+6	+1200
N-121 L-119	-44.31	-132.93	-177.47	-177.35	-44.33	+21	+4200
N-119 L-101	-42.52	-127.56	-170.51	-170.87	-42.71	+28	+5600
N-119 L-103	-42.60	-127.80	-170.60	-170.90	-42.74	+14	+2800
N-119 L-105	-42.67	-128.01	-171.01	-171.20	-42.81	+22	+4400

ORIGINAL EM ALEMÃO

DIE ANWENDUNG VON MAGNETIK UND GRAVIMETRIE IN DER  
PROSPEKTION AUF KUPFERERZE IN DER GEGEND VON CURACA,  
PROVINZ BAHIA, BRASILIEN

D i s s e r t a t i o n  
zur Erlangung des Doktorgrades  
an der Montanistischen Hochschule  
Leoben

vorgelegt von  
Dipl.Ing. Antonio Carlos M o t t a  
Leoben, im Mai 1974

Ich versichere an Eides statt, die  
vorliegende Arbeit selbständig an-  
gefertigt und keine außer den ge-  
nannten Unterlagen benützt zu haben

Mein herzlicher Dank gilt Herrn Prof.Dr.F.WEBER. Er gab mir wertvolle Hinweise, die mir bei der Anwendung geophysikalischer Methoden und beim Aufbau der Arbeit eine große Hilfe waren. Herr Prof.Dr.F.WEBER erlaubte mir auch freundlicherweise, die Einrichtungen und Instrumente der Laboratorien des Instituts für Erdölgeologie und Angewandte Geophysik zu benutzen.

Herrn Prof.Dr.F.HERMANN möchte ich in gleicher Weise für die zahlreichen Anregungen und Ratschläge meinen Dank aussprechen. Durch seinen Rat war es mir möglich, eine klare Sicht über die Stellung der geophysikalischen Methoden innerhalb des allgemeinen Rahmens der Prospektion und Lagerstättenerschließung zu bekommen.

Viele Organisationen halfen finanziell. Ohne diese Unterstützung wäre ich nicht in der Lage gewesen, meine Untersuchungen durchzuführen. Besonders verpflichtet bin ich der Firma CARAIBA METAIS SA und danke den Direktoren und Geologen für ihre Informationen.

Durch ein Konvenium zwischen der UNESCO und der UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA wurde mir ein siebenmonatiger Aufenthalt an der Montanistischen Hochschule in Leoben ermöglicht.

Meiner jetzigen Firma, der CPRM (COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS) bin ich für die Unterstützung bei Beendigung der Arbeit zu Dank verpflichtet.

Nicht zuletzt möchte ich Herrn Dipl.Ing.W.G.SELCH und Frau Dr.C.M.N.SILVA für ihre Hilfe danken.

Leoben, im Mai 1974

## INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
	Vorwort
1.0.	Einleitung 1
2.0.	Allgemeiner Teil 3
2.1.	Geschichte 3
2.2.	Regionalgeologie 5
2.3.	Geologie im Gebiet der Mine von Caraiba 7
2.4.	Typen der Erzanreicherungen 10
2.5.	Böden 11
2.6.	Klima und Vegetation 13
2.7.	Transportverhältnisse 13
3.0.	Ältere Vorarbeiten 14
3.1.	Luftbildgeologie 14
3.2.	Geochemie 15
3.3.	Geophysik 19
3.3.1.	Magnetik 20
3.3.2.	I.P. 20
3.3.3.	Elektromagnetische Aufnahmen 21
3.3.4.	Kombinierte Methoden 23
3.3.5.	Andere geophysikalische Methoden 24
3.4.	Bohrungen 24
3.5.	Zusammenfassung der angewandten Methoden und allgemeine Betrachtungen über Prospektionsmöglichkeiten 25
4.0.	Physikalische Eigenschaften der Gesteine des Meßgebietes 32
4.1.	Gesteinsdichten 32
4.1.1.	Direkte Dichtemessungen von Bohrkernen 32

	Seite
4.1.2. Direkte Dichtebestimmungen von Proben anstehender Gesteine	33
4.2. Gesteinssuszeptibilitäten	34
5.0. Arbeiten im Gebiet der Mine von Caraiba und Umgebung	37
5.1. Gravimetrische Arbeiten	37
5.1.1. Überprüfung des Begriffs Bougueranomalie	37
5.1.2. Schwerkraftmessung	38
5.1.2.1. Meßinstrument	38
5.1.2.2. Topographische Erhebungen	40
5.1.2.3. Verteilung der Stationen	40
5.1.2.4. Schwerkraftmessungen	41
5.1.2.5. Präzisionskontrolle der Schwerkraftmessungen	43
5.1.3. Freiluft- und Bouguer'sche Korrektur	44
5.1.4. Geländekorrektur	44
5.1.5. Normalschwere - Breitenkorrektur	45
5.1.6. Konstruktion der Bouguerschwerekarte	46
5.1.7. Regional-Residual-Trennung	46
5.1.7.1. Revision des Begriffs der Residualkarten	46
5.1.7.2. "Trend Surface Analysis"	47
5.1.7.3. Karten der zweiten Ableitung	54
5.2. Magnetische Arbeiten	62
5.2.1. Benütztes Instrument	62
5.2.2. Feldarbeiten	62
5.2.3. Magnetische Karten	64
5.3. Interpretation der Resultate aus dem Testgebiet	67
5.3.1. Systematik der Interpretation	67
5.3.2. Qualitative Interpretation	67
5.3.3. Quantitative Interpretation	70
5.3.3.1. Berechnung der Tiefe des Körpers Caraiba	70
5.3.3.2. Dichteberechnung	72

	Seite
5.3.3.3. Berechnung der Masse und der Reserven	74
5.3.3.4. Geophysikalisches theoretisches Modell des Körpers Caraiba	76
6.0. Ausweitung der Arbeiten auf neue Ge- biete	80
6.1. Verlängerung der Detailarbeiten nach Norden und nach Westen des Testgebietes	80
6.1.1. Resultate	80
6.1.2. Ergebnisse	83
6.2. Semi-Detail-Arbeiten im Gebiet Bon Despacho	86
6.2.1. Resultate	86
6.2.2. Schlußfolgerungen	88
7.0. Zusammenfassung und Vorschläge	90
7.1. Schlußfolgerungen über die Anwendung gravimetrischer und magnetischer Auf- nahmen im Gebiet von Curaca	90
7.1.1. Gravimetrie	90
7.1.2. Magnetik	91
7.1.3. Statistische Informationen	93
7.2. Aktuelle Reserven	94
7.3. Vorschläge für ein Prospektionsprogramm im Tal des Curaca	96
8.0. Zusammenfassung der Ergebnisse	100

Literaturnachweis



## VORWORT

In vorliegender Arbeit werden die auf Vorschlag des Verfassers eingeführte kombinierte Anwendung der magnetischen und gravimetrischen Methoden als ein sehr wesentliches Verfahren in der Prospektion auf Kupfererze in der Gegend von Curaca im nördlichen Teil der Provinz Bahia, Brasilien eingehend beschrieben bzw. behandelt und die erfolgreichen Ergebnisse dieser Untersuchungen aufgezeigt.

Dieses vom Verfasser zur Genehmigung vorgeschlagene Thema vorliegender Dissertation wurde in mehreren Besprechungen zwischen ihm, Herrn Prof.Dr.F.WEBER, Vorstand des Instituts für Erdölgeologie und Angewandte Geophysik der Montanistischen Hochschule Leoben und Herrn Prof.Dr.F.HERMANN, Vorstand des Instituts für Prospektion, Lagerstättenerschließung und Mineralwirtschaft dieser Hochschule im Jahre 1970 diskutiert und von den beiden Herren approbiert. Herr Prof.Dr.F.WEBER hat sich auch mit der Betreuung der Arbeit einverstanden erklärt, sodaß der Unterzeichnete nach seiner Rückkehr nach Brasilien im Herbst 1970 mit den praktischen Arbeiten im Gelände beginnen konnte.

Im Jahre 1972 ermöglichte UNESCO-Paris dem Verfasser eine Reise nach Leoben, um die bisherigen Ergebnisse seiner Arbeit mit Herrn Prof.Dr.F.WEBER zu besprechen und eine Reihe von geophysikalischen Messungen an mitgebrachten Gesteinsproben im Institut von Prof. Dr.F.WEBER durchzuführen.

Im Spätsommer 1973 war es schließlich Herrn Prof. Dr.F.HERMANN anlässlich einer Einladung der Universi-

tät von Bahia möglich, auch das vom Verfasser untersuchte Gebiet Curaca selbst zu besichtigen und an Ort und Stelle mit ihm die Untersuchungsergebnisse durchzudiskutieren.

## 1.0. Einleitung

Die brasilianische Produktion an metallischem Kupfer betrug im Jahre 1971 5.100 Tonnen (23, S.40). Die einzigen Kupferminen Brasiliens befinden sich in Südbrasilien, im Bundesstaat Rio Grande do Sul, im Camaqua. Diese Produktion liegt aber weit unter dem Verbrauch des Landes, der im Jahre 1971 108.500 Tonnen Metall erreichte (23, S.41).

Diese Lage hat sowohl der Regierung als auch den privaten Unternehmen den Impuls gegeben, mit einer aggressiven Kupfererzpolitik zu beginnen.

Seit 1962 werden deshalb in den brasilianischen Bundesstaaten Bahia, Pernambuco, Paraiba und Ceara in einem Gebiet, das etwa 60.000 km<sup>2</sup> umfaßt, geologische Untersuchungen durchgeführt, und zwar im Rahmen des sogenannten "Kupferprojektes" (Projeto Cobre) (Figur 1). Das Projekt stellt sich zur Aufgabe, kleinere Gebiete auszusuchen, in denen später eine systematische Kupferprospektion vorgenommen werden soll. BARBOSA (2) schlug 1972 vor, die Kupferprospektion besonders intensiv im Tal des Curaca, im Bundesstaat Bahia, zu betreiben, wo bereits seit langer Zeit einige Vererzungen bekannt sind. Das Gebiet bietet außerdem relativ gute geographische Voraussetzungen. Das Kupfergebiet liegt im Norden des Bundesstaates Bahia zwischen 9° - 10° südlicher Breite und 40°30' - 39°30' westlicher Länge (Figur 1 u. 2).

b) "Auf zwei geochemischen Anomalien wurden geophysikalische Methoden angewandt. Sie brachten keine neuen Ergebnisse, wie die Resultate der niedergebrachten Bohrungen zeigten. Es ist jedoch wünschenswert, die geophysikalische Prospektion fortzusetzen und man sollte eine Methode anwenden, die eine gute Auflösung in größeren Teufen hat".

Die Schlußfolgerungen von ELLERT, 1971 (5), HALES, 1972 (11) und DIAS (3) fassen alle Schwierigkeiten der elektrischen und elektromagnetischen Methoden zusammen. Die Feldarbeiten der Verfasser lassen keine Zweifel über die Schwierigkeiten dieser Methoden. Die angeführten Gründe veranlaßten uns, die Möglichkeiten einer gravimetrischen Vermessung in Betracht zu ziehen. Wir betrachteten die folgenden Punkte:

- 1.) Die geochemische Methode, die sehr billig ist, zeigt die mineralisierten Zonen des Untersuchungsgebietes auf. Sie ist jedoch nicht in der Lage, genaue Bohrpunkte anzugeben, da oftmals örtliche Verschiebungen zwischen den geochemischen Anomalien und den mineralisierten Körpern auftreten. Diese Verschiebungen werden durch Bruchzonen verursacht, oder auch durch Böden, welche nicht das Verwitterungsprodukt der unterliegenden Gesteine sind.
- 2.) Die anzuwendende geophysikalische Methode soll nach Möglichkeit die folgenden Bedingungen erfüllen:
  - a) Das Fehlen von Straßen oder Wegen macht es notwendig, daß die Instrumente tragbar sein

müssen, damit man leicht in die eingeschlagenen Pfade eindringen kann.

b) Die Methode soll eine schnelle Aufnahme eines großen Gebietes erlauben.

c) Die Operationskosten sollen niedrig sein.

d) Die Eindringtiefe oder die Auflösung der Methode für größere Teufen soll gut sein.

e) Oberflächeneffekte wie Salzgehalt des Grundwassers oder des Bodens sowie Graphit und Magnetit sollen die Messungen möglichst wenig beeinflussen.

3.) Zusätzliche Informationen, die zu betrachten sind: Die Topographie des Untersuchungsgebietes ist sehr einfach und fast eben.

Die Körper von wirtschaftlichem Interesse entsprechen dem Typ der Mineralisierung, der im Abschnitt 2.4. (1.) beschrieben ist. Die mafischen Körper haben diapirische Formen mit gut definierten Kontakten.

Die gravimetrische Aufschlußmethode scheint diesen Bedingungen zu genügen. Eine gleichzeitige magnetische Aufnahme ist operationsmäßig auch leicht durchzuführen.

Um die letzten Zweifel über die Anwendbarkeit der gravimetrischen Methode zu entfernen, bestimmte ich die Dichten von einigen Gesteinsproben. Ich fand die folgenden Werte (Tabelle 4):

Tabelle 4

Gestein	Dichte g/cm <sup>3</sup>
Aplit	2,66
vergneister Granit	2,71
mafisch ohne Erz	3,08
mafisch, erzreich (Kupferkies)	3,60

Die maximale Dichtedifferenz von 0,94 g/cm<sup>3</sup> tritt zwischen felsischen und mineralisierten mafischen Gesteinen auf. Die Dichtedifferenz zwischen felsischem und mafischem, nicht mineralisiertem Gestein, ist von der Größenordnung 0,40 g/cm<sup>3</sup>. Man kann also erwarten, daß die gravimetrische Methode mit Sicherheit felsische und mafische Körper in der Aufnahme trennen kann. Es blieb somit nur noch übrig, eine Abschätzung der minimalen Dimensionen von Körpern zu bestimmen, die meßbare Anomalien verursachen könnten.

Nach der Formel von NETTLETON (25):

$$g_z = 8,53 \sigma R^3 / Z^2 \cdot f(x/Z)$$

$$f(x/Z) = 1 / \left[ (x/Z)^2 + 1 \right]^{3/2}, \text{ wo:}$$

$\sigma$  = Dichtekontrast, R = Kugelradius, Z = Tiefe des Kugelzentrums und x = Entfernung an der Erdoberfläche ausgehend vom Punkt Null.

Berechnung:

Haben die drei Kugeln einen Radius von je 25 m, 50 m und 100 m, so liegt ihr Pol 20 m unter der Erdoberfläche. Der Dichtekontrast wurde gleich  $0,30 \text{ g/cm}^3$  gesetzt.

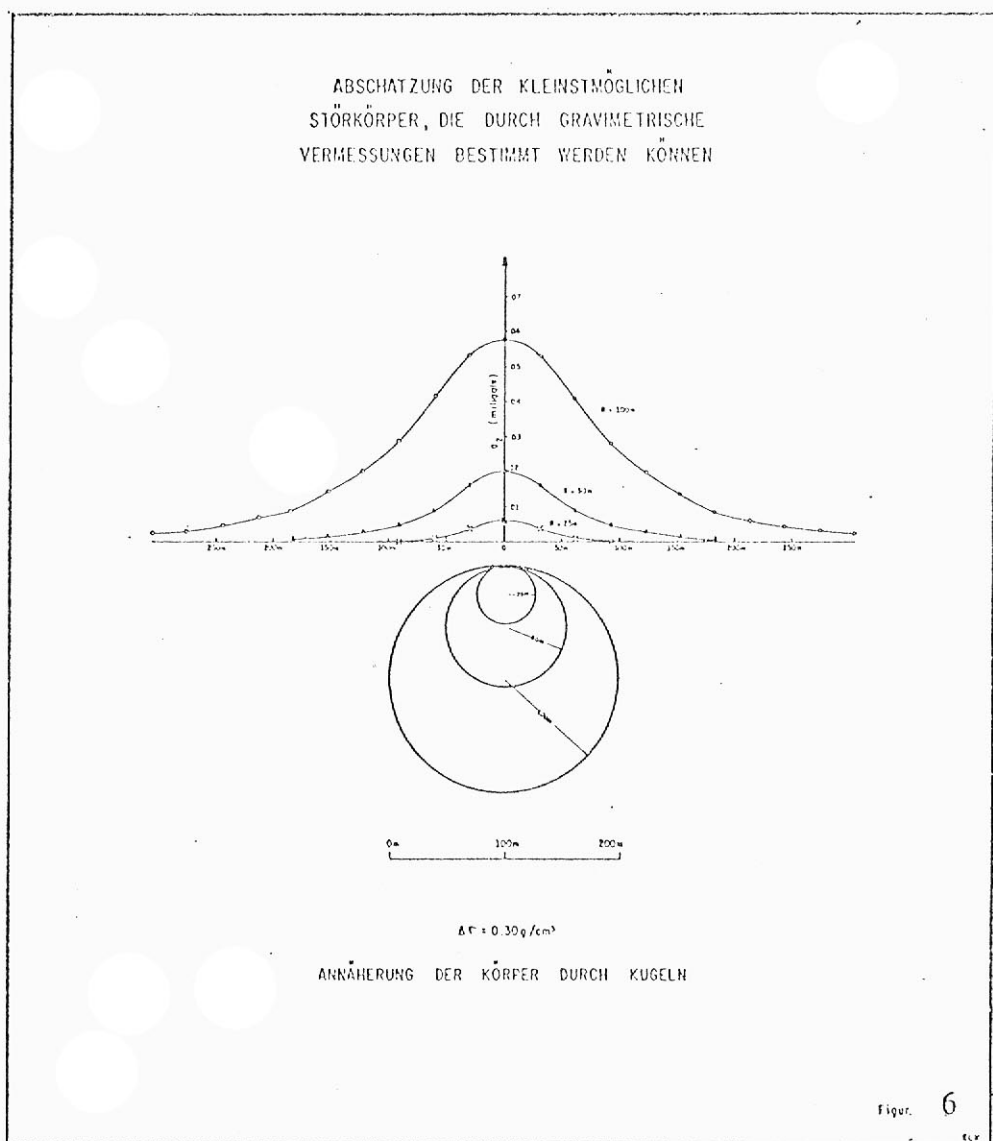
Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 zusammengefaßt und in Figur 6 wiedergegeben.

Tabelle 5

R = 25m = 82,02'		R = 50m = 164,04'		R=100m=328,08'	
Z = 45m = 147,63'		Z = 70m = 229,65'		Z=120m=393,69'	
x (Fuss)	$g_z$ (mgal)	x (Fuss)	$g_z$ (mgal)	x (Fuss)	$g_z$ (mgal)
0	0.065	0	0.21	0	0.58
100	0.037	100	0.16	100	0.53
200	0.014	200	0.09	200	0.41
300	0.006	300	0.05	300	0.29
		400	0.03	400	0.20
		500	0.01	500	0.14
		600	0.01	600	0.09
				700	0.07
				800	0.05
				900	0.04
				1000	0.03

Setzen wir den Standardfehler nach Bouguer gleich 0.05 mgal, so können wir anhand der Figur 6 schließen, daß

der Körper mindestens einen Radius von 25 m haben muß.



Andererseits zeigt uns der Gradient, daß die Stationen etwa 50 m entfernt sein können, wenn der Gradient höher ist als der Standardfehler nach Bouguer.



Diese theoretische Rechnung zeigt, daß die Anwendung der gravimetrischen Methode möglich ist, denn es ist von der Geologie her bekannt, daß die Massen und Volumina wesentlich höhere Werte angeben als die der theoretischen Berechnungen.

Da andererseits die magnetischen Eigenschaften der Gesteine so unterschiedlich sind, daß Anomalien hervorgerufen werden können, glauben wir, daß diese Methode gleichzeitig mit der Gravimetrie angewandt werden kann. Die Kosten würden sich nicht wesentlich erhöhen, weil die Topographie, die für Gravimetrie nötig ist, beiden Methoden dienen würde.

#### 4.0. Physikalische Eigenschaften der Gesteine des Meßgebietes

Nachdem die Anwendung der gravimetrischen und magnetischen Methoden beschlossen war, erschien es nötig, genauere Werte der physikalischen Konstanten der anstehenden Gesteine des Meßgebietes zu bestimmen. Die Untersuchungen wurden vor dem Beginn der Feldarbeiten durchgeführt.

Glücklicherweise standen sehr viele Bohrproben zur Verfügung.

#### 4.1. Gesteinsdichten

Die folgenden Dichtebestimmungen wurden durchgeführt:

##### 4.1.1. Direkte Dichtemessungen von Bohrkernen

Von den Bohrungen FU, FB6, FC1, FL und FC4 wurden 154 Bohrkernkerne untersucht. Die Proben entsprechen Tiefenintervallen von je 10 m. Die Dichtebestimmungen wurden nach der Methode von JOLLY durchgeführt. Um die Meßfehler möglichst konstant zu halten, wurden die Proben - wenn immer möglich - gleich groß gewählt, mit einem Volumen, daß einem mittleren Gewicht von ungefähr 40 g entsprach.

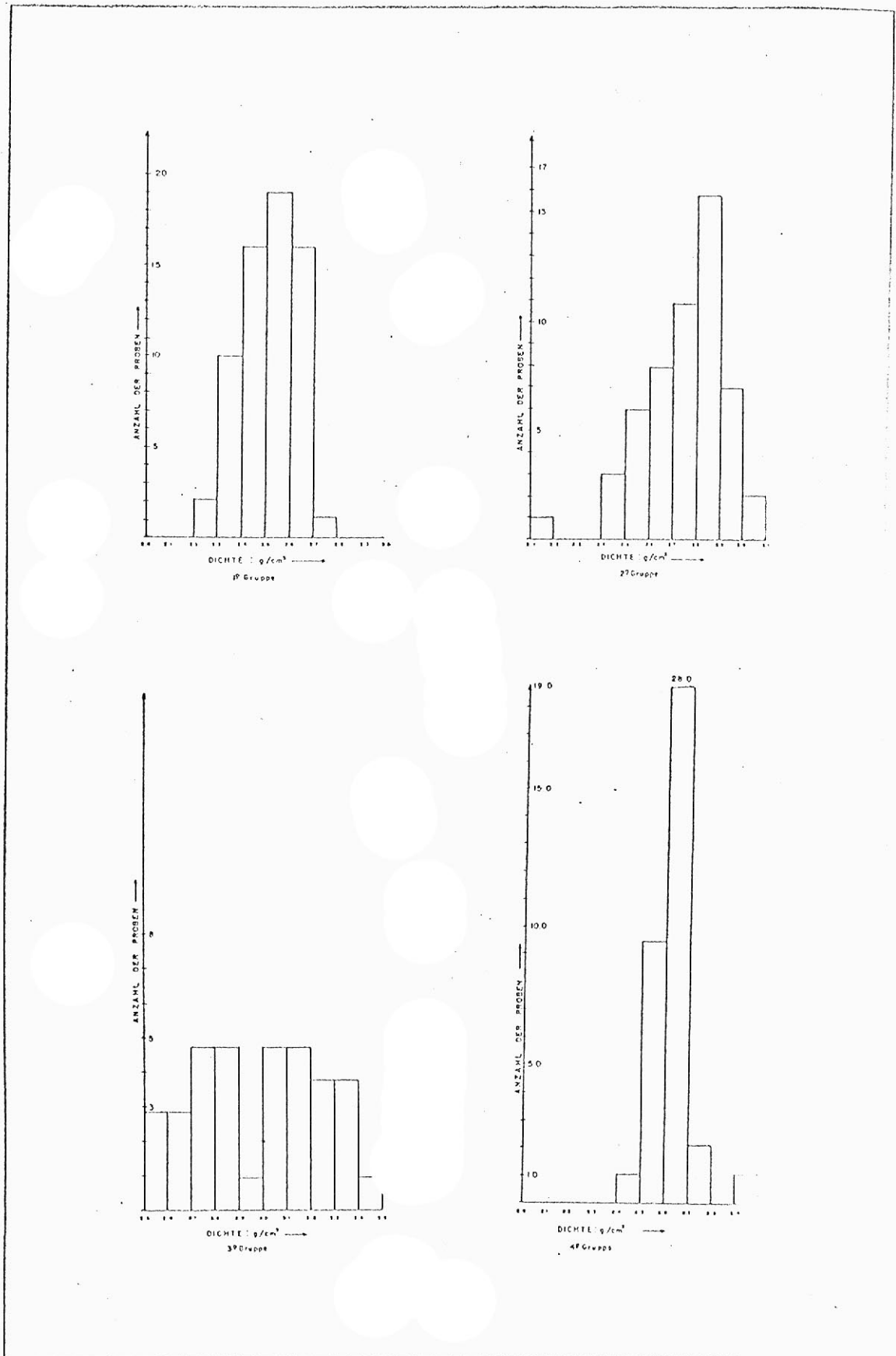
4.1.2. Direkte Dichtebestimmungen von Proben anstehender Gesteine

Es wurden 40 Proben untersucht, die von anstehenden Gesteinen im Gebiet der Fazenda Caraiba entnommen wurden. Die Handstücke bestanden aus Graniten, Gneis und Migmatiten. Der Zweck der Untersuchung war, Dichten von oberflächennahen Gesteinen zu bestimmen. Die Messungen wurden ebenfalls mit der Waage von JOLLY durchgeführt, nur mit dem Unterschied, daß das Durchschnittsgewicht der Meßproben ungefähr 500 g betrug. Die Resultate der Messungen von 4.1.1. und 4.1.2. sind in der nachstehenden Tabelle 6 zusammengefaßt.

Tabelle 6

Gruppe	Ursprung	Anzahl der Proben (n)	D i c h t e : g/cm <sup>3</sup>			Mittlerer Fehler $S = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$
			Minimalwert	Maximalwert	Mittelwert (x)	
1. Granit und Gneis	Bohrkern	64	2,270	2,670	2,518	0,108
2. Mafisch: Norit und Diorit ohne Erz	Bohrkern	54	2,460	3,190	2,773	0,155
3. Mafisch mit Erz	Bohrkern	36	2,570	3,550	3,031	0,266
4. Granit, Gneis und Migmatite	Oberflächenprobe	40	2,480	2,990	2,619	0,076

Figur 7 bietet eine graphische Darstellung



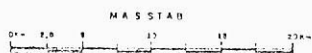
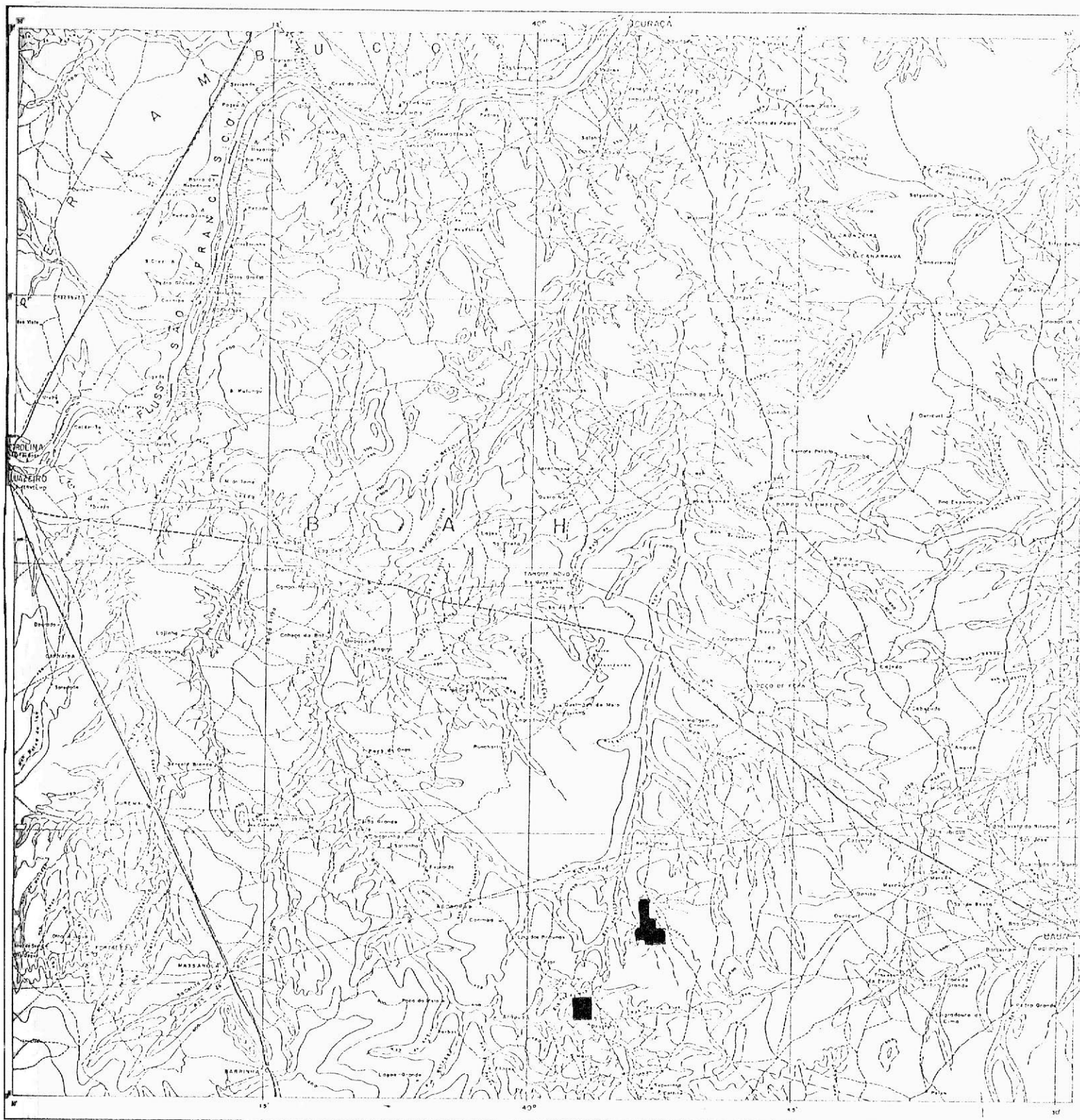
Die Resultate der Messungen erlaubten die Aufgliederung in 7 Gesteinsgruppen, deren Werte in der nachstehenden Tabelle 7 zusammengefaßt sind.

Tabelle 7

Gruppen	Geologie	MAGNETISCHE SUSZEPTIBILITÄT (x 10 <sup>-6</sup> cgs)			
		Anzahl der Proben	Minimal- wert	Maximal- wert	Mittel- wert
1.	Gneis und Granit Intermediäre Gesteine Quarzit und Pegmatit	20	33	530	260
2.	Gneis und Granit Mafisch Intermediäre Gesteine	11	530	1420	900
3.	Gneis Intermediär bis mafisch mit Erz	8	2650	3850	3250
4.	Gneis Intermediär Intermediär bis mafisch mit Erz	8	1420	2650	2020
5.	Mafisch Intermediär bis mafisch	4	5050	5500	5250
6.	Intermediär bis mafisch Mafisch mit Erz	2	7400	8350	7880
7.	Intermediär Mafisch mit Erz	3	-	-	15800



FIG.-1



LEGENDE

- STADT
- EISENBAHN
- STRASSE
- KLEINER FLUSS ODER WEG
- KREISGRENZEN

- ARBEITSGBIET
- HÖHENLINIEN
- TRIANGULATIONS-STATION
- ASTRONOMISCHER FESTPUNKT

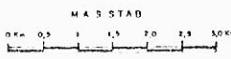
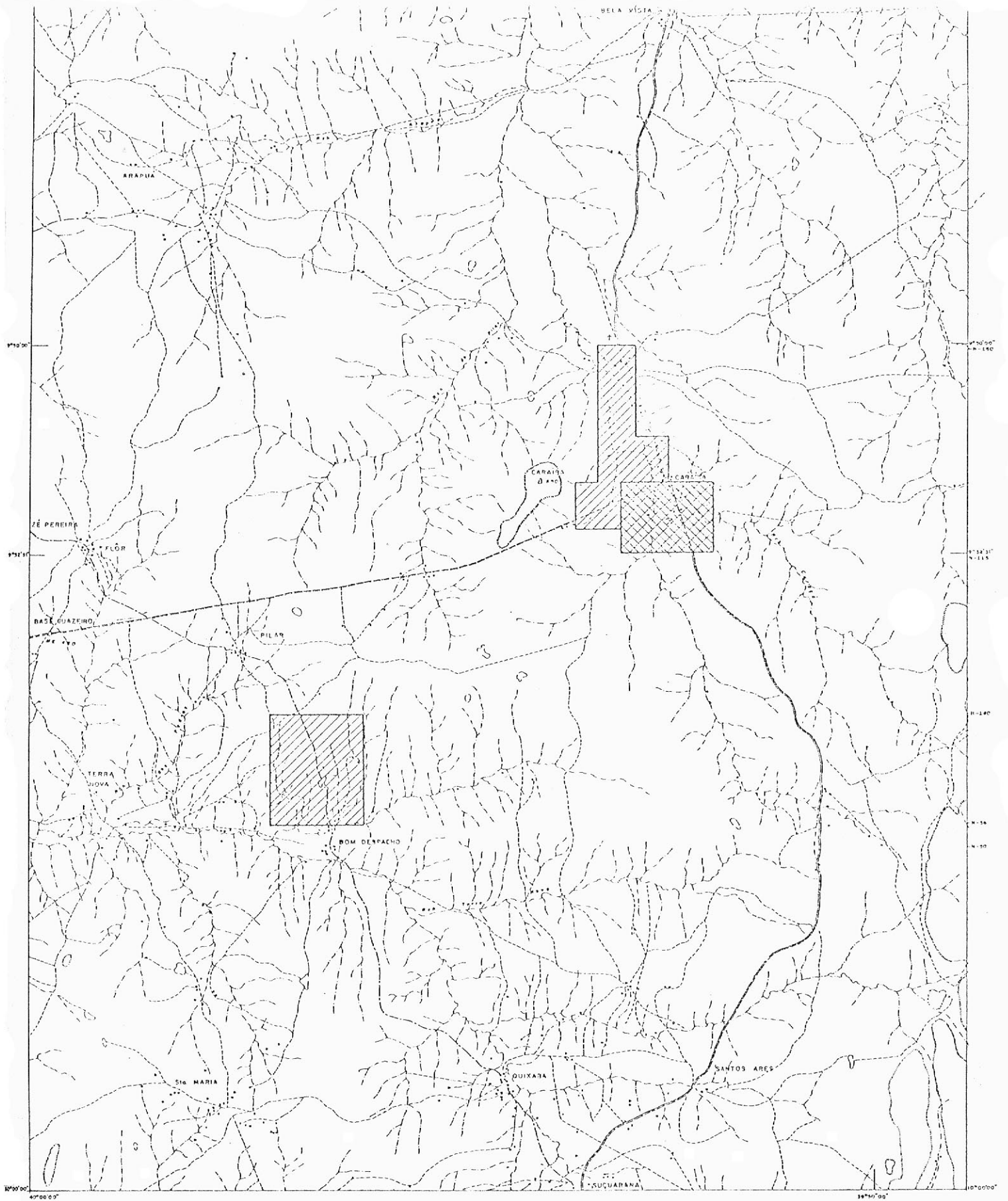
FIGUR - 2

Der kleine Fluß Curaca durchquert das Untersuchungsgebiet in N-S-Richtung, deshalb wird das Gebiet auch oft einfach Curaca genannt.

Es liegt 472 km von Salvador, der Hauptstadt des Bundesstaates Bahia, entfernt und etwa 90 km südlich des Flusses São Francisco.

Den größten Teil unserer Geländearbeiten haben wir in der Nähe der Caraiba Mine durchgeführt (Figur 3). Wir haben in erster Linie Magnetometrie und Gravimetrie angewandt und zwar in einem Gebiet, in dem vorher bereits andere Methoden angewandt worden sind, die aber noch Zweifel ließen über die Lokalisation, Form und Größe der mineralisierten Körper im Untergrund.





LEGENDE

- △ TRIANGULATIONS-STATION
- STRASSE (1°)
- - - STRASSE (2°)
- ||| KLEINER FLUSS ODER WEG
- FLUSS

- ⋄ HAUSER
- ▤ ARBEITSGEBIET
- ▥ TESTSGEBIET
- ⋈ CARAIBA-MINE

FIGUR-3

## 2.0. Allgemeiner Teil

### 2.1. Geschichte

Seit man 1782 die Serra da Borracha in der Gemeinde Curaca in der Nähe von Caraiba entdeckt hat, ist es gelungen, Kupfer aus einigen dort gefundenen Gesteinsproben zu gewinnen (22).

Die Kupfervorkommen von Caraiba wurden 1871 zum ersten Mal bewertet. Man hielt jedoch die geographischen Verhältnisse für so ungünstig, daß man von einer wirtschaftlichen Nutzung abriet (22, S.15).

Der erste schriftliche Bericht über diese Kupferfunde stammt aus dem Jahre 1874 (22, S.13). Er wurde von einem Ingenieur namens BULHOES geschrieben, der die Verlängerung der Eisenbahnlinie nach Juazeiro vornehmen sollte. Er überschätzte allerdings die Kupfervorkommen. Im Jahre 1900 wurden nähere Untersuchungen durchgeführt. Die Analysen ergaben einen 3-prozentigen Kupfergehalt. Dieser Kupfergehalt versprach keinen großen Profit (22, S.15).

Die "International Ore Corporation" versuchte 1915 erstmals die Vorkommen wirtschaftlich zu nutzen. Einige Bohrungen bis zu einer Tiefe von 15 m ließen auf einen mittleren Kupfergehalt von 1,5 % schließen. Aus nicht bekannten Gründen stellte die Firma ihre Arbeiten nach einiger Zeit jedoch ein (22, S.16 - 17).

1938 arbeiteten Geologen im Auftrag der brasilianischen

Regierung im Gebiet von Curaca. Zum ersten Mal erwähnte man, daß das Erz im basischen Muttergestein, Typ Amphibolit, disseminiert ist. Der mittlere Mineralgehalt wurde im veröffentlichten Endbericht mit 2,89 % bis 12,03 % angegeben (22, S.18).

Die vollständigste Arbeit über die Caraiba Mine wurde 1946 im Auftrag des Divisao de Fomento da Producao Mineral (Ministerio das Minas e Energia) abgeschlossen (22). Geologen und Geochemiker hatten 1945 in Caraiba die Gebiete mit Anomalien markiert, 188 Schächte bis zu einer Tiefe von 15 m gegraben und schließlich 10 Bohrungen vorgenommen, deren maximale Tiefe 80 m erreichte. Sie berechneten die Kupferreserve mit 10.000.000 Tonnen, den mittleren Mineralgehalt mit 1 % (22, S.137).

Um 1940 ging die Caraiba-Mine in den Besitz der Firma Pignatari über. Unter dem Namen Caraiba Mineracao e Metalurgia S.A. wurden die Arbeiten fortgesetzt (17). In dieser Zeit begann die moderne Phase der Kupferprospektion in der Mine und den anliegenden Gebieten. Seit 1961 werden von Geologen der Universität von Salvador (Universidade Federal da Bahia) geochemische Untersuchungen durchgeführt (18).

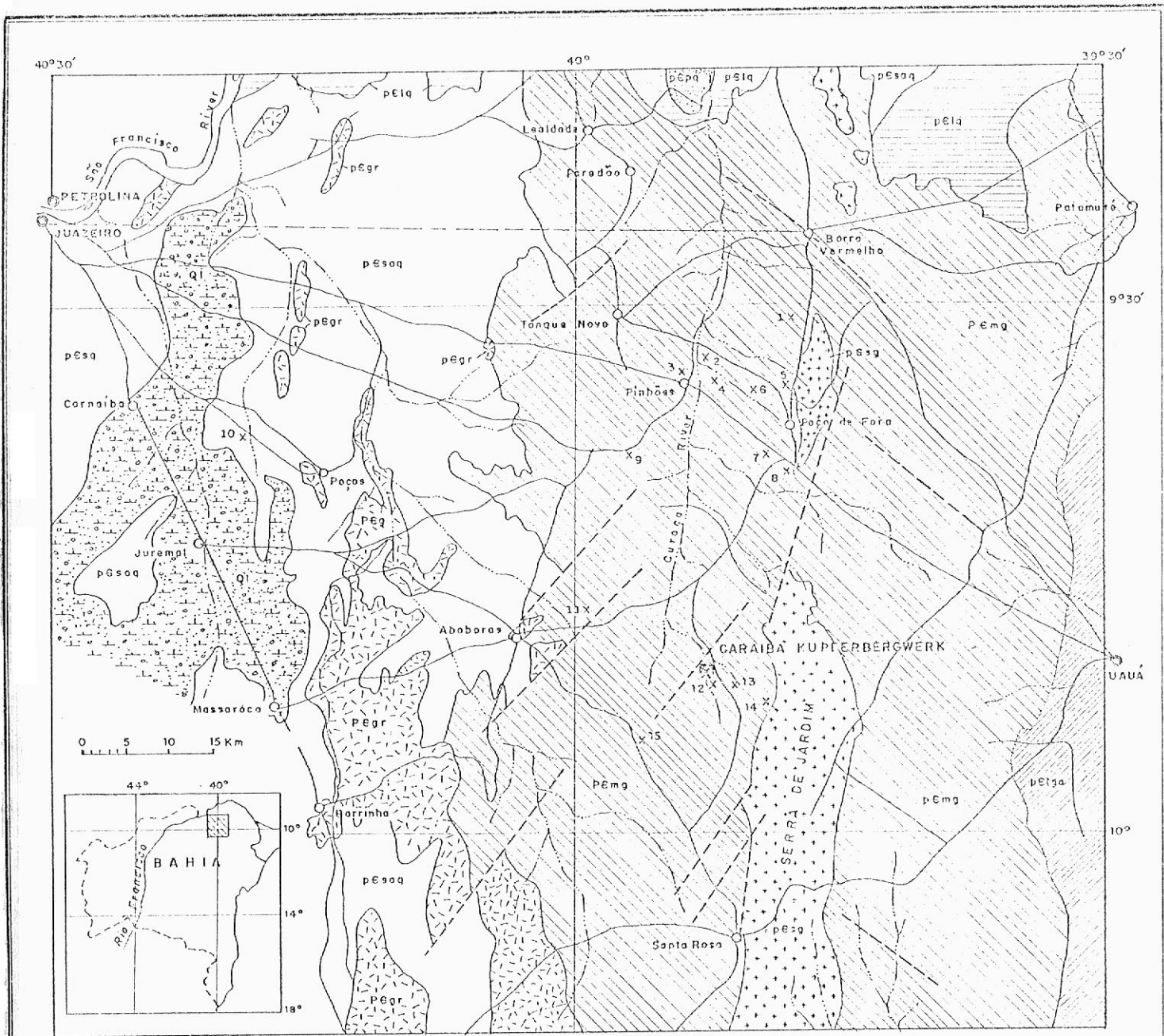
Mit den Geochemikern arbeiten heute gleichzeitig Geologen und Geophysiker der Universität sowie staatlicher und privater Unternehmen im Gebiet von Curaca. Im Jahre 1966 untersuchte und katalogisierte MAHRHOLZ (20) 14 weitere Kupfervorkommen in dem Gebiet (siehe Figur 4).

Bis heute sind im Kupfergebiet - abgesehen von der Lagerstätte in Caraiba - 6 weitere Lagerstätten bekannt. Die Gesamtreserven werden mit 88 Millionen Tonnen angegeben (7). Der Kupfergehalt schwankt zwischen 1,2 % und 2,0 %. Unserer Ansicht nach könnten noch genauere Angaben gewonnen werden, wenn man bessere Methoden anwenden würde, besonders was die Geophysik betrifft.

## 2.2. Regionalgeologie

Obwohl das Gebiet schon sorgfältig aufgenommen worden ist, existieren noch geologische Probleme. Aufnahmen wurden in verschiedenen Zeiten durchgeführt. Nach LEWIS, 1971 (18) stehen im Gebiet zum größten Teil kristalline Gesteine des mittleren Präkambriums an (Figur 4), die in 4 Einheiten entsprechend der Lithologie und dem Grad der metamorphen Verformung unterteilt werden.

Die ältesten Gesteine sind Migmatite, Gneise, Granite, Amphibolite, Leptite und Gesteine ultrabasischen Charakters. Dann steht eine Folge von Leptiten, Gneisen, Amphiboliten und metamorphen Schiefen an. Die nächste Einheit ist aus metamorphen Schiefen, Amphiboliten und Quarziten zusammengesetzt. Den Abschluß des mittleren Präkambriums bilden syenitische Augengneise und schalige Granite (Figur 4). Über diesen Folgen stehen Gneise des oberen Präkambriums (Kalksteine und Quarzite, Phyllite und Quarzite) an.



ÜBERSICHTSKARTE

Geologia NACH S.Q. MATTOSO, 1964

- KALKFORMATION UND KONGLOMERAT
- PHYLLIT UND QUARZIT
- KALKIGER DOLOMIT UND QUARZIT
- GRANIT, ZUM TEIL GESCHIEFERT

KANOZOIKUM  
PRÄKAMBRIUM  
MITTEL PRÄKAMBRIUM

- SYENITISCHER AUGENGNEIS
- SCHIEFER, AMPHIBOLIT UND QUARZIT
- GNEIS, AMPHIBOLIT UND SCHIEFER MIT GÄNGEN (GABBRO)
- MIGMATIT, GRANITISCHER GNEIS, AMPHIBOLIT, UND ULTRAMAFISCHE GESTEINE

PRÄKAMBRIUM

FUNDSTELLEN VON KUPFERERZ  
VERMUTETE VERWERFUNG.

FIG.- 4

NACH MATTOSO, 1971 (4)

Das geologische Profil wird durch Konglomerate und Kalksteine des Känozoikums abgeschlossen.

Im Zentrum des Gebietes sind die ältesten Gesteine des mittleren Präkambriums mit einer ausgeprägten N-S-Richtung entwickelt. Es stehen hauptsächlich Gneise und Granite an. Stellenweise ist der Gneis in Migmatit umgewandelt worden, der mafische und felsische Einlagerungen aufweist. Es kommen aber auch Einlagerungen von Amphiboliten und Leptiten im Gneis vor. Im Zentralgebiet stehen außerdem zahlreiche nicht konkordante Körper von Gabbro, Noriten und Pyroxeniten an. Diese Körper bilden einen Streifen von ungefähr 20 km Breite, der sich parallel zum Rio Curaca in einer Länge von 70 km erstreckt.

Die ultramafischen Gesteine sind von besonderem wirtschaftlichem Interesse, da in ihnen die primären Kupfererze angereichert sind. Zum größten Teil sind diese ultramafischen Körper komplexe Gebilde mit einem Zentrum hyperstenischer Gesteine ignischer Textur, die zum Rand hin in Granulite oder auch Amphibolite übergehen (biotitische Hornblende).

Diese Situation liegt im Gebiet der Mine Caraiba vor, wo BARBOSA (2) das Alter der ultramafischen Gesteine nach der Kalium-Argon-Methode zu  $1880 \times 10^6$  Jahren bestimmte.

Die präkambrischen Gesteine des Vermessungsgebietes sind sehr verformt und im allgemeinen kommen isokline Falten mit starkem Einfallen und N-S-Streichen vor.

- Drei Störungsrichtungen sind ausgeprägt und zwar
- a) NE-SW-Richtung, die durch Gabbro und Quarzgänge oder aber auch durch Mylonitzonen ausgezeichnet ist;
  - b) NS-Richtung mit Mylonitzonen;
  - c) NW-SE-Richtung, die Verwerfungen lithologischer Einheiten und Mylonitisierung aufweist.

### 2.3. Geologie im Gebiet der Mine von Caraiba

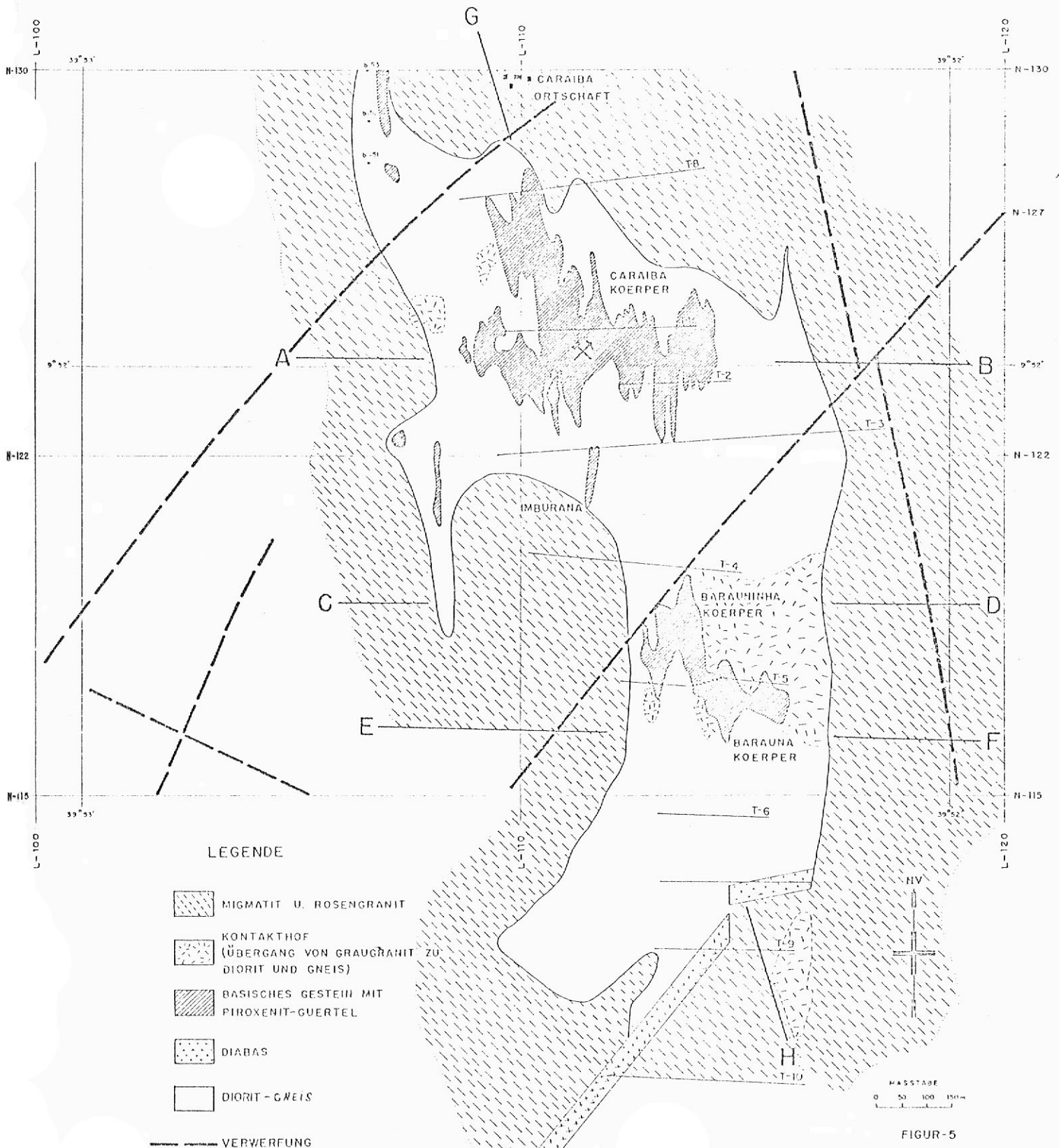
Die Erzvorkommen im Gebiet der Mine von Caraiba stehen in einem Streifen migmatitischer Gneise der Gruppe Uaua an, der unteres präkambrisches Alter zugesprochen wird (Archaikum) (Figur 5). Die Gesteine dieser Gruppe sind hier durch granitische Gneise mit grober oder mittlerer Körnung vertreten. Stellenweise kommen bänder- oder linsenförmige Konzentrationen von mafischen Mineralen vor, so daß die Gesteine als gebänderte oder leptitische Gneise eingestuft werden können.

In diesem Komplex kommen ultrabasische Intrusionen noritischer oder pyroxenitischer Zusammensetzung vor, in denen die Erzvorkommen angereichert sind. Südlich der Erzkörper existieren Diabasgänge (Dolerit) mit SW-NE-Streichrichtung.

Die Gneise sind intensiv gefaltet (isokline Falten mit starkem Einfallen und NS-Streichrichtung). Scherklüftungen kreuzen das Gebiet in NS-Richtung. In den

# CARAIBA KUPFERBERGWERK

## GEOLOGISCHE KARTE



(NACH CARAIBA METAIS S.A.)



Zonen der Scherklüftungen kommen sekundäre Erzanreicherungen und hydrothermale Umwandlungen von Mineralen vor.

Eine Antiklinale kreuzt das Gebiet in N-S-Erstreckung und die erzführenden Körper Caraiba, Barauna und Barauninha der Mine scheinen auf der Westflanke dieses Strukturelements zu liegen. Die geologischen Aufnahmen lassen darauf schließen, daß die beiden Körper früher einen einzigen Lagergang bildeten, der später durch Verwerfungen und Faltungen in zwei Teile zerbrochen wurde.

Die Form des Erzkörpers von Caraiba, die Verteilung der Anreicherungszone und die Ausrichtung der Minerale deuten darauf hin, daß Faltungen in verschiedenen geologischen Phasen vorkamen. Die vorkommenden isoklinen Falten fallen mit ungefähr  $70^{\circ}$  bis  $75^{\circ}$  nach Westen ein.

Es scheint, als ob die Mineralisierung in verschiedenen Stufen erfolgte, mit deutlichen Anreicherungen auf den Flanken und längs der Achsenrichtung der Antiklinalen. Das ist in jenen Gebieten gut zu erkennen, wo Erzkörper sich quer zur Schieferung erstrecken. An diesen Stellen, die sich in E-W-Richtung erstrecken, wechseln erzeiche und taube oder wenig mineralisierte Zonen einander ab, die sich in NS-Richtung erstrecken, was auf sprunghafte oder unterbrochene Mineralisierung der primären Sulfate schließen läßt.

Bohrungen im Körper Caraiba zeigen, daß die erzführenden Zonen in größerer Tiefe verschwinden. Es ist so-

mit zu erwarten, daß die Wirtschaftlichkeit des Abbaues mit wachsender Teufe immer geringer wird. Der Körper Barauna, südlich vom Körper Caraiba gelegen, scheint ziemlich gestreckt und konkordant zur allgemeinen Schieferung in N-S-Richtung zu liegen, mit einer Längsausdehnung von 400 m und einer Mineralisierungszone von 25 m Breite im Zentrum.

Die folgende Sequenz von geologischen Ereignissen bietet sich nach den vorliegenden Aufnahmen an:

a) Präkambrium:

- a 1) Metasomatose mit Reaktionen zwischen basischen Körpern und sauren Migmatiten, die Reaktionsareolen verursachten.
- a 2) Tiefreichende Metamorphose und regionale Ultrametamorphose mit Migmatisierung und Palingenese.
- a 3) Intrusionen von basischem und kupferführendem Magma.
- a 4) Faltungen und Verwerfungen.

b) Neuzeitlich:

- b 1) Diagenese
- b 2) Sedimentation
- b 3) Verwerfungen
- b 4) Intrusionen von Diabasgängen
- b 5) Verwerfungen
- b 6) Ablagerung von Sanden im Laufe der Flußtäler.

#### 2.4. Typen der Erzanreicherungen

Nach LEWIS et.al. (6) existieren 4 Typen von Erzvorkommen entsprechend der Lithologie und Struktur:

1.) Vom ökonomischen Standpunkt aus sind die wichtigsten Erzvorkommen die primären Erzanreicherungen in ultramafischen Gesteinen. Es handelt sich um Disseminationen und dünne Gänge von Kalkpyriten und Borniten in Pyroxeniten und in kleinerem Ausmaß in Noriten und Gabbro. Generell sind die ultramafischen Körper bis zu einer Tiefe von 15 bis 30 m oxydiert. Im allgemeinen existiert eine dünne Zone sekundärer Erzanreicherung, meistens unregelmäßig ausgebildet und in der Höhe des Grundwasserspiegels gelegen. Das Vorkommen von Caraiba ist der Prototyp dieser Erzanreicherung.

2.) Primäre Sulfate, hauptsächlich Kalkpyrite, disseminiert in Amphiboliten feiner oder mittlerer Körnung, die 50 bis 75 % Hornblende enthalten, repräsentieren den zweitwichtigsten Typ der Erzvorkommen. Diese Amphibolitzonen haben gewöhnlich eine Mächtigkeit von 10 bis 30 m. Die Erzanreicherung ist unregelmäßig und nur in seltenen Fällen erstreckt sie sich über die ganze Breite der Amphibolitzone.

3.) Die dritte Form der Erzvorkommen tritt als sekundäre Anreicherung in großen Verwerfungen und Scherklüften auf. Im allgemeinen kommen dann Krisokomen vor. Es kommen aber auch Malachite, Brocantite und in kleinen Mengen Azurite vor. Oftmals treten auch dicht unter der Oberfläche kleine Anreicherungen von Kalk-

pyrit und Kuprit auf. Die Autoren führen weiterhin an:

Im Gebiet von Caraiba kommen sekundäre Kupferanreicherungen in Scherklüften, welche die ultramafischen Körper schneiden, bis zu einer Entfernung von 100 bis 200 m vom Hauptkörper vor. Obwohl mineralisierte Klüfte nur geringe und unregelmäßige Kupferanreicherungen aufweisen, sollten sie sehr sorgfältig aufgenommen werden, da sie Hinweise auf mögliche ultramafische Körper mit Erzanreicherungen geben können.

4.) Kalkpyrite in Quarzgängen bilden die vierte Form der Erzvorkommen. Es handelt sich im allgemeinen um dünne Gänge von 10 bis 30 cm Mächtigkeit in N-S-Erstreckung mit starkem Einfallen. Sie stehen sowohl im Schiefer als auch in Amphiboliten im westlichen Teil des Gebietes an. Vorkommen sind auch in der Nähe von Poco de Fora und in den Kalksteinen der Gruppe Miaba nördlich des Untersuchungsgebietes bekannt. Gänge dieser Form treten im Gneis und in Migmatiten des mittleren Präkambriums, in denen die drei ersten Mineralisierungsformen vorkommen, nicht auf.

#### 2.5. Böden

Im allgemeinen existieren im Gebiet Residualböden. Es kommen auch Colluvialböden, allerdings von geringer Mächtigkeit und beschränkter Ausdehnung vor. Die Mäch-

tigkeit der Residualböden schwankt in der Regel zwischen 10 und 120 cm. Farbe, Zusammensetzung und Textur sind durch die darunterliegenden Gesteine bestimmt. Der B-Horizont dieser Böden enthält oftmals freies Kalziumkarbonat (6).

Im Hinblick auf die Prospektion gelangte MATTOSO 1971 (6) zu zwei wichtigen Schlußfolgerungen:

a) Klima und Oberflächenform bestimmen hauptsächlich die Bildung der Bodentypen im Gebiet. Typisch hydromorphe und reduzierte Böden bedecken große Flächen der Fazenda Caraiba. Sekundäre Merkmale gestatten hydromorphe Böden, die sich über Gesteinen mit Na-Ca-Mineralen ausgebildet haben, von denjenigen zu unterscheiden, die über Gesteinen mit Kalziummineralen anstehen. Kalkkonzentrationen treten an der Basis des B-Horizontes auf und in dem Maße, wie das Klima nach N und NW immer trockener wird, wird die kalkige Verwitterungskruste deutlicher ausgebildet.

b) Die Böden im Gebiet der Fazenda Caraiba werden mit zunehmender Tiefe alkalischer, was erklärt, weshalb die Verteilung des Kupfers im Boden sich an der Oberfläche seitlich weiter erstreckt als in tieferen Horizonten.

## 2.6. Klima und Vegetation

Das Klima ist semiarid und heiß. Regen fällt zwischen November und April. Die jährliche Niederschlagsmenge beträgt etwa 430 mm (29), wechselt aber sehr von Jahr zu Jahr.

Die Vegetation gehört zum Typ des Caatinga. Sie ist typisch für den trockenen Nordosten Brasiliens. Xerophyten überwiegen (19): Leguminosen, Euphorbien, Kakteen usw.. Caatingueiras (*Caesalpinia pyramidales*), pinhoes (*Jatropha pohliana*) und matapasto (*Cassia bicapsularis*) geben wichtige Hinweise für die Erzsprospektion. Sie kennzeichnen graue Böden über mafischen und ultramafischen Gesteinen. Über quarzreichem Gestein entwickeln sich andere Pflanzengemeinschaften (5, S. B 143).

## 2.7. Transportverhältnisse

Der Zugang zum Kupfergebiet erfolgt durch die gepflasterte BR-324 Straße, die westlich des Gebietes in N-S-Richtung verläuft. Von dieser Hauptstraße gehen ungepflasterte Seitenstraßen ab, die mit Ausnahme der Regenzeit befahrbar sind. Im Kupfergebiet selbst gibt es nur ungepflasterte Straßen und Wege. Die Eisenbahn (Estrada de Ferro de Sao Francisco) verläuft parallel zur BR-324 Straße 45 km westlich der Caraiba Mine (Figur 2). Sie führt von Salvador

über Juazeiro bis in den Bundesstaat Piaui. Die Eisenbahn könnte ein wichtiges Transportmittel für das Kupferkonzentrat, das wahrscheinlich anderorts weiterverarbeitet werden wird, sein.

Mit Ausnahme des Sao Francisco führen die übrigen Flüsse praktisch das ganze Jahr über kein Wasser. Petrolina, im Nordwesten von Caraiba gelegen, hat einen Flughafen mit regelmäßigen Flügen zu den größten Städten Nordostbrasilien. Caraiba verfügt zur Zeit über einen Landeplatz. Eine große Landepiste ist im Ausbau.

### 3.0. Ältere Vorarbeiten

#### 3.1. Luftbildgeologie

Geologische Auswertungen, basierend auf Vertikalaufnahmen im ungefähren Maßstab 1 : 25.000, wurden für alle Projekte des Gebietes durchgeführt. Die Auswertungen erweiterten wesentlich die Kenntnis der allgemeinen Geologie der Gegend, trugen aber überraschenderweise fast nichts zur direkten Prospektion der mafischen Körper bei.

Man hatte erwartet, daß die Auffindung mafischer Körper in Luftbildern leicht wäre. Die starke Verwitterung der Körper sollte dunkle Böden ergeben, die sich gut von den benachbarten hellen Gesteinen oder Böden ab-

setzen würden. Die Einwohner der Gegend nennen diese dunklen Bodentypen "Fofó", was man ungefähr mit "weich, lose, locker" übersetzen kann.

Andererseits bemerkt HERMANN (14, S.22): "Die Vorkommen dunkler Bodentypen können auch durch Auffüllung kleiner Becken mit Sedimenten, die sehr reich an organischem Material sind, erklärt werden, oder auch durch die Verwitterung relativ junger basischer Gänge, die keine Vorkommen von Kupfer aufweisen".

MATTOSO (21, S.143) gibt noch andere Gründe für den nur teilweisen Erfolg der Luftbildauswertung in der Mineralprospektion an: "Die Lokalisierung mafischer Körper, an denen die Kupfererze angereichert sind, ist mit Hilfe von Luftbildern ungenügend und zwar einerseits deshalb, weil kleine Körper in den Luftbildern nicht genügend sicher zu erkennen sind, und andererseits, weil die vorliegenden Luftbilder Unterschiede in der photographischen Entwicklung aufweisen, die ihre Auswertung sehr erschweren".

### 3.2. Geochemie

Die modernen wissenschaftlichen Forschungen auf Kupfer in der Gegend von Curaca und speziell im Gebiet der Fazenda Caraiba begannen im Jahre 1961 mit den Arbeiten von LEWIS et.al. (18). Im Laufe dieser Untersuchungen wurden 3 Typen von Probeentnahmen durchgeführt: Regional-, Semiregional- und Detailaufnahmen.



Der Zweck dieser Untersuchungen war, den repräsentativen Kupfergehalt (background) der verschiedenen Gesteinstypen festzustellen. Die Regionalaufnahme umfaßte 1150 Bodenproben, die in ungefähr 1 km Abstand über verschiedenen anstehenden Gesteinen entnommen wurden. Die Resultate sind in der nachstehenden Tabelle 1 zusammengefaßt:

Rock type	Number of samples	Range	Arithmetic mean	Geometric mean	Median	Mode
Amphibolite	13	10-150	45.6	33.7	35	50
Diabase	11	10-100	37.9	26.7	25	25
Gabbro	12	10-150	43.8	38.0	50	50
Gneiss, banded	13	5-50	20.6	15.4	10	10
Gneiss, nebulitic granitic	9	Tr.-50	20.3	13.4	12.2	10, 25
Gneiss, syenitic	9	Tr.-20	13.4	10.3	12.5	12.5, 17.5
Granite	9	10-50	24.2	20.3	17.5	-
Leptite	9	Tr.-50	24.1	12.4	17.5	50
Limestone	11	Tr.-25	18.3	14.6	20	10
Mica schists	7	Tr.-50	16.6	10.3	10	10
Migmatite	9	Tr.-75	30.4	12.1	17.5	12.5
Mylonite	5	5-17.5	12.0	11.1	12.5	12.5
Pegmatite	5	Tr.-50	22.2	12.6	25	25
Quartzite	5	Tr.-25	13.2	8.9	12.5	-
Ultramafic rocks (unmineralized)	11	17.5-100	40.2	35.4	25	25

Tabelle 1

Nach LEWIS, MATTOSO und BRIM (18, S. B 147)

Die Mittelwerte schwanken in den Grenzen von 9 ppm für Bodenproben aus Gebieten anstehender quarzitischer Gesteine und 38 ppm für Bodenproben, die mafischen Gesteinen entsprechen. Auf der anderen Seite weisen Bodenproben, die tauben Gesteinen entsprechen, ähnlich hohe Mittelwerte auf, sodaß man zu dem Schluß kommt, daß die geochemische Regionalaufnahme keine eindeutigen Aussagen über die Lokalisierung mafischer Körper ergibt.

Bei der semiregionalen Aufnahme wurden Bodenproben in Abständen von 200 bis 500 m entnommen, in Gebieten, in denen man nach der geologischen Luftbildauswertung Vorkommen von mafischen und ultramafischen Körpern erwarten konnte. Die Ergebnisse waren ermutigend. Die Bodenproben ergaben Werte von 50 bis 100 ppm Kupfer, während für den "background" Werte von 10 bis 25 ppm Kupfer gefunden wurden.

In der Detailaufnahme wurden ungefähr 1500 Bodenproben entnommen. Der Zweck der Aufnahme war, die Existenz der Mineralisierung in bestimmten Gebieten nachzuweisen. Die Auswahl der Untersuchungsgebiete wurde nach den Resultaten der geochemischen Regional- und Semiregionalaufnahmen getroffen und zum Teil auch entsprechend der Luftbildauswertung.

Die Ergebnisse der Untersuchung sind in der Tabelle 2 zusammengefaßt:

Tabelle 2

No. on figure 4	Locality	Number of Samples	Highest copper concentration (ppm)	Copper minerals observed	Lithology
-	Fazenda Cacimba da Torre	57	100	No	Amphibolite
-	Barro Vermelho	15	150	No	Do.
-	West of Fz. Angico	40	200	No	Mafic complex
1	Fazenda Angico	70	3000	Yes	Amphibolite
-	South of Fz. Angico	107	100	No	Do.
-	Fazenda Bela Vista	170	8000	No	Ultramafic complex
2	Lagoa das Pedras	10	350	Yes	Gneiss
-	Northwest of Poco de Fora	42	100	No	Mafic complex
3	Pinhoes	6	500	Yes	Gneiss and amphibolite
4	Fazenda Lisboa	24	1200	Yes	Ultramafic complex
5	Buioes	14	150	Yes	Gneiss and amphibolite
6	Fazenda Surubin	69	200	Yes	Mafic complex
7	Southwest of Poco de Fora	56	100	Yes	Mafic - ultramafic complex
8	South of Poco de Fora	8	750	Yes	Do.
9	Fazenda Lages	47	500	Yes	Amphibolite
-	Fazenda Esfomeado	27	100	No	Mafic complex
-	Southwest of Fazenda Esfomeado	17	70	No	Mafic - ultramafic complex
-	Fazenda Sertaozinho	19	200	No	Ultramafic complex
-	Crossroads south of Fazenda Esfomeado	34	50	No	Mafic complex

Nach LEWIS, MATTOSO und BRIM (18, S. B 149)

Außer den geochemischen Vermessungen wurden auch noch biochemische Spurenuntersuchungen von Blättern und anderen Pflanzenteilen durchgeführt. Es ist uns keine Veröffentlichung über diese Arbeiten bekannt. Man kann jedoch vermuten, daß diese Untersuchungen keine guten Ergebnisse aufwiesen, da sie nicht mehr routinemäßig durchgeführt werden.

### 3.3. Geophysik

Parallel zu den geologischen und geochemischen Vermessungen wurden auch einige geophysikalische Aufnahmen durchgeführt. Alle diese Arbeiten hatten aber nur experimentellen Charakter, was vielleicht darauf zurückzuführen ist, daß die Ergebnisse nicht sehr zufriedenstellend und die Aufnahmen mit hohen Kosten verbunden waren. Außerdem muß man auch noch berücksichtigen, daß die geophysikalischen Vermessungen im allgemeinen nach der geochemischen Aufnahme durchgeführt werden. Da die letztere ziemlich neu ist, stand also für geophysikalische Vermessungen relativ wenig Zeit zur Verfügung.

Unglücklicherweise existieren nur wenige Veröffentlichungen über diese Arbeiten. Wir kennen jedoch einige Resultate:

### 3.3.1. Magnetik

FONTANELLI berichtet über eine Experimentalaufnahme (6, S.11) im Gebiet der Fazenda Caraiba. Die Autoren kommen zu der Schlußfolgerung, daß die magnetische Methode zur Aufsuchung von mineralisierten Pyroxeniten wenig geeignet sei. Es handelt sich um eine kleine Vermessung, die Ergebnisse waren aus folgenden Gründen ungenügend:

- a) Die Autoren, die Geochemiker sind, hatten nur geringe Erfahrung in der Auswertung geophysikalischer Aufnahmen.
- b) Andere Faktoren, die die Auswertung ungünstig beeinflussten: Auswahl der Instrumente, Kontrolle und Präzision der Messungen und Stationsabstand.

### 3.3.2. I.P.

Im Jahre 1967 wurden im Gebiet der Mine und ihrer Nachbarschaft induzierte Polarisationsmessungen durchgeführt. Unglücklicherweise wurden die Ergebnisse nicht veröffentlicht. Nach mündlichen Mitteilungen kam man jedoch zu den folgenden Schlußfolgerungen:

- a) Die Methode ist teuer und zeitraubend;
- b) Grundwasser und Graphitvorkommen beeinflussen die Ergebnisse beträchtlich.

c) Anomalien dieser Methode wurden abgebohrt, die Ergebnisse waren nicht ermutigend.

Im Oktober 1972 veröffentlichten HALES und CHAMON (11) die Zusammenfassung eines Berichtes über I.P.-Untersuchungen, die für die Brasilianischen Staatsgesellschaften O.D.N.P.M. (Departamento Nacional da Producao Mineral) und CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) durchgeführt worden waren.

Nach Probeaufnahmen in bekannten Erzgebieten wurden systematische Prospektionen durchgeführt, die durch Bohrungen geprüft wurden. Die Ergebnisse waren erfolgversprechend, sodaß die Autoren die Anwendung der Methode empfahlen. Eine der Firmen, die CPRM, entdeckte einige Monate später die Mine von Pirulito mit geschätzten Erzreserven in der Größenordnung von 10 Millionen Tonnen. In der Prospektion wurden geologische, geochemische und I.P.-Aufnahmen durchgeführt.

### 3.3.3. Elektromagnetische Aufnahmen

Im Jahre 1971 führte ELLERT (5) elektromagnetische Induktionsaufnahmen mit einem tragbaren Generator aus. Es wurden Profile in einer Gesamtlänge von 45 km vermessen. Eine Preliminarvermessung wurde in einem Gebiet durchgeführt, in dem die Geologie und Mineralogie sowie die geochemischen Resultate bekannt waren. In einem zweiten Gebiet wurde eine normale Prospek-

tion vermessen.

Die Meßergebnisse wurden nach modernen Methoden ausgewertet, einschließlich "trend surface analysis" und mit maßstäblich reduzierten Modellen.

Auf Seite 92 seiner ausgezeichneten Arbeit gibt der Verfasser die folgenden Schlußfolgerungen an:

a) Körper mit Erzanreicherungen, welche auch große Ausdehnungen haben können, verursachen geophysikalische Anomalien.

b) Mit mafischem Material angereicherte Zonen innerhalb des Gneises verursachen geophysikalische Anomalien.

Graphitlinsen verursachen auch geophysikalische Anomalien.

c) Die Methode hat anscheinend ein besseres Auflösungsvermögen als die induzierte Polarisation, vor allem in Gebieten mit Alluvialbedeckungen und hohem Salzgehalt (einschließlich in der Trockenzeit).

d) In der Trockenzeit werden die Feldarbeiten durch die hohe statische Elektrizität sehr erschwert.

e) Sulfatanreicherungen mit einem Gehalt von mehr als 3 % verursachen Anomalien.

f) Die Methode zeigte Anwendungsmöglichkeiten im Untersuchungsgebiet, obwohl die vermessenen Anomalien nicht ausschließlich von Kupfersulfatanreicherungen

herrührten. Um die Anwendung kostspieliger Methoden wirtschaftlich zu begründen, ist es notwendig, daß elektromagnetische und geochemische Anomalien gut korrespondieren.

#### 3.3.4. Kombinierte Methoden

Im Oktober 1972 veröffentlichte DIAS (3) einen Bericht über Untersuchungen, die in einem Gebiet von ungefähr 25 km<sup>2</sup> etwa 10 km nördlich der Mine Caraiba vermessen wurden. Es wurden folgende Methoden angewandt: AFMAG, Tellurik, induzierte Polarisation und Widerstandsmessungen.

Leider lieferte diese Arbeit fast keinen Beitrag über die Anwendungsmöglichkeiten geophysikalischer Methoden im Untersuchungsgebiet. Die Arbeit verliert außerdem noch dadurch an Gewicht, daß der Verfasser auf Grund geophysikalischer Anomalien und ohne Kontrollbohrungen Erzvorkommen postuliert und Reserven berechnet.

Es wurden auch keine geochemischen Untersuchungen durchgeführt, was umso überraschender ist, als diese Methode sich im Arbeitsgebiet sehr gut bewährt hat. Außerdem berücksichtigte DIAS auch nicht die Tatsache, daß Graphit-Magnetit-Pyritvorkommen und auch Verwerfungszonen Anomalien der I.P.-Methode verursachen können.



### 3.3.5. Andere geophysikalische Methoden

Vor längerer Zeit wurden im Untersuchungsgebiet auch Eigenpotentialaufnahmen und andere I.P.- und elektrische Widerstandsmessungen durchgeführt. Unglücklicherweise sind uns weder Veröffentlichungen noch Ergebnisse dieser Arbeiten bekannt. Indirekte Informationen lassen jedoch darauf schließen, daß die Ergebnisse nicht sehr ermutigend waren (siehe Kapitel 3.5. Bemerkung von MATTOSO, Abschnitt b).

### 3.4. Bohrungen

Parallel zu den zitierten Vermessungen führte die Gesellschaft Caraiba Mineracao e Metalurgia selbst oder in Vertragsvergebung ungefähr 160 Bohrungen aus, die 26.000 Bohrmeter totalisierten. Im allgemeinen wurden vor den Bohrungen noch Schürfungen in offenen Gruben vorgenommen, die zur Bestätigung der schon vorliegenden Daten dienten.

Die Resultate der Bohrungen erlaubten es, die Reserven der Erzvorkommen abzuschätzen. Der Beginn des Abbaus der Kupfererze und die Kupferproduktion sind für 1975 geplant. Die notwendigen modernen industriellen Anlagen werden ungefähr 114.500.000,00 US \$ kosten (Preis für 1972).

Die Reserven für Caraiba, Barauna und Barauninha (Caraiba Mine) sind in Tabelle 3 angeführt:

Tabelle 3

	Erz	Kupfer	Kupfer- gehalt
	Tonnen		
a) Sicher (30, S.1)	14.141.600	257.565	1,82 %
b) Wahrscheinlich (30, S.1)	7.570.400	130.027	1,72 %
c) Angedeutet (22, S.126)	17.159.000	257.385	1,50 %
	38.871.000	644.977	

### 3.5. Zusammenfassung der angewandten Methoden und allgemeine Betrachtungen über Prospektionsmöglichkeiten

Das Hauptproblem der Prospektion im Untersuchungsgebiet besteht darin, eine oder eine Kombination von geophysikalischen Methoden zu finden, die die geochemischen Aufnahmen ergänzen. Die Geochemie hat ohne Zweifel brauchbare Ergebnisse geliefert und fast alle Bohrungen sind entsprechend dieser Resultate angesetzt worden. Es bestehen jedoch einige Probleme, welche die Anwendung geophysikalischer Methoden wünschenswert erscheinen lassen.

MATTOSO (21) zeigt einige dieser Probleme auf:

- a) "Die Zirkulation des Grundwassers in Bruchzonen verursachte die Verschiebung von geochemischen Anomalien".