

SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOLOGIA

ANAIS
Do
XXIX CONGRESSO

VOLUME 3



Ouro Preto, MG – Novembro 1976

**29º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA
OURO-PRETO – 1976**

VOLUME 3

SESSÕES TÉCNICAS

**GEOLOGIA ECONÔMICA E PESQUISA MINERAL
ECONOMIA MINERAL E GEOMATEMÁTICA
GEOLOGIA APLICADA, GEOFÍSICA, HIDROGEOLOGIA**

ÍNDICE

Geologia Econômica e Pesquisa Mineral

| | |
|---|----|
| Maiço Ultramáfico de Quatipuru – Armando A. C. Cordeiro, Garrett MC Candless | 9 |
| Estudo Geoquímico Orientativo na Área do Projeto Serra de Jacobina, Estado da Bahia – Dorival Correia Bruni, Luís A. A. de Toledo, José Erasmo de Oliveira | 17 |
| Prospecção Geoquímica no Sudoeste da Chapada Diamantina, Bahia, (Projeto Rochas Efusivas) – Dorival C. Bruni, Luís A. A. de Toledo, Gustavo N. D. Gonçalves | 37 |
| Reservas e Possibilidades de Aproveitamento Industrial das Bauxitas de Lages – Santa Catarina, Eugênio Casimiro Szubert, Valmor D'Ávila Bergara | 51 |
| Controles Regionais e Locais das Mineralizações de Cobre do Vale do Curaçá e suas Implicações Práticas – Inácio de Medeiros Delgado, João Dalton de Souza | 59 |

| | |
|---|-----|
| Os Campos Cupríferos de Angico e Sertãozinho — Vale do Curaçá-BA — João Dalton de Souza, Inácio de Medeiros Delgado | 71 |
| O Distrito Calcário-Dolomítico de Apertados, Bagé-RS — Roque Mauro Eckert, Marco Aurélio Schneiders da Silva | 101 |
| Prospecção Através de Sedimentos de Drenagem em Áreas de Rochas Máficas-Ultramáficas no Estado de Goiás — Raul Minas Kuyumjian, Sílvio Ronan Bressan | 105 |
| Depósitos de Bauxita de Almeirim — Robert Assad, Antônio Pinto de Almeida Netto | 113 |
| Síntese de Geologia da Mina de Ouro da Bela Fama — Nova Lima — Minas Gerais — Abrahão Torres | 119 |
| Descrição da Primeira Jazida Brasileira de Turquesa — J. P. Cassedanne, J. O. Cassedanne . . | 133 |
| Avaliação das Reservas de Minério de Ipanema (SP) — H. C. Mendes, H. Born, G. C. Melcher | 141 |
| Pesquisa de Matérias-Primas Argilosas Para a Produção de Agregados Leves — Eduardo Camilher Damasceno | 155 |
| Contribuição à Metalogenia do Sistema de Dobramentos Ribeira — Jorge S. Bettencourt, Eberhard Wernick, Faustino Penalva | 169 |
| Condicionamento das Mineralizações Radioativas no Planalto de Poços de Caldas, Baseado em Imagens MSS do Landsat — Waldir Renato Paradella, Raimundo Almeida Filho | 181 |
| Estudos Sobre a Aplicabilidade da Interpretação Automática de Imagens Landsat para Prospecção Mineral — Gilberto Amaral | 191 |
| Sensoriamento Remoto Aplicado à Prospecção de Minerais de Zinco no Grupo Bambuí, Baseado em Estudos Geobotânicos — Flávio Soares do Nascimento, Sherry Chou Chen . . . | 195 |
| Geologia e Mineralogia de Depósito de Wavelita e Turquesa da Região de Conselheiro Mata, Diamantina — Minas Gerais — J. M. Correia Neves, R. N. Cardoso, Arno Brichta | 207 |

Economia Mineral e Geometomática

| | |
|--|-----|
| Custos de Programas de Prospecção Geoquímica em Sedimentos de Drenagem Desenvolvidos pela Metais de Goiás S.A. — METAGO — Raul Minas Kuyumjian, Sílvio Ronan Bressan | 221 |
| Análise de Risco em Estudos de Viabilidade Econômica de Projetos de Mineração — Eliezer Braz Pereira | 225 |
| Teste da Análise de Superfícies de Tendência Para Distribuições Aleatórias — Gilberto Amaral | 233 |
| Aplicação da Análise de Superfícies de Tendência à Granulometria de Fundo da Lagoa dos Patos-RS — Renato Herz, Gilberto Amaral | 239 |

Geologia Aplicada, Geofísica, Hidrogeologia

| | |
|--|-----|
| Considerações Geotécnicas em Oceano Profundo a Partir de Dados Sísmicos e Ecobatimétricos — Márcio Paulo de Atafé Costa, Renato Oscar Kowsmann, Carlos Alberto Becker Amaral | 251 |
| Aplicabilidade do Método Eletromagnético de "Loop Horizontal" (Slingram) no Vale do Rio Curaçá — Bahia — Raymundo A. A. Dias Gomes | 259 |
| Estudo Paleomagnético de Secções do Subgrupo Itararé — E. M. Pascholati — I. G. Pacca . . | 275 |
| Método de Interpretação de Anomalias Magnéticas Baseado nas Integrações dos Momentos das Componentes — Jorge Wilson Delgado Leão, José Seixas Lourenço | 283 |
| Tratamento Quantitativo de Anomalias de Potencial Espontâneo — Sônia Dias Cavalcanti Guerreiro — José Seixas Lourenço | 299 |

**29º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA
OURO PRETO – 1976**

**GEOLOGIA ECONÔMICA E
PESQUISA MINERAL**



OURO PRETO – NOVEMBRO – 1976

MACIÇO ULTRAMÁFICO DE QUATIPURU

Armando A. C. Cordeiro*
Garret Mc Candless*

ABSTRACT

Quatipuru Range lies 60 km from the town of Conceição do Araguaia, in the south of the State of Pará. The ultramafic body, having 45 km extension, 1 to 3 km width and general direction N-S, is a concordant intrusion within the regionally east dipping country rocks (phyllites and cherts) correlated with the Tocantins Group. The chert, colored black and with disseminated biogenetic pyrite, is the unique resistant unit in the dominant phyllitic section and served as guide to the emplacement of the Quatipuru ultramafic body.

The massif is formed by serpentinites which originated mainly from peridotites and less from dunites. The peridotites are composed of a dunitic matrix with 20-30% of pyroxene crystals. Lenses of olivine-gabbro, chromite, dunite and pegmatoid pyroxenite occur in the whole extension of the body and represent the final igneous phase.

Local subvertical faults, with NW to NE directions, promoted intense fracturing of the body, permitting percolation of hydrothermal solutions during different stages. The consequent metamorphic effects were: serpentinization (principal event), talccarbonatization and secondary veins consisting of serpentine, magnetite and chrysotile-asbestos ("cross-fibre").

Lacteritization processes acting on the body yielded partial silicification and produced peneplanes enriched in lateritic nickel whose potential is about 13 millions tons of 1,3% Ni ore.

Chromite, asbestos and Fe-Ni-Cu sulphides also occur in the Quatipuru massif.

I - INTRODUÇÃO

A Serra do Quatipuru está situada no município de Santana do Araguaia, no sul do Estado do Pará, cerca de 50 km a SW da cidade de Conceição do Araguaia. Sua localização pode ser determinada pela longitude de 49° 40'W e pelas latitudes 08°25' e 08°45'S.

O acesso a Conceição do Araguaia, cidade escolhida como ponto de apoio logístico, é feito através das rodovias estaduais que a ligam a Belém - Brasília (BR-010/153): pela PA-70, que passa por Marabá (PA), e, pela GO-70, que atinge a rodovia federal na localidade de Guarai (GO). A Serra do Quatipuru pode ser atingida através das rodovias PA-78 e 79, que ligam Conceição a Santana do Araguaia.

O maciço ultramáfico possui cerca de 45 km de extensão por 1 a 3 km de largura, e direção geral N-S. Contrastando com o relevo regional, semiplano, possui desníveis de até 300 metros. Em decorrência de sua estrutura, geralmente suas encostas oeste são bem inclinadas, ao passo que as do flanco este são mais suaves.

A drenagem é do padrão dendrítico, sendo captada pelo rio Araguaia e afluentes da margem esquerda. A distância mínima da serra a esse rio é de 15 km.

O clima é quente e úmido, com chuvas torrenciais (novembro a abril), sendo a estação seca (maio a outubro) bem marcada.

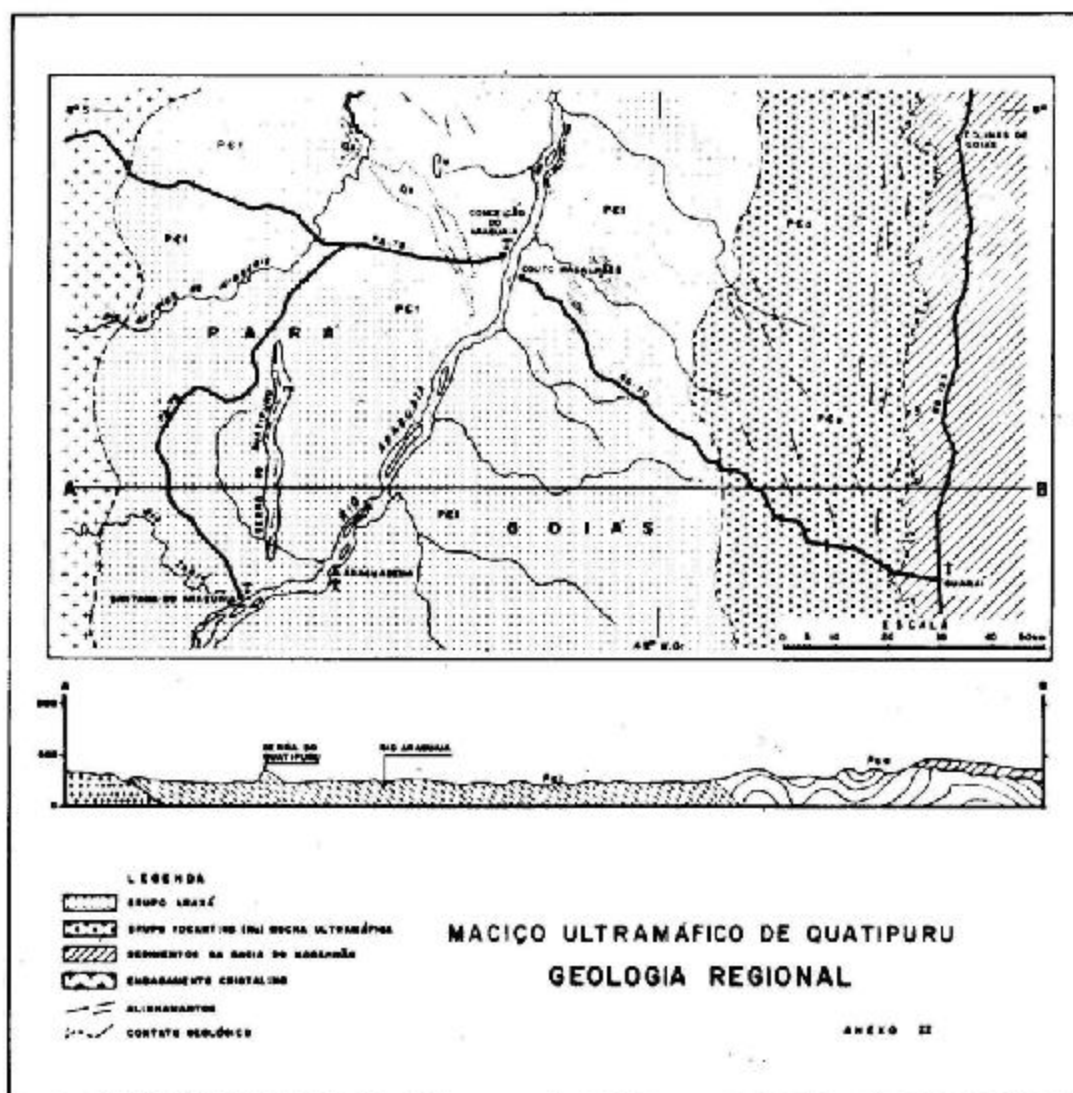
A vegetação predominante é a do tipo cerrado, com zonas restritas de florestas, particularmente nas partes silicificadas do corpo ultramáfico.

II. GEOLOGIA REGIONAL

A geologia regional pode ser classificada em cinco unidades principais: embasamento cristalino, granitos intrusivos, metassedimentos (Grupos Tocantins e Araxá - Projeto RADAMBRASIL - 1974), intrusões básicas/ultrabásicas e sedimentos da Bacia do Maranhão.

O embasamento cristalino, cobrindo toda a parte oeste da área, é constituído por gnaisses/migmatitos quase que totalmente arrasados. Corpos de granitos, circulares, aparecem intrusivos nessa unidade.

* Geólogos da RIO DOCE GEOLOGIA E MINERAÇÃO S/A - Belém - Pará.



III - GEOLOGIA LOCAL

Em toda a área de pesquisa afloram filitos róseo-amarelados, enquadrados no Grupo Tocantins (Projeto RADAMBRASIL - 1974), devido ao seu baixo grau de metamorfismo. Apesar de possuírem uma direção geral N-S, nas proximidades da serra apresentam variações a NE ou NW, de acordo com os falhamentos. Seus mergulhos variam de 30° a 60°, SE a NE. Localmente apresentam-se intercalados por lentes de metagrauvacas e cherts.

O chert constitui uma unidade estratigráfica importante, pois, devido a sua maior resistência e modo de ocorrência (contatos superiores e inferiores de corpo ultramáfico), supõe-se que serviu de guia de posicionamento do maciço de Quatipuru.

Sua cor é predominantemente negra, passando a cinza claro. Apresenta, geralmente, disseminações de pirita biogênica. Em lâmina possui textura microcristalina e é constituído de quartzo (cripto e microcristalino), calcadônia (90-95%) e acessórios.

A principal manifestação do chert, em Quatipuru, é sob a forma de fragmentos angulosos dispersos na ultramáfica silicificada brechóide, encontrada nos contatos (inferior e superior) do maciço. Afastado do corpo, o chert aflora em raras lentes dentro do filito.

Notícias de pequenas ocorrências desse mesmo chert em diversos pontos da mesopotâmia Tocantins-Araguaia confirmam o caráter regional desta unidade estratigráfica.

As metagrauvacas ocorrem em pequenas lentes, encaixadas no filito, ao longo do lado oeste do maciço.

Em lâmina apresentam textura clástica, formada por fragmentos de quartzo, angulares, mal selecionados e tensionados. Em menor frequência ocorrem fragmentos de chert e rochas vulcânicas ácidas (provável manifestação do vulcanismo da região dos rios Fresco e Xingu). Originalmente a rocha foi constituída de uma fração argilosa que, por metamorfismo de baixo grau, formou sericita e clorita.

O corpo ultramáfico de Quatipuru, de direção geral N-S e mergulho em torno de 45° para leste, possui, aproximadamente, 45 km de extensão por 1 a 3 de largura, com desníveis de até 300 metros.

Está tectonicamente intrusivo, concordantemente, em filitos e cherts pertencentes ao Grupo Tocantins.

A posição original e as condições da intrusão ultramáfica são desconhecidas. As evidências disponíveis, particularmente a relação existente entre a alteração de baixa temperatura da rocha e o posicionamento tectônico (cizalhamento e brechação), indicam que o corpo atingiu a presente posição durante, ou imediatamente após, o episódio de baixo grau metamórfico a que foram submetidas as rochas encaixantes pertencentes ao Grupo Tocantins.

O maciço pode ser subdividido em quatro unidades: os **serpentinitos**, as **rochas ultramáficas silicificadas**, as **intrusões básicas** e os **peneplanos lateríticos**.

Os **serpentinitos** são originados de peridotito e dunito. O peridotito, cuja cor varia de verde-claro (quando intemperizado) a verde-escuro, constitui a massa dominante. Em afloramento possui aspecto grosseiro, apresentando, em alguns pontos da estrutura, um leve bandeamento.

Em lâmina sua textura mais comum é a "**mesh e bastite structure**" que, quando sujeita a esforços tectônicos, passa a "**courtain**". É composto de uma matriz dunítica serpentizada (antigorita), com 20 a 30% de lamelas de bastita, pseudomorfa do piroxênio. Talco e carbonato ocorrem, parcial ou intensamente, substituindo a serpentina das malhas e, também, das lamelas de bastita.

Veios de crisotila ("cross fibre") são comuns, obliterando a textura primária. Os opacos mais frequentes são: magnetita, cromita, limonita e sulfetos (Fe, Ni, Cu).

Apesar de que, na maioria das lâminas, o piroxênio se encontra totalmente alterado em bastita, foi possível, em algumas análises, a identificação de **enstatita** (ortopiroxênio), sendo, portanto, aceitável a classificação de **harzburgito** para o peridotito original de Quatipuru.

O **dunito**, geralmente ocorrendo em pequenas lentes dentro da massa peridotítica, é caracterizado pela abundância de cristais de cromita e magnetita. Em lâmina possui textura malhada, passando a fitada quando tectonizado. Seus constituintes minerais são semelhantes aos do peridotito, porém, com predominância da serpentina mesh (95%).

Além do dunito, lentes restritas de **piroxenito pegmatóide** são comuns dentro do peridotito.

As **rochas ultramáficas silicificadas** dominam, praticamente, 2/3 do maciço. Para efeito do mapeamento essa unidade foi subdividida em duas: a **ultramáfica silicificada**, normal, e a **ultramáfica silicificada brechóide**, encontrada nos bordos do corpo.

A primeira, ocupando as zonas mais centrais, possui aspecto maciço, cores variando do vermelho ao marrom cremoso e, principalmente, preservação da textura da rocha original.

A ultramáfica silicificada brechóide ocorre nas proximidades dos contatos (inferior e superior), bordos do corpo ultramáfico. Possui, como características principal, fragmentos angulosos de chert negro dispersos em sua matriz.

O mais notável afloramento de Quatipuru está localizado no contato basal, em zona de falha. Trata-se de um paredão vertical, com desnível da ordem de 50 metros, apresentando ocorrências de sulfatos hidratados: um, amarelo, de composição mais próxima da **copiapita** (Mg, Al, Fe) e, o outro, branco, de composição semelhante à **hexahydrata** (Mg, Zn, Fe).

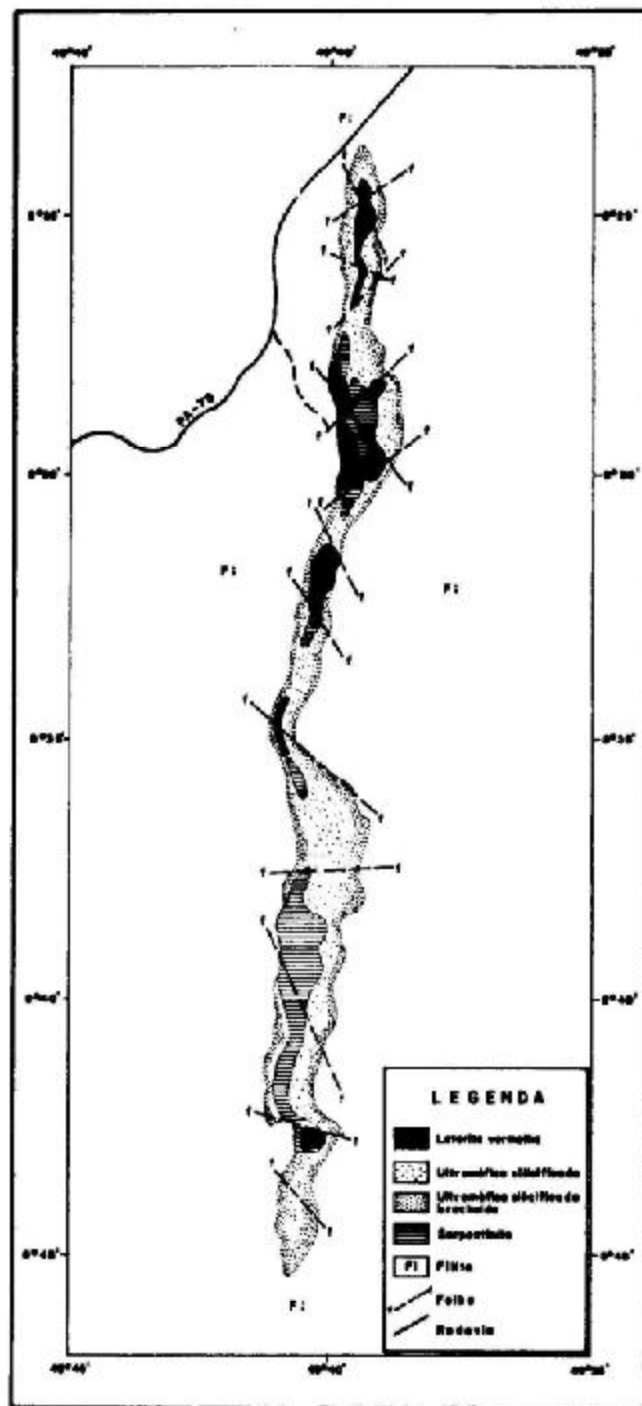
Localmente as **intrusões básicas** são representadas por diques de diabásio, olivina, basalta e lentes e veios de gabros (troctolito e hyperito). Esses últimos possuem aspecto nodular. Os corpos lenticulares de dunito, piroxenito pegmatóide, gabros, que ocorrem em toda a extensão da estrutura, representam a fase ígnea final.

Os falhamentos locais, subverticais e de direções variando de NE a NW, ocasionaram o fraturamento intenso do corpo, permitindo a percolação de soluções hidrotermais em diferentes fases.

O maior evento metamórfico conseqüente foi a **serpentinização** total do corpo ultramáfico. As texturas das rochas ígneas foram preservadas enquanto a olivina era serpentizada, com a liberação de magnetita secundária. Uma fina disseminação de sulfetos de Fe-Ni-Cu foi cristalizada nesse estágio, provavelmente proveniente de material já existente nos diferentes tipos de rochas ígneas, ou devido à migração, seguida de associação com os elementos metálicos oriundos da ultramáfica, do enxofre existente no chert negro encaixante.

Um evento separado e subseqüente é a adicional alteração hidrotermal da ultramáfica serpentizada para talco e carbonato.

**MACIÇO ULTRAMÁFICO DE QUATIPURU
GEOLOGIA LOCAL**



O desenvolvimento de talco conduziu a liberação de ferro e recristalização de magnetita, produzindo, nos locais, anomalias magnéticas.

O último ciclo hidrotermal é caracterizado por veios predominantemente de serpentina (antigorita e crisotila), associados, nos bordos, com veios de magnetita.

Os processos de laterização que atuaram sobre o maciço, produziram sua silicificação parcial e, também, a formação de peneplosos enriquecidos em níveis laterítico, cujo estudo será relatado a seguir.

IV – GEOLOGIA ECONÔMICA

a) Jazimento de níquel laterítico

A ocorrência de níquel laterítico de Quatipuru é do tipo clássico, com concentrações de níquel de baixos teores (1 a 3%), resultante da combinação dos seguintes fatores:

– “bed-rock” de decomposição ultramáfica (dunito e peridotito) com teor de 0,2-0,3%Ni. O Ni substitui átomos de Mg nas estruturas dos minerais ferromagnesianos;

– Fraturamento desse “bed-rock”, propiciando a infiltração de águas ricas em CO₂ e N₂, provocando decomposição profunda. O intemperismo químico destrói a estrutura da olivina e libera, entre outros elementos, Ni, Fe, Mg e sílica, seguindo suas migrações e concentrações em níveis específicos;

– laterização em topografia plana e clima favorável (quente e úmido).

Em Quatipuru, nos locais favoráveis a esse tipo de concentração, foram localizados 150 poços, distribuídos em quatro malhas de pesquisa (200 x 200m), tendo sido perfurado um total de 740 metros lineares e retiradas, por canal (1 amostra por metro), 760 amostras.

A simbologia utilizada, para efeito de amostragem de poços, resume as características físicas dos diferentes níveis de alteração observados no decorrer dos trabalhos de pesquisa, podendo ser assim definidas:

– laterita vermelha (LV) – de aspecto argiloso, caracterizada por sua cor marrom-avermelhada e presença de nódulos ferruginosos;

– canga (Cg) – em blocos compactos ou formando pequenos lajeados, constituída de óxidos de ferro e fragmentos de rocha ultramáfica intemperizada dispersos na matriz;

– laterita amarela (LA) – ocorre imediatamente abaixo da canga; sua cor é vermelha-amarelada, mais plástica que a laterita vermelha, não apresentando nódulos ferruginosos. O teor em Fe é ainda alto, podendo apresentar bons teores em Ni;

– serpentinito – foram considerados cinco níveis de alteração, a saber:

S₅ – nesse nível o serpentinito apresenta o seu mais alto grau de alteração. É friável (terroso ou com boa plasticidade), possuindo, ainda, indícios de textura original. Sua cor varia do vermelho ao amarelo-esverdeado.

S₄ – a rocha, nesse estágio, apresenta aspecto de sabonete, ainda bastante friável, cor verde-claro.

S₃ – rocha já com boa tenacidade, bastante fraturada (característica principal), podendo as fraturas ser preenchidas por garnierita, magnesita ou sílica.

S₂ – rocha quase fresca, cor tendendo a verde-escuro. Nesse estágio o teor de Ni é baixo, próximo do teor normal da rocha original.

S₁ – rocha fresca.

Foram executadas quatro determinações do peso específico do minério seco, sendo a média aritmética obtida, igual a 1,42 g/cm³, utilizada no cálculo do potencial.

O potencial obtido foi da ordem de 13 milhões de toneladas de minério com teor médio de 1,3% Ni.

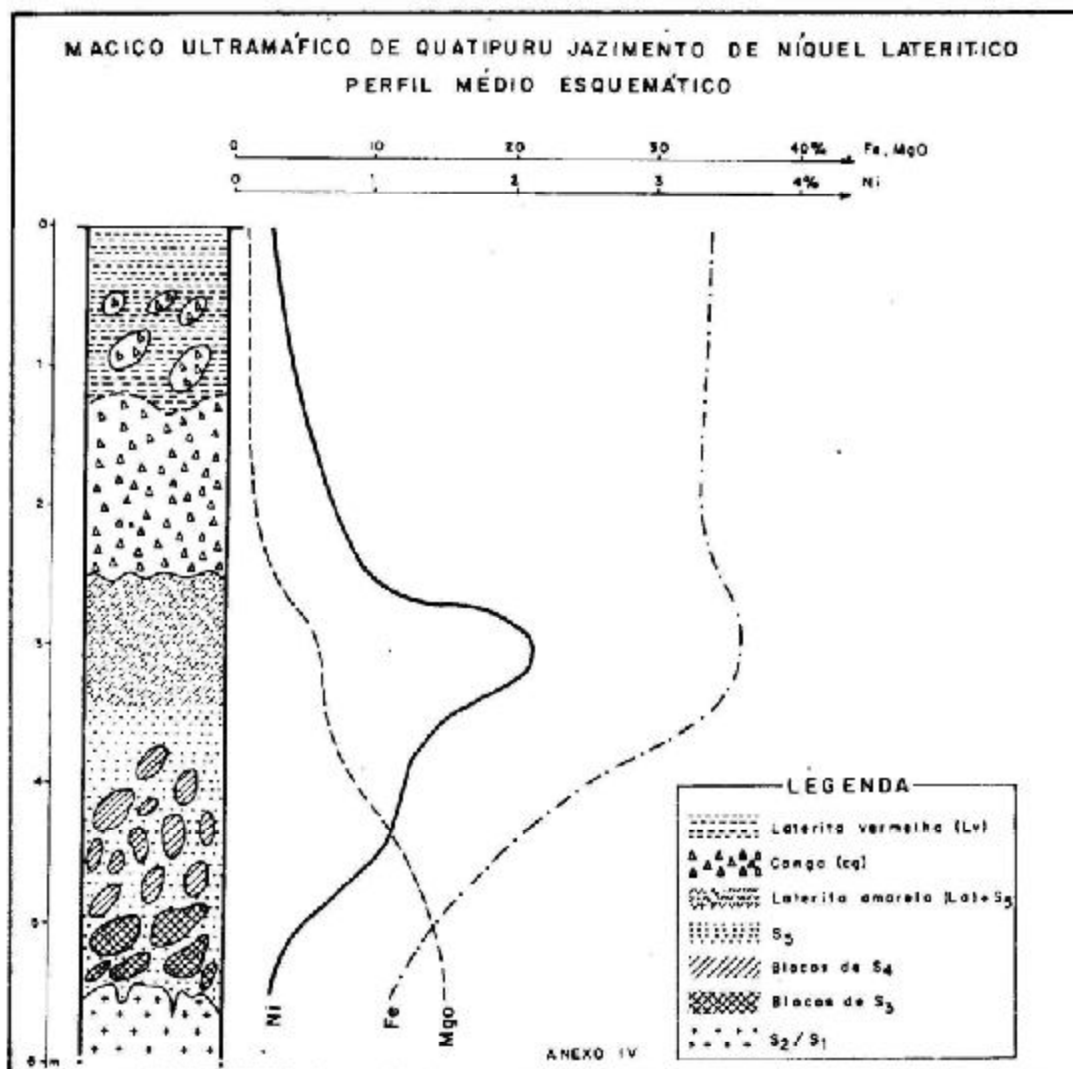
Observando-se o perfil médio, esquemático, de Quatipuru pode-se notar:

- maior enriquecimento de Ni e Fe no nível LA + S₅;
- teores de magnésio relativamente baixos;
- espessura média de alteração, dos poços mineralizados, pequena (5,50m);
- níveis de alteração mal definidos;

Baseando-se nos dois últimos itens, pode-se concluir que a ação dos agentes de intemperismo não foi o suficiente para provocar a decomposição necessária a concentrações econômicas de níquel laterítico.

b) Ocorrências de cromita

Em toda a extensão do maciço afloram inúmeras pequenas ocorrências de cromita, em vieiros e bolsões, associadas, geralmente, as lentes de dunito serpentinizado.



A cromita, de aspecto maciço, disseminado e nodular, apresenta-se com fraturas preenchidas por serpentina.

Os afloramentos mais notáveis são de cromita nodular, cujos nódulos, ovais, apresentam-se fraturados e achatados segundo seu eixo principal (4 cm).

Determinações químicas indicaram uma relação média $Cr/Fe = 2$, característica mais aproximada do tipo refratário.

c) Ocorrências de sulfetos e amianto

Afloramentos apresentando veios de amianto crisotila ("cross fibre"), com fibras de até 1 cm de comprimento, ocorrem em alguns pontos da estrutura. Disseminações de sulfetos de Fe-Ni-Cu foram também, notadas na ultramáfica de Quatipuru.

Esses dois tipos de mineralizações estão sendo, atualmente, pesquisados por métodos geofísicos de detalhe (magnetometria, IP e EM). Importantes anomalias já detectadas serão, posteriormente, alvos de sondagem.

BIBLIOGRAFIA

BARBOSA et al (1966) - "Geologia Estratigráfica, Estrutural e Econômica da Área do Projeto Araguaia."

PROJETO RADAMBRASIL - 1974 - "Geologia da Folha SB-22 Araguaia e parte da Folha SC-22 Tocantins". Vol. 4.

ESTUDO GEOQUÍMICO ORIENTATIVO NA ÁREA DO PROJETO SERRA DE JACOBINA, ESTADO DA BAHIA

Dorival Correia Bruni*
Luís A. A. de Toledo*
J. Erasmo de Oliveira*

ABSTRACT

This paper presents the results of a geochemical orientation study carried out in the extent of the Serra de Jacobina metallogenetic province Bahia. In order to test the geochemical parameters, three test-targets, bearing mineral occurrences (emerald and molybdenite; gold and uranium; and chromite), were selected. Current sediment, heavy minerals concentrates, soil and rock samples were collected. Two types of analyses were processed: emission spectrography for 30 elements, and atomic absorption spectrophotometry for Cu, Ni, Co, Mn and Au. Several statistical programs were applied. The convenience of collecting current sediment and heavy minerals concentrates samples according to a density of one sample for each 5 and 10 km² respectively became clear. The size fraction below 80 mesh was defined as the ideal for geochemical analyses. The associations of elements in the secondary dispersion environment (soil and sediment) showed to be good indicators of the specific mineralizations and of its genetic ascendancy. It was concluded that the dispersion of the elements obey to predominantly clastic patterns.

INTRODUÇÃO

O Projeto Serra de Jacobina (Convênio DNPM-CPRM) inclui em sua programação o reconhecimento geoquímico na totalidade da área abrangida de 7.120 km² (figura 1) na região central do Estado da Bahia.

A Serra de Jacobina é constituída de uma província metalogenética das mais importantes na economia mineral brasileira, estando a ela vinculada as maiores reservas de cromo do País, a maior produção nacional de esmeraldas, além de importantes reservas de barita. Destaque especial também merecem mineralizações de ouro, urânio e manganês.

Com vistas à obtenção de subsídios necessários ao reconhecimento geoquímico regional, foram desenvolvidas em três alvos-teste (figura 1) estudos orientativos visando uma melhor caracterização dos parâmetros geoquímicos e avaliação dos padrões dominantes no ambiente de dispersão secundária. Foram selecionadas três áreas reconhecidamente mineralizadas, abrangendo um total de aproximadamente 150 km, com amostragem de sedimento, concentrado de bateia, solo e rocha.

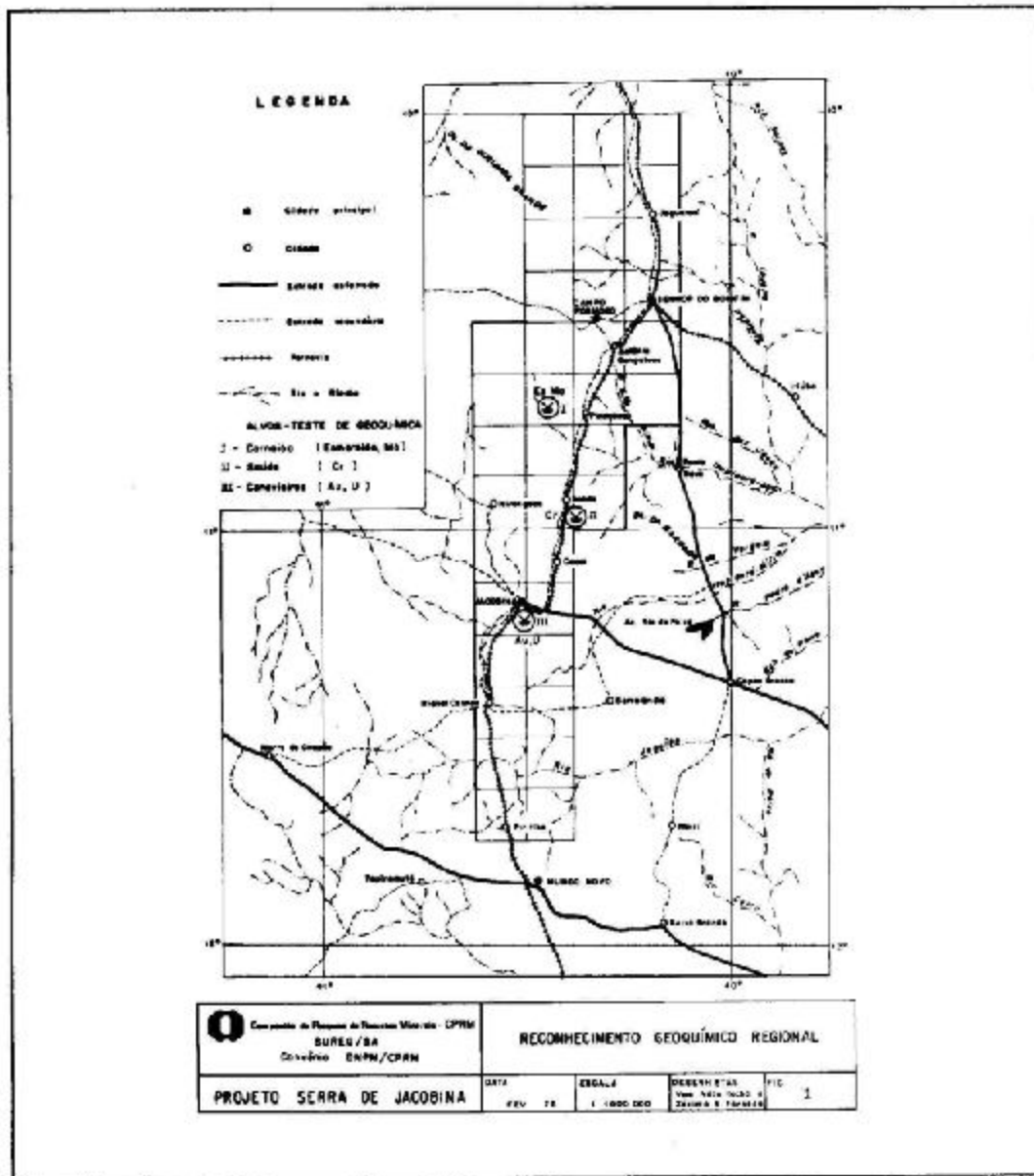
Mais especificamente, a prospecção geoquímica orientativa teve os seguintes objetivos: (1) definir os métodos analíticos e a granulometria mais indicados para o estágio de reconhecimento regional; (2) determinar os elementos ou associações vinculadas a corpos mineralizados quer diretamente (elementos indicadores) ou indiretamente (elementos farejadores); (3) promover a adequação da densidade de amostragem em grau de detalhamento e reconhecimento regional; (4) determinar a eficácia dos meios de amostragem com vistas a indicação da presença de mineralizações; (5) determinar os parâmetros estatísticos dos principais elementos.

FEIÇÕES GEOLÓGICAS

O Grupo Jacobina é constituído de uma seqüência geológica homogênea, limitada por fa-

* Geólogos da CPRM (SUREG/SA)

Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais — CPRM
Superintendência Regional de Salvador
Rua Barros Falcão, 21 — Matatu
40.000 — Salvador — Bahia — Brasil



lhas nos flancos leste e oeste, enclavada no complexo cristalino, constituído de migmatitos (meta-texitos e diatexitos), gnaisses, granitos, rochas básicas e ultrabásicas e quartzitos. As rochas deste grupo são correlacionadas às do Grupo de Minas, de idade Pré-Cambriana. As datações geocronológicas realizadas por CORDANI et alii (1969) forneceram idades próximas a 2.000 m. a. ficando incluída no Pré-Cambriano Médio e Inferior. As rochas que a constituem sofreram um intenso tectonismo e foram cortadas longitudinalmente por falhas. A estas rochas associam-se rochas básicas e ultrabásicas e constituem sede de importantes mineralizações entre as quais se salientam as de manganês que ocorrem em vários locais, as de ouro e urânio em Jacobina (Canavieiras), ametista, baritina, etc.

O bordo oeste da serra apresenta igualmente, particular interesse. Entre os granitos e os quartzitos basais, uma faixa alongada de rochas ultrabásicas, fornece a cromita explorada na região de Campo Formoso. A jazida de Carnaliba, associada a ultrabásica, apresenta provavelmente a mesma posição estrutural que a jazida de cromita e são portadoras de esmeralda e molibdenita. No bordo leste da Serra, no Distrito Cromitífero de Saúde foi assinalada a presença de cromita associada também a rochas ultrabásicas.

OCORRÊNCIAS MINERAIS TESTADAS

O estudo orientativo foi desenvolvido em três diferentes alvos-teste portadores de ocorrências minerais.

A esmeralda é explorada na mina de Carnaíba (Alvo-teste I), juntamente com o berilo industrial, numa faixa de flogopita-xisto (sludito), resultante da ação de veios pegmatíticos e de quartzo sobre as rochas ultrabásicas em processo metassomático. A faixa de sludito tem espessura variável de 1 a 3 metros e a esmeralda apresenta-se disseminada ou em agregados, associada à molibdenita e a mica preta, principalmente. A jazida pode ser classificada segundo FERSMAN, como pertencente ao tipo 21 (Oligoclasitos) dos pegmatitos híbridos (in GRIFFON et alii, 1967). A jazida de esmeralda de Leydsdorp (Transvaal), é a que apresenta maior semelhança com a de Carnaíba.

Dois ocorrências de cromita são assinaladas a SE de Saúde. Os teores encontrados situam-se em torno de 30% de Cr_2O_3 . A primeira ocorrência, na Fazenda Boa Vista, está localizada numa lente de rocha ultrabásica serpentinizada de direção N40°E, encaixada na unidade de migmatitos dia-texitos, metatexitos e gnaisses não diferenciados. Apresenta uma largura de 150 metros na extremidade NE, afinando para SW, onde possui largura média de 15 metros. A segunda, na Faz. Passagem (Alvo-teste II), uma pequena lente de direção N60°E apresenta as mesmas características geológicas da mina Boa Vista, porém a granulação do cromitito é mais fina.

Na mina de Canaveiras (Alvo-teste III), próxima à cidade de Jacobina, ouro ocorre associado aos metaconglomerados da Formação Serra do Corrego e a sua origem é considerada sedimentar, com remobilização posterior por soluções hidrotermais (LEO, 1964). O metaconglomerado tem uma espessura aproximada de 1,50 metros, sua altitude é praticamente N-S com mergulho aproximado de 50°E. A zona mineralizada contém disseminações de pirita, arsenopirita e ouro. O leito mais superior do metaconglomerado apresenta teor menor que o leito basal, com camada central estéril. O mineral uraninita ocorre associado aos conglomerados auríferos da Serra de Jacobina, sendo que o minério de ouro da mina de Canaveiras contém uma percentagem de 0,005 a 0,03 equivalente a urânio.

TÉCNICAS DE AMOSTRAGEM E ANÁLISE

Nos três alvos-teste foram coletadas 142 amostras de sedimento de corrente, 42 de concentrado de minerais pesados, 82 de solo e 34 de rocha. As amostras de sedimento de corrente e as de concentrado foram tomadas segundo uma densidade média de uma amostra para cada 1 km² e 3 km² respectivamente.

Preliminarmente, para 15 amostras de sedimento de corrente e 13 de solo foram processadas separações para testes em três frações granulométricas: + 20 mesh, - 20 a + 80 mesh, e - 80 mesh. Posteriormente, em função da melhor eficácia da fração - 80 mesh, todas as demais amostras foram preparadas para análise nessa fração.

A amostragem de sedimento, predominantemente siltico-argiloso, foi do tipo composta, englobando três amostras coletadas a espaçamentos de 5 metros ao longo da calha dos riachos. Os concentrados de minerais pesados foram tomados a partir de 10 litros de cascalho e material arenoso. As amostras de solo foram coletadas em perfis verticais e horizontais contíguos às mineralizações.

Para a totalidade das amostras coletadas foram processadas análises pelo método de espectrografia de emissão ótica para os seguintes elementos: Fe, Mg, Ca, Ti, Mn, Ag, As, Au, B, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, La, Mo, Nb, Ni, Pb, Sb, Sc, Sn, Sr, V, W, Y, Zn e Zr.

Adicionalmente, foram realizadas análises para cobre, níquel, cobalto e manganês por espectrofotometria de absorção atômica nas amostras de sedimento, solo e rocha, enquanto que os concentrados de minerais pesados foram analisados apenas para ouro. Para os quatro primeiros elementos foram utilizadas aberturas com ácido nítrico concentrado a quente e com água régia.

CARACTERIZAÇÃO DAS ASSOCIAÇÕES GEOQUÍMICAS DOS ELEMENTOS

As populações amostradas nos três alvos-teste foram submetidas, separadamente, à aplicação de técnicas estatísticas, com avaliação dos principais parâmetros (tabela 1), incluindo média, desvio padrão, coeficiente de variação, etc., em sedimento, concentrado, solo e rocha.

As associações geoquímicas dos elementos foram também estudadas através das matrizes de correlação em sedimento de corrente (tabela 2), concentrado de bateia (tabela 3), solo (tabela 4), rocha (tabela 5) e em 3 diferentes frações granulométricas de sedimento e solo (tabela 6).

Nos comentários subseqüentes, referentes às associações geoquímicas, foram constantemente buscados fundamentos teóricos em LEVINSON (1974) e GOLDSCHMIDT (1970).

Sedimento de Corrente — A distribuição dos elementos ou das suas eventuais associações no ambiente de dispersão secundária, especialmente em sedimento, forneceu subsídios úteis à caracterização das suas ascendências primárias.

OBSERVAÇÕES

CONVÊNIO
 DNPM - CPRM
 SUREG / SA
 SEÇÃO DE GEOQUÍMICA

- 1- O FATOR DE ENRIQUECIMENTO É AQUI CONSIDERADO COMO SENDO A RAZÃO ENTRE O TEOR MÉDIO DO TEOR MÁXIMO DE CADA ELEMENTO NOS ALVOS-TESTES E O TEOR MÉDIO PARA O MESMO ELEMENTO NA CRUSTA TERRESTRE. (VERE TABELA COMPARATIVA À DIREITA)
- 2- A MÉDIA E O DESVIO SÃO GEOMÉTRICOS, EXPRESSOS EM PPM. (EXCETO PARA Fe, Mg, Cu E Ti EXPRESSOS EM PORCENTAGEM).
- 3- AS ANÁLISES FORAM REALIZADAS POR ESPECTROGRAFIA DE EMISSÃO (E) E ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA (A.A.).
- 4- OS VALORES MENORES O LIMITE DE SENSIBILIDADE FORAM MULTIPLICADOS POR 0,5 E OS ACIMA DO LIMITE SUPERIOR DA SENSIBILIDADE MULTIPLICADOS POR 1,6 (DADOS CENSURADOS)
- 5- A LETRA N INDICA VALORES NÃO DETECTADOS E A LETRA H INDICA VALORES SUJEITOS A INTERFERÊNCIA NA LEITURA DA ANÁLISE, PORTANTO POUCO CONFIÁVEIS
- 6- NO ALVO-TESTE DE SAÚDE, FORAM REGISTRADOS PARA NO-CHAS OS SEQUINTEIS TEORES MÁXIMOS: Cr (4000 ppm), Cu (200 ppm), Ni (10 ppm), Ni (200 ppm), Fe (20%), Mn (1500 ppm)
- 7- NO ALVO-TESTE DE CARNAÍBA FORAM REGISTRADOS PARA ROCHA OS SEQUINTEIS TEORES MÁXIMOS: Mg (10%), Ca (10%), Mn (2000 ppm), B (1000 ppm), Be (1000 ppm), Ba (1000 ppm), Bi (150 ppm), Cr (4000 ppm), La (100 ppm), Mo (1000 ppm), Na (50 ppm), Sc (100 ppm), V (1500 ppm), Y (100 ppm) E Zn (700 ppm)
- 8- TEORES MÁXIMOS REGISTRADOS EM SOLO DE CANAVIEIRAS: Co (150 ppm), Cr (4000 ppm), Cu (150 ppm), La (50 ppm), Ni (200 ppm), Pb (30 ppm), V (500 ppm), Fe (20%)
- 9- AS ANÁLISES DE PRATA POR ABSORÇÃO ATÔMICA SOFRERAM INTERFERÊNCIAS SISTEMÁTICAS NAS LEITURAS. VARIAÇÃO: 0,5 - 2,0 ppm (ABSENT. A NÍTRICO)

SUMÁRIO DOS ESTIMADORES REFERENTES AOS DIVERSOS
 MEIOS AMostrADOS NOS TRÊS ALVOS-TESTE DO
 ESTUDO ORIENTATIVO DO PROJETO SERRA DE JACOBINA
 - DISTRIBUIÇÃO SUPOSTA LOGNORMAL -

TABELA 1 (1ª PARTE)

Associação Cu - Ni - Co - (Fe - Mn): aparece bem evidenciada nos três alvos-teste realçando a ascendência ultramáfica pertinentes à população amostrada, em que pese as oscilações dos teores médios e os diferentes graus de dispersão relativa (tabela 1). O cobre em Carnaíba e Saúde aparece fortemente associado a Co, V e Sc (tabela 2), estando em Carnaíba significativamente correlacionado ao Ni, e em Saúde com Fe, Y e Pb. A amostra JE-S-47 registra associação dos elementos Cu (35 ppm) - Ni (450 ppm) - Mn (200 ppm) refletindo a influência do corpo serpentínico encaixante da mina do Mundé (esmeralda e molibdenita).

As melhores médias são registradas para Cr e Ni em Carnaíba, para Cu em Saúde e para Co em Canavieiras. O cromo mostra uma melhor dispersão relativa em sedimentos da área de Canavieiras. No alvo-teste de Saúde o caráter clástico da dispersão secundária do cromo é especialmente observada nas drenagens pertinentes às duas minas ali circunscritas. O níquel aparece mais disperso nos sedimentos de Carnaíba (tabela 1).

Com relação aos metais Cu, Ni e Co, normalmente bastante móveis, nota-se nas áreas pesquisadas que o pH registrado, próximo da neutralidade, inibe consideravelmente a migração dos mesmos, favorecendo a dominância de padrões clásticos de dispersão relativamente aos hidromórficos. O

| ALVO - TESTE DE SAÚDE (OCORRÊNCIA DE CROMO DA FAZ PASSAGEM) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--|--|
| Módulo (Z) | SEDIMENTO OF CORRENTE | | | | | | | | | | CONCENTRADO OF BATEIA | | | | | | | | | | SOLO RESIDUAL | | | | | | | | | | |
| | VARIAÇÃO MIN-MAX | SEMI-MAX (E) | SEMI-MIN (L) | SEMI-MAX (E) | SEMI-MIN (L) | SEMI-MAX (E) | SEMI-MIN (L) | SEMI-MAX (E) | SEMI-MIN (L) | SEMI-MAX (E) | SEMI-MAX (E) | SEMI-MIN (L) | SEMI-MAX (E) | SEMI-MIN (L) | SEMI-MAX (E) | SEMI-MIN (L) | SEMI-MAX (E) | SEMI-MIN (L) | SEMI-MAX (E) | SEMI-MIN (L) | SEMI-MAX (E) | SEMI-MIN (L) | SEMI-MAX (E) | SEMI-MIN (L) | SEMI-MAX (E) | SEMI-MIN (L) | SEMI-MAX (E) | SEMI-MIN (L) | SEMI-MAX (E) | | |
| Fe-S | 1,24 | 0,10 | 5,00 | 2,25 | 0,95 | 24,24 | 4,14 | 3,31 | 0,39 | 1,07 | 3,94 | 1,0 | 15,0 | 2,41 | 1,08 | 30,10 | 9,50 | 22,88 | 4,97 | 2,0 | 15,0 | 1,88 | 0,77 | 21,21 | 9,88 | 19,28 | 1,07 | 3,25 | | | |
| Mg-S | 0,19 | 0,05 | 0,70 | 2,08 | 0,65 | 24,24 | 0,39 | 0,82 | 0,08 | 0,32 | 0,12 | 0,05 | 0,50 | 2,79 | 1,37 | 10,10 | 0,53 | 0,93 | 0,23 | 0,70 | 18,0 | 3,04 | 1,84 | 20,24 | 4,82 | 10,88 | 1,02 | 4,88 | | | |
| Ca-S | 0,17 | 0,05 | 0,70 | 2,81 | 1,15 | 22,24 | 0,28 | 0,74 | 0,09 | 0,15 | 0,08 | 0,025 | 0,70 | 3,11 | 1,62 | 8,10 | 0,28 | 0,66 | 0,78 | 0,50 | 2,00 | 1,34 | 0,46 | 21,21 | 1,22 | 1,87 | 0,17 | 0,43 | | | |
| Ti-S | 0,52 | 0,15 | 1,00 | 1,83 | 0,52 | 24,24 | 0,84 | 1,38 | 0,81 | 1,78 | 1,33 | 0,70 | 1,80 | 1,29 | 0,28 | 2,10 | 1,72 | 2,22 | 0,28 | 0,40 | 0,70 | 1,75 | 0,40 | 21,21 | 0,48 | 1,19 | 0,68 | 1,23 | | | |
| Mn-S | 307 | 30 | 700 | 2,11 | 0,85 | 24,24 | 0,83 | 1,67 | 0,32 | 0,74 | 50,3 | 500 | 8000 | 2,97 | 0,98 | 10,10 | 3,412 | 7,45 | 884 | 300 | 2000 | 1,70 | 0,87 | 21,21 | 10,81 | 180,3 | 0,88 | 2,11 | | | |
| B-S | 77,8 | 20 | 200 | 1,71 | 0,57 | 24,24 | 1,33 | 2,21 | 7,78 | 20,00 | 91,7 | 20 | 300 | 2,07 | 0,84 | 10,10 | 1,80 | 3,93 | 18,2 | 5 | 500 | 0,31 | 1,78 | 19,28 | 1,53 | 50,6 | 4,82 | 50 | | | |
| Ba-S | 157,7 | 50 | 500 | 1,89 | 0,72 | 24,24 | 1,11 | 6,24 | 0,27 | 1,18 | 7,70 | 10 | 70 | 1,84 | 0,90 | 9,10 | 42,5 | 6,9 | 182 | 30 | 1000 | 2,15 | 0,89 | 21,21 | 3,91 | 84,1 | 0,45 | 2,35 | | | |
| Ni-S | 0,44 | 0,50 | 1,50 | 1,44 | 0,38 | 8,24 | 0,92 | 1,3 | 0,23 | 0,54 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Co-S | 11,4 | 2,5 | 20 | 1,84 | 0,46 | 23,24 | 1,75 | 2,70 | 0,46 | 0,80 | 11,7 | 5 | 20 | 1,57 | 0,47 | 10,10 | 18,4 | 28,8 | 14,6 | 10 | 150 | 2,3 | 1,01 | 21,21 | 7,2 | 18,6 | 1,26 | 5,00 | | | |
| Cr-S | 397 | 150 | 1500 | 2,21 | 0,94 | 24,24 | 8,77 | 15,58 | 3,97 | 5,00 | 250 | 1000 | 7800 | 1,90 | 0,71 | 9,10 | 4779 | 3075 | 1241 | 500 | 7500 | 2,21 | 0,87 | 18,21 | 7,852 | 1870,1 | 32,4 | 35 | | | |
| Cu-S | 14,5 | 2,5 | 30 | 2,45 | 1,1 | 21,24 | 10,5 | 87,0 | 0,28 | 0,5 | 10,8 | 2,5 | 20 | 1,95 | 0,36 | 9,10 | 21,2 | 41,5 | 35,7 | 15 | 150 | 2,30 | 1,00 | 21,21 | 8,2 | 18,8 | 0,66 | 2,73 | | | |
| Li-S | 23,8 | 20 | 50 | 1,31 | 0,27 | 17,24 | 0,2 | 40,3 | 0,79 | 1,07 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mo-S | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nb-S | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M-S | 44,5 | 10 | 150 | 2,05 | 0,82 | 24,24 | 9,8 | 1,93 | 0,02 | 7,00 | 25,4 | 10 | 70 | 2,07 | 0,84 | 10,10 | 84 | 113 | 280 | 70 | 500 | 2,33 | 1,04 | 21,21 | 8,88 | 184,8 | 1,73 | 13,53 | | | |
| Pb-S | 0,2 | 0 | 70 | 2,30 | 1,00 | 3,24 | 23,5 | 54 | 0,52 | 1,65 | 7,85 | 5 | 15 | 1,31 | 0,43 | 8,10 | 11,3 | 118 | 14,8 | 5 | 30 | 1,72 | 0,88 | 18,21 | 27,2 | 16,7 | 1,28 | 2,44 | | | |
| Sr-S | 0,8 | 2,5 | 20 | 1,85 | 0,67 | 19,24 | 16,1 | 31,5 | 0,62 | 1,23 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| V-S | 53,5 | 15 | 150 | 1,86 | 0,44 | 24,24 | 49 | 184 | 0,59 | 1,1 | 69,8 | 30 | 150 | 1,6 | 0,50 | 9,10 | 12 | 161 | 63,8 | 30 | 190 | 1,97 | 0,47 | 21,21 | 100 | 187 | 0,47 | 1,11 | | | |
| Zn-S | 13,9 | 5 | 30 | 1,88 | 0,70 | 19,24 | 24,1 | 49,1 | 0,48 | 1,00 | 29,3 | 10 | 100 | 2,22 | 0,84 | 9,10 | 68 | 44 | 16,1 | 5 | 70 | 1,93 | 0,74 | 19,21 | 31,1 | 60 | 0,94 | 2,33 | | | |
| Zr-S | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Zr-S | 4,59 | 300 | 1000 | 1,49 | 0,42 | 24,24 | 6,92 | 1040 | 2,70 | 6,08 | 984 | 100 | 1,000 | 1,85 | 0,47 | 9,10 | 1820 | 3588 | 312 | 50 | 1000 | 2,54 | 1,17 | 21,21 | 7,92 | 2015 | 1,89 | 6,06 | | | |
| Mn-AA | 63 | 5 | 840 | 3,77 | 1,55 | 24,24 | 45,2 | 1251 | 0,17 | 0,57 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ca-AA | 2,6 | 2,5 | 40 | 7,18 | 0,82 | 33,24 | 27,5 | 60 | 0,23 | 0,73 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ni-AA | 20,9 | 10 | 80 | 1,89 | 0,26 | 14,24 | 49,8 | 83 | 0,39 | 1,13 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Co-AA | 0,7 | 5 | 20 | 1,84 | 0,30 | 24,24 | 20,0 | 32,8 | 0,40 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Al-AA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

TABELA 1 (2ª PARTE)

| ALVO-TESTE DE CARNAIBA (OCORRÊNCIA DE ESMERALDA E MOLIBDÊNITA) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------|------------|----------------|-------------|--------------|-----------|-----------|-------------|--------------|------------|----------------|-----------|--------------|-----------|-----------|----------|--------------|------------|----------------|----------|--------------|-----------|-----------|----------|--------------|------------|----------------|----------|--------------|-----------|-----------|--|--|--|
| SEDIMENTO | | | | DE CORRENTE | | | | CONCENTRADO | | | | DE BATEIA | | | | SOLO | | | | RESIDUAL | | | | | | | | | | | | | | |
| MEIA (G) | VARIACÃO (G) | DETADE (G) | COEF. VAR. (%) | GRAU (G) | LINEARES (G) | RAZÃO (G) | RAZÃO (G) | MEIA (G) | VARIACÃO (G) | DETADE (G) | COEF. VAR. (%) | GRAU (G) | LINEARES (G) | RAZÃO (G) | RAZÃO (G) | MEIA (G) | VARIACÃO (G) | DETADE (G) | COEF. VAR. (%) | GRAU (G) | LINEARES (G) | RAZÃO (G) | RAZÃO (G) | MEIA (G) | VARIACÃO (G) | DETADE (G) | COEF. VAR. (%) | GRAU (G) | LINEARES (G) | RAZÃO (G) | RAZÃO (G) | | | |
| 1,89 | 0,03 | 10 | 1,48 | 1,94 | 37,38 | 6,58 | 22,89 | 0,41 | 2,15 | 1,07 | 0,05 | 10 | 4,74 | 3,20 | 12,12 | 4,83 | 20,57 | 4,61 | 1,00 | 20 | 2,45 | 1,11 | 28,28 | 11,28 | 27,07 | 0,39 | 4,20 | | | | | | | |
| 0,54 | 0,02 | 10 | 4,87 | 3,38 | 38,28 | 2,83 | 10,81 | 0,25 | 4,33 | 0,18 | 0,02 | 0,70 | 2,70 | 1,32 | 19,12 | 0,36 | 0,95 | 0,41 | 0,07 | 10 | 4,85 | 5,23 | 28,28 | 1,99 | 0,84 | 0,19 | 4,58 | | | | | | | |
| 6,11 | 0,05 | 1,0 | 2,77 | 1,55 | 33,28 | 0,30 | 0,84 | 0,02 | 0,31 | 0,05 | 0,03 | 0,20 | 2,41 | 1,08 | 6,12 | 0,12 | 0,25 | 0,05 | 0,03 | 0,70 | 2,43 | 1,08 | 12,18 | 0,12 | 0,30 | 0,01 | 0,15 | | | | | | | |
| 4,94 | 0,20 | 1,8 | 1,01 | 0,50 | 29,39 | 1,51 | 2,45 | 1,85 | 2,43 | 0,22 | 0,07 | 0,50 | 1,96 | 0,75 | 10,12 | 0,43 | 0,88 | 0,47 | 0,10 | 1,50 | 3,54 | 1,17 | 23,28 | 1,19 | 3,03 | 0,82 | 2,65 | | | | | | | |
| 328 | 5,00 | 5000 | 6,05 | 2,46 | 37,38 | 1328 | 5380 | 0,35 | 5,16 | 130 | 10 | 500 | 3,56 | 1,83 | 12,12 | 437 | 1400 | 121 | 30 | 1000 | 2,49 | 1,44 | 28,28 | 330 | 1011 | 0,13 | 505 | | | | | | | |
| 425 | 20 | 1000 | 2,98 | 1,50 | 38,38 | 1258 | 3124 | 0,25 | 200 | 700 | 55 | 2000 | 2,62 | 1,24 | 12,12 | 1834 | 4805 | 87 | 5,0 | 1000 | 4,33 | 2,78 | 28,28 | 377 | 1631 | 9,70 | 100 | | | | | | | |
| 84,3 | 1,0 | 500 | 5,08 | 1,58 | 36,38 | 239 | 798 | 0,20 | 1,18 | 14,7 | 10 | 30 | 1,88 | 0,70 | 4,12 | 27,8 | 82 | 47,1 | 10 | 500 | 5,29 | 2,72 | 21,28 | 155 | 510 | 0,31 | 1,18 | | | | | | | |
| 10,8 | 0,5 | 200 | 6,57 | 5,00 | 30,38 | 71 | 458 | 0,85 | 2162 | 2,4 | 0,50 | 150 | 8,41 | 9,61 | 7,12 | 28,8 | 240 | 2,13 | 0,50 | 150 | 4,27 | 2,69 | 20,28 | 9,5 | 40,7 | 0,80 | 84 | | | | | | | |
| 36,9 | 5,00 | 1500 | 9,47 | 2,46 | 38,38 | 567 | 5572 | 1,42 | 88,3 | N=0 | 1000 | | | | | | | 18,8 | 5,0 | 1500 | 5,04 | 3,56 | 5,28 | 68 | 343 | 7,9 | 8824 | | | | | | | |
| 11,7 | 2,5 | 100 | 2,56 | 1,19 | 35,38 | 300 | 77 | 0,47 | 400 | N=5 | 50 | | | | | | | 14,6 | 2,5 | 150 | 3,85 | 1,41 | 26,28 | 1,4 | 318 | 0,58 | 6,00 | | | | | | | |
| 1808 | 100 | 7500 | 3,35 | 1,82 | 29,38 | 6057 | 20290 | 18,08 | 75 | 1331 | 150 | 7500 | 3,44 | 1,50 | 16,12 | 4579 | 15751 | 2792 | 150 | 7500 | 2,94 | 1,48 | 16,28 | 2008 | 2833 | 2,92 | 75 | | | | | | | |
| 15,1 | 2,0 | 100 | 3,01 | 1,54 | 30,38 | 28,4 | 1,9 | 0,24 | 1,82 | 7,2 | 2,5 | 50 | 3,28 | 1,77 | 7,12 | 23,7 | 75 | 12,9 | 2,5 | 200 | 3,25 | 1,87 | 19,28 | 383 | 120 | 0,25 | 5,64 | | | | | | | |
| 28,0 | 30 | 150 | 2,00 | 0,79 | 29,38 | 36 | 112 | 0,93 | 5,00 | 6 | N=20 | 200 | | | | | | 57,3 | 20 | 160 | 2,16 | 0,90 | 12,28 | 8,1 | 174 | 1,24 | 5,00 | | | | | | | |
| 1,1 | 2,8 | 1000 | 6,58 | 4,20 | 25,38 | 72 | 400 | 8,73 | 657 | N=3 | 1000 | | | | | | | 6,4 | 2,8 | 700 | 3,35 | 1,80 | 15,28 | 21,3 | 70,97 | 4,27 | 467 | | | | | | | |
| 11,0 | 5,00 | 150 | 2,40 | 1,04 | 25,38 | 26,4 | 63 | 0,30 | 7,00 | 13,8 | 0,9 | 100 | 3,66 | 2,09 | 5,12 | 80 | 182 | 8,1 | 5,0 | 50 | 1,76 | 0,81 | 14,28 | 14,3 | 25,1 | 0,41 | 1,50 | | | | | | | |
| 14,2 | 10 | 1000 | 5,56 | 2,01 | 36,38 | 508 | 1600 | 1,69 | 1332 | 38,8 | 10 | 200 | 3,63 | 2,04 | 11,12 | 140 | 509 | 144 | 10 | 2000 | 4,87 | 3,13 | 20,28 | 172 | 3140 | 1,32 | 1000 | | | | | | | |
| 10,8 | 5,00 | 70 | 2,33 | 1,03 | 21,38 | 25,40 | 899 | 0,86 | 5,60 | 6,5 | 5,0 | 30 | 1,87 | 0,69 | 2,12 | 12,2 | 24,7 | 17,7 | 5,0 | 100 | 2,12 | 0,87 | 22,28 | 37,5 | 80 | 1,42 | 8,00 | | | | | | | |
| 7,4 | 2,5 | 20 | 2,11 | 0,86 | 14,38 | 15,6 | 32,9 | 0,40 | 1,20 | N=5 | 50 | | | | | | | 12,9 | 2,8 | 30 | 2,23 | 0,88 | 21,28 | 23,0 | 55 | 0,81 | 1,80 | | | | | | | |
| 69,1 | 10 | 300 | 3,04 | 0,81 | 28,38 | 210 | 439 | 0,56 | 2,22 | 57 | 10 | 300 | 2,80 | 1,22 | 12,12 | 135 | 382 | 80,6 | 20 | 500 | 2,58 | 1,07 | 26,28 | 216 | 513 | 0,87 | 3,70 | | | | | | | |
| 4,0 | 5,00 | 70 | 2,08 | 0,84 | 21,38 | 23,62 | 60,50 | 0,47 | 2,33 | 8,9 | 5,0 | 30 | 1,78 | 0,61 | 7,12 | 15,4 | 27,5 | 11,0 | 5,0 | 30 | 1,65 | 0,83 | 22,28 | 19,8 | 32,4 | 0,40 | 1,80 | | | | | | | |
| 183 | 100 | 700 | 2,01 | 0,73 | 18,38 | 368 | 739 | 2,61 | 10 | N=200 | 206 | | | | | | | 207 | 100 | 500 | 1,67 | 0,65 | 9,28 | 346 | 377 | 2,86 | 7,14 | | | | | | | |
| 394A | 100 | 600 | 1,64 | 0,54 | 21,38 | 1641 | 2707 | 8,51 | 9,00 | 80,3 | 100 | 1800 | 2,30 | 1,00 | 7,12 | 1847 | 4818 | 3,81 | 50 | 1500 | 2,96 | 1,50 | 24,28 | 1157 | 3426 | 2,17 | 3,08 | | | | | | | |
| 70,6 | 2,5 | 150 | 4,16 | 2,57 | 37,38 | 894 | 1822 | 0,07 | 0,79 | | | | | | | | | 33,8 | 2,5 | 580 | 4,31 | 3,40 | 27,28 | 145 | 828 | 0,04 | 0,88 | | | | | | | |
| 7,0 | 2,5 | 55 | 2,23 | 0,98 | 28,38 | 15,6 | 34,8 | 0,13 | 0,64 | | | | | | | | | 10,0 | 2,5 | 110 | 3,00 | 1,84 | 28,28 | 30,0 | 90 | 0,16 | 2,00 | | | | | | | |
| 61,4 | 2,8 | 420 | 4,04 | 2,40 | 36,38 | 187 | 674 | 0,86 | 5,60 | | | | | | | | | 40,0 | 2,8 | 1500 | 4,36 | 4,49 | 26,28 | 278 | 1938 | 0,53 | 2000 | | | | | | | |
| 11,7 | 2,5 | 60 | 2,41 | 1,08 | 35,38 | 27,0 | 85 | 0,45 | 2,40 | | | | | | | | | 12,5 | 2,8 | 100 | 3,22 | 1,71 | 26,28 | 386 | 375 | 4,92 | 4,80 | | | | | | | |

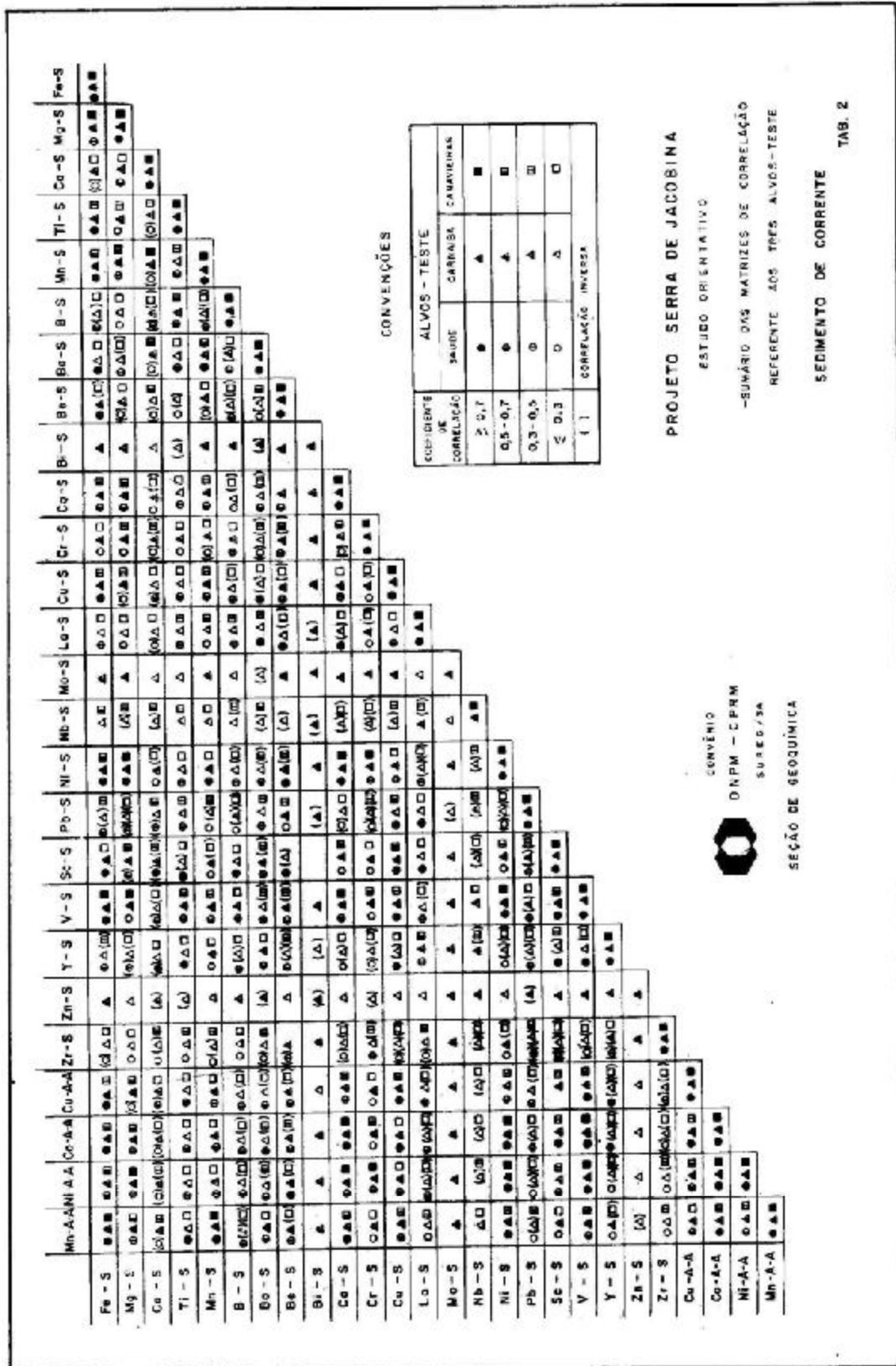
TABELA 1 (3ª PARTE)

| ALVO - TESTE DE CANAVEIRAS (OCORRÊNCIA DE DUTO E GRANÍD) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SEDIMENTO DE FONTE | | | | | CONCENTRADO DE BATEIA | | | | | BOMBA | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ANO | VALOR | VALOR | VALOR | VALOR | VALOR | VALOR | VALOR | VALOR | VALOR | VALOR | VALOR | VALOR | VALOR | VALOR | VALOR | VALOR | VALOR | VALOR | VALOR | | | | | | | | | |
| (2) | 1951 | 1952 | 1953 | 1954 | 1955 | 1956 | 1957 | 1958 | 1959 | 1960 | 1961 | 1962 | 1963 | 1964 | 1965 | 1966 | 1967 | 1968 | 1969 | | | | | | | | | |
| 1.28 | 0.08 | 1.00 | 0.80 | 1.15 | 0.80 | 0.54 | 1.12 | 0.38 | 1.31 | 1.75 | 3.0 | 5.38 | 2.37 | 1.84 | 4.3 | 4.17 | 0.23 | 0.44 | 0.22 | 18.533 | 4.0 | 14.44 | 18.44 | 10.94 | 10.9 | 3.23 | | |
| 0.13 | 0.43 | 1.00 | 2.80 | 1.22 | 26.16 | 1.01 | 2.64 | 0.13 | 3.21 | 3.10 | 0.39 | 0.02 | 2.20 | 0.93 | 11 | 0.27 | 0.41 | 0.18 | 2.23 | 9.831 | 3.27 | 14.14 | 10.97 | 6.81 | 0.06 | 4.28 | | |
| 0.40 | 0.27 | 1.09 | 3.14 | 1.84 | 27.34 | 0.91 | 3.29 | 0.02 | 0.19 | 0.05 | 0.57 | 0.03 | 2.51 | 1.15 | 8.14 | 0.19 | 0.37 | 0.03 | 1.75 | 0.05 | 0.05 | 1.20 | 0.14 | 1.14 | 0.04 | 0.004 | 0.91 | |
| 0.09 | 0.10 | 1.10 | 2.04 | 1.87 | 23.38 | 0.72 | 2.14 | 0.04 | 2.83 | 0.67 | 1.52 | 0.12 | 0.17 | 1.20 | 10.14 | 1.84 | 2.06 | 0.01 | 0.05 | 0.30 | 1.25 | 0.81 | 15.14 | 0.12 | 0.20 | 0.02 | 0.18 | |
| 1.77 | 2.0 | 3005 | 1.18 | 1.63 | 36.34 | 0.77 | 1.23 | 0.13 | 3.19 | 1.07 | 1.00 | 0.30 | 2.40 | 1.37 | 4.14 | 0.54 | 0.96 | 0.10 | 3.25 | 1.36 | 1.14 | 1.74 | 0.31 | 0.03 | 0.03 | 0.32 | | |
| 54 | 10 | 520 | 0.14 | 0.88 | 36.26 | 1.16 | 2.17 | 3.10 | 3.0 | 1.83 | 10 | 19 | 2.0 | 0.80 | 13.14 | 0.92 | 0.92 | 0.10 | 2.00 | 1.00 | 1.71 | 0.36 | 12.14 | 0.67 | 1.02 | 3.03 | 1.030 | |
| 1.8 | 10 | 800 | 1.74 | 2.21 | 15.38 | 1.04 | 1.610 | 0.31 | 2.33 | 1.13 | 3.05 | 3 | 2.40 | 1.24 | 12.14 | 0.53 | 0.85 | 0.10 | 1.00 | 1.27 | 0.62 | 4.14 | 0.3 | 1.07 | 0.1 | 0.24 | | |
| 0.07 | 0.02 | 1.82 | 1.89 | 0.81 | 0.84 | 0.8 | 1.10 | 0.70 | 0.18 | 0.10 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| 0.10 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| 1.8 | 2.1 | 70 | 2.27 | 0.38 | 24.38 | 25.8 | 60.8 | 0.17 | 0.83 | - | 4.5 | 0.500 | - | - | - | - | - | - | 30.9 | 5.0 | 17.0 | 1.88 | 2.30 | 12.14 | 0.1 | 0.17 | 0.64 | 0.100 |
| 1.7 | 30 | 1989 | 0.16 | 2.89 | 30.08 | 0.079 | 0.07 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 0.8 | 2.8 | 30 | 2.38 | 1.09 | 28.18 | 0.11 | 0.17 | 0.18 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 |
| 4.5 | 20 | 250 | 0.12 | 0.80 | 24.38 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| 0.1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 6.4 | 4.0 | 4 | 1.34 | 0.17 | 7.12 | 0.9 | 1.7 | 0.19 | 0.28 | 0.2 | 2.0 | 0.0 | 0.27 | 0.83 | 7.14 | 4.8 | 0.17 | 0.14 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 7.3 | 16 | 703 | 3.10 | 1.85 | 36.34 | 2.62 | 0.8 | 1.85 | 0.30 | 4.7 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 11.1 | 0.9 | 30 | 2.03 | 0.87 | 2.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 |
| 7.4 | 0.3 | 80 | 1.90 | 0.70 | 27.54 | 1.11 | 0.74 | 0.74 | 1.05 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 0.02 | 10 | 35 | 1.89 | 0.78 | 28.78 | 0.84 | 1.02 | 0.34 | 0.11 | 0.6 | 3.08 | 1.3 | 1.31 | 14.14 | 1.17 | 0.11 | 0.25 | 0.10 | 1.30 | 2.19 | 0.02 | 0.14 | 0.1 | 0.21 | 0.19 | 0.11 | - | - |
| 11.4 | 0.3 | 30 | 1.84 | 0.75 | 31.34 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 1.87 | 0.5 | 0.00 | 0.0 | 0.01 | 1.84 | 13.14 | 0.11 | 0.27 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 118 | 100 | 300 | 0.43 | 0.079 | 0.1 | 0.1 | 0.27 | 0.14 | 0.29 | 0.100 | 0.100 | 0.100 | 0.100 | 0.100 | 0.100 | 0.100 | 0.100 | 0.100 | 0.100 | 0.100 | 0.100 | 0.100 | 0.100 | 0.100 | 0.100 | 0.100 | 0.100 | 0.100 |
| 0.09 | 1.80 | 150 | 1.98 | 0.72 | 30.34 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 |
| 0.8 | 4.8 | 145 | 3.11 | 1.82 | 35.34 | 1.81 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 0.4 | 2.5 | 29 | 1.89 | 0.70 | 30.28 | 0.63 | 0.63 | 0.63 | 0.63 | 0.63 | 0.63 | 0.63 | 0.63 | 0.63 | 0.63 | 0.63 | 0.63 | 0.63 | 0.63 | 0.63 | 0.63 | 0.63 | 0.63 | 0.63 | 0.63 | 0.63 | 0.63 | 0.63 |
| 10.4 | 0.0 | 1.00 | 1.99 | 2.03 | 34.34 | 1.03 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 12.2 | 2.3 | 18 | 2.81 | 1.03 | 33.34 | 1.03 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.19 |

| TABELA COMPARATIVA - FORMAS MÉDIAS CITADAS PARA DIVERSOS ELEMENTOS | | | |
|--|--------|---------|----------|
| LET | VALOR | VALOR | VALOR |
| Fa | 0.85 | 0.85 | 1.4-4.0 |
| Na | 12.18 | 14.11 | 10.43.1 |
| Ca | 14.7.1 | 17.70.3 | 12.27.1 |
| Si | 0.57 | 0.30 | 0.50 |
| Mg | 3.50 | 1.00 | 0.50 |
| K | 10 | 5 | 1-100 |
| Al | 4.8 | 2 | 100-2000 |
| Fe | 2.8 | 10.2 | 4 |
| B | 0.47 | 0.02 | - |
| Co | 25 | 130 | 1-40 |
| Cu | 100 | 2,000 | 5-1000 |
| Zn | 52 | 10 | 2000 |
| Li | 20 | 0.1 | 100.1 |
| Mn | 1.5 | 0.8 | 2 |
| Nb | 20 | 12 | - |
| Bi | 75 | 2,000 | 5-500 |
| Th | 0.5 | 0.1 | 2-200 |
| U | 18 | 10 | 1-12 |
| V | 100 | 50 | 20-100 |
| W | 30 | 15,00 | 1-100 |
| Zr | 12 | 50 | 10-100 |
| Zn | 185 | 50 | 100 |
| As | 0.024 | 0.001 | - |

1 - DADOS ENTREGADOS DE MANUSCRITO (1974)
 2 - PARA AS MÉDIAS FORNECIDAS POR WEBB (1960)
 3 - AS MÉDIAS ENTRE PARÊNTESES S ãO ENTREGADAS DE MANUSCRITO (1969)

TABELA 1 (4ª PARTE)



CONVENÇÕES

| COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO | ALVOS - TESTE | |
|---------------------------|--------------------|----------|
| | SUADE | CARRASCA |
| ≥ 0,7 | ● | ▲ |
| 0,5 - 0,7 | ○ | △ |
| 0,3 - 0,5 | ◊ | ◊ |
| ≤ 0,3 | □ | □ |
| 1 1 | CORRELAÇÃO INVERSA | |

PROJETO SERRA DE JACOBINA

ESTUDO ORIENTATIVO

-SUMÁRIO DAS MATRIZES DE CORRELAÇÃO

REFERENTE AOS TRES ALVOS-TESTE

SEDIMENTO DE CORRENTE

TAB. 2

CONVÊNIO

ORFPM - CPRM

SUR 80/73A



SEÇÃO DE GEOQUÍMICA

| | Au-A | Zr-S | Zn-S | Y-S | V-S | Se-S | Pb-S | Ni-S | Nb-S | Mo-S | La-S | Cu-S | Cr-S | Co-S | Bi-S | Be-S | Ba-S | B-S | Mn-S | Ti-S | Ca-S | Mg-S | Fe-S |
|--------|------|------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|
| Fe-S | □ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Mg-S | □ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Cu-S | □ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Ti-S | □ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Mn-S | □ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| B-S | □ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Ba-S | □ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Be-S | □ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Bi-S | □ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Co-S | □ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Cr-S | □ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Cu-S | □ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| La-S | □ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Mo-S | □ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Nb-S | □ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Ni-S | □ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Pb-S | □ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Se-S | □ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| V-S | □ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Y-S | □ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Zn-S | □ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Zr-S | □ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Au-A-A | □ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |

CONVENÇÕES

| COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO | ALVOS - TESTE | |
|---------------------------|--------------------|----------|
| | SABRE | CARRAZIA |
| ≥ 0,7 | ● | ▲ |
| 0,5 - 0,7 | ○ | △ |
| 0,3 - 0,5 | ◊ | △ |
| ≤ 0,3 | □ | △ |
| () | CORRELAÇÃO INVERSA | |

PROJETO SERRA DE JACOBINA
ESTUDO ORIENTATIVO



-SUMÁRIO DAS MATRIZES DE CORRELAÇÃO
REFERENTE AOS TRES ALVOS-TESTE

CONCENTRADO DE BATÉIA

TAB. 3

| | Mn-S | Ni-A | Ni-B | Co-A | Co-B | Cu-A | Zn-S | Y-S | V-S | Sc-S | Pb-S | Ni-S | Nb-S | Mo-S | La-S | Cu-S | Cr-S | Co-S | Bi-S | Ba-S | Be-S | B-S | Mn-S | Ti-S | Co-S | Mg-S | Fe-S |
|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|
| Fe-S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Mg-S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Co-S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Ti-S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Mn-S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| B-S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Be-S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Bi-S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Co-S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Cr-S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Cu-S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| La-S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Mo-S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Nb-S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Ni-S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Pb-S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Sc-S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| V-S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Y-S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Zn-S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Zr-S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Cu-A | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Co-A | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Ni-A | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Mn-A | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

CONVENÇÕES

| COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO | ALVOS - TESTE | |
|---------------------------|--------------------|-------------|
| | SALVO | CANAVIEIRAS |
| ≥ 0,7 | ● | ▲ |
| 0,5 - 0,7 | ○ | △ |
| 0,3 - 0,5 | ◊ | ◊ |
| ≤ 0,3 | ○ | △ |
| () | CORRELAÇÃO INVERSA | |

PROJETO SERRA DE JACOBINA

ESTUDO ORIENTATIVO

-SUMÁRIO DAS MATRIZES DE CORRELAÇÃO REFERENTE AOS TRES ALVOS-TESTE

SOLO RESIDUAL

TAB 4

CONVÊNIO

DNPM - CPRM

SUREG/84

SEÇÃO DE GEOQUÍMICA



| | Mn-S | Ni-A | Co-A | Cu-A | Zr-S | Zn-S | Y-S | V-S | Sc-S | Pb-S | Ni-S | Nb-S | Mo-S | Lo-S | Cu-S | Cr-S | Co-S | Bi-S | Ba-S | Bo-S | B-S | Mn-S | Ti-S | Co-S | Mg-S | Fe-S |
|-------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|
| Fe-S | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Mg-S | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Co-S | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Ti-S | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Mn-S | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| B-S | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Bo-S | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Be-S | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Bi-S | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Co-S | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Cr-S | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Cu-S | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Lo-S | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Mo-S | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Nb-S | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Ni-S | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Pb-S | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Sc-S | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| V-S | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Zn-S | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Zr-S | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Co-A | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Co-AA | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Ni-AA | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Mn-AA | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |

| COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO | ALVOS - TESTE | |
|---------------------------|--------------------|--------|
| | SAÚDE | DOENÇA |
| ≥ 0,7 | ■ | ▲ |
| 0,5 - 0,7 | □ | △ |
| 0,3 - 0,5 | ○ | ◇ |
| ≤ 0,3 | ○ | ◇ |
| () | CORRELAÇÃO INVERSA | |

CONVENÇÕES

PROJETO SERRA DE JACOBINA
ESTUDO ORIENTATIVO
-SUMÁRIO DAS MATRIZES DE CORRELAÇÃO
REFERENTE AOS TRES ALVOS-TESTE

CONVÊNIO
DNPM - CPRM
SUFRS/94
SEÇÃO DE GEOQUÍMICA

ROCKAS
TAB. 5

| | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Ni-S | Cu-S | Cr-S | Co-S | Bo-S | Mn-S | Fe-S |
| Fe-S | ■ | □ | □ | □ | □ | □ | ■ |
| Mn-S | ■ | □ | □ | □ | □ | ■ | ■ |
| Bo-S | ■ | □ | □ | □ | □ | ■ | ■ |
| Co-S | ■ | □ | □ | □ | ■ | ■ | ■ |
| Cr-S | ■ | □ | □ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Cu-S | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Ni-S | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |

FRACÇÃO C (< 80 MESH)
SOLO RESIDUAL

| | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Ni-S | Cu-S | Cr-S | Co-S | Bo-S | Mn-S | Fe-S |
| Fe-S | ▲ | (Δ) | Δ | Δ | (Δ) | ▲ | ▲ |
| Mn-S | ▲ | Δ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |
| Bo-S | ▲ | (Δ) | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |
| Co-S | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |
| Cr-S | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |
| Cu-S | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |
| Ni-S | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |

FRACÇÃO B (< 20 E > 80 MESH)
SOLO RESIDUAL

| | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Ni-S | Cu-S | Cr-S | Co-S | Bo-S | Mn-S | Fe-S |
| Fe-S | ○ | ○ | ○ | (○) | (○) | ○ | ● |
| Mn-S | ● | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● |
| Bo-S | ● | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● |
| Co-S | ● | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● |
| Cr-S | ● | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● |
| Cu-S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Ni-S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

FRACÇÃO A (> 20 MESH)
SOLO RESIDUAL

| | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Ni-S | Cu-S | Cr-S | Co-S | Bo-S | Mn-S | Fe-S |
| Fe-S | ■ | ■ | (□) | ■ | □ | ■ | ■ |
| Mn-S | ■ | ■ | (■) | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Bo-S | ■ | ■ | (■) | (□) | ■ | ■ | ■ |
| Co-S | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Cr-S | ■ | ■ | (□) | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Cu-S | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Ni-S | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |

FRACÇÃO C (< 80 MESH)
SEDIMENTO DE CORRENTE

| | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Ni-S | Cu-S | Cr-S | Co-S | Bo-S | Mn-S | Fe-S |
| Fe-S | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |
| Mn-S | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |
| Bo-S | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |
| Co-S | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |
| Cr-S | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |
| Cu-S | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |
| Ni-S | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |

FRACÇÃO B (> 20 E < 80 MESH)
SEDIMENTO DE CORRENTE

| | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Ni-S | Cu-S | Cr-S | Co-S | Bo-S | Mn-S | Fe-S |
| Fe-S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ● |
| Mn-S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ● |
| Bo-S | ○ | ○ | (○) | ○ | ○ | ○ | ● |
| Co-S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Cr-S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Cu-S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Ni-S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

FRACÇÃO A (> 20 MESH)
SEDIMENTO DE CORRENTE

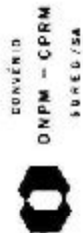
CONVENÇÕES

| CORRENTE DE CORRELAÇÃO | ÁREA TOTAL DOS ALVOS-TESTE | | |
|------------------------|----------------------------|-----------|-----------|
| | FRACÇÃO A | FRACÇÃO B | FRACÇÃO C |
| > 0,7 | ● | ▲ | ■ |
| 0,5 - 0,7 | ○ | △ | □ |
| 0,3 - 0,5 | ⊙ | △ | □ |
| < 0,3 | ○ | △ | □ |
| () | CORRELAÇÃO INVERSA | | |

PROJETO SERRA DE JACOBINA
ESTUDO ORIENTATIVO

-SUMÁRIO DAS MATRIZES DE CORRELAÇÃO
REFERENTE AOS TRÊS ALVOS-TESTE

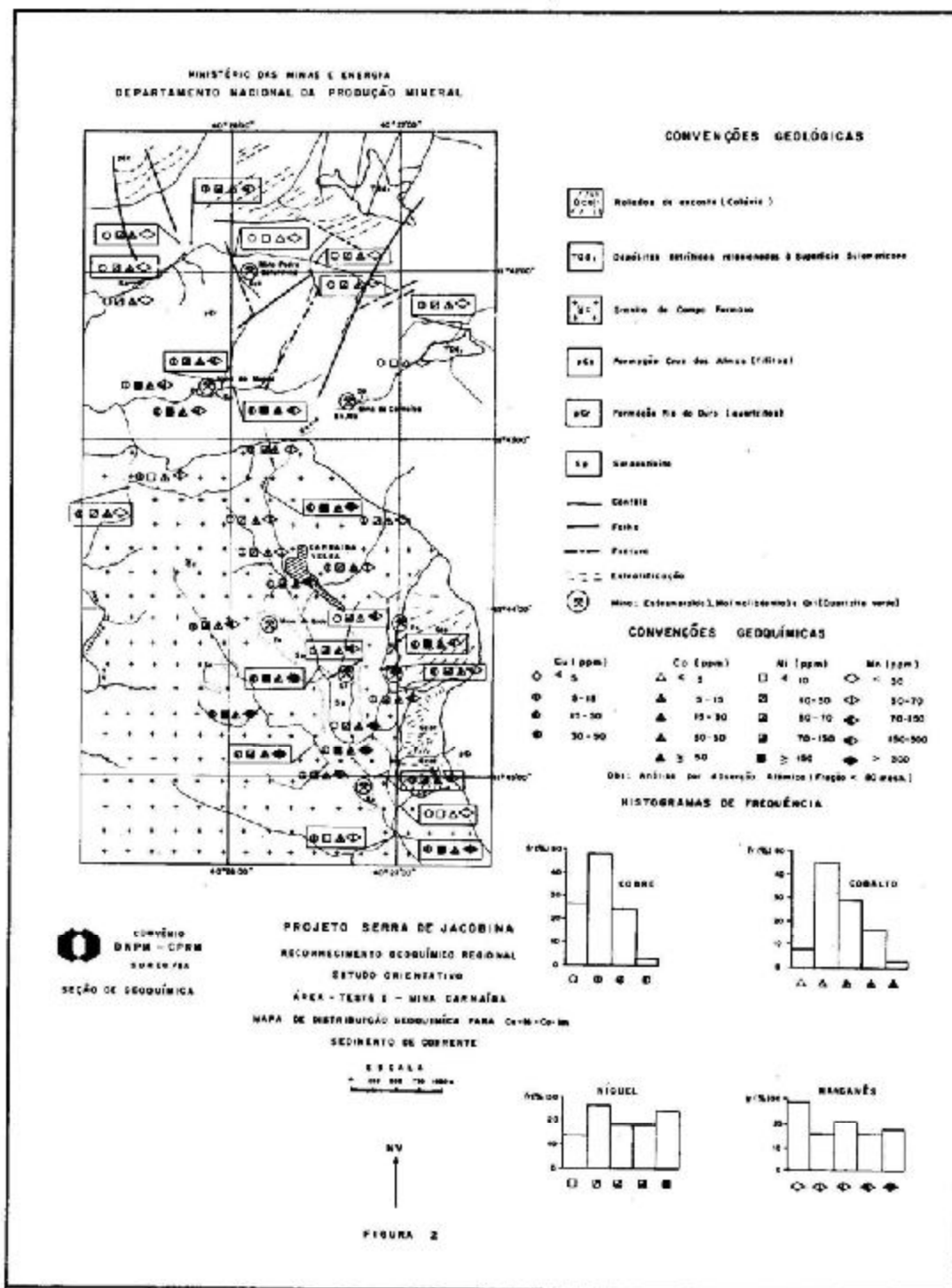
SOLO RESIDUAL E SEDIMENTO DE CORRENTE
TAB. 6



SEÇÃO DE GEOQUÍMICA

relevo extremamente acidentado da zona da serra condiciona uma boa representatividade clástica dos sedimentos de pé de encosta.

As significativas associações do Fe e Mn com os metais Cu, Ni e Co realçam o processo de coprecipitação e adsorção condicionado pelos óxidos de ferro e manganês. A associação destes elementos é bem característica nos três alvos-teste, particularmente no de Carnaíba onde é observada uma boa configuração da distribuição (figura 2).



Dentre os diversos exemplos de associações geoquímicas vale citar: a) na mina de Carnaíba a amostra JE-S-47, em zona de influência de corpo serpentínico, mostra a associação Cu (100 ppm) – Ni (1000 ppm) – Co (100 ppm) – Fe (10%) – Mn (500 ppm); b) na mina de Canavieiras expressivas associações de Ni e Cr aparecem vinculadas às zonas de influência de rochas ultramáficas: Ni (500 ppm) – Co (70 ppm) – Cr (+ 5000) – Fe (3%) – Mn (300 ppm) na amostra OS-S-68 B; Ni (300 ppm) – Cr (+ 5000 ppm) – Cu (50 ppm) – Fe (3%) na amostra OS-S- 72; c) na "mina" de Saúde (cromita), valores ligeiramente anômalos de Ni aparecem associados às concentrações de Cr, enquanto Cu – Co tem uma distribuição quase uniforme.

Associação Be – Bi – Mo – Mg: esta associação de litófilos (Be – Mg), calcófilo (Bi) e siderófilo (Mo) ocorre caracteristicamente no alvo-teste da Carnaíba onde são assinaladas mineralizações de esmeralda e molibdenita. Tal associação estaria vinculada às rochas pegmatíticas (realizadas em algumas amostras pela correlação do Be com La, Nb, Sc e Zr) como, também, estabeleceria uma ascendência a partir de fluidos residuais de composição granítica (evidenciada pela associação com Mo). O bismuto se constitui num bom farejador para o sulfeto de molibdenio. O Bi na área de Carnaíba aparece numa forte associação com Mo, Fe e V, e, mais moderadamente, com Be, Mg, Co, Ni e Cu, grupo onde predominam metais tipicamente conectados a depósitos de sulfetos de origem hidrotermal.

Em Carnaíba são assinaladas as seguintes concentrações médias: Be (10,7 ppm), Bi (59,8 ppm), Mo (13,0 ppm) e Mg (0,54%). Comparativamente às demais áreas, neste alvo são assinaladas as melhores dispersões relativas para estes metais, sendo o bismuto o mais disperso dos quatro. Os elementos Be – Bi – Mo – Nb fornecem, um em sedimento de corrente, indicações muito seguras na zona da mineralização da Carnaíba (figura 3).

Dentre as associações geoquímicas caracterizadas por esses elementos em Carnaíba é possível citar as observadas nas seguintes amostras: a) JE-S-6 B, com Be (200 ppm) – Bi (70 ppm) – Mo (100 ppm) – Mg (10%) aparecendo também fortemente associado com Cr (+ 5000 ppm) – Cu (50 ppm) – Ni (500 ppm) – Zn (500 ppm) – Pb (10 ppm); b) amostra JE-S- 17, com Be (200 ppm) – Bi (500 ppm) – Mo (150 ppm) – Mg (7%) – Cu (70 ppm) – Co (50 ppm) – Ni (700 ppm) – Pb (15 ppm) – V (200 ppm) – Y (20 ppm).

Tais associações estariam possivelmente conectadas a minerais sulfetados resultantes dos processos atuantes de metassomatismo e hidrotermalismo.

Concentrado de Batela (Minerais Pesados)

Associação Cu – Ni – Co – Cr: é assinalada em concentrado de batéia uma correlação muito boa entre estes metais, refletindo nos três alvos-teste, a sua ascendência a partir de rochas ultrabásicas. Os mapas de distribuição geoquímica evidenciam esse comportamento.

O cobre no alvo de Carnaíba mostra uma associação muito forte com Fe, Ni, V, Sc sendo a mesma moderada com Nb (tabela 3). Em Saúde tem-se associações moderadas do Cu com Fe, Co, Cr e também com Y e V. O Co aparece numa forte associação com Fe e V nos três alvos-teste estando na área-teste de Carnaíba numa expressiva correlação com os elementos Ni e Mn enquanto em Canavieiras se associa com Y, Mn, Cr, Cu e La (tabela 3).

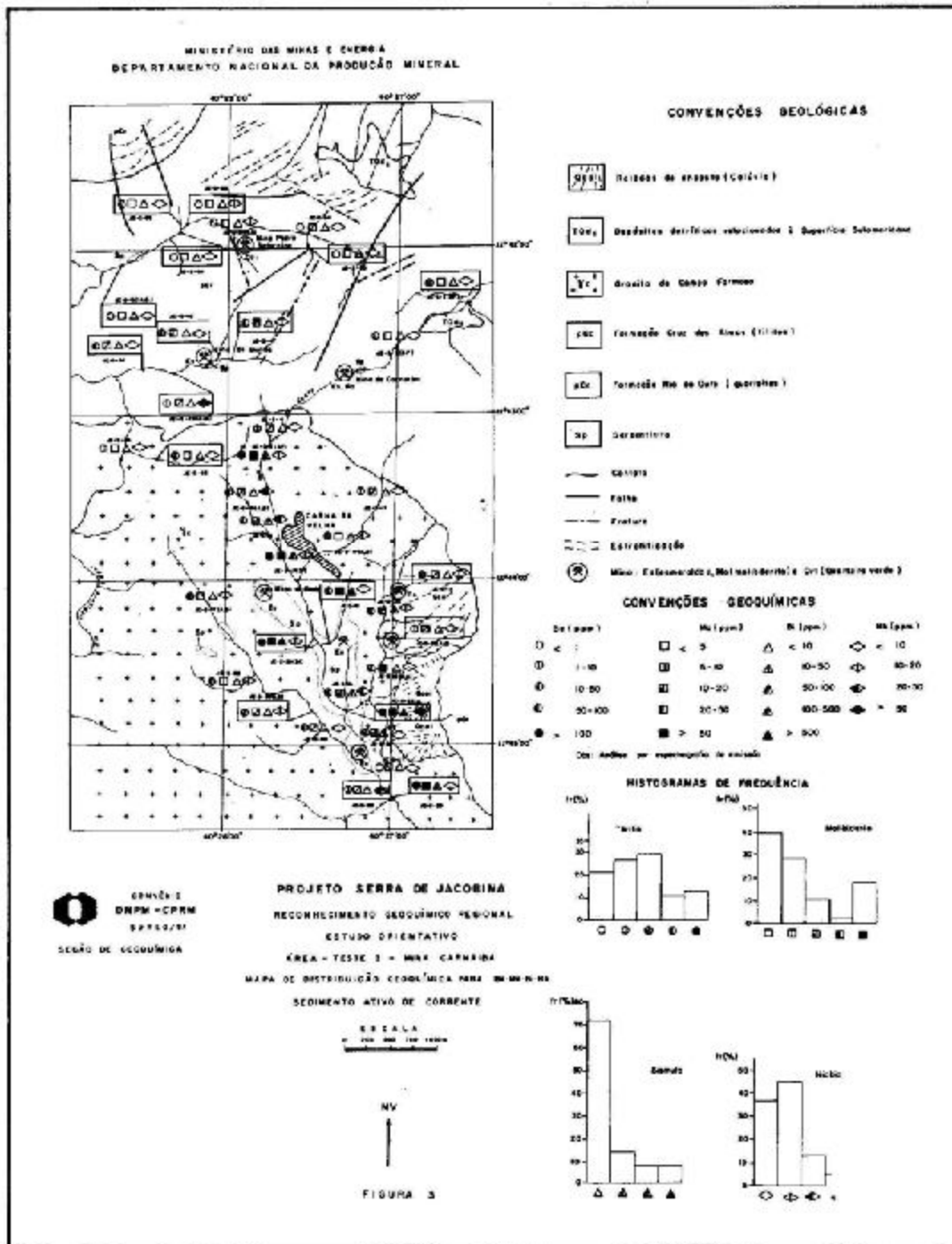
Associação Be – Bi – Mo – Mg: mostrando a mesma ascendência referida para sedimento, esta associação se faz realçar especialmente no alvo-teste da Carnaíba (figura 4).

A insuficiência de um número de amostras com o grau de detecção satisfatório impediu uma avaliação mais acurada da matriz de correlação o que foi viável, em parte, apenas para Be e Mo em Carnaíba (tabela 1). A associação destes elementos é claramente perceptível na amostra JE-B-1B com Be (150 ppm) – Bi (+ 1000 ppm) – Mo (1000 ppm) – Mg (0,7%) e também Nb (50 ppm) – Ni (200 ppm) – Cr (+ 5000 ppm) – V (200 ppm) – Sc (15 ppm).

Associação Au – Ni – (V – Sc – B): O ouro no alvo-teste de Canavieiras ocorre vinculado a metaconglomerados sendo a sua origem sedimentar com a remobilização posterior por soluções hidrotermais. A associação geoquímica Au – Ni – V – B, observada em concentrado de batéia neste alvo (tabela 3), parece indicar uma certa ascendência hidrotermal, em que pese o fato do caráter sedimentar do depósito estar razoavelmente caracterizado por algumas expressivas associações do Au com La – Zr – Nb, como exemplo na amostra OS-B-63, com Au (15 ppm), La (500 ppm), Nb (20 ppm), Zr (+ 1000 ppm) e na amostra JE-B-116 com Au (10 ppm), La (+ 1000 ppm), Nb (20 ppm) e Zr (+ 1000 ppm), associações tipicamente vinculadas a depósitos de plácer.

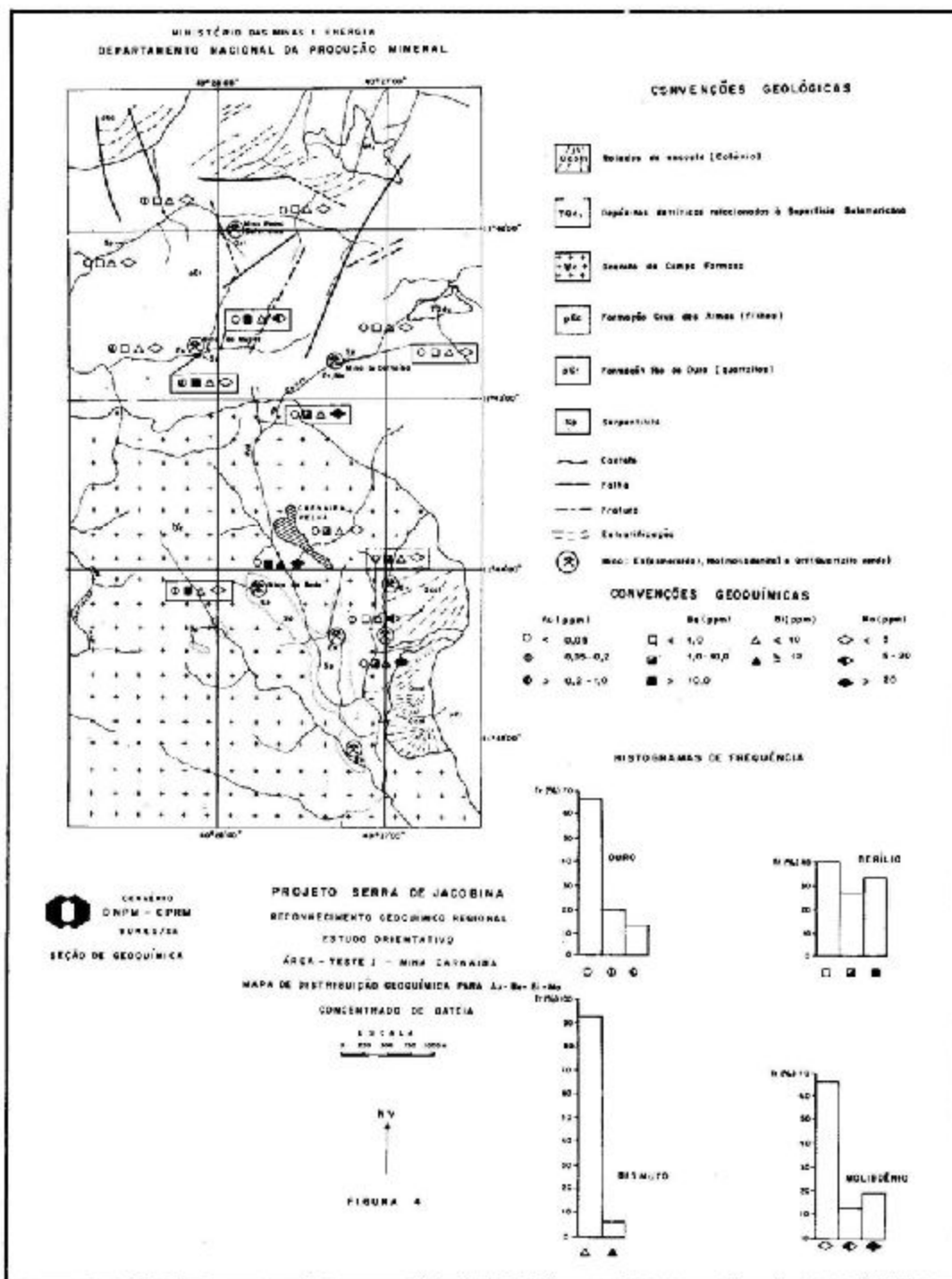
A matriz de correlação (tabela 3) evidencia em Canavieiras associações do ouro com V e, mais discretamente, com Ni, Sc.

A prospecção geoquímica para ouro em concentrado de batéia permitiu uma excelente ca-

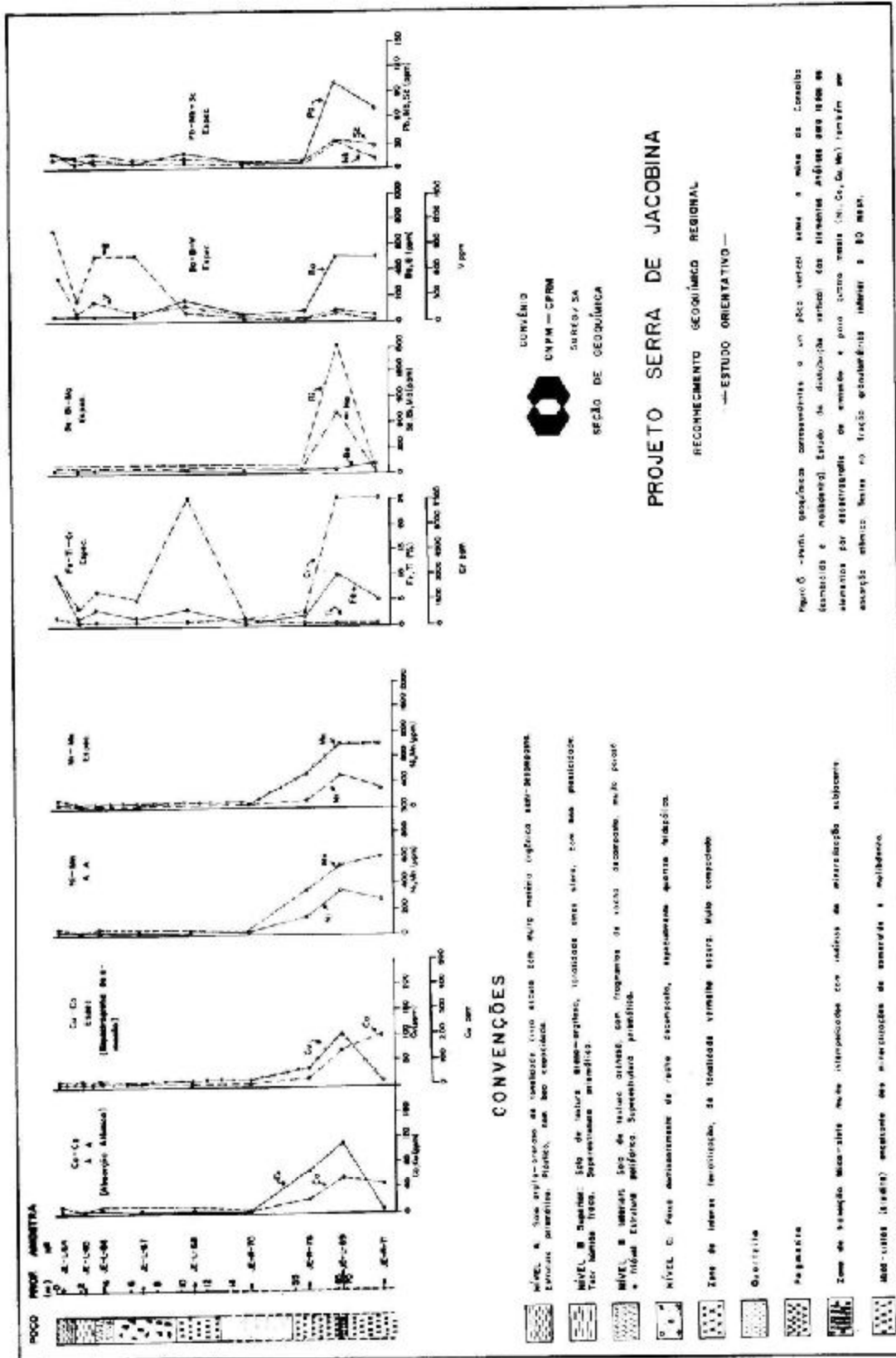


racterização da sua distribuição (figura 5) e associação com elementos farejadores normalmente dis-
cretos em outros meios (sedimento, solo e rocha).

Solo Residual – No âmbito do Projeto Serra de Jacobina é observado um desenvolvimento
incipiente do perfil pedológico, sem uma seqüência bem definida dos horizontes A, B e C. De um
modo geral é notada uma acentuada descaracterização do horizonte A, por vezes muito revólvido e
influenciado com o aporte de materiais superficiais oriundos de zonas topograficamente mais elevadas.
O relevo extremamente acidentado, com pendentes muito fortes, dificulta consideravelmente



a evolução do perfil onde o horizonte B também é pouco espesso (± 30 cm) passando diretamente ao nível da rocha desagregada e semidecomposta (horizonte C). No alvo-teste de Carnaíba, em faixa da mineralização de esmeralda e molibdenita, são evidenciadas fortes correlações (tabela 1) entre os elementos Cu - Co - Ni - Mn - Bi - Mo - (Fe) - (Ba), associação esta que aparece de modo mais consistente nos pegmatitos e mica-xistos subjacentes (figura 6). Os elementos Cu - Ni - Co - Mn analisados por espectrografia mostram uma boa correspondência com os resultados de absorção atômica, tanto em solo como em rocha.



PROJETO SERRA DE JACOBINA

RECONHECIMENTO GEOQUÍMICO REGIONAL
—ESTUDO ORIENTATIVO—



CONVENÇÕES

- NÍVEL A. Sua representação as vezes varia com muito menor regularidade sub-estratigráfica. Exceção: unidades tipo, com boa expressão.
- NÍVEL B. Unidade tipo de natureza alveolar-espessa, localizada entre níveis, com boa expressão. Para outras variações, representa-se assim.
- NÍVEL C. Unidades tipo de natureza alveolar com fragmentos de natureza alveolar, muito porosa e intensa estruturação superficial porosa.
- NÍVEL D. Possui características de nível alveolar, especialmente quanto à expressão.
- ZONE DE INTERAT (em oposição, se localizadas verticalmente existem muito com o mesmo).
- Quartzite
- Fagaxite
- ZONE DE TRANSIÇÃO mica-silica. Não interpenetração com níveis de interatção alveolar.
- MAA-1000 (símbolo) representa as interações de natureza alveolar.

Figura 6 - Perfil geoquímico orientativo a um pólo vertical sobre a zona de Consólio (formado e molhado). Estudo de distribuição vertical das concentrações de metais pesados em amostras por estratigrafia de unidades e para alguns metais (Pb, Zn, Cu, Ni, V) também em amostras obtidas sobre os fracos estratigráficos inferiores à 80 m de profundidade.

Em três amostras referentes a pegmatitos da mina da Carnalba é evidenciada a associação de acordo com a seguinte variação: Be (1,5 – 20 ppm) – Zr (– 10 a 500 ppm) – Sc (– 5 a + 100 ppm) – Cr (700 a + 5000 ppm) – Cu (5 a 500 ppm) – Ni (5 a 300 ppm) – Fe (0,2 a + 20%) – Ag (– 0,5 a 2 ppm, com interferência).

No alvo-teste de Canavieiras, em zona de metaconglomerados auríferos, a origem sedimentar se afigura razoavelmente caracterizada pela associação Cr (700 ppm) – Cu (10 ppm) – Zn (200 ppm) – V (200 ppm) – La (20 ppm) – Zr (200 ppm) em metaconglomerados.

Aspectos da Prospecção Geoquímica para Ouro – Os resultados obtidos para ouro, em concentrado de minerais pesados, mostraram indícios altamente positivos. No alvo-teste de Canavieiras o ouro visível aparece significativamente associado aos elementos La, V e Y, e mais moderadamente Pb, Ni, Cr, Zn e Co, para os quais são registrados teores anômalos. Como exemplo vale citar a amostra JE-B-116 com La (+ 1000 ppm), Y (200 ppm), V (100 ppm), Pb (30 ppm) e Nb (20 ppm).

Neste estágio do presente estudo orientativo ficou evidenciada a inadequação das análises por espectrografia de emissão em vistas à detecção dos elementos indicadores de ouro, tais como Ag e As. Torna-se indispensável a utilização de métodos mais eficazes, capazes de detectar variações sutis.

Conforme observa TAHSE (1968), é desejável que um elemento indicador de ouro seja, quimicamente, dotado de razoável mobilidade. Todavia, o metal não deveria ser tão móvel a ponto de ser completamente lixiviado a partir da tona de minério. O cobre, por exemplo, elemento altamente móvel, no alvo-teste de Canavieiras parece ter sido fortemente lixiviado, não fornecendo indicações consistentes quanto à sua associação com o ouro. Arsênio, prata e mercúrio são normalmente tido como excelentes indicadores para ouro.

TESTES GRANULOMÉTRICOS

Em sedimento de corrente, para a fração – 80 mesh são registradas as médias (geométricas) mais expressivas para os elementos Fe, Mn, Co, Cr, Cu e Ni enquanto na fração + 20 mesh apenas para Ba e Be são observadas melhores médias. De um modo geral os melhores contrastes geoquímicos (razão entre o valor máximo e a média) correspondem também a fração – 80 mesh, onde são detectados os valores máximos para a maioria dos elementos.

Em solo residual, para os elementos Mn, Ba, Cr e Be as concentrações médias são mais expressivas na fração granulométrica – 80 mesh, enquanto que para Fe, Co, Cu e Ni melhores médias são assinaladas na fração + 20 mesh. Todavia os melhores contrastes são assinalados, invariavelmente, na fração – 80 mesh, na qual também a dispersão relativa é mais significativa para todos os elementos com exceção do cobalto que exhibe melhor dispersão na fração + 20 mesh.

A análise das matrizes de correlação (tabela 6) mostra que o cobre aparece na fração – 80 mesh seguramente associado aos elementos Co, Ni, Ba, Fe e Mn sendo como o cromo caracterizada uma melhor associação na fração + 20 mesh. Também na fração – 80 mesh o ferro mostra uma melhor associação como Mn, Cu, Cr, Co e Ni.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

No âmbito geral do Projeto Serra de Jacobina há no ambiente secundário uma evidente dominância dos padrões de dispersão clástica relativamente aos hidromórficos.

A densidade de amostragem para sedimento e concentrado de batéia com uma amostra para cada 5 a 10 km², respectivamente, parece satisfatória ao reconhecimento regional.

Não foi observado o desenvolvimento de um perfil pedológico típico. É, em geral, observada uma rápida passagem ao horizonte C (rocha decomposta), com um horizonte B pouco espesso (\pm 20 cm) e a quase inexistência do horizonte A. A amostragem deve ser feita, preferencialmente sempre ao nível da rocha decomposta (horizonte C) pois os horizontes A e B são muito suscetíveis de carreamento e aporte de materiais diversos nesta região de relevo extremamente acidentado, de clima seco, sujeita, porém, a chuvas torrenciais de verão.

As associações geoquímicas registradas nos diversos materiais amostrados (sedimento, solo, rocha e concentrado de batéia) fornecem informações muito consistentes e indicativas das áreas mineralizadas e, por vezes, da sua ascendência genética. A associação Cu – Ni – Co – Cr, por exemplo, nos três alvos-teste caracterizou com bastante segurança zonas de ascendência ultrabásica.

As amostras de sedimento de corrente e solo residual mostraram, em geral, melhores contrastes, teores médios e graus de detecção mais expressivos na fração inferior a 80 mesh. Também nesta fração as associações geoquímicas adquirem uma melhor consistência e representatividade. Daí ser recomendável a adoção nesta fração (– 80 mesh) no estágio de reconhecimento geoquímico regional.

A eficácia demonstrada pelo método de absorção atômica neste estudo orientativo torna recomendável a sua utilização, sistematicamente, na população amostrada com análise para um lote mínimo de cinco elementos, os quais poderão ser modificados em função dos condicionamentos litó-estratigráficos dominantes. A priori, seriam indicáveis os elementos Cu, Ni, Fe e Mn. Também o ouro, que mostrou excelentes resultados para absorção atômica em concentrado de batéia, deverá ser sistematicamente analisado neste material e, eventualmente, em zonas favoráveis, também em solo e rocha, com uma estimativa de testes para 50% do total destas amostras.

Foi assinalada no ambiente secundário uma considerável influência do ferro e manganês, normalmente em significativas concentrações, na coprecipitação de metais móveis, especialmente Co, Ni e Cu em sedimento de corrente.

As elevadas concentrações de Fe e Mn poderiam fornecer falsas anomalias de outros metais havendo todavia, a possibilidade das associações destes fornecerem informações razoavelmente consistentes quanto à sua ascendência genética.

BIBLIOGRAFIA

- GORDANI, U. G. et alii — *Reconhecimento Geocronológico do Embasamento da Região Oriental do Estado da Bahia*. No: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 23, Salvador, 1969, Anais da Sociedade Brasileira de Geologia, 1969, p. 159-165.
- GOLDSCHMIDT, V. M. — *Geochemistry Oxford University Press, 3ª ed., 1970. 730 p.*
- GRIFFON, J. C. et alii — *Estudo Estrutural e Genético da Jazida de Esmeralda de Camaíba (Bahia)*. An. Acad. Bras. Cienc. Rio de Janeiro, 39 (1): 153-161, 1967.
- LEO, Gerhard W. et alii — *Geologia da Parte Sul da Serra de Jacobina, Bahia, Brasil*. Rio de Janeiro, DNPM/DGM, 1964, 87 p. il mapa. (DNPM/DGM. Bol. 209).
- LEVINSON, A. A. — *Introduction to Exploration Geochemistry Calgary, Applied Publishing Ltd., 1974. — 512 p.*
- TASHE, F. W. — *Geochemical Exploration For Gold. — A talk presented at the Mining Geology Division of the Arizona Section of A. I. M. E., Tucson, Arizona, 1968.*

PROSPECÇÃO GEOQUÍMICA NO SUDOESTE DA CHAPADA DIAMANTINA, BAHIA (PROJETO ROCHAS EFUSIVAS)

Dorival C. Bruni*
Luís A. A. de Toledo*
Gustavo N. D. Gonçalves**

ABSTRACT

The aim of the "Projeto Rochas Efusivas", a result of an agreement between Secretaria de Minas e Energia do Estado da Bahia and Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, was to investigate the mineral potential in a 12.856 sq. km. area, situated in central Bahia, Brazil. The geological mapping on the 1:50.000 scale and the regional geochemical prospecting gave rise to the selection of 19 target areas where further detailed works are suggested. The prospected area comprises the acidic metavolcanite belt that borders the southwest flanks of the Chapada Diamantina.

The regional geochemical prospecting comprised the sampling of stream sediments and pan concentrate in the upper basins of Contas and Paramirim rivers, complemented by soil and rock; 2.482 samples were collected and analysed. The definition of several priority areas for gold was made possible by the results. Anomalous concentrations of other metals were also evidenced, specially the elements As, Ag, Sn, Cu, Ni, Be, B and Sb.

INTRODUÇÃO

A extensa faixa de ocorrência de rochas vulcânicas ácidas e intermediárias que margeia o flanco sul-sudoeste da Chapada Diamantina, Estado da Bahia, associadas a mineralizações de estanho, ouro, bário, cobre e chumbo, levaram a Coordenação da Produção Mineral da Secretaria das Minas e Energia do Estado da Bahia a considerar a área como prioritária para uma prospecção que viesse avaliar seu potencial metalogenético.

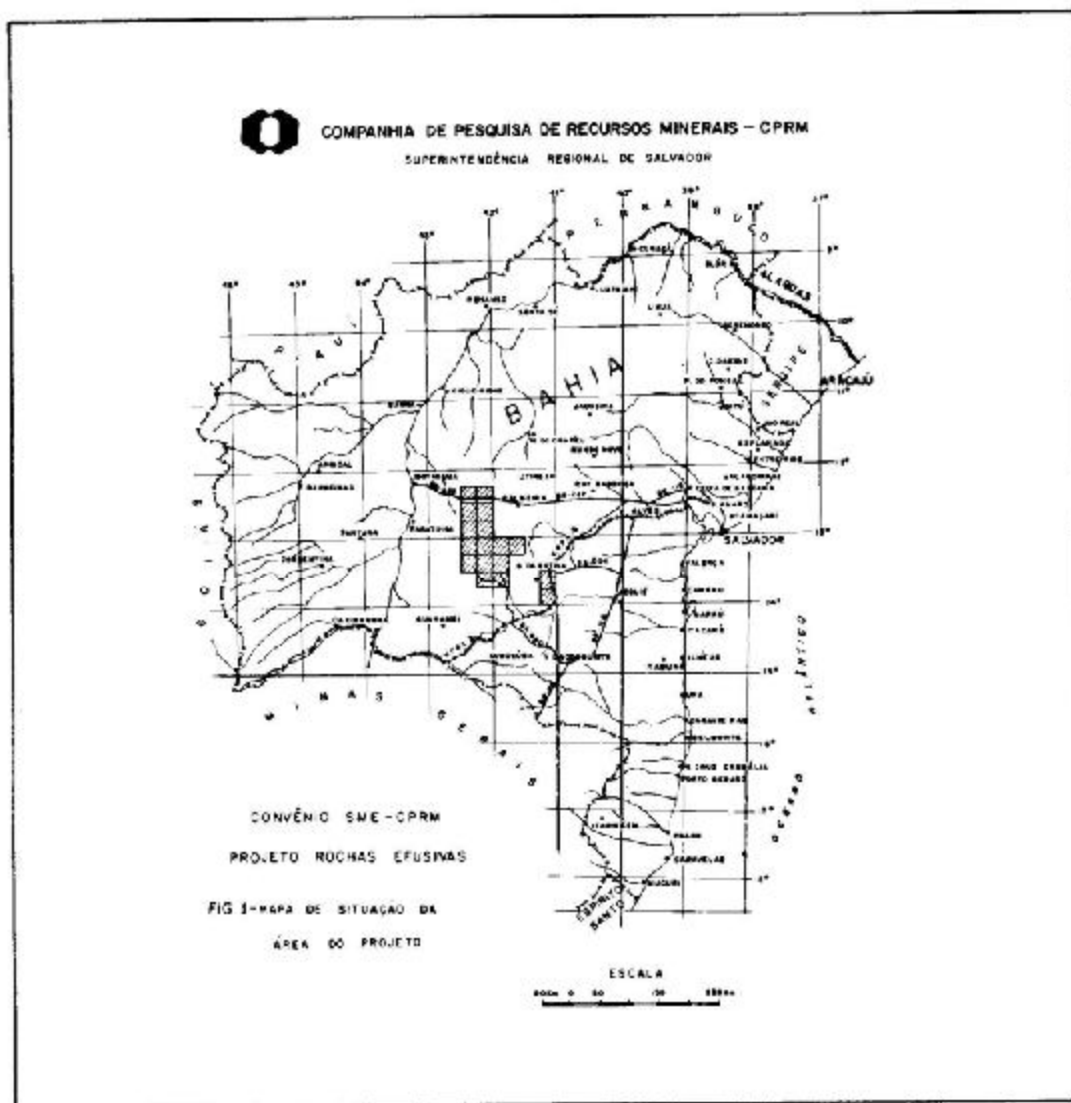
O Projeto Rochas Efusivas teve por objetivo a investigação do potencial metalogenético de uma área de 12.856 km² na região centro-oeste do Estado da Bahia (vide mapa de situação, figura 1).

A primeira etapa desta investigação, ou fase de reconhecimento, compreendeu estudos integrados de mapeamento geológico em 17 folhas de 15' x 15' na escala 1:50.000 e prospecção geoquímica regional em nível de reconhecimento, objetivando a seleção de áreas-alvo onde poderão ser procedidos levantamentos de detalhe em etapas posteriores.

Com base no reconhecimento geoquímico regional, tanto os dados de sedimento de corrente como, principalmente, concentrado de minerais pesados indicam grande potencialidade do grupo Paraguassu com respeito às mineralizações de ouro, merecendo especial destaque a região de Morro do Fogo, na folha de Água Quente, onde o metal aparece em concentrações superiores a 100 ppm e numa estreita associação com os elementos As, Cu, Be, Nb, Ni e B. Em sedimento de corrente, o maior relacionamento do ouro com os elementos Cr, Ni, Co, Fe e Mg parece indicar que aquele metal, em alguns casos, poderia ter sido originado de uma fonte máfica.

* Geólogos da CPRM — SUREG/S.A. (Salvador)

** Geólogo da CPRM — DIGEOQ (Rio de Janeiro)



ESTRATIGRAFIA E GEOLOGIA ECONÔMICA

Foram distinguidos três grandes conjuntos litológicos de idade Pré-Cambriana, que são, da base para o topo: Pré-Espinhaço, Super Grupo Espinhaço e Grupo Una. O Pré-Espinhaço é representado por uma associação de rochas metamórficas (gnaisse, migmatitos e granitos) do facies Almandina-Anfibolito (Complexo Metamórfico). O Supergrupo Espinhaço está dividido nos grupos Rio dos Remédios, Paraguassu e Lavras. O primeiro é constituído por metassedimentos clásticos basais e por uma seqüência de rochas metavulcânicas ácidas, geralmente muito alteradas por efeito de metamorfismo dinâmico e/ou regional. Discordantemente sobre o Grupo Rio dos Remédios ocorre uma seqüência clástica epimetamórfica (Grupo Paraguassu), constituída por metaconglomerados, quartzitos, metassiltitos, metarenitos e metargilitos, com rochas ígneas (ácidas e básicas) associadas. O Grupo Lavras é representado na área por uma unidade basal (Formação Tombador), essencialmente composta de metaconglomerados, quartzitos e metarenitos, subjacente a uma unidade predominantemente metassiltítica, com raras lentes de calcário intercaladas (Formação Caboclo). O Grupo Una, topo da seqüência Pré-Cambriana, aflora apenas em áreas restritas na porção oriental da região pesquisada, constituído pela Formação Bebedouro (metassedimentos clásticos finos a grosseiros) e pela Formação Salitre, essencialmente calcária. Coberturas alúvio-colúvionares de idade Terciária-Quaternária ocorrem em grande extensão. A figura 2 mostra um esboço geológico parcial da área do Projeto.

e o cristal de rocha, são sempre relacionados a filões hidrotermais, os quais dispõem-se preferentemente segundo as falhas ou fraturas longitudinais. O ouro ocorre associado a veios de quartzo (em todos os tipos litológicos) e teve vários de seus jazimentos parcialmente lavrados no passado. Existe uma maior favorabilidade geológica no que tange aos jazimentos associados às rochas básicas. O estanho está relacionado aos vulcanitos mais ácidos e ocorre na forma de "estanho de madeira", em veios segundo os planos de foliação da encaixante. Os depósitos residuais são, porém, mais importantes. O cobre, que ocorre sob a forma de malaquita e, subordinadamente, sulfetos, apresenta suas ocorrências principalmente relacionadas a veios de quartzo-calcidônia preenchendo falhas transversais.

METODOLOGIA ADOTADA

A sistemática adotada para efeito do reconhecimento geoquímico regional objetivou uma efetiva caracterização dos padrões de dispersão geoquímica dos metais, com o fornecimento de subsídios úteis à configuração de áreas potencialmente anômalas. As técnicas desenvolvidas resultaram, essencialmente, das informações obtidas no estágio preliminar de trabalhos, executados num alvoteste especialmente selecionado para tal fim.

A interpretação do reconhecimento geoquímico visou os conjuntos de amostras que formavam cada população, considerada isoladamente, em áreas de drenagem representativas das sete unidades estratigráficas de maior significado regional, conforme especificado: (1) Aluviões do Quaternário, (2) Cobertura Detrítica, (3) Formação Caboclo, (4) Grupo Paraguassu, (5) Rochas Efusivas Ácidas do Grupo Rio dos Remédios, (6) Quartzitos Basais do Grupo Rio dos Remédios e (7) Complexo Metamórfico-Migmatítico.

TAB. 1 - TESTES GRANULOMÉTRICOS PARA A PROSPECÇÃO DE SEDIMENTO ATIVO
- ÁREA - PILOTO -

| FRAÇÃO | A - (> 20 #) | | | B - (< 20 # > 80 #) | | | C - (< 80 # > 150 #) | | | D - (< 150 #) | | |
|--------|--------------------|-------------|-----------------|---------------------|-------------|-----------------|----------------------|-------------|-----------------|--------------------|-------------|-----------------|
| | VALOR MÁXIMO (ppm) | MÉDIA (ppm) | CON - TRAS - PZ | VALOR MÁXIMO (ppm) | MÉDIA (ppm) | CON - TRAS - PZ | VALOR MÁXIMO (ppm) | MÉDIA (ppm) | CON - TRAS - PZ | VALOR MÁXIMO (ppm) | MÉDIA (ppm) | CON - TRAS - PZ |
| Fe-% | 1,0 | 0,60 | 1,6 | 0,3 | 0,11 | 2,7 | 1,5 | 0,40 | 3,7 | 5,0 | 0,80 | 5,2 |
| Mg-% | 0,2 | 0,09 | 4,0 | 0,03 | 0,02 | 1,5 | 0,1 | 0,09 | 2,0 | 2,0 | 0,56 | 3,5 |
| Ti-% | 2,0 | 0,25 | 4,0 | 0,2 | 0,06 | 3,3 | 1,5 | 0,52 | 2,8 | 1,5 | 0,53 | 2,8 |
| Mn-ppm | 70,0 | 32,8 | 2,3 | 30,0 | 14,3 | 2,1 | 700,0 | 187,1 | 3,7 | 200,0 | 82,8 | 2,4 |
| B-ppm | 50,0 | 21,4 | 2,3 | 50,0 | 20,7 | 2,4 | 150,0 | 88,5 | 1,7 | 100,0 | 142,8 | 2,1 |
| Ba-ppm | 150,0 | 50,0 | 3,0 | 30,0 | 14,3 | 2,1 | 100,0 | 52,8 | 1,9 | 200,0 | 105,7 | 1,9 |
| Cu-ppm | 70,0 | 20,7 | 3,4 | 10,0 | 3,9 | 2,5 | 30,0 | 16,0 | 1,8 | 70,0 | 31,4 | 2,3 |
| La-ppm | 50,0 | 17,1 | 2,9 | 10,0 | 10,0 | 1,0 | 30,0 | 16,6 | 1,6 | 70,0 | 35,7 | 1,9 |
| Nb-ppm | 5,0 | 5,0 | 1,0 | 5,0 | 5,0 | 1,0 | 15,0 | 10,7 | 1,4 | 10,0 | 9,3 | 1,1 |
| Ni-ppm | 15,0 | 5,3 | 2,8 | 5,0 | 2,8 | 1,8 | 5,0 | 3,6 | 1,4 | 20,0 | 6,5 | 2,3 |
| V-ppm | 150,0 | 37,1 | 4,0 | 20,0 | 7,8 | 2,5 | 100,0 | 30,7 | 3,2 | 150,0 | 37,1 | 4,0 |
| Y-ppm | 20,0 | 7,1 | 2,8 | 5,0 | 5,0 | 1,0 | 70,0 | 22,8 | 3,0 | 70,0 | 44,3 | 1,6 |
| Zr-ppm | 150,0 | 121,4 | 1,2 | 100,0 | 48,6 | 2,0 | 1.500,0 | 1.028,6 | 1,4 | 1.500,0 | 1.048,0 | 1,4 |

Observações:

- Foram utilizadas neste teste sete amostras de sedimento, todas em 4 frações granulométricas: A - maior 20 mesh; B - menor que 20 e maior que 80 mesh; C - menor que 30 e maior que 150 mesh e D - menor que 150 mesh.
- Foram testados apenas os elementos que apresentaram 50% dos valores qualificados (acima do limite de sensibilidade do método analítico).
- Aquêles eventuais valores abaixo do limite de detecção do método analítico foram censurados pelo fator 0,5.
- Aquêles eventuais valores acima do limite de detecção do método analítico foram censurados pelo fator 1,5.
- O contraste foi admitido como sendo a razão entre o valor máximo registrado e a média aritmética.

TAB. 2 - TESTES GRANULOMÉTRICOS PARA A PROSPECÇÃO GEOQUÍMICA DE SOLO RESIDUAL

- ÁREA - PILETO -

| FRAÇÃO | A (> 20 #) | | | B (< 20 e > 80 #) | | | C (< 80 e > 150 #) | | | D (< 150 #) | | |
|--------|--------------|-------|----------------|-------------------|-------|----------------|--------------------|-------|----------------|--------------|-------|----------------|
| | VALOR MÁXIMO | MÉDIA | CONTRAS-MÍNIMO | VALOR MÁXIMO | MÉDIA | CONTRAS-MÍNIMO | VALOR MÁXIMO | MÉDIA | CONTRAS-MÍNIMO | VALOR MÁXIMO | MÉDIA | CONTRAS-MÍNIMO |
| Fe-% | 10,0 | 3,3 | 3,0 | 7,0 | 3,1 | 2,2 | 10,0 | 3,2 | 3,1 | 7,0 | 2,0 | 2,5 |
| Mg-% | 2,0 | 0,47 | 2,1 | 1,0 | 0,50 | 2,0 | 2,0 | 0,50 | 2,0 | 1,0 | 0,76 | 1,3 |
| Ti-% | 0,5 | 0,25 | 2,0 | 1,0 | 0,40 | 2,5 | 1,0 | 0,42 | 2,4 | 1,0 | 0,42 | 2,4 |
| Mn-ppm | 2000 | 475 | 4,2 | 1000 | 378 | 2,6 | 700 | 260 | 1,9 | 700 | 164 | 4,2 |
| B-ppm | 200 | 65,7 | 3,0 | 200 | 65,7 | 3,0 | 200 | 78,5 | 2,5 | 200 | 81,4 | 2,4 |
| Ba-ppm | 1000 | 590,7 | 1,69 | 1000 | 596,4 | 1,67 | 1000 | 580,0 | 1,72 | 1000 | 600,0 | 1,6 |
| Se-ppm | 3 | 3,8 | 1,6 | 3 | 2,7 | 1,7 | 3 | 1,6 | 1,8 | 3 | 2 | 1,5 |
| Co-ppm | 20 | 10,3 | 1,94 | 20 | 11,4 | 1,75 | 15 | 9,1 | 1,64 | 15 | 8,4 | 1,8 |
| Ce-ppm | 500 | 74,6 | 8,7 | 100 | 47,8 | 2,0 | 100 | 44,6 | 2,2 | 100 | 43,2 | 2,3 |
| Cu-ppm | 100 | 34,6 | 2,9 | 150 | 40,3 | 2,5 | 100 | 37,5 | 2,6 | 100 | 43,9 | 2,3 |
| La-ppm | 150 | 72,1 | 2,0 | 200 | 93,5 | 2,1 | 200 | 92,1 | 2,2 | 100 | 109,3 | 2,7 |
| Nb-ppm | 30 | 14,2 | 2,1 | 50 | 19,3 | 2,6 | 30 | 15,7 | 1,9 | 20 | 14,6 | 1,4 |
| Ni-ppm | 70 | 27,8 | 2,5 | 70 | 32,3 | 2,1 | 70 | 32,3 | 2,1 | 70 | 35,7 | 1,9 |
| Pb-ppm | 100 | 28,2 | 3,5 | 100 | 32,1 | 3,1 | 50 | 21,0 | 2,4 | 70 | 28,5 | 2,4 |
| V-ppm | 200 | 85,3 | 2,34 | 200 | 81,4 | 2,45 | 200 | 83,5 | 2,39 | 200 | 87,8 | 2,3 |
| Y-ppm | 70 | 35,0 | 1,9 | 150 | 53,9 | 2,7 | 100 | 46,4 | 2,1 | 150 | 62,1 | 2,4 |
| Zr-ppm | 1000 | 362 | 2,76 | 1.500 | 535 | 2,80 | 1.500 | 827 | 1,81 | 1500 | 786 | 1,9 |
| Au-ppm | 0,45 | 0,075 | 6,00 | 0,85 | 0,14 | 5,93 | 0,70 | 0,160 | 4,17 | 0,9 | 0,160 | 5,6 |

Observações:

- Foram testados quatorze amostras de solo, todas em frações granulométricas: A (maior que 20mesh; B (menor que 20 e maior que 80 mesh); C (menor que 80 e maior que 150 mesh) e D (menor que 150 mesh).
- Foram testados apenas os elementos que apresentaram 50% de valores qualificados (acima do limite de sensibilidade do método analítico).
- Os valores eventualmente abaixo do limite de detecção do método analítico foram censurados pelo fator 0,5 (CONTR), enquanto os valores eventualmente acima do limite de detecção foram censurados pelo fator 1,5.
- O contraste foi admitido como sendo a razão entre o valor máximo registrado e a média aritmética.
- O Au foi analisado por absorção atômica.

Especial ênfase foi conferida à prospecção em sedimento ativo de corrente. Na área total (12.856 km²) abrangida pelo Projeto foram coletadas 1.306 amostras de sedimento, o que equivale a uma densidade média de uma amostra para cada 10 km², possibilitando uma alta representatividade em termos de levantamento regional.

O material amostrado foi, preferencialmente, a fração fina (argilosa), coletada no ponto médio da calha de escoamento. Cerca de 400 gramas de material, recolhidas a pá manual nos níveis superficiais, raramente atingindo 25 cm de profundidade, foram acondicionadas em sacos de polietileno e remetidas para análise.

Adicionalmente foram coletadas 459 amostras de concentrados de minerais pesados, segundo uma densidade média de uma amostra para cada 30 km². Os concentrados foram obtidos a partir de 10 litros de material aluvionar.

A prospecção geoquímica foi complementada com a amostragem de solo (486 amostras) e rocha (201 amostras) em sítios estratégicos, potencialmente favoráveis a mineralização.

Toda a população amostrada de sedimento e solo foi secada e peneirada na fração inferior a 80 mesh.

As análises geoquímicas foram processadas, para todos os materiais, por espectrografia de emissão (semiquantitativa) para os elementos Fe, Mg, Ca, Ti, Mn, Ag, Au, As, B, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, La, Mo, Nb, Ni, Pb, Sb, Sc, Sn, Sr, V, W, Y, Zn e Zr.

Análise espectrofotométrica de absorção atômica foram realizadas na totalidade da população de concentrado de batéia, solo e rocha. O limite de sensibilidade do método foi de 0,05 ppm Au.

Como ferramenta auxiliar na interpretação dos dados analíticos, foram utilizados programas estatísticos segundo os procedimentos convencionais recomendados por KOCH e LINK (1970) e KRUMBEIN e GRAYBILL (1965).

SELEÇÃO GRANULOMÉTRICA

Preliminarmente, numa área-piloto, relacionada a mineralizações de ouro, em metassiltitos, e cassiterita, em rochas efusivas, foram processados testes em quatro diferentes frações granulométricas em sedimento (tabela 1) e solo residual (tabela 2).

Notou-se que as maiores concentrações e os melhores contrastes verificam-se nas frações inferiores a 80 mesh, notadamente na fração menor que 150 mesh. Todavia, no reconhecimento regional foi adotada a granulometria inferior a 80 mesh, uma vez que além de delinear claramente as anomalias através dos bons contrastes fornecidos, torna a recuperação das amostras bem mais fácil que as frações inferiores a 150 mesh, devido ao fato de requerer menor quantidade de amostra para a recuperação da quantidade suficiente de finos para a análise.

DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA DOS ELEMENTOS

Num estágio orientativo preliminar, foi procedida uma avaliação sumária dos estimadores geoquímicos nas populações amostradas em sedimento, concentrado de batéia, solo e rocha (tabela 3).

Na área-piloto, englobando a ocorrência aurífera do Morro do Fogo, o ouro em sedimento ativo aparece em associação significativa com Co, Zr, Y, Ni e Sc. A análise de variância (F-test), a um nível de significação $\alpha = 0,05$, indicou, com relação à distribuição do metal em cinco diferentes unidades litológicas, a inexistência de variações significativas nos teores do metal.

Foram, subsequentemente aplicados, programas referentes ao sumário dos estimadores das populações globais amostradas regionalmente em sedimento de corrente e concentrado de batéia (tabela 4), segundo os diferentes controles estratigráficos discriminados.

Uma maior atenção foi dada à distribuição dos elementos Au, Sn, Ag e As. Os dois primeiros mostram uma dispersão predominantemente detritica.

Em sedimento de corrente os teores de ouro oscilaram desde valores inferiores a 0,05 até 4,50 ppm, sendo evidenciadas boas correlações (0,30 a 0,50) com Ni e Cr, enquanto com os elementos Pb, Sn, Co, Nb, Sc e Zr o ouro aparece com uma associação menos marcante (coeficientes de 0,10 a 0,30). Na folha de Água Quente, em zona de quartzitos e metassiltitos do Grupo Paraguassu os teores anômalos de Au refletem níveis seguramente mineralizados.

Ainda no tocante ao ouro, o reconhecimento geoquímico em concentrado de batéia se mostrou bastante eficiente abrangendo uma variação ampla de valores, de inferiores ao limite de detecção do método (0,05 ppm) até níveis superiores a 100 ppm de Au. O metal apresentou uma forte correlação com o Sn e moderadas associações com os metais Y, Sc, Cr, V, Mo, Mn, Cu e Pb. A figura 3 mostra razoavelmente bem a associação Au-Ag-As-Pb.

Nos concentrados de minerais pesados o chumbo mostra uma forte associação com o cromo, enquanto correlações moderadas são mantidas com Mo, Sr, Sn, Y, Fe, Mg, Cu, Co, Ba e Au. As figuras 3 e 4 fornecem uma razoável configuração de tais associações. O teor mais expressivo de Pb (10.000 ppm) foi registrado em faixa de rochas efusivas, com associação de Co, Cr e Cu, na folha de Lagoa do Dionísio.

A amostragem estratégica de solo residual registrou valores definidos de ouro oscilando de 0,05 a 8,50 ppm. Nesse ambiente ficou evidenciada uma forte correlação do Au com os elementos V, Fe, Mn, Ni, Ba, La, Y e B. Numa concreção ferromangânica, na ocorrência aurífera do Morro do Fogo, foi constatada expressivos valores para Au (10 ppm) - Mn (5.000 ppm) - Ag (100 ppm) - As (700 ppm) - Cu (15.000 ppm) - Co (2.000 ppm) - Mo (1.500 ppm) - Ni (500 ppm).

Para o estanho, em sedimento de corrente, foi assinalado um fraco grau de detecção (21:1306), sendo normalmente verificadas associações com Au, Ag, As, Ba, B e Nb. Nos concentrados de minerais pesados, na zona das rochas efusivas, são detectados teores médios de 82 ppm de Sn, com valores oscilando de 5 a 1.500 ppm e com alto coeficiente de variação (3,5), evidenciando a significativa taxa de dispersão relativa do elemento neste ambiente secundário.

O reconhecimento estratégico em solo assinalou para estanho valores definidos no intervalo de 10 a 1.500 ppm, com um grau de detecção de 48:486 (10%). Uma forte correlação é assinala-

| ELEMENTO | SEDIMENTO DE CORRENTE | | | CONCENTRADO DE BARRAGEM | | | SOLO (HORIZONTE B) | | | ROCHA | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|-----------------------|-------|-----------------------|-------------------------|-----|-----------------------|--------------------|-------|-----------------------|-------|-------|-----------------------|------|------|------|-----|-------|-------|------|------|------|-----|-------|-------|
| | máx | méa | coef. de variação (%) | máx | méa | coef. de variação (%) | máx | méa | coef. de variação (%) | máx | méa | coef. de variação (%) | | | | | | | | | | | | |
| Fe - % | 0,05 | 10,00 | 1,72 | 2,3 | 1,0 | 180:180 | 10 | 2,0 | 15 | 1,2 | 18:43 | 1,5 | 7 | 3 | 1,4 | 0,4 | 29:29 | 0,10 | 2,9 | 3,16 | 2,8 | 1,2 | 31:38 | |
| Mg - % | 0,02 | 1,5 | 0,19 | 2,3 | 1,0 | 180:180 | 0,02 | 0,2 | 6,02 | 2,9 | 0,8 | 22:43 | 0,15 | 1,4 | 0,38 | 1,7 | 0,5 | 29:29 | 0,05 | 5 | 0,62 | 3,5 | 1,9 | 37:36 |
| Ca - % | 0,05 | 2,0 | 0,12 | 2,2 | 1,0 | 144:180 | — | — | — | — | — | — | 0,05 | 0,15 | 0,09 | 1,6 | 0,5 | 10:29 | 0,05 | 7 | 0,47 | 6,3 | 5,4 | 28:38 |
| Ti - % | 0,07 | 1,0 | 0,25 | 1,89 | 0,7 | 175:180 | — | — | — | — | — | — | 0,10 | 1,0 | 0,26 | 1,7 | 0,5 | 29:29 | 0,02 | 1 | 0,19 | 2,2 | 0,9 | 38:38 |
| Mn - ppm | 110 | 5000 | 276 | 3,5 | 1,8 | 175:180 | 50 | 3000 | 539 | 3,9 | 2,3 | 24:43 | 30 | 3000 | 308 | 2,6 | 1,2 | 29:29 | 10 | 1500 | 237 | 3,7 | 2,1 | 36:38 |
| B - ppm | 10 | 200 | 3,5 | 3,2 | 0,9 | 173:180 | 20 | 100 | 39 | 1,9 | 0,5 | 20:43 | 10 | 200 | 27 | 2,4 | 1,0 | 29:29 | 10 | 700 | 34 | 3,2 | 1,7 | 23:38 |
| Ba - ppm | 20 | 500 | 175 | 1,8 | 0,7 | 177:180 | 50 | 2000 | 121 | 2,5 | 1,2 | 25:43 | 150 | 700 | 342 | 1,5 | 0,4 | 29:29 | 20 | 1800 | 246 | 2,8 | 1,4 | 34:38 |
| Be - ppm | 1 | 5 | 1,5 | 1,5 | 0,4 | 103:180 | 1 | 1,5 | 1 | 1 | 0,1 | 14:43 | 1 | 7 | 1,5 | 1,5 | 0,4 | 28:29 | 1 | 10 | 2 | 2,0 | 0,8 | 30:38 |
| Co - ppm | 5 | 20 | 8 | 1,6 | 0,8 | 113:180 | 5 | 300 | 21 | 3,4 | 1,8 | 22:43 | 5 | 20 | 0,7 | 1,5 | 0,4 | 25:29 | 5 | 70 | 15 | 2,2 | 0,9 | 21:38 |
| Cr - ppm | 10 | 200 | 28 | 2,4 | 1,0 | 153:180 | 10 | 200 | 42 | 3,1 | 1,5 | 25:43 | 10 | 150 | 25,3 | 2,2 | 0,9 | 27:29 | 10 | 500 | 61 | 3,7 | 2,1 | 24:38 |
| Cu - ppm | 5 | 100 | 17 | 2,5 | 1,2 | 135:180 | 5 | 100 | 21 | 2,9 | 1,6 | 25:43 | 5 | 200 | 22 | 2,6 | 1,2 | 27:29 | 5 | 200 | 31 | 3,6 | 2,0 | 19:38 |
| Li - ppm | 20 | 300 | 55 | 2,1 | 0,9 | 146:180 | 50 | 900 | 168 | 1,9 | 0,7 | 26:43 | 20 | 200 | 95 | 2,0 | 0,7 | 25:29 | 20 | 500 | 98 | 2,0 | 0,8 | 26:32 |
| Nb - ppm | 10 | 70 | 17 | 1,9 | 0,7 | 159:180 | 10 | 300 | 45 | 2,8 | 1,4 | 25:43 | 10 | 70 | 11 | 1,3 | 0,4 | 27:29 | 10 | 50 | 17 | 1,9 | 0,7 | 23:38 |
| R - ppm | 5 | 70 | 14 | 2,1 | 0,9 | 124:180 | 10 | 100 | 27 | 2,5 | 1,1 | 17:43 | 7 | 70 | 18 | 1,6 | 0,7 | 28:29 | 5 | 100 | 24 | 3,2 | 1,7 | 23:38 |
| Pb - ppm | 10 | 50 | 21 | 1,6 | 0,5 | 125:180 | 10 | 150 | 49 | 1,9 | 0,7 | 25:43 | 10 | 70 | 23 | 1,6 | 0,6 | 29:29 | 10 | 70 | 16 | 1,8 | 0,7 | 25:38 |
| Se - ppm | 5 | 20 | 9 | 1,6 | 0,5 | 109:180 | 5 | 80 | 13 | 1,7 | 0,5 | 11:43 | 5 | 50 | 7 | 1,6 | 0,5 | 29:29 | 5 | 20 | 10 | 1,7 | 0,6 | 25:38 |
| Sr - ppm | 10 | 300 | 18 | 2,3 | 1,5 | 21:180 | 10 | 1000 | 107 | 4,2 | 2,6 | 20:43 | 10 | 200 | 24 | 2,3 | 1,0 | 19:29 | — | — | — | — | — | — |
| V - ppm | 10 | 200 | 34 | 2,4 | 1,0 | 171:180 | 10 | 150 | 31 | 2,7 | 1,3 | 25:43 | 10 | 200 | 38 | 2,1 | 0,8 | 23:29 | 10 | 300 | 56 | 2,9 | 1,4 | 25:38 |
| Y - ppm | 10 | 200 | 32 | 2,1 | 0,9 | 175:180 | 20 | 700 | 182 | 2,3 | 1,0 | 25:43 | 20 | 100 | 52 | 1,7 | 0,5 | 29:29 | 10 | 500 | 35 | 2,8 | 1,4 | 27:38 |
| Zr - ppm | 70 | 8000 | 281 | 1,8 | 0,8 | 162:180 | — | — | — | — | — | — | 100 | 1000 | 276 | 1,5 | 0,4 | 29:29 | 50 | 500 | 146 | 1,9 | 0,7 | 36:38 |
| Ni - ppm | 0,05 | 3,0 | 0,10 | 2,4 | 1,1 | 343:180 | 0,05 | ~1000 | — | — | — | 8:43 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

TABELA - 3



PROJETO ROCHAS EFUSIVAS
 ÁREA PILOTO - ESTUDO ORIENTATIVO
 SUMÁRIO DAS ESTATÍSTICAS
 SEDIMENTO - CONCENTRADO - SOLO - ROCHA

Observações

- Todos os elementos foram analisados por espectrografia semi-quantitativa, exceto o Ni por coloração óptica.
- Supondo-se a distribuição log-normal, a média e os desvios padrões são apresentados em percentagem em % ou em ppm.
- Uma de desvio padrão refere-se ao número de valores obtidos em relação ao total de amostras analisadas que corresponde para determinado valor.

| ELEMENTO | ÁREA GLOBAL | | | COBERTURA DETRÍTICA | | | ALUVÃO (QUATERNÁRIO) | | | GRUPO PARAGUASSU | | | EFUSIVAS ACIDAS | | | COMPLEXO METAMÓRFICO | | | | | | | | | | |
|----------|-------------|--------|----------|---------------------|-----------|----------|----------------------|--------|-----------|------------------|--------|----------|-----------------|--------|----------|----------------------|-----------|----------|-----------|-------|-----------|--------|-----------|---------|---------|---------|
| | MEIO | DESVIO | VARIAÇÃO | MEIO | DESVIO | VARIAÇÃO | MEIO | DESVIO | VARIAÇÃO | MEIO | DESVIO | VARIAÇÃO | MEIO | DESVIO | VARIAÇÃO | MEIO | DESVIO | VARIAÇÃO | | | | | | | | |
| Fe - % | 0,1-30,0 | 0,54 | 2,8 | 47-459 | 2,0-10,0 | 0,12 | 1,8 | 37-38 | 0,1-10,0 | 0,11 | 0,9 | 28-28 | 0-20,0 | 0,31 | 2,4 | 141-152 | 7-30 | 19,15 | 1-30 | 59,87 | 1-4 | 59,87 | 1-30 | 10,21 | 1,7 | 116-183 |
| Mg - % | 0,01-3,00 | 0,02 | 2,8 | 433-439 | 0,01-0,30 | 0,10 | 2,0 | 37-38 | 0,02-1,00 | 0,02 | 2,4 | 28-28 | 0-20,0 | 0,14 | 2,5 | 148-152 | 0,01-1,00 | 0,05 | 0,0-20,0 | 59,87 | 2-8 | 59,87 | 0,0-20,0 | 0,18 | 2,7 | 271-125 |
| Ca - % | 0,00-5,00 | 0,07 | 5,8 | 221-409 | — | — | — | — | 0,01-1,00 | 0,05 | 2,5 | 15-18 | — | — | — | — | — | — | 0,01-5,00 | — | — | — | 0,01-5,00 | 0,13 | 4,1 | 104-183 |
| Mn - ppm | 10-7000 | 81,0 | 5,6 | 489-499 | 200-7000 | 218,8 | 2,1 | 33-39 | 10-3000 | 38,0 | 9,1 | 25-28 | 20-7000 | 487 | 5,0 | 143-152 | 20-3000 | 47,2 | 5,4 | 64-67 | 200-7000 | 1310 | 2,5 | 118-133 | | |
| B - ppm | 5-300 | 17,2 | 6,1 | 408-499 | 0-2000 | 193 | 9,0 | 37-39 | 10-3000 | 287 | 3,2 | 24-26 | 0-3000 | 283 | 4,8 | 158-152 | 0-2000 | 34 | 6,4 | 64-67 | 10-3000 | 204 | 4,1 | 317-183 | | |
| BA - ppm | 20-7500 | 148 | 5,2 | 431-459 | 20-7000 | 102 | 3,1 | 34-38 | 20-700 | 86 | 2,4 | 25-28 | 20-2000 | 181 | 3,4 | 145-152 | 20-2000 | 179 | 3,7 | 64-67 | 20-7000 | 112 | 3,0 | 119-123 | | |
| Be - ppm | — | — | — | — | 0,5-3,0 | 1,0 | 1,7 | 17-19 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| Co - ppm | 0,0-300,0 | 7,2 | 2,4 | 636-459 | 0-150 | 2,8 | 2,4 | 37-39 | 7-200 | 23 | 2,8 | 28-28 | 0,5-300,0 | 21 | 2,4 | 165-152 | 0,5-300,0 | 19 | 5,1 | 64-67 | 0,5-300,0 | 23 | 2,0 | 121-125 | | |
| Cr - ppm | 10-7500 | 194 | 6,3 | 487-499 | 10-500 | 90 | 2,3 | 37-39 | 50-1000 | 336 | 0,5 | 24-26 | 10-7000 | 279 | 2,8 | 147-152 | 10-700 | 84 | 3,7 | 64-67 | 20-1800 | 254 | 2,4 | 129-123 | | |
| Cu - ppm | 0,0-300,0 | 2,6 | 2,5 | 47-459 | 10-150 | 40 | 1,4 | 37-38 | 2,0-90,0 | 27 | 2,7 | 27-28 | 0,5-300,0 | 53 | 2,4 | 145-152 | 0,5-300,0 | 23 | 2,4 | 64-67 | 0,5-300,0 | 19 | 2,6 | 112-123 | | |
| La - ppm | 10-1500 | 149 | 5,1 | 280-459 | 20-1000 | 151 | 2,4 | 28-30 | 20-2000 | 25 | 2,3 | 26-28 | 10-1000 | 140 | 3,1 | 27-152 | 20-2000 | 90 | 3,5 | 59-67 | 20-1800 | 237 | 3,5 | 109-123 | | |
| Nb - ppm | 0-5000 | 19 | 2,3 | 397-459 | 0-50 | 16 | 1,8 | 38-39 | 0-100 | 17 | 2,0 | 24-26 | 0-2000 | 18 | 2,1 | 159-152 | 0-1000 | 32 | 2,5 | 59-67 | 0-2000 | 16 | 2,4 | 103-123 | | |
| Ni - ppm | 2,0-100,0 | 18 | 6,6 | 465-489 | 0,5-20,0 | 10 | 1,0 | 32-39 | 0-100 | 18 | 2,0 | 26-28 | 0-100 | 22 | 1,9 | 68-152 | 0,5-300,0 | 13 | 2,5 | 49-67 | 0-1500 | 20 | 2,2 | 11-123 | | |
| Pg - ppm | 10-1000 | — | — | 148-459 | 10-250,0 | 44 | 2,2 | 37-39 | 10-100 | 38 | 2,8 | 23-25 | 0-2000 | 52 | 2,3 | 145-152 | — | — | — | — | — | 20-500 | 64 | 1,7 | 122-123 | |
| Sr - ppm | 0-150 | 23 | 2,8 | 201-459 | 0-100 | 15 | 2,5 | 37-39 | 0-150 | 34 | 2,7 | 24-24 | 0-180 | 34 | 2,8 | 125-152 | 0-70 | 9 | 2,1 | 51-67 | 0-1500 | 20 | 2,3 | 119-123 | | |
| Sm - ppm | 0-1000 | 24 | 4,5 | 370-459 | 0-1000 | 53 | 4,0 | 33-39 | 10-200 | 37 | 3,0 | 28-28 | 0-1000 | 44 | 4,7 | 18-152 | 0-1000 | 32 | 3,0 | 59-67 | 0-1500 | 36 | 3,1 | 100-123 | | |
| V - ppm | 0-700 | 90 | 2,2 | 436-459 | 10-500 | 121 | 2,3 | 37-39 | 20-200 | 18 | 1,7 | 26-26 | 10-100 | 17 | 1,6 | 148-152 | 10-200 | 18 | 2,9 | 64-67 | 0-2000 | 129 | 2,0 | 121-123 | | |
| Zn - ppm | 10-3000 | 287 | 5,1 | 423-459 | 10-2000 | 337 | 2,4 | 37-39 | 30-3000 | 374 | 2,8 | 24-24 | 20-1000 | 447 | 3,5 | 125-152 | 20-1000 | 230 | 2,2 | 63-67 | 10-3000 | 129 | 2,0 | 118-123 | | |
| Zr - ppm | 100-4000 | 238 | 2,9 | 19-459 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| As - ppm | 0,01-100 | — | — | 20-459 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| Ag - ppm | 0,0-200 | — | — | 21-499 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |

1.- Todos os resultados foram obtidos por espectrográfico semi-quantitativa, exceto o Au que foi espectroquímico de absorção atômica.

2.- Supondo-se distribuição log-normal a média e os desvios são geométricos.

3.- As colunas não processadas referem-se a um número excessivo de intervalos (é stepwise prontos números de dados não definidos < 00%)

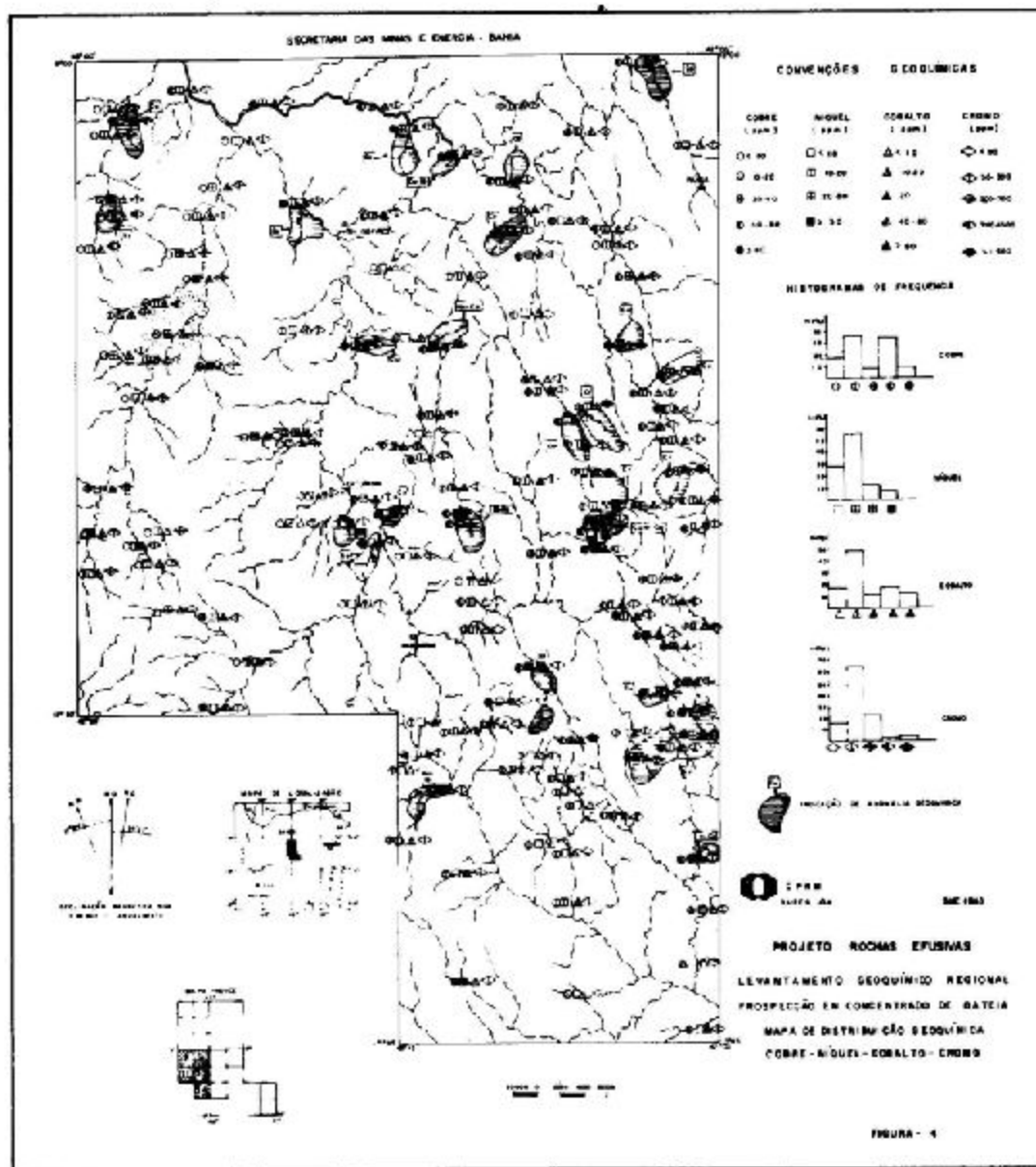
4.- Todos os dados analisados estão abaixo do limite inferior da sensibilidade da técnica forma multiplicados por 0,5 e os acima do limite superior por 1,5, exceto para o Au e Ag cujos dados são definitivos.

PROJETO ROCHAS EFUSIVAS
RECONHECIMENTO GEOQUÍMICO REGIONAL
 SUMÁRIO DAS ESTATÍSTICAS REFERENTE
 A CONCENTRAÇÕES DE MINERAIS PESADOS
 — DISTRIBUIÇÃO SUPPOSTA LOGNORMAL —

CONVÊRSO
 S.M.E. — C.P.R.M.
 TUNSO — SA

TABELA 4

Com referência aos demais elementos, vale registrar, e n concentrado de minerais pesados, no âmbito geral do Projeto, a forte associação do cobre com Co e V e moderada correlação com Mn, Ti, Fe, Au e Mo. Nas faixas relativas, especificamente, as rochas efusivas é notada uma correlação muito forte do Cu com os elementos Co, V, Sc e Cr, sendo que correlações fortes são também mantidas com B, Mg, Be e Ni. A figura 4, correspondente à faixa sul do Projeto, mostra o comportamento da associação Cu-Ni-Co-Cr.



Na avaliação dos padrões de dispersão dos elementos, das suas associações e níveis de concentrações anômalas foram tomados como referência os trabalhos de GOLDSCHMIDT (1970) e LEVINSON (1974).

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Num estágio preliminar ao reconhecimento geoquímico regional foi desenvolvido um estudo piloto tendo como objetivo tentar estabelecer o tipo de associação à qual estaria o ouro e o estanho relacionados.

Tomados como elementos essenciais para o estudo, devido à frequência e importância de suas ocorrências na área, foi testada uma regressão linear múltipla seqüencial tomando-se esses metais como variáveis dependentes, enquanto se considerava berílio, nióbio, chumbo e cobre como variáveis independentes. A razão da escolha desses quatro metais prendeu-se ao fato de que, predominando rochas efusivas ácidas, partiu-se do pressuposto de que as mineralizações de ouro e estanho estariam exclusivamente relacionadas a este tipo de litologia, além do que já era conhecida também ocorrência de oxidados de cobre ligada àqueles tipos de rochas. Estabeleceu-se então que aqueles metais seriam provavelmente uma associação típica e que explicaria satisfatoriamente a variabilidade do ouro e estanho.

Buscando maior segurança para os resultados foi solicitada uma matriz de correlação envolvendo todos os elementos estudados, o que possibilitaria detectar outras associações por acaso existentes, ou mesmo dar uma definição no caso de não funcionar a associação típica considerada para a análise de regressão.

Com efeito, as reduções obtidas mostraram uma total desvinculação do ouro com os elementos Be, Nb, Cu e Pb. No caso do estanho obteve-se uma redução da ordem de 40%, ainda insuficiente para a caracterização da relação entre o estanho e aqueles metais.

Ressalta-se que a análise foi baseada, para ambos os casos, em resultados de sedimento de corrente.

Surpreendentemente, os melhores coeficientes de correlação no estudo orientativo, com referência a sedimento, foram obtidos entre o estanho e os elementos Ti, Co, Ni e Cr (todos maiores que 0,50), enquanto o ouro registrava as melhores correlações com o Co, Cr, Y, Ni e Sc. Daí se conclui que o relacionamento do Sn com elementos característicos de rochas máficas (Cr, Ni, Co, Ti, etc.), poderia ser atribuído a dois fatores, a saber:

1) Relacionamento puramente espacial uma vez que foi constatada a presença de corpos máficos não só próximo as ocorrências de cassiterita já conhecidas, como também nos pontos onde foram assinalados valores elevados de Sn;

2) Além dessa coincidência, as mineralizações de Sn poderiam ter sofrido a influência da energia gerada quando da colocação dos corpos máficos, produzindo as condições necessárias à remobilização e concentração do estanho preexistente e originário das efusivas ácidas.

Nos perfis de detalhe no solo, entretanto, não ficou patenteada essa associação, havendo correlação do Au apenas com Ni e Cr na área do Morro do Fogo e de estanho com Cu e Cr no Brejo de Santa Tereza, sendo a correlação deste último provavelmente devido à sua natureza também particular.

Confrontando os dados acima considerados, para sedimento de corrente, com a geologia da área, verifica-se uma nítida compatibilidade, uma vez que os principais depósitos conhecidos (Au em Morro do Fogo e Sn em Brejo de Santa Tereza) apresentam intrusivas básicas de composição diabásio-gabróica em suas proximidades. O maior relacionamento do ouro com os metais Cr, Ni, Co, Fe, Mg, etc., baseado em sedimentos de corrente parece indicar que este metal poderia, em alguns casos, ter sido originado de uma fonte máfica.

Por outro lado, para concentrado de batéia o Sn comportou-se inversamente correlacionado com os elementos Co, Cr, V, Ni e apresentou correlação nula com Cu, deixando transparecer uma dissociação do Sn com elementos-traços característicos de rochas máficas.

No âmbito regional, merecem ainda especial destaque os corpos básicos intercalados no Grupo Paraguassu na localidade de Mateus (folha Água Quente, estações OS-18 a 39). Af, as evidências quanto às concentrações anômalas dos metais Cu, Ni, Cr, Co, Fe e Mn, refletindo seguramente possíveis níveis básicos, levam a sugerir tal alvo como sendo de particular interesse com vistas à associações de outros metais de eventual interesse econômico, comportando subseqüentes estudos em grau de maior detalhamento. O registro do teor de 700 ppm de Sn no concentrado de batéia, desta localidade, poderia ter conexão com possíveis mineralizações de cassiterita; não do ponto de vista genético mas energético, conforme mencionado anteriormente.

Ainda que as rochas do Grupo Paraguassu tenham, aparentemente, despontado como as de maior interesse para pesquisas adicionais, devido a ter apresentado anomalias mais expressivas, é importante ser ressaltado o fato de que, especialmente no que diz respeito ao ouro, as mineralizações não parecem obedecer a um controle estratigráfico rígido.

As próprias rochas máficas, intrusivas no Grupo Rio dos Remédios, também cortam outras unidades litológicas, assim como não foi possível constatar sua presença em algumas zonas anômalas. Porém, o aparecimento dessas rochas preenchendo fraturas e especialmente aquelas alinhadas paralelamente ao "trend" regional, devem ser examinadas de uma maneira cuidadosa a fim de se verificar a possibilidade de conterem mineralizações de ouro.

Tendo em vista a frequência com que níveis ferro-manganíferos ocorrem na área, por vezes formando crostas, e sua notória influência na distribuição dos metais, torna-se necessária uma rápida abordagem sobre o assunto.

Associações anômalas de metais vinculados a tais níveis; são especialmente registrados sobre os metassiltitos do Grupo Paraguassu na fazenda Tamanduá (folha Água Quente) e também em carapaças nas folhas Ibiapitanga, Ibiajara, Itanagé e Caturama (figura 23). Na fazenda Tamanduá, com particular ênfase, são registrados significativos teores dos metais Au, Ag, Be, Cu, As, Ni, Co e Mn. Admite-se que tais associações estejam relacionadas a barreiras de absorção condicionadas pelos metais Fe e Mn. É sabido que estes metais apenas permanecem em solução sob condições altamente ácidas ou fortemente oxidantes; como tais condições são raramente encontradas no ambiente secundário, tem-se que os óxidos-hidróxidos de Fe e Mn são normalmente precipitados sob as condições superficiais de intemperismo, as quais são normalmente condições oxidantes.

Durante o intemperismo, conforme observa LEVINSON (1974), tais metais podem incorporar, por coprecipitação, outros elementos que poderiam normalmente não ser afetados por mudanças de pH e Eh. Uma vez formados, eles passam a exibir uma tendência de absorver (scavenging) elementos com os quais venham a ter contato.

No âmbito do Projeto, os principais parâmetros responsáveis por essas oscilações de teores dos metais foram, em grau decrescente de importância: as litologias da área, presença de mineralizações e elementos maiores tais como Fe e Mn. Com efeito, no que diz respeito ao primeiro, observa-se uma marcante variação no teor dos metais quando muda a litologia. O cobre, por exemplo, varia de menor de 5 a 500 ppm no Grupo Paraguassu, caindo para 100 ppm nas rochas que compõem o Grupo Rio dos Remédios. O cromo cai de 700 ppm no Complexo Metamórfico-Migmatítico para 100 ppm nas efusivas ácidas. O mesmo comportamento se observa para outros elementos, inclusive o ouro e o estanho, apesar de seus baixos graus de detecção em sedimentos de corrente.

No que diz respeito ao estanho, no âmbito do Projeto, a resposta alcançada com a amostragem de solo evidencia a possibilidade de se prospectar os depósitos eluvionares deste metal.

Devido à acidentada topografia e ao posicionamento dos talvegues, a formação de aluviões esteve restrita a pequenas áreas, não deixando dúvidas quanto as poucas possibilidades de se explorar economicamente esse tipo de depósito. Por outro lado a observação dos raros velos de cassiterita expostos na área mostram um contínuo estreitamento dos velos a poucos metros de profundidade, o que não foge à regra geral, uma vez que os depósitos primários de cassiterita são essencialmente superficiais.

As extensas áreas afetadas pela alteração (caolinização e argilitização), decomposição e intemperismo dos depósitos "in situ", permitem concluir que particularmente a região do Brejo de Santa Tereza apresenta boas possibilidades de se conter reservas economicamente exploráveis de cassiterita eluvionar.

O estanho, considerando apenas a distribuição em concentrado de batéia, tem dispersão relativa, mais expressiva sobre as rochas efusivas.

Primariamente, nas rochas efusivas são assinaladas maiores coeficientes de variação para os metais Ni, Sc e Y, com relação a uma segunda população englobando as demais variedades litológicas. Em termos absolutos, nas rochas efusivas os elementos mais dispersivos são: Mg, Ca, Cu, Cr, V, B e Ba.

A prospecção estratégica em solo evidenciou, neste ambiente secundário, os elementos Cu, Ca, Mn, Cr e B como sendo os que exibem melhor dispersão relativa.

Em síntese, os coeficientes de variação para os diversos elementos pesquisados, em cada ambiente amostrado, assume uma média indicativa da dispersão dos valores envolvidos. Tal parâmetro pode ser aplicado, num estágio preliminar, à separação de áreas que exibem valores contrastantes.

Com referência ao reconhecimento geoquímico em sedimento, o nível da densidade adotada, de uma amostra para cada 10 km², forneceu uma configuração bastante satisfatória da distribuição dos elementos.

A prospecção geoquímica em concentrado de batéia com uma amostra para cada 30 km² (proporção de uma de concentrado para três de sedimento) revelou-se bastante eficaz na caracterização de faixas com "trends" mineralizados. Muitas associações discretas de elementos-traços, não evidenciadas pelo reconhecimento em sedimento, aparecem bem configuradas nos concentrados de minerais pesados.

NOTA:

Os comentários apresentados no presente trabalho se referem à área global do Projeto Rochas Efusivas. Todavia, considerando o maior realce de concentrações anômalas, são apresentados mapas de distribuição geoquímica correspondentes, exclusivamente, às folhas de Rio do Pires, Inubia, Caturama, Água Quente e Itanagé.

CONCLUSÃO

O reconhecimento geoquímico regional possibilitou a definição de diversas áreas prioritárias, especialmente para ouro. Concentrações elevadas de outros elementos foram também evidenciadas, isoladas ou conjuntamente, mormente para As, Ag, Sn, Cu, Ni, Be, B e Sb. As associações geoquímicas com valores significativos, aliadas aos controles geológicos e aos dados de cadastramento mineral, permitiram a seleção de dezenove áreas recomendadas para estudo subsequente em nível de semi-detalhamento.

BIBLIOGRAFIA

- GOLDSCHMIDT, V.M. — *Geochemistry*. Oxford University Press, 1970. 730 p.
- HAWKES, H.E. & WEBB, J.S. — *Geochemistry in mineral exploration*. New York, Harper and Row, 1962. 415 p. il. fig. (Haper's Geoscience series).
- KOCH, JR., GEORGE S. & LINK, RICHARD F. — *Statistical analysis of geological data*. New York, Wiley, 1970. v. 1. 375 p. il. tab. fig.
- KRUMBEIN, W.C. & GRAYBILL, F.A. — *An introduction to statistical models in geology*. New York, McGraw-Hill, 1965. 475 p.
- LEVINSON, A.A. — *Introduction to exploration geochemistry*. Calgary, applied, 1974. 612 p. il.

RESERVAS E POSSIBILIDADES DE APROVEITAMENTO INDUSTRIAL DAS BAUXITAS DE LAGES – SANTA CATARINA

Eugênio Casimiro Szubert
Valmor D'Ávila Vergara

RESUMO

Este trabalho resultou do Projeto Avaliação das Reservas e da Qualidade dos Depósitos de Bauxita do Município de Lages, Santa Catarina, executado pela CPRM em decorrência do contrato firmado com a SUDESUL. Consiste no estudo de todos os depósitos bauxíticos, resultantes de decomposição das rochas alcalinas e diabásicas, com a determinação de suas reservas e a análise das possibilidades de aproveitamento industrial do minério.

A área de estudo localiza-se a norte da cidade de Lages, predominantemente na localidade de Farinha Seca, abrangendo de modo geral, as rochas alcalinas e diabásicas que deram origem aos depósitos bauxíticos.

A avaliação das reservas foi realizada com auxílio de mapas geológicos (1:10.000), mapas planimétricos e de 56 poços de pesquisa, os quais apresentaram uma média de profundidade de aproximadamente 10 m. A apreciação da qualidade efetuou-se através de análises químicas de 521 amostras de material bauxítico, executadas pelo Laboratório de Análises Minerais (LAMIN) da CPRM, no Rio de Janeiro.

Foram determinadas reservas medido de minério ($Al_2O_3 > 50\%$ e SiO_2 reativa $< 7\%$), em 5.847.500 t, e indicada de material argilo-bauxítico ($Al_2O_3 < 40\%$ e SiO_2 reativa $> 10\%$), em 54.532.000 t, ambos provenientes de alteração das rochas alcalinas. A reserva inferida dos depósitos de alteração bauxítica de diabásicos ($Al_2O_3 = 33,3\%$; SiO_2 reativa = 3,4%) foi calculada em 14.300.000 t.

Finalmente, discute-se todas as possibilidades de aproveitamento industrial do minério, concluindo-se que o mesmo se limita à produção de sulfato de alumínio e alumina, esta somente com vistas à obtenção de criolite artificial e fluoreto de alumínio.

ABSTRACT

A bauxite ore reserves evaluation program was carried out by CPRM, sponsored by SUDESUL. The ore outcrops mainly near Farinha Seca, a place situated north of Lages, in the State of Santa Catarina. Alkaline rocks and also diabases are the sources of bauxite in those areas.

Reserves and quality determinations were done by geological mapping (1:10,000 scale) followed by opening of 56 exploration shafts with a depth up to 10 meters. Sampling of ore localities yield 521 "bauxite" samples. They were all analysed in the LAMIN/CPRM laboratories.

The whole program led to the following conclusions:

1) Bauxite ore derived from alkaline rocks:

– measured reserves ($Al_2O_3 > 50\%$; reactive $SiO_2 < 7\%$) – 5.847.500 mt

– indicated reserves ($Al_2O_3 < 40\%$; reactive $SiO_2 > 10\%$) – 54.532.000 mt

2) Bauxitic material derived from diabases:

– inferred reserves ($Al_2O_3 = 33,3\%$; reactive $SiO_2 = 3,4\%$) – 14.300.000 mt

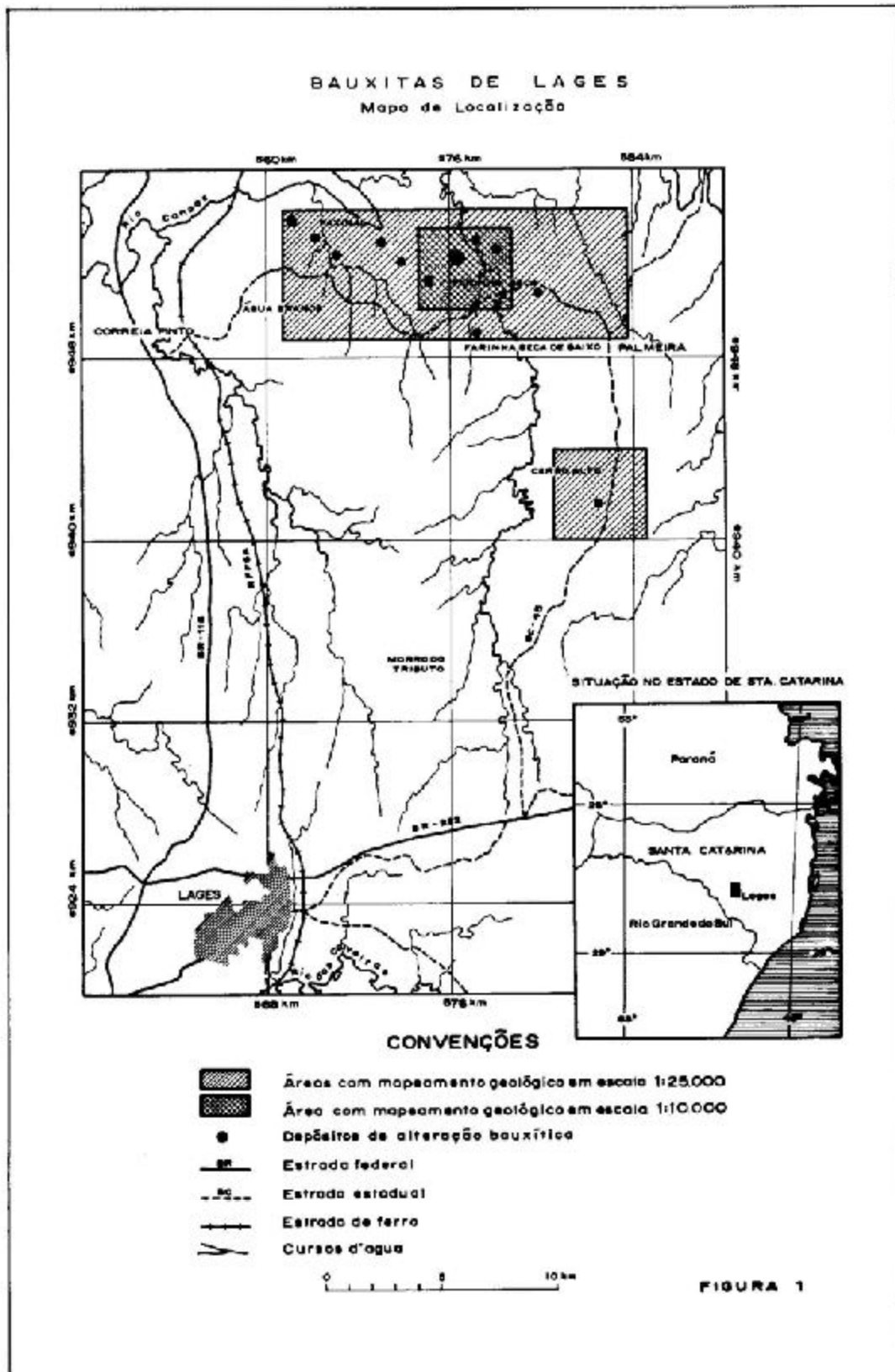
Industrial uses are restricted because of quality parameters. The ore is suitable for the production of $Al_2(SO_4)_3$ and Al_2O_3 , the last one destined to artificial criolite (Na_3AlF_6) and aluminium fluoride (AlF_3) production.

INTRODUÇÃO

A Superintendência do Desenvolvimento da Região Sul promoveu a avaliação dos depósitos de bauxita do Município de Lages, cabendo à CPRM a execução dos trabalhos.

Esta avaliação resultou da necessidade da SUDESUL definir as reservas dos recursos minerais do Estado de Santa Catarina, especialmente o carvão, a fluorita e a bauxita, com vistas a instalação de um complexo industrial na Sub-Região Litoral Sul desse Estado.

As jazidas de carvão e fluorita já se encontram avaliadas e em estudos visando a ampliação das suas reservas através de programas do DNPM. Com referência a bauxita, embora o grande núme-



ro de trabalhos executados na sua área de ocorrência desde longa data, os dados eram insuficientes, restritos a áreas parciais e até mesmo contraditórios, não merecendo confiança aos estudos da viabilidade técnico-econômica para instalação de uma unidade de alumina prevista no referido complexo industrial.

SUMÁRIO GEOLÓGICO

As áreas mapeadas (fig. 1 e 2) situam-se aproximadamente no flanco norte do chamado Domo de Lages. Tal domo foi determinado pela intrusão de rochas alcalinas que soergueram e em parte atravessaram os sedimentos gonduânicos.

Partindo-se das rochas mais jovens para as mais antigas constatou-se além dos aluviões do Quaternário, as intrusões de rochas alcalinas do Terciário-Cretáceo, os diques de diabásio do Cretáceo-Jurássico e as formações gonduânicas do Paleozóico Superior. As rochas alcalinas estão intimamente associadas aos corpos de diabásio, geralmente de grandes envergaduras, ao longo de uma faixa de direção aproximadamente leste-oeste.

A análise petrográfica das rochas alcalinas revelou tratar-se de rochas magmáticas da família dos sienitos feldspatoidicos e fonolitos. A composição petrográfica desses dois tipos de rocha é muito semelhante, observando-se praticamente em todas as amostras analisadas a seguinte constituição mineralógica, por ordem de abundância: feldspatos potássicos (ortoclásio e/ou sanidina), nefelina, aegirina-augita, sodalita e, comumente, cancrinita. Os acessórios mais frequentes são os opacos, sericita, clorita, apatita e biotita.

Os fonolitos foram identificados nas amostras das localidades de Farinha Seca (Áreas I e K e Poço nº 2 da Área A) e Barreiros (fig. 2).

As rochas microfaneríticas foram todas classificadas no presente estudo como microsodalitanefelina-sienitos. Este tipo ocorre numa pequena faixa intermediária de Farinha Seca (Áreas C, F e G) e nas áreas de Faxinal, Cerro Baio e Cerro Alto.

Os diabásicos apresentam, microscopicamente, uma textura intergranular típica, formada por grãos de piroxênio, entremeados com ripas de plagioclásio cálcico, olivina em cristais dispersos e, como acessórios, epidoto, biotita e clorita.

A composição mineralógica dos produtos de alteração bauxítica foi determinada por difração de Raios-X. O minério bauxítico evidenciou uma predominância de gibbsita e menos comumente de caulinita e boehmita. Os produtos mais argilosos apresentam caulinita e, em pequenas proporções, illita, gibbsita e, às vezes, feldspatos.

RESERVAS E ÁREAS DE OCORRÊNCIA

PRELIMINARES

Os estudos geológicos evidenciaram a existência, de um modo geral, de três tipos de alteração bauxítica nas áreas de estudo. Os dois primeiros originaram-se da decomposição química das rochas alcalinas e são denominados neste trabalho de minério bauxítico ($Al_2O_3 > 50\%$ e SiO_2 reativa $< 7\%$) e alteração argilo-bauxítica ($Al_2O_3 < 40\%$ e $SiO_2 > 10\%$). O terceiro tipo é a alteração bauxítica que resulta das rochas diabásicas e que representa teores médios de $33,3\%$ de Al_2O_3 , $3,4\%$ de SiO_2 reativa e 28% de Fe_2O_3 .

Com base nas informações obtidas dos trabalhos de campo e dos resultados das análises químicas foram determinados dois tipos de reservas geológicas: a reserva medida e a reserva indicada.

O conceito de reserva medida foi aplicado no cálculo da tonelagem do minério bauxítico, cujas dimensões foram obtidas dos mapeamentos geológicos (escalas 1:25.000 e 1:10.000), do comportamento dos perfis dos poços de pesquisa e do zoneamento das áreas de bauxita, este baseado nos resultados das análises químicas.

Para os depósitos de alteração argilo-bauxítica adotou-se o conceito de reserva indicada, cuja determinação contou com um número relativamente menor de poços e de amostras analisadas quimicamente.

No caso da alteração bauxítica de diabásios determinou-se uma reserva inferida, tendo em vista que das 17 áreas delimitadas em mapas geológicos foram abertos 4 poços e coletadas amostras somente em 4 dessas áreas.

ÁREAS DE OCORRÊNCIA SOBRE ROCHAS ALCALINAS

Farinha Seca

Em Farinha Seca localiza-se a maior concentração de minério bauxítico e alteração argilo-

bauxítica de toda a área mapeada. Nesta localidade foram estudados individualmente nove corpos, representados nos mapas geológicos por área A, B, C, F, G, H, I, J e K, totalizando uma superfície de 2.153.000 m² (215,30 ha), da qual 859.000 m² (85,90 ha) representam a área do minério bauxítico (fig. 2).

Na área de Farinha Seca foram coletadas 348 amostras para análises químicas, provenientes dos 33 poços de pesquisa, as quais apresentam teores médios para o minério bauxítico de 51,3%, 5,2% e 7,4% respectivamente para Al₂O₃ total, SiO₂ reativa e Fe₂O₃. A alteração argilo-bauxítica, de qualidade muito inferior, apresentou teores médios de 29,7% para Al₂O₃ bauxítica e 11,9% para SiO₂ reativa.

A reserva medida de minério bauxítico da área de Farinha Seca, totalizando 5.020.000 t, representa 86% da tonelagem de todas as áreas pesquisadas (tabela nº 1).

Barreiros

A área de Barreiros representa uma continuidade da área de Farinha Seca, estando separada desta pelo rio dos Índios. Nesta área foram individualizados dois corpos (L e M), perfazendo uma superfície de 369.000 m² (36,90 ha), da qual 116.000 m² (11,60 ha) representam a área de minério bauxítico (fig. 2).

Na área de Barreiros foram coletadas 120 amostras para análises químicas, provenientes dos oito poços de pesquisa. O resultado médio dessas análises revelou índices muito baixos de Al₂O₃ bauxítico (22,1%) e altos de SiO₂ reativa (10,2%).

A reserva medida de minério bauxítico de Barreiros, totalizando 612.500 t, representa 11,0% da tonelagem de minério de todas as áreas pesquisadas (tabela nº 1).

Barra dos Índios

Nesta área foi registrado pela primeira vez um pequeno dique de rocha alcalina bauxitizada, apresentando uma reserva medida de minério bauxítico de 215.000 t.

As sete amostras provenientes de dois poços de pesquisa abertos nesta área revelaram teores médios de Al₂O₃ total, SiO₂ reativa e Fe₂O₃, respectivamente de 52%, 7,0% e 7,5%.

Sobre Rochas Diabásicas

As análises químicas de 10 amostras da área da Barra dos Índios revelaram em média índices muito bons de SiO₂ reativa (3,4%), altos de Fe₂O₃ (28,0%) e baixos de Al₂O₃ total (33,3%). O teor de Al₂O₃, considerado baixo para um aproveitamento industrial, é altamente significativo para um produto de alteração de uma rocha básica. Conclui-se que tais produtos de alteração constituem material bauxítico, embora sem interesse econômico.

A reserva inferida da alteração bauxítica de diabásios foi calculada em 14.305.000 t. e refere-se aos corpos dessas rochas das áreas de Barra dos Índios, Farinha Seca de Cima, Faxinal e Barreiros.

POSSIBILIDADES DE APROVEITAMENTO INDUSTRIAL

A Superintendência do Desenvolvimento da Região Sul, como parte do Projeto Litoral Sul de Santa Catarina, prevê o aproveitamento de bauxita para obtenção de alumina e esta como insumo básico para produção de criolita artificial e fluoreto de alumínio.

Conforme os parâmetros de qualidade (Al₂O₃ total: 51,5%; SiO₂ reativa: 6,1%; Fe₂O₃: 7,3%) e reserva (5.847.500 t) da bauxita de Lages, constata-se que sua aplicação se limita à produção de sulfato de alumínio e alumina, esta somente visando à obtenção de criolita artificial e fluoreto de alumínio.

A seguir são analisadas as possibilidades de aproveitamento industrial da bauxita de Lages:

a) Sulfato de alumínio (indústria química)

O mais importante composto químico industrial do alumínio é o seu sulfato, usado principalmente no tratamento das águas no abastecimento urbano e na indústria do papel.

O minério bauxítico de Lages atende, sem restrições, todas as especificações objetivando a produção de sulfato de alumínio.

O sulfato é produzido pelo ataque direto do ácido sulfúrico sobre o minério, não havendo nenhuma modificação no seu volume total.

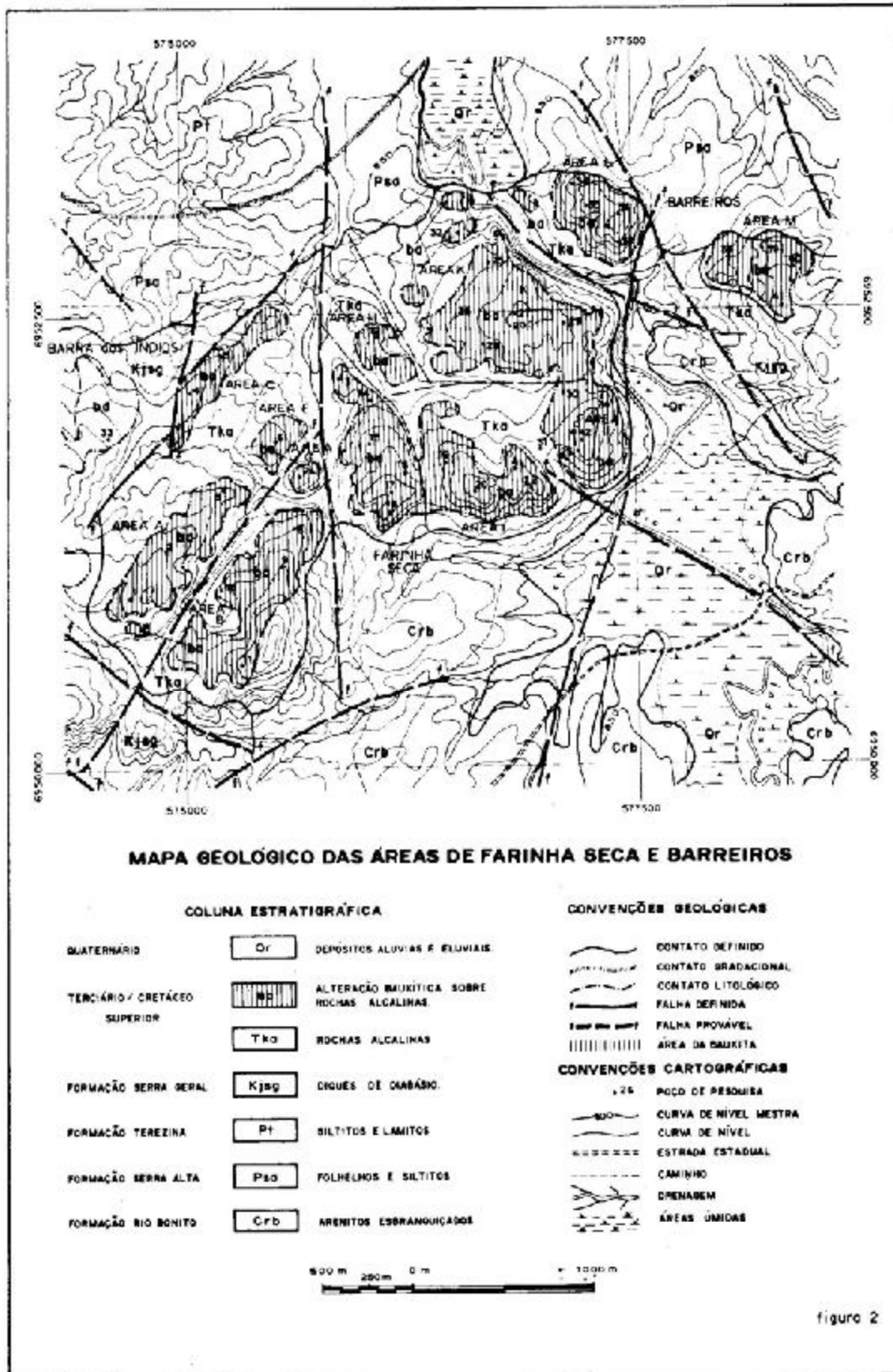


figura 2

TABELA Nº 1 — RESERVAS TOTAIS DAS ÁREAS PESQUISADAS

| ÁREA | TEOR MÉDIO (%) | | | RESERVA MEDIDA (t) Minério bauxítico | RESERVA INDICADA (t) Alteração argilo-bauxítica | RESERVA INFERIDA (t) Alteração bauxítica |
|-------------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------------|---|--|---|
| | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ reat. | Fe ₂ O ₃ | | | |
| Farinha Seca | total: 51.3 | 5,3 | 7,4 | 4.552.500 | — | — |
| | total: 48.0 | 4,0 | 8,0 | 467.500 | — | — |
| | baux. 29.7 | 11,9 | — | — | 40.346.900 | — |
| Barreiros | total: 51.2 | 6,0 | 7,1 | 612.500 | — | — |
| | baux. 22.1 | 10,2 | — | — | 9.985.100 | — |
| | — | — | — | — | — | 898.438 |
| Barra dos Índios | total: 52.0 | 7,0 | 7,5 | 215.000 | — | — |
| | total: 33.3 | 3,4 | 28,0 | — | — | 8.914.375 |
| Faxinal | baux. 12.8 | — | — | — | 4.200.625 | — |
| | — | — | — | — | — | 1.326.125 |
| Farinha Seca de Cima | — | — | — | — | — | 3.164.062 |
| | — | — | — | — | — | — |
| RESERVAS TOTAIS | — | — | — | 5.847.500 | 54.532.625 | 14.305.000 |

A seguir é apresentado um cálculo hipotético para exemplificar o consumo de sulfato de alumínio no abastecimento de uma população de 10 milhões de habitantes, de acordo com os dados abaixo:

- consumo de água por pessoa/dia: 0,5 m³;
 - quantidade de sulfato de alumínio por m³ de água/dia: 50 g;
- RESOLUÇÃO :
- Consumo de água:
 10.000.000 hab x 0,5 m³/dia = 5.000.000 m³/dia;
- Consumo de sulfato de alumínio:
 5.000.000 m³/dia x 50 g/m³/dia = 250.000.000 g/dia ou 250 t/dia ou 90.000 t/ano;
- Prazo para esgotamento da jazida de bauxita de Lages:
- $$\frac{5.800.000 \text{ t}}{90.000 \text{ t/ano}} = 64,4 \text{ anos}$$

Estes cálculos não consideram as taxas normais de crescimento populacional, mas servem para dar uma idéia da demanda de sulfato de alumínio (ou de bauxita) no tratamento das águas de abastecimento.

O óxido de ferro existente em quantidades pouco excessivas na bauxita de Lages ajuda a floculação da água e é, portanto, altamente benéfico para essa finalidade. Para uso na indústria do papel, entretanto, os índices de Fe₂O₃ são considerados altos.

b) Criolita artificial e fluoreto de alumínio (alumina)

A produção de criolita artificial e fluoreto de alumínio está prevista na lista de atividades industriais pré-selecionadas para implantação de um pólo químico industrial em Imbituba.

O insumo básico destes compostos é a alumina e a capacidade de sua unidade de produção é de 33.000 t/ano, conforme o Termo de Referência do Complexo Carboquímico de Imbituba (1973, p. v-10).

A reserva medida de 5.847.500 t de bauxita permitirá, teoricamente, a produção de cerca de 2.900.000 t de alumina, possibilitando o seu aproveitamento para esse fim durante um período de mais de 85 anos. Entretanto, o teor médio de Fe₂O₃ (7,3%) do minério é considerado demasiadamente alto, uma vez que a criolita artificial e o fluoreto de alumínio exigem uma alumina (Al₂O₃) praticamente pura. O teor de Fe₂O₃ poderá ser diminuído em parte através do emprego de métodos de trituração e lavagem do minério, o que, entretanto, elevará os custos de produção da alumina.

c) Alumínio metálico

As especificações de teores da bauxita de Lages para a produção de alumínio metálico são satisfatórias, mas a tonelage de minério bruto se transformaria, teoricamente, em apenas 1.500.000 t de metal. Esta pequena quantidade de alumínio metálico torna inviável economicamente a sua produção a partir da bauxita de Lages, levando-se em conta apenas os altos custos de energia elétrica que envolvem este processo.

d) Tijolos, telhas e manilhas

A alteração argilo-bauxítica, com uma reserva calculada no presente estudo de aproximadamente 55 milhões de toneladas, apresenta, via de regra, um teor muito baixo de Al₂O₃. Esta qualidade desclassifica o material argilo-bauxítico para qualquer uso em cerâmica sofisticada. A sua utilização se restringe unicamente como matéria-prima na produção de tijolos, telhas e manilhas. Entretanto, acredita-se que esse procedimento não seja viável economicamente, tendo em vista que todas as áreas de alteração argilo-bauxítica estão cobertas por reflorestamento a base de *pinus Eliot* e *pinus Taeda* da Papel e Celulose Catarinense.

BIBLIOGRAFIA

- ALBUQUERQUE, L. F. F. — *Diligência de verificação "in loco" do Relatório de Pesquisa referente ao Decreto de Autorização de Pesquisa nº 56.034. DNPM, 19 Distrito Extremo-Sul, Proc. 8.949/62 Relat. inéd., s. ident., Porto Alegre, 1968, 3 p.*
- Diligência de verificação "in loco" do Relatório de Pesquisas referente ao Decreto de Autorização de Pesquisa nº 57.502. DNPM, 19 Distrito Extremo-Sul, Proc. 6.303/63. Relat. inéd., s. ident., Porto Alegre, 1968, 4 p.*

- GUAZZELLI, W. & FEIJÓ, F. L.** — Mapa Geológico de Semi-detalhe do Centro-Leste e Sudoeste da Santa Catarina. **PETROBRÁS, DESUL, Rel. 396, Anexo 14, Ponta Grossa, 1970.**
- LEPREVOST, A.** — A bauxita da Fazenda Tributo, Lages — SC. *Inst. de Pesq. Quím., Cons. de Pesq. Univ. Fed. do Paraná, Bol. nº 29, Curitiba, 1971, 22p.*
- LINDSTAED, H. P.** — A Alteração de Rochas Alcalinas, Lages, Santa Catarina. *Min. de Ed. e Cult. Univ. Fed. do Rio Grande do Sul. Curso de Pós-Graduação em Geoclásticas, Porto Alegre 1972, 54 p., il.*
- LOCZY, L. de** — Basic and alkalic volcanism of the State of Santa Catarina, Brazil. *An Acad. Bras. Cienc., vol. 40, Rio de Janeiro, 1968, p. 187-193.*
- PANSIERI, C.** — L'Alluminio e le sue lèche. Trattato Generale di Metallurgia, Metallografia e Tecnologia. *Editore Ulrico Hoepli, Vol. 1, Milano, 1952.*
- SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DA REGIÃO SUL** — Projeto Litoral Sul de Santa Catarina. Termo de Referência do Complexo Carboquímico de Imbituba. *Porto Alegre. SUDESUL, 1973, p. v-7 a v-14 e v-26 a v-29.*
- SZUBERT, E. C. e VERGARA, V. D.** — Avaliação das Reservas e da Qualidade dos Depósitos de Bauxita do Município de Lages, SC. *SUDESUL/CPRM, Relat. Inéd., Porto Alegre, 1975, 67 p. 4 mapas, il.*

CONTROLES REGIONAIS E LOCAIS DAS MINERALIZAÇÕES DE COBRE DO VALE DO CURAÇÁ E SUAS IMPLICAÇÕES PRÁTICAS

Inácio de Medeiros Delgado *
João Dalton de Souza *

RESUMO

A mineralização de sulfetos de cobre e ferro (calcopirita, bornita, pirita e pirrotita) obedece a um controle litológico. Os corpos de minério de importância econômica estão sempre constituídos de rochas norítica-hypersteníticas. Corpos de natureza gabrodiorítica, anfibolítica e rochas cloríticas e calcossilicatadas — também apresentam fracas mineralizações sem valor econômico.

A distribuição desses depósitos cupríferos e de várias ocorrências de cobre se faz segundo "trends" regionais N-S. Os principais "trends" são balizados por rochas metassedimentares calcossilicatadas e quartzitas ferríferas o que caracteriza, a princípio, um controle substratigráfico dos depósitos mais importantes.

Os controles locais de mineralização, identificados em escala de corpos e de ocorrências de cobre, são: a natureza da rocha máfica-ultramáfica (maior concentração de sulfetos nos hyperstenitos e melenoritos, disseminação regular nos noritos e subordinados — gabros e dioritos); a estrutura metamórfica das rochas hospedeiras (maior concentração nas rochas isotropas do que nos seus equivalentes foliados); a granitização (concentração dos sulfetos na periferia das partes mais granitizadas ou nas segregações máficas-ultramáficas resultantes da migmatização e dispersão de sulfetos, notadamente pirita, nas zonas intensamente granitizadas); dobramento (concentração de mineralização nos eixos de dobras isoclinais e nas terminações periclinais crenuladas); hidrotermalismo e metasomatismo (concentração de sulfetos nas zonas alteradas hidrotermal e metasomaticamente, como as rochas biotíticas, e em zonas fraturadas associadas a mobilizados hidrotermais).

Como principais aplicações práticas decorrentes da utilização desses elementos, destacamos:

1. A prospecção de novos depósitos de cobre, mesmo quando realizada através de métodos indiretos (aerogeofísicos ou geoquímicos), deve apoiar-se, em princípio, nos controles regionais e locais de mineralização, para uma pré-seleção das áreas-alvos, a serem pesquisados em detalhe.

2. O significado genético das inúmeras ocorrências superficiais de cobre que ocorrem no vale do Curaçá pode ser interpretado com base nos controles da mineralização. Identificaram-se assim, 5 (cinco) tipos genéticos principais de ocorrências, cujo entendimento dos fatores condicionantes pode levar à descoberta de novos depósitos ou ao descarte de áreas, sem que para isso seja necessário um dispêndio excessivo com a pesquisa geológica.

3. Nos estudos de detalhe, os controles locais de mineralização podem contribuir para a interpretação, mais precisa, das seções dos corpos de minério, a conseqüentemente, para a racionalização da lavra.

ABSTRACT

The copper and iron sulfides mineralizations (chalcopyrite, bornite, pyrite and pyrrhotite) obey to a lithological control. The ore bodies of economic importance are always constituted of noritic-hypersthenic rocks. Bodies of gabbro-dioritic, amphibolitic nature and chloritic and calc-silicate rocks also present weak mineralizations without economic value.

The distribution of those copper bearing deposits and several copper occurrences is made according to N-S regional "trends". The main "trends" are guided by calc-silicate metasedimentary rocks and ferriferous quartzites what characterize, at first, a substratigraphic control of the more important deposits.

The local controls of the mineralization, identified in the scale of bodies and copper occurrences are: The nature of the mafic-ultramafic rocks (greater concentrations of sulfides in the hypersthenites and melenorites,

*Geólogos da CPRM — Superintendência Regional de Salvador.

regular disseminations in the norites and subordinate in the gabbros and diorites); the metamorphic structure of the host rocks (greater concentrations in the isotropic rocks than in their foliated equivalent); the granitization (concentrations of the sulfides in the surroundings of more granitized parts or in the mafic-ultramafic segregations resultant of the migmatization and dispersion of the sulfides, notably pyrite, in the intensely granitized zones); folding (concentration of mineralization in the axis of isoclinal folds and in the periclinal crenulate terminations); hydrothermalism and metasomatism (concentration of sulfides in the metasomatic and hydrothermally altered zones, like the biotitic rocks, and in fractured zones associate to hydrothermal mobilization).

As the main practical application resulting from those elements, we can detach:

1. The prospecting of new copper deposits, even when carried out by indirect methods (aerogeophysics or geochemicals), must rely, at first, on the regional and local controls of the mineralization, for a pre-selection of target-areas, to be searched in detail.

2. The genetic significance of the countless superficial copper occurrences in the valley of the Curaçá can be interpreted based on the mineralization controls. In the way, 5 (five) main genetic types of occurrences were identified, of which understanding of the conditioning factors can lead to the discovery of new deposits or to the discard of areas, in order to avoid an excessive expense with the geological search.

3. In the study of detail, the local mineralization controls can contribute to a more accurate interpretation of the sections of the ore bodies, and consequently, to the rationalization of the exploitation.

INTRODUÇÃO

Apoiado nos trabalhos de geologia executados no vale do Curaçá, através do Projeto Cobre, compreendendo mapeamentos geológicos, análises macroscópicas, microscópicas e químicas de testemunhos de sondagem e estudo de inúmeras ocorrências cupríferas, foram reconhecidos diversos controles (metalotectos) regionais e locais das mineralizações de cobre. Em geral, esta mineralização está associada aos corpos máficos-ultramáficos intrudidos no Grupo (ou Super-Grupo) Caraíba. Dentro deste Grupo destaca-se a **Seqüência Rio Curaçá** — basal (constituída predominantemente por rochas granulíticas e migmatíticas); a **Seqüência Tanque Novo** — superior (constituída predominantemente por metassedimentos clásticos e químicos — quartzitos, leptitos, rochas calcossilicatadas, rochas sílico-ferruginosas, anfíbolitos, "cherts" e metavulcânicas — especialmente rochas cloríticas). Mais jovens que estas Seqüências são as **Rochas Granitoides** (sienitos, gnaisseis porfiroblásticos e granitos e adamalitos róseos e cinzas). Maiores detalhes sobre a geologia pode ser visto no relatório final do Projeto Cobre (Delgado et Souza, 1975).

CONTROLES REGIONAIS Litológico

A associação de sulfetos de cobre com as rochas máficas-ultramáficas constitui um controle determinante da mineralização cuprífera do vale do Curaçá, tendo sido, desde o princípio, utilizado como guia para a prospecção geoquímica dirigida para as "manchas" identificadas nas aerofotos. Foi caracterizado desde os primeiros trabalhos de pesquisa executados na área: Lewis Jr. et Santos (1966), Barbosa et alii (1964), Lewis Jr. et alii (1970) e Ladeira et alii (1969).

Pelo mapeamento geológico diferenciou-se, em função da natureza petrográfica dominante dos blocos autóctones preservados sobre o solo residual das rochas máficas-ultramáficas, quatro tipos principais de corpos: corpos serpentíníticos, corpos anfíbolíticos, corpos noríticos-piroxeníticos e corpos gábrico-dioríticos.

Com relação ao conteúdo de sulfetos constatou-se que:

1) Os corpos serpentíníticos, que ocorrem principalmente na Seqüência Tanque Novo, não são mineralizados;

2) Os corpos anfíbolíticos e gábrico-dioríticos, em qualquer das Seqüências (Rio Curaçá ou Tanque Novo), podem apresentar fraca disseminação de sulfetos mas sem interesse econômico, de acordo com os elementos conhecidos;

3) Os corpos norítico-piroxeníticos da Seqüência Rio Curaçá são os mais ricamente mineralizados, correspondendo os atuais depósitos conhecidos; e

4) As rochas calcossilicatadas e as rochas cloríticas da Seqüência Tanque Novo, apresentam mineralização de sulfetos, não tendo sido, porém, caracterizada, nenhuma concentração de sulfetos de cobre de importância associado a essas litologias.

Os piroxenitos, litologias portadoras por excelência de ricas mineralizações sulfetadas, foram identificados invariavelmente como hiperstenitos, sempre associados a rochas noríticas na conformação dos corpos máficos-ultramáficos que constituem os depósitos de cobre.

Há de se admitir, entretanto, a dificuldade da identificação, no campo, com base nos fragmentos residuais, das litologias dominantes dos corpos máficos-ultramáficos, pelo fato de certos tipos litológicos serem mais suscetíveis a meteorização do que outros. Conquanto possa tornar duvidosa a classificação de determinado corpo máfico-ultramáfico, tal fato não invalida, em nenhuma instância, o controle litológico da mineralização sulfetada, conforme exposto acima e patenteadado pelo estudo dos testemunhos de sondagem dos diversos depósitos e ocorrências prospectadas.

Os "trends" regionais. Os corpos noríticos-piroxeníticos que constituem os depósitos cupríferos da Caraíba, Baraúna-Imburana, Pirulito e Surubim, bem como os depósitos de Lagoa da Mina, Cercado Velho e Santa Fé, se alinham segundo dois importantes "trends" regionais, o primeiro balizado pelo canal principal do rio Curaçá e o segundo, pelo bordo ocidental do sienito gnáissico Poço de Fora-Itiúba. Através da distribuição das ocorrências de cobre catalogadas neste distrito, é possível delinear-se outros "trends" regionais que aparentemente controlam a mineralização cuprífera.

Coincidentemente ou não, os "trends" principais referidos são balizados por rochas pertencentes a Unidade Bom Despacho (paragnaisses, quartzitos ferríferos, rochas calco-silicatadas, rochas cloríticas, etc.) que constitui, na área, a base da Seqüência Tanque Novo. O posicionamento dos depósitos cupríferos, sempre na proximidade das rochas da Seqüência Tanque Novo mas co-participando da Seqüência inferior (basal) denominada de Rio Curaçá, levou os autores a sugerir um controle regional substratigráfico das mineralizações cupríferas (Delgado et Souza, 1975).

Outro elemento de expressão regional a que se pode relacionar a distribuição dos principais depósitos de cobre é o Anticlinório Rio Curaçá, onde a exceção do campo de Caraíba que localiza-se na zona de terminação periclinal sul dessa macroestrutura, todos os outros depósitos situam-se nos seus flancos, leste ou oeste, onde domina o sistema de dobras isoclinais, reviradas.

CONTROLES LOCAIS. Litológico

Em escala de corpo mineralizado, tal como ocorre em escala de distrito, constata-se que os sulfetos concentram-se nos hiperstenitos e melanoritos, têm regular distribuição dos noritos e ocorrem de forma subordinada nos gabros e dioritos.

Dobramento — Nas zonas axiais e de terminação periclinal processou-se freqüentemente remobilização dos sulfetos de cobre, mesmo em corpos com fraca mineralização. No depósito de Lagoa da Mina a remobilização dos sulfetos ao longo da zona sanfonada da terminação periclinal parece evidente (fig. 1 e 2). Embora seja praticamente impossível reconstituir o dobramento em detalhe, a configuração geral dos corpos de minério só poderia ser explicado através dessa hipótese. Fenômeno idêntico parece ocorrer com os corpos de minério do depósito de Caraíba.

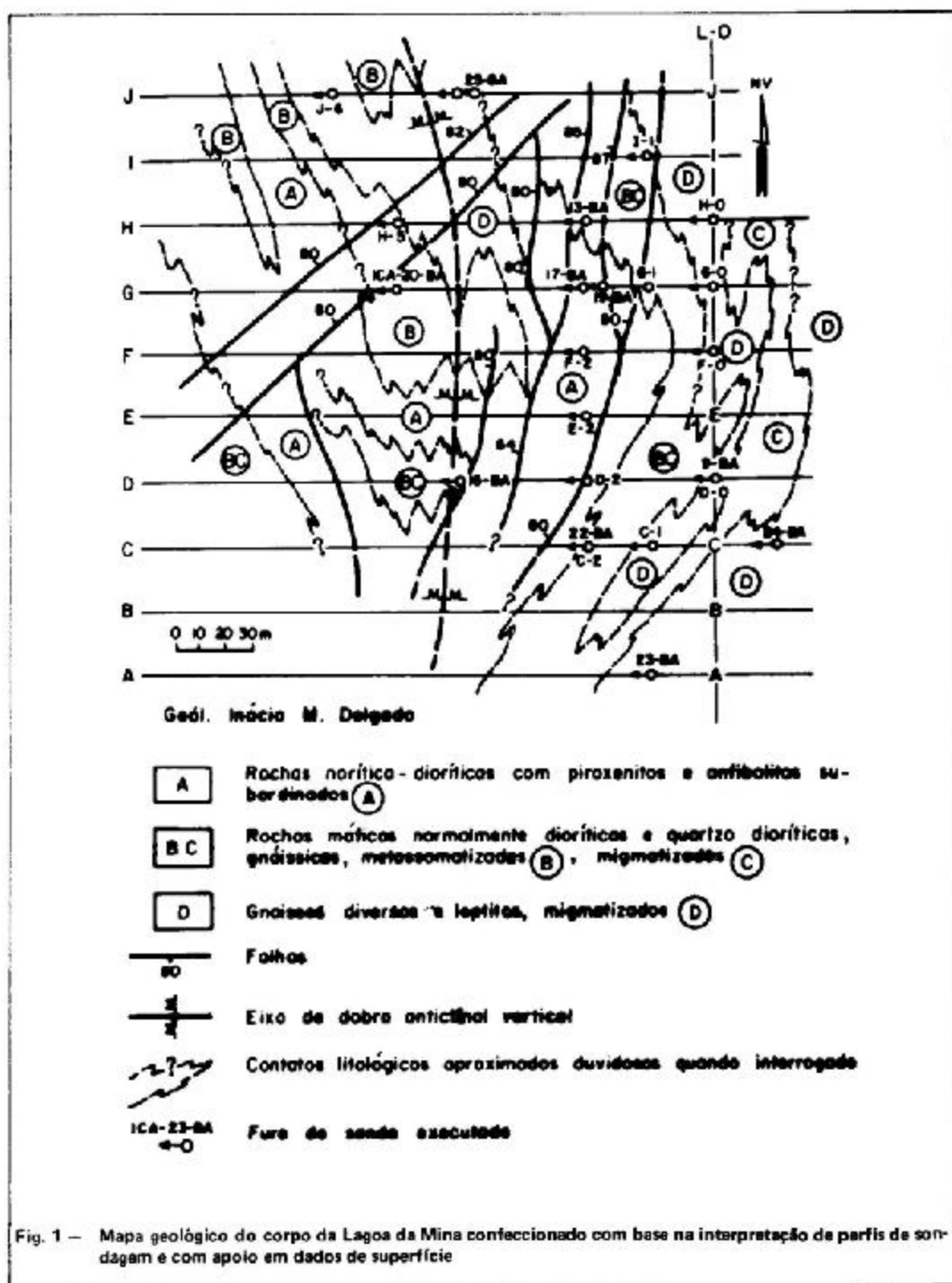
Metamorfismo — Os estudos de testemunhos de sondagem mostraram a preferência da mineralização por determinadas litologias, normalmente hiperstenitos e noritos. Entretanto, para litologias idênticas, a estrutura metamórfica controla a mineralização, constatando-se freqüentemente que uma mesma rocha quando isotropa mostra-se melhor mineralizada que o seu equivalente foliado. Este fenômeno já tinha sido comprovado por Ladeira et alii (op. cit.).

Granitização — Localmente o condicionamento da mineralização é imposto pelos processos de granitização (migmatização e metassomatismo) das rochas máficas-ultramáficas. Os agentes migmatizantes remobilizam os sulfetos concentrando-os em faixas que se acomodam, normalmente, na periferia das partes mais granitizadas. Nas zonas granitizadas intensamente, permanece dispersa disseminação de sulfetos, notadamente pirita, que pelo comportamento mais estável denota uma menor mobilidade do que a calcopirita. Este fenômeno pode ser facilmente exemplificado em várias seções geológicas construídas. Como ilustração destaca-se no depósito de Lagoa da Mina a disposição de estreitas e repetidas faixas mineralizadas do perfil D (fig. 3) notavelmente nas zonas atravessadas pelo furo D-2 e nos primeiros corpos interceptados pelo furo D-O; os estreitos níveis de minério atravessados pelo furo ICA-24-BA, em torno de 165 m, no perfil C (fig. 4), representando relictos de um corpo mais possante que se projeta para a superfície.

Hidrotermalismo e metassomatismo. O conceito de hidrotermalismo que se adotou é bem amplo e relaciona-se a todo mobilizado de natureza hidrotermal, independente de qual tenha sido a sua origem. Os processos de alteração hidrotermal e substituições metassomáticas aconteceram em diversos estágios da evolução geológica da área, com maior ou menor intensidade. Especialmente, durante a formação dos granitos róseos anatóticos, alóctones por vezes, processaram-se as mais expressivas remobilizações de cobre de caráter hidrotermal-metassomático.

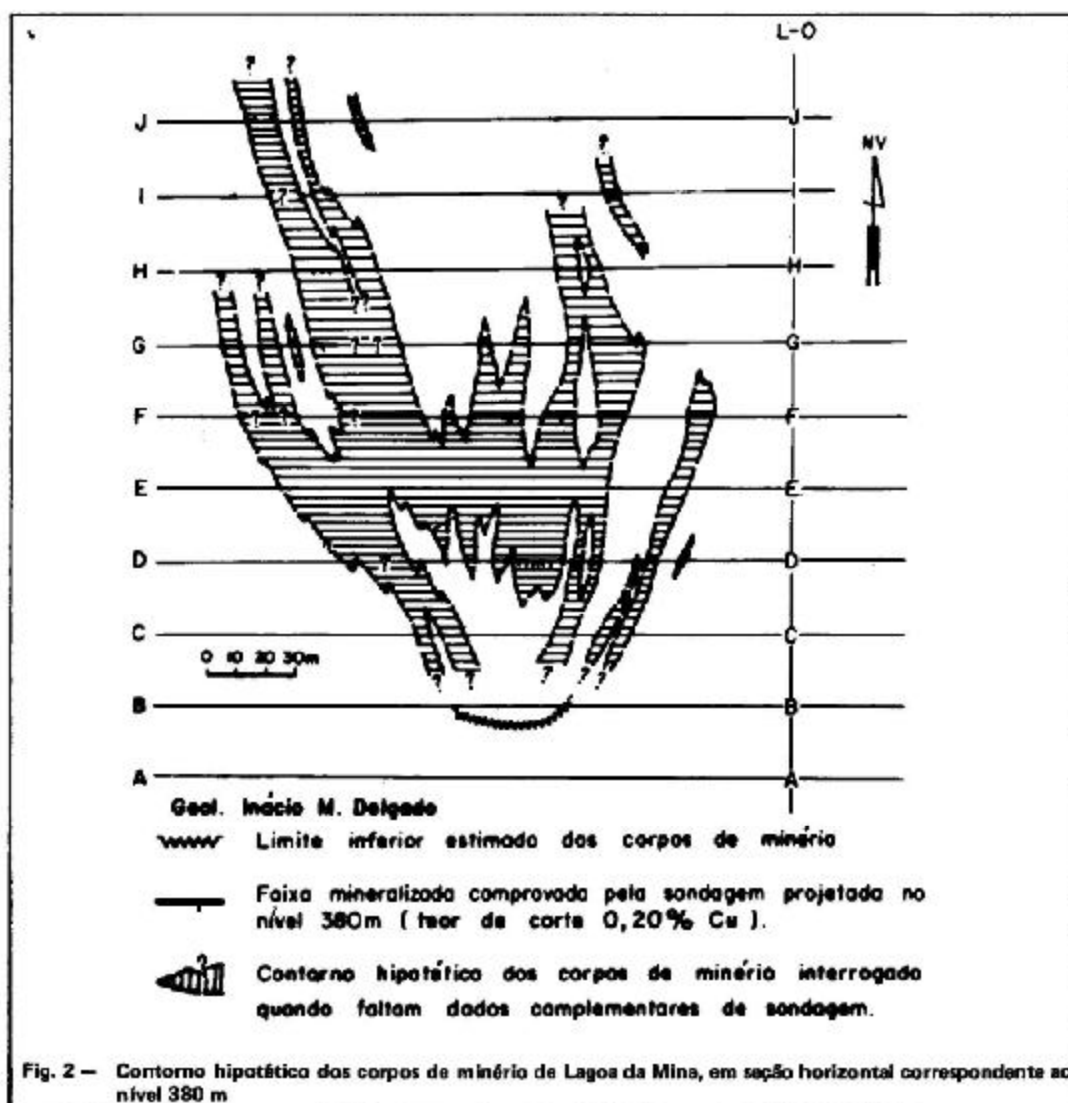
O produto mais notável dessas transformações são as rochas biotíticas (biotititos, quando a alteração é total) e sua formação, às expensas das rochas máficas-ultramáficas, relaciona-se, principalmente, às fases de granitização da área. Nos corpos mineralizados, estas rochas, normalmente, apresentam alto enriquecimento local de cobre, como conseqüência da remobilização pelos fluidos hidrotermais-metassomáticos.

É comum que a mineralização remobilizada por agentes hidrotermais se concentre em zonas cisalhadas onde os processos de oxidação atuam com maior intensidade e atingem profundidades superiores ao nível de oxidação normal da área, originando-se assim inúmeras ocorrências secundárias de cobre, espalhadas pelo Distrito Cuprífero do Vale do Curaçá.



CONCLUSÕES

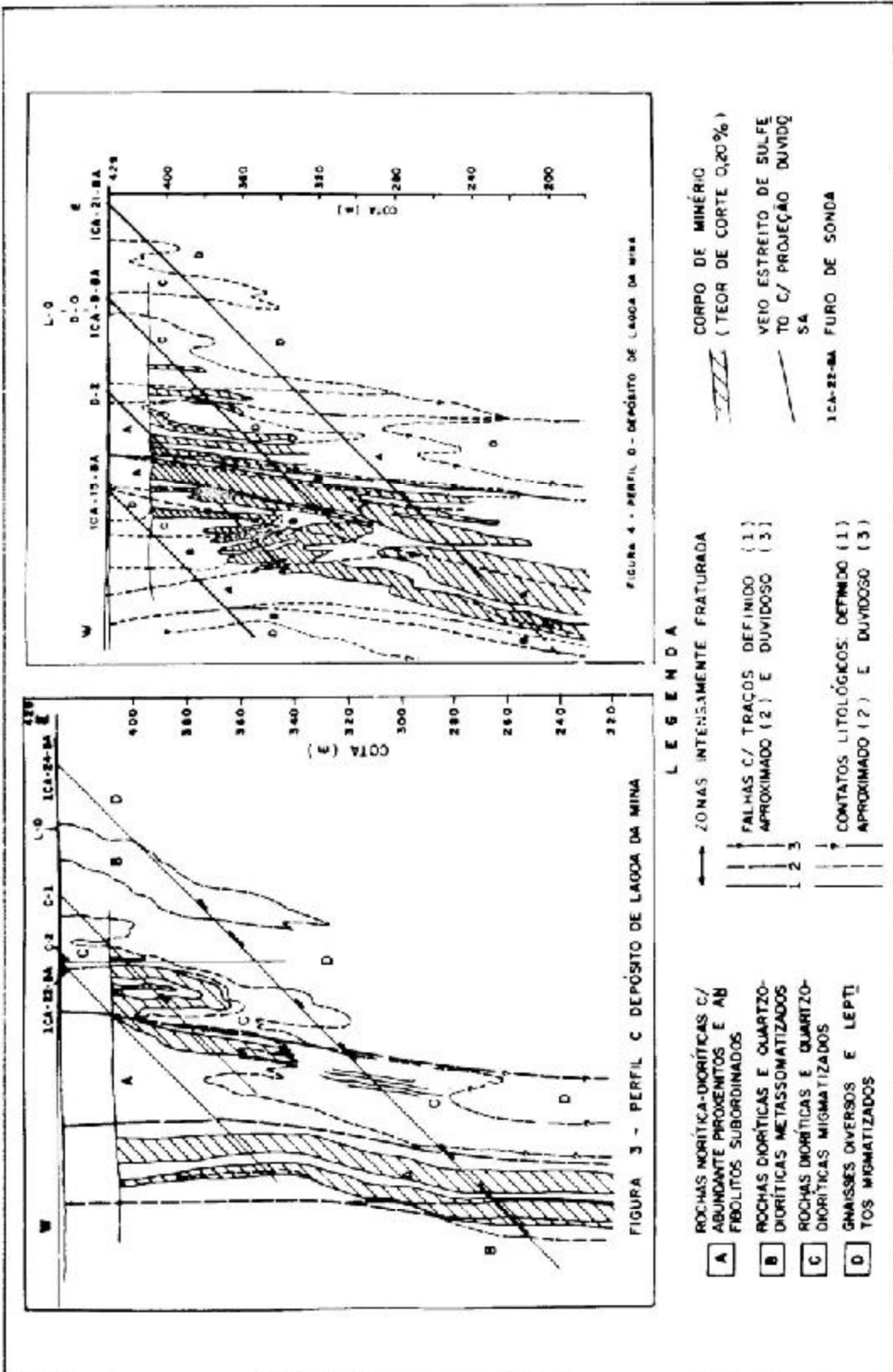
1) O Distrito Cuprífero do Vale do Curaçá engloba uma área de aproximadamente 2.000 km² (80 x 25 km). Para a prospecção de áreas dessas dimensões adota-se o método das aproximações sucessivas, procurando-se selecionar áreas cada vez menores, até se alcançar o alvo desejado, que pode ser o descarte final da área ou a descoberta e quantificação de um novo depósito mineral.



No vale do Curacá, a utilização de um método indireto de prospecção regional tem obtido resultados satisfatórios. Esta sistemática foi utilizada pela CPRM, no Projeto Cobre, através de prospecção geoquímica de sedimentos e solo, tendo-se conseguido, em uma primeira fase, selecionar 10% da área total coberta como prospectável. Os estudos de detalhe, posteriormente, confirmaram várias ocorrências cupríferas (antes desconhecidas); selecionaram áreas com anomalias geoquímicas, geofísicas e condições geológicas favoráveis (faltando apenas a conformação por sondagem do conteúdo de minério); e conduziram a descoberta de mais dois depósitos cupríferos. Apesar do sucesso desta sistemática, a descoberta dos depósitos de Pirulito e Santa Fé, foram motivadas, principalmente, pela confiança da equipe de geólogos na área objeto da pesquisa, apoiada nos controles regionais e locais da mineralização.

Embora a prospecção geoquímica regional seja um método que logrou sucesso nos trabalhos de pesquisa, apresenta limitações acentuadas e, no momento atual, a utilização de métodos aerogeofísicos (especialmente aeroeletromagnético), como vem sendo feito pela DOCEGEO, constitui a melhor opção para início da pesquisa, esperando-se que o método regional aerogeofísico supra as limitações da prospecção geoquímica, e os dois se completem como critérios de seleção de áreas prospectáveis.

Entretanto, é reconhecidamente sabido, pela experiência que se obteve no vale do Curacá com a utilização de métodos geofísicos, que estes também apresentam certos inconvenientes, especialmente na detecção de "falsas" e frequentes anomalias relacionadas à zonas de falha; à presença de grafite; à salinidade do solo; à aluviões, etc.



Para evitar o dispêndio excessivo com os custos da pesquisa em zonas de "falsas" anomalias, sugere-se uma pré-seleção de áreas, alvos baseado nos controles geológicos. A princípio, zonas de anomalias detectadas pela prospecção regional, superpostas à corpos de natureza norítica-piroxenítica e situados ao longo dos "trends" de depósitos cupríferos, especialmente ao longo do bordo ocidental da intrusão sienítica de Poço de Fora-Ituba e na proximidade do canal principal do rio Curaçá, devem ser investigadas com o máximo de detalhes. Localmente, a proximidade de corpos pegmatóides, granitóides ou zonas migmáticas e o estilo de dobramento apertado, isoclinal, são fatores que contribuem, de forma relevante, para a construção de um depósito cuprífero no vale do Curaçá.

2) O significado genético dos inúmeros indícios superficiais de cobre, que ocorrem no vale do Curaçá, pode ser interpretado com base nos controles da mineralização. Identificaram-se assim, 5 (cinco) tipos genéticos principais de ocorrências, cujo entendimento dos fatores condicionantes, pode levar a descoberta de novos depósitos ou ao descarte de áreas, sem que para isso seja necessário um dispêndio excessivo com a pesquisa geológica.

Estes tipos são representados no mapa preliminar provisório (fig. 5 e 6).

Tipo A — As mineralizações de cobre relacionadas neste tipo estão caracterizadas por fina disseminação de sulfetos (calcopirita, pirita e bornita) associados, principalmente, às rochas anfíbólicas e calco-silicáticas (na Sequência Tanque Novo) e às rochas gabro-dioríticas (na Sequência Rio Curaçá). Estas mineralizações são tipicamente **singenéticas**, conforme se deduz do alto grau de disseminação dos sulfetos, da fina granulometria desses minerais e da ausência de fenômenos de remobilização. Apresentam teores muito baixos (média de 0,1% Cu) podendo eventualmente alcançarem até 0,5% Cu e a mineralização secundária é fraca e às vezes despercebida em escala de afloramento. A pobreza do cobre aliada a pequena tonelagem da rocha mineralizada até agora verificada para este tipo genético, não tem estimulado os trabalhos de pesquisa sobre as áreas de ocorrência.

Tipo B — Compreende os tipos **singenéticos, parcialmente remobilizados**, com a mineralização sulfetada associada às rochas norítica-piroxeníticas. O teor médio de cobre, na área de distribuição desses corpos mineralizados, é da ordem de 1,0% Cu.

A mineralização, em superfície, manifesta-se sob a forma de malaquita, azurita, crisocola e cuprita, com impregnações concentradas ou difusas no seio da rocha máfica-ultramáfica, não sendo raro, em ambos os casos, ocuparem as placas de exfoliação da rocha hospedeira.

Mais freqüentemente essa mineralização oxidada ocorre sob a forma de "filmes" preenchendo juntas e fissuras e as "manchas verdes" (mais ricas em oxidados de cobre) estão confinadas às zonas fraturadas e falhadas dos corpos.

Tipo C — Caracteriza-se pela ocorrência de minerais secundários de cobre: crisocola, malaquita e azurita, ligados a zonas fraturadas e/ou intensamente alteradas por processos de mobilização hidrotermal.

A rocha original de natureza máfica-ultramáfica se transforma, principalmente em biotitito. A transformação poderá se verificar em todo o corpo máfico-ultramáfico ou parcialmente, segundo as zonas de cisalhamento.

Neste tipo de mineralização a remobilização do cobre não se processa além da área de domínio do corpo máfico-ultramáfico alterado e é maiormente condicionada por mobilizados de natureza hidrotermal.

Na ocorrência de Cupim, por exemplo, no meio do anfibolito ocorrem estreitas faixas biotíticas, onde a mineralização de cobre, embora não sendo visível macroscopicamente, alcança teores de até 0,9% Cu, enquanto na rocha anfíbólica menos alterada, os teores variam de (0,10 a 0,30%) Cu. Neste último exemplo, como em outras ocorrências da área, deve haver uma participação menor de cobre liberado pelo rompimento da estrutura cristalina dos minerais ferro-magnesianos preexistentes, quando se alteram para biotita. Este fenômeno, entretanto, não seria suficiente para explicar todo o cobre contido nestas faixas biotitizadas sendo essa uma participação que se acredita de caráter secundário em relação a remobilização de uma mineralização de sulfetos de baixo teor, preexistente no complexo máfico-ultramáfico.

Torna-se muito difícil avaliar esse tipo de ocorrência quanto a sua potencialidade, pelo fato de que todas as mineralizações encontradas no Distrito Cuprífero do Rio Curaçá (exceção daquelas simplesmente **singenéticas**) sofreram processos notáveis de mobilização hidrotermal. E assim um fenômeno muito comum nos depósitos de Caraba, Surubim, Lagoa da Mina, Pirulito, etc. Entretanto, em função dos corpos máficos-ultramáficos envolvidos no processo, da mineralização secundária aflorante (teores e tonelagem) e dos controles geológicos regionais e locais é possível se estabelecer a potencialidade desse tipo de ocorrência e orientar a pesquisa no sentido de se obter uma definição do prospecto com o menor custo possível.

Tipo D — Esta mineralização secundária de cobre, constituída por malaquita, azurita e crisocola, é normalmente notável embora restrita espacialmente. Está ligada à presença de clorititos deri-

vados, provavelmente, de vulcanitos ultramáficos e máficos, pelo que se conclui dos tipos de alterações comumente observados: cloritização, talcificação, serpentinização e epidotização.

Estruturalmente estas zonas estão muito fraturadas e invariavelmente constata-se uma intensa feldspatização potássica superimposta obliterando os contactos geológicos.

A presença de óxido de ferro é algumas vezes acentuada, acreditando-se que pelo menos deste material tenha sido liberado durante a transformação dos ferromagnesianos preexistentes para clorita.

A mineralização sulfetada interceptada por furos de sondagem é notavelmente de caráter epigenético. Pode apresentar teores de cobre relativamente altos mas em termos de tonelagem constituem depósitos muito pequenos.

Tipo E – A mineralização secundária composta de malaquita, azurita, crisocola e cuprita, associada com limonita, é notável, formando algumas vezes zonas de alto enriquecimento de cobre. Esta mineralização está controlada por falhamentos de postura longitudinal, relacionado ao sistema mais antigo da área. Além de fraturamento e cisalhamento são frequentes as zonas brechificadas as quais associam-se, invariavelmente, mobilizados pegmatóides e hidrotermais.

Normalmente não se observam relações diretas com corpos máficos-ultramáficos embora tenha-se constatado, algumas vezes, zonas biotitizadas que poderiam resultar de transformações hidrotermais-metassomáticas de rochas máficas-ultramáficas preexistentes.

Os sulfetos, quando não totalmente oxidados, representam nitidamente uma mineralização epigenética, ocorrendo nas zonas fraturadas do gnaíse ou intimamente associadas com os mobilizados pegmatóides.

O teor de cobre no minério sulfetado é normalmente baixo, da ordem de 0,3% Cu, enquanto no minério oxidado pode apresentar teores de até 30% Cu (Argentières, 1968), em amostras escolhidas.

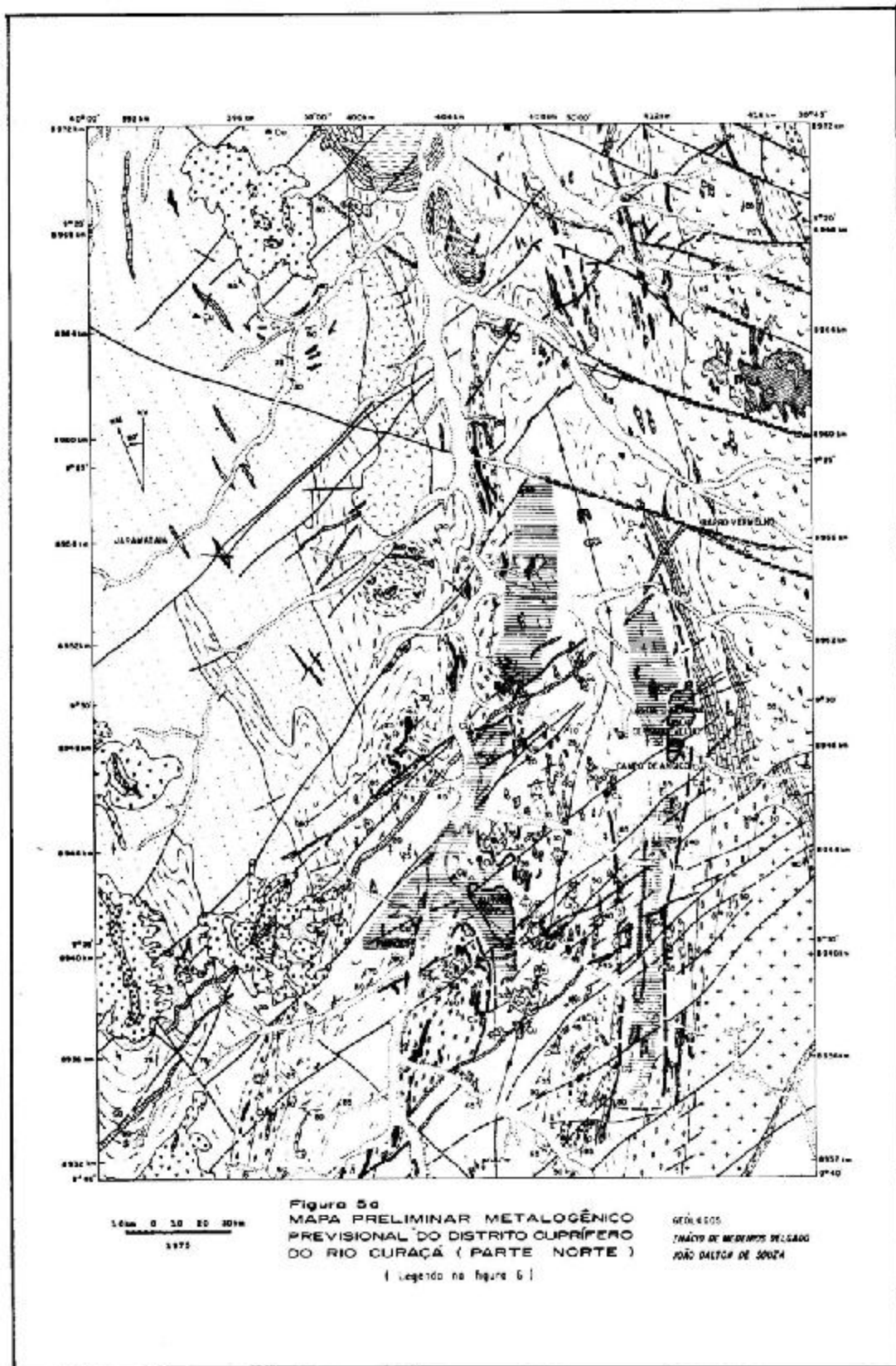
O interesse econômico deste tipo de ocorrência deve se restringir à zona de oxidação, como é o caso, por exemplo, da "Ocorrência de Arapuá", a depender de estudos de viabilidade de aproveitamento do minério oxidado das pequenas ocorrências espalhadas pelo vale do Curaçá.

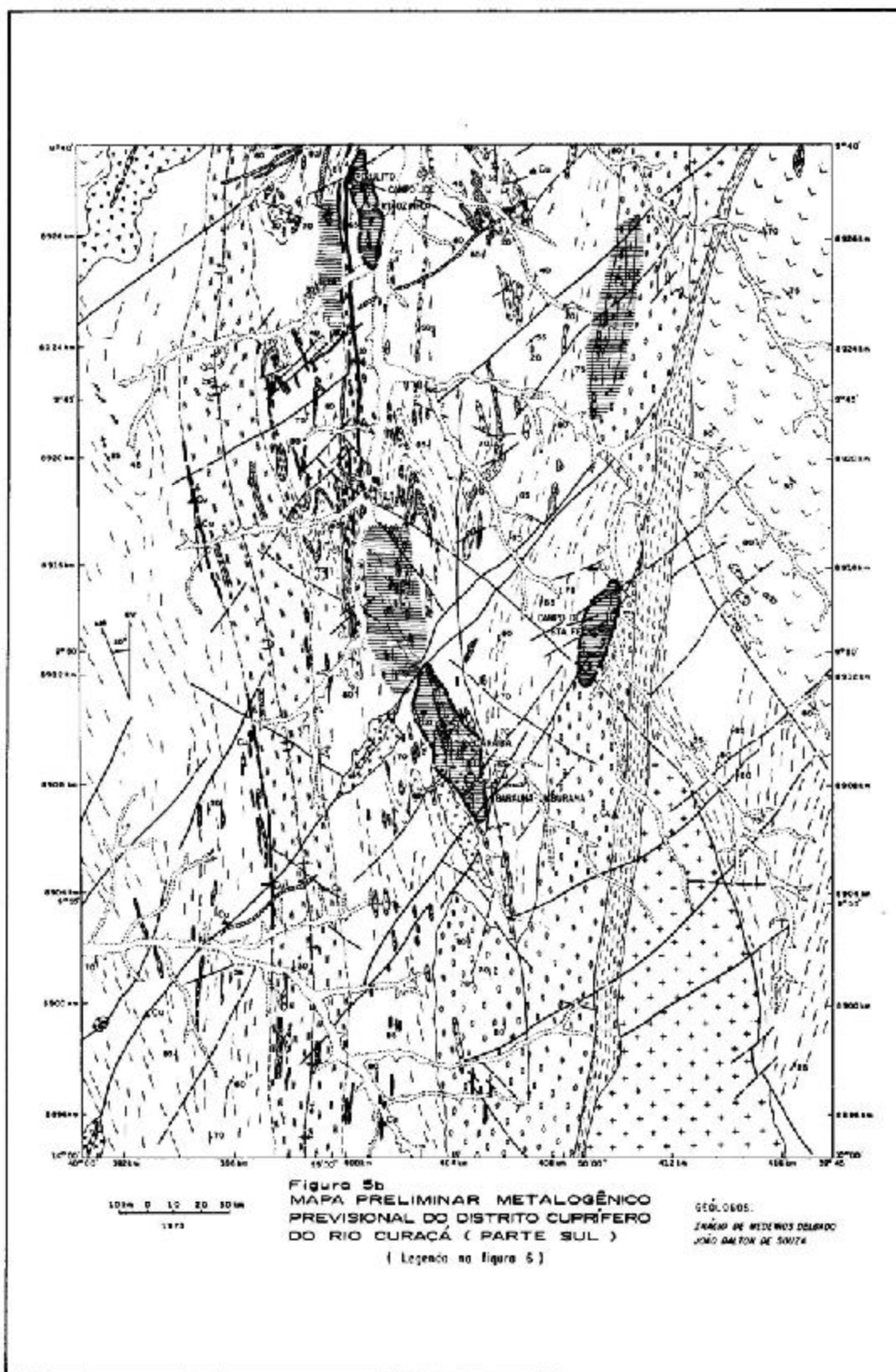
3) Outra aplicação dos controles geológicos e que merece atenção especial dos geólogos que se ocupam com a pesquisa do vale do Curaçá refere-se a reconstrução das seções geológicas e conseqüentemente dos corpos de minérios que serão, no futuro, objeto de lavra. Evidentemente, trata-se de uma tarefa dificultada, sobremaneira, pelos processos de remobilização dos sulfetos de cobre.

Apoiado nos controles geológicos locais da mineralização, é possível construir os perfis geológicos com certa margem de segurança.

Nos corpos que se pesquisou, como por exemplo, no depósito de Lagoa da Mina, os corpos de minério estão controlados, principalmente, por dobramentos e pela granitização do complexo máfico-ultramáfico. No depósito de Cercado Velho, a mineralização está confinada à rocha máfica-ultramáfica mas freqüentemente em zona milonitizada, próximo ao contatos do granito gnaíssico róseo. A influência hidrotermal na mobilização e reconstrução do minério é acentuada, pelo que se deduz das alterações comuns a rocha hospedeira e do caráter predominantemente epigenético da mineralização. No depósito de Pirulito, o controle litológico interno do complexo é relevante; a mineralização se associando fundamentalmente aos hyperstenitos. Zonas de biotitos, neste caso, são invariavelmente mineralizadas, o que demonstram, também, a mobilização hidrotermal de certas quantidades de sulfetos e reconcentração em "estruturas de estrangulamento".

4) Apoiado nos controles regionais e locais da mineralização de cobre é possível prever-se campos prospectáveis somente com base nos elementos geológicos atualmente disponíveis. Este esboço de previsão foi configurado no mapa geológico, simplificado, previsional, elaborado em caráter preliminar (fig. 5 e 6), mas que constitui a primeira tentativa de interpretação das mineralizações de cobre do vale do Curaçá.





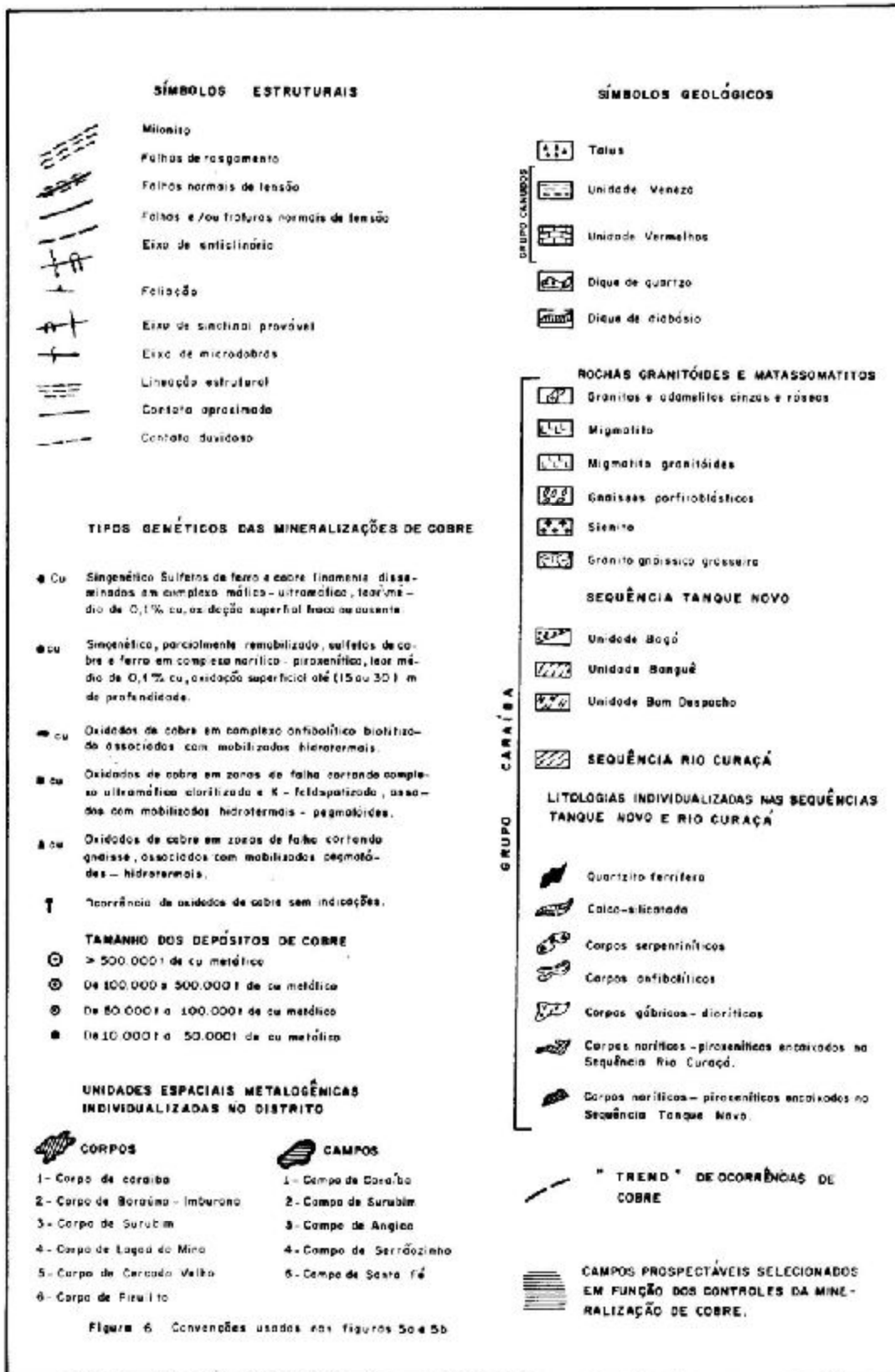


Figura 6 - Convenções usadas nas figuras 5a e 5b

BIBLIOGRAFIA

- DELGADO, *Inácio de Medeiros & Souza, João Dalton de* — Projeto Cobre Curaçá, *Relatório Final. Geologia Econômica do Distrito Cuprífero do Rio Curaçá, Bahia Brasil. Salvador, CPRM, 1975. v. I — A (Convênio DNPM/CPRM).*
- LADEIRA, E. A.; BROCKES JR. H.; DUTRA, A. A. — *Prospecção do Minério de Cobre no Distrito Cuprífero do Vale do Rio Curaçá, Bahia. Relatório Parcial Projeto Cobre. S. 1. p. Geologia e Sondagens, 1969. 3 v. II. Inédito. (Trabalho realizado para o DNPM — 4º Distrito — Nordeste).*
- LEWIS JR., R. W. & SANTOS, A. M. — *Relatório Preliminar sobre a Geoquímica do Depósito de Cobre de Caribá, Bahia. Rio de Janeiro, DNPM/DGM, 1966. 27 p. (Notas Preliminares e Estudo, 127).*
- LEWIS JR.; MATTOSO, W. O.; BRIM, R. — *Reconhecimento Geoquímico da Bacia do Rio Curaçá, Bahia. Rio de Janeiro, DNPM, 1970. 31 p. II. Bol. nº 141 (Convênio DNPM/UFBA/USAID).*

OS CAMPOS CUPRÍFEROS DE ANGICO E SERTÃOZINHO, VALE DO CURAÇÁ – BA

João Dalton de Souza
Inácio de Medeiros Delgado

RESUMO

O campo mineralizado de Angico engloba os depósitos cupríferos de Lagoa da Mina e Cercado Velho, enquanto que o corpo de Pirulito representa o depósito de cobre atualmente conhecido no campo de Sertãozinho.

O corpo de Pirulito constitui-se predominantemente de rochas noríticas-piroxeníticas associadas com dioritos, gabros, anfíbolitos e biotítitos subordinados. No campo de Angico, os corpos vizinhos de Lagoa da Mina e Cercado Velho, devido à granitização local mais intensa das rochas originais de natureza norítica-piroxenítica, apresentam atualmente uma composição predominantemente norítica-diorítica com piroxenitos e anfíbolitos subordinados.

No corpo de Pirulito a mineralização superficial de oxidados (malachita, azurita e crisocola) é fraquíssima. A reserva de oxidados de cobre no campo de Angico totaliza aproximadamente 6.000 toneladas de cobre metálico.

No campo de Angico a mineralização de sulfetos é constituída, na ordem decrescente de abundância, de calcopirita, bornita, pirita e pirrotita. Em Pirulito a bornita é praticamente ausente e inverte-se a relação entre calcopirita e pirita. Essa mineralização concentra-se nas rochas piroxeníticas (hiperstenitos), melanoríticas e biotíticas; distribui-se com certa regularidade nas rochas dioríticas. Em Pirulito os corpos de minério confinam-se exclusivamente as três primeiras litologias.

A reserva total do minério de cobre sulfetado do campo de Angico, calculada até 200 metros de profundidade, monta a aproximadamente 6.000.000 de toneladas com um conteúdo de cobre metálico contido de 42.766 toneladas. Em Pirulito a reserva total até uma profundidade máxima de 400 metros perfaz 32.578 toneladas de cobre metálico contido em aproximadamente 11.000.000 de toneladas de minério. No campo de Angico poderá ser estudada a possibilidade de aproveitamento, como subproduto, do ouro e talvez da prata. Estimou-se um conteúdo de ouro de aproximadamente 648,84 kg no depósito de Lagoa da Mina e 400,99 kg no depósito de Cercado Velho.

ABSTRACT

The mineralized field of Angico comprises the copper bearing deposits of Lagoa da Mina and Cercado Velho, while the Pirulito body represents the actually known copper deposit of the field of Sertãozinho.

The Pirulito body is predominantly constituted by noritic-pyroxenitic rocks associated to subordinated diorites, gabbros, amphibolites and biotitites. In the field of Angico, the neighboring bodies of Lagoa da Mina and Cercado Velho, actually present a dominantly noritic-dioritic composition with subordinate pyroxenites and amphibolites, due to the more intensive local granitization of the original rocks of noritic-pyroxenitic nature.

In the Pirulito body the superficial mineralization of copper oxides (malachite, azurite and chrysocolla) is very weak. In the field of Angico the copper oxides reserve amounts approximately 6.000 tons of metallic copper.

In the field of Angico the sulfides mineralization is constituted, in the decreasing order of abundance, of chalcopyrite, bornite, pyrite and pyrrhotite. In Pirulito the bornite is practically absent, and the relationship between chalcopyrite and pyrite is inverted. That mineralization is concentrated in the pyroxenitic (hypersthenites), melanoritic and biotitic rocks; it is distributed in the gabbro-noritic rocks with a certain regularity; and display subordinate in the dioritic rocks. In Pirulito the ore bodies are exclusively restricted to the three former lithologies.

The total reserve of the copper sulfides ore in the field of Angico, calculated down to a depth of 200 meters, reaches approximately 6.000.000 tons with a content of metallic copper of 42.766 tons. In Pirulito the total reserve down to a maximum depth of 400 meters is of 32.578 tons of metallic copper comprised in about 11.000.000 ore tons.

In the field of Angico can be studied the possibility of exploitation, as by-product, of gold and possibly silver. It is estimated a content of gold of approximately 648,84 kg in the Lagoa da Mina deposit and 400,99 kg in the Cercado Velho deposit.

INTRODUÇÃO

Os campos mineralizados em cobre de Angico e Sertãozinho co-participam do Distrito Cu-prífero do Vale do Curaçá, localizado no extremo norte do Estado da Bahia (fig. 1).

O primeiro campo engloba os corpos de Lagoa da Mina e Cercado Velho, enquanto que o corpo de Pirulito constitui o depósito atualmente conhecido no campo de Sertãozinho.

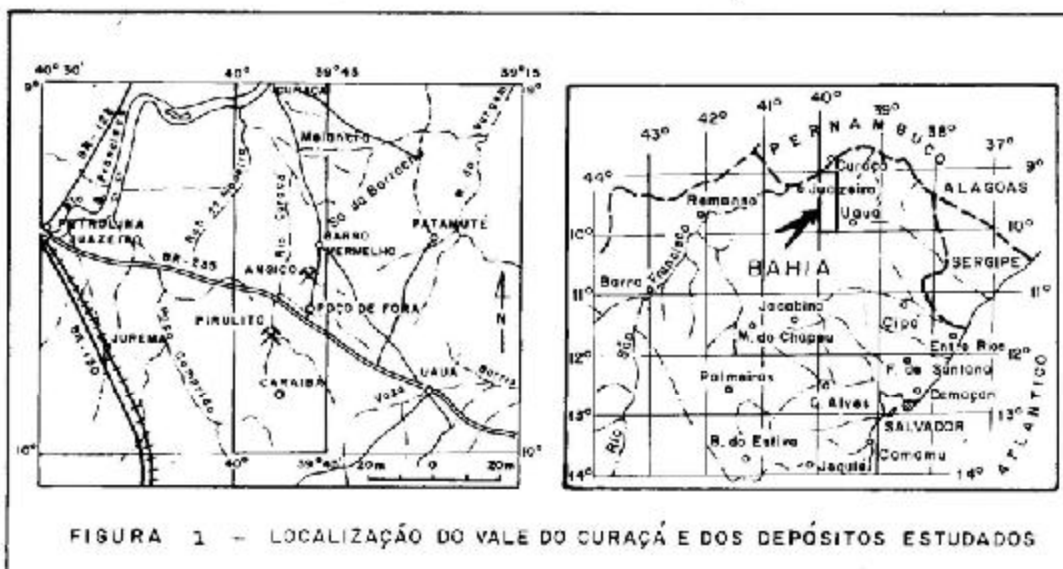


FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DO VALE DO CURAÇÁ E DOS DEPÓSITOS ESTUDADOS

Os corpos de Lagoa da Mina e Cercado Velho distam entre si de aproximadamente 400 metros e localizam-se 11 quilômetros em linha reta a norte da vila de Poço de Fora.

O corpo de Pirulito situa-se a sudoeste da vila de Poço de Fora, distando desta, cerca de 14,5 quilômetros, em linha reta.

Com relação a jazida de Carajá, o campo mineralizado de Angico dista cerca de 42 quilômetros na direção norte-nordeste, enquanto que o depósito de Pirulito situa-se a 22 quilômetros na direção norte-noroeste.

O trabalho ora apresentado resume os resultados das pesquisas desenvolvidas nos depósitos mencionados, englobando uma avaliação preliminar das reservas de cobre e apreciações sobre a potencialidade dos depósitos.

CONTEXTO GEOLÓGICO DO VALE DO CURAÇÁ

Barbosa et alii (1964) distinguiram no vale do Curaçá, o Grupo Carajá (Pré-Cambriano Inferior?) e o Grupo Canudos (Eo-Cambriano Superior). O Grupo Carajá constitui a maior parte da região e está representado por um conjunto de rochas altamente metamórficas e migmatizadas, às quais associam-se rochas máficas-ultramáficas hospedeiras das mineralizações cupríferas e rochas granitóides.

Ladeira e Brockes Jr (1969) apresentaram a primeira tentativa de subdivisão estratigráfica do Grupo Carajá, no vale do Curaçá, e o denominaram de Super Grupo Carajá. Posteriormente, com base no mapeamento geológico 1:25.000 de todo vale do Curaçá e nos trabalhos de prospecção executado na região, pelo Projeto Cobre do Convênio DNPM/CPRM, os autores (Souza, J.D. e Delgado, I.M., 1975) modificaram parcialmente o esquema de Ladeira e Brockes Jr (op. cit.) e subdividiram o Grupo (ou Super Grupo) Carajá em: Sequência Rio Curaçá (inferior), Sequência Tanque Novo (superior) e Rochas Granitóides (mais jovens que as seqüências).

A Sequência Rio Curaçá (basal) é caracterizada por rochas da facies do granulito, transicional granulito-anfibolito (Turner, 1968) e do anfibolito, intensamente granitizadas, onde destacam-se, gnaisses charnoquíticos, granulites diversos, migmatitos granulíticos, biotita-gnaisses migmatíticos, etc. Existem evidências de que a maioria das rochas das duas últimas facies resultou do retrometamorfismo de equivalentes da facies granulítico.

A Sequência Tanque Novo recobre a Sequência Rio Curaçá, está menos afetada pela granitização e compõe-se de rochas predominantemente da facies do anfibolito com transição para a facies do granulito na parte basal. Compõe-se de três unidades lito-estratigráficas: Unidade Bom Despa-

cho (inferior) compreendendo rochas cloríticas (vulcanitos) associadas com rochas calcossilicatas e quartzitos ferríferos, ocorrendo ainda anfibolitos, paragneisses normalmente a biotita, kinzigitos e quartzitos; Unidade Banguê (média) caracterizada predominantemente por gnaisses bandeados e anfibolitos; e a Unidade Bogó (superior) composta de quartzo-feldspato-granada gnaisses e quartzitos recristalizados, além de níveis subordinados de calcossilicatas e quartzitos ferríferos.

Ambas as seqüências incluem numerosos corpos concordantes de rochas máficas e ultramáficas que foram submetidos a um metamorfismo regional de mesmo grau que suas rochas encaixantes, sendo, portanto, metamafitos e metaultramafitos. As Rochas Granitóides, mais recentes, estão representadas por sienitos, gnaisses porfiroblásticos e granitos e adamelitos róseos e cinzas.

HISTÓRICO DAS PESQUISAS

Lewis Jr et alii (1963) e Barbosa et alii (op. cit.), baseados em trabalhos de prospecção geoquímica, chamaram a atenção para as possibilidades prospectiva de Lagoa da Mina, onde desde há muitos anos já era conhecida a ocorrência superficial de oxidados de cobre.

Em 1965 a GEOSOL, encarregada pelo DNPM da execução de serviços de prospecção no vale do Curaçá (Projeto Cobre), iniciou os trabalhos de pesquisa, através de prospecção geoquímica, poços e trincheiras, no corpo de Lagoa da Mina. Em fins de 1966, os técnicos da GEOSOL descobriram o corpo de Cercado Velho, constatando a ocorrência de oxidados de cobre e procederam então uma prospecção geoquímica circunscrivendo os dois corpos mineralizados. Em 1967 foram iniciados os serviços de poços de pesquisa e trincheiras no corpo de Cercado Velho e em fins deste período realizados os furos de sondagem prospectivos (pioneiros) nos dois corpos mineralizados. De 1968 a 1969, realizou-se a 2ª campanha de sondagem no corpo de Lagoa da Mina, já sob a responsabilidade direta de execução do DNPM. Em 1969, o DNPM realizou o levantamento magnético (campo vertical) no campo de Angico, visando o teste do método geofísico e a prospecção geológica da área global. Simultaneamente foi realizado o mapeamento geológico na escala 1:5.000, da área selecionada.

A partir de 1970 os serviços passaram a ser executados pela CPRM, sendo realizados os seguintes trabalhos de pesquisa: o programa de sondagem no corpo de Cercado Velho; a 3ª campanha de sondagem no corpo de Lagoa da Mina; testes dos métodos geofísicos de IP (arranjo pólo-dipolo) e gravimetria sobre o depósito de Lagoa da Mina; e dois furos de sondagem visando a prospecção do prolongamento sul do corpo de Lagoa da Mina, com base nos dados de geofísica.

Os quantitativos referentes a cada uma das atividades de pesquisa, realizados no campo mineralizado de Angico estão registrados na tabela I.

A caracterização do campo mineralizado de Sertãozinho e a descoberta do depósito cuprífero de Pirulito, nele encravado, foram frutos da sistemática integrada de pesquisa adotada no vale do Curaçá, pela equipe da CPRM do Projeto Cobre.

Em junho de 1972, com base nos controles regionais das mineralizações cupríferas do vale do Curaçá, foi selecionada a área então denominada de Alvo L-2, para trabalhos de pesquisa detalhados, os quais foram executados segundo a sistemática seguinte: a) mapeamento geológico 1:10.000; b) levantamento geoquímico, em solo residual segundo uma malha de 300m x 100m, complementado por amostragem estratégica; e c) levantamento magnético de intensidade total, segundo uma malha a 100m x 50m.

Foram caracterizadas zonas de anomalias geoquímicas altamente significativas, associadas a diversos corpos máficos-ultramáficos reunidos como o campo mineralizado de Sertãozinho sobre os quais foram realizadas amostragem geoquímica mais detalhada, sendo que no corpo de Pirulito, que correspondia a anomalia de cobre mais significativa, desenvolveu-se de imediato, uma pesquisa mais completa, compreendendo: a) abertura de trincheiras e mapeamento geológico 1:1.000; e b) levantamentos geofísicos com os métodos de magnetometria de campo total e polarização induzida (arranjo dipolo-dipolo), ambos segundo uma malha de 100m x 25m.

O mapeamento das trincheiras revelou um corpo norítico-piroxenítico com rica disseminação de sulfetos (calcopirita e pirita), enquanto que o método elétrico de polarização induzida detectou zonas anômalas, favoráveis a prospecção de sulfetos, correspondentes ao corpo máfico-ultramáfico mapeado.

Em agosto de 1972 foi executado o furo prospectivo 1-CA-33-BA, localizado sobre a anomalia de IP mais significativa, que veio a confirmar a existência do depósito de Pirulito. Em seguida foi executada uma campanha de sondagem, compreendendo mais dez furos, que foi concluída em abril de 1973.

Ainda sobre o corpo de Pirulito foi feito uma amostragem geoquímica de detalhe (50m x 25m), visando a complementação dos estudos orientativos de geoquímica no vale do Curaçá (Projeto Cobre).

| Natureza dos serviços | Quantidade | Unidade |
|--|------------|-----------------|
| Mapeamento geológico 1:10.000 | 32 | km ² |
| Mapeamento geológico 1:5.000 | 400 | ha |
| Mapeamento geológico 1:1.000 | 66.000 | m ² |
| Levantamento magnético | 504 | ha |
| Levantamento IP | 56 | ha |
| Levantamento de gravimetria | 150 | ha |
| Números de determinações de cobre, no solo | 468 | amostra |
| Poços de pesquisas | 314,85 | m |
| Trincheiras | 1.225,45 | m |
| Sondagem | 5.425,85 | m |
| Análise espectrográfica para cobre (número de determinações químicas de amostras de canal) | 1.294 | determ. |
| Análise química quantitativa para cobre de testemunhos de sondagem | 2.423 | amostra |
| Análise química para ouro de testemunhos de sondagem | 48 | amostra |
| Análise espectrográfica para 30 elementos de testemunhos de sondagem | 48 | amostra |
| Análise petrográfica | 33 | amostra |

Tabela I – Dados físicos dos trabalhos de pesquisa executados no campo mineralizado de Angico, incluindo os depósitos de Lagoa da Mina e Cercado Velho.

Na tabela II estão registrados os quantitativos relativos a cada um dos trabalhos de pesquisa executados no depósito de Pirulito e no campo de Sertãozinho.

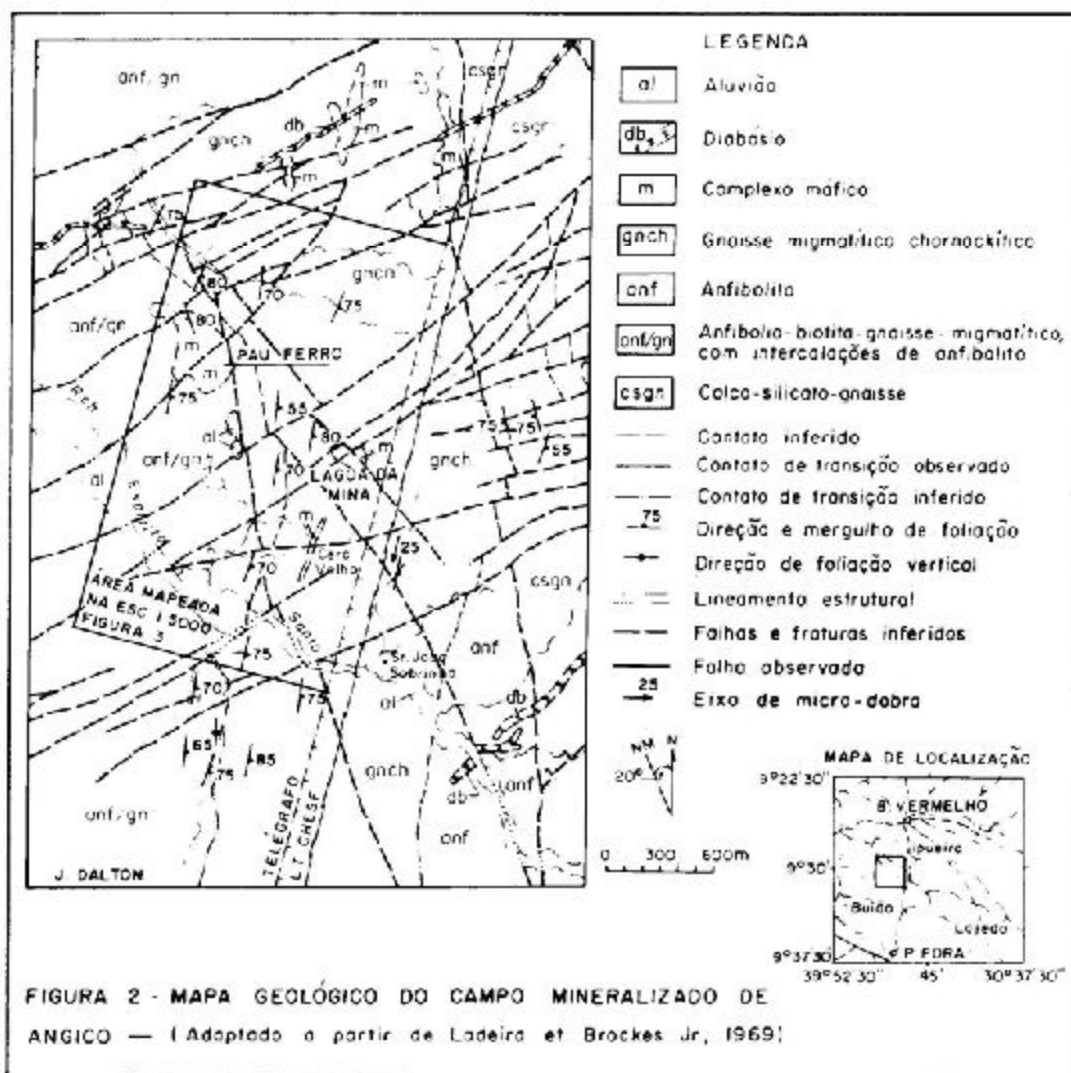
| Natureza dos serviços | Quantidade | Unidade |
|--|------------|-----------------|
| Mapeamento geológico 1:10.000 (Alvo L-2) | 4,95 | km ² |
| Mapeamento geológico 1:1.000 (Pirulito) | 3,60 | ha |
| Levantamento geoquímico (Alvo L-2) | 4,95 | km ² |
| Levantamento geoquímico de detalhe (Pirulito) | 6,125 | ha |
| Número de determinações de cobre, no solo | 830 | amostra |
| Levantamento magnético (Alvo L-2) | 3,90 | km ² |
| Levantamento magnético de detalhe (Pirulito) | 56,0 | ha |
| Levantamento de IP (Pirulito) | 26,5 | ha |
| Trincheiras | 163 | m |
| Sondagem | 2.659,23 | m |
| Análise química quantitativa para cobre de testemunhos de sondagem | 760 | amostra |
| Análise química para ouro de testemunhos de sondagem | 24 | amostra |
| Análise espectrográfica para 30 elementos de testemunhos de sondagem | 45 | amostra |
| Análise petrográfica | 29 | amostra |
| Análise calcográfica | 11 | amostra |

Tabela II – Dados físicos dos trabalhos de pesquisa realizados no campo mineralizado de Sertãozinho (Alvo L-2) e no depósito de Pirulito.

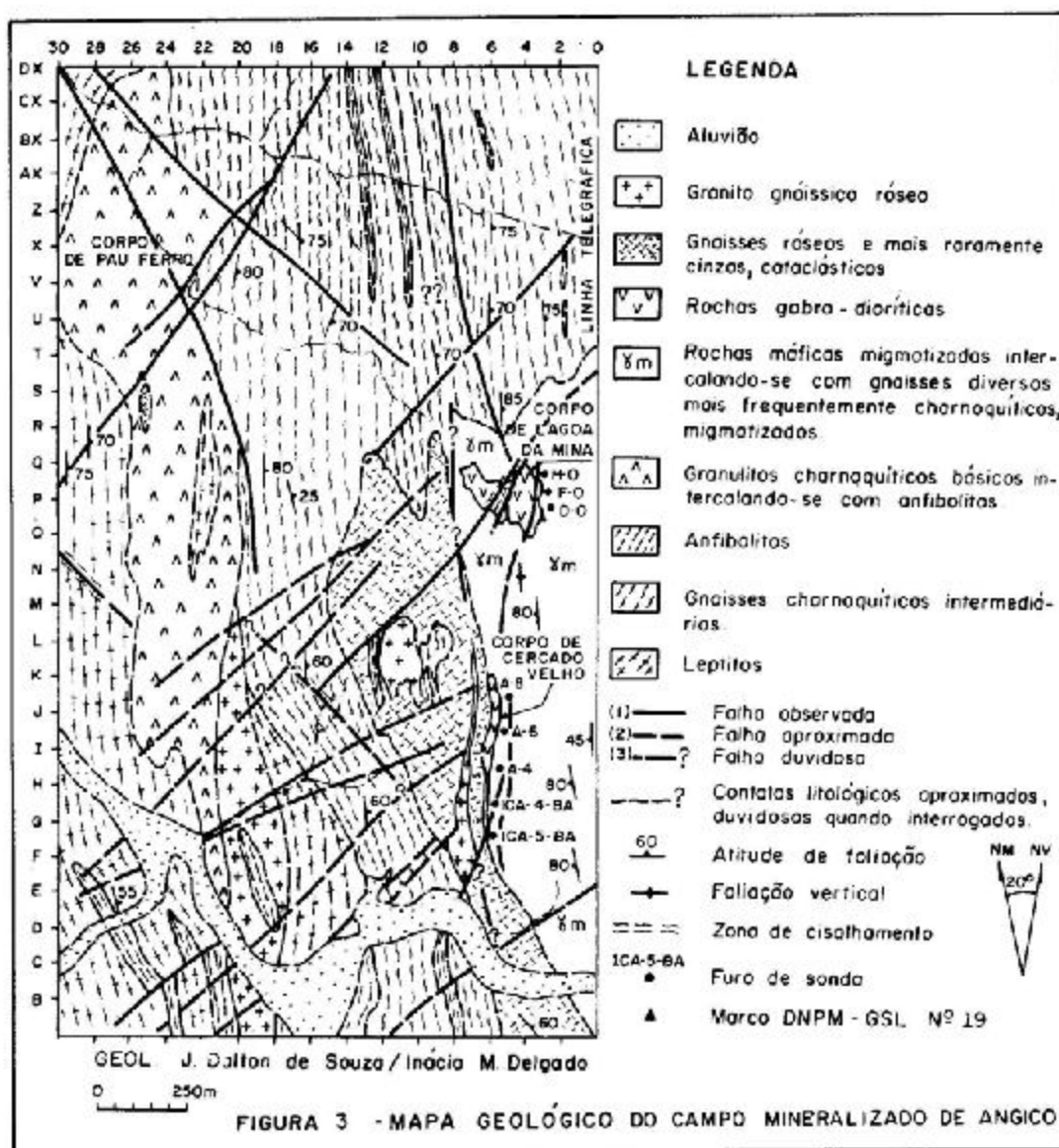
Os dados e resultados sintetizados no trabalho aqui apresentado, estão registrados de modo detalhado nos volumes VIII e IX do Relatório Final do Projeto Cobre do Vale do Curaçá, apresentado ao DNPM em 1975.

GEOLOGIA LOCAL. Do campo de Angico.

O mapeamento geológico executado pela GEOSOL (Ladeira et alii, 1969) situa o campo mineralizado de Angico no contexto geológico regional (fig. 2). Foram identificadas quatro unidades litológicas predominantes: anfibolitos, calco-silicatado-gnaisses, gnaisses charnoquíticos migmatizados, anfibólio-biotita-gnaisses migmatizados, além de diversos corpos máficos-ultramáficos. As rochas calcosilicatadas e os anfibolitos associados pertencem à Seqüência Tanque Novo que é sobreposta à Seqüência Rio Curaçá, na área representada pelos anfibólio-biotita-gnaisses e gnaisses charnoquíticos, ambos migmatizados.



O mapeamento de detalhe executado pelos autores em torno dos depósitos de Lagoa da Mina e Cercado Velho (fig. 3), evidenciou que esses corpos fazem parte de um complexo de rochas granulíticas migmatizadas, onde destaca-se um gnaiss charnoquítico intermediário que apresenta abundantes intercalações delgadas de anfibolitos. Na porção mais oeste predominam rochas gnáissicas de constituição dominante quartzo-feldspática (leptitos), com freqüentes intercalações de anfibolitos.



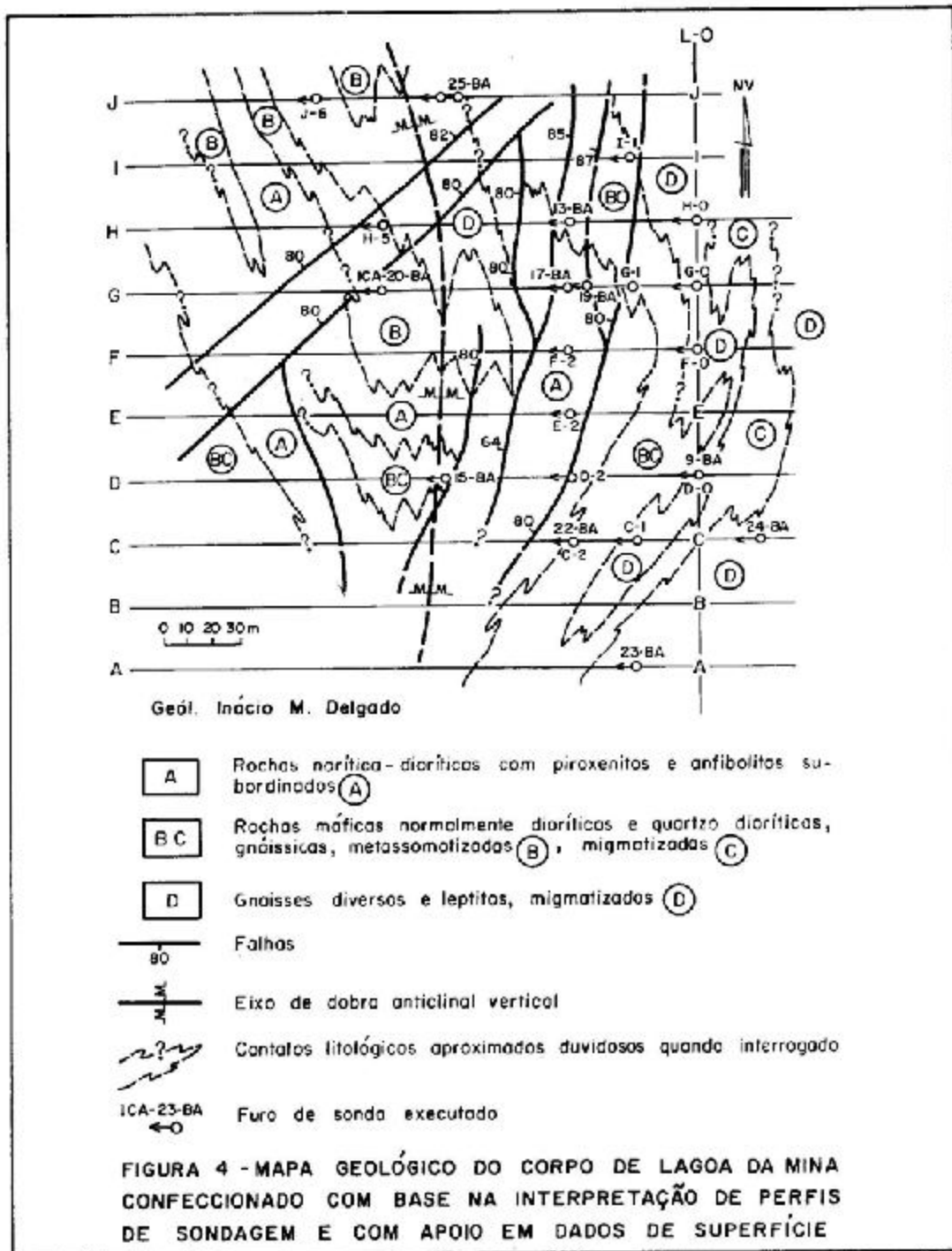
Confirmou-se, neste trabalho, o prolongamento para sul do corpo de Pau-Ferro, além da área anteriormente mapeada pela GEOSOL (figs. 2 e 3). A rocha mais característica, constitutiva do referido corpo, é um granulito básico de características charnoquíticas, contendo bastante biotita e plagioclásio esverdeado ao lado de hiperstênio. Esta rocha está normalmente mineralizada com sulfetos (pirita e calcopirita) e aparece mais conspicuamente na parte norte do corpo.

Granitos gnáissicos róseos bastante ricos em microclina ocorrem, provavelmente, preenchendo zonas de fraturas ou falhas, antigas, longitudinais. Gnaisses róseos e mais raramente cinzas, cataclásticos, migmatíticos, ocorrem numa faixa de direção geral N-S a oeste do corpo de Cercado Velho.

As rochas orientam-se segundo a direção geral N-S, apresentando, a exceção dos corpos máficos-ultramáficos, boa gnaissificação, de postura variando de 60° a 85° mergulhando predominantemente para este. As falhas são os elementos tectônicos mais conspícuos, destacando-se os falhamentos NE, sendo o sistema mais antigo representado por falhas N-S de mergulho subvertical (85° W).

DO DEPÓSITO DE LAGOA DA MINA. O corpo de Lagoa da Mina é constituído predominantemente por rochas norítica-dioríticas com piroxenitos e anfíbolitos subordinados.

A morfologia superficial, apesar das reduzidas dimensões do corpo, é bem visível nas aerofotos na escala 1:25.000, possuindo forma de meia-lua (fig. 4).



As rochas dioríticas constituem a maior parte do corpo máfico de Lagoa da Mina. São rochas mesocráticas de textura granular ou mais freqüentemente foliada, com microtextura hipidiomórfica a xenomórfica. Constituem-se de andesina que grada até oligoclásio e representa 40% a 70% da rocha; hiperstênio normalmente uralitizado ou alterado para biotita ao longo das bordas e fraturas; às vezes augita; hornblenda normalmente resultante da uralitização ou podendo constituir o mineral mais abundante; biotita geralmente oriunda da transformação das hornblendas e piroxênios; e minerais acessórios: opacos, apatita, zircão, quartzo, este último podendo atingir 5% da composição mineralógica.

As rochas norfíticas são normalmente granulares, apresentando-se, às vezes, foliadas. São rochas mesocráticas a melanocráticas de microtextura hipidiomórfica ou xenomórfica. Constituem-se de plagioclásio cálcico de composição entre a labradorita e bytownita; hiperstênio que pode alcançar até 20% da composição mineral nos tipos melanoríticos, transformado para hornblenda e contendo opacos ao longo das clivagens e fraturas; hornblenda e biotita derivadas metassomaticamente do piroxênio; e abundantes opacos que compõem até 8% da composição mineralógica. Apatita, zircão, quartzo, magneto-ilmenita, pirita, pirrotita, bornita e calcopirita, constituem os acessórios mais freqüentes destas rochas.

Associadas às zonas norfíticas, ocorrem faixas estreitas, irregulares e descontínuas de ortopiroxenitos que mostram-se maciços ou ostentam inclente foliação. Apresentam microtextura hipidiomórfica granular e compõem-se essencialmente de hiperstênio, hornblenda, biotita e opacos. Muito subordinadamente aparecem clinopiroxenitos, tipo augitos.

Os anfíbolitos ocorrem aleatoriamente, associados a qualquer das litologias antes descritas. Os tipos variam desde os melanocráticos ricos em ferromagnesianos, até os tipos onde o conteúdo de anfíbólio e plagioclásio se equivalem. Os tipos melanocráticos compõem-se essencialmente de hornblenda ou hornblenda e augita, plagioclásio e biotita. Outro tipo constitui as rochas anfíbolíticas xistosas, com abundante tremolita e biotita, opacos e carbonatos. Estas rochas são normalmente derivadas metassomaticamente de outros tipos litológicos. Rochas anfíbolíticas onde o conteúdo de hornblenda e plagioclásio são equivalentes ou o primeiro predomina ligeiramente, ocorrem associadas freqüentemente às rochas dioríticas de onde são derivadas através de processos metamórficos e metassomáticos.

Os estudos petrográficos e de testemunhos de sondagem atestaram que existe uma íntima associação e gradação de rochas hipersteníticas que passam a melanoríticas, norfíticas e estas a hiperstênio-dioritos, biotita-hiperstênio-dioritos, biotita-hornblenda-piroxênio-dioritos, quartzo-dioritos, etc.; e que esta intensa variação litológica, até certo ponto desordenada, é produto das transformações metassomáticas (albitização, saussuritização, sericitização, biotitização, uralitização, etc.), e migmatizantes das rochas máficas-ultramáficas.

Os fenômenos de migmatização são evidenciados principalmente pela presença de numerosos filonetes de mobilizados pegmatóides e granitóides interceptando a rocha máfica-ultramáfica que adquire, localmente, excelentes estruturas planares. Nestes locais, as transformações metassomáticas se acentuam dando origem aos dioritos e quartzo-dioritos.

Os fenômenos de granitização, apesar de se desenvolverem aleatoriamente, são mais conspícuos nas partes periféricas do corpo, responsabilizando-se pela transição das rochas gabróides até quartzo-dioritos, contribuindo para um certo zoneamento de basicidade do centro à periferia do corpo máfico-ultramáfico, fenômeno primeiramente observado por Ladeira et alii (op. cit.).

As rochas encaixantes, constituídas de anfíbólio gnaisses, plagioclásio-quartzo-biotita-microclina gnaisses, quartzo-feldspato gnaisses, etc., contém abundantes intercalações de rochas dioríticas e quartzo-dioríticas metassomáticas, constituindo, no conjunto, uma rocha migmatítica.

Devido a complexidade petrográfica do corpo de Lagoa da Mina, agrupou-se as litologias em quatro tipos principais (A, B, C e D), cuja separação foi ditada, principalmente, pelo grau de granitização do complexo máfico-ultramáfico, viabilizando-se, desta forma, a construção das seções geológicas transversais, com base nos dados de sondagem, exemplificadas nas figuras 9 e 12. Procedimento idêntico também foi adotado para os depósitos de Cercado Velho e Pirulito.

Aliado a complexidade petrográfica, existem no meio da massa máfica inversões constantes do sentido do mergulho das foliações que se orientam, em geral, segundo a direção N-S, mas parecem condicionadas a intensa perturbação tectônica. Nos gnaisses migmatíticos, a foliação é mais regular, com mergulhos freqüentes para leste, embora localmente ocorram notáveis variações, provavelmente relacionadas a zonas de terminações de dobras.

As falhas dispõem-se, em geral, longitudinalmente e apresentam mergulho subvertical com inclinação de 80° para oeste.

Com base nas observações geológicas de superfície, nos estudos de testemunhos de sondagem e na interpretação das seções geológicas e de contorno dos corpos de minério, concluiu-se que o comportamento estrutural do corpo de Lagoa da Mina é de uma dobra, possivelmente anticlinal, de "plunge" e plano axial subverticais.

Esta conclusão apoia-se basicamente nos elementos seguintes: 1) Pela geometria do corpo, descrita como uma "meia-lua", pela acomodação das rochas máficas-ultramáficas a um núcleo gnáissico e pelo sanfonamento da zona de terminação periclinal (fig. 4); 2) Pela forma e disposição das faixas mineralizadas que se abrem para norte e vão gradativamente se acunhando para sul (figuras 9 a 13); 3) Pela concentração (espaçamento) dos corpos de minério na zona de terminação periclinal (fig. 13); 4) Pelo rearranjo das faixas mineralizadas na zona sanfonada da terminação periclinal; 5) Pelo estilo tectônico da área onde se encrava o corpo de Lagoa da Mina.

DO DEPÓSITO DE CERCADO VELHO. O corpo de Cercado Velho é constituído predominantemente por rochas gabro-dioríticas associadas a noritos piroxenitos, anfíbolitos e rochas da facies do xisto verde.

Apresenta em superfície forma alongada (400m de comprimento), tabular (fig. 5), aspecto que é mantido em subsuperfície. Não é visível nas aerofotos 1:25.000.

Apesar da similaridade litológica com o corpo de Lagoa da Mina, existem diferenças gerais, principalmente, pelo maior grau de transformações metassomáticas-hidrotermais das rochas metamáficas.

Os dioritos estudados são rochas de microtextura granular hipidiomórfica ou xenomórfica, apresentando, em geral a seguinte composição mineralógica: plagioclásio (andesina e oligoclásio), normalmente alterado para carbonatos, epidoto e sericita; clinopiroxênio, transformado para tremolita-actinolita, clorita, carbonato e às vezes epidoto; hornblenda que sofre transformação para actinolita e clorita; biotita, também alterada para clorita e leucoxênio; opacos, destacando-se magnetita e pirita; apatita, quartzo e minerais de alteração. Essas rochas acham-se atravessadas por microveios de clorita, quartzo e albita. Constituem rochas transformadas metassomaticamente até a facies do xisto verde.

Os noritos são rochas de textura granular xenomórfica, cujo plagioclásio cálcico pode variar até andesina, devido as alterações para sericita e grupo do epidoto. Contém abundante hiperstênio, parcialmente alterado para talco, clorita e magnetita; além de biotita, apatita e opacos, relativamente abundantes, entre os quais predominam magnetita e sulfetos. Estas rochas noríticas se acham intimamente associadas com as rochas piroxeníticas (hipersteníticas), constituídas principalmente de hiperstênio parcialmente alterado para talco e magnetita; apatita, biotita marrom-avermelhado e abundantes opacos, destacando-se magnetita e sulfetos.

Os processos metassomáticos por via hidrotermal a tuantes neste corpo, podem originar desde anfíbolitos típicos até rochas totalmente transformadas em associações mineralógicas da facies do xisto verde, como é o caso das rochas que mostram as seguintes composições: a) talco (40%), clorita (36%), serpentina (8%), quartzo em microveios (4%), leucoxênio e pirita (12%) e b) sericita (65%), clorita (24%), quartzo (8%), magnetita+leucoxênio+pirita (3%).

O mapeamento geológico do corpo de Cercado Velho com base nos dados de sondagem e de superfície (fig. 5) e as seções geológicas (figs. 14 a 17), demonstram claramente que existe no complexo uma transição realmente característica de rochas ultramáficas-máficas, desde noritos-piroxenitos até quartzo-dioritos, passando intermediariamente por rochas gabro-dioríticas, perfeitamente mapeáveis pelos testemunhos de sondagem. A leste, as rochas encaixantes são gnaisses diversos, principalmente charnoquíticos, migmatizados, conservando lentes de rochas dioríticas e quartzo-dioríticas metassomáticas. Portanto, o corpo máfico, de forma originalmente tabular, foi submetido a processos de granitização cada vez mais enérgicos de oeste para leste, dando origem ao "zonedamento de basicidade" supradescrito. A rocha encaixante do lado oeste é um leucognaisse quartzo-feldspático (leptito), que sofre influências do metassomatismo potássico e é interpenetrado por granito-gnássico róseo (fig. 3).

Além das falhas caracterizadas nos trabalhos de geologia da superfície, foi identificada, através dos trabalhos de perfuração, mais uma série de falhamentos N-S, interpretados nos perfis geológicos verticais (figs. 14 a 17) e no mapa geológico da figura 5. Estas falhas apresentam mergulho forte, em torno de 85°.

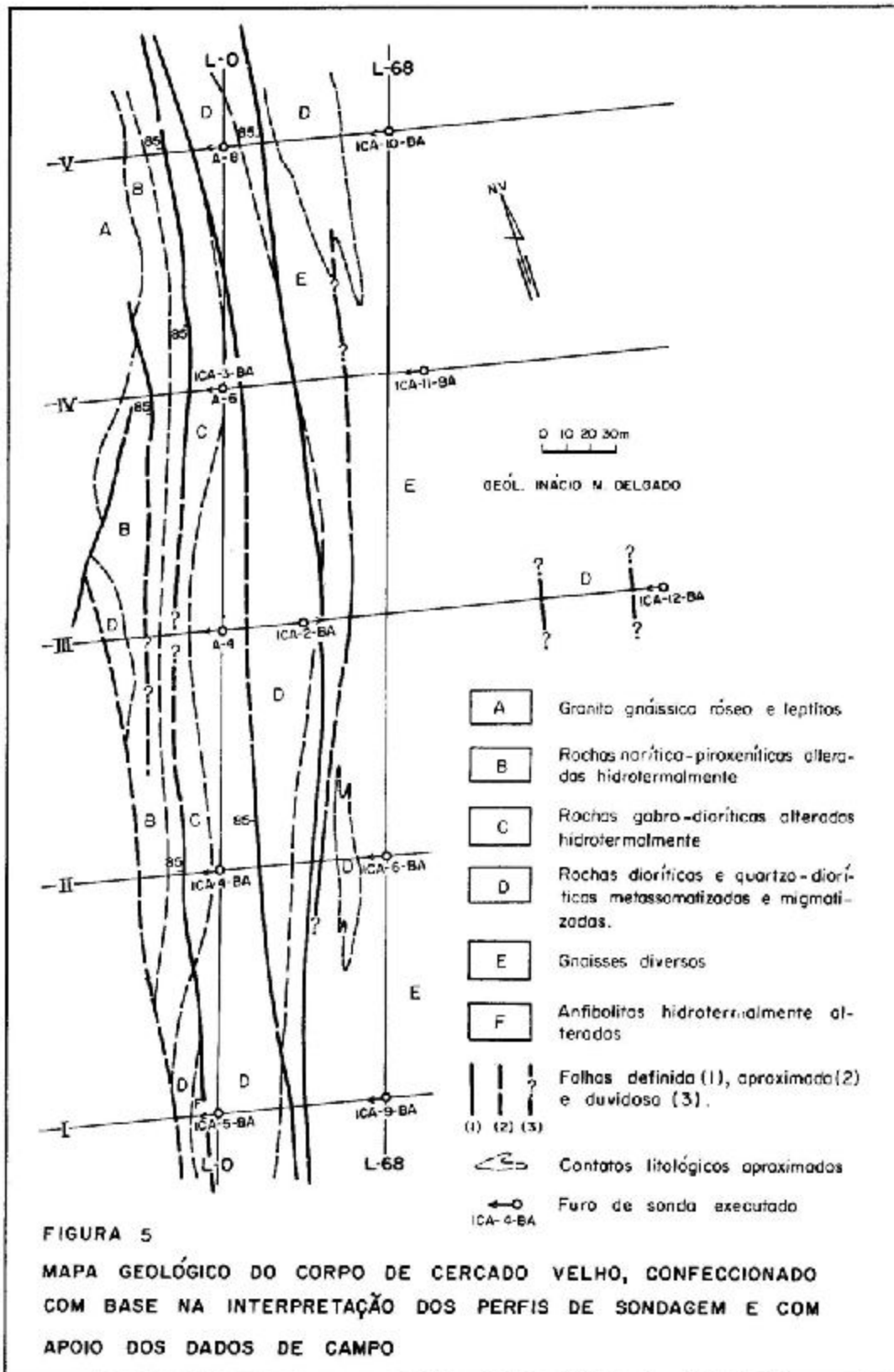
A identificação de um sistema de falhas semelhantes cortando o corpo de Lagoa da Mina confirma que estes tipos de estruturas são bem mais conspícuos do que realmente vem sendo considerado na geologia de superfície do vale do Curaçá, dada a dificuldade de mapeá-las devido a concordância estrutural com as rochas regionais.

Do Campo de Sertãozinho — O mapa geológico da figura 6 mostra que o campo de Sertãozinho é geologicamente constituído por biotita-gnaisses migmatíticos e litologias associadas pertencentes a Sequência Rio Curaçá. Apenas na extremidade noroeste (e no exterior oeste) da área mapeada ocorrem rochas pertencentes a unidade basal (Unidade Bom Despacho) da Sequência Tanque Novo, ali representada por estreitos níveis de quartzitos ferríferos e calco-silicatadas.

A litologia característica do campo de Sertãozinho é um biotita-gnaisse migmatítico de estrutura sublistrada a "schlieric".

No bordo leste da área, onde os processos de granitização, que atuaram generalizadamente na região, foram mais enérgicos, aparecem numerosos corpos, regionalmente concordantes, de granito róseo originados provavelmente por processos de anatexia.

Os leptitos geralmente granatíferos, ocorrem de modo subordinado e são rochas da facies metamórfica do granulito, constituindo testemunho de que a maioria das rochas da área exibem atualmente paragénese mineral típica da facies metamórfica do anfíbolito, graças a atuação de metamorfismo regressivo.



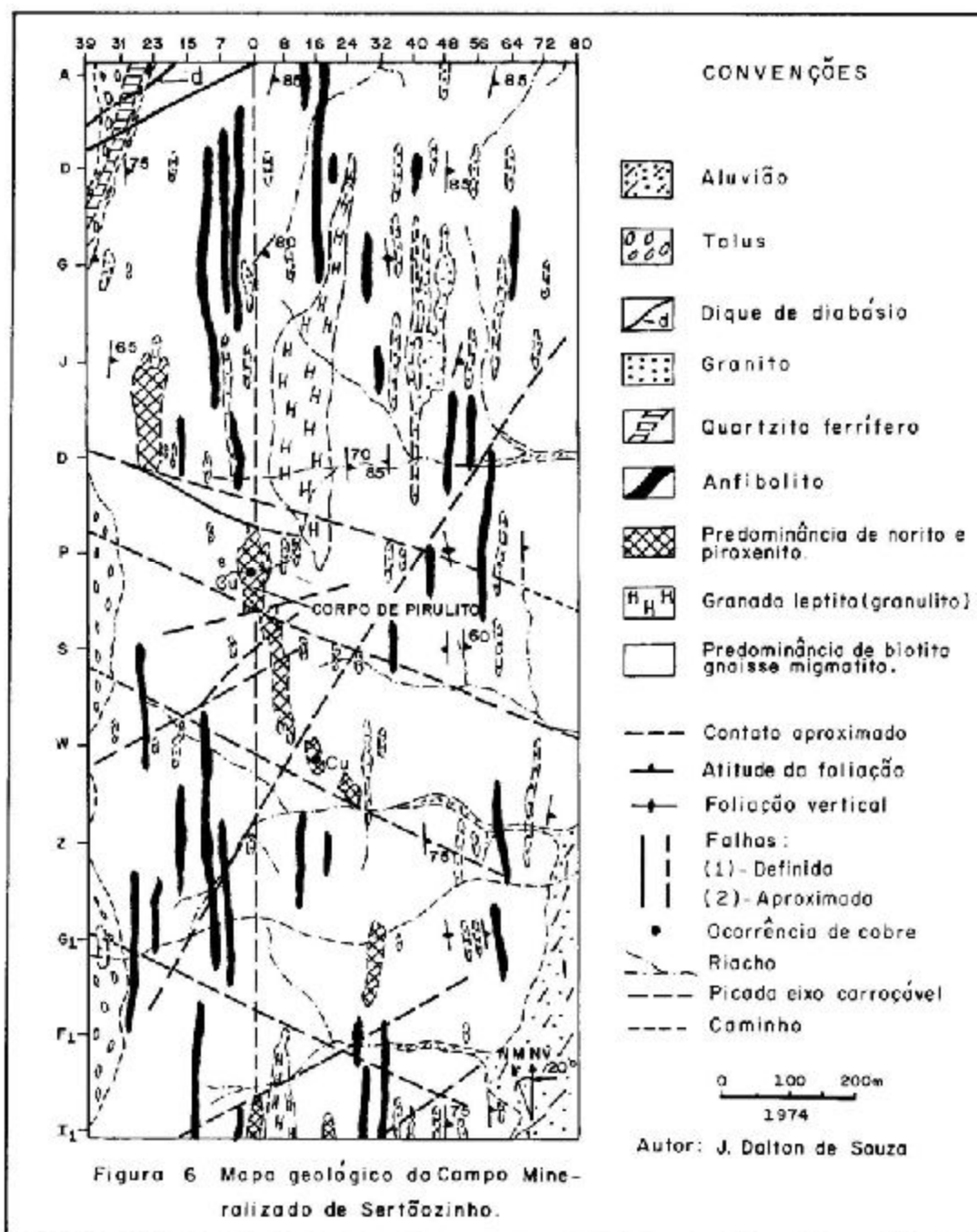


Figura 6 Mapa geológico do Campo Mineralizado de Sertãozinho.

Intercalados concordantemente nos gnaíses migmatíticos, ocorrem inúmeros corpos de rochas metamórficas de natureza máfica-ultramáfica. Consistem predominantemente de estreitas lentes de anfibolito, distribuídas amplamente em toda área. Mais subordinadamente ocorrem pequenos corpos norítico-piroxeníticos, um dos quais constitui o depósito de Pirulito. Estes corpos se alinham segundo um "trend" aproximadamente N-S que pode ser seguido, do citado depósito para sul, por mais de 1,5 quilômetros. Para norte aparece ainda um corpo norítico-piroxenítico, que aparentemente representa uma continuação do corpo de Pirulito, rejeitado para noroeste por falhamento de direção NW-SE. Este posicionamento estrutural sugere a hipótese destes corpos representarem um extenso "sill" máfico-ultramáfico interrompido devido ao tipo de estrutura ("pinch and swell") e/ou deslocados por falhas.

DO DEPÓSITO DE PIRULITO – O corpo de Pirulito constitui-se predominantemente de rochas noríticas-piroxeníticas associadas com dioritos, gabros, anfibolitos e biotititos subordinados. Mostra uma complexidade litológica, atestada pelos estudos petrográficos e dos testemunhos de sondagem, refletida na variação litológica intensa e desordenada, causada principalmente pela ação de processos metassomáticos e migmatíticos, que responde pela transformação das rochas originais em tipos menos básicos. Assim, onde é mais enérgica a atuação destes processos, predominam os dioritos, quartzo-dioritos e quartzo-noritos, metassomatizados e/ou migmatizados, muitas vezes com boa estrutura planar (foliação e/ou aspecto gnáissico), enquanto os piroxenitos e noritos são subordinados ou ocorrem como "relictos".

Os biotita-hiperstenitos constituem as rochas mais características do corpo de Pirulito, representando a litologia dominante na parte norte do corpo. São rochas cinzas escuras, de textura hipidiomórfica granular, constituídas de: hiperstênio com participação de (60 a 80%) na composição mineral, parcialmente transformados nas bordas e fraturas para uralita e/ou bastita ou alterado diretamente para biotita; hornblenda normalmente escassa ou ausente, apesar de em alguns casos ter participação notável na composição mineral; biotita que participa geralmente com percentagem superior a 10% e constitui normalmente produto de transformação metassomática do hiperstênio ou hornblenda; e acessórios, destacando-se: opacos (pirita, calcopirita e magneto-ilmenita), zircão, plagioclásio, sericita e clorita. Outros tipos de piroxenitos são muito subordinados e estão representados por algumas intercalações de hornblenda-piroxenito e mais raramente de clinopiroxenito (diopsidito e augítico?) atravessadas pelos furos de sondagem.

As rochas noríticas, principalmente os tipos melanoritos, ocorrem mais freqüentemente em íntima associação com as zonas piroxeníticas, sendo comum observar-se uma gradação, entre os dois tipos litológicos, proporcionada pelo aumento da participação de plagioclásio nos noritos, fenômeno que em alguns casos resulta nitidamente de processos metassomáticos. Os noritos são normalmente rochas granulares, que em alguns casos apresentam-se foliados, holomelanocráticas a mesocráticas, e de textura hipidiomórfica a xenomórfica. O plagioclásio é labradorita mas pode variar até andesina cálcica devido a sericitização e/ou saussuritização. O hiperstênio pode alcançar até 48% da composição mineral nos tipos melanocráticos ou ter participação bastante subordinada nos tipos mesocráticos metassomatizados e/ou migmatizados. Hornblenda pode ser ausente ou o mineral mais abundante e pelo menos, em grande parte, representa um derivado metassomático de piroxênio. A biotita, geralmente presente, normalmente é formada através da transformação metassomática dos piroxênios e hornblenda. Opacos, apatita, zircão, minerais de alteração e quartzo aparecem subordinadamente, sendo que o último pode se tornar relativamente abundante nos tipos metassomatizados e migmatizados, aparecendo, principalmente, concentrado em estreitos níveis e microvelos.

As rochas dioríticas são, via de regra, produtos da ação da migmatização e metassomatismo das rochas noríticas, com a transformação do plagioclásio cálcico para andesina e oligoclásio. São macroscopicamente e microscopicamente semelhantes as rochas noríticas, embora exibam com mais freqüência estruturas foliadas e mesmo bandeadas, freqüentes nos tipos migmatizados.

Os anfibolitos ocorrem subordinadamente, de modo aleatório, podendo aparecer associados a qualquer dos tipos supradescritos, como acontece em Lagoa da Mina.

Foi constatado, ainda, através da sondagem, duas estreitas intercalações de hornblenda-clinopiroxênio-biotita-peridotito encaixadas em piroxênio-diorito e noritos.

Embora se manifeste com intensidade bastante diversificada, a biotitização das rochas constitutivas do corpo de Pirulito, através de processos metassomáticos-hidrotermais, é um fenômeno generalizado, tendo conduzido freqüentemente a formação de biotititos.

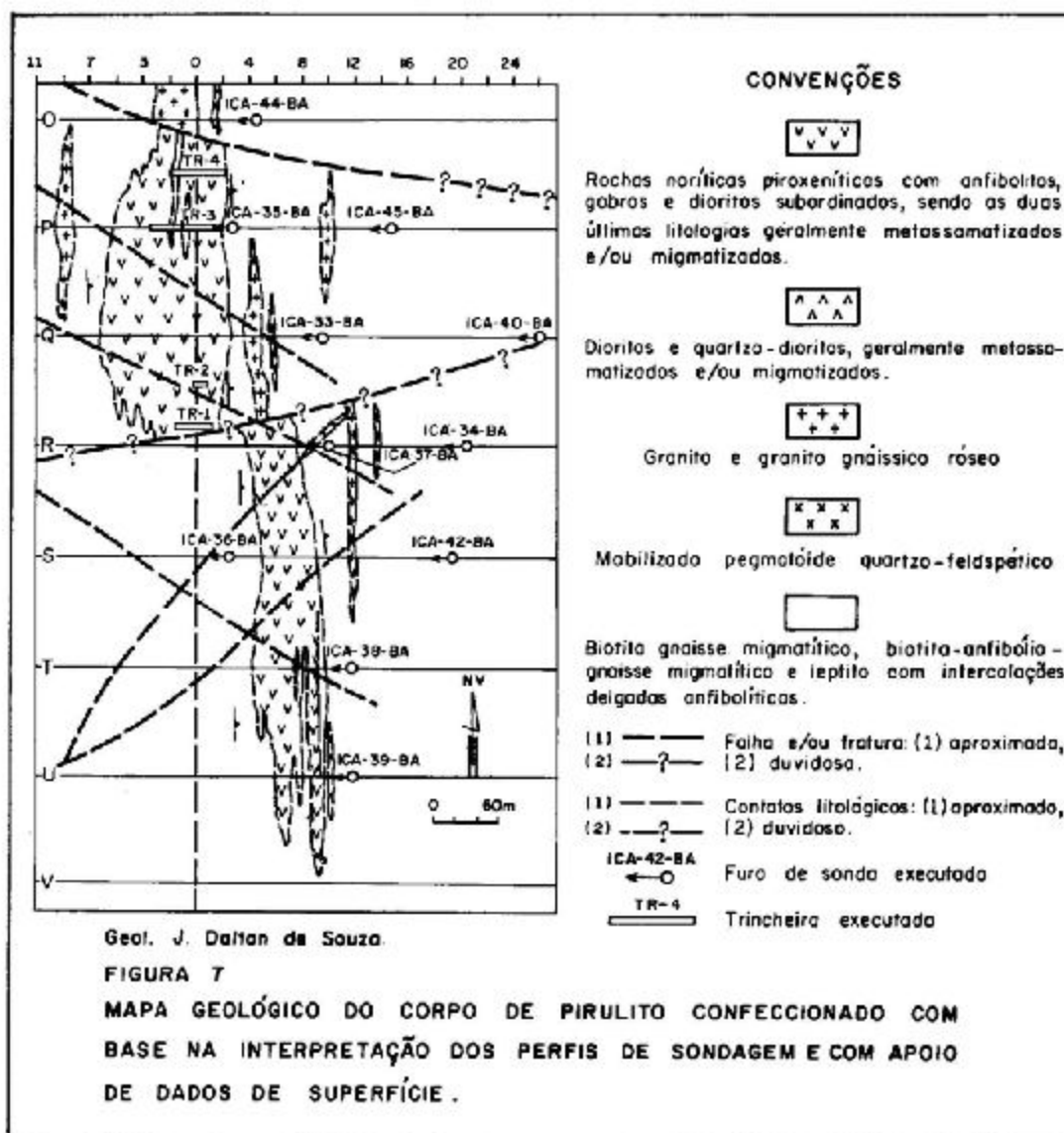
O corpo de Pirulito, bem como a foliação, quando presente, de suas rochas constitutivas, dispõem-se concordantemente com a foliação das rochas encaixantes, mostrando direção norte-sul e mergulhos muito fortes e subverticais inclinados para leste. Contudo, devido a sua maior mobilidade, os biotita-gnáisses migmatíticos encaixantes mostram intensidades de mergulho de foliação mais diversificadas, variando entre 65° e subverticalidade, para leste.

Os contatos entre o corpo de Pirulito e suas encaixantes são de rápida transição e em alguns casos bruscos, conforme ficou evidenciado nos estudos dos testemunhos de sondagem.

As falhas são as estruturas mais marcantes e melhor definidas. Aquelas interpretadas nas seções geológicas verticais, apresentam invariavelmente mergulhos muito fortes.

Com base na interpretação dos perfis geológicos dos furos de sondagem, exemplificados nas figuras 18 a 21 e apoiado nos dados do mapeamento geológico do Alvo L-2 (fig. 6) e das trincheiras, elaborou-se o mapa geológico ilustrativo do depósito de Pirulito apresentado na figura 7.

Este mapa geológico e os perfis de sondagem evidenciam as seguintes conclusões, relativas ao corpo de Pirulito: 1) O corpo máfico-ultramáfico possui forma alongada originalmente tubular, tanto em superfície como em subsuperfície, disposta concordantemente com a orientação estrutural regional (norte-sul); 2) Compõem-se de dois blocos seccionados e rejeitados por um falhamento



de direção ENE-WSW. A parte norte apresenta extensão linear de 270 metros e estende-se comprovadamente com uma espessura de 100 metros além de uma profundidade de 275 metros, enquanto que o bloco sul, com extensão linear de 400 metros, foi comprovado com uma espessura de 60 metros, em profundidade de 175 metros (fig. 20); 3) O bloco norte do corpo máfico-ultramáfico está aparentemente limitado ao norte por uma falha de direção NW-SE. O corpo nortício-piroxenítico situado a noroeste de Pirulito, mostrado no mapa geológico do Alvo L-2 (fig. 6), representaria o seu prolongamento norte, rejeitado pelo falhamento supracitado. Esta falha foi, inclusive, evidenciada pelos levantamentos magnéticos executados no Alvo L-2 e no depósito de Pirulito.

AS MINERALIZAÇÕES — Aspectos macroscópicos

A mineralização secundária de oxidação superficial dos depósitos cupríferos de Lagoa da Mina, Cercado Velho e Pirulito é composta de malaquita, azurita, crisocola e, mais raramente, cuprita, que manifestam-se sob a forma de impregnações concentradas ou difusão no seio da rocha máfica-ultramáfica. Mais freqüentemente essa mineralização ocorre sob a forma de filmes preenchendo fraturas ou fissuras das rochas hospedeiras, de modo que as manchas mais ricas de oxidados de cobre normalmente estão confinadas às zonas fraturadas e falhadas dos corpos máfico-ultramáficos, locais onde se nota a presença freqüente de mobilizados hidrotermais e pegmatóides.

No corpo de Cercado Velho, a mineralização oxidada confina-se ao contato oeste da rocha máfica-ultramáfica cisalhada com os leptitos migmatizados, enquanto que no corpo de Pirulito, em contraposição aos dois outros depósitos, a mineralização oxidada é fraquíssima, confinando-se a locais esparsos e isolados, fato que deve constituir um reflexo do mais baixo teor de cobre do minério sulfetado subjacente em Pirulito.

A oxidação, em zonas de falhamentos ou de fraturas, pode alcançar até mais de 30 metros, embora ela se mantenha normalmente em torno dos 20 metros de profundidade, no campo de Angico, e dos 15 metros no corpo de Pirulito.

No campo de Angico a mineralização de sulfetos é macroscopicamente constituída, na ordem decrescente de abundância, de calcopirita, bornita, pirita e pirrotita; enquanto que em Pirulito a bornita é praticamente ausente e inverte-se a relação entre calcopirita e pirita. Os sulfetos ocorrem sob a forma de grânulos diminutos ou grãos milimétricos disseminados no seio da rocha hospedeira ou como vênulas e microlentes preenchendo fraturas, zonas cisalhadas e fissuras dos minerais silicatados. Este último aspecto é bastante subordinado em Pirulito, onde normalmente a mineralização sulfetada apresenta-se uniformemente disseminada. As concentrações de sulfetos maciços são mais raras e neste caso condicionadas aos fraturamentos, às zonas de alterações hidrotermais e à presença de lentes piroxeníticas (hipersteníticas). Em Pirulito, sulfeto sob a forma maciça está normalmente representado por pirita.

Com relação às litologias hospedeiras, a mineralização sulfetada dos depósitos de Lagoa da Mina e Cercado Velho concentra-se nas rochas piroxeníticas (hipersteníticas), distribui-se mais regularmente nas rochas gabro-noríticas e apresenta-se mais subordinada nas rochas dioríticas.

No corpo de Pirulito essa mineralização concentra-se exclusivamente nos hiperstenitos e melanoritos e nos seus derivados metassomáticos-hidrotermais, os biotititos. Tanto nos noritos mesocréticos e variedades metassomatizadas, como nas rochas dioríticas, a mineralização é muito fraca, além de distribuir-se de modo muito irregular.

Concentrações de sulfetos são ainda observadas, com relativa frequência, associadas a veios de mobilizados pegmatóides, granitóides e quartzosos que cortam as rochas máficas-ultramáficas, servindo de agentes à remobilização dos sulfetos.

Aspectos microscópicos — Nos estudos calcográficos efetuados em onze amostras de testemunhos de sondagem do depósito de Pirulito e calcopirita foi o único sulfeto identificado, embora outros sulfetos (pirita, pirrotita e raramente bornita) também tenham sido identificados nos estudos microscópicos dos testemunhos.

Nas amostras analisadas (piroxenitos e noritos), os grãos de calcopirita apresentam formas variáveis e em poucos casos estão isolados ocorrendo geralmente agregados à magneto-ilmenita. Os menores grãos (0,0099 mm) são equidimensionais, enquanto os maiores são de formas irregulares, agregados à magneto-ilmenita e podem atingir (0,0099 x 0,70 mm). Por isso, podem ter posição intergranular ou, em menor proporção, ocorrerem inclusos nos piroxênios.

Quimismo — As análises quantitativas por absorção atômica, para ouro, realizadas em 72 amostras de testemunhos de rocha mineralizada em cobre, mostraram perspectiva de aproveitamento daquele metal como subproduto, já que foi comprovada uma nítida associação entre os teores dos dois metais, perfeitamente caracterizada através de uma correlação linear (fig. 8).

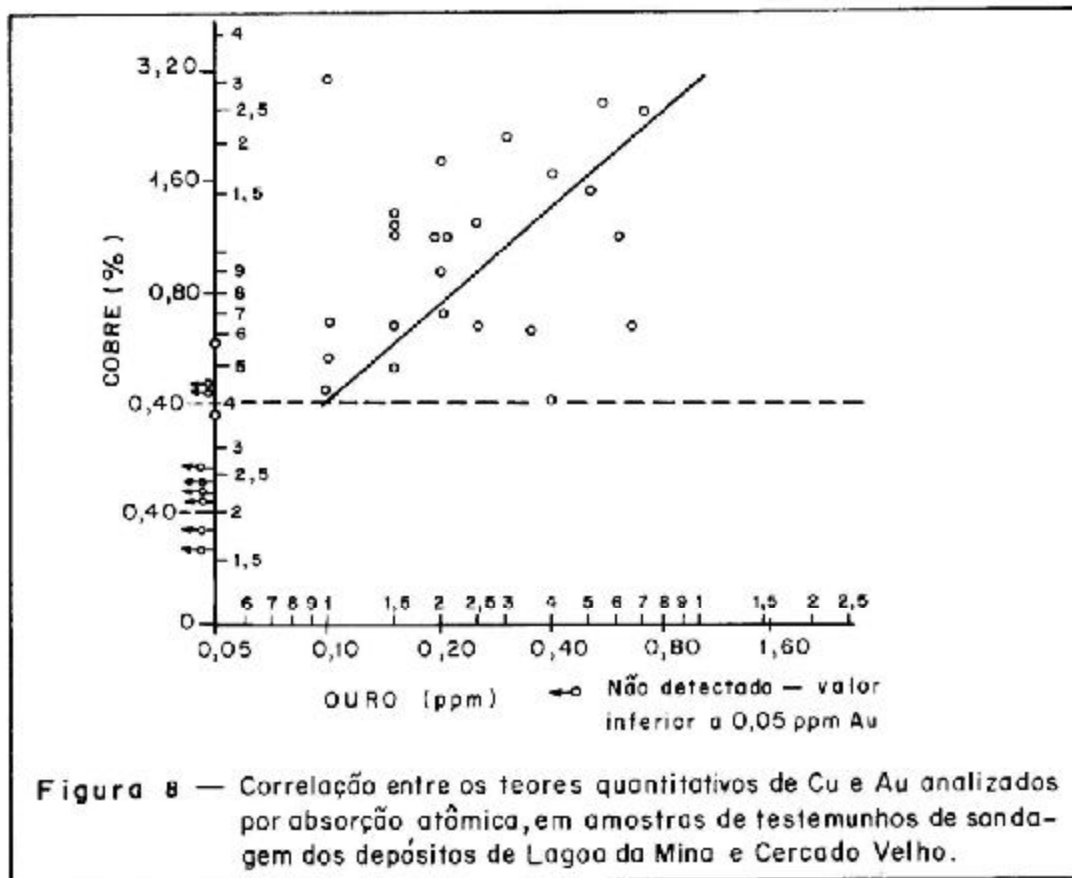
A partir da reta de correlação do cobre com o ouro (fig. 8) os teores deste metal podem ser determinados, preliminarmente, conhecendo-se os teores de cobre do minério, ficando ainda evidenciado que o ouro só se manifesta de modo significativo em minério com teores de no mínimo 0,40% Cu, fato que explica os baixos teores de ouro, geralmente iguais ou inferiores a 0,05 ppm, detectados no depósito de Pirulito, onde o minério de cobre mostra teor médio de 0,30% Cu.

Para as reservas do minério de cobre com teor de corte de 0,40% Cu (tipos A e B) os teores médios dos depósitos de Lagoa da Mina e Cercado Velho correspondem a 0,82% Cu e 0,92% Cu (tab. VII), respectivamente, sendo os teores de ouro correlatos, determinados no citado gráfico, da ordem de 0,22 ppm e 0,26 ppm, respectivamente. Considerando as reservas do minério de cobre A + B dos dois depósitos consignados (tab. IV e V), inferiu-se o conteúdo de ouro metálico como sendo, aproximadamente:

- 648,84 kg de ouro para o depósito de Lagoa da Mina; e
- 400,99 kg de ouro para o depósito de Cercado Velho.

Por outro lado as análises espectrográficas semi-quantitativas, evidenciaram que os teores mais elevados de prata, embora ainda de pequena representatividade (máximo de 3 ppm Ag) coincidem com os maiores teores de Cu.

Concluindo, recomenda-se que nos futuros trabalhos de pesquisa sejam efetuados estudos de detalhes sobre a possibilidade de aproveitamento do ouro como subproduto de cobre, bem como com vistas a comprovação da associação de prata e de platina com o minério cuprífero do vale do Curaçá.



Estrutura dos corpos de minério — DEPÓSITO DE LAGOA DA MINA — A mineralização sulfetada compõe corpos de minério da forma lenticular ou grosseiramente tabular com terminação em cunha, conforme está exemplificada nas figs. 9 a 13. Esses corpos de minério foram delineados e interpretados com base nos elementos geológicos, de conformidade com os seguintes controles:

Dobramento — De uma maneira geral os corpos de minério se subdividem em duas faixas perfeitamente distintas e separadas por uma zona de gnaíse migmatizado, a partir da seção G em direção ao norte (figs. 12 e 13), enquanto para sul se unem gradativamente em um conjunto de corpos paralelos com teores extremamente variáveis (figs. 9 a 11) e tendendo ao acunhamento, refletindo a arquitetura de um dobramento apartado, de plano subvertical e eixo disposto segundo a direção aproximadamente N-S (fig. 13). A repetição das faixas de minério na parte sul, como na figura 9, está provavelmente representando o sanfonamento da terminação periclinal e o primeiro estágio de remobilização da mineralização primária de cobre para os eixos secundários de dobramento.

Granitização — Os agentes da granitização (migmatização e metassomatismo) localmente condicionam a mineralização das rochas máficas-ultramáficas, remobilizando e concentrando os sulfetos em faixas que se acomodam normalmente na periferia das zonas mais granitizadas. Este fenômeno pode ser exemplificado nas seções geológicas: pela disposição de estreitas e repetidas faixas mineralizadas do perfil D (fig. 11) notavelmente nas zonas atravessadas pelo furo D-2 e nos primeiros corpos interceptados pelo furo D-0; pela geometria das faixas de minério a leste do perfil C (fig. 9) e estreitos níveis de minério interceptados pelo furo ICA-24-BA em torno de 165 metros, representando relictos de um corpo maior que se projeta para a superfície.

Metassomatismo por via hidrotermal — É comum a mineralização sulfetada apresentar-se remobilizada por agentes metassomáticos-hidrotermais, concentrando-se em zonas de fratura e nos mobilizados pegmatóides e hidrotermais associados.

DEPÓSITO DE CERCADO VELHO — A configuração dos corpos de minério do depósito de Cercado Velho (figs. 14 a 17) mostra-se extremamente simples, caracterizada por uma grande uni-

formidade, refletindo a forma alongada, tabular do corpo. O corpo principal de mineralização confina-se às rochas norítica-piroxeníticas (tipo B), acompanhando, entretanto, o contato oeste dessas litologias com as rochas encaixantes: granitos gnáissicos róseos e rochas leptíticas metassomatizadas (tipo A).

A remobilização da mineração do cobre, neste corpo, acha-se relacionada a duas fases principais:

- 1) associada a granitização, com concentração da mineralização nas zonas ultramáficas; e
- 2) associado ao hidrotermalismo metassomatizante que acompanhou a intrusão do granito gnáissico róseo (figs. 4 e 5).

DEPÓSITO DE PIRULITO — A mineralização cuprífera confina-se as rochas melanoríticas-piroxeníticas (tipo D), tipo litológico que constitui faixas bem definidas nos furos e facilmente correlacionáveis nas seções geológicas (figs. 18 a 22), de modo que os corpos de minério mostram uma configuração simples e bastante uniforme que reflete a forma alongada e tabular do corpo de Pirulito.

Localmente a mineralização também está concentrada e condicionada a delgadas faixas de biotito, produto hidrotermal-metassomático originado a partir de melanoritos e piroxenitos.

A remobilização da mineralização cuprífera, embora seja um fenômeno pouco notório no depósito de Pirulito, é evidenciada localmente pelos microveios de sulfetos preenchendo fissuras e plano de cisalhamento da rocha hospedeira. Manifesta-se também, menos comumente, associada a veios de mobilizados pegmatóides.

Os corpos de minério do depósito de Pirulito limitam-se quase que exclusivamente ao bloco norte do corpo (figs. 7 e 18 a 22).

CÁLCULO DAS RESERVAS DE COBRE — Análises químicas

As análises químicas quantitativas para cobre, nos testemunhos de sondagem, foram realizados, principalmente, por absorção atômica (fase de pesquisa pela CPRM) e, em parte, por solução de tiosulfato (CPRM), fluorescência de Raio-X (DNPM) e espectrometria (GEOSOL). Em 93 amostras mineralizadas dos corpos de Lagoa da Mina, Cercado Velho e Pirulito, realizaram-se análises espectrográficas semiquantitativas para o padrão de 30 elementos.

Densidade do minério — Segundo Melo Jr et alii (1962), as médias de densidade do minério da jazida de Carajá, são as seguintes:

| | |
|-------------------|--------------------------|
| Minério oxidado | = 2,80 g/cm ³ |
| Minério sulfetado | = 3,26 g/cm ³ |

A densidade do minério oxidado foi determinado por método global, no campo, nos poços de pesquisa, razão pela qual o valor calculado 2,80 g/cm³ torna-se irrefutável, tendo sido adotado para o cálculo das reservas do minério oxidado dos depósitos de Lagoa da Mina e Cercado Velho.

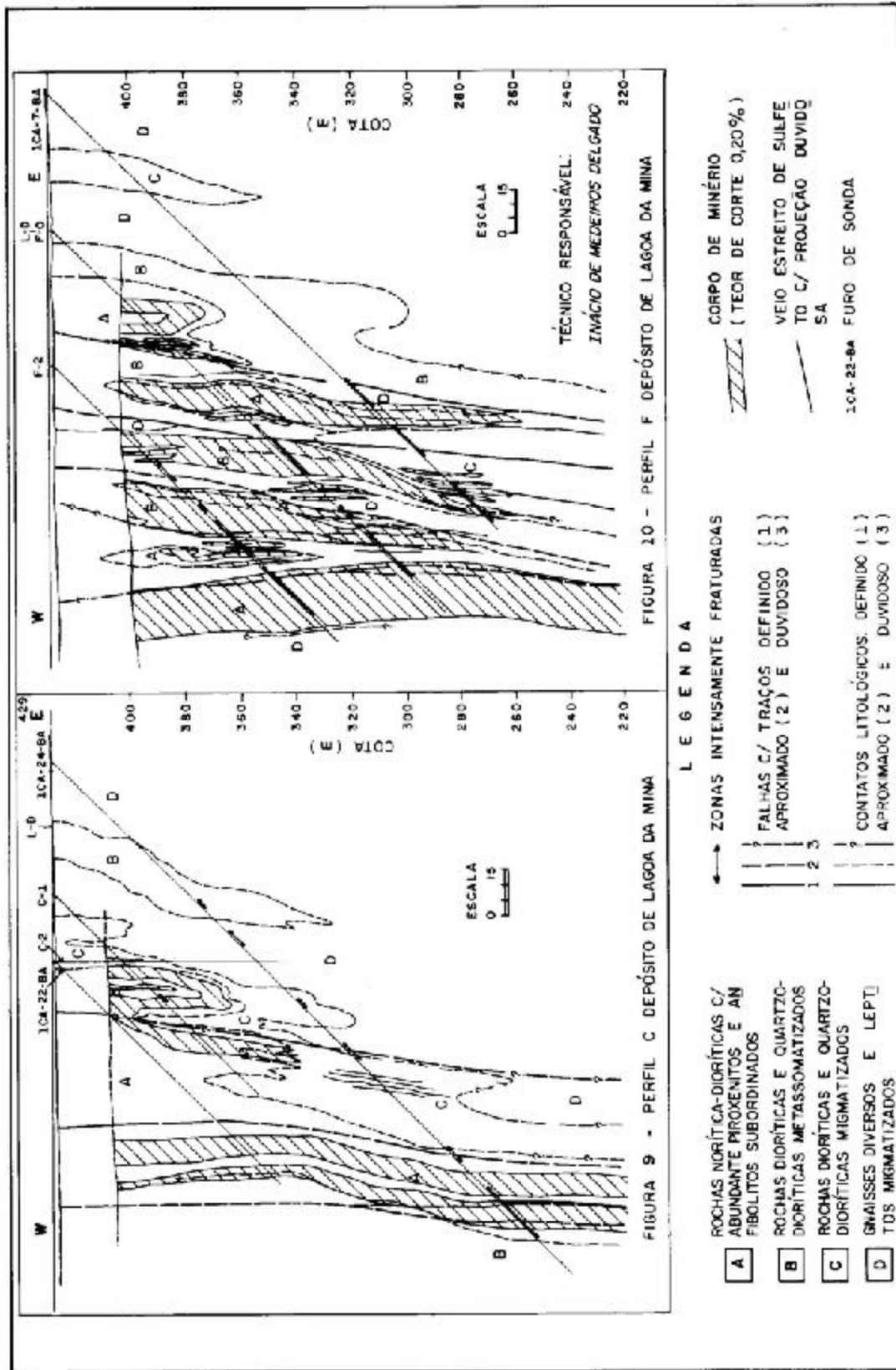
Com relação ao minério sulfetado, a CPRM (Projeto Cobre) realizou uma série de determinações, em laboratório, de densidades de diversos tipos litológicos, incluindo rochas mineralizadas e estéreis, provenientes de testemunhos de sondagem dos corpos de Lagoa da Mina, Cercado Velho, Pirulito e Paredão estando as densidades médias apresentadas na tabela III.

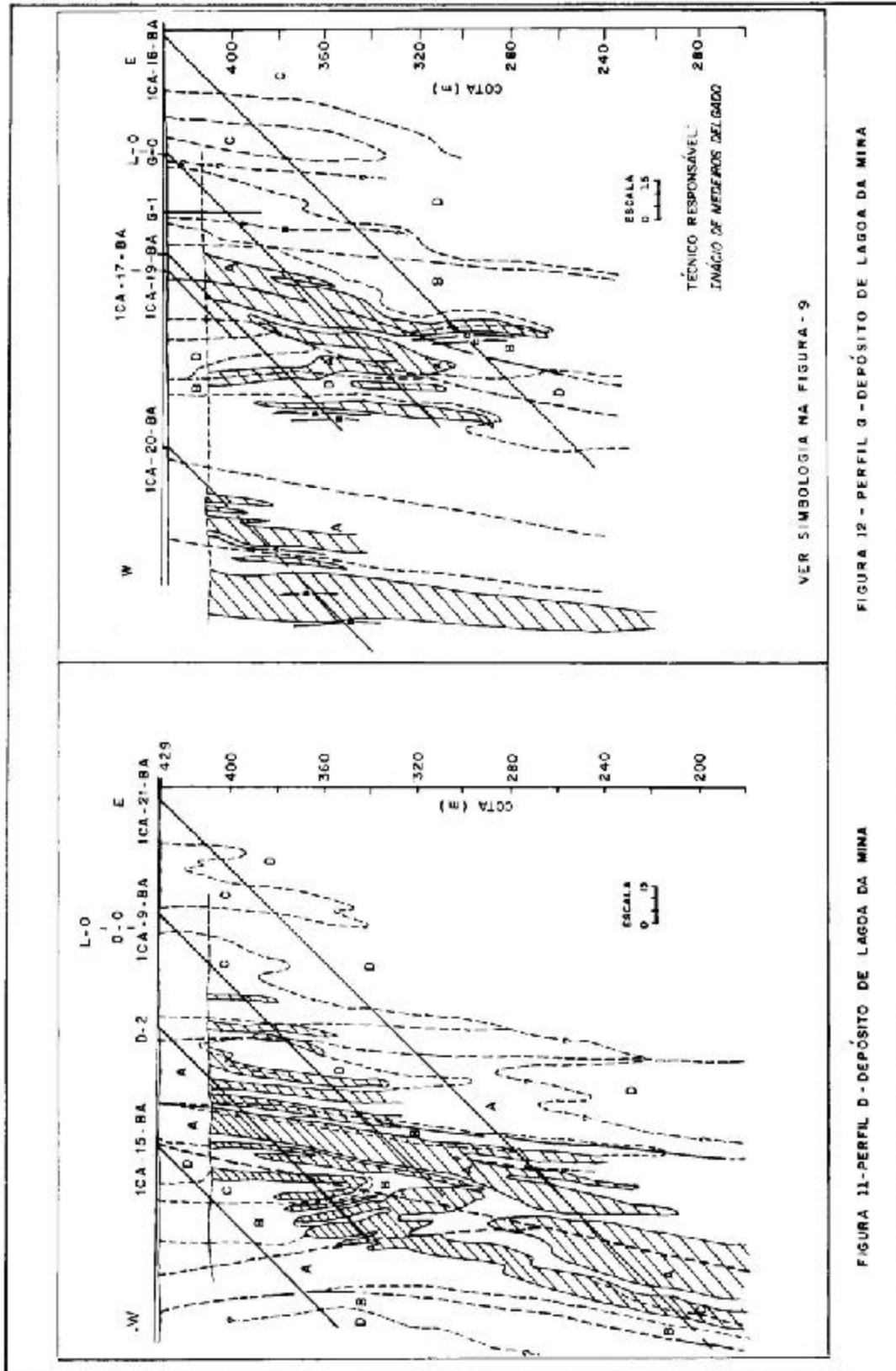
As rochas ultramáficas, piroxeníticas, mineralizadas, apresentaram-se sem dúvida, como as de densidade mais elevada (3,30 g/cm³), bastante próxima da densidade (3,26 g/cm³) encontrada por Melo Jr et alii (op. cit.) para o minério de Carajá, devido provavelmente a abundância de rochas piroxeníticas na referida jazida, enquanto nas rochas máfica-ultramáficas não mineralizadas e mineralizadas, as densidades médias variam de 2,93 g/cm³ a 3,12 g/cm³, respectivamente.

Preferiu-se utilizar no cálculo das reservas de minério sulfetado, densidades compatíveis com a natureza mais máfica ou mais ultramáfica das rochas hospedeiras das mineralizações, usando-se 3,00 g/cm³ para os corpos de Lagoa da Mina e Cercado Velho e 3,20 g/cm³ para o corpo de Pirulito.

Avaliação do minério oxidado — As reservas de minério de cobre oxidado, dos corpos de Lagoa da Mina e Cercado Velho, foram estimadas com base nas obras de pesquisa (poços, trincheiras e furos de sondagem) não obedecendo rigidamente aos métodos clássicos. No depósito de Pirulito a mineralização oxidada é fraquíssima e as reservas são insignificantes.

Para o depósito de Lagoa da Mina, considerou-se o cálculo das reservas efetuadas por Ladeira et alii (1969), com duas modificações:





VER SIMBOLOGIA NA FIGURA - 9

FIGURA 12 - PERFIL G - DEPÓSITO DE LAGOA DA MINA

FIGURA 11 - PERFIL D - DEPÓSITO DE LAGOA DA MINA

| Natureza da Rocha | Densidade média g/cm ³ |
|---|--------------------------------------|
| Rochas félsicas | 2,65 |
| Rochas gabro-dioríticas | 2,93 |
| Rochas anfíbolíticas | 3,10 |
| Rochas piroxeníticas mineralizadas | 3,30 |
| Rochas máficas-ultramáficas mineralizadas | 3,12 |

Tabela III – Densidades médias de rochas félsicas, máficas e ultramáficas, determinadas em laboratório, de amostras de testemunhos e sondagem, dos depósitos de Lagoa da Mina, Cercado Velho e Pirulito.

a) tomou-se a densidade do minério oxidado igual a 2,80 g/cm³ em vez de 2,60 g/cm³ e b) inferiu-se o minério oxidado até 21 metros de profundidade, em vez da profundidade média de 15 metros usados por agentes autores, tendo-se em vista os dados mais recentes de sondagem.

Os cálculos realizados indicam para o depósito de Lagoa da Mina, uma reserva total de minério oxidado da ordem de 571.257,57 t com 0,868% Cu, o que corresponde a aproximadamente 5.000 t de cobre metálico contido.

O cálculo do minério oxidado do depósito de Cercado Velho foi realizado admitindo-se, com base nos elementos de pesquisa disponíveis, os seguintes dados:

- extensão da zona oxidada = 400 m
- profundidade média da zona oxidada = 20 m
- espessura média da zona oxidada = 5 m
- densidade média do minério oxidado = 2,8 g/cm³
- teor médio da zona oxidada = 0,84% Cu.

Este último dado foi determinado por Ladeira et alii (op. cit.) quando da execução do cálculo preliminar das reservas do minério oxidado de Cercado Velho, com base nos elementos disponíveis, na época.

Foi estimado, para o depósito de Cercado Velho, uma reserva inferida de 112.000 t de minério oxidado ou 940 t de cobre metálico.

Avaliação do minério sulfetado – O cálculo das reservas do minério de cobre sulfetado da Lagoa da Mina, Cercado Velho e Pirulito foi realizado segundo o método das seções paralelas, utilizando-se critérios tais que as reservas medidas são aquelas totalmente delimitadas pelas áreas de influência dos furos e seções dos furos, sendo, portanto, conhecidas nas três dimensões. (Detalhes sobre os critérios utilizados neste método podem ser vistos em Delgado I.M. et Souza, J.D., 1975).

Nos depósitos de Lagoa da Mina e Cercado Velho, os teores médios foram calculados segundo três classes de minério:

- Classe A – minério com teor de corte de 0,7% Cu;
- Classe B – minério compreendido entre o teor de 0,4% Cu e 0,7% Cu; e
- Classe C – minério compreendido entre o teor de 0,2% Cu e 0,4% Cu.

Para o corpo de Pirulito, devido aos baixos teores de cobre registrados, modificou-se ligeiramente os intervalos das classes dos minérios, conforme segue:

- Classe B – minério compreendido entre o teor de 0,3% Cu e 0,7% Cu; e
- Classe C – minério compreendido entre o teor de 0,15% Cu e 0,3% Cu.

Em Lagoa da Mina e Cercado Velho, nos perfis de corpos de minério inferidos em profundidade, para efeito de cálculo, adotou-se o nível 220 m como ponto final de projeção das faixas mineralizadas, inferidas com relativa segurança até esta cota. A este procedimento foi feita uma única exceção para os corpos mineralizados do perfil D (corpo de Lagoa da Mina) cuja seção indicada recaiu sobre a cota de 220 m, preferindo-se, neste caso, inferir o corpo até a cota de 180 m. Em Pirulito os corpos de minério foram inferidos, com relativa segurança, até a profundidade de 400 metros.

As tabelas IV e VI compõem os sumários das reservas calculadas, para os depósitos de Lagoa da Mina, Cercado Velho e Pirulito, classificadas segundo o tipo de minério (A, B e C) e a categoria das reservas (medida, indicada e inferida).

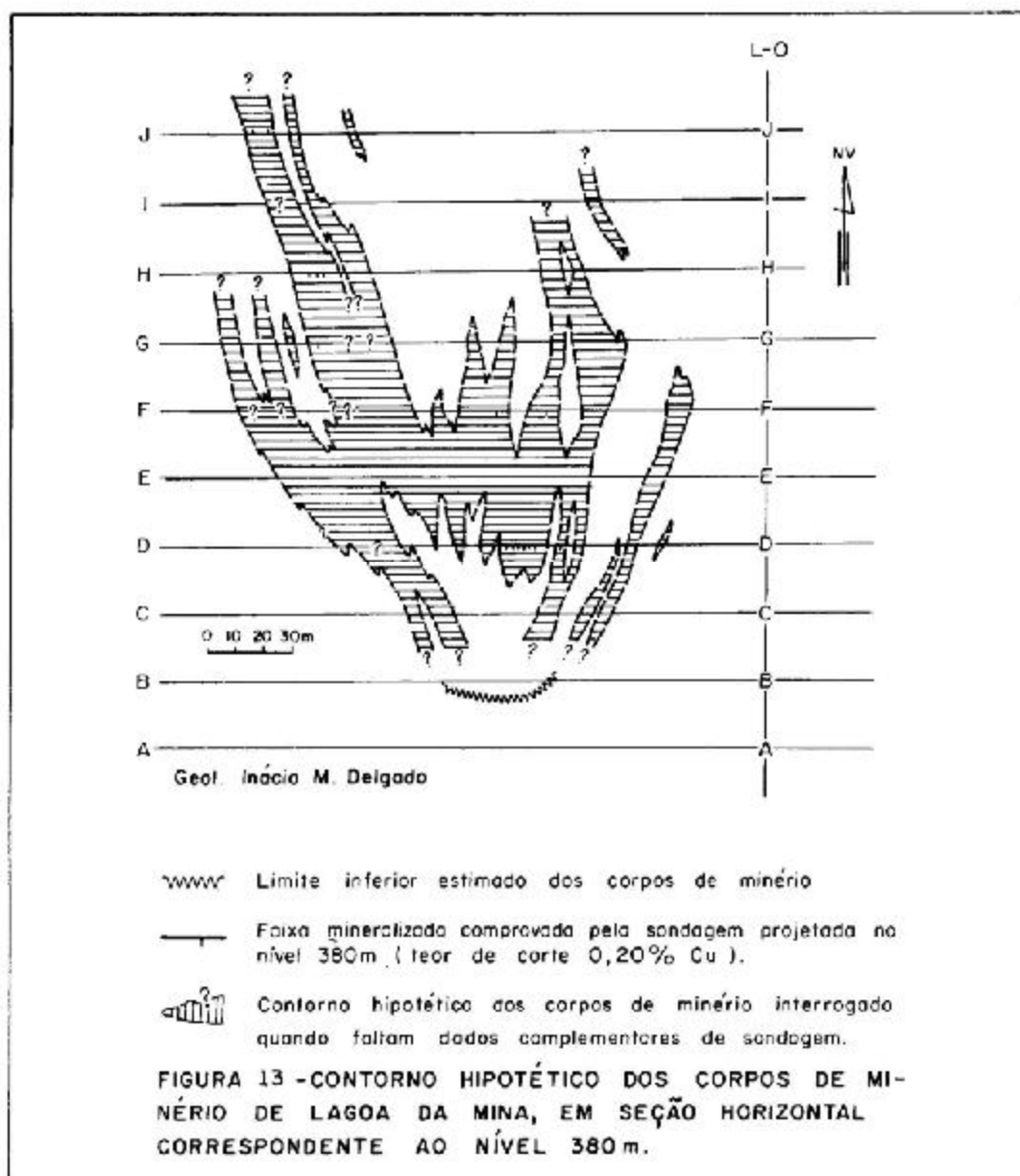
O somatório das reservas dos referidos depósitos, segundo os diferentes teores de corte considerados, é apresentado na tabela VII.

| RESERVAS CLASSES DE MINÉRIO | MEDIDA | | | INDICADA | | | INFERIDA | | | PESO TOTAL | | |
|-----------------------------------|----------------|-------------------------|--------------|----------------|-------------------------|--------------|----------------|-------------------------|--------------|----------------|-------------------------|--------------|
| | Minério (t) | Cobre contido (t) | Teor % Cu | Minério (t) | Cobre contido (t) | Teor % Cu | Minério (t) | Cobre contido (t) | Teor % Cu | Minério (t) | Cobre contido (t) | Teor % Cu |
| | | | | | | | | | | | | |
| A (0,7% Cu) | 412.200 | 4.869 | 1,18 | 671.602 | 6.894 | 1,03 | 991.837 | 8.440 | 0,85 | 2.075.639 | 20.203 | 0,97 |
| B (0,4 - 0,7% Cu) | 294.397 | 1.377 | 0,47 | 426.264 | 2.032 | 0,48 | 152.997 | 714 | 0,47 | 873.658 | 4.123 | 0,47 |
| C (0,2 - 0,4% Cu) | 439.050 | 1.110 | 0,25 | 563.727 | 1.389 | 0,25 | 189.969 | 491 | 0,26 | 1.192.746 | 2.990 | 0,25 |
| TOTAL GERAL | 1.145.647 | 7.356 | 0,64 | 1.661.593 | 10.315 | 0,62 | 1.334.803 | 9.645 | 0,72 | 4.142.043 | 27.316 | 0,66 |

Tabela IV - Peso das reservas de minério de cobre sulfetado do depósito de Lagoa da Mina.

| RESERVAS CLASSES DE MINÉRIO | MEDIDA | | | INDICADA | | | INFERIDA | | | PESO TOTAL | | |
|-----------------------------------|----------------|-------------------------|--------------|----------------|-------------------------|--------------|----------------|-------------------------|--------------|----------------|-------------------------|--------------|
| | Minério (t) | Cobre contido (t) | Teor % Cu | Minério (t) | Cobre contido (t) | Teor % Cu | Minério (t) | Cobre contido (t) | Teor % Cu | Minério (t) | Cobre contido (t) | Teor % Cu |
| | | | | | | | | | | | | |
| A (0,7% Cu) | 426.900 | 4.392 | 1,03 | 406.800 | 3.985 | 0,98 | 516.200 | 5.864 | 0,95 | 1.449.900 | 14.241 | 0,98 |
| B (0,4 - 0,7% Cu) | 11.400 | 53 | 0,46 | 53.700 | 285 | 0,53 | 27.300 | 143 | 0,52 | 92.400 | 481 | 0,52 |
| C (0,2 - 0,4% Cu) | 87.500 | 210 | 0,27 | 90.570 | 237 | 0,26 | 85.650 | 251 | 0,29 | 264.120 | 728 | 0,27 |
| TOTAL GERAL | 526.200 | 4.685 | 0,89 | 551.070 | 4.507 | 0,82 | 729.150 | 6.258 | 0,86 | 1.806.420 | 15.450 | 0,85 |

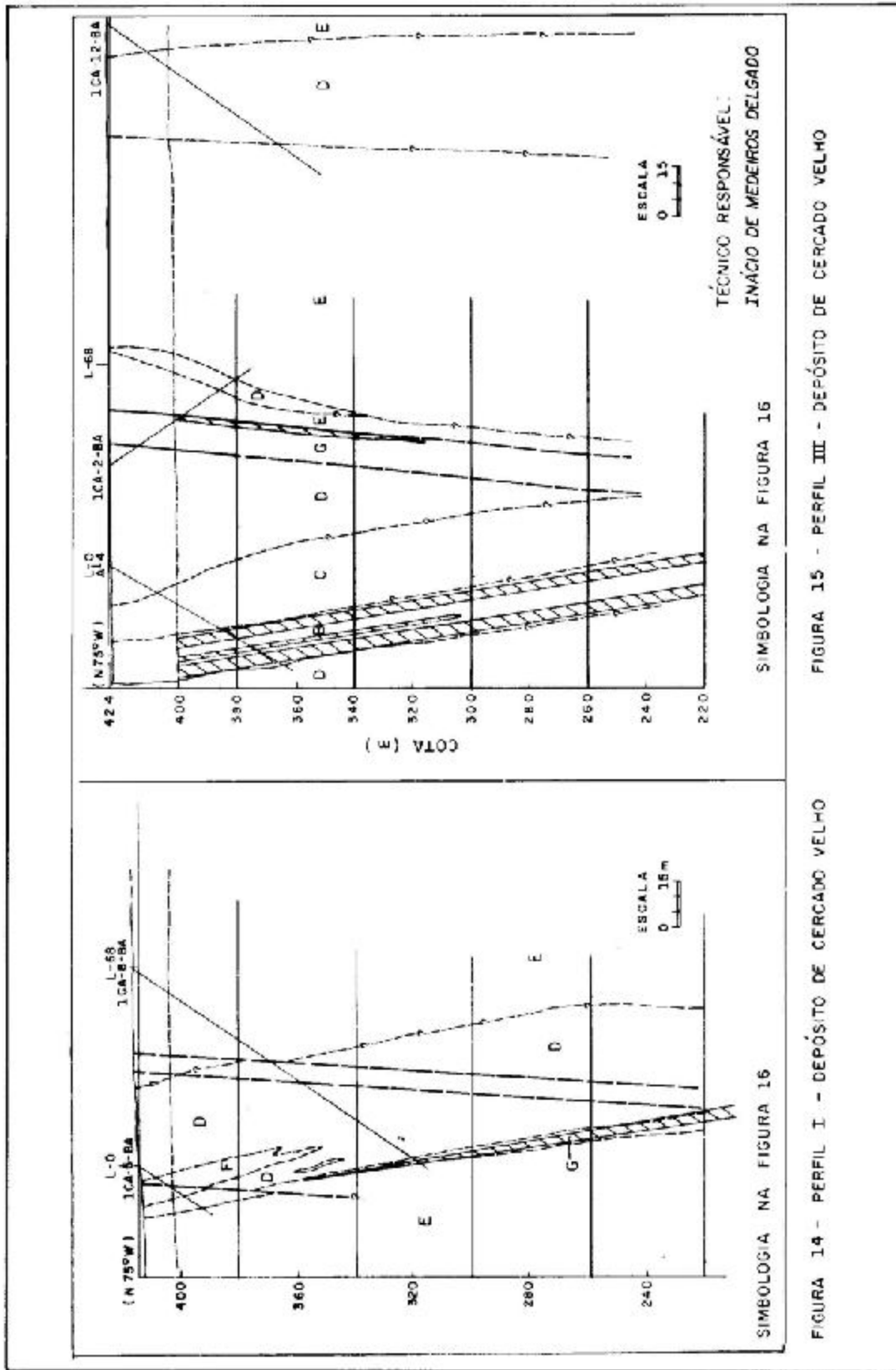
Tabela V - Peso das reservas de minério de cobre sulfetado do depósito de Cercado Velho.

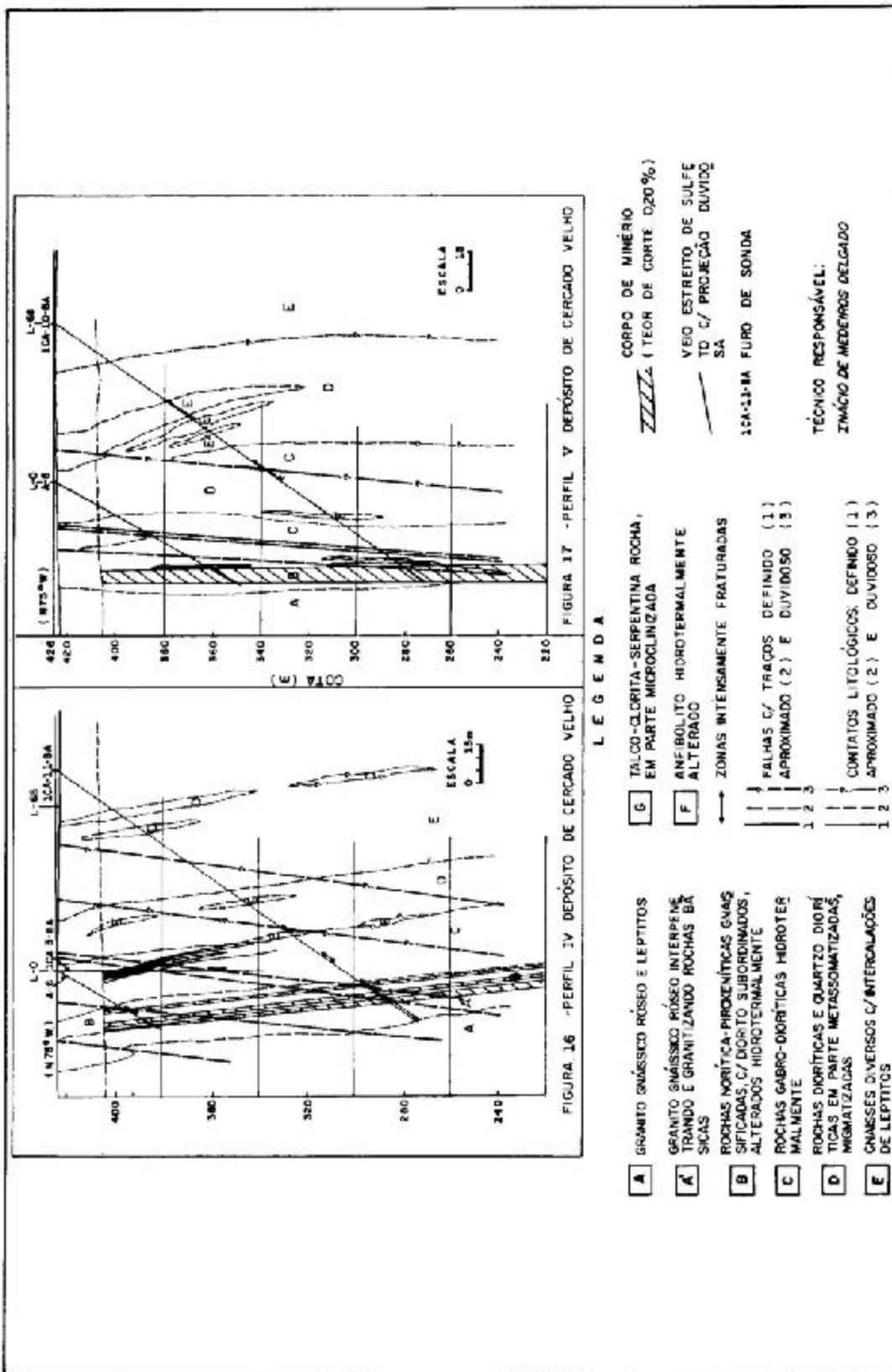


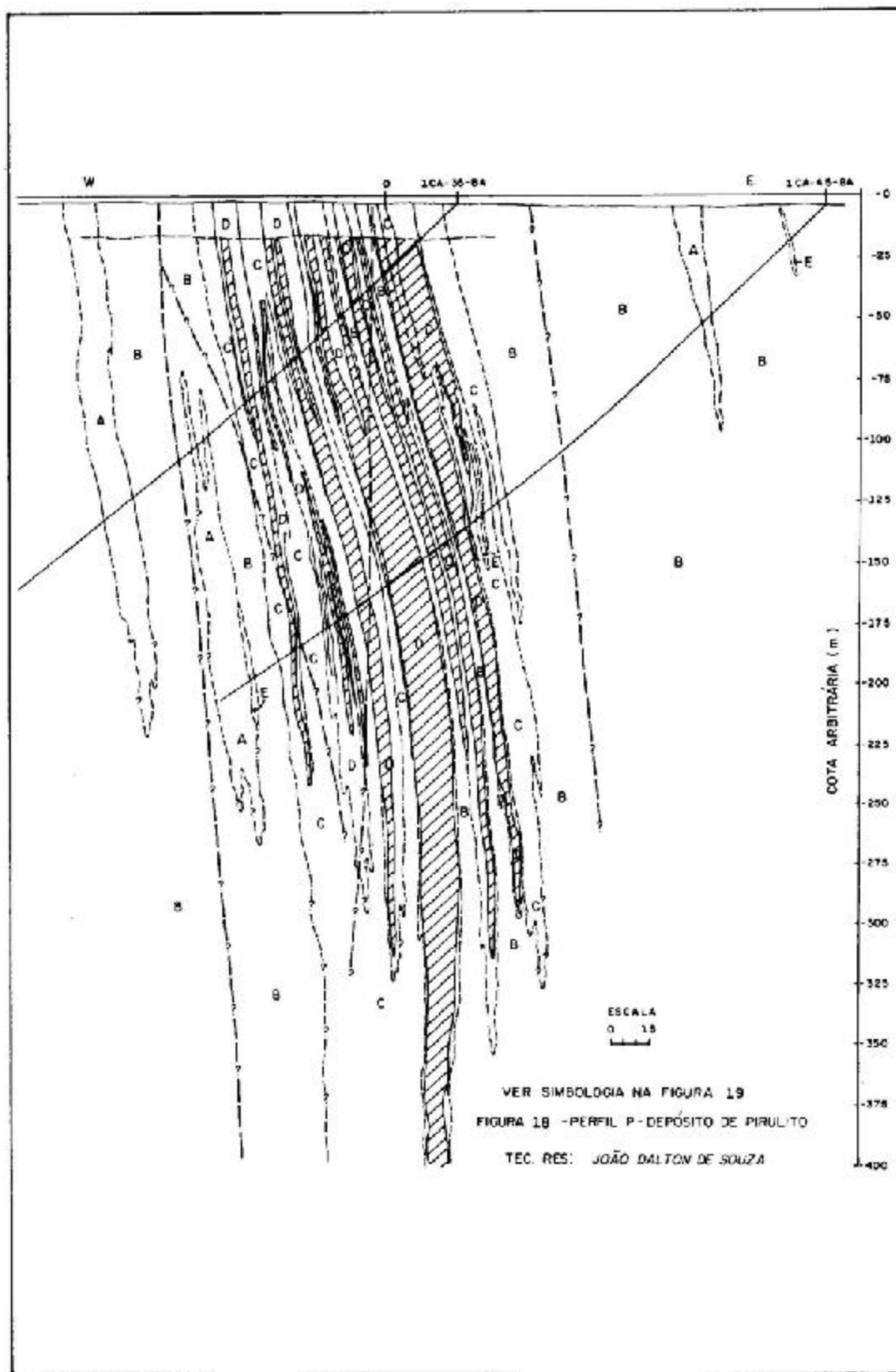
CONSIDERAÇÕES FINAIS

Péllissonnier (1970) define o termo **campo** com uma unidade metalogênica monoparagenética consistindo em um agrupamento de **corpos mineralizados**, apresentando dimensões de quilômetro a 10 quilômetros e mostrando representatividade nas escalas 1:20.000 e 1:100.000. Pelas suas dimensões e mineralização a área que engloba os depósitos de Lagoa da Mina, Cercado Velho e a ocorrência de Pau Ferro (fig. 3) representa um campo: **O campo mineralizado de Angico**. A área do Alvo L-2 (fig. 6) englobando o depósito de Pirulito e diversos corpos máfico-ultramáficos com mineralização de cobre comprovada ou potencial (pela indicação geoquímica) também enquadra-se como campo: **o campo mineralizado de Sertãozinho**.

Os corpos mineralizados de Lagoa da Mina, Cercado Velho e Pirulito enquadram-se na classe de dimensão **corpo pequeno** (5.000 t a 50.000 t Cu) enquanto que os campos de Angico e Sertãozinho pertencem a classe **campo pequeno** (10.000 t a 100.000 t Cu) segundo a classificação de Péllissonnier (op. cit.).







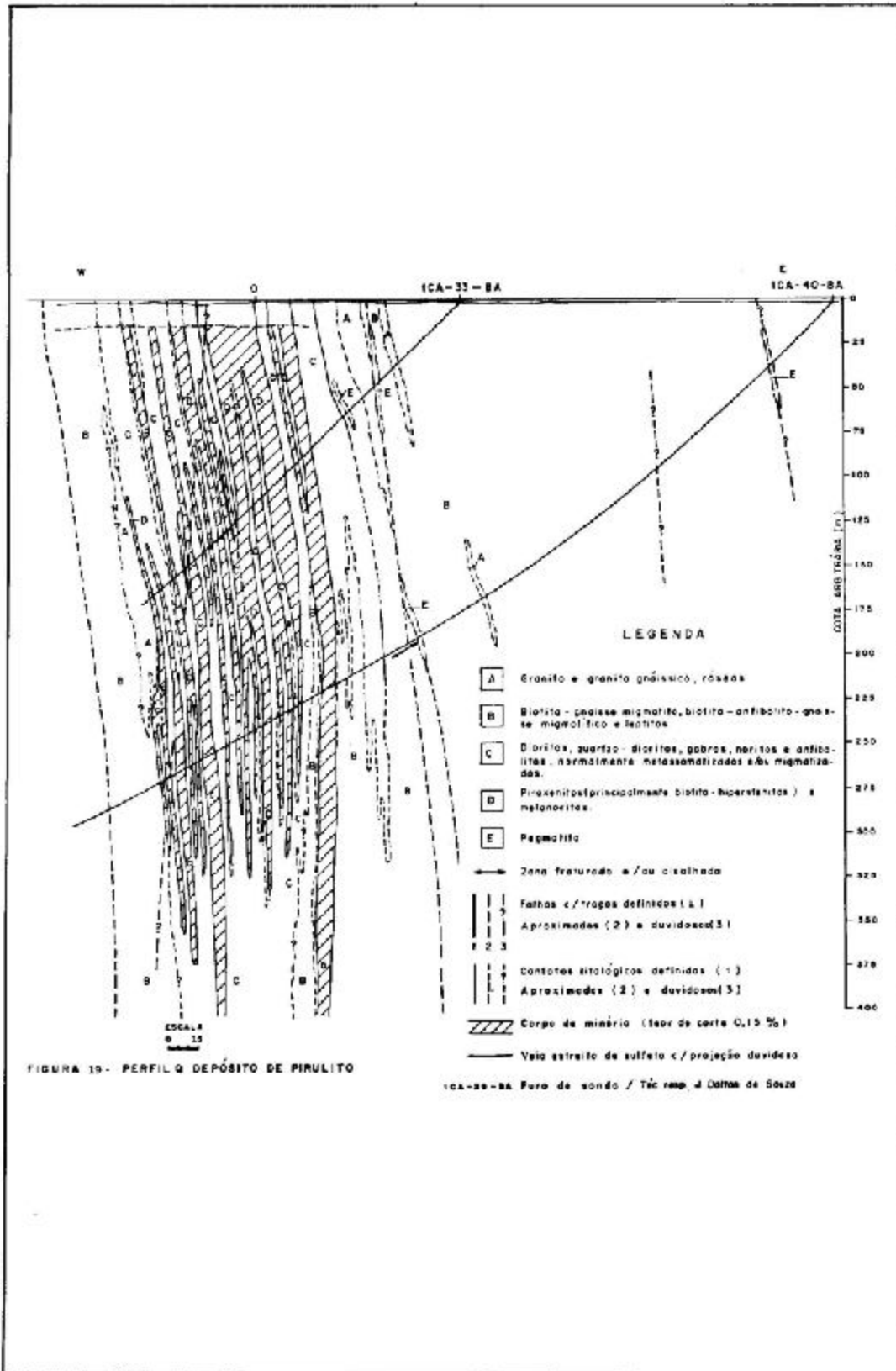


FIGURA 10- PERFIL Q DE PÓSITO DE PIRULITO

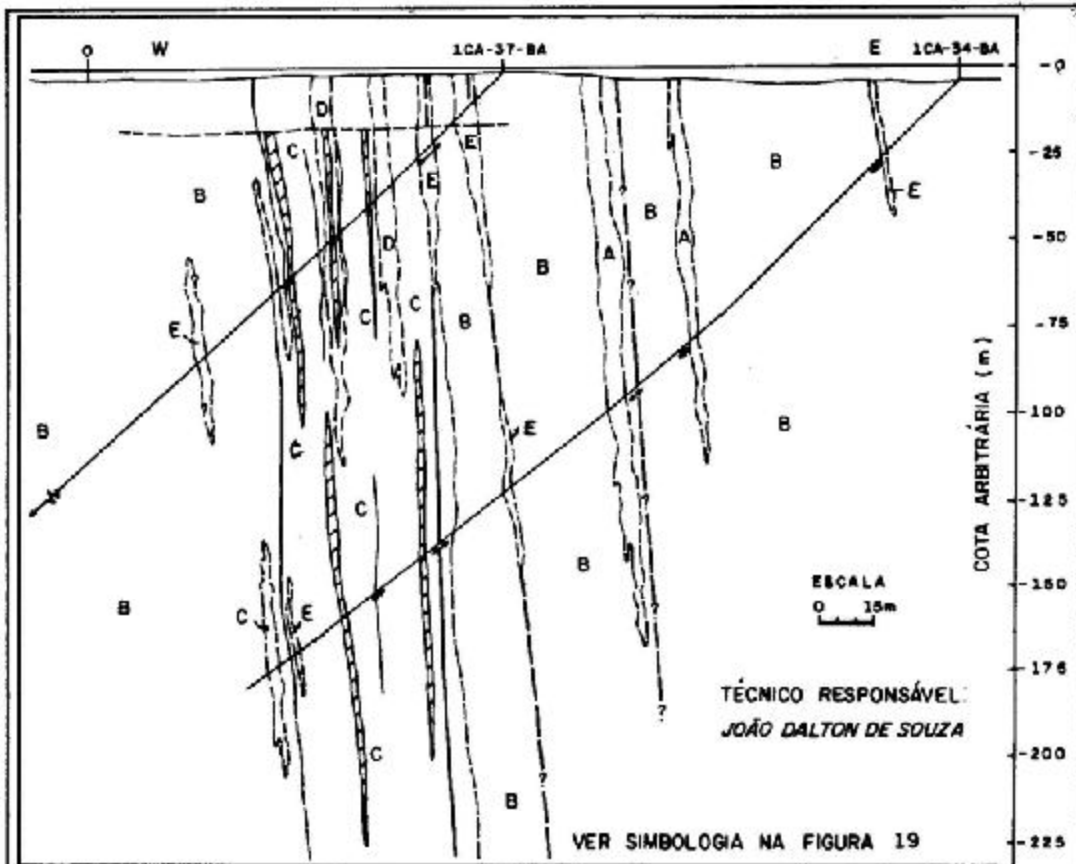


FIGURA 20 - PERFIL R - DEPÓSITO DE PIRULITO

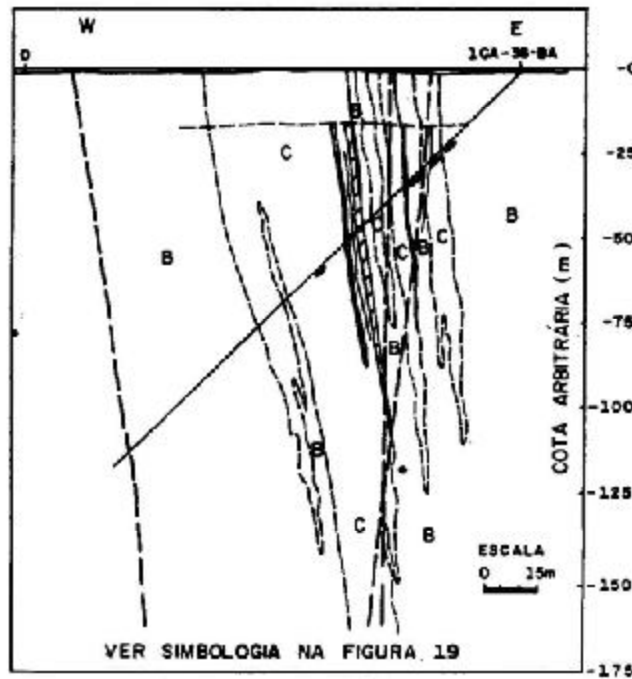


FIGURA 21 - PERFIL T - DEPÓSITO DE PIRULITO

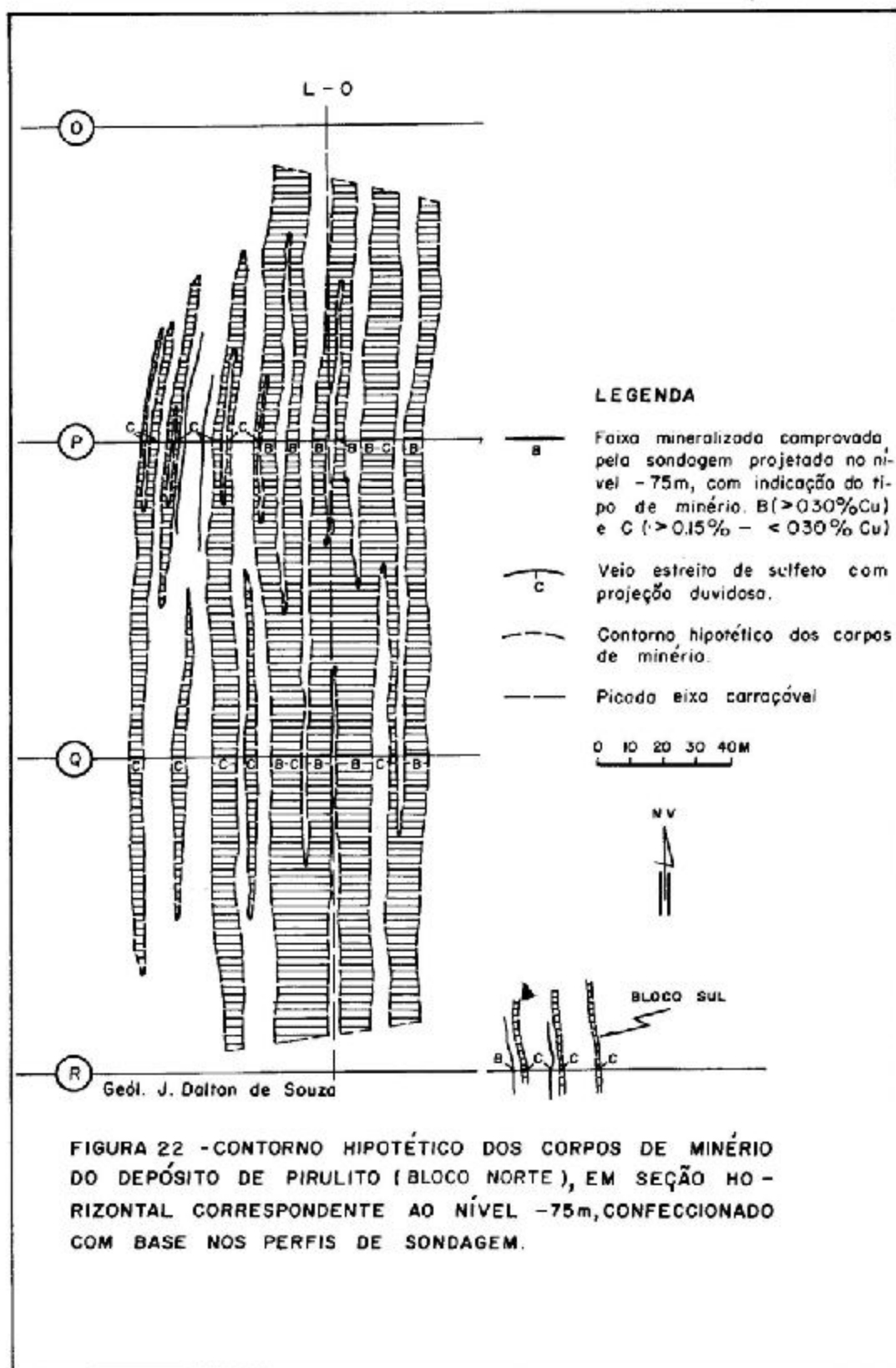


FIGURA 22 - CONTORNO HIPOTÉTICO DOS CORPOS DE MINÉRIO DO DEPÓSITO DE PIRULITO (BLOCO NORTE), EM SEÇÃO HORIZONTAL CORRESPONDENTE AO NÍVEL -75m, CONFECCIONADO COM BASE NOS PERFIS DE SONDAGEM.

A forma da mineralização cuprífera dos depósitos de Lagoa da Mina, Cercado Velho e Pirulito, normalmente disseminada na rocha máfica-ultramáfica hospedeira caracteriza uma origem **sin-genética**. Esta mineralização foi **parcialmente remobilizada** nas várias fases de tectonismo, metamorfismo, migmatização e hidrotermalismo, provocando a ocorrência de concentração ou veios de sulfetos, geralmente preenchendo juntas e fissuras, das rochas básicas-ultrabásicas, tidas como rochas originadas através de vulcanismo básico pré-orogênico (Delgado I.M. e Souza J.D., 1976).

As possibilidades de aproveitamento do minério de cobre do campo de Angico, como **satélite da jazida de Caraíba** são amplas, principalmente se se levar em conta a perspectiva da ampliação das reservas de minério de cobre sulfetado dos depósitos de Lagoa da Mina e Cercado Velho.

Devido ao seu baixo teor, as possibilidades de um futuro aproveitamento econômico do minério de cobre sulfetado do depósito de Pirulito, ficam condicionadas a ampliação das reservas do campo de Sertãozinho. Neste sentido recomenda-se que seja desenvolvida uma pesquisa detalhada nos corpos máficos-ultramáficos, já comprovadamente prospectáveis, que aparentemente representam a continuação do corpo de Pirulito.

BIBLIOGRAFIA

- BARBOSA, O. et alii — *Geologia Econômica de Parte da Região do Médio São Francisco, Nordeste do Brasil. PROSPEC/Rec. Naturais, 1964, 70p, ol. fot. inédita.*
- DELGADO, Inácio de Medeiros & SOUZA, João Dalton de — *Discussão sobre a metalogênese do cobre do vale do Curaçá — Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27 Belo Horizonte, 1976 b. Anais do Belo Horizonte, SBG (no prelo).*
- DELGADO, Inácio de Medeiros & SOUZA, João Dalton de — *Projeto Cobre-Curaçá. Relatório Final. Geologia Econômica do Distrito Cuprífera do Rio Curaçá, Bahia Brasil. Salvador, CPRM, 1975. v. I-A (Convênio DNPM/CPRM).*
- LADEIRA, E.A.; BROCKES JR, H.; DUTRA, A.A. — *Prospecção do Minério de Cobre no Distrito Cuprífera do Vale do Rio Curaçá, Bahia. Relatório Parcial Projeto Cobre. S.I.p. Geologia e Sondagens, 1969. 3 v. il. Inédito. (Trabalho realizado para o DNPM — 4.^o Distrito Nordeste).*
- LADEIRA, E.A.; BROCKES JR, H.; DUTRA A.A. — *Prospecção do Minério de Cobre no Distrito Cuprífera do Vale do Rio Curaçá, Bahia. Relatório Parcial Projeto Cobre. S.I.p. Geologia e Sondagens, 1969. 3 v. il. Inédito. (Trabalho realizado para o DNPM — 4.^o Distrito Nordeste).*
- LEWIS JR., R.; MATTOSO, S.Q.; BRIM, R. — *Reconhecimento Geoquímico da Bacia do Rio Curaçá, Bahia, Rio de Janeiro, DNPM, 1970. 31 p. il. Bol. n.^o 141 (Convênio DNPM/UFBA/USAID).*
- MELO JR., J.L.; POUCHAIN, E.B.; CASTIEL, N. — *Relatório sobre a jazida de Cobre de Caraíba — Estado da Bahia. Rio de Janeiro — DNPM/DFPM, 1962. 137 p. il (Boletim n.^o 117).*
- PÉLISSONNIER, H. — *Les dimensions des filons de cuivre du monde. Paris, B.R.G.M., (1970). 405 p. il. (Mémoire du B.R.G.M., 57).*
- SOUZA, João D. de & DELGADO, I.M. — *Projeto Cobre-Curaçá; Relatório Final, Geologia do Distrito Cuprífera do Rio Curaçá, Bahia, Brasil, Salvador, CPRM, 1975. v. II-A (Convênio DNPM/CPRM).*
- TURNER, Francis J. — *Metamorphic Petrology; mineralogical and field aspects. New York, McGraw-Hill, 1968. 403 p. il. (International Series in the Earth and Planetary Sciences).*

O DISTRITO CALCÁRIO-DOLOMÍTICO DE APERTADOS, BAGÉ, RS

Roque Mauro Echert *
Marco Aurélio Schneiders da Silva *

RESUMO

Como parte de um contrato de prestação de serviços para a Companhia de Indústrias Gerais, Obras e Terras - INDUBRAS, a CPRM acaba de concluir a pesquisa do Distrito Calcário-Dolomítico de Apertados, no município de Bagé, Estado do Rio Grande do Sul.

As rochas calcário-dolomíticas, metamórficas, que aí ocorrem, apresentam nítida delimitação por falhamentos, e estão concordantemente intercaladas entre outros metamorfitos pré-cambrianos, regionalmente dobrados. Constituem várias expressões topográficas alinhadas, e estruturadas em forma de sinclinal, dispostas ao longo de uma faixa de ocorrência quase contínua em superfície, que mede cerca de 13 quilômetros de extensão longitudinal e 0,5 quilômetros de largura média de afloramento, faixa esta orientada segundo uma direção geral N10-40°E.

Os trabalhos de pesquisa constaram principalmente de mapeamento topográfico-geológico em escala 1/2.000, escavações superficiais, amostragens de superfícies e sondagens rotativas a diamante com análise química dos testemunhos.

Os dados ora levantados modificaram substancialmente as reservas até então conhecidas, já que a Reserva Inferida de Apertados, anteriormente estabelecida em 174.020.000 toneladas de rochas calcário-dolomíticas de alto teor de MgO (de um total de 555.000.000 toneladas de Reserva Inferida para todo o Estado), pôde ser desdobrada nos seguintes valores:

1) Rochas com possibilidades de uso como corretivo agrícola: Reserva Medida de 431.600.000 toneladas, Reserva Indicada de 156.500.000 toneladas e Reserva Inferida de 81.600.000 toneladas;

2) Rochas com possibilidades de uso na fabricação de cimento: Reserva Medida de 16.440.000 toneladas com 5,9% MgO, Reserva Indicada de 2.133.000 toneladas com 5,8% MgO e Reserva Inferida de 3.700.000 toneladas com 6,0% MgO.

A conclusão é de que mais da metade das reservas geológicas em rochas calcário-dolomíticas para corretivo agrícola até agora determinadas no Rio Grande do Sul, estão concentradas no Distrito Calcário-Dolomítico de Apertados.

ABSTRACT

Recently CPRM has accomplished the prospection of the Apertados Dolomitic - Limestone District, as part of a contract signed with INDUBRAS.

The metamorphosed dolomitic-limestones are limited by faulting and occurs as concordant intercalated layers within the regionally folded pre-cambrian metamorphic rocks. They form topographic alignments conformed as synclinals in a almost continuous zone with 13 km x 0,5 km of extension, striking N10-40°E.

Prospection was done using topographic and geological mapping (1:2.000 scale), trenching and sampling, followed by diamond-drilling.

Former inferred reserves for the district were 174.020.000 ton of high MgO content dolomitic-limestones and total inferred reserves of the State of Rio Grande do Sul at that time were 555 million ton.

Now, from the recent data obtained, we can conclude that in the Apertados Dolomitic-Limestone District occurs:

- 1) Rocks for agricultural uses:
 - measured reserve - 431.600.000 ton
 - indicated reserve - 156.500.000 ton
 - inferred reserve - 81.600.000 ton
- 2) Rocks for the Portland cement industry:
 - measured reserve - 16.440.000 ton (5,9% MgO)

* Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
Superintendência Regional de Porto Alegre
Porto Alegre - Rio Grande do Sul - Brasil

indicated reserve — 2.133.000 ton (6,8% MgO)
inferred reserve — 3.700.000 ton (6,0% MgO)

Concluding, more than half of the dolomitic-limestone reserves of the State of Rio Grande do Sul suitable for agricultural uses lies at the Apertados Dolomitic-Limestone District.

INTRODUÇÃO

Relacionado ao substancial desenvolvimento do setor agrícola sul-riograndense, tem crescido vertiginosamente, nos últimos anos, a demanda de pó calcário.

Os solos gaúchos em geral denotam acidez elevada, altos teores de alumínio e manganês, baixos teores de fósforo "disponível" e baixos teores de cálcio e magnésio. A ação do pó calcário atua favoravelmente no sentido de diminuir a acidez, baixar os teores de alumínio e manganês (que são tóxicos às culturas), aumentar a solubilidade dos sais de fósforo e elevar os teores de cálcio e magnésio.

Segundo dados recentemente publicados, mais de 70% da superfície total do solo gaúcho revela um pH inferior a 5,5 e em quase 50% dela verifica-se a necessidade de mais 4 toneladas de calcário por hectare para a correção da acidez. A carência imediata de corretivo, somente para o Rio Grande do Sul, é de mais de 30 milhões de toneladas. E a necessidade natural de desenvolvimento do setor agrícola exigirá, com o passar dos anos, quantidades cada vez maiores.

Dentro deste contexto, a CPRM desenvolveu, de agosto de 1972 a dezembro de 1975, o **PROJETO INDUBRAS**, mediante o qual foram pesquisadas várias ocorrências calcário-dolomíticas nos municípios de Bagé e Pinheiro Machado, RS, dentre as quais se destacam as de Apertados, motivo deste trabalho.

LOCALIZAÇÃO E PANORAMA FISIOGRAFICO

O Distrito Calcário-Dolomítico de Apertados está localizado na região de Palmas, ao sul das minas de cobre de Camaquã. Abrange uma ampla faixa de rochas calcário-dolomíticas, metamórficas, de aproximadamente 13 km de extensão longitudinal em superfície e 0,5 km de largura média de afloramento, que vai desde o Cerro da Árvore até a localidade de Pedra Grande. A distribuição destas rochas no terreno verifica-se de forma praticamente contínua, incluindo várias expressões topográficas alinhadas, localmente designadas por Cerro da Árvore, Cerro do Buraco, Cerro das Contas, Cerro do Ouro, Cerro Sujo, Cerro da Tuna, Cerro dos Silveiras e Cerro do Perau; a faixa somente é interrompida entre os Cerros das Contas e do Ouro (por uma cobertura de rochas sedimentares eopaleozóicas, de cerca de 1 km de extensão longitudinal) e por uma área de poucas centenas de metros de extensão formada por xistos e gnaisses que ocorre entre os cerros da Tuna e dos Silveiras.

A área se reveste de declives acentuados, com pequenas ravinas. A drenagem é bem desenvolvida, caracterizada por vários arroios e córregos intermitentes, que se dispõem segundo um padrão geral dendrítico — por vezes estruturalmente controlado — todos eles componentes da bacia hidrográfica do Rio Camaquã. Uma vegetação de porte avantajado incide moderadamente sobre a área, dispondo-se principalmente ao longo dos cursos d'água; o restante de sua superfície está coberta por gramíneas, ervas rasteiras e arbustos. Excelentes e numerosas são as exposições naturais de rocha; quando não aflorantes, os calcários e dolomitos metamórficos mostram-se capeados por delgada camada de solo, que raramente ultrapassa a 5 m de espessura.

PESQUISA

As atividades de pesquisa desenvolvidas ao longo do Distrito Calcário-Dolomítico de Apertados constaram de: mapeamento topográfico-geológico em escala 1/2.000, escavações superficiais, amostragens de superfície e sondagens rotativas a diamante com análise química de testemunhas. Foram efetuadas em 4 etapas, respectivamente correlacionadas às 4 áreas de Alvará de Pesquisa da INDUBRAS — Área do Cerro da Árvore (que inclui também o Cerro do Buraco e o Cerro das Contas), Área do Cerro do Ouro, Área do Cerro da Tuna e Cerro Sujo e Área de Pedra Grande (onde se inclui o Cerro dos Silveiras) — perfazendo um total de 1.746,24 hectares; a Área do Cerro do Perau ainda não foi pesquisada.

Ao todo, foram abertos 7 poços e 4 trincheiras de pesquisa, coletadas e quimicamente analisadas 226 amostras de superfície e executados 32 furos de sonda (totalizando 2.813,55 metros perfurados) incluindo análise química de 211 amostras de testemunhos.

OS CALCÁRIOS E DOLOMITOS METAMÓRFICOS DE APERTADOS

Padrão Estrutural

As rochas calcário-dolomíticas metamórficas que atualmente afloram na área de Apertados representam um espesso pacote de camadas, concordantemente intercalado entre gnaisses migmáticos, xistos micáceos e quartzitos de idade atribuída ao Pré-Cambriano médio. Nas áreas do Cerro do Ouro e Cerro da Tuna e Cerro Sujo estão as maiores concentrações, com espessuras comprovadas superiores a 340 metros.

Constituem várias expressões topográficas que se dispõem alinhadamente ao longo de uma estreita e alongada estrutura em sinclinal, orientada segundo uma direção geral N10-40°E.

A Sinclinal de Apertados representa parte de um sistema regional de dobramento, ao qual se sucederam uma série de falhamentos nordeste-sudoeste de grande envergadura. Desta forma, o Distrito Calcário-Dolomítico de Apertados restringe-se a uma faixa de terreno de grande extensão longitudinal, mas de pequena largura, lateralmente delimitada por falhamentos. Potentes massas de quartzo-leitoso e de brecha ocorrem principalmente nas porções centrais desta faixa, amarrando a topografia e justificando, assim, a gradativa inversão do relevo original que aí se processa. Estas falhas maiores são muitas vezes truncadas ou deslocadas por falhamentos posteriores e geralmente de menor extensão, relacionados a um sistema noroeste-sudeste; é o caso de uma área situada entre o Cerro das Contas e o Cerro do Ouro, onde a sinclinal de Apertados é interceptada pela fossa tectônica do Cerro da Vigia (preenchida por rochas sedimentares eo-paleozóicas), e do flanco norte do Cerro da Tuna, onde a continuidade das rochas calcário dolomíticas é deslocada por grandes falhas de rejeito horizontal.

Composição Química

Da integração dos resultados de todas as análises químicas efetuadas, deduzimos a seguinte composição química média aproximada para as rochas calcário metamórficas do Distrito de Apertados:

| | | |
|---------------------|---|-------|
| CaO | : | 31,5% |
| MgO | : | 16,1% |
| Resíduos Insolúveis | : | 8,5% |
| Perda ao Fogo | : | 42,3% |

Estas percentagens apresentam-se relativamente constantes de todo o Distrito. Excetuam-se algumas camadas basais do pacote no Cerro da Tuna e Cerro Sujo e no Cerro do Ouro, onde individualizamos áreas de baixo teor de MgO — Com possibilidades de uso na fabricação de cimento — e algumas porções restritas do Cerro da Árvore e do flanco leste do Cerro dos Silveiras, onde também é relativamente baixo o teor de MgO.

Petrografia

Do ponto de vista petrográfico, o tipo predominante em Apertados é representado por um mármore homogêneo de granulação fina a média e coloração esbranquiçada, rósea ou acinzentada, bastante diaclasado e relativamente silicificado, com forte coerência entre os grãos. Ao microscópio, observa-se que mais de 70% de sua composição mineralógica é formada por cristais de carbonatos deformados e com fraturas preenchidas por sílica microcristalina e calcedônia, que se dispõem em forma de mosaico granoblástico; o restante é constituído por quartzo, talco, tremolita, clorita, flogopita, diopsídio e minerais opacos. Impregnações de óxido de ferro são freqüentes.

Outros tipos petrográficos, menos comuns, são a brecha calcária, o mármore silicoso, o mármore cataclástico, o calcário argiloso, o mármore micáceo, e o tremolita-mármore. Destes, o mais importante é o tremolita-mármore, constatado que suas áreas de ocorrência representam as de mais baixo teor de MgO da região.

O tremolita-mármore ocorre predominantemente nas porções basais do pacote calcário-dolomítico do Distrito de Apertados, especialmente no bordo leste dos cerros do Ouro, da Tuna e Sujo, com continuidades para sudoeste (flanco leste do Cerro das Contas e Cerro do Buraco) e para nordeste (flanco leste do Cerro dos Silveiras). Ao contrário do mármore dominante na região, o tremolita-mármore apresenta bandeamento nítido, caracterizado por bandas claras formadas por cristais de carbonato bem desenvolvidos, que se alternam com bandas mais escuras, compostas essencialmente por cristais prismáticos de tremolita e secundariamente por pequenas e dispersas palhetas de flogopita.

RESERVAS

Com base nas informações obtidas dos trabalhos de pesquisa foram calculadas as seguintes Reservas geológicas para o Distrito Calcário-Dolomítico de Apertados:

| ÁREA | ROCHAS COM POSSIBILIDADES DE USO COMO CORRETIVO AGRÍCOLA | | | ROCHAS COM POSSIBILIDADES DE USO NA FABRICAÇÃO DE CIMENTO | | |
|---|--|----------------------|----------------------|---|--------------------------|--------------------------|
| | Reserva Medida (t) | Reserva Indicada (t) | Reserva Inferida (t) | Reserva Medida (t) | Reserva Indicada (t) | Reserva Inferida (t) |
| Carro da Árvore (Inclui Cerro do Buraco e Cerro das Contas) | 151.000.000 | 78.800.000 | 68.600.000 | — | — | — |
| Carro da Tuna e Cerro Sujo | 81.000.000 | 33.300.000 | 13.000.000 | 10.270.000 c/ 5,9% MgO | 431.000 c/ 5,9% MgO | 3.700.000 c/ 6,0% MgO |
| Carro do Ouro | 193.400.000 | 36.200.000 | — | 6.170.000 c/ 5,8% Mg | 1.702.000 c/ 5,8% MgO | — |
| Pedra Grande (Inclui Cerro dos Silveiras) | 6.200.000 | 8.200.000 | — | — | — | — |

PROSPECÇÃO ATRAVÉS DE SEDIMENTOS DE DRENAGEM EM ÁREAS DE ROCHAS MÁFICAS-ULTRAMÁFICAS NO ESTADO DE GOIÁS

Raul Minas Kuyumjian*
Sílvio Ronan Bressan*

RESUMÉ

Cette étude présente les principales caractéristiques de la distribution du nickel, chrome, cobalt, cuivre, plomb et zinc, analysés dans les échantillons des sédiments actifs de drainage recueillis en deux régions de l'Etat de Goiás, où se localisent des roches basiques-ultrabasiqes de "Americano do Brasil", auquel sont associées des minéralisations cupro-nickéllifères. La seconde englobe des roches basiques-ultrabasiqes de Águas Claras", près de Arapu", où les travaux de prospection réalisés n'ont pas évidencé la présence de minéralisations à l'affleurement. Les échantillons, analysés pour la fraction inférieure à 80 mesh par spectrométrie d'absorption atomique, ont été soumis à quatre types d'attaques: "tri-acide", "acqua régia", nitrique à 15% et EDTA. L'interprétation des résultats a permis de définir les types de distribution des éléments dosés et les chimiques, qui meillieures évidencient non seulement les minéralisations sulfurées de nickel et cuivre, amis aussi la présence de roches basiques-ultrabasiqes dans les régions prospectées.

INTRODUÇÃO

Este estudo apresenta os padrões de distribuição do níquel, cobre, cromo, cobalto, chumbo e zinco, obtidos em sedimentos de drenagem de duas áreas onde ocorrem rochas máficas-ultramáficas, situadas na região centro-sul do Estado de Goiás (Figura 1).

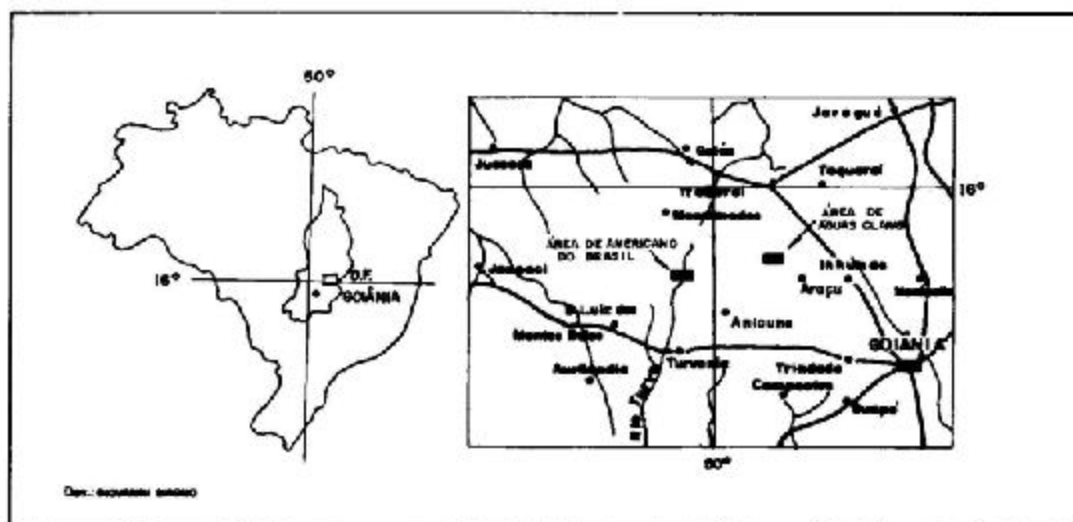


FIG. 1- MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS ESTUDADAS

*Metals de Goiás S. A. — METAGO
Goiânia — Goiás — BRASIL

Uma das áreas abrange o Complexo Máfico-ultramáfico de Americano do Brasil e as mineralizações sulfetadas de níquel e cobre ali existentes. A outra, compreende as rochas máficas-ultramáficas do Córrego Águas Claras, onde trabalhos de geologia e prospecção geoquímica de solo não evidenciaram a presença de mineralizações sulfetadas.

As amostras de sedimentos de drenagem das duas áreas, foram submetidas a extrações químicas de diferentes intensidades (HF-HClO₄-HNO₃, HCl-HNO₃ 1:3, HNO₃-15% e EDTA-0,5%), com o objetivo de estabelecer quais os elementos e extrações que melhor evidenciam às mineralizações sulfetadas e a presença de rochas máficas-ultramáficas.

MÉTODOS DE AMOSTRAGEM E DE ANÁLISES

As 68 amostras estudadas neste trabalho foram coletadas durante um levantamento geoquímico de reconhecimento, desenvolvido pela METAGO, como parte de um programa de prospecção mais amplo, visando à localização de mineralizações sulfetadas de níquel e cobre, associadas à rochas máficas-ultramáficas.

A amostragem foi do tipo composta, com cada amostra sendo constituída por material coletado geralmente em três pontos, numa extensão de 20 metros, ao longo da calha dos cursos d'água. A preparação das amostras incluiu a secagem em estufas a uma temperatura de cerca de 100°C e a separação da fração granulométrica menor que 80 mesh.

As análises foram efetuadas para níquel, cobre, cromo, cobalto, chumbo e zinco, empregando-se um espectrofotômetro de Absorção Atômica Perkin - Elmer, modelo 303. Nas extrações químicas obedeceu-se os seguintes procedimentos:

- "Triácido" (0,2 ml HF-2 ml HClO₄-1 ml HNO₃): ataque de 0,2 gramas da amostra em banho de areia até solubilização total e posterior diluição com água deionizada.
- Água régia (HCl-HNO₃ 3:1): ataque de 0,2 gramas da amostra em banho de areia até solubilização total e posterior diluição com água deionizada.
- HNO₃-15%: ataque de 0,2 gramas da amostra em banho-maria durante duas horas.
- EDTA (etil-diamina-tetra acético)-0,5%: ataque de 1,0 grama de amostra a frio, com agitação durante 2 minutos e posterior centrifugação.

Deve-se ressaltar que as extrações através de EDTA foram utilizadas somente para dosagens de níquel e cobre.

ÁREA DO CÓRREGO ÁGUAS CLARAS

Nesta região ocorrem rochas máficas e ultramáficas, constituídas predominantemente por peridotitos serpentizados, piroxenitos e gabros, que estão limitadas por uma seqüência leptinito-granulítica pertencente ao Complexo Basal. Nos trabalhos de geologia e geoquímica em solos realizados na área, não foram encontradas evidências de mineralizações sulfetadas de níquel e cobre. A figura 2 apresenta esquematicamente o limite das principais rochas máficas e ultramáficas desta área.

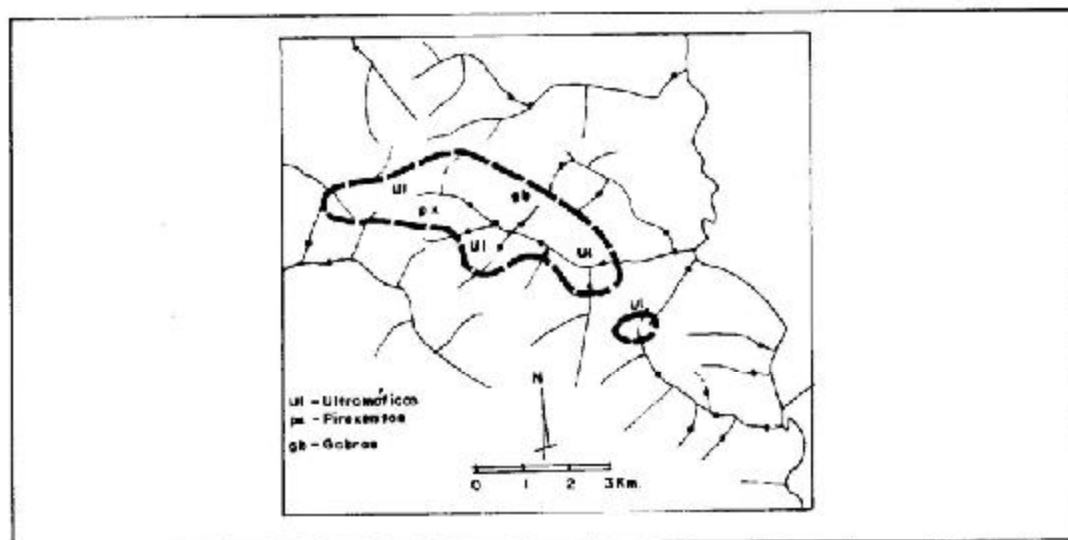


FIG. 2 - LOCALIZAÇÃO DAS ROCHAS MÁFICAS-ULTRAMÁFICAS DO CÓRREGO ÁGUAS CLARAS

As figuras 3, 4 e 5 mostram os padrões de distribuição do níquel, cobre, cromo e cobalto, obtidos utilizando-se extrações químicas através de "triácido", água régia e HNO_3 -15%.

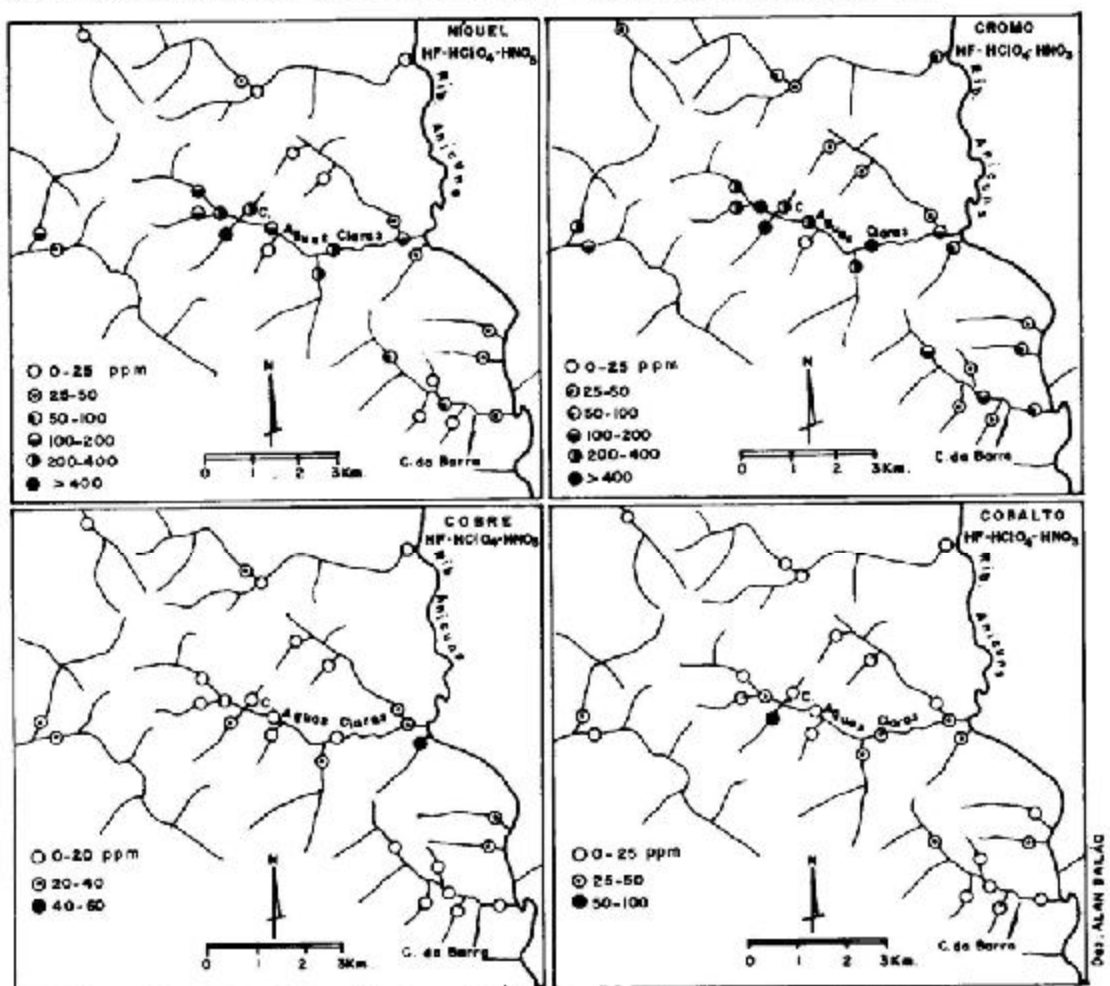


FIG. 3 - NI, Cu, Co, Cr EM SEDIMENTOS DE DRENAGEM DA ÁREA DO Cór. ÁGUAS CLARAS - EXTRAÇÃO $\text{HF-HClO}_4\text{-HNO}_3$

Comparando-se estas figuras com a figura 2, observa-se que o níquel e o cromo refletiram de forma marcante as litologias ultramáficas, principalmente quando se considera os contrastes obtidos com "triácido" e água régia. O cobalto também evidencia as rochas peridotíticas, porém, com contrastes baixos para todas as extrações. O cobre, por sua vez, apresenta padrões de distribuição homogêneos para toda a área, com somente alguns valores erráticos mais elevados.

Na figura 6 estão expostos os resultados obtidos para níquel e cobre, através da extração por EDTA-0,5%, onde se pode verificar que o níquel reflete os peridotitos, embora com contrastes menos elevados que os obtidos para as demais extrações. Quanto ao cobre, obteve-se resultados semelhantes aos dos outros ataques químicos.

Finalmente, no que se refere ao zinco e ao chumbo, verificou-se que estes elementos não apresentaram, para qualquer das extrações químicas utilizadas, contrastes significativos, tanto nesta área, como na de Americano do Brasil.

ÁREA DE AMERICANO DO BRASIL

O Complexo Máfico-ultramáfico de Americano do Brasil é constituído, predominantemente, por dunitos, peridotitos, piroxenitos, gabros, noritos e dioritos, estando limitado por gnaisses e mica xistos.

As principais mineralizações sulfetadas de níquel e cobre encontradas neste complexo, situam-se na parte central do mesmo e estão associados aos dunitos-peridotitos e à seqüência gabrítica

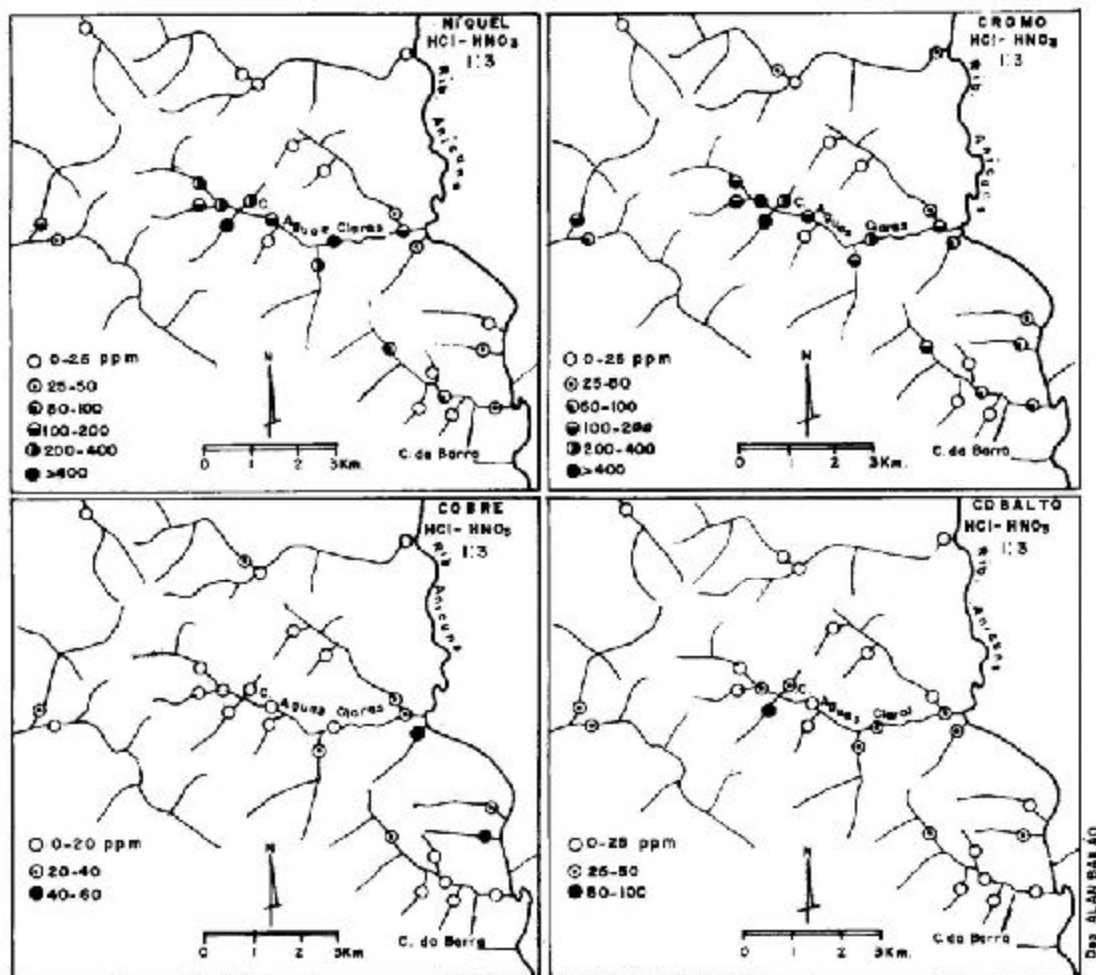


FIG. 4 - Ni, Cu, Co, Cr EM SEDIMENTOS DE DRENAGEM DA ÁREA DO CÓRREGO ÁGUAS CLARAS - EXTRAÇÃO HCl - HNO₃

que ocorrem na região do Córrego Salgado. Os trabalhos de prospecção geoquímica em solos realizados no complexo, evidenciaram várias áreas anômalas para níquel e cobre, que estão esquematicamente individualizadas na Figura 7, juntamente com a localização das rochas máficas-ultramáficas.

As figuras 8, 9 e 10 apresentam os padrões de distribuição do níquel, cromo, cobre e cobalto em sedimentos de drenagem, empregando-se as extrações com "triácido", água régia e HNO₃-15%. Na Figura 11, estão os dados analíticos de níquel e cobre obtidos com EDTA-0,5%.

Comparando-se estas figuras com a Figura 7, observa-se que os teores elevados de níquel devem ser reflexo das rochas ultramáficas e também das mineralizações sulfetadas. Os contrastes entre estes teores e os concernentes às litologias encaixantes, foram mais acentuados para as extrações químicas com "triácido" e água régia.

Quanto ao cobre, os valores analíticos mais elevados estão relacionados às mineralizações existentes na área e são contrastantes em todos os tipos de extrações químicas, principalmente no que se refere ao EDTA.

Os altos teores de cromo refletem claramente a presença das rochas ultramáficas, sendo que as extrações químicas mais fortes mostram maiores contrastes. O cobalto também evidenciou a presença destas rochas, porém com contrastes muito baixos.

CONCLUSÃO

Os dados obtidos nas áreas estudadas indicam que os valores analíticos de níquel e cromo são os que melhor refletem a presença das rochas ultramáficas. Os maiores contrastes destes valores em relação às rochas encaixantes, correspondem àqueles concernentes às extrações efetuadas com

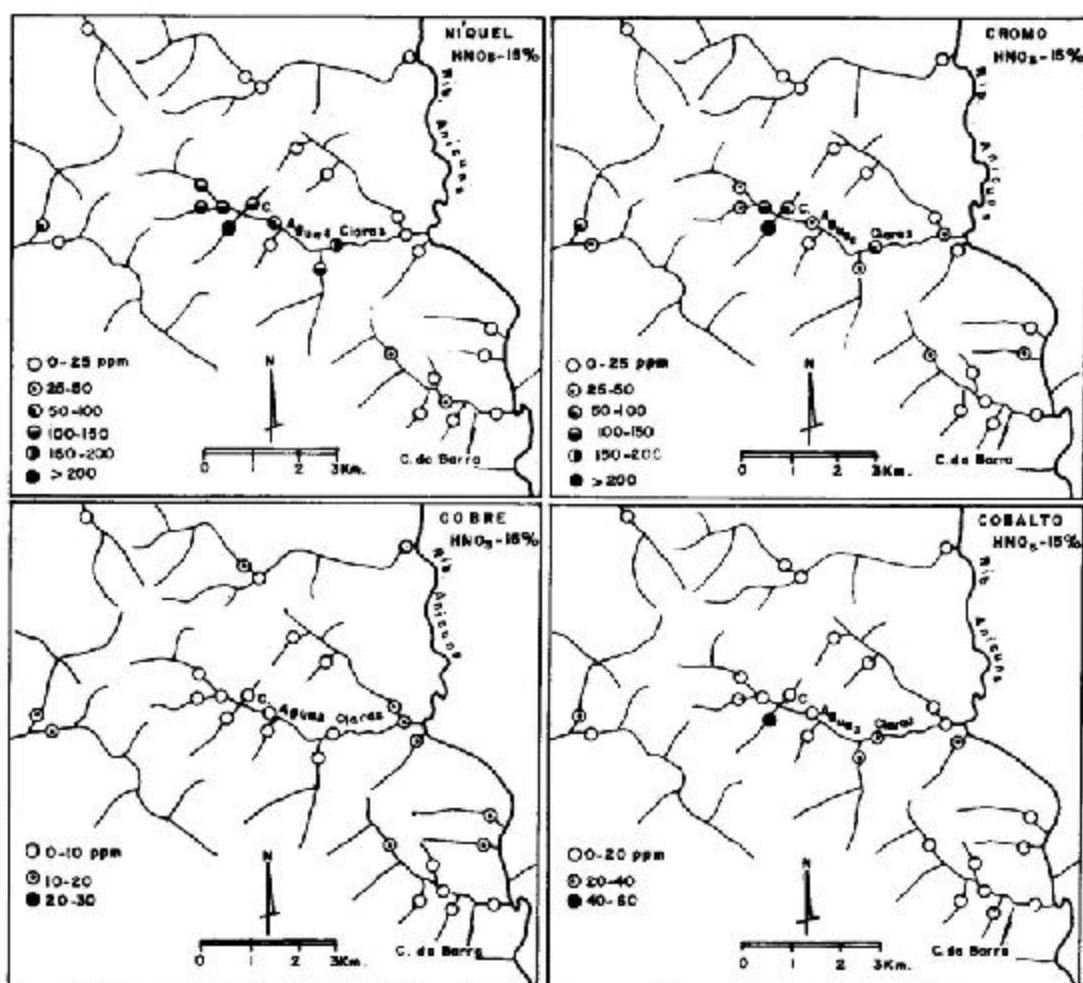


FIG. 5 - Ni, Cu, Co e Cr EM SEDIMENTOS DE DRENAGEM DA ÁREA DO CÓRREGO ÁGUAS CLARAS - EXTRAÇÃO HNO₃ 15 %

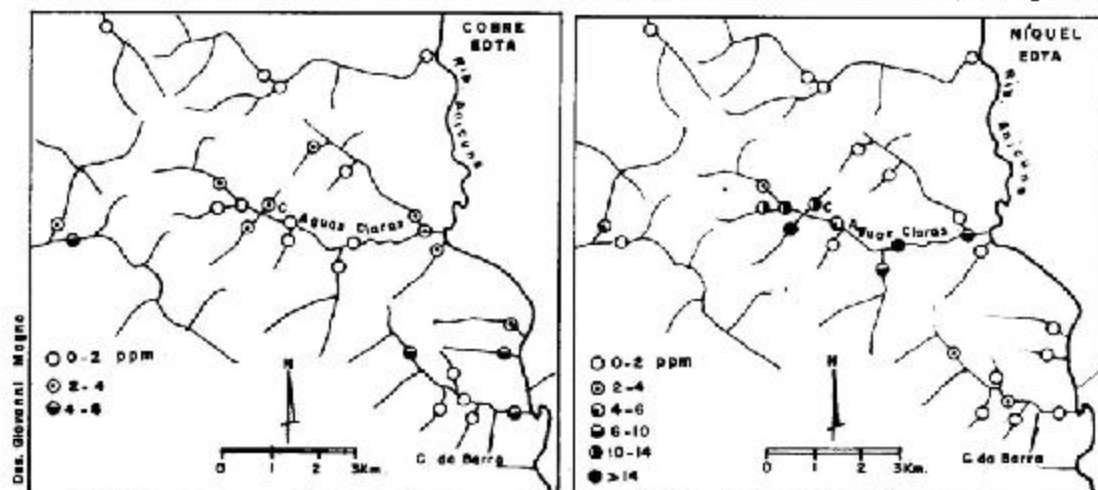


FIG. 6 - Ni e Cu EM SEDIMENTOS DE DRENAGEM DA ÁREA DO Cór. ÁGUAS CLARAS - EXTRAÇÃO EDTA

"triácido" (HF-HClO₄-HNO₃) e água régia (HCl-HNO₃ 1:3). Este fato confirma que extrações químicas mais fortes tendem a acentuar diferenças litológicas.

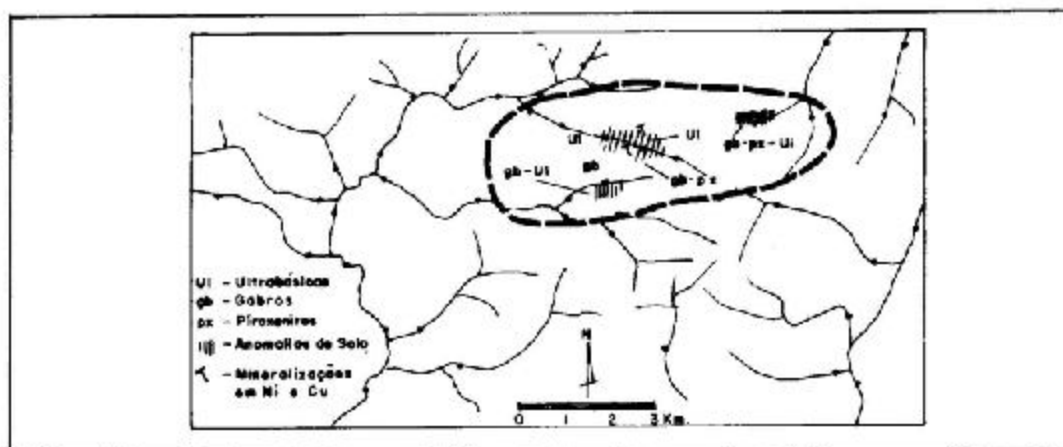
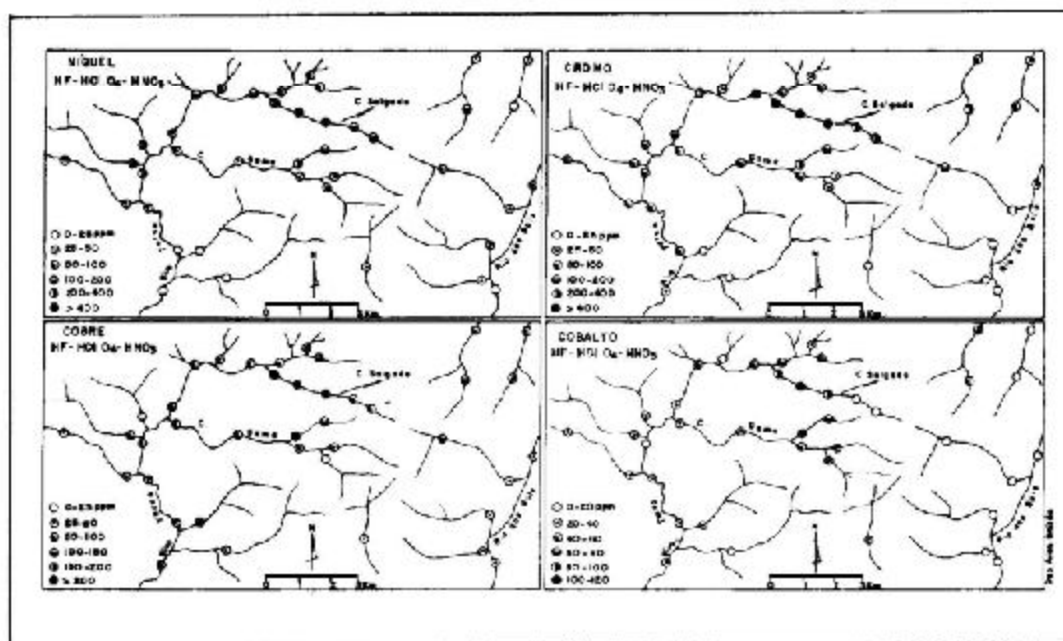


FIG. 7 - LOCALIZAÇÃO DO COMPLEXO DE AMERICANO DO BRASIL.

FIG. 8 - Ni, Cr, Co e Cr EM SEDIMENTOS DE DRENAGEM DA ÁREA DO CÔRREGO SALGADO - EXTRAÇÃO HF-HClO₄-HNO₃

Por outro lado, as mineralizações de sulfetos de níquel e cobre do complexo de Americano do Brasil são bem evidenciadas pelo cobre, que apresenta contrastes marcantes em todas as extrações químicas utilizadas, sendo o mais acentuado aquele referente ao EDTA. Com relação ao níquel, o conteúdo normalmente elevado deste elemento nas litologias ultramáficas, obliterou os contrastes decorrentes das mineralizações, pois os teores mais elevados obtidos nos sedimentos de drenagem desta área são os normais para rochas dunfíticas-peridotíticas.

Os teores de cobalto em sedimentos de drenagem derivados de rochas ultramáficas foram semelhantes para duas áreas estudadas e pouco contrastantes em relação aos obtidos no âmbito das rochas encaixantes.

A distribuição dos valores analíticos dos elementos chumbo e zinco não apresentaram nenhuma feição de interesse.

Os resultados obtidos no presente trabalho demonstram que um fator importante a ser considerado em um programa de prospecção através de sedimentos de drenagem é a escolha do método de extração química mais adequado para os propósitos visados. Portanto, os trabalhos de orientação que precedem o desenvolvimento de uma campanha, deverão incluir um estudo referente ao problema.

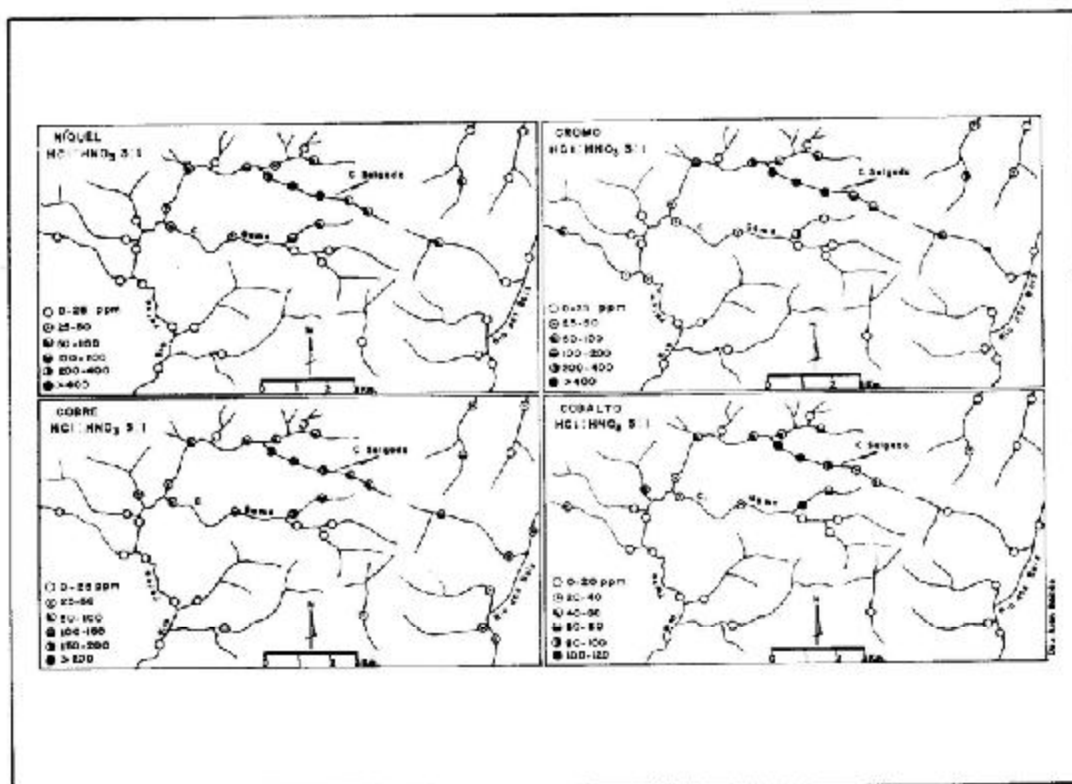


FIG. 9 Ni, Cu, Co e Cr EM SEDIMENTOS DE DRENAGEM DA ÁREA DO CÔRREGO SALGADO - EXTRAÇÃO HCl-HNO₃ 3:1

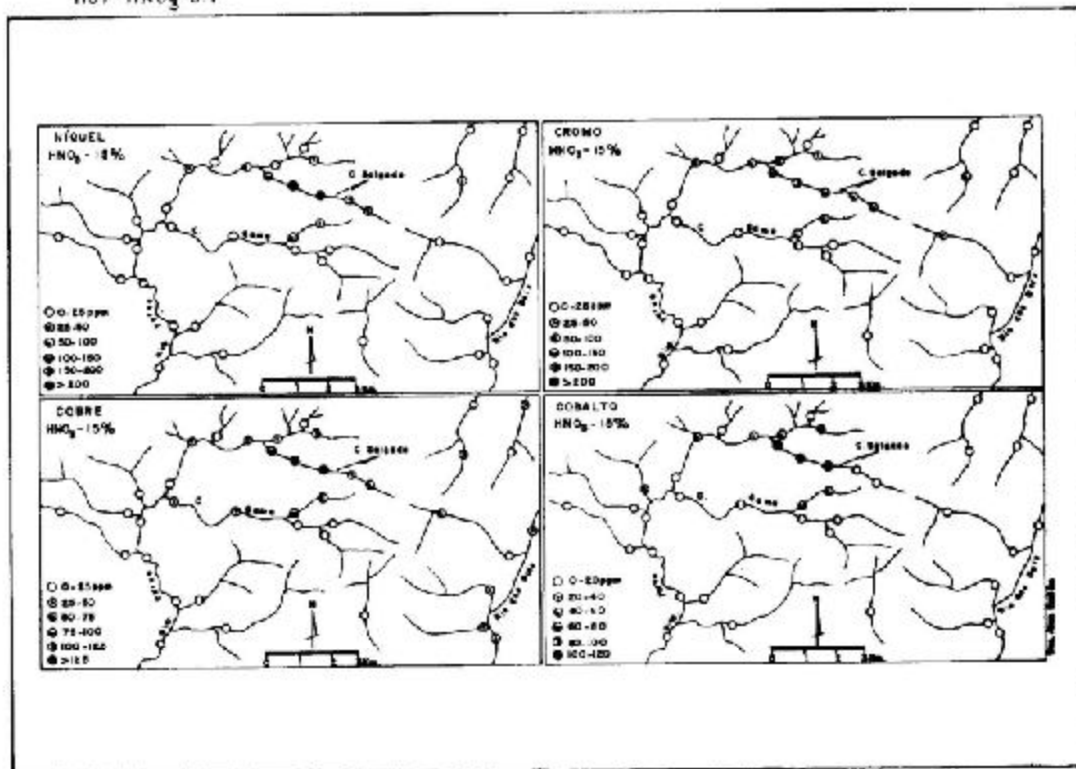


FIG. 10 Ni, Cu, Co e Cr EM SEDIMENTOS DE DRENAGEM DA ÁREA DO CÔRREGO SALGADO - EXTRAÇÃO HNO₃ - 15%

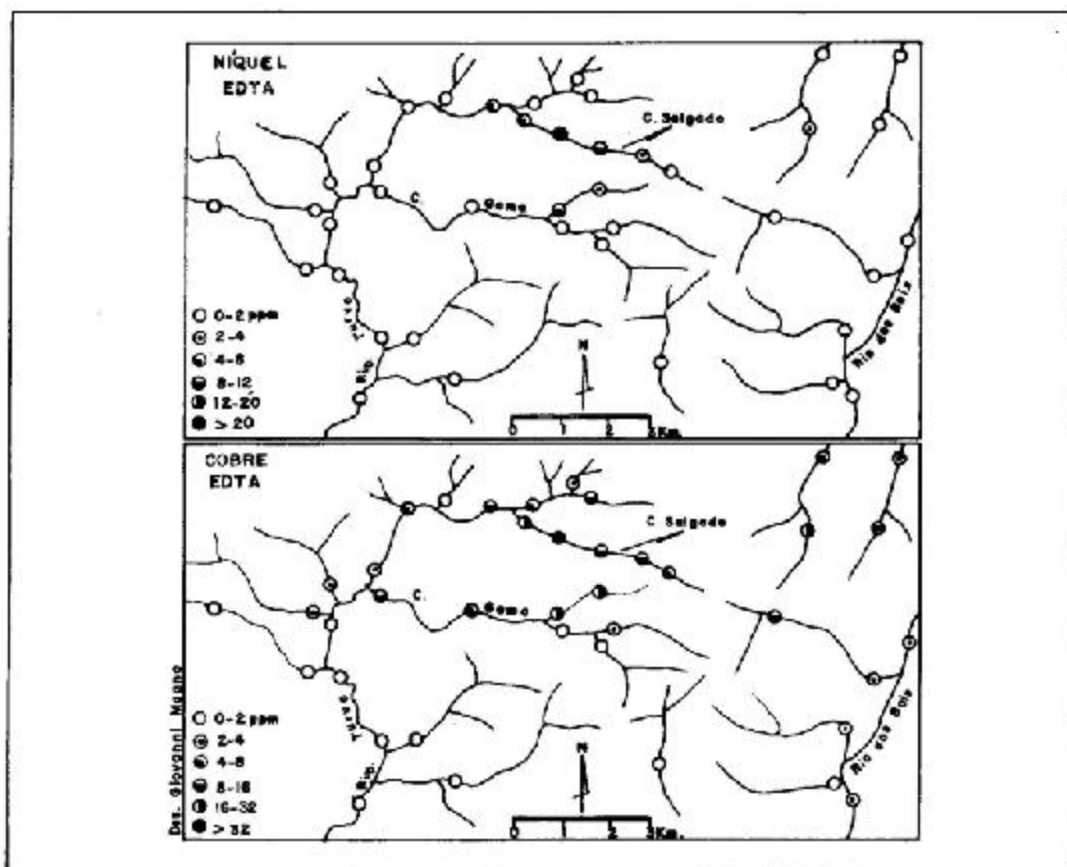


FIG.11 Ni, Cu EM SEDIMENTOS DE DRENAGEM DA ÁREA DO Córrego Salsado - EXTRAÇÃO EDTA

BIBLIOGRAFIA

- BRADSHAW, P. M. D., CLEWS, D. R. and WALKER, J. L., 1973. *Exploration Geochemistry*. Barringer Research Limited, Toronto, Ont., 50 pp.
- BRADSHAW, P. M. D., THOMSON, I., SMEE, B. W. and LARSSON, J. O., 1974. *The application of different analytical extractions and soils profile sampling in exploration geochemistry*. *Jour. Geochim. Explor.*, 3, p. 209-225.
- CUBA, E. A., FERREIRA, M. C. B., SANTOS, M. M. e MANDETTA, P., 1976. *Aspectos das mineralizações cupro-niquelíferas associadas ao Complexo Máfico-ultramáfico de Americana do Brasil*. Goiânia, inédito.
- FOSTER, J. M., 1971. *The reduction of matrix effects in atomic absorption analyses and the efficiency of selected extractions on rock-forming minerals*. *Can. Inst. Min. Metall., Spec. Vol. 11*, p. 554-560.
- FOSTER, J. M., 1973. *The efficiency of various digestion procedures on the extraction of metals from rocks and rocks-forming minerals*. *Can. Inst. Min. Metall. Bull.*, 66, p. 85-92.
- OLIVEIRA, C. A. e BITTAR, N., 1971. *Projeto Bandeirantes*. CPRM/DNPM, Goiânia, inédito.
- RIBEIRO, M. J. e SANTOS, M. M., 1974. *Prospecção geoquímica de semi-detalle e detalhe no Maciço Básico-ultrabásico de Americana do Brasil*, GO. *Anais XXVIII Cong. Bras. Geol.*, p. 288-300.

DEPÓSITOS DE BAUXITA DE ALMEIRIM

Roberto Assad *
Antônio Pinto de Almeida Netto *

RESUMO

Os depósitos localizam-se entre os rios São Luís e Parauaquara, entre as coordenadas $0^{\circ} 52' - 1^{\circ} 34'S$ e $52^{\circ} 10' - 53^{\circ} 18'W$.

Geomorfologicamente, são os platôs mais bem definidos da Bacia Amazônica, apresentando desníveis de 200 metros, em média, em relação ao rio Amazonas. Têm-se duas unidades geomórficas bem distintas: platô e planície, ilustrando de maneira notável, e didática, o modelo de ocorrência de bauxita na Amazônia.

Geologicamente, estão situadas na faixa sedimentar, no topo do terciário (Formação Barreiras). A bauxitação acha-se associada aos platôs, testemunhos de uma pretérita superfície de aplainamento. Os depósitos desta faixa, são enquadrados no tipo "depósitos de cobertura superficiais ou pouco profundos, formados em camadas horizontais ou sub-horizontais". Um perfil genérico para a faixa topo-base seria: argila creme, bauxita nodular, laterita ferruginosa, laterita ferruginosa com laterita bauxítica, laterita bauxítica, argila variegada e caulim. O perfil nem sempre exibe uma seqüência constante, podendo ocorrer a ausência de um ou mais horizontes.

As características físicas do horizonte de bauxita nodular são análogas às dos demais depósitos de Bacia; destacando-se seu aspecto coloidal, forma concrecionária, coloração amarela e a presença de pisolitos ferruginosos.

O horizonte de laterita bauxítica contém blocos, com nítida presença de cristais de gibbsita, que variam de macios a duros, de coloração rosa-clara a marrom-escuro e normalmente ocorrem sob a forma de "blocos saltos" em argila.

Os minerais que concorrem na formação de bauxita são: gibbsita, hematita, limonita, caulinita, quartzo e pequena presença de minerais com álcalis, abaixo de 0,03%.

Levando em conta o excelente posicionamento desta faixa, o Grupo CVRD programou trabalhos de reconhecimento preliminar, visando uma seleção das áreas. A conclusão dos trabalhos preliminares mostrou um potencial de 65×10^6 toneladas de bauxita para fins metalúrgicos e 10×10^6 toneladas com possibilidades para a indústria de refratários. Para a faixa total é possível um potencial de 170×10^6 toneladas de bauxita metalúrgica.

ABSTRACT

These deposits are located, between the Parauaquara and São Luís rivers and along the Amazonas river, 460 km West of Belém, in the Almeirim area (State of Pará and Território Federal do Amapá. This bauxite flat $0^{\circ} 52' - 1^{\circ} 34'S$; long $52^{\circ} 10' - 53^{\circ} 18'W$) amounts to more than 6,200 km².

Known bauxite deposits in this part of the basin are located in sedimentary belts at the top tertiary on the Barreiras Formation, of a Pliocene-Miocene age. The Barreiras Formation is composed of a sedimentary sequence of variegated clays, sand clays and red or pink sandstones of continental origin.

The interest areas for bauxite prospecting are in plateaux with elevation between 150 to 230 m above sea level. The plateaux are remains of an extensive terrace that under strong weathering and leaching left these remnants. The formation of these "plateaux" (along the top and slopes) is composed of yellow clay. The Almeirim deposits can be classified normally as superficial deposits or shallow overburden deposits. They generally show the following section (top to bottom): yellow plastic clay, yellow nodular bauxite disseminated in clay matrix (iron pisolites may occur), iron laterites, massive bauxite/iron laterites, massive bauxite and variegated clay or kaolin.

The mineralogical composition of these bauxites consists of gibbsite, hematite, limonite, oxides of titanium, clay minerals and quartz.

This district has a minimum reserve of 10 million tons of refractory bauxite, and a minimum reserve of 170 million tons of metallurgical grade bauxite.

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta os resultados do reconhecimento preliminar, efetuado na faixa de Almeirim, visando a detecção de uma bauxitização significativa, com selecionamento de platôs

* Geólogos da
RIO DOCE GEOLOGIA E MINERAÇÃO S. A. - DOCEGEO
Belém - Pará

promissores e conseqüente eliminação dos não favoráveis. Estes depósitos são conhecidos desde a década de 50, e o excelente posicionamento geográfico foi um dos fatores principais que levaram o Grupo CVRD a execução dos trabalhos de prospecção e exploração dessas ocorrências.

II. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA

Os depósitos da faixa de Almeirim estão situados na asa norte da Bacia do Médio Amazonas, em área de territórios paraense e amapaense. Estão compreendidos entre os rios São Luís e Parauaquara. A faixa bauxítica tem a direção nordeste, com extensão aproximada de 150 km, a partir do rio Parauaquara, situando-se entre coordenadas 0° 52' - 1° 34' S e 52° 10' - 53° 18' W.

III. GEOMORFOLOGIA

São os platôs mais bem definidos da Bacia Amazônica, apresentando desníveis de 200 metros, em média, em relação ao rio Amazonas. Destacam-se grandes e pequenos platôs, intensamente recortados. O conjunto situado ao norte de Almeirim, apresenta como característica marcante suas encostas em "batentes", de 2 ou 3 estágios, provavelmente devido a erosão diferencial. Este fato não é comum nas demais áreas de ocorrências de bauxita, da Bacia. Em extensão, os platôs variam de 1 até 50 km². Têm-se duas unidades geomórficas bem distintas: platô e planície, ilustrando de maneira notável, e didática, a ocorrência de bauxita da Amazônia. Mais ao norte e nordeste de Almeirim, muda a configuração da planície (vegetação de pequeno a médio porte), com o surgimento, em nítido contraste, de uma vegetação exuberante (típica da Bacia). A área apresenta uma drenagem densa; as principais são as dos rios Parú, Jari e Cajari com seus afluentes e subafluentes.

IV. GEOLOGIA REGIONAL

As ocorrências de bauxita estão situadas na faixa sedimentar da Bacia do Médio Amazonas, mais precisamente no topo da Formação Barreiras, constituindo-se de intercalações de arenitos, argilitos e conglomerados subordinados. Os arenitos são vermelhos e variegados, finos a médios, mal classificados, argilosos, caolínicos, muito moles com ocasionais bancos silicificados e duros. Os argilitos são vermelhos-tijolo e variegados, com proporção variada de siltito e argila, macios ou mal laminados, muito mal consolidados, apresentando bolsas de areia irregularmente distribuídas e gradções para arenito. Os conglomerados são constituídos por seixos de quartzo e arenito silicificado. Os sedimentos foram depositados em ambiente continental, variando de fluvial a lacustrino. Localmente, as áreas de interesse para prospecção de bauxita são os platôs, testemunhos de uma pretérita superfície de aplainamento; no topo e encostas ocorrem argilas; no pé das encostas tem-se pequena presença de sedimentos arenosos, de grãos grosseiros a médios. Ao longo das grotas, nascentes nos platôs, bem como nas encostas, são encontrados blocos rolados de bauxita, laterita e, às vezes, argilas caolínicas, sedimentos arenosos etc. Na planície e pequenos marrotes, que ocupam os vazios entre os platôs, ocorrem sedimentos arenosos e argilosos, transicionado para areno-argilos, arenitos e conglomerados cimentados por óxido de ferro.

V. GEOLOGIA DOS PLATÔS

(Depósitos de Bauxitas). A bauxitização acha-se associada aos platôs. A forma destes, limita a extensão da bauxitização e de sua área de ocorrência. Existe em cada platô, características peculiares quanto a maneira de ocorrer a bauxitização, tais como espessura dos horizontes bauxíticos/ferruginosos, granulometria do horizonte nodular, maior ou menor presença de pisolitos ferruginosos, textura, cor etc. Estes parâmetros fornecem um quadro geológico do platô que, reunidos, podem ser estendidos a toda a faixa, fornecendo uma idéia geral do comportamento da bauxitização. O perfil típico do Setor Almeirim apresenta os seguintes horizontes, do topo para a base, e as seguintes variações de espessura:

- 1º horizonte (0 a 10 m) — argila creme
- 2º horizonte (0 a 3 m) — bauxita nodular
- 3º horizonte (0 a 4 m) — laterita ferruginosa
- 4º horizonte (0 a 5 m) — laterita ferruginosa com laterita bauxítica/laterita bauxítica com laterita ferruginosa
- 5º horizonte (0 a 4 m) — laterita bauxítica, argila, variegada e caolin

Estes horizontes nem sempre obedecem a uma seqüência constante, podendo ocorrer alternados ou com ausência de um ou mais horizontes. A presença em um mesmo horizonte, de laterita ferruginosa e bauxítica, perfeitamente individualizadas, dispersas erráticamente, em proporções variá-

veis, predominando ora uma, ora outra, ou mesmo misturadas em proporções iguais, é uma característica marcante. Uma outra, é a presença do horizonte bauxítico, com capa e lapa, de laterita ferruginosa, "ensanduichado". Isto mostra que ocorreram sensíveis variações no ambiente geológico, durante a seqüência do evento, ocasionando uma dissimilaridade em relação a certos depósitos, do mesmo tipo existentes na Bacia. Outro fato característico, é a presença de caulim sotoposto ao horizonte laterítico. Afloramentos são encontrados em toda a faixa, com densidade apreciável em cada platô, fato novo na geologia das bauxitas, ainda não detetado nos demais depósitos conhecidos da Bacia Amazônica.

Na extremidade nordeste da faixa, na margem esquerda do rio Jari, localizam-se as jazidas de caulim do morro do Felipe, geomorfologicamente semelhantes aos depósitos de bauxita, onde a laterização foi incipiente ocorrendo somente nódulos ferruginosos e bauxíticos. O conjunto de platôs denominado de "morro do Felipe", é o único da faixa que praticamente não sofreu bauxitização; ao sul, adjacente a este conjunto, distante não mais que 5 km, a bauxitização está associada a caulinização, como os demais platôs da área. Seguem seis seções esquemáticas de bauxitização que podem ocorrer isoladamente ou mesmo associadas, caracterizando determinado platô.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO HORIZONTE LATERÍTICO

Estas, de maneira geral, são análogas aos demais depósitos conhecidos da Amazônia, com exceção do Setor Jabuti (Paragominas). O horizonte nodular é constituído por formas concrecionais, com granulometria de até 12 (doze) ou 15 (quinze) centímetros, de aspecto coloidal, podendo ou não apresentar cristais de gibbsita, de coloração amarela e amarelo-esbranquiçado, duro, com presença ou não de pisólitos ferruginosos, soltos ou cimentados. Pequenos nódulos bauxíticos (0,5 a 25 mm), apresentam no seu interior uma estrutura concêntrica, contendo ou não no seu centro um "olho vermelho", constituído de óxido de ferro. Também observa-se algumas vezes nas concreções, impregnações de um amarelo-pálido, que são concentrações superficiais de ferro hidratado. Na proximidade do contato com a laterita ferruginosa, existem, às vezes, fragmentos desta contaminando o horizonte nodular. As características de granulometria e presença de cristais de gibbsita não são comumente observáveis nos outros depósitos. O horizonte ferruginoso apresenta coloração marrom-escuro, duro a semiduro, estrutura maciça, podendo também ocorrer celular porosa, com pequenas manchas cinzas de hematita, ou amarelas devido a limonitização; a presença de cristais de gibbsita e quartzo são visíveis; o horizonte pode ocorrer maciço ou em forma de "blocos soltos" disseminados em argila. O segundo horizonte bauxitizado contém nítida presença de cristais de gibbsita e de quartzo, este às vezes em abundância; a bauxita apresenta textura compacta ou celular porosa, variando de rosa-claro a marrom; apresenta-se maciça com pouca presença de argila ou em forma de "blocos soltos" com maior presença de argila. Com a profundidade torna-se macia e transiciona para argila residual subjacente.

CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS E QUÍMICAS DOS HORIZONTES BAUXITIZADOS

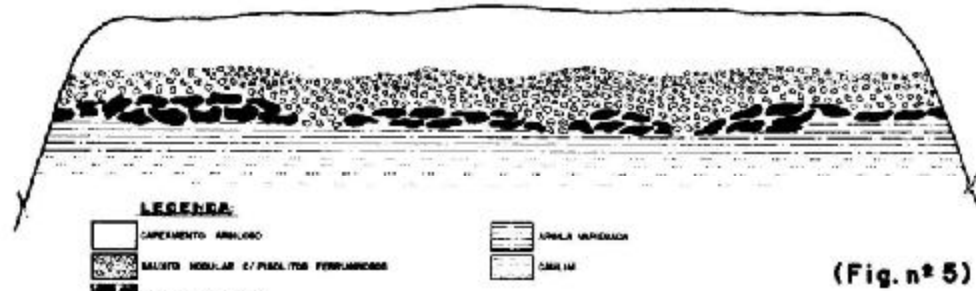
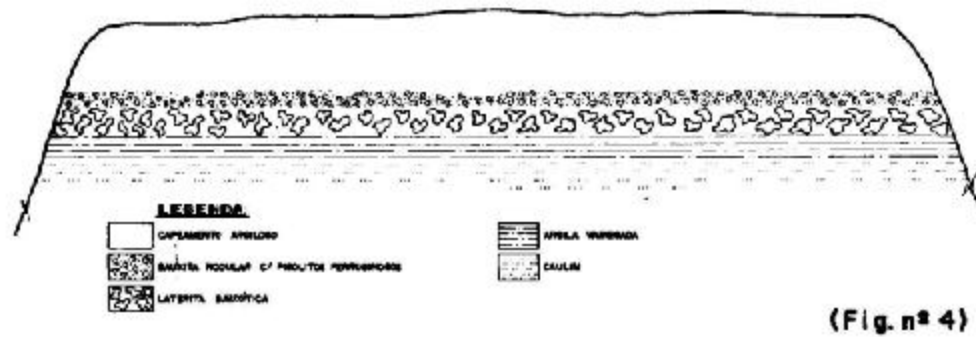
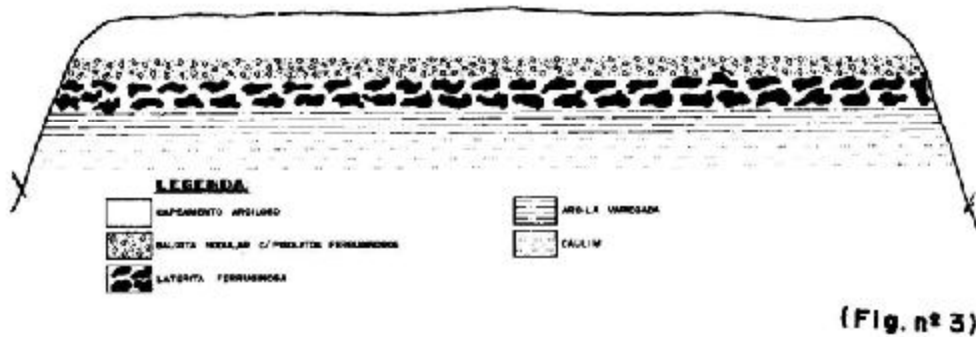
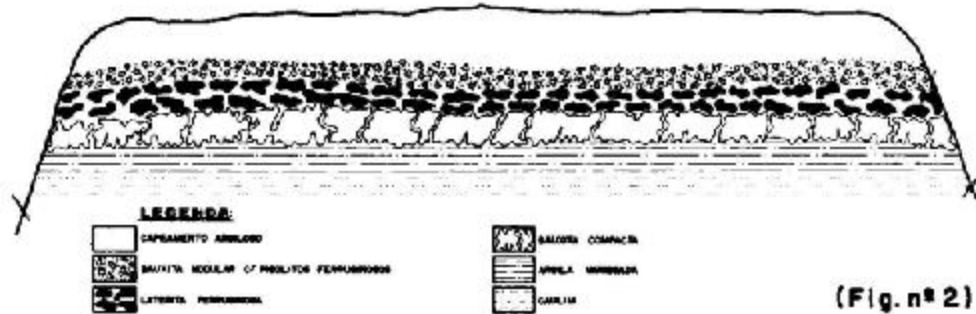
Os minerais que concorrem na formação dos horizontes bauxíticos são: gibbsita, hematita, limonita, anatásio, quartzo, caulinita, zirconita e pequena presença de minerais com álcalis, abaixo de 0,03%. Destaca-se como característica relevante desta faixa, o baixo teor de ferro encontrado na bauxita em áreas restritas de alguns platôs e ser constituída essencialmente de gibbsita. Ainda não foi encontrada associação com boemita.

A análise química média de áreas trabalhadas para bauxita de grau metalúrgico é de 55,5% de Al_2O_3 total e 7,5% de SiO_2 total, e aquela com possibilidades para refratário apresentou 58,2% de Al_2O_3 total e 1,9% de Fe_2O_3 . Este fato é que traduz a importância dos platôs de Almeirim.

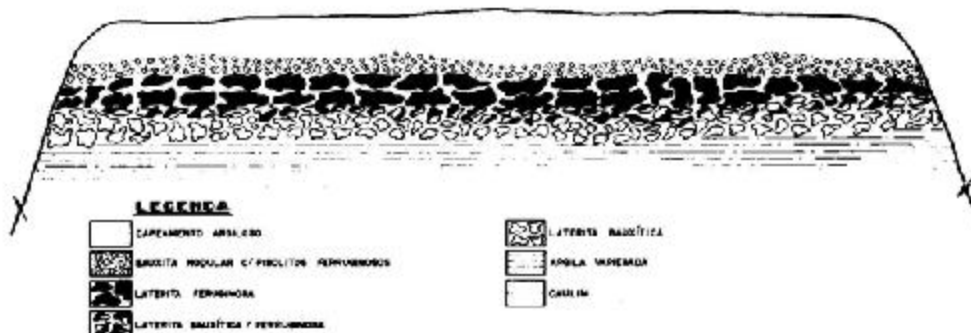
TRABALHOS EXECUTADOS

O reconhecimento geológico, efetuado pelo Grupo CVRD, cobriu uma área de 150.000 ha e constou de trabalhos de geologia de superfície e de subsuperfície. Foram locados e abertos 70 poços estratégicos, totalizando 1.310 metros escavados; 1.430 amostras foram coletadas e analisadas; 570 km de picadas foram abertas para locação dos poços e acesso aos platôs; 40 acampamentos foram construídos; 7 helipontos foram abertos no topo dos platôs para facilitar a retirada de amostras. A conclusão dos trabalhos mostrou um potencial de 65×10^6 toneladas de bauxita para fins metalúrgicos e 10×10^6 toneladas com possibilidades para a indústria de refratários, existindo indícios de aproveitamento do material para a indústria de abrasivos. Para a faixa total é possível um potencial de 170×10^6 toneladas de bauxita metalúrgica. Atualmente são realizados trabalhos de detalhe nos platôs selecionados, visando precisar o ótimo econômico.

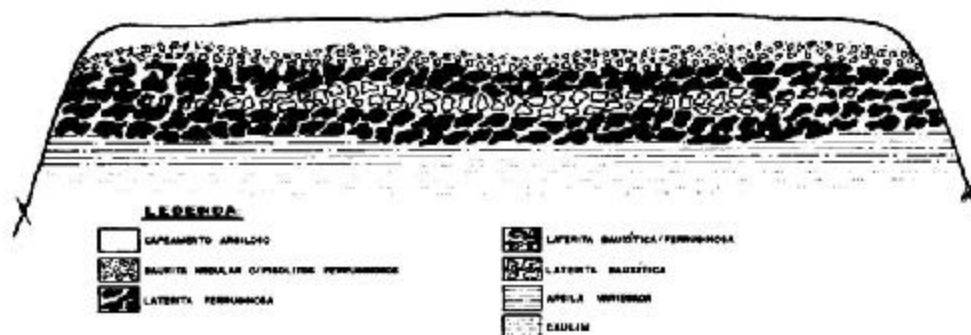
PERFIL ESQUEMÁTICO — ALMEIRIM



PERFIL ESQUEMÁTICO – ALMEIRIM



(Fig. nº 6)



(Fig. nº 7)

BIBLIOGRAFIA

- ASSAD, R. e ALMEIDA NETTO, A. P. – 1972 – *Prospecção Preliminar de Bauxita, Manaus – AM. DOCEGEO, Relatório Interno.*
- ASSAD, R. e ALMEIDA NETTO, A. P. – 1972 – *Prospecção Preliminar de Bauxita, Tucuruí – PA. DOCEGEO, Relatório interno.*
- ASSAD, R. – 1974 – *Projeto Específico Paragominas. Resultados da Pesquisa Preliminar do Setor Futuro. DOCEGEO, Relatório interno.*
- ASSAD, R. – 1975 – *Prospecção de Bauxita na Região de Paragominas (PA) que resultou na descoberta dos depósitos Jabuti-Futuro. Conferência na XVI Semana de Estudos promovida pela SICEG O. P.*
- ASSAD, R., ALMEIDA NETTO, P. A. e FARIAS, N.F. – 1975 – *Relatório Final de Pesquisa Preliminar – Almeirim-PA. DOCEGEO, Relatório interno.*
- FLEISCHER, R. e OLIVEIRA, P. V. – 1969 – *Bauxitas do Quadrilátero Ferrífero – Min. Met., vol. nº 295.*
- HARDER, E. C. e GREIG, E. W. – 1962 – *Bauxita, O Minério de Alumínio. SICEG O. P. Publicação especial.*
- MACIEL, P. – 1961 – *Prospecção e Lavra do Minério de Alumínio. Boletim II. Semana da SICEG O. P.*
- PETROBRÁS – 1973 – *Resumo de Litoestratigrafia da Bacia do Médio Amazonas – DIREX, SEGESUB.*

SÍNTESE DA GEOLOGIA DA MINA DE OURO DA BELA FAMA, NOVA LIMA — MINAS GERAIS

Abraão Gomes Torres

RESUMO

O trabalho tem por objetivo o mapeamento da mina de ouro da Bela Fama, situada no município de Nova Lima, Minas Gerais.

A referida mina localiza-se em terrenos constituídos por rochas metassedimentares e metavulcânicas pertencentes ao Grupo Nova Lima, unidade basal da Série Rio das Velhas. Litologicamente, os principais tipos de rochas são xistos, filitos, formações ferríferas, quartzo-dolomita-ankerita xistos e metaconglomerados. Essas rochas apresentam-se epimetamorfossadas na facies dos xistos verdes, e cortadas por diques de metadiabásio e veios de quartzo contendo carbonatos.

A mineralização de ouro situa-se em veios de quartzo encaixados em xistos e filitos ricos em carbonatos. A mina constitui-se de cinco zonas mineralizadas ou corpos de minério, lavrada em quatro níveis subterrâneos pelo método de realce aberto com pilar de segurança (open-stope).

Todos os níveis foram mapeados na escala 1:500 e posteriormente integrados num bloco diagrama na escala 1:1.000. Até o nível 4, a reserva total da mina é de 63.821 toneladas de minério com teor médio de 13g/t.

Os corpos de minério são constituídos por quartzo, pirita, galena, tetraedrita, dolomita, magnésita, sericita cromífera, grafite e albita. Eles são discordantes da xistosidade, mas concordam com o mergulho dos planos de acamamento dos xistos encaixantes. Foram reconhecidos veios de quartzo de três gerações, nos quais os pertencentes as duas gerações mais antigas apresentam-se mineralizadas em ouro. O estudo dos aspectos genéticos das mineralizações, favorecem a hipótese de uma origem por remobilização mesotermal.

ABSTRACT

This paper describes the geology of the Bela Fama gold mine, situated at Nova Lima, Minas Gerais.

The country rocks are formed by metasediments and metavolcanics of the Rio das Velhas series metamorphosed in green schists facies. The gold mineralization is in quartz veins, associated with carbonate paragenesis.

All the four mine levels were mapped and later integrated in a diagrammatic block, on 1:1.000 scale. Mineralogy and structural control of the Bela Fama ore are given and its genetical aspects discussed. A mesothermal remobilization origin is favored.

INTRODUÇÃO

A mina da Bela Fama localiza-se no município de Nova Lima, na porção noroeste do Quadrilátero Ferrífero, no sudeste de Minas Gerais (fig. 1).

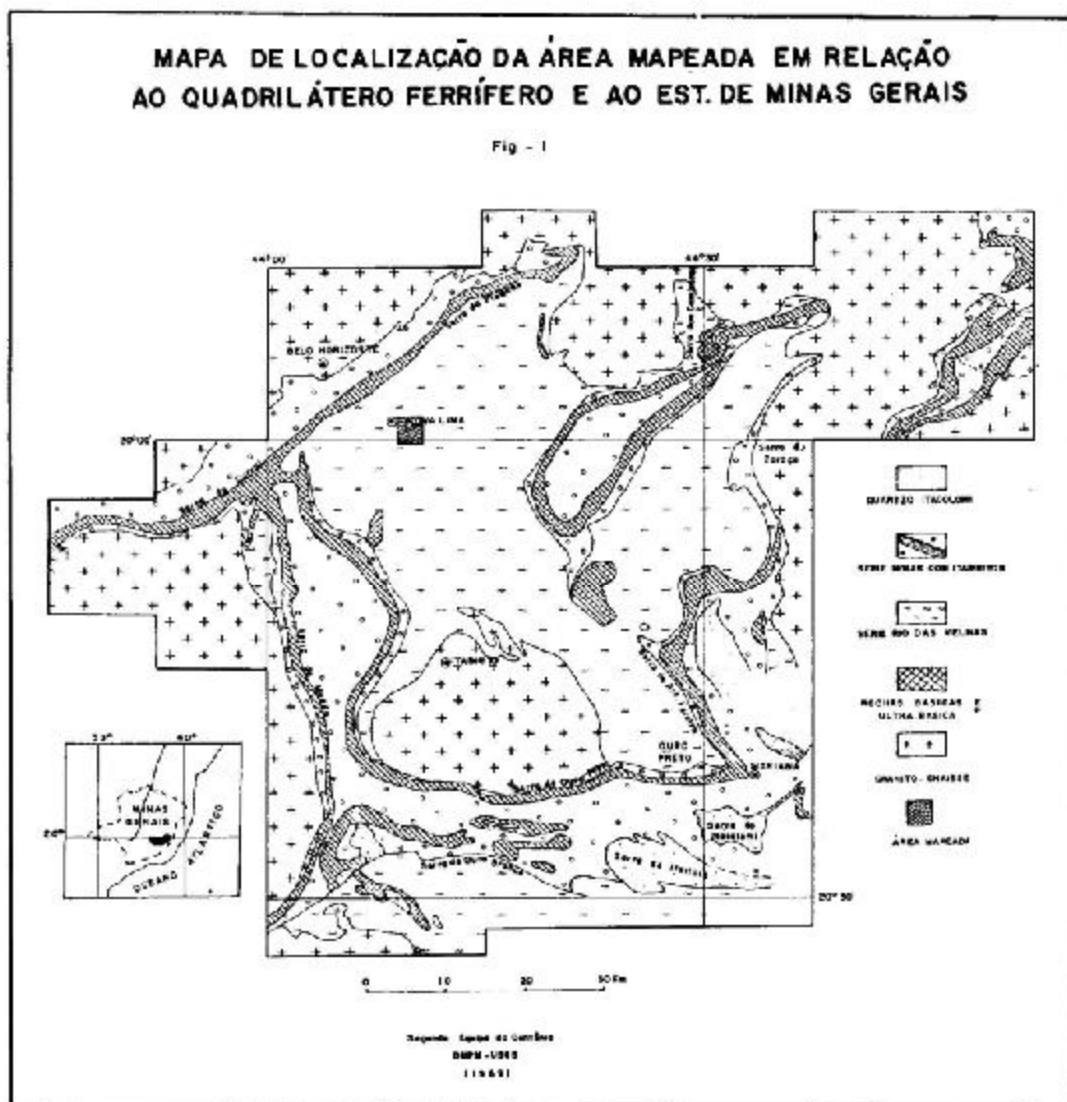
O objetivo do presente trabalho é o mapeamento geológico da referida mina, até então não mapeada.

O município de Nova Lima constitui-se no mais importante distrito aurífero do País. Nele estão localizadas as minas de Morro Velho, Raposos, Honório Bicalho, Faria, Esperança e Bela Fama, além de dezenas de ocorrências e velhas minas abandonadas.

Das minas em lavra são extraídas cerca de 1.700 t/dia de minério, com teor médio aproximado de 10g/t. O tratamento mecânico e metalúrgico desse minério enseja uma produção mensal de 420 kg de Au, 84 kg de Ag e 30 toneladas de As (Inf. verbais, 1975).

As principais mineralizações auríferas do mencionado distrito estão encaixadas em rochas do Grupo Nova Lima, unidade basal de Série Rio das Velhas (DORR, 1969). De acordo com a natureza litológica da encaixante, essas mineralizações podem ser classificadas em três tipos:

- 1) Mineralização de Au — Ag — As encaixadas em quartzo-dolomita-ankerita xistos ("lapa-seca"). Nesse tipo, os sulfetos são abundantes, constituem de 30% a 40% dos corpos de minério, e são representados principalmente por pirrotita, arsenopirita e pirita (CARMARGO, 1948). Exemplos: Mina de Morro Velho e Honório Bicalho.
- 2) Mineralização de Au — Ag — As encaixadas em formações ferríferas quartzo-sideríticas.



Nesse tipo, os sulfetos são mais escassos, constituem de 5% a 10% dos corpos de minério, e são representados principalmente por pirita, pirrotita e arsenopirita (TOLBERT, 1964). Exemplos: Mina de Raposos, Faria e Esperança.

- 3) Mineralização de ouro nativo em corpos de minério quartzo-pirritosos, encaixados em xistos também ricos em carbonatos. Nesse tipo de mineralização os sulfetos são raros, constituem de 1% a 10% dos corpos de minério, e são representados quase que exclusivamente por pirita. Exemplo: Mina da Bela Fama.

Dentro de uma visualização ampla, as mineralizações auríferas do distrito de Nova Lima são mais evidentemente controladas pelos seguintes fatores geológicos:

- Presença de metassedimentos ricos em carbonatos, como por exemplo, a "lapa-seca" e as formações ferríferas.
- Presença de diques de metadiabásio cortando metassedimentos ricos em carbonatos. Exemplo: Mina de Morro Velho, Raposos, Urubu, etc.
- Presença de veios de quartzo-escuro esfumado, cortando rochas metassedimentares ricas em carbonatos. Exemplo: Mina da Bela Fama e o corpo de minério Baú, da mina de Honório Bicalho.

Além desses fatores, um outro fato que se ressalta no distrito é o caimento (plunge) dos corpos de minério para uma direção que varia de N 85 E para S 85 E, e a redução de ângulo de caimento com a profundidade (GRATON et BJORGE, 1929; TOLBERT, 1964).

clásio 10%, quartzo 10% e 5% de acessórios. A associação mineralógica presente nos xistos e filitos metassedimentares, constituída de quartzo-sericita-clorita, com biotita e estilpnomelana associadas, indica que essas rochas são derivadas de sedimentos pelíticos, metamorfoseados epizionalmente na facies dos xistos verdes (MOOR-HOUSE, 1959). De idêntica maneira, a associação mineralógica presente nos xistos e filitos metavulcânicos, constituída de quartzo-albita-epidoto-biotita, contendo clorita, atesta que essas rochas também foram metamorfoseadas epizionalmente na facies dos xistos (TURNER-VERHOOGEN, 1963). O epidoto abundante acompanhado de albita, é típico de xistos verdes de baixo grau derivados de sedimentos tufáceos (WILLIAMS et ALLII, 1970).

Os **quartzo-dolomita-ankerita-xistos**, designados localmente de lapa-seca, ocorrem na área estudada como uma faixa individualizada de direção SE-NW, cortada por falhamentos de direção geral NE. Essas rochas assumem primordial importância local e regionalmente, porque se constituem em freqüentes hospedeiras de mineralizações de ouro e sulfetos. São rochas bem foliadas que apresentam, quando próximas de falhamentos, maior desenvolvimento de minerais micáceos e a seguinte composição modal: sericita e clorita 40%, dolomita e ankerita 30%, quartzo 25% e 5% de acessórios (grafite, magnetita, pirita e rutilo). A associação dolomita-quartzo-ankerita, indica que essa rocha se originou de calcários dolomíticos contendo impurezas de ferro, metamorfoseados em epizona na facies dos xistos verdes (WILLIAMS et ALLII, 1970).

Na área mapeada ocorre apenas uma lente bem individualizada de **formação ferrífera**. Essas rochas também se constituem em freqüentes hospedeiras de mineralizações auríferas, em escala regional. A rocha aflorante se apresenta bem intemperizada e semelhante aos itabiritos da Série Minas. Ao microscópio, essa rocha apresenta a seguinte composição modal: quartzo 40%, hematita 20%, goethita 35% e 5% de acessórios. Considera-se que a goethita provém da alteração da siderita e a hematita da magnetita (GAIR, 1962). Dessa forma, a rocha fresca seria uma formação ferrífera da facies quartzo-carbonato, semelhante aos depósitos de ferro do Lago Superior (MOOR-HOUSE, 1959).

Os **metaconglomerados** ocorrem como um único nível, intercalado nos xistos e filitos. No campo os afloramentos são escassos, e a rocha apresenta-se alterada e constituída por grãos e seixos de quartzo, óxido de ferro e faixas semiparalelas de sericita, que conferem xistosidade à mesma.

Cortando essa seqüência, ocorrem diques de **metadiabásio** que preenchem falhamentos de direção NE - SW e veios de quartzo. Os **diques de metadiabásio** apresentam uma incipiente xistosidade e estão aparentemente relacionados com algumas mineralizações de ouro da região. Observa-se que algumas mineralizações situam-se sempre próximas de diques, independentemente da litologia da rocha hospedeira. Os metadiabásios apresentam caráter tholeítico e a seguinte composição modal: epidoto 40%, anfibólio 35%, piroxênio 10%, clorita 10% e 5% de minerais acessórios.

Quanto aos **veios de quartzo**, eles são abundantes em toda a área. Ocorrem com espessura variando desde centímetros até 1 metro, discordantemente da xistosidade das encaixantes. Verificou-se que há três gerações de quartzo na área em estudo. Uma cinza escura, mais antiga, que nunca exhibe desenvolvimento macroscópico de cristais e que apresenta-se sempre, nos locais mineralizados, mais ricos em ouro. Outra constituída por quartzo branco, que forma drusas e agregados cristalinos, contendo carbonatos, sulfetos e, por vezes, ouro. E a mais recente, sempre estéril, constituída por quartzo branco de textura sacaroidal.

GEOLOGIA DA MINA

Desde o século XVIII são conhecidos registros sobre mineralizações de ouro na então cata da Bela Fama. A origem do topônimo advém de uma antiga fazenda, onde hoje situa-se a vila da Bela Fama, localizada a cerca de 1 km ao sul da atual mina.

Na escala do distrito, a mina da Bela Fama é uma pequena jazida de ouro livre, formada por cinco zonas mineralizadas dispostas entre si segundo a direção N - NW, com direção de caimento variando de N 85 E a N 87 E. Entretanto, o caimento segundo a direção N 85 E é o mais constante. O ângulo de caimento também apresenta pequenas variações, tendendo a se reduzir com o aumento da profundidade.

A mina é lavrada subterrânea e ascendentemente pelo método de realca aberto com pilar de segurança (open-stope), em quatro níveis, e tem reserva total de 63.821 toneladas de minério, com teor médio de 13,3 g/t.

Os corpos de minério são constituídos de quartzo escuro esfumado, quartzo branco leitoso, carbonatos e sulfetos na seguinte proporção: quartzo 80% a 90%, carbonatos 5% a 10%, sulfetos 1% a 10%. Eles têm forma colunar ou venular e prolongam-se regularmente no sentido do caimento. Observações feitas em realces lavrados entre os quatro níveis, mostram que, segundo o caimento, os corpos de minério têm aspecto de rosário.

O ouro concentra-se sobretudo no quartzo escuro esfumado, que não apresenta desenvolvimento de cristais e presença de carbonatos ou sulfetos. Ao contrário do quartzo branco leitoso,

que corta o quartzo escuro e que, normalmente, apresenta teor mais baixo em ouro, cristais centimétricos em drusas e está associado a sulfetos e carbonatos.

O teor de ouro na mina é extremamente errático. Ele varia de 2,5 g/t (Zona C, nível de entrada), até 23,6 g/t (Zona C, nível 4). Entretanto, sabe-se que o ouro apresenta uma maior concentração, quando um corpo tende a se fechar entre dois níveis.

Apesar da existência nítida de duas diferentes espécies e gerações de quartzo na mina (a terceira geração não foi observada macroscopicamente no interior da mesma), não foi possível mapeá-las separadamente, mesmo na escala 1:500.

Os corpos de minério estão encaixados em xistos metassedimentares ricos em carbonatos, que são as rochas do teto e do muro dos mesmos. O contato entre os corpos de minério e a rocha encaixante é brusco e discordante (figs. 4, 5, 6, 7 e 10). E, algumas vezes, observa-se a presença de blocos ou lentes do xisto encaixante no interior dos corpos de minério. Foram mapeadas, com trena e bússola, algumas dessas lentes no subnível 4, zonas A e B, na escala 1:100 (figs. 8 e 9).

Na zona de contato entre os xistos encaixantes e os corpos de minério, ocorrem faixas de uma rocha escura, essencialmente carbonatada, contendo grafite e feno-cristais de carbonato. Essas rochas, juntamente com os veios de quartzo, são as únicas rochas não xistosas observadas no interior da área estudada, e também são discordantes dos xistos encaixantes. Como as rochas carbonáticas são caracteristicamente recristalizadas ao longo de um veio ou próximas de contato ígneo (PARK et MACDIARMID, 1970), ela pode expressar as condições térmicas da "mise en place" dos veios e corpos de minério quartzosos da mina da Bela Fama.

A estrutura dos corpos de minério é brechóide. Diversas evidências de cisalhamento foram observadas no interior da mina, principalmente entre as zonas A e E. Entretanto, as mineralizações não parecem estar associadas a falhamentos, nem preencher fraturas. O estudo da distribuição estatística das juntas, utilizando-se a representação estereográfica polar na sede de Schmidt, mostra que elas têm em média as seguintes direções e mergulhos:

N 46 E, mergulhando de 49° para S 44 E.

N 14 W, mergulhando de 60° para S 76 W.

N 50 W, mergulhando de 84° para S 40 W.

Como se observa, não foram detectadas juntas mergulhando segundo o caimento geral dos corpos de minério. Porém, foi observado que os corpos de minério concordam com o mergulho dos planos de acamamento dos xistos encaixantes.

A associação mineralógica presente nos corpos de minério é constituída por ouro, pirita, galena, tetraedrita, quartzo escuro esfumaçado, quartzo branco leitoso, dolomita, magnetita, sericita-cromífera, grafite e albita (determinados difratometricamente e ao microscópio). Foram observadas mais de uma geração de sulfetos e de carbonatos. A rocha encaixante se altera no contato com os corpos de minério; as principais alterações são a carbonatação e a sericitização.

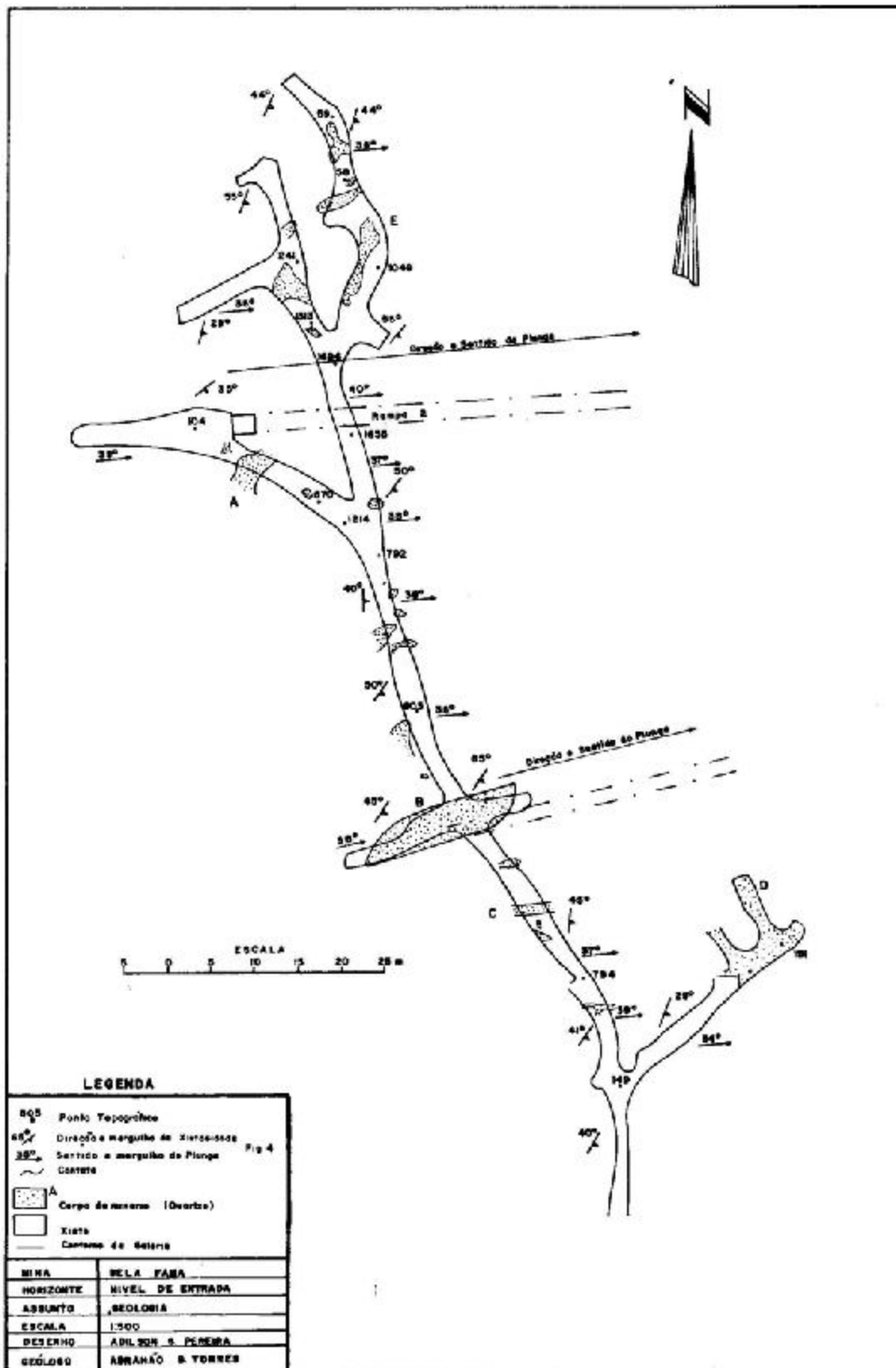
O ouro ocorre junto com quartzo escuro (zonas de alto teor) e com quartzo branco (zona de teor mais baixo). Esses dois tipos de quartzo pertencem a duas diferentes gerações. Uma corta a outra e têm associações mineralógicas distintas.

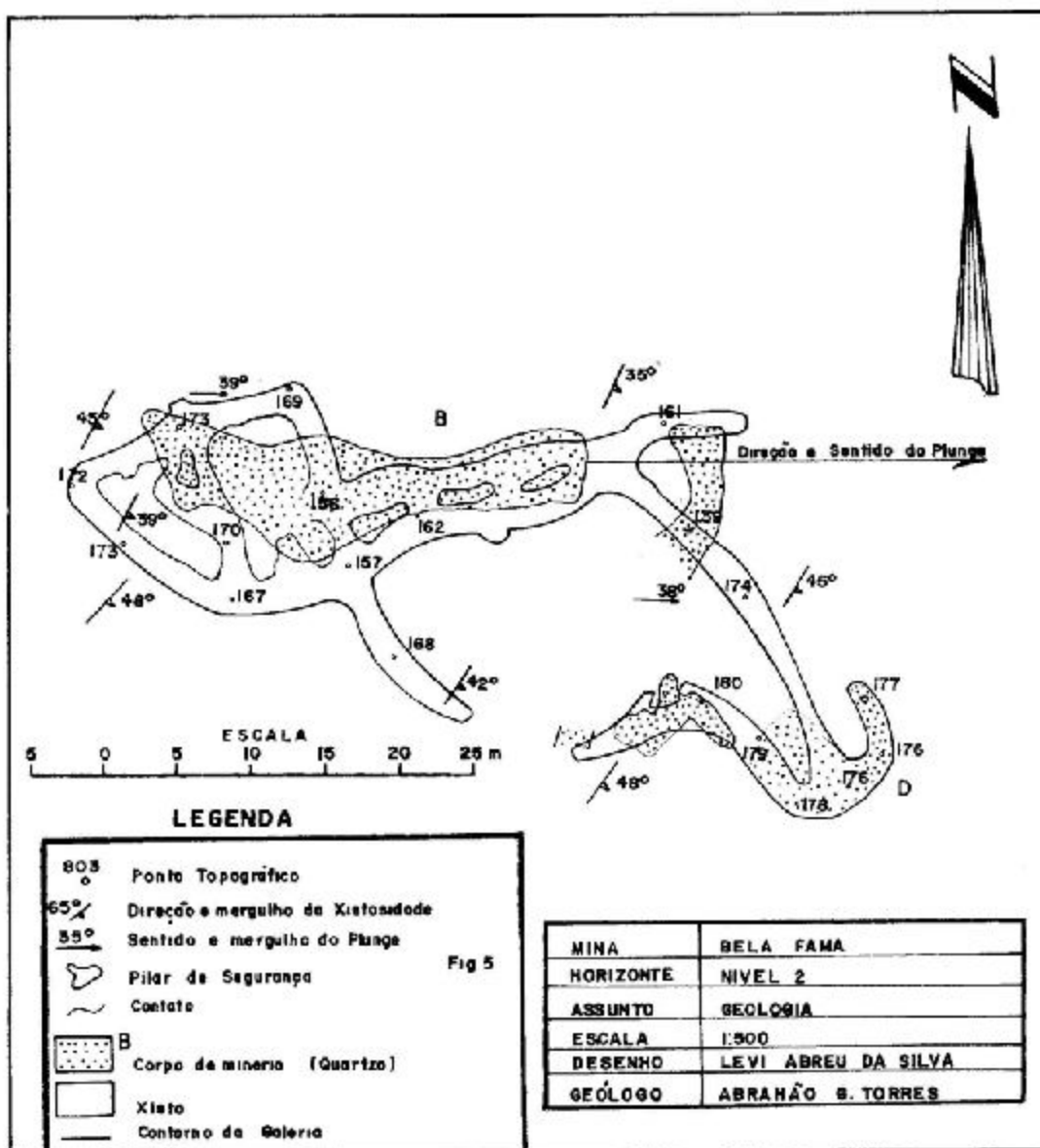
Os corpos de minério tendem a convergir com o aumento da profundidade (figs. 4, 7 e 10), e se tal tendência persistir, eles poderão se encontrar em níveis mais profundos. Por outro lado, como mostram as figuras 4 e 7, há uma tendência de diminuição do ângulo de caimento com o aumento de profundidade. Se essa tendência também persistir ou se acentuar, a rampa 2 correrá o risco de passar por baixo das zonas mineralizadas em níveis mais profundos.

Porque até o nível 4 não há mudanças surpreendentes na forma dos corpos mineralizados, nem bruscas mudanças mineralógicas na sua composição ou decréscimos do teor médio de ouro, supõe-se que a exaustão da mina não se verifique próximo do referido nível (MCKINSTRY, 1962). Nesse sentido, adiantamos que o nível 5 já foi desenvolvido e as zonas A e B encontradas na posição prevista.

HIPÓTESE SOBRE A ORIGEM DAS MINERALIZAÇÕES

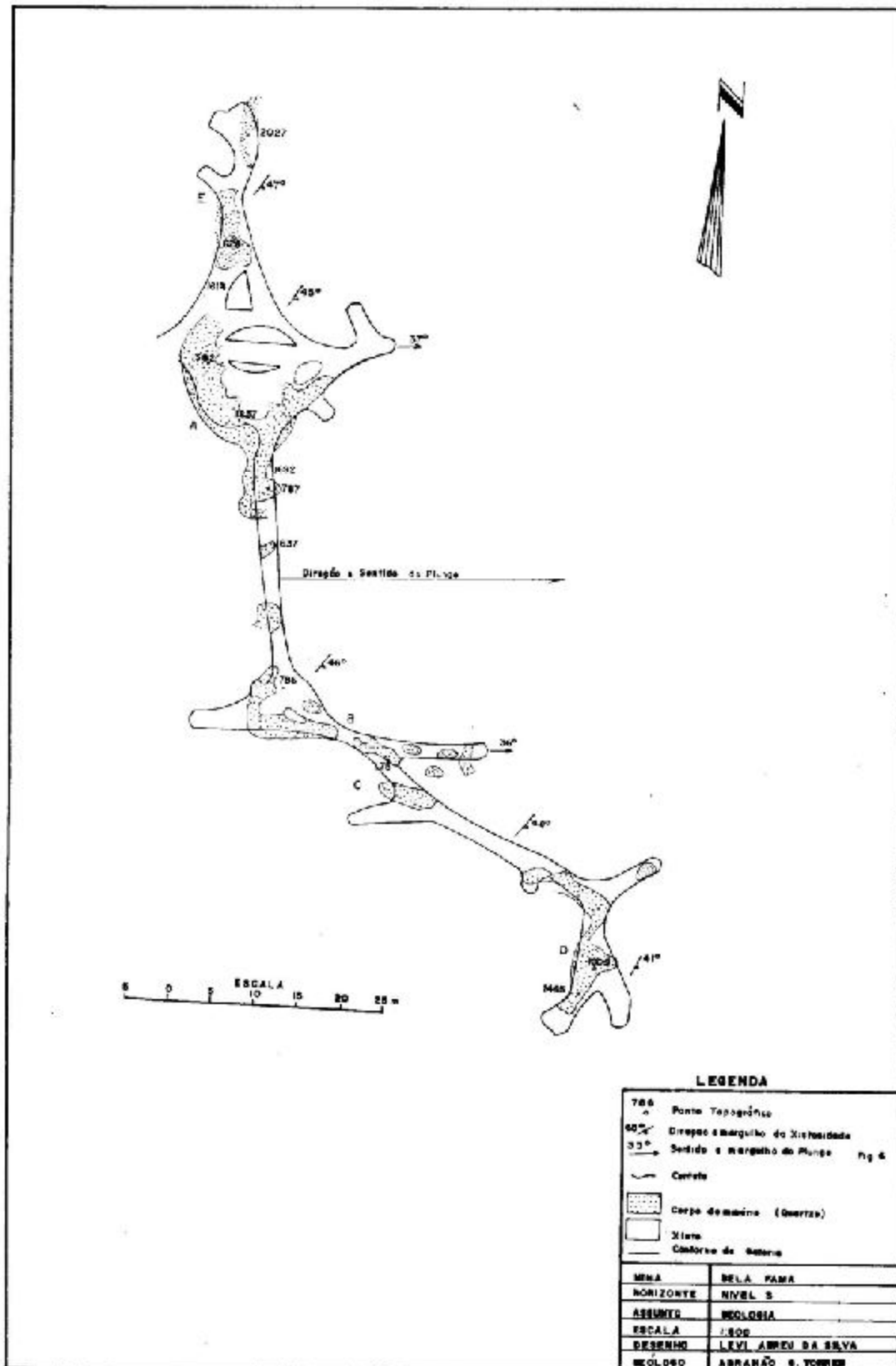
Como visto, a forma, comportamento espacial e relações estruturais entre os corpos de minérios e a encaixante, sugerem que as mineralizações da mina da Bela Fama são de origem epigenética. Por outro lado, em relação a paragênese, a tetraedrita é um mineral típico de veios hidrotermais de temperatura baixa ou moderada (PALACHE et ALLI, 1944). O quartzo esfumaçado, cuja cor é geralmente devida a bombardeio radioativo também (PARK et AL, 1970). A formação de sericita e carbonatos no contato com os corpos de minério, também são alterações típicas dos processos mesotermiais (ROUTHIER, 1963). Quanto ao cromo da sericita, ele poderia ser remobilizado das rochas encaixantes ricas em Cr (TOLBERT, 1964). A mobilidade geoquímica do cromo diante de processos hidrotermais e a presença de minas cromíferas em depósitos hidrotermais, são fatos bem conhecidos (GOLDSCHMIDT, 1958). Em relação à grafite, acredita-se que esse mineral seja

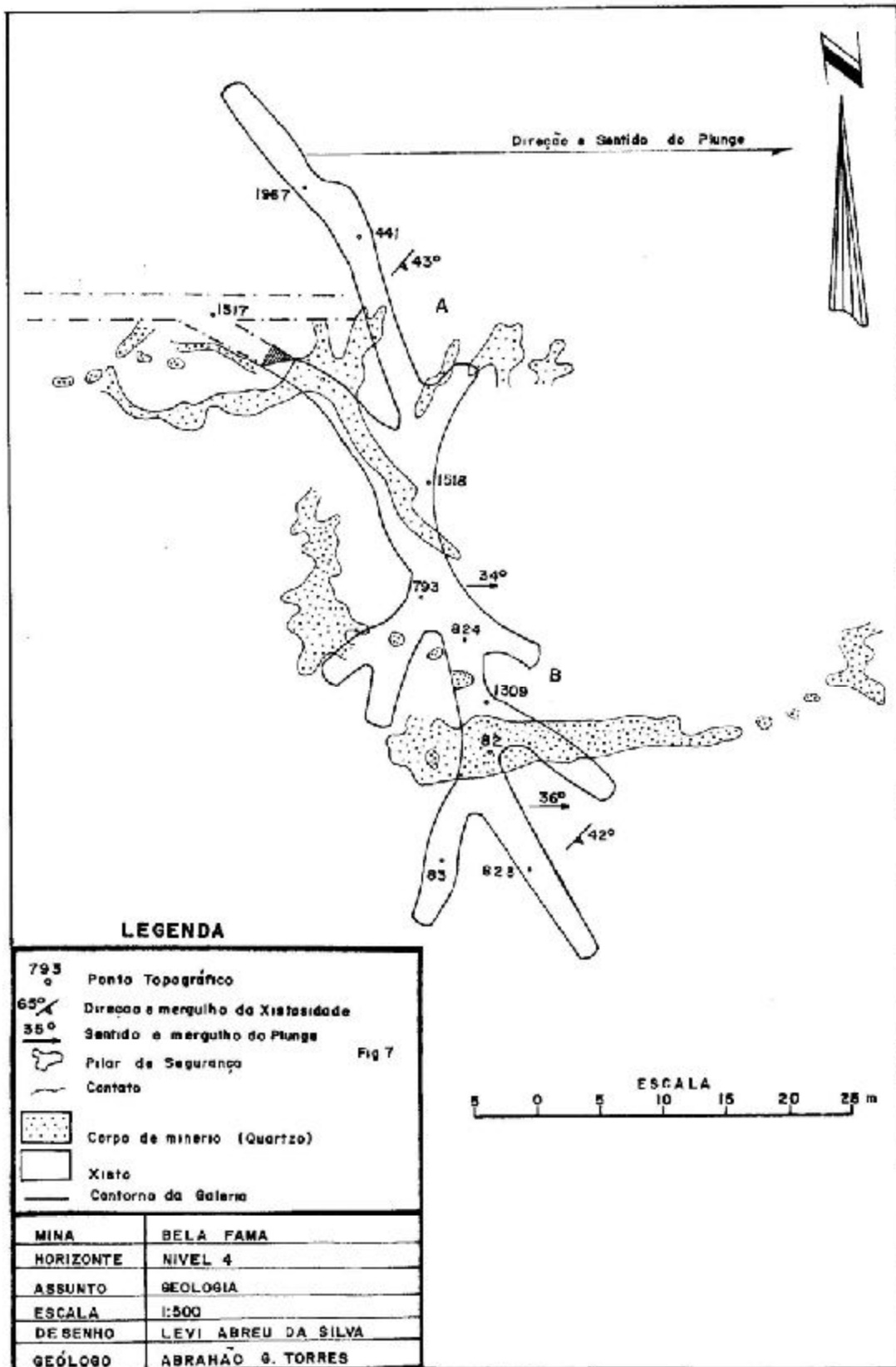


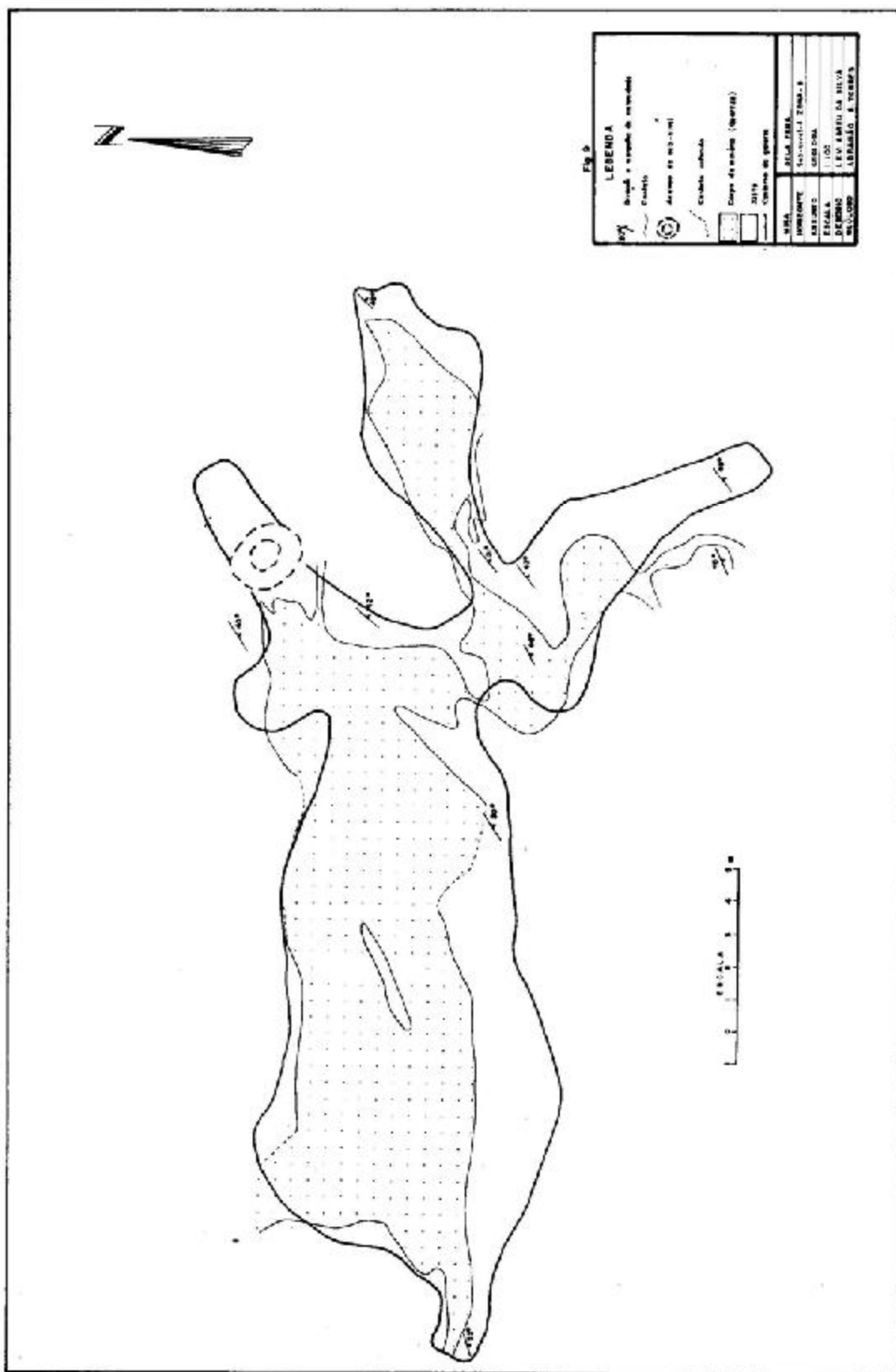


proveniente de sedimentos hidrocarbonos, como os que existem na região, que foram assimilados por soluções mineralizantes e reduziram essas soluções. Como produto dessa redução, teríamos grafite, ouro e sulfetos (EMMONS, 1937; JENSEN, 1967). E, a própria associação paragenética presente, caracteriza a mineralização discutida como do tipo ouro em veios de quartzo pirítico. Associação típica dos processos mesotermiais (DOROKHINE et ALLII, 1967).

A ausência de zonação periplutônica no interior da mina, bem como a ausência de granitos nas proximidades da mesma, indicam que a mineralização da Bela Fama não está associada a plutons graníticos. Durante algum tempo supôs-se que, a inexistência de plutons graníticos nas imediações ou no interior do distrito, fosse um fator limitante da hipótese da gênese das mineralizações do mesmo por soluções hidrotermais. Porém, tal fato não restringe a origem considerada. A expressão solução hidrotermal não possui conotações genéticas com plutons. A expressão define as condições de ambiente, de tempo e de lugar da deposição final. Não o processo geológico que lhe deu origem (PARK et MACDIARMID, 1970). As mineralizações epigenéticas hidrotermais não são necessariamente devidas a circulações hidrotermais ligadas a plutons graníticos. Elas podem ser devidas a circulações aquosas sem ligações com plutons, mas associadas a deformações estruturais ou ao metamorfismo (ROUTHIER, 1963). Portanto, a expressão solução hidrotermal, usada sem o adjetivo magnético, não implica que a solução foi separada de um magma (NIGGLI, 1954).







Vários autores, em diferentes partes do mundo (SHAND, 1943; BROWN, 1965; LOVERING, 1963; KRAUSKOPF, 1967), têm atribuído a origem de algumas mineralizações de ouro e/ou sulfetos à ação de águas originais do solo, do subsolo ou conatas. Essas águas, regra geral, contêm grandes quantidades de sais solúveis que, quando ativadas e colocadas em movimento por ação de processos tectônicos ou do metamorfismo regional, tornar-se-iam fortes solventes e tenderiam a remover metais das rochas percoladas. A existência de vazios gerados por processos geológicos, propiciaram espaços ao longo dos quais os metais e fluidos metamórficos se deslocariam e redepositariam produzindo um sistema hidrotermal.

Dessa forma, a mineralização da mina da Bela Fama pode ter sua origem proveniente da ação de águas conatas, do solo do subsolo, ou de água originalmente parte constituinte dos minerais, que seriam ativadas durante ciclos metamórficos subsequentes. O ouro e outros metais seriam remobilizados dos metassedimentos carbonatados do Grupo Nova Lima. Como as rochas do mencionado grupo sofreram a ação de vários metamorfismos (GUIMARÃES, 1935, 1966, 1970), isto explicaria a reincidência dos processos de mineralização, com quartzo de várias gerações.

Ressalte-se que GUIMARÃES et BARBOSA já haviam observado a superposição dos processos de mineralização no distrito de Nova Lima desde 1935. E que, a opinião muitas vezes expressa de que o ouro se origina de um único, especial e independente processo de mineralização, não é sustentável para as mineralizações de ouro associado a sulfetos (RAMDHOR, 1969).

Registros de determinações existentes no Laboratório de Geofísica do Instituto Carnegie, em uma amostra de minério proveniente da mina de Morro Velho, usando o geotermômetro pirrotita - pirita - mostram que a temperatura mínima de cristalização desses sulfetos é de 325° (GAIR, 1962). Mas, na mina da Bela Fama não existe pirrotita associada às fases de mineralização, e sim pirita, que se cristaliza numa temperatura inferior e da pirrotita (KULLERUD, 1959). Tal fato, associado a ausência de fenômenos epitermais reforça a possibilidade de se supor condições mesotermiais durante a "mise en place" das soluções mineralizadoras.

Quanto à idade da mineralização, a regularidade e constância da forma e conteúdo dos corpos de minério segundo o caimento (plunge), sugerem que seja posterior ao metamorfismo Minas. Pois, é possível projetar os corpos de minério para os níveis imediatamente inferiores e encontrá-los geometricamente na posição e forma previstas.

Portanto, concluindo, o estudo da forma, comportamento espacial, conteúdo metálico, paragenese, relações texturais e estruturais dos corpos de minério, induzem à hipótese de que a mineralização da mina da Bela Fama é uma mineralização epigenética, originada por remobilizações mesotermiais, nas quais as soluções mineralizadoras preencheram, per ascensum, espaços vazios segundo o mergulho dos planos de acamamento das rochas encaixantes.

BIBLIOGRAFIA

- BROWN, J.S. — 1965 — *Oceanic Lead Isotopes and Ore Genesis*. *Ecn. Geology*, v. 60, p. 47-58.
- CAMARGO, W.G.R. — 1948 — *Sobre o Minério da Mina de Morro Velho*. *Rev. Min. e Metal.* Vol. XIII, nº 74.
- DORR, J.V.N. — 1969 — *Physiographic, Stratigraphic and Structural Development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil*. U.S.G.S. Professional Paper 641-A.
- DOROKHINE, I. et ALLII — 1967 — *Gisements de Minéraux Utiles et leur Prospection*. Editions MIR, Moscou. Traducción.
- EMMONS, W.H. — 1937 — *Gold Deposits of the World*. Mc Graw — Hill Book Company, First Edition, New York.
- GAIR, J.E. — 1962 — *Geology and Ore Deposits of the Nova Lima and Rio Acima Quadrangles, Minas Gerais, Brasil*. U.S.G.S. Professional Paper 341-A.
- GOLDSCHMIDT, V.M. — 1958 — *Geochemistry*. Second Edition. Oxford University. Great Britain.
- GRATON, L.C. and BJORGE, G.N. — 1929 — *Report on the Geology and Prospects of the Morro Velho mine and the Espírito Santo, Raposo and Morro das Bicas Prospects*. *Mineração Morro Velho*. Inédito.
- GUIMARÃES, D. et BARBOSA, O. — 1935 — *Contribuição ao Estudo de Origem dos Depósitos de Minério de Ferro e Manganês do Centro de Minas Gerais*. D.N.P.M. — S.F.P.M. Boletim nº 8, pgs. 27-41.
- GUIMARÃES, D. — 1966 — *Contribuição ao Estudo do Polimetamorfismo da Série Minas*. D.N.P.M. — D.F.P.M. Avulso nº 90.
- GUIMARÃES, D. — 1970 — *Arqueogênese do Ouro na Região Central de Minas Gerais*. D.N.P.M. — D.F.P.M. — Boletim nº 139.
- JENSEN, M.L. — 1967 — *Sulfur Isotopes and Mineral Genesis*. In *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, p. 143-164. Edited by Barnes. New York.
- KRAUSKOPF, K.B. — 1967 — *Source Rocks for Metal — Bearing Fluids*. In *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, p. 1-28. Edited by Barnes. New York.
- KULLERUD, G. — 1959 — *Sulfide Systems as Geological Thermometers*. In *Researches in Geochemistry*. Edited by Abelson. John Wiley and Sons, London.
- LOVERING, T.S. — 1963 — *Epigenetic, Diagenetic, Singenetic and Lithogene Deposits*. *Ecn. Geology*, vol. 58, p. 315-331.
- MCKINSTRY, H.E. — 1961 — *Geologia de Minas*. Ediciones Omega, Barcelona. Traducción.
- MOORHOUSE, W.W. — 1959 — *The Study of Rocks in Thin Section* — Harper and Brothers, New York.

- NIGGLI, P. - 1954 - *Rocks and Mineral Deposits*. Freeman and Company. San Francisco. Translation.
- PALACHE, C., BERMAN, H. and FRONDEL, C. - 1944 - *Dana's System of Mineralogy*. Vol. 1. Seventeenth Edition. John Wiley and Sons.
- PARK, C. and MACDIARMID, R.A. - 1970 - *Ore Deposits*. Freeman and Company. San Francisco. Second Edition.
- RAMDHOR, P. - 1969 - *The Ore Minerals and their Intergrowths*. Pergamon Press. Oxford.
- ROUTHIER, P. - 1963 - *Les Gisements Metallifères*. *Geologie et Principes de Recherche*. Vol. 1. Masson et Cie. Paris.
- SHAND, S.J. - 1943 - *Eruptive Rocks, Their Genesis, Composition and classification, with a chapter on meteorites*. John Wiley and Sons. New York.
- TOLBERT, G.E. - 1964 - *Geology of the Reposos gold mine, Minas Gerais, Brazil*. *Econ. Geology*, v. 59, nº 5, p. 775-798.
- TORRES, A.G. - 1975 - *Geologia da Mina de Ouro da Bela Fama, Nova Lima, Minas Gerais*. Dissertação de Mestrado, U.F.R.J. (inédito).
- TURNER, F.G. et VERHOOGEN, J. - 1963 - *Petrologia ignea y Metamórfica*. Ediciones Omega. Barcelona. Traducción.
- WILLIAMS, H., TUENER, F.J. et GILBERT, C.M. - 1970 - *Petrografia*. Editora Polígono. S. Paulo. Tradução.

DESCRIÇÃO DA PRIMEIRA JAZIDA BRASILEIRA DE TURQUESA

J. P. Cassedanne *

J. O. Cassedanne *

ABSTRACT

This occurrence lies in the North of Pau-a-Pique and west of Juazeiro, on the left side of the São Francisco River (Casa Nova township, State of Bahia), in white homogeneous quartzite belonging to Precambrian C, the main regional rock of which being a biotitic gneiss. It is a shearing zone running N30° W, strongly dipping SE, 1 to 5 meters width, partially caved by differential erosion and subsequently filled with heterogeneous material in a buff cement.

Fissures of the host rock and vugs of the sheared zone filling was subsequently invaded "per descensum" by turquois.

Mining is by "garimpagem" and workings are only a long trench and small pits.

Paragenesis includes: millisite, variscite, ferrian variscite and turquois and their alteration products: mainly limonite. The whole is very typical of arid environment and superficial deposition.

Physical properties and X-Ray diffractometry of the turquois are quoted. This gem has generally a spherulitic texture. Sky blue nodules and veinlets are uncommon, the mineral being generally green bluish and mixed with limonite. White phosphates and/or quartz make the lapidation uneasy.

Genesis of the occurrence is discussed.

RESUMO

A jazida situa-se ao Norte de Pau-a-Pique e a Oeste de Juazeiro, na margem esquerda do Rio São Francisco (Município de Casa Nova, Bahia).

Encontra-se encaixada num quartzito branco homogêneo, do Pré-cambriano C indiferenciado, cuja rocha regional principal é um gnaisse biotítico, e corresponde a uma zona fraturada de direção geral N30° W com forte mergulho SE. Possante de 1 a 5 metros ela foi cavada por erosão diferencial e posteriormente preenchida por material heterogêneo variavelmente agregado por um cimento de coloração bege.

As fissuras da rocha encaixante e as cavidades do preenchimento da falha foram depois invadidas "per descensum" por turquesa.

A exploração, por garimpagem, limita-se a uma longa trincheira e vários poços irregulares.

A paragenese inclui: milisitite, variscita, variscita ferrifera e turquesa, além de seus produtos de alteração (principalmente limonita). O conjunto, é típico de ambiente árido e deposição superficial.

As propriedades físicas e difratométricas da turquesa são dadas. É uma gema cuja textura geralmente esferulítica. Nódulos e vênulas azul celeste são pouco frequentes; o mineral apresenta-se geralmente azul-esverdeado, misturado com limonita, fosfatos esbranquiçados e/ou quartzo que tornam sua lapidação mais difícil.

A origem da jazida é discutida.

LOCALIZAÇÃO

Essa jazida, nas vizinhanças da cota 420, fica ao Norte do povoado de Pau-a-Pique (Município de Casa Nova) na localidade de Serrote da Lagoa Seca.

Está situada no extremo NW do Estado da Bahia, ao NW de Senhor do Bonfim e a Oeste de Juazeiro, no sopé meridional de uma pequena elevação rochosa dominando a vasta planície que desce suavemente até o Rio São Francisco.

MEIOS DE ACESSO

O acesso é fácil a partir de Petrolina (cota 380) pela estrada de Ramanso até o povoado de

* C. N. Pq & Instituto de Geociências — Universidade Federal do Rio de Janeiro
Cidade Universitária — Ilha do Fundão — Rio de Janeiro.

Barragem (129 km-510 m). Deste ponto uma estrada municipal arenosa, passa perto da jazida (38 km do entroncamento-425 m) e atinge Pau-a-Pique (45,5 km-390 m), via São Paulo e Barreiro. Uma trilha carroçável de 1 km permite chegar até a lavra.

CONTEXTO REGIONAL

As vizinhanças da jazida, áridas, são cobertas pela caatinga pouco densa que cresce sobre um solo pedregoso. A água é rara e os riachos são do tipo "oued". A população, pobre, vive mal de criação extensiva.

Os afloramentos são pouco freqüentes nessa planície arenosa com crostas lateríticas e apresentam-se como pequenas elevações isoladas constituídas geralmente por gnaisses e quartzitos.

Essas rochas pertencem ao Pré-cambiano C indiferenciado, cuja idade seria superior à 2.200 m. a. (M. A. L. Bruni & alii. - 1974), provavelmente equivalente lateral do Grupo Caraíba descrito mais a Leste (O. Barbosa - 1965). Elas constituem o substrato regional sobre o qual repousam ao Sul e ao Norte formações mais recentes. O conjunto, dobrado de um modo complexo segundo uma direção geral NE-SW, é metamórfico, de facies almandino-antibólito.

A rocha predominante é um gnaiss biotítico bege claro, associado à quartzitos, leptinitos, anfibólitos e micaxistos com núcleos graníticos. Lentes de piroxenitos existem localmente, assim como itabiritos associados à xistos de tipos diversos e alguns veios de pegmatitos.

DESCRIÇÃO DA JAZIDA

Ela corresponde, essencialmente, dentro de quartzitos, a uma zona tectonizada a ongada de direção N30° W, de 1 a 5 metros de largura e cujo mergulho de 70 a 80° SE inclina-se para 60° no SSE. A erosão diferencial entalhou irregularmente essa faixa de menor resistência, cujas cavidades foram posteriormente preenchidas por pedaços angulosos desmoronados e fragmentos arredondados, o conjunto sendo variavelmente cimentado por produtos superficiais amarronzados que serão descritos mais adiante. Grandes blocos de quartzo cinza-azulado cataclazado são localmente abundantes na zona fraturada onde um depósito branco de aspecto argiloso concentra-se principalmente ao SSE.

Fissuras e cavidades da rocha tanto encaixante como tectonizada foram posteriormente invadidas "per descensum" por turquesa. Esta, cujo estudo pormenorizado é assunto da última parte desse trabalho, apresenta-se em massas compactas ou porosas, em veios, em crostas em volta de núcleos pouco consolidados ou em fragmentos irregulares, incluídos no preenchimento secundário da faixa falhada. Ela é freqüentemente associada intimamente à quartzo e minerais ferríferos.

Ao Sul de uma pequena elevação quartzítica, os trabalhos de desmonte limitam-se à uma série de escavações irregulares, hoje desmoronadas e, seguindo a falha, a uma trincheira. Naquela, profunda de 6 metros (com um poço de 10 ao SSE), e comprida de uns 30 metros, se concentra toda a atividade atual (Figuras 1 e 2).

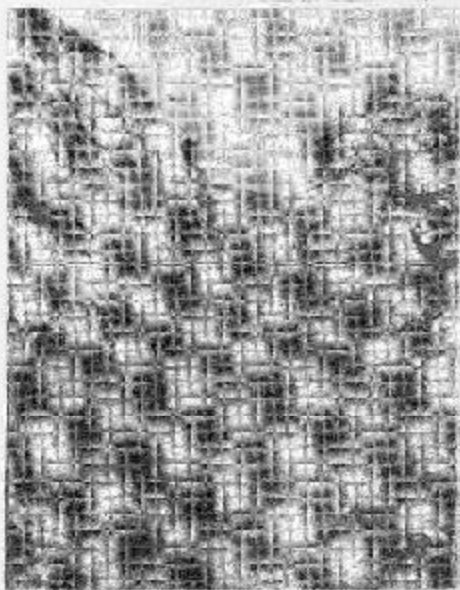


FIGURA 1

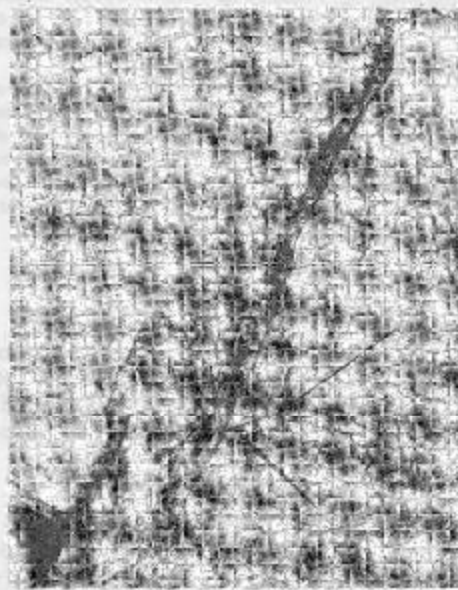


FIGURA 2

No sopé Norte da mesma elevação poços antigos teriam, somente, produzidos turquesa de qualidade inferior.

A jazida é conhecida há mais de 10 anos, porém sua exploração ativa por alguns garimpeiros, após uma parada de 3 a 4 anos só iniciou realmente em 1973. A medida que a trincheira se aprofunda a qualidade da gema vai diminuindo notavelmente o que não afasta a possibilidade de nova paralisação.

ROCHA ENCAIXANTE E PARAGÊNESE

1 - ROCHA ENCAIXANTE

A elevação cortada pela falha é constituída por um quartzito branco leitoso homogêneo, geralmente bastante resistente e que permanece em relevo, mais raramente friável.

No microscópio mostra-se formado por um mosaico de grãos de tamanho variável, com contornos denticulados, apresentando uma freqüente extinção ondulante. As inclusões são abundantes, ao inverso dos minerais opacos.

2 - O PREENCHIMENTO DA FALHA.

Bastante heterogêneo, o preenchimento é constituído de quartzo e quartzito, de pedaços de turquesa e de fragmentos de uma rocha de coloração bege. O conjunto é variavelmente cimentado por fosfatos, limonita e argila (essencialmente caolinita). Os principais minerais que foram determinados serão rapidamente descritos, a seguir. Suas misturas são freqüentes.

Millisita $(Na,Ca)Al_3[(OH,O)_4(PO_4)_2] \cdot 2H_2O$

ficha A. S. T. M. 13-0370

Esse mineral, do grupo da wardita, é muito abundante, porém, sempre intimamente associado à caolinita. Ele forma ou espessas crostas ou depósitos tufáceos.

As crostas maciças, cuja espessura pode ultrapassar vários centímetros, são de coloração branco-creme, e atapetam as cavidades do preenchimento da falha e do quartzito encaixante, ou formam vênulas irregulares que atravessam a turquesa. Quebram-se em escamas e apresentam uma fratura conchoidal. Esporadicamente fragmentos ondulados de crostas são envolvidos por um cimento bege de variscita ferrífera (vide adiante).

Os depósitos porosos, branco ou bege-claro, com estrutura vesicular incluem pequenos oolitos, partes listradas, e numerosos fragmentos angulosos de quartzo. Suas cavidades, com numerosas fendas de desidratação, apresentam protuberâncias irregulares.

Finalmente, delgados filmes pulverulentos, de cor lilás, ocorrem excepcionalmente nas cavidades do caulim. São sempre associadas à quartzo e turquesa.

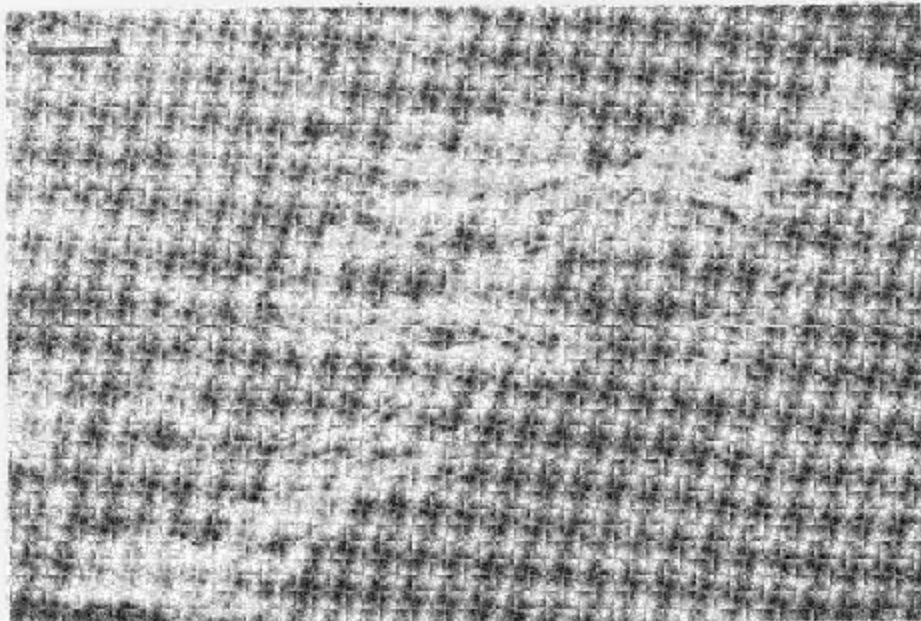


FIGURA 3

Variscita $\text{Al}[\text{PO}_4]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ficha A. S. T. M. 19-0039

Abundante, ela constitui uma película fina separando ou a turquesa das crostas de millisita, ou essa última do cimento bege de variscita ferrífera. Atravessa também em delgadas vênulas a turquesa.

Branca a translúcida, com uma estrutura mamelonar, ela envolve muitas vezes núcleos de limonita porosa. Minúsculos cristais hialinos atapetam certas drusas.

Variscita ferrífera $(\text{Al}, \text{Fe}^{++})[\text{PO}_4]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ficha A. S. T. M. 7-0069

Esse mineral forma uma massa vacuolar bege preenchendo parcialmente as cavidades da faixa tectonizada e incluindo numerosos fragmentos estranhos: entre outros, grãos e pedaços angulosos de quartzo e de turquesa (Figura 4). Filmes de millisita associada à caulim atapetam suas cavidades. Sua estrutura é geralmente esferulítica.

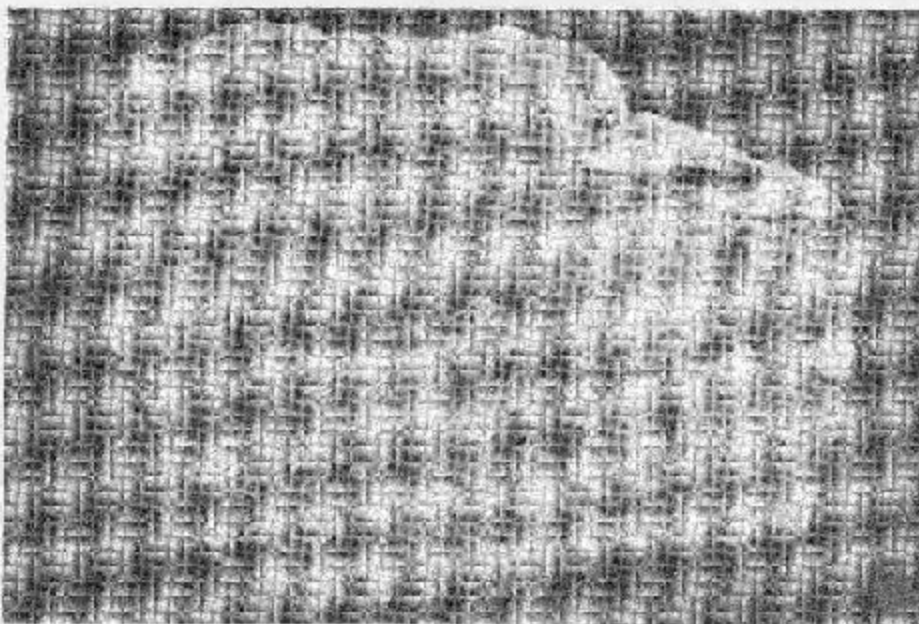


FIGURA 4

Localmente as cavidades da falha são preenchidas por granulos arredondados multacentimétricos, envolvidos por uma massa mais friável. O conjunto é de cor bege-escuro a castanho-ocre com um reflexo esverdeado. No afloramento a tonalidade muda para o marron com faixas de cor mostarda. Numerosos pedaços de quartzo estão incluídos neste cimento, recente, onde a turquesa é ausente. A cor mais ou menos pronunciada é devida a abundância relativa do caulim (e da millisita) e da limonita, último produto da alteração da variscita ferrífera que constitui o essencial do preenchimento.

Finalmente, aquela forma localmente manchas amareladas a esverdeadas, pulverulentas, nas cavidades do quartzito.

Limonita e óxidos de manganês.

A limonita é abundante em crostas, vênulas e filmes terrosos, maculando os outros minerais.

Os óxidos de manganês constituem dendritos esparsos em toda a faixa cataclazada e, muito localmente, o cimento de uma brecha superficial que envolve fragmentos de quartzo, de millisita e de caulim, de turquesa e de variscita ferrífera.

A paragênese precedente, rica em fosfatos, é típica de uma região árida e de uma alteração meteórica. A associação millisita-variscita pode ser comparada com aquela encontrada nos nódulos muito mais complexos de Fairfield (Utah Co - Utah - E. S. Larsen & al. - 1942), assim como nas jazidas fosfáticas de Thiès (Sénégal - L. Capdecombe - 1953) e da Bone Valley na Florida Oeste-Central (W. L. Roberts & alii, - 1974).

A jazida de Pau-a-Pique é, portanto, clássica, com uma paragênese bastante simples ao contrário do que um exame rápido prévio deixaria supor pela variação das tonalidades e a aparente complexidade do preenchimento da falha.

A TURQUESA

Sua cor varia do azul-celeste-pálido ao verde com uma leve tonalidade amarelada nas partes associadas à minerais ferríferos.

Apresenta-se, ora em veios ou nódulos compactos azul ou azul-esverdeado atravessando o quartzito ou misturados à crostas de millisita-caolinita, ora em vênulas centimétricas descontínuas com granulação mais grosseira, verde-pálido, ora em fragmentos irregulares esparsos na variscita ferrífera ou, finalmente, dispersa em manchas na massa rochosa.

A turquesa, freqüentemente maculada pelos hidróxidos de ferro, inclui numerosos pedaços e grãos angulosos de quartzo de tamanho bastante variável que, algumas vezes, dificultam sua lapidação.

Veios e nódulos azul maciços apresentam uma fratura conchoidal, uma granulação bastante fina e uma estrutura criptocristalina. Representam, por excelência, o material dos lapidadores.

A turquesa mais verde é geralmente porosa. Suas cavidades são atapetadas por filmes de millisita-caolinita, de variscita ou de limonita. Sua estrutura é finamente caolítica, algumas vezes microbréichica, os fragmentos são cimentados por variscita ferrífera e hidróxidos de ferro.

No microscópio, geralmente, a turquesa apresenta-se esferulítica, mas, algumas vezes, criptocristalina. Os pequenos glóbulos apresentam-se juntos ou envolvidos numa matriz amarronzada (variscita ferrífera e limonita - Figura 5). Os maiores dão uma bonita cruz negra em luz polarizada (Figura 6). Nas cavidades, crostas de turquesa resolvem-se também, com forte aumento, em incompletas e juntas rosetas de cristalitos.



FIGURA 5



FIGURA 6

Nas fendas do quartzito, a turquesa criptocristalina ou esferulítica, freqüentemente associada à produtos escuros, cimenta abundantes fragmentos alongados de quartzo (Figura 7).

Propriedades físicas da turquesa.

Densidade: fragmentos compactos, criptocristalinos com fratura conchoidal e cor azul: $2,65 \pm 0,01$. Turquesa porosa verde-azulado: $2,40 \pm 0,01$.

Dureza: fragmentos compactos de cor azul: 5,5. Turquesa porosa: 4.

Traço: branco.

Pó: azulado e verde-azulado muito pálido.

Radioatividade: nula.

Fluorescência: nula tanto em ondas curtas que longas.

Índice de refração: a falta de cristais de tamanho suficiente permitiu somente a medição do índice médio: $n_m = 1,618 \pm 0,001$ idêntico nas duas variedades.



FIGURA 7

Diafratometria: os diagramas obtidos tanto para a turquesa azul compacta quanto a porosa são idênticos ao da ficha A. S. T. M. de referência (6 0214 — Campbel Co. Virginia — U. S. A.), as raias fornecidas pelo mineral de Pau-a-Pique sendo somente um pouco menos abundantes (Vide Tabela).

As propriedades físicas do mineral da Bahia são idênticas às das outras turquesas extraídas pelo mundo afora. Sua densidade o aproxima-se das gemas americanas, geralmente mais leves que as precedentes da Pérsia (R. Webster — 1970).

PRODUÇÃO

Não existe nenhum dado preciso sobre a produção dessa jazida. 400 kg de turquesa gema teriam sido extraídos até Julho de 1975, data a qual o preço do quilograma de minério de primeira qualidade era da ordem de 500 cruzeiros.

Não existe tampouco dado sobre o teor do minério.

Um estoque de várias toneladas de minério de qualidade média é empilhado nas vizinhanças das escavações.

ORIGEM DA JAZIDA

A origem do fósforo e do cobre deve ser procurada na alteração das rochas circundando a jazida.

Assim a pouca distância ao SW, na localidade Lagoa da Pedra, um veio de quartzo, vertical, N60°W e possante de 1 metro, foi reconhecido por um poço e várias pequenas escavações. Numa massa leitosa observam-se drusas, pequenos prismas cinza-esverdeado de apatita e manchas de minerais secundários de cobre (azurita, malachita e crisocola) demonstrando a presença dos elementos essenciais à formação da turquesa.

Quanto à millisita ela provém verosimilmente da degradação de apatita pouca carbonatada segundo um processo de alteração já descrito em várias outras jazidas, em Taiba no Senegal por exemplo (E. de A. Menor — 1975).

O caulim e os hidróxidos de ferro, muito abundantes, derivam da alteração das rochas próximas à jazida.

Conclusão: a jazida de turquesa de Pau-a-Pique, com uma paragênese simples e uma produção de importância média, é a primeira desse mineral descrita no Brasil e a segunda da América Latina, ficando a outra na Argentina.

TABELA

| COMPARAÇÃO DOS DADOS DE DIFRATOMETRIA X | | | | | | | |
|---|---------|-----------|---------|--------------------------|---------|-----------|---------|
| Turquesa de Pau a Pique* | | | | Turquesa A.S.T.M. 6-0214 | | | |
| d_{hkl} | I/I_0 | d_{hkl} | I/I_0 | d_{hkl} | I/I_0 | d_{hkl} | I/I_0 |
| 9,01 | 10 | | | | | 3,05 | 20 |
| 6,70 | 13 | | | 9,09 | 50 | 3,00 | 20 |
| 6,10 | 48 | 2,891 | 85 | 6,73 | 50 | 2,91 | 80 |
| 6,00 | 18 | | | 6,17 | 70 | 2,89 | 10 |
| 5,78 | 7 | | | 6,00 | 40 | 2,84 | 20 |
| 5,30 | 5 | | | 5,77 | 20 | 2,74 | 20 |
| 4,74 | 35 | | | | | 2,62 | 10 |
| 4,63 | 5 | | | 4,80 | 60 | 2,58 | 10 |
| | | 2,519 | 17 | 4,65 | 20 | 2,52 | 40 |
| | | | | 4,49 | 10 | 2,47 | 20 |
| | | | | 4,18 | 10 | 2,44 | 10 |
| 3,666 | 100 | 2,408 | 25 | 4,06 | 10 | 2,40 | 20 |
| | | 2,352 | 7 | 3,68 | 100 | 2,35 | 40 |
| 3,423 | 55 | 2,307 | 43 | 3,51 | 10 | 2,32 | 40 |
| 3,263 | 45 | | | 3,44 | 70 | 2,29 | 40 |
| 3,102 | 15 | 2,220 | 28 | 3,28 | 70 | 2,23 | 40 |
| 3,013 | 5 | 2,179 | 15 | 3,10 | 40 | 2,19 | 20 |

* Diagrama de $p\bar{o}$ - Difractometro - Radiação Cu $K\alpha/Ni$

BIBLIOGRAFIA

- BARBOSA O. (1965) - *Geologia das folhas Remenso-Sento Sé, Bahia, Projeto Média São Francisco D. N.P. M./Prospec. Rel. Ined. Petrópolis.*
- BRUNI M. A. L.; ALMEIDA J. T. & BRUNI E. C. (1974) - *Folha São Francisco (SC-23). Carta geológica do Brasil ao milionésimo & texto explicativo. D. N. P. M./M. M. E. Brasília.*
- CAPDECOMME L. (1953) - *Etude minéralogique des gites de phosphates alumineux de la région de Thiès (Sénégal). 199 Congr. Géol. Inter. (1952) Fasc. XI p. 103-118 Alger.*
- LARSEN E. S. SHANNON E. V. (1942) - *The mineralogy and paragenesis of the variscite nodules from near Fairfield, Utah. Part 1: p. 281-300, Part 2: p. 350-372, Part 3: p. 441-541. 27 Amer. Miner.*
- MENOR E. de A. (1975) - *La sédimentation phosphatée. Pétrographie, minéralogie et géochimie des gisements de Taiba (Sénégal) et d'Olinda (Brésil). Thèse Ing. en Géologie, Univ. L. Pasteur 163 p. fig. Strasbourg.*

ROBERTS W. L.; RAPP G. R. & WEBER J. (1974) — *Encyclopedia of minerals*, 693 p. Van Nostrand Reinhold Co Ed. New York.

WEBSTER R. (1970) — *Gems. Their sources, descriptions and identification*, 836 p. Butterworths Ed. London.

EXPLICAÇÃO DAS ESTAMPAS

FIGURA 1 — Vista geral da trincheira. A direita, no primeiro plano, preenchimento da falha com variscita ferrífera, caulinita e limonita envolvendo fragmentos de quartzito e de turquesa.

FIGURA 2 — Vênula de turquesa no quartzito. Parede esquerda da trincheira da figura 1.

FIGURA 3 — Vênula de millisita (associada à caulinita) atravessando a turquesa. Secção polida. Luz polarizada.

FIGURA 4 — Amostra polida do preenchimento da falha: fragmentos de turquesa porosa cimentados por variscita ferrífera. A escala é de 3 centímetros.

FIGURA 5 — Turquesa verde-azulada. Lâmina delgada mostrando a estrutura esferulítica. O cimento dos glóbulos é de variscita ferrífera misturada à limonita. Luz natural.

FIGURA 6 — Esferulitos de turquesa. Lâmina delgada. Luz polarizada.

FIGURA 7 — Vênula de turquesa azul criptocristalina no quartzito. Em breco e cinza unido mais ou menos escuro: quartzo. Lâmina delgada. Luz polarizada.

N. B.: o traço sobre as microfotografias das figuras 3 e 5 até 7 corresponde a 0,25 mm.

AValiação DAS RESERVAS DE MINÉRIO DE IPANEMA (SP)

H. C. Mendes*
H. Born*
G. C. Melcher*

RESUMO

A jazida de fosfato de Ipanema é constituída pelo manto de intemperismo de uma rocha alcalina glimmerítica, portadora de apatita. O próprio glimmerito, que ocupa grande parte da intrusão alcalina e constitui o protominério, pode ser considerado como vultosa reserva potencial, com teores semelhantes.

O minério é formado por uma rocha semi-alterada, contendo apatita, mica, feldspatos, piroxênios e anfíbios alcalinos, magnetita e óxidos secundários de ferro, além de minerais de argila.

A distribuição irregular dos teores de P_2O_5 e sua média relativamente baixa, além das variações acentuadas de espessura do manto mineralizado, exigiram uma pesquisa detalhada. A amostragem foi realizada por furos de trado, poços e sondagens a diamante, sendo complementada por canais em frentes de trabalho e duas galerias. O cálculo da reserva foi efetuado pelos métodos clássicos (polígonos irregulares e triângulos) e mediante a utilização do método geoestatístico originalmente proposto por Matheron.

A análise de variogramas dos teores de P_2O_5 obtidos de amostras de sondagens, sugere a obediência a uma lei intrínseca de distribuição em direções horizontais e acentuada anisotropia vertical. Este comportamento indica como recomendável o "kriging" para estimar os teores de blocos de minério situados num mesmo nível.

A comparação dos resultados obtidos pelos métodos clássicos e geoestatísticos de cálculo, aplicados a diversas tipos de trabalhos de pesquisa, permite avaliar a sua utilidade para estimativas parciais localizadas, úteis ao planejamento da lavra, bem como da reserva total da jazida.

ABSTRACT

The phosphate deposit of Ipanema lies in the blanket created by the weathering of an alkaline glimmerite rock which contains apatite. The glimmerite which occupies the inner part of the alkaline intrusion constitutes the protore and might be considered as a huge potential reserve, with uniform grades.

The ore is made of a semi-weathered rock, including apatite, mica, feldspar, pyroxene and alkaline amphibole, magnetite and secondary iron oxide.

The P_2O_5 irregular tenor distribution and its relatively low average, besides the marked thickness variation of the weathering, required detailed exploration. Sampling was made through bolt auger, pits and rotary drill. Reserve estimation was carried through the classic methods (irregular polygons and triangles) and by means of the geostatistic method originally proposed by Matheron.

Variogram analyses for P_2O_5 tenors obtained from drill samples, suggest an obedience to an intrinsic law distribution toward horizontal dimension and high vertical anisotropy. This type of distribution indicates as advisable the "Kriging" for estimation of the tenor of the blocks situated on the same level.

Comparison of the results obtained through classic and geostatistical methods applied to several types of exploration makes possible to evaluate the advantage of the latter for partial localized estimation, useful for mine planning.

I - INTRODUÇÃO

Até o presente, o cálculo das reservas de jazidas minerais a partir dos elementos fornecidos pelos trabalhos de pesquisa é feito na grande maioria dos casos pelos métodos clássicos. Entre estes, os mais usados são os dos triângulos, quadrados, poliedros irregulares, isolinhas, perfis e blocos de desmonte. Embora simples, intuitivos e de fácil aplicação, esses métodos frequentemente não conduzem a resultados satisfatórios, sobretudo quando se trata de jazidas em que as características do minério se distribuem de maneira irregular no interior da massa mineral. Em jazidas pequenas, pesquisadas por reduzido número de trabalhos, a discrepância entre os resultados fornecidos por dife-

* Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

rentes métodos pode ser considerável e mesmo superior às tolerâncias normalmente aceitas. A previsão da utilização de um método clássico de cálculo (p. ex. dos quadrados) freqüentemente leva à adoção de malhas rígidas de sondagens verticais com espaçamento arbitrário, sem consideração às irregularidades geológicas de cada jazida. Basicamente, todos esses métodos constam da subdivisão de uma massa mineral em sólidos geométricos, cujas dimensões são determinadas pelo espaçamento entre os trabalhos de pesquisa, admitindo-se características homogêneas no interior de cada sólido. Quando a jazida é grande e há muitos trabalhos de pesquisa, esse procedimento leva a resultados médios totais satisfatórios, por simples compensação de erros. Entretanto, o principal inconveniente dos métodos clássicos de cálculo provavelmente reside no fato de não se poder utilizar os seus resultados diretamente para o planejamento da lavra, porque os sólidos geométricos, em que a jazida foi subdividida, não coincidem e têm dimensões muito maiores do que as unidades volumétricas que devem ser consideradas pelo minerador. A consequência prática é a deficiente utilização dos dados fornecidos pela pesquisa por parte dos responsáveis pela lavra e, não raro, o descrédito de informações que poderiam ser melhor aproveitadas, desde que apresentadas e interpretadas de maneira diferente.

Nas últimas décadas foram realizadas numerosas investigações, entre as quais se destacam os trabalhos de Krige (1951), de Wijs (1953) e Matheron (1962), visando desenvolver métodos de cálculo de reservas que não apresentassem os inconvenientes acima mencionados e, portanto, permitissem a melhor caracterização de cada volume unitário no espaço ocupado por uma jazida. Globalmente, esses métodos são hoje conhecidos como "geoestatísticos" e encontram aplicação crescente em muitos trabalhos de pesquisa.

O presente trabalho tem por objetivo apresentar alguns dos conceitos básicos da geoestatística e exemplificar a sua aplicação ao cálculo da reserva de uma jazida de minério fosfático, que apresenta muitas analogias com outros depósitos congêneres no Brasil. Para comparação, também são apresentados os resultados do cálculo das reservas da jazida de Ipanema pelos métodos dos triângulos e dos polígonos irregulares. Dados mais pormenorizados sobre a geologia dessa jazida e o projeto de seu aproveitamento econômico constam de outro trabalho, apresentado pela equipe técnica da SERRANA S. A. de Mineração neste Congresso. Anteriormente, Aps e Born (1975) já descreveram a geologia e os trabalhos de pesquisa realizados em Ipanema.

II - CÁLCULO DAS RESERVAS POR MÉTODOS CLÁSSICOS

Antes da utilização do método geoestatístico, as reservas da jazida de Ipanema foram calculadas pelos métodos dos triângulos e dos polígonos, considerados mais adequados ao tipo da jazida em questão e à distribuição dos trabalhos de pesquisa executados (fig. 1). A subdivisão dos corpos mineralizados foi feita segundo critérios convencionais (figuras 2 e 3), obtendo-se os seguintes resultados:

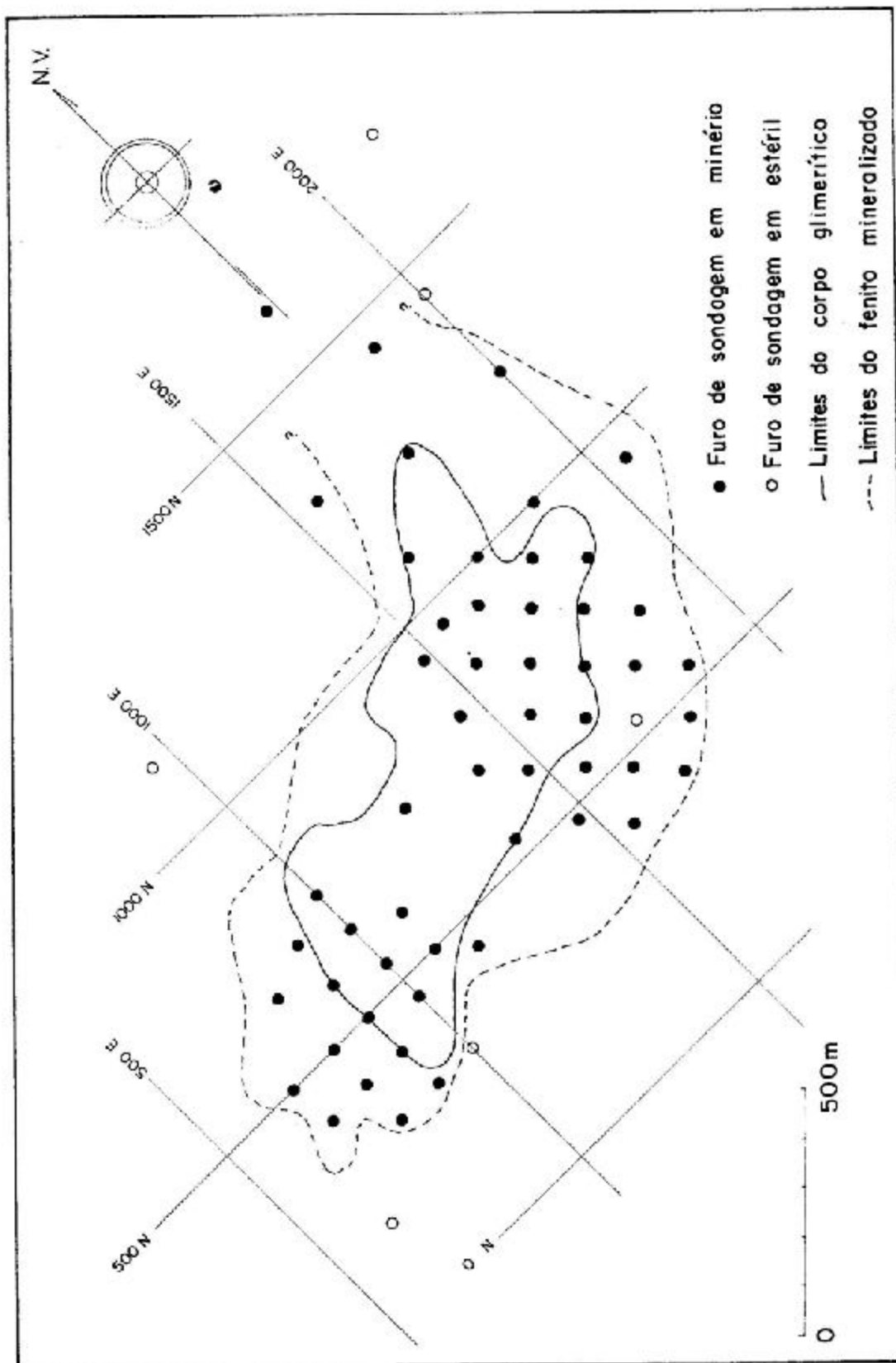
1 - Método dos triângulos:

| Área | Reserva (t x 10 ⁶) | Teor (% P ₂ O ₅ apatítico) |
|-----------|--------------------------------|--|
| A | 6,1 | 7,2 |
| B | 22,3 | 6,8 |
| C | 5,9 | 7,6 |
| A + B + C | 34,3 | 7,0 |

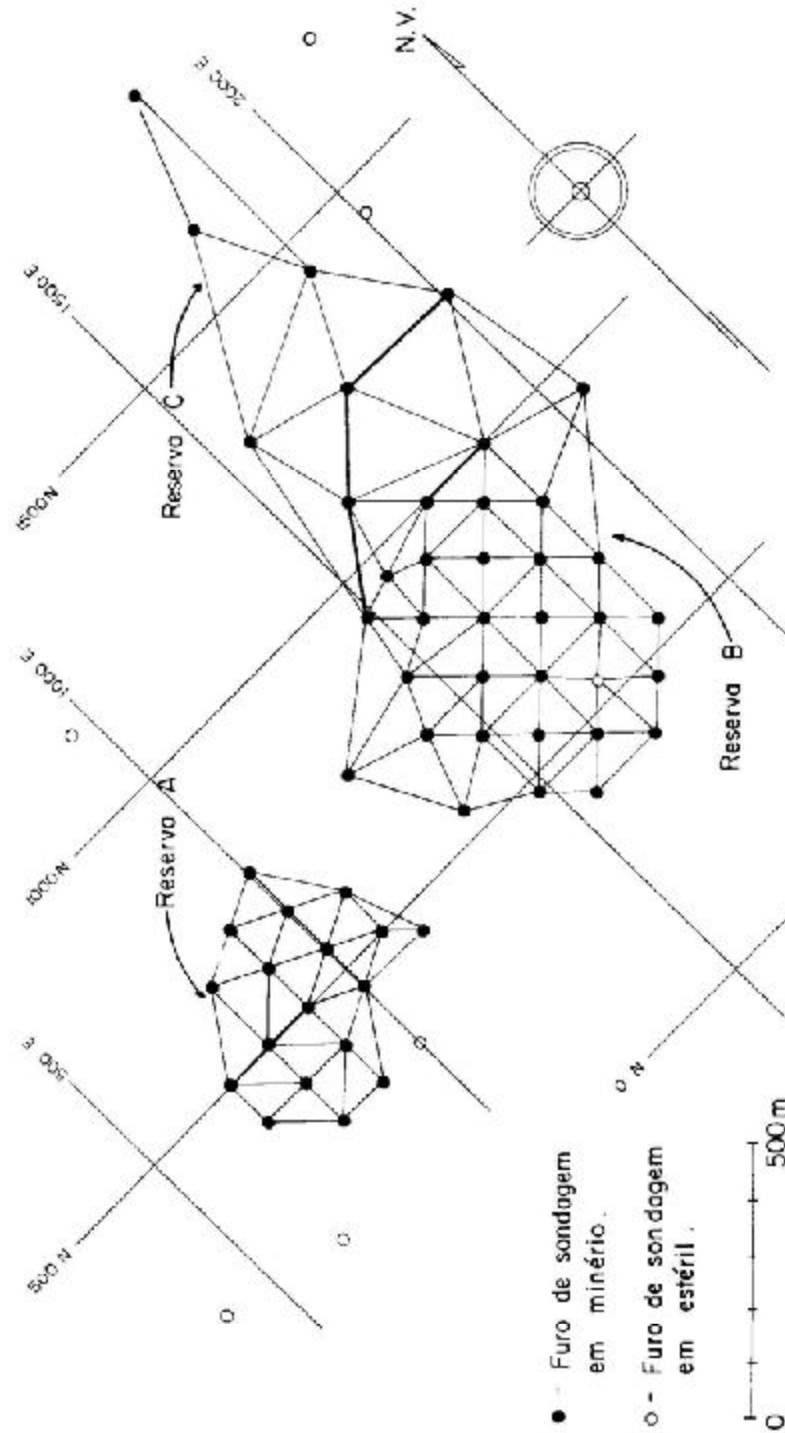
2 - Método dos polígonos irregulares:

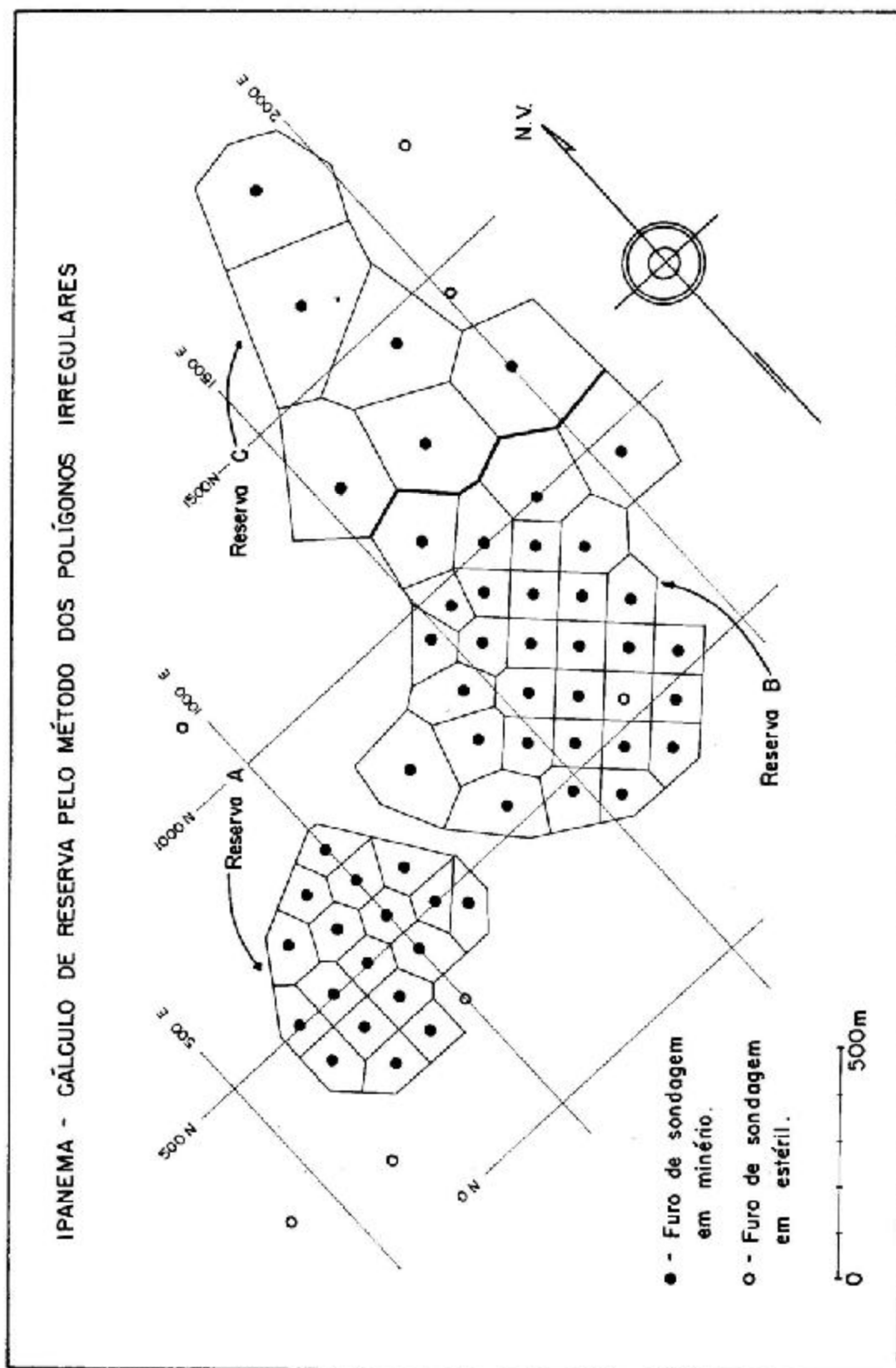
| Área | Reserva (t x 10 ⁶) | Teor (% P ₂ O ₅ apatítico) |
|-----------|--------------------------------|--|
| A | 10,1 | 7,3 |
| B | 27,2 | 7,0 |
| C | 19,7 | 7,0 |
| A + B + C | 57,0 | 7,0 |

Os teores acima são expressos em percentagens de P₂O₅ apatítico porque, devido às características da mineralização e do processo de concentração a ser utilizado em Ipanema, o simples teor de P₂O₅ não fornece informações suficientes sobre o conteúdo apatítico recuperável na usina de beneficiamento, devido em parte à presença de fosfatos sob forma não apatítica. Uma avaliação em termos de P₂O₅ apatítico fornece portanto dados mais confiáveis para estudos de viabilidade econômica e planejamento da lavra.



IPANEMA - CÁLCULO DE RESERVA PELO MÉTODO DOS TRIÂNGULOS





Pode-se calcular o teor de P_2O_5 apatítico em função do teor de CaO pela relação (teor de CaO)/(teor de P_2O_5) = 1,32, razão média teórica entre os dois óxidos na fluorapatita e verificada nos concentrados de Ipanema. Esse método é entretanto aplicável somente aos trabalhos que dispõem de análise de CaO, dos quais estão excluídos os furos de trado e parte dos poços.

A proporção (teor de P_2O_5)/(teor de P_2O_5 apatítico) em uma amostra está relacionada ao grau de intemperismo verificado no minério e, portanto, à profundidade de amostragem, e possivelmente à topografia local. Testou-se estatisticamente essas hipóteses e verificou-se ser desprezível a influência da topografia em relação à profundidade de amostragem. Como resultado, obteve-se a equação: $Y = 0,1206 + 0,83 x_1 + 0,0049 x_1^2 + 0,0135 x_2 - 0,00004 x_2^2$, onde Y = teor de P_2O_5 apatítico; x_1 = teor de P_2O_5 total e x_2 = profundidade da amostra em metros. O coeficiente de correlação é - 0,87, demonstrando, portanto, um bom ajuste. Este polinômio, calculado por computador, é utilizado para a estimativa de teor de P_2O_5 apatítico nos trabalhos sem informações sobre o teor de CaO.

III – MÉTODO GEOESTATÍSTICO

O termo **geoestatística** foi inicialmente empregado por Matheron para designar a aplicação da estatística ao estudo de fenômenos geológicos, em seu "Traité de Geoestatistique Appliquée" (1962). A maneira peculiar com que Matheron aborda a estatística e suas aplicações às jazidas minerais levou à utilização dessa palavra em nova acepção. Hoje, a maioria dos autores especializados identifica a geoestatística com as teorias desenvolvidas por Matheron e sua escola.

Por **variável regionalizada** (variable regionalisée), Matheron designa uma função que associa grandezas a pontos num espaço, como, por exemplo, a distribuição de teores ou densidades em um corpo mineral. Uma variável regionalizada $y(x)$ associa valores únicos a cada ponto do espaço; entretanto, seu caráter estatístico pode ser entendido pela definição de $y(x)$ como uma realização (sorteio) de uma função aleatória $Y(x)$ do espaço (Matheron, 1970). A definição de uma variável regionalizada envolve a explicitação de um domínio físico (porção do espaço em estudo) e de uma geometria de suporte (p. ex., forma e volume das amostras individuais dos elementos de amostragem) para cálculo da variável.

Uma função aleatória $Y(x)$ obedece à hipótese intrínseca quando, para todo vetor \vec{h} , o acréscimo $Y(x + h) - Y(x)$ admite uma esperança matemática e uma variância, dependentes apenas da distância expressa pelo módulo de \vec{h} :

$$E \{ Y(x + h) - Y(x) \} = m(h)$$

$$VAR \{ Y(x + h) - Y(x) \} = \gamma(h)$$

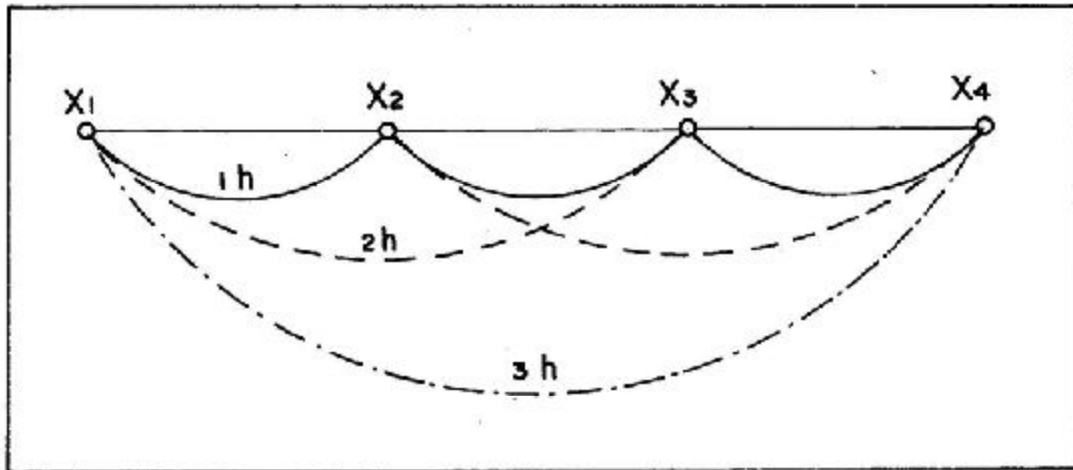
A geoestatística trata fundamentalmente das variáveis regionalizadas derivadas de funções aleatórias que seguem a hipótese intrínseca (**esquemas intrínsecos**), embora as teorias mais recentes possibilitem o tratamento de algumas funções que não a obedecem estritamente (Marechal e Serra, 1970). Expressar matematicamente a função variável regionalizada é na maioria das vezes impossível, em vista da complexidade das leis genéticas que determinam a formação de depósitos minerais. Entretanto, suas principais características podem ser estudadas pela análise da função $\gamma(h)$, denominada **semi-variograma**.

Experimentalmente, pode-se traçar o semi-variograma sobre um perfil de amostragem, combinando-se dois a dois os pontos de amostragem a diferentes valores de distância h (figura 4). Para cada valor de h calculamos:

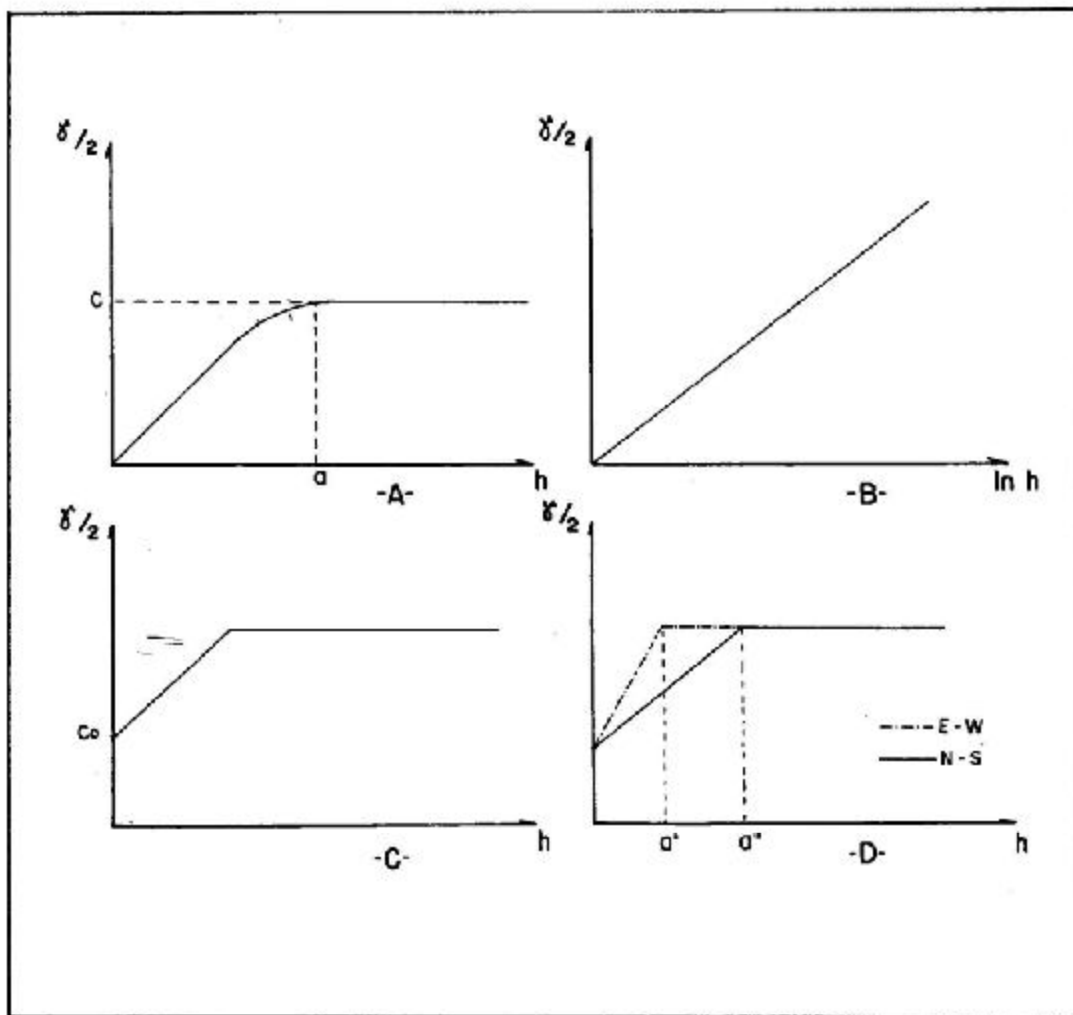
$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sum (f(x_i) - f(x_i + h))^2}{N}$$

onde o valor de $\gamma(h)$ representa a metade da média dos quadrados das diferenças de teores, ou densidades, espessuras etc., obtidas para os N pares de pontos, separados pela distância h . Analisando todos os pontos de amostragem numa mesma direção, respeitados os limites do domínio escolhido, calcula-se um valor $\gamma(h)$ para cada distância h , obtendo-se um conjunto de pontos do semi-variograma para a direção preestabelecida. Pelo mesmo procedimento podem ser calculados semi-variogramas experimentais em planos, ou mesmo tridimensionais.

O traçado de curvas de comportamento médio, baseadas nos valores de $\gamma(h)$ obtidos experimentalmente, leva-nos a uma aproximação do variograma real, por comparação aos diversos modelos teóricos desenvolvidos para as situações mais usuais. Exemplos dessas curvas teóricas, designadas por **esquemas**, podem ser encontradas na bibliografia especializada (Matheron, 1962; etc.).



A análise da função semi-varíograma, quando executada à luz do conhecimento geológico do depósito, pode fornecer indicações sobre as características da mineralização. Essa análise é realizada por meio de gráficos que apresentam os valores de h em abscissas e $\gamma(h)$ em ordenadas. Na figura 5 são apresentados alguns exemplos típicos.



A figura 5A mostra um semi-variograma clássico (esquema de Matheron), com seus principais elementos. Para valores crescentes de h , a correlação entre os pares de pontos de amostragem decresce continuamente até atingirmos a distância de a , designada por amplitude (portée), quando não há mais correlação; a noção de amplitude corresponde ao conceito tradicional de zona de influência, que pode, dessa forma, ser quantificada (Matheron, 1962). Denomina-se patamar ao valor limite c , idêntico à variância obtida dos pontos de amostragem (variância a priori).

A ausência de patamar indica a existência de correlação entre pontos de amostragem em todo o domínio em estudo, como no caso da figura 5B, que apresenta um variograma do esquema de De Wijs (Matheron, 1966). O modelo de De Wijs pode ser formulado matematicamente, como:

$$\gamma(h) = 3\alpha n h$$

onde α é uma constante denominada coeficiente de dispersão absoluta.

"Effet de pépites" (feito pepita) foi o termo proposto por Matheron para designar a presença de valores de $\gamma(h)$ diferentes de zero para h tendendo a zero. Esta nomenclatura não é rigorosamente correta porque se baseia no conceito de grãos monominerálicos, como encontrados em depósitos sedimentares de ouro, onde o metal se encontra localmente concentrado em pequenos volumes de material, apresentando diferenças de teores extremas em relação a pontos situados a distâncias maiores que as dimensões das pepitas. O efeito pepita pode ser explicado pela existência de estruturas de dimensões inferiores ao espaçamento de amostragem, ou por erros sistemáticos de amostragem ou análise química. Na figura 5C é apresentado um semi-variograma com efeito pepita, identificado pelo valor $C_0 \neq 0$ na origem das abscissas.

Em um esquema intrínseco, a função $\gamma(h)$ é idêntica em todas as direções, por depender apenas da distância h ; portanto, a comprovação da isotropicidade do semi-variograma é indicativa da obediência à hipótese intrínseca Matheron, 1970). Essa condição de isotropia pode ser constatada pela comparação de semi-variogramas traçados em direções perpendiculares entre si. A figura 5D apresenta um tipo particular de anisotropia, tratando-se de anisotropia geométrica, que se transforma em um caso de isotropia mediante uma transformação de coordenadas.

Como domínio físico de Ipanema, para efeito de aplicação da geoestatística, foi adotado o material coberto pela superfície abrangente de todos os trabalhos de pesquisa e, como suporte geométrico, os canais realizados em poços, os furos de trado, além de testemunhos de sondagem, em intervalos de 5 metros. As dimensões dos canais e dos diâmetros dos testemunhos de sondagem não são iguais; entretanto, em vista do espaçamento entre pontos de amostragem, tais diferenças no caso são irrelevantes, permitindo o tratamento de seus resultados como sendo um único tipo de suporte geométrico.

Com essas premissas, foram elaborados três semi-variogramas experimentais para teores de P_2O_5 apatítico, respectivamente, na direção vertical, N-S e E-W, conforme ilustrado pelas tabelas 1, 2 e 3. Aos resultados experimentais foram ajustadas curvas por compensação de área, cujos traçados respeitaram a diferença de representatividade entre valores de $\gamma/2$, decorrente do número de pares considerados para as diversas distâncias (fig. 6 e 7).

Os semi-variogramas da distribuição de teor de P_2O_5 apatítico foram interpretados segundo o esquema de De Wijs, devido à tendência linear dos valores experimentais, quando representados em gráficos com o eixo das distâncias em escala logarítmica.

O semi-variograma vertical (fig 6) indica a presença, no domínio convencional, de duas estruturas, em escala diferente, com valores dos coeficientes de dispersão absoluta aproximadamente iguais ($\alpha = 8,1$). Este comportamento da curva reflete a heterogeneidade da mineralização na direção vertical, fato que levou a considerar a jazida como um conjunto de estratos horizontais independentes para efeito de avaliação de reservas.

A comparação dos modelos inferidos para os semi-variogramas horizontais (figura 7) fornece, a priori, um quadro de anisotropia funcional (não geométrica). Entretanto, o valor do coeficiente de dispersão absoluta, $\alpha = 5,1$, na direção N-S, comparado ao da direção E-W, de $\alpha = 4,6$, expressa uma maior variação de teores no sentido N-S (onde a extensão do corpo mineralizado é menor) (figura 1). Esse comportamento poderia ser explicado por uma maior incidência de pares de pontos de amostragem dos quais um é interno e o outro externo ao corpo mineralizado, uma vez que a mineralização não apresenta, pelos dados geológicos disponíveis, nenhuma distribuição preferencial de teores. A hipótese assumida leva-nos a considerar a isotropicidade da jazida em estratos horizontais de pequena espessura.

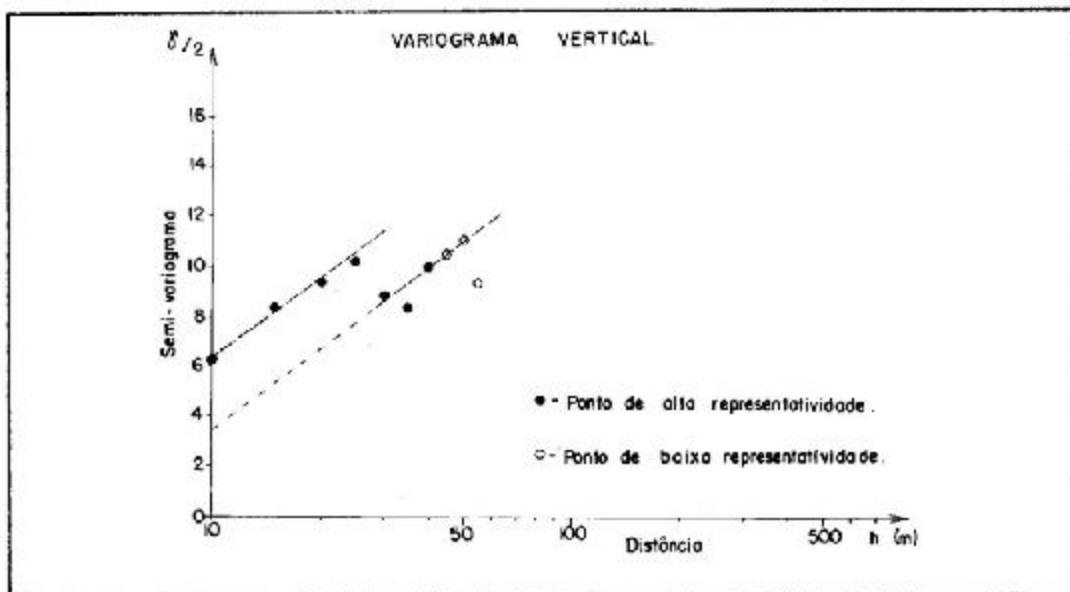
Pela estatística clássica, uma jazida é entendida como uma população de matéria mineral constituída de infinitos volumes unitários iguais, dos quais uma pequena parte foi retirada na fase de pesquisa. A geoestatística, quando associa uma geometria de suporte a uma variável regionalizada, entende serem diferentes as características de testemunhos de sondagem, frentes experimentais, pai-

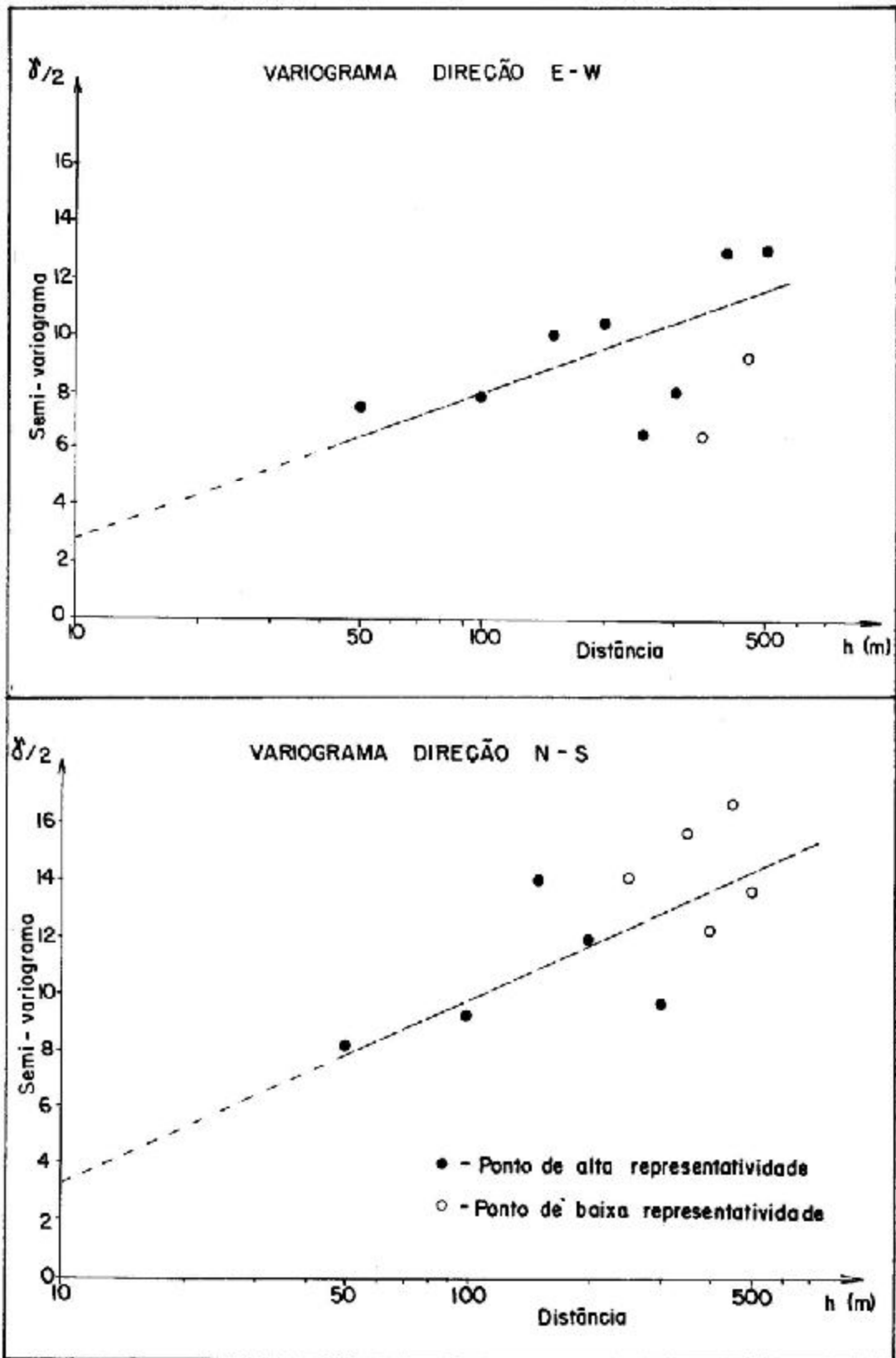
| h (m) | $\gamma/2$ | N | h (m) | $\gamma/2$ | N | h (m) | $\gamma/2$ | N |
|-------|------------|-----|-------|------------|-----|-------|------------|-----|
| 5 | 3,4 | 869 | 50 | 8,1 | 79 | 50 | 7,5 | 103 |
| 10 | 6,2 | 606 | 100 | 9,2 | 287 | 100 | 7,9 | 273 |
| 15 | 8,4 | 411 | 150 | 13,9 | 110 | 150 | 10,0 | 123 |
| 20 | 9,4 | 289 | 200 | 11,9 | 167 | 200 | 10,2 | 195 |
| 25 | 10,2 | 231 | 250 | 14,0 | 49 | 250 | 6,5 | 97 |
| 30 | 8,9 | 188 | 300 | 9,6 | 104 | 300 | 8,0 | 171 |
| 35 | 8,4 | 149 | 350 | 15,8 | 28 | 350 | 6,4 | 57 |
| 40 | 10,0 | 115 | 400 | 12,2 | 53 | 400 | 12,9 | 112 |
| 45 | 10,6 | 84 | 450 | 16,8 | 20 | 450 | 9,2 | 44 |
| 50 | 11,1 | 60 | 500 | 13,8 | 25 | 500 | 13,0 | 110 |
| 55 | 9,8 | 41 | | | | | | |

Tabela 1 – Semi-variograma experimental calculado para a direção vertical. Os valores de $\gamma/2$ para distâncias superiores a 55 metros, foram desprezados em vista da baixa representatividade relativa ($N < 40$).

Tabela 2 – Semi-variograma experimental calculado para a direção N-S. Os valores de $\gamma/2$ para distâncias superiores a 500 metros, foram desprezados em vista da baixa representatividade relativa ($N < 20$).

Tabela 3 – Semi-variograma experimental calculado na direção E-W. Os valores de $\gamma/2$ para distâncias superiores a 500 metros foram desprezados em vista da sua baixa representatividade relativa ($N < 40$).





néis de lavra e a própria jazida como um todo. Esse conceito permite tratar de maneira mais realista as grandezas associadas a unidades volumétricas que interessem à lavra e ao seu planejamento, sejam blocos, painéis ou frentes de desmonte. O procedimento para estimar o valor $Z(v)$ de uma grandeza associada a um volume V , a partir de dados conhecidos em volumes v_i ($z(v_i)$), pertencentes ou não a V , foi denominado "Krigage" (Kriging) por Matheron, em homenagem a D. G. Krige, precursor de suas teorias. Por esse procedimento, o valor Z^* , estimativo do valor $Z(v)$ da grandeza associada a um volume V , é dado por:

$$Z^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot z(v_i)$$

O Cálculo de Z^* equivale ao cômputo da média ponderada dos valores da grandeza Z , associados aos n volumes v_i . Os valores λ_i são os ponderadores de Matheron e obedecem à condição:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

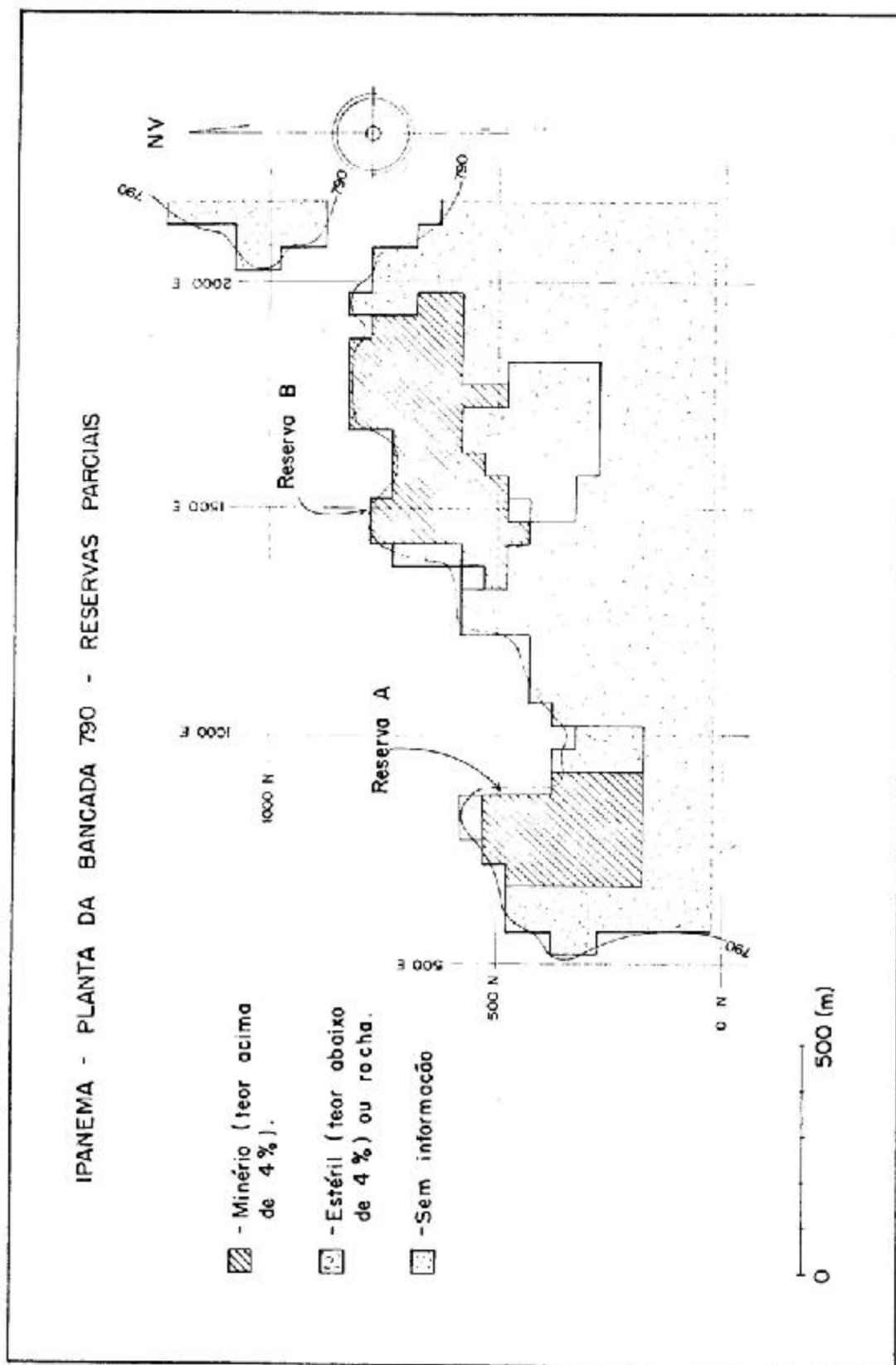
Os valores de λ_i são definidos em função dos volumes V e v_i e de suas posições relativas no espaço, além das características do semi-variograma da variável Z . O cálculo dos ponderadores, bastante complexo, é descrito na bibliografia especializada, onde são fornecidas tabelas e gráficos que facilitam suas estimativas (Matheron, 1962; Marechal e Serra, 1970; etc.). Com os ponderadores calcula-se também um valor $\sigma^2 K$, definido por Matheron como *variança de estimação* do volume V , que quantifica o erro cometido na estimativa de $Z(v)$ pelo estimador Z^* .

No cálculo do teor médio de um bloco de minério pelo "Kriging" poderiam ser utilizados todos os trabalhos de pesquisa realizados na jazida, porém na prática são considerados apenas os resultados de trabalhos afastados do centro de cada bloco de uma distância não superior a 2 ou 3 vezes o diâmetro médio dos blocos, obtendo-se dessa maneira uma aproximação suficiente para a estimativa pretendida. Este procedimento foi previsto na geoestatística e é designado por "efeito écran" (Matheron, 1962). Ainda visando a simplificação de trabalho, os autores utilizam a simetria das malhas regulares para diminuir o número de ponderadores, agrupando, por exemplo, os pontos de amostragem equidistantes ao centro do bloco em *auréolas*. Desta maneira, o "Kriging" é transformado em uma ponderação das médias obtidas nas diversas auréolas (Matheron, 1963). Entretanto, a natureza e a repetitividade dos cálculos envolvidos na operação do "Kriging", para um número elevado de blocos, torna sua aplicação difícil por métodos manuais, mesmo utilizando-se gráficos e ábacos, o que impõe o uso do processamento eletrônico dos dados.

Em Ipanema, para facilitar os cálculos relacionados à pesquisa e ao planejamento da futura lavra, foi desenvolvido um sistema computacional de avaliação de reservas (Mendes e Melcher, 1975). Esse sistema realiza automaticamente a atualização das reservas, utilizando as informações provenientes de novos trabalhos de pesquisa e prevê a sua utilização em função das modificações topográficas que decorrerão da lavra. Para a avaliação, as unidades de volume são constituídas por blocos com base horizontal de 50 x 50 metros e altura 5 metros. A altura respeita as hipóteses de isotropia assumidas, determinando estratos horizontais independentes com espessura de 5 metros, fornecendo também informações coerentes com o projeto das futuras bancadas, mas impõe o recálculo dos teores de trabalhos de pesquisa em intervalos compatíveis com o posicionamento vertical do bloco. As dimensões horizontais conciliam o espaçamento médio da malha de pesquisa com as necessidades do planejamento de lavra a médio prazo.

Em cada estrato, são calculados os teores de P_2O_5 e P_2O_5 apatítico dos diversos blocos, pelo "Kriging" dos intervalos de pesquisa situados a distância inferior a 125 metros dos seus centros, considerando-se esta distância suficiente para produzir um efeito "écran". As reservas globais são fornecidas pela soma dos volumes de blocos com teor de P_2O_5 apatítico superior ao teor de corte (4%), enquanto o teor médio corresponde à média aritmética dos teores desses blocos. Esse procedimento revelou uma reserva geológica de 56 m. t., com teor médio de 6,1% de P_2O_5 apatítico e 6,5% de P_2O_5 total, utilizando-se todos os trabalhos de pesquisa disponíveis.

Para efeito de comparação com os resultados fornecidos pelos métodos clássicos, calculou-se uma reserva de 42,5 m. t. de minério, com 6,8% de P_2O_5 apatítico, baseada somente nas informações provenientes de boletins de sondagem. Esse valor corresponde ao total de minério nas áreas A (14,4 m. t. a 6,84% P_2O_5 apatítico) e B (28,1 m. t. a 6,7% P_2O_5 apatítico), não tendo sido incluída a área C (figura 8).



IV – DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

A comparação entre os resultados obtidos, pela aplicação de diferentes métodos de cálculo das reservas da jazida de Ipanema, demonstra claramente as sensíveis discrepâncias que podem ocorrer mediante a utilização de métodos clássicos, tradicionalmente consagrados. Enquanto o método dos triângulos é aplicado de maneira rígida, determinada apenas pela posição dos trabalhos de pesquisa, o método dos polígonos irregulares dá margem a certa subjetividade no traçado dos contornos externos dos corpos mineralizados. Note-se que a diferença entre os resultados dos dois métodos é de 66%, portanto muito superior ao que normalmente é considerado aceitável como precisão da estimativa de reservas. Por outro lado, é interessante observar que não ocorreu discrepância sensível entre os teores calculados.

Certamente, o método dos triângulos conduz a resultados inferiores à reserva geológica real, por não considerar corretamente as zonas de influência dos trabalhos de pesquisa situados na periferia dos corpos mineralizados, enquanto o método dos polígonos leva a reservas totais exageradas e arbitrárias, por ser aplicado de maneira subjetiva, sujeita apenas a critérios geométricos, independentes da real situação geológica.

Na opinião dos autores, a aplicação de métodos geostatísticos, embora ainda não represente uma solução ideal para o problema do cálculo de reservas minerais, permite a utilização mais racional dos dados obtidos pelos trabalhos de pesquisa e a avaliação mais realista dos volumes e dos teores, além de facilitar consideravelmente a utilização dos resultados da pesquisa geológica para fins de planejamento da lavra. Entretanto, nenhuma avaliação de reservas pode prescindir do conhecimento geológico, tão exato quanto possível, de uma jazida, utilizando apenas dados numéricos e simplificações geométricas.

BIBLIOGRAFIA

- APS, V. e BORN, H. — 1975 — *Pesquisa do minério fosfático de Ipanema — Geologia e Metalurgia*, nº 37, Centro Moraes Rego.
- CARRIER, A. — 1964 — *Contribution aux méthodes d'estimation des gisements d'uranium — Rapport CEA — R2332, Commissariat à l'Energie Atomique.*
- KRIGE, D. G. — 1952 — *A statistical approach to some basic valuation problems on the Witwatersrand — Journal of the Chemical and Mining Society of South Africa*, Vol. 53, nº 3.
- MARECHAL, A. e SERRA, J. — 1970 — *Random Kriging — Geoestatistics; a colloquium*, Daniel F. Merriam.
- MATHERON, G. — 1962 e 1963 — *Traité de géostatistique appliquée — Tome 1, Mémoires du B.R.M.G., nº 14; Tome 2, Mémoires du B.R.M.G., nº 24.*
- MATHERON, G. — 1970 — *Random functions and their application in Geology — Geoestatistics; a colloquium*, Daniel F. Merriam.
- MENDES, H. C. e MELCHER, G. C. — 1975 — *Apresentação de um sistema computacional de avaliação de reservas — Anais do V Simpósio de Mineração, vol. 2, Escola de Minas e Metalurgia da Universidade Federal de Ouro Preto.*
- WIJS (de), H. J. — 1953 — *Die statistische Auswertung der Probenahme von Erzlagerstätten — Zeitschrift für Erzbergbau und Metallhüttenwesen, setembro.*

EXPLICAÇÃO DAS ESTAMPAS

Figura 1 — Distribuição das sondagens na área mineralizada.

Figura 2 — Subdivisão em áreas parciais para cálculo de reservas pelo método dos triângulos.

Figura 3 — Áreas de influência das sondagens para cálculo de reservas pelo método dos polígonos irregulares.

Figura 4 — Agrupamento de pontos de amostragem em um perfil, segundo diferentes.

Figura 5 — Exemplos de modelos teóricos de semi-variogramas.

Figura 6 — Semi-variograma de P_2O_5 apatítico, na direção vertical. Considerando os trabalhos de pesquisa em intervalos de 5 metros.

Figura 7 — Semi-variograma de P_2O_5 apatítico, calculado em estratos horizontais, considerando os trabalhos de pesquisa em intervalos de 5 metros.

Figura 8 — Planta das reservas calculadas pelo "Kriging" na bancada 790 (cotas 790/796).

PESQUISA DE MATÉRIAS-PRIMAS ARGILOSAS PARA A PRODUÇÃO DE AGREGADOS LEVES

Eduardo Camilher Damasceno *

ABSTRACT

The use of lightweight aggregates produced by the bloating of clays increased last years in several countries as a result of the modern procedures in the building construction. The expanded clay aggregate has an advantage in relation to others types of lightweight aggregates, because it can be used in structural concrete. Still presents good insulation values, fire resistance and high sound absorption. Is particular interesting for the precasting industry.

The production and use of expanded clay in Brazil is small, but the consumption should increase in the vicinities of some cities, as São Paulo.

This paper is concerned with field and laboratory procedures in the search of suitable material to expanded clay production, in the region around São Paulo. The field exploration was conducted in geologic units located at a 100 Kilometers distance from São Paulo mainly in the Tubarão Group (C) and in the Tremembé Formation (T), wich presents a high content of argillaceous rocks, as argillites and shales. A total of 360 samples were collected and tested.

The laboratory tests included several procedures as firing the samples in muffle furnace, rotary-laboratory kiln, chemical and mineralogical studies, heating microscope and the evaluation of the produced aggregates properties as form, cell structure, density, abrasion and concrete tests. The firing tests provided the selection of bloating raw material and still preliminary data for a future pilot plant.

Trought these procedures were selected 15 samples/sites of suitable raw material for the production of expanded clay mainly in the Tubarão Group.

I – INTRODUÇÃO E FINALIDADES

O uso de agregados leves tem se ampliado bastante nas últimas décadas, nos países de tecnologia avançada em decorrência do aprimoramento e da adaptação dos métodos e dos materiais de construção às condições atuais de vida urbana. As principais vantagens dos agregados leves residem nas suas propriedades isolantes térmicas e acústicas. Apresentam maior segurança contra o fogo e além disso, a sua baixa densidade propicia sensível redução no peso e nos custos das construções, especialmente em pré-moldados.

Dentre as diversas categorias de agregados leves, os produzidos por expansão de argilas, argilitos e folhelhos são os mais interessantes pois, podem ser utilizados, inclusive, em concreto leve estrutural.

O consumo de agregados leves no Brasil é ainda inexpressivo em relação aos materiais tradicionais, prevendo-se contudo, a sua ampliação, principalmente na região metropolitana de São Paulo. Existe, pois, um interesse bastante atual em estudá-los do ponto de vista teórico, prático e tecnológico, bem como, em termos de disponibilidade e de matéria-prima, nas proximidades dos potenciais centros consumidores.

Na bibliografia especializada verifica-se que, os diversos pesquisadores ao estudarem os agregados leves dão ênfase aos aspectos de industrialização, mecanismos de expansão e caracterização em laboratório. Quase nada está publicado em relação aos critérios geológicos adotados na prospecção das respectivas matérias-primas, nem dos trabalhos de pesquisa necessários à sua efetiva avaliação tecnológica e econômica. Dessa forma, julgou-se oportuno a elaboração do presente estudo que visa

* Departamento de Engenharia de Minas da
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Cidade Universitária — Caixa Postal 8174.
01000 — São Paulo, SP, Brasil.

contribuir ao conhecimento das matérias-primas argilosas utilizáveis na fabricação de agregados leves, bem como constituir subsídios para outras pesquisas similares que venham a ser executadas.

Os objetivos do trabalho foram, especificamente, a localização e a caracterização de ocorrências de rochas argilosas-folhelhos, argilitos na região de influência da Grande São Paulo. Procurou-se, ainda, selecionar materiais com pouca umidade e características naturais de expansão que dispensassem o uso de aditivos, levando em contas as seguintes premissas:

- localização dos depósitos, com características adequadas, visto que os atuais custos industriais e de transporte limitam a distância entre as jazidas e os centros consumidores a uma centena de quilômetros; e

- os investimentos relativamente vultuosos, necessários à industrialização, que tornam indispensável uma rigorosa caracterização da matéria-prima em seus aspectos qualitativos e quantitativos.

Para tanto, após um levantamento bibliográfico das informações disponíveis sobre as diversas características das rochas argilosas expansíveis, foram selecionadas as unidades geológicas mais promissoras para a sua ocorrência no Estado de São Paulo, nas quais realizou-se a prospecção, durante os anos de 1972 e 1973.

Dentro desses objetivos foram desenvolvidos trabalhos de campo e de laboratório, totalizando visita a cerca de 450 afloramentos de rochas argilosas e 500 ensaios e exames tecnológicos, tanto para a caracterização da matéria-prima, como do agregado leve resultante. Os ensaios e exames tecnológicos consistiram na aplicação de diversas técnicas de verificação do comportamento termoplástico das rochas argilosas em mufia, forno rotativo e microscópio de aquecimento, além de análise química e mineralógica. O agregado leve produzido nestes ensaios foi caracterizado quanto à sua forma, peso específico, composição granulométrica e resistência à compressão do concreto leve preparado com esse agregado. Por meio destes trabalhos foram selecionadas algumas dezenas de ocorrências de rochas expansíveis mais promissoras, em grande parte localizadas no Grupo Tubarão.

II – TRABALHOS ANTERIORES

É considerável o número de artigos divulgados em todo o mundo sobre as matérias-primas para a produção de argila expandida. Schmidt (1970) compilou cerca de 160 publicações no período de 1948 a 1970.

No Brasil a literatura disponível é bastante pequena, sendo de destaque o trabalho de Souza Santos (1966). Este autor, juntamente com outros técnicos de Divisão de Cerâmica do IPT, tem desenvolvido pesquisas no setor as quais culminaram com a instalação de uma fábrica de agregados leves na região de Jarinu, Estado de São Paulo (Souza Santos e Mitidieri, 1973). Souza (1966) e Souza e Lourenço (1971) divulgaram pesquisas sobre argilas e folhelhos do Recôncavo Baiano, visando a fabricação de agregados leves. Albracht (1968) e Formoso (1970) apresentaram estudos sobre concretos leves e matérias-primas argilosas, desenvolvidas no Instituto Tecnológico do Rio Grande do Sul.

Tesuka (1973) apresentou dissertação sobre concretos leves de argila expandida, fornecendo importantes subsídios para a utilização de argila expandida em concreto estrutural. Também, Rosso (1969) elaborou trabalho sobre os agregados e os concretos leves em geral.

Em 1969, a ABNT estabeleceu as especificações provisórias PEB – 228, 229 e 230 sobre utilização de agregados leves em elementos de alvenaria, como isolante térmico e em concreto estrutural.

III – CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS MATÉRIAS-PRIMAS ARGILOSAS EXPANSÍVEIS

A expansão de rochas argilosas de composição adequada, deve-se à liberação de gases que, durante o estado de fusão incipiente não podem escapar, devido a formação de uma delgada camada superficial impermeável. Deste modo, os grânulos adquirem estrutura interna porosa, geralmente envolvida por uma capa externa vítrea (Fig. 5). Para a obtenção de argila expandida de boa qualidade é importante determinar o ponto crítico da interação das seguintes variáveis: a temperatura de expansão e início de fusão, e o menor peso específico com boa resistência mecânica.

As características mais importantes na escolha de argilas expansíveis são a constituição mineralógica, química e granulométrica, bem como, a presença de compostos orgânicos, água e minerais que liberem gases durante a fase de fusão incipiente, o que geralmente ocorre a cerca de 1.100 – 1.200°C. A expansão industrial da matéria-prima argilosa é feita em diferentes tipos de fornos e equipamentos de aquecimento.

Mesmo quando uma rocha argilosa não possui características naturais satisfatórias de expansibilidade, estas suas propriedades podem ser melhoradas mediante o uso de aditivos que agem de diferentes maneiras: proporcionando melhor expansão, abaxando o ponto de fusão, reduzindo o peso

específico, aumentando a resistência e ampliando o intervalo de temperatura entre a expansão e a fusão. Os aditivos mais comuns são diversos tipos de óleo, betume, carvão, calcita, dolomita, nefelina-sienita, gesso, sulfito de sódio, soda cáustica, "lama vermelha", hematita e pirita. Alguns desses aditivos constituem resíduos industriais altamente poluentes como é o caso das "lamas vermelhas", efluentes do tratamento de bauxita na indústria de alumínio.

Existem diversas opiniões entre aqueles que se dedicaram ao estudo da composição mineralógica de rochas argilosas expansíveis, especialmente, quanto aos minerais argilosos, notando-se que, a illita e a montmorillonita são sempre mencionadas, enquanto a importância de outros minerais argilosos, como a caulinita, é ainda discutida. A illita e a montmorillonita tem, por outro lado, a composição química bastante próxima da região de expansibilidade de Riley (1951) e Wilson (1954), enquanto a caulinita fica afastada (figura 7).

A real influência da granulometria é ainda mal definida.

Quanto à composição química existem, também, diferentes opiniões entre os diversos pesquisadores que estudaram o conteúdo mais adequado para uma argila expansível. Decorre isso, possivelmente, da complexidade das reações desencadeadas, envolvendo diversos elementos. Por essa razão, a constituição química tem sido um dos aspectos mais discutidos.

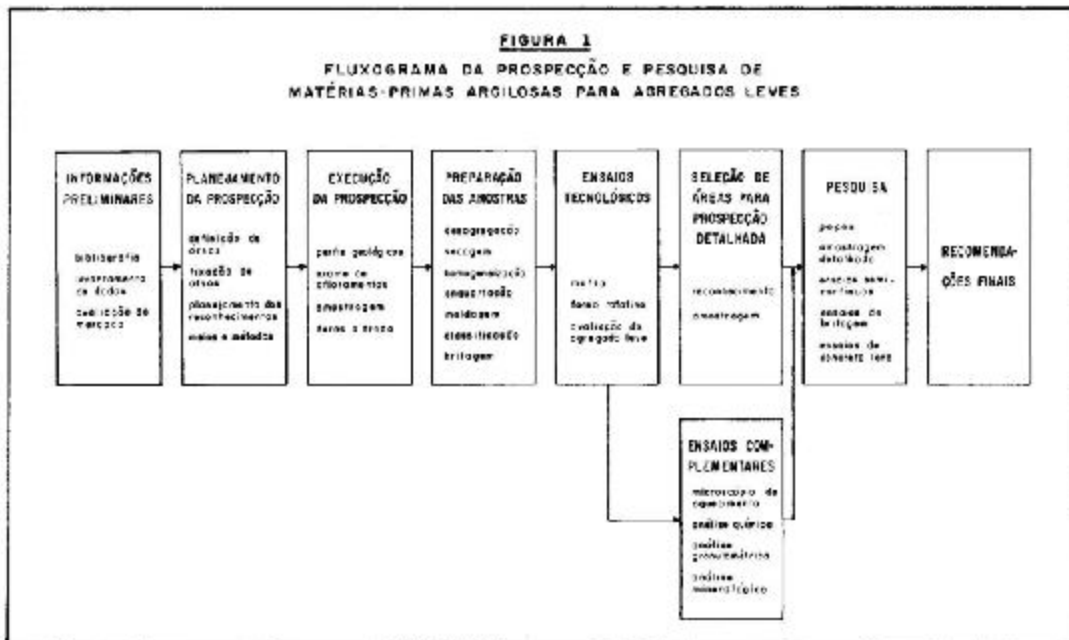
Riley e Wilson (op.cit.) utilizando-se de numerosas análises químicas de argilas expansíveis e não expansíveis elaboraram um diagrama composicional triangular (fig. 7) e fixaram como condições básicas para o desenvolvimento do processo, a formação de uma fase termoplástica, com uma viscosidade adequada para aprisionar gases; e a presença de substâncias formadoras de gás, que devem ser liberados em temperatura próxima à da formação da fase vítrea.

O diagrama de Riley embora seja de uso corrente na apreciação de matérias-primas para argila expandida, permite definir, apenas, a primeira das condições básicas acima mencionadas. A validade deste critério é aceita pela maioria dos pesquisadores, embora Schellmann e Fastabend (1972) tenham demonstrado que existem argilas não expansíveis que caem na zona favorável, enquanto argilas expansíveis, caem fora da mesma região.

IV – PROSPECÇÃO

A prospecção de rochas argilosas expansíveis foi efetuada mediante a utilização de diversas técnicas, envolvendo tanto trabalhos de campo como de laboratório, conforme figura 1.

Os trabalhos de campo foram precedidos de um planejamento, onde procurou-se definir as áreas mais propícias para reconhecimento, levando-se em conta os ambientes favoráveis à formação de matéria-prima adequada. Após a execução de um levantamento numa determinada região, o lote de amostras representativas coletado, totalizando 2 ou 3 dezenas, era preparado e ensaiado em laboratório. O conhecimento das várias características constituía importante subsídio para o prosseguimento ou não dos trabalhos, naquela região.



Os estudos de laboratório foram de duas naturezas: ensaios tecnológicos preliminares, compatíveis com a fase de prospecção, que consistiram na caracterização e verificação prática do comportamento térmico das amostras em mufla, forno rotativo e "choque térmico" e exames complementares, incluindo microscópio de aquecimento e determinação da composição mineralógica e química, visando obter maior número de informações sobre as rochas argilosas, de utilidade para as fases seguintes de pesquisa. Os ensaios preliminares, relativos ao comportamento térmico já eram suficientes para a seleção das amostras mais favoráveis, entretanto antes de se recomendar a pesquisa — mais detalhada de determinada área, foram executados ensaios adicionais com o objetivo de caracterizar de maneira mais completa, as propriedades de expansão das rochas argilosas.

Naturalmente, os detalhes dos elementos de caracterização de cada amostra tiveram de manter-se em proporção com a utilidade prática dos resultados a serem obtidos. Num estudo de caráter tecnológico não teria sentido obter um excesso de elementos analíticos referentes à amostras, das quais não se poderia esperar nenhuma utilização industrial.

IV.1 — Critérios geológicos para a prospecção de rochas argilosas expansíveis no Estado de São Paulo.

A prospecção de rochas argilosas expansíveis foi programada e executada levando-se em conta os seguintes fatores:

- um depósito economicamente aproveitável deveria se localizar a cerca de 100 km de São Paulo, no máximo;

- esse depósito deveria ser, também, de fácil acesso, localizando-se nas proximidades de ferrovia ou rodovia, dispendo de infra-estrutura necessária à extração e implantação de uma fábrica;

- o volume de matéria-prima deveria ser superior a 1.000.000 m³ e, de preferência, com características naturais de expansão.

- a topografia local e os outros fatores condicionantes da lavra da jazida deveria, ser favoráveis, de modo a permitir a extração fácil e econômica do material.

Considerando-se essas premissas e os ambientes geológicos mais propícios à formação de rochas argilosas expansíveis apresentaram-se como alvos imediatos para verificação as seguintes unidades geológicas (figura 2):

- os sedimentos argilosos da Bacia de Taubaté, em especial a Formação Tremembé. A Formação São Paulo, mais abundante nas proximidades da cidade de São Paulo, despertou menos interesse devido a sua má seleção. Embora ocorram nesta unidade estratos de folhelhos e argilitos, dificilmente poderiam constituir depósitos com volume razoável e de lavra simples. Além dos aspectos geológicos, o vale do Paraíba oferecia, também, uma infra-estrutura e um mercado potencial favoráveis à implantação de uma fábrica de argila expandida.

- os sedimentos do Grupo Tubarão, Sub-Grupo Itararé (Petri, 1964), onde são freqüentes as acumulações de folhelhos, argilitos, tilitos e varvitos especialmente na "Formação Itu" (Barbosa e Almeida, 1964). Esta "Formação" é a principal fonte de matéria-prima para a Indústria de cerâmica vermelha e estrutural no Estado de São Paulo, devido a sua riqueza em rochas argilosas e sua localização em relação à metrópole paulista. Acresce ainda que, a única fábrica de argila expandida instalada em Jarinu, proximidades de Jundiaí, utiliza como matéria-prima sedimentos correlacionáveis ao Grupo Tubarão.

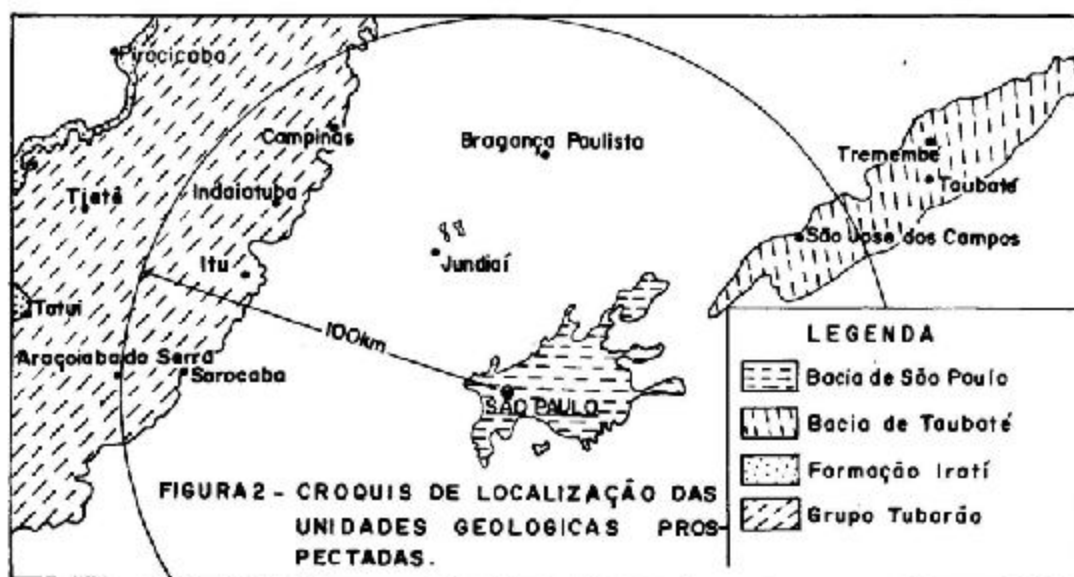
- os folhelhos da Formação Itararé, sendo que o seu modo de ocorrência, em camadas decimétricas intercaladas em calcários, bem como a distância dos afloramentos conhecidos em relação à São Paulo apresentaram-se como fatores desfavoráveis, apesar da litologia, da presença de matéria orgânica e da existência de montmorillonita.

- os metassedimentos argilosos do Grupo São Roque, especialmente filitos que ocorrem nas imediações da Capital. Algumas experiências se justificavam, considerando a utilização de rochas argilosas metamórficas como matéria-prima para argila expandida em outros países.

Embora não pudessem ser consideradas favoráveis do ponto de vista geológico, restavam ainda algumas regiões, com extensa sedimentação argilosa: as aluviões recentes, os sedimentos da Bacia de São Paulo e do Neocenozóico. Levando-se em conta o restrito conhecimento das características térmicas das rochas destas unidades, deveriam ser coletadas, pelo menos algumas amostras para verificações. Nesta mesma situação se apresentaram os sedimentos neocenozóicos apesar do ambiente de deposição desfavorável e da predominante composição caulínica.

As argilas de alteração de rochas basálticas e alcalinas não foram consideradas devido à sua localização.

Dentre todas as unidades geológicas consideradas, os sedimentos do Grupo Tubarão e da Formação Tremembé, afiguravam-se desde o início como promissoras, fato confirmado no desenvolver dos trabalhos.



IV.2 – Trabalhos de campo

Os trabalhos de campo foram executados ao longo de estradas, totalizando cerca de 5.000 km, tendo sido visitadas (cerca de) 450 exposições de rochas argilosas. Nesses afloramentos procurou-se observar vários aspectos de interesse à pesquisa, tais como:

- as cores primárias e secundárias das rochas argilosas, procurando-se aquelas de cor vermelha, verde e cinza-escuro, como as mais propícias a um conteúdo em óxidos de ferro, ilita/montmorillonita e matéria orgânica.

- o modo de ocorrência, a forma das acumulações e as intercalações de sedimentos estranhos. A maioria das exposições visitadas eram lenticulares, com espessuras variáveis. As intercalações mereceram atenção, especialmente, no Grupo Tubarão e na Bacia de Taubaté. Principalmente no primeiro são comuns os ritmitos, cíclicos ou não, de comportamento térmico diverso. A presença de grânulos, seixos e matações foi considerada como desfavorável, mesmo quando a matriz argilosa apresentava propriedades expansíveis, o que levou a rejeitar diversas localidades. Essa situação é marcante nos tilitos e varvitos e na Formação São Paulo;

- a presença de capeamento alterado que, também, se comporta de modo bastante diverso em relação à rocha subjacente, durante o processo de aquecimento. Notou-se que, os produtos de alteração de argilitos expansivos não apresentam expansão, razão pela qual sempre foi feita uma avaliação da espessura do capeamento estéril. Admitia-se uma relação entre capeamento e matéria útil da ordem de 1:1.

- a presença de velos, concreções e crostas de diversos minerais, como carbonatos, limonita, pirita e marcassita os quais tanto podem auxiliar como dificultar a expansão adequada.

- as estruturas primárias, tais como acamamento, fraturas e foliação.

- a granulometria, procurando-se aquelas com fração fina predominante, plásticas. Entretanto, certos argilitos e até silitos, com elevado conteúdo em argila, compactos e rígidos, apresentaram boas características de expansão.

As técnicas habituais de amostragem de canal ou por pontos, foram utilizadas de acordo com a forma, dimensões dos afloramentos e aparente homogeneidade das rochas expostas. Na maioria das situações foi adotada a amostragem de canal, que permite o maior detalhe na tomada das amostras e a sua correlação com as feições geológicas observadas. Recorreu-se também a furos de trado, agrupando-se a cada metro o material recuperado, de acordo com suas características, principalmente a cor. A profundidade máxima atingida foi de 5 metros, utilizando-se trado manual de 2".

Com o objetivo de atingir a melhor economia de trabalho de campo e de laboratório, as amostras preliminares retiradas em cada localidade foram submetidas a ensaios de laboratório e, somente, quando estas demonstravam características de expansão promissoras, foi efetuada a amostragem mais detalhada dos respectivos locais.

V. TRABALHOS DE LABORATÓRIO

Durante os trabalhos de campo procurou-se tomar um volume de amostras adequado para

assegurar a representatividade do material, em função da espessura e da aparente homogeneidade das camadas aflorantes. De maneira geral, em cada local amostrado foram colhidos alguns quilogramas de rocha, quantidade contudo, excessiva para a execução dos ensaios tecnológicos. A redução do volume inicial das amostras para a realização destes ensaios foi efetuada mediante uma preparação que se desenvolveu segundo as seguintes etapas: 1) desagregação manual, com martelo ou britamento dos blocos maiores até obter granulção máxima de uma polegada; 2) homogeneização e enquadramento; 3) secagem natural ou em estufa; 4) nova enquadramento e 5) classificação granulométrica para os ensaios nas seguintes faixas granulométricas, sugeridas por Conley (1948): $-3/4'' + 1/2''$, $-1/2'' + 1/4''$, $-1/4'' + 8 \text{ mesh}$ e $< 8 \text{ mesh}$.

No caso de argilas propriamente ditas ou de amostras obtidas por furos a trado entre as fases 2 e 3, procedia-se à moldagem manual do material em pequenas bolas com diâmetro da ordem de 1 cm.

Antecedendo os ensaios de laboratório, procedeu-se a um exame petográfico das amostras tanto "in natura", como após a secagem, anotando-se as suas características quanto a cor, foliação, frações granulométricas grosseiras, etc.

V.1 – Verificação das características térmicas das rochas argilosas expansíveis

O estudo das características térmicas das rochas argilosas foi executado mediante o seu aquecimento gradual em mufla elétrica até temperaturas máximas que alcançaram 1.300°C, considerando-se a expansão e fusão superficial dos materiais ensaiados como indícios significativos para a obtenção de agregados leves.

Para a realização destes ensaios colocam-se alguns fragmentos de pelotas de 1/2 polegada numa placa de refratário, sendo então aquecidas com um gradiente térmico da ordem de 10°C/min, até a temperatura acima mencionada.

A quase totalidade das amostras coletadas foi submetida a ensaios térmicos, sendo excluídas apenas aquelas que, já na fase preliminar de preparação mostraram características pouco promissoras, como por exemplo, o excessivo conteúdo de componentes arenosos. Atendendo às finalidades do presente trabalho foram selecionadas algumas, consideradas mais significativas para exemplificar o comportamento dos diversos tipos de rochas argilosas estudadas pertencentes a diferentes unidades geológicas.

Quase 20% das amostras coletadas apresentou características preliminares consideradas satisfatórias, destacando alguns argilitos e folhelhos da Formação Tremembé, os folhelhos pretos da Formação Irati e os folhelhos, argilitos, siltitos, ritmitos do Grupo Tubarão. As demais rochas estudadas incluindo argilas de baixada, rochas argilosas Neocenozóicas, sedimentos da Formação São Paulo e metamorfitos do Grupo São Roque, foram rejeitadas após os exames prévios, por apresentarem refratariedade a temperaturas excessivamente altas, da ordem de 1.300°C.

V.2 – Caracterização do comportamento termoplástico em fornos rotativos

Os ensaios de aquecimento visam, em primeiro lugar, a verificação de simples possibilidade de utilizar determinada rocha argilosa como matéria-prima para a obtenção de agregados leves; e, em segundo, a constatação das condições experimentais mais adequadas para a obtenção de materiais com as qualidades desejadas, tais como, o mínimo peso específico, resistência mecânica máxima, forma e características granulométricas homogêneas, além de uma superfície externa fechada.

Embora aparentemente simples, as experiências de aquecimento são condicionadas por um considerável número de variáveis, entre as quais as mais importantes são as seguintes: constituição original das amostras, modificadas pelos métodos de preparação; tipo de atmosfera durante o aquecimento; eventual uso de aditivos; temperatura máxima atingida; velocidade de rotação do forno; regime de aquecimento e outros.

A utilização de fornos de laboratório tem sido o procedimento preferido, pois, permite a verificação direta do comportamento termoplástico das matérias-primas para agregados leves. O uso de outros critérios de previsão, como a composição química e mineralógica não fornecem, pelo menos, na fase preliminar todas as informações desejadas. As técnicas de aquecimento de laboratório são, também, mais fáceis e econômicas de serem efetuadas, em comparação com outras experiências.

As informações fornecidas por essas técnicas, na grande maioria dos casos, podem ser consideradas conclusivas para a previsão do comportamento dos respectivos materiais, numa eventual operação em escala industrial. Além disso, elas permitem, já na primeira fase dos estudos, determinar aproximadamente as condições térmicas adequadas, uma vez que é possível a inspeção visual durante todo o aquecimento.

No presente trabalho foram utilizados dois tipos de equipamentos, ambos providos de um dispositivo de rotação lenta: um forno tubular de aço inoxidável, disposto horizontalmente dentro

de uma câmara aquecida por gás liquefeito de petróleo, e um forno tubular aquecido a óleo, com incidência direta da chama do maçarico sobre o material estudado.

Basicamente, esses dois equipamentos diferiram entre si por suas dimensões, pela incidência direta ou não da chama sobre o material em estudo, pela possibilidade ou não de variar a velocidade de rotação e pelo tipo de material com que as amostras ficam em contato, aço inoxidável ou refratário. Quanto às suas características operacionais os referidos fornos apresentaram, também, diferenças muito importantes, de decisiva influência na condução dos ensaios. No forno a óleo foram obtidas temperaturas relativamente homogêneas em todo o seu interior, enquanto que, no forno a gás obtiveram-se diferenças mais acentuadas de temperatura, dependendo da maior ou menor distância da zona de incidência da chama sobre a parede externa do tubo. Esse gradiente interno ainda pôde ser acentuado quando as suas extremidades foram deixadas abertas. Desta maneira, por exemplo, os segmentos próximos das extremidades, nos trechos em que atravessam os refratários, possuíam temperaturas de 400 — 500°C enquanto o centro, alcançava 1.200°C. Isso permitiu impor variações bruscas de temperatura às amostras ensaiadas, simplesmente deslocando-as ao longo do interior do tubo. A velocidade máxima de aquecimento do forno a óleo é da ordem de 20°C/min, enquanto no forno a gás pode atingir até 50°C/min.

Uma outra maneira, bastante rápida, de caracterizar a expansibilidade de rochas termoplásticas consistiu em submetê-las a um **choque térmico**, introduzindo o material preaquecido a cerca de 500°C, à temperatura de 1.200°C, onde permanecia pouco mais de 1 minuto. Essa técnica foi diagnóstica das características das rochas expansíveis, embora muitas vezes, os produtos finais apresentassem superfícies trincadas e baixa resistência mecânica. Entretanto, a adoção de regimes de aquecimento mais lentos possibilitou a expansão sem trincas.

V.3 — Resultados

Além da verificação do comportamento termoplástico das rochas argilosas e do estabelecimento das melhores condições para a obtenção de agregados leves de boa qualidade, a execução dos ensaios possibilitou, também, a produção de argila expandida com características diversas, decorrentes da própria natureza da matéria-prima. O exame dos diversos aspectos apresentados pelos produtos expandidos forneceu subsídios para a execução de outros procedimentos tecnológicos, visando a melhoria das suas características, quando necessário.

A caracterização da argila produzida experimentalmente, foi feita quando a expansão, que se apresentou favorável em cerca de 50% das amostras selecionadas nos ensaios prévios. A expansão volumétrica atingiu valores da ordem de 80 a 200% em relação ao volume inicial. Os 50% restantes, correspondentes as amostras consideradas desfavoráveis podem ser divididos em dois grupos: o primeiro deles que não apresentou qualquer indício de expansão, era representado por rochas argilosas alteradas, coletadas próximo à superfície; o outro grupo era constituído por rochas foliadas ou de sedimentação rítmica, onde alguns estratos expandiram (Fig. 3). Incluem-se neste grupo os varvitos e alguns folhelhos onde apenas os leitos argilosos expandiam, permanecendo inalterados os leitos siltosos. Algumas dessas rochas foliadas poderiam, contudo, se tornar utilizáveis mediante uma conveniente preparação, incluindo moagem e moldagem.

Em certos casos a irregularidade na expansão decorreu do elevado conteúdo de matéria orgânica, como observado em folhelhos e argilitos da Formação Tremembé (Fig.3). A expansão dessas rochas foi, também, de difícil controle, devido ao pequeno intervalo de expansão-fusão que apresentaram.

Os argilitos e alguns siltitos do Grupo Tubarão, dentre as rochas ensaiadas, foram os que apresentaram-se mais favoráveis quanto à expansão.

Quanto ao peso específico, os valores mais favoráveis situaram-se entre 0,7 kg/dm³ e 0,45 kg/dm³. Em diversos ensaios foi possível diminuir sensivelmente o peso específico do agregado leve mediante a mudança nos regimes de aquecimento ou com a adição de óleo.

Quanto à forma, procurou-se obter agregados equidimensionais, com capa externa vítrea, de preferência arredondados, a partir de matéria-prima em fragmentos irregulares ou em pelotas, confeccionadas mediante moldagem. A utilização de fragmentos de rocha, nos casos mais favoráveis, possibilitou a obtenção de agregados arredondados.

Após a avaliação dos resultados acima descritos e a seleção das melhores matérias-primas, realizaram-se ensaios semi-contínuos utilizando-se as rochas mais promissoras. Através desse procedimento foi produzida uma quantidade maior de argila expandida, o que permitiu caracterizá-la de acordo com as normas da ABNT, tendo em vista a sua possível utilização em concreto estrutural leve.

Para tanto, foram efetuadas as seguintes determinações adicionais:

— ensaios de composição granulométrica que se apresentaram composições comparáveis ao produto disponível no mercado de São Paulo;



Fig. 3 - Expansão irregular de um fragmento de folhelho da Formação Tremembé

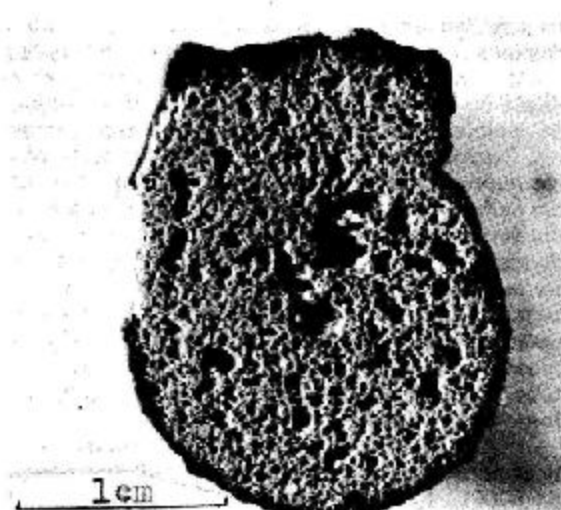


Fig. 5 - Seção de um grão de argila expandida, mostrando a estrutura celular interna e a capa vítrea externa



Fig. 4 - Argilito e argila expandida obtida em forno rotativo em laboratório

— a absorção de água situou-se entre 0,5% a 4%, com média das determinações da ordem de 1,5%;

— testes de resistência à compressão, executados em corpos de prova de concreto leve, apresentaram valores médios de 200 kg/cm² (7 dias), 220 kg/cm² (14 dias) e 272 kg/cm² (28 dias). Os corpos de prova foram preparados com diversos traços e com argila expandida de 0,6 kg/dm³, conferindo ao concreto leve massa específica aparente de 1,50 kg/dm³.

Os módulos de rutura obtidos se enquadram perfeitamente nas normas para concreto estrutural leve da ABNT e são comparáveis à materiais similares utilizados no País os quais apresentam resistências máximas à compressão da ordem de 300 kg/dm³ (28 dias).

— o desgaste do agregado leve, obtido por ensaios de Abrasão Los Angeles (M.35-64 e ME-23), situa-se entre 26 e 37%.

Estes resultados obtidos podem ser considerados satisfatórios e são perfeitamente compatíveis com a fase de prospecção até então desenvolvida.

VI — DETERMINAÇÕES COMPLEMENTARES

VI.1 — Microscópio de aquecimento.

Microscópios especiais, providos de platina de aquecimento, também são utilizados para a

observação detalhada do processo termoplástico de expansão de uma argila, tendo sido bastante usados por alguns autores em trabalhos de natureza acadêmica (Schellmann e Fastabend, op. cit.). As observações microscópicas feitas com esse dispositivo nem sempre podem ser extrapoladas para um comportamento em fornos piloto ou industriais, sendo possível contudo, obter diversas informações adicionais importantes.

O material para o estudo térmico, após a secagem, é pulverizado e prensado sob forma de um cubo de 3 mm de lado, sendo colocado na platina do microscópio e aquecido até 1.100°C. Posteriormente, a temperatura é aumentada à razão de 15°C/min, até cerca de 1.350°C.

As fotografias da Figura 8, ilustram o tipo de observação que pode ser feita mediante a utilização do microscópio de aquecimento, mostrando o comportamento de 5 amostras, sendo a seqüência 1, relativa a um argilito da Formação Tremembé e a seqüência 2 (2a, 2b, 2c e 2d) de 4 amostras de um argilito do Grupo Tubarão, tomadas a diferentes profundidades. Estas amostras foram preparadas e fotografadas pelo Dr. Werner Schellmann, do Bundesanstalt für Bodenforschung de Hannover, Alemanha Ocidental.

A seqüência nº 1 mostra o aparecimento de fissuras no cubo de argilito entre 1.100 e 1.200°C, o que é desfavorável possibilitando a perda de parte dos gases úteis ao processo. A expansão inicia-se a 1.150°C, sendo bem visível acima de 1.200°C. Entre 1.200 e 1.250°C há o início da fusão do argilito, que é total a 1.360°C. A 1.300°C surge um entumescimento localizado na superfície (parte direita da foto), o que é também desfavorável porque demonstra expansão irregular, com conseqüente enfraquecimento do grão.

As seqüências 2a e 2b, que são ambas de argilito inalterado, tomado próximo à superfície, mostram que o processo se inicia entre 1.150 a 1.200°C continuando até 1.300°C. O material, embora se apresente arredondado, tem algumas rugosidades na parte externa, o que indica irregularidades na expansão.

As seqüências 2c e 2d, ilustram a expansão de amostras de mesma localidade, coletadas a maiores profundidades; o processo de termoplástico se inicia a 1.100°C e a 1.200°C, respectivamente. O material adquire forma arredondada a 1.200 e 1.250°C. O grau de arredondamento, a superfície apertamente perfeita e a regularidade da expansão, permitem admitir uma viscosidade adequada para a obtenção de agregado leve com boas características.

O estudo em microscópio de aquecimento indica que o material da seqüência 2, apresenta melhores características de expansão do que a da série 1. Demonstra, também, uma diferença de comportamento térmico entre as diversas amostras da seqüência 2, o que provavelmente se relaciona com a profundidade e o estado de alteração intempérica. Os materiais coletados em maiores profundidades, em geral apresentaram melhores características e ponto de expansão-fusão a temperaturas mais baixas. A faixa de eventual utilização das amostras de seqüência 2 seria entre 1.150 e 1.200°C.

VI.2 – Composição mineralógica

No presente trabalho procurou-se caracterizar a constituição mineralógica de algumas amostras que se apresentaram favoráveis em ensaios anteriores.

Os componentes detríticos foram identificados macroscopicamente ou em lâminas delgadas nas frações silte e areia, sendo os principais: quartzo, feldspato, calcita, pirita, limonita, turmalina e opacos. Os três primeiros destacam-se como os mais freqüentes. A pirita e a calcita são relativamente abundantes, parecendo importantes na expansão de argilitos pobres em matéria orgânica.

Para a identificação dos minerais de argila adotou-se a difração de Raios-X e a análise térmica diferencial. O estudo por Raios-X foi feito em lâminas delgadas orientadas ou por sedimentação da fração argilosa. A identificação de minerais argilosos do grupo de 12A 15Å baseou-se nos critérios de Warshaw e Roy (1961). Os minerais que apresentaram reflexões mais intensas foram o quartzo e mica/ililita. Além destes foram identificados vermiculita, caulinita e montmorillonita.

As análises térmicas diferenciais foram de menor utilidade na identificação, devido possivelmente, à mistura de minerais argilosos, o que impossibilitou a obtenção de curvas características. Serviram, contudo, para avaliar as alterações térmicas das rochas argilosas com aquecimento até 1.100°C. A maioria das curvas de ATD indicou a presença de mica/ililita, não sendo possível identificar com segurança picos característicos de montmorillonita.

Em resumo, foi assinalada a presença de quartzo e mica/ililita em todas as amostras selecionadas; na grande maioria delas ocorrem, também, caulinita e vermiculita. A montmorillonita foi confirmada em apenas três amostras. Em alguns casos suspeitou-se da presença de argilo-minerais interstratificados.

VI.3 – Composição química

Algumas das amostras que apresentaram características favoráveis de expansão nos ensaios anteriores, foram também, submetidas à análise química. O simples relacionamento do conteúdo em

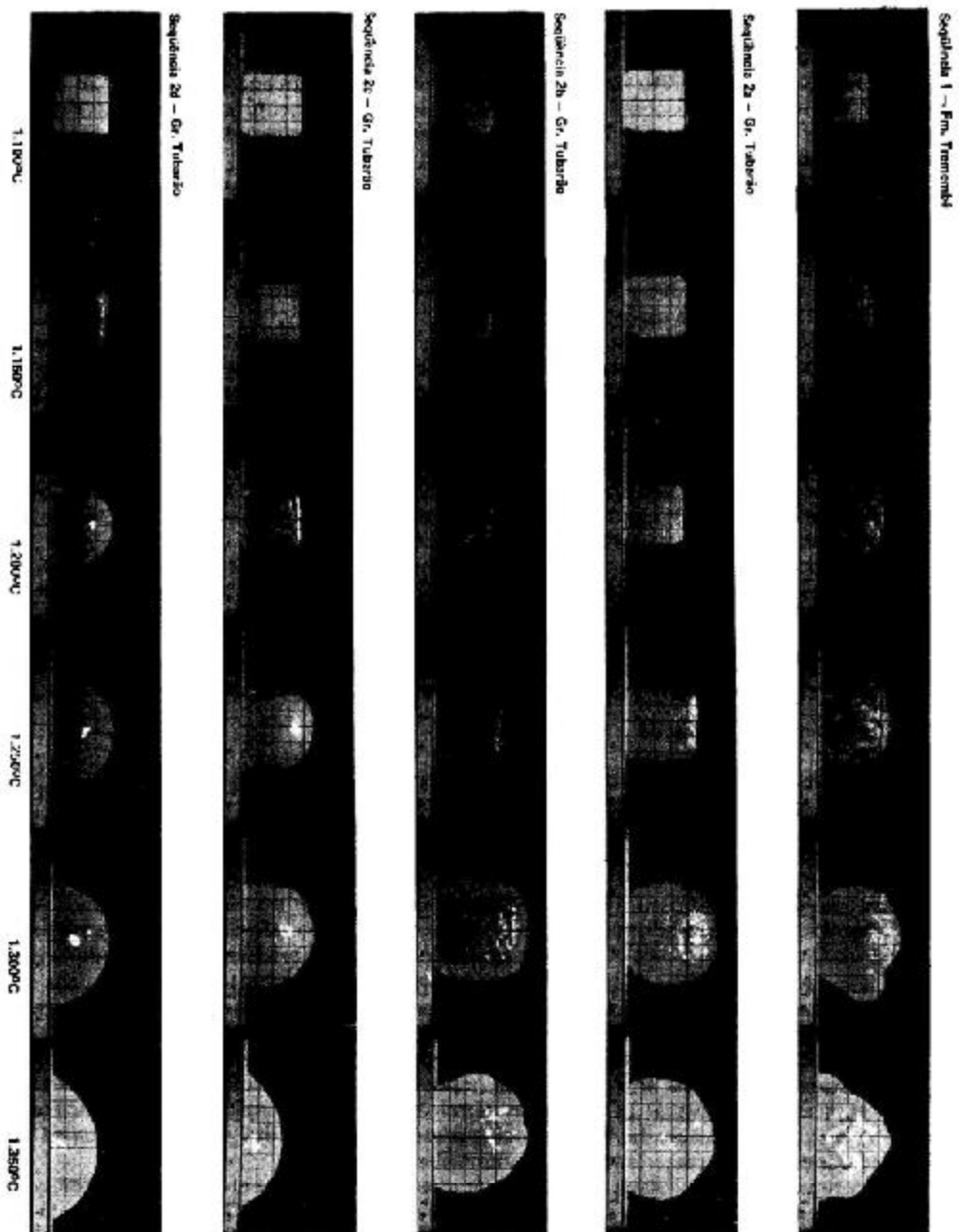
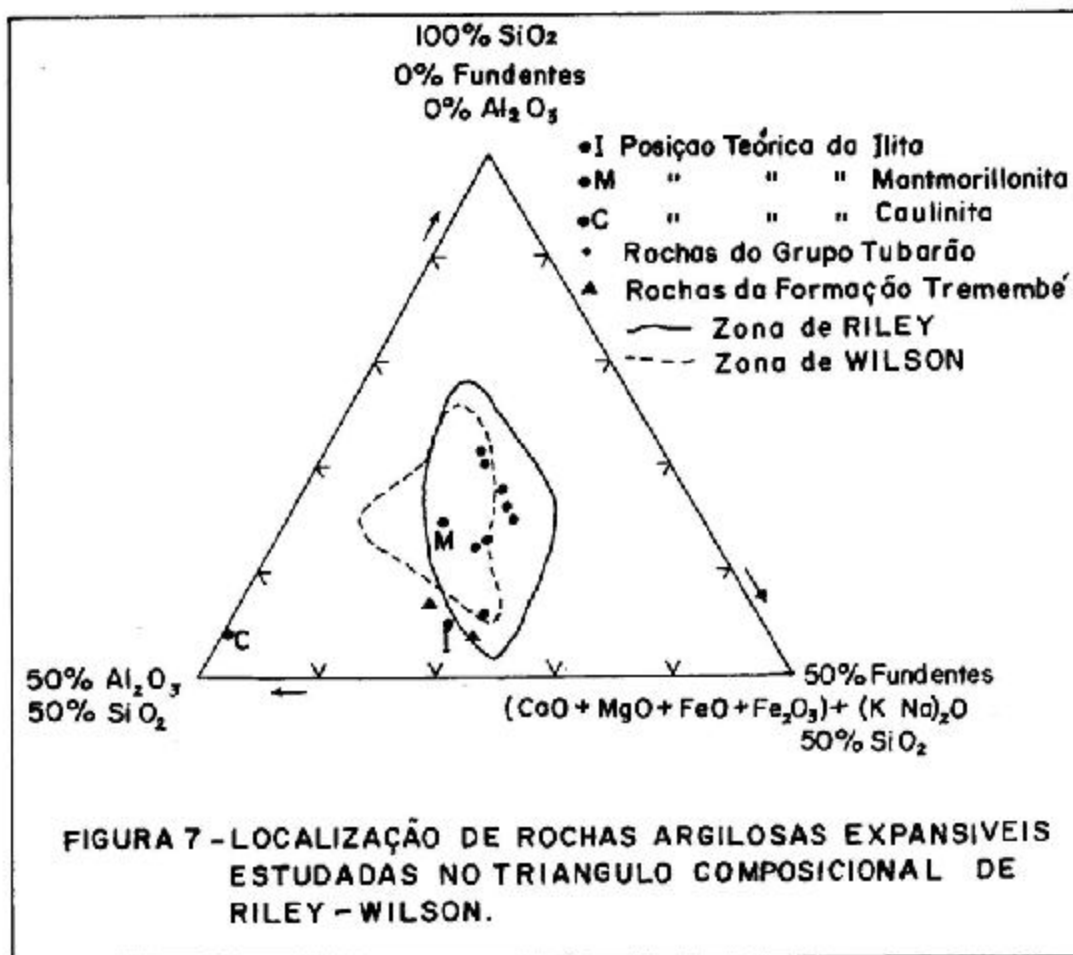


Fig. 8 - Evolução dos processos de expansão fraco da malha original observada no microscópio de aquecimento

óxidos característico de cada uma das amostras ou a apresentação de tabelas, tem um significado restrito, razão pela qual a composição química destas amostras será examinada no contexto do diagrama triangular do Riley e Wilson, figura 7. Para tanto a composição química das rochas expansíveis foi calculada em base comum, eliminando-se especialmente as porcentagens correspondentes à perda ao fogo e recalculando-se os óxidos nas somatórias propostas pelos autores supracitados.



O exame da figura 7 permite notar que:

- todas as amostras de rochas argilosas mais favoráveis do Grupo Tubarão, se encontram dentro da zona de expansibilidade;
- as duas amostras de argilitos da Formação Tremembé, caem fora da zona favorável devido seu baixo conteúdo em sílica. Este fato justifica também a dificuldade já mencionada, em controlar a sua expansão e em obter um agregado leve com boas características. Uma delas, contudo, fica próxima do limite da zona de Riley.

Isto demonstra a utilidade do triângulo de Riley-Wilson no estudo de rochas expansíveis, embora este critério não possa ser considerado conclusivo. Além de confirmar os resultados que até então obtidos, essa comparação permitiu visualizar uma solução para o aproveitamento de rochas com expansão inadequada. Exemplos dessa situação são os folhelhos da Bacia de Taubaté, que possivelmente, poderiam ser aproveitados mediante a conveniente mistura de outros materiais ou aditivos.

VII - CONCLUSÕES

O presente trabalho foi executado visando a localização de matérias-primas argilosas para a produção de agregados leves. Para atingir as finalidades propostas foram coletadas no campo e ensaiadas em laboratório cerca de 360 amostras, cujo estudo permitiu as seguintes conclusões:

a) do ponto de vista geológico, existem no Estado de São Paulo duas unidades mais promissoras quanto a disponibilidade de matéria-prima para a obtenção de argila expandida: o Grupo Tubarão e a Formação Tremembé, que contém depósitos de rochas argilosas favoráveis, situados a cerca de uma centena de quilômetros da Capital. Na Formação Irati foram encontradas, também, rochas expansíveis que não chegaram a ser consideradas neste trabalho, devido à sua localização e modo de ocorrência;

b) cerca de 20% do total de amostras coletadas na fase de prospecção, apresentaram indícios de expansão nos ensaios preliminares. Essa porcentagem foi reduzida para 10% após a execução de experiências mais rigorosas em forno rotativo, tendo sido identificadas 15 localidades mais promissoras;

c) dentre todas as variedades litológicas mais favoráveis, destacaram-se diversos argilitos do Grupo Tubarão, pois apresentaram boa expansibilidade. O Grupo Tubarão foi a unidade geológica mais estudada, tendo contribuído com cerca de 200 amostras;

d) folhelhos e argilitos da Formação Tremembé em geral apresentaram expansão, porém os agregados leves obtidos a partir destas rochas tinham pequena resistência. Dificilmente estas rochas poderiam ser, também, extraídas em condições econômicas e a sua eventual utilização parece depender de uma mistura de outros materiais;

e) os ensaios tecnológicos preliminares de verificação do comportamento termoplástico em mufla e em forno rotativo possibilitaram a identificação de rochas propícias para a obtenção de agregados leves. As experiências em fornos rotativos permitiram a produção de pequenas quantidades de argila expandida, que foi caracterizada sob diversos aspectos previstos nas normas técnicas brasileiras, que foram em geral favoráveis. Esses ensaios possibilitaram, também, o estabelecimento das condições básicas para a eventual produção, pelo menos, em escala piloto;

f) a utilização de um forno a gás, que permitiu a adoção de diferentes regimes de aquecimento, mostrou-se de grande utilidade. Esse mesmo equipamento possibilitou, também a verificação do comportamento termoplástico através da aplicação de um choque térmico a 1.200°C, em diversas rochas argilosas. Essa técnica, bastante rápida, foi sempre diagnóstica das amostras mais favoráveis;

g) a partir de diversas rochas argilosas expansíveis foi possível obter argila expandida em temperaturas que se situaram entre 1.050 e 1.200°C;

h) a expansão das rochas favoráveis foi de 80% a 200%, tendo sido obtidos pesos específicos aparentes mínimos da ordem de 0,5 kg/dm³ em agregados com resistência mecânica adequada;

i) o modo de expansão depende da natureza da rocha argilosa. Assim fragmentos de argilitos compactos tendem a produzir agregados leves equidimensionais, enquanto folhelhos apresentam expansão irregular, perpendicular à sua foliação;

j) durante a execução dos ensaios em fornos rotativos, os diversos regimes de aquecimento adotados possibilitaram a obtenção de agregados leves com diferentes pesos específicos. No aquecimento, os fatores condicionantes (ou mais importantes) da obtenção de agregados leves com boas características foram o gradiente térmico, a temperatura de alimentação e a máxima atingida, bem como o tempo de permanência do material no forno;

k) as rochas termo-expansíveis objeto deste trabalho compõem-se, basicamente, de quartzo e mica-ilita como componentes principais, além de montmorillonita, vermiculita (?), caulinita, feldspato e outros minerais. A presença de montmorillonita foi comprovada em 3 amostras, entre as 20 estudadas. Em uma delas suspeitou-se, também, da presença de minerais argilosos interstratificados;

l) do ponto de vista químico, as rochas argilosas apresentam composições dentro dos limites sugeridos por Riley-Wilson;

m) a argila expandida obtida mediante aquecimento da matéria-prima acima referida mostrou características compatíveis com as normas previstas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, inclusive o seu uso em concreto estrutural.

VIII — AGRADECIMENTOS

Registramos nossos agradecimentos aos senhores Professor Dr. José Vicente Valarelli, Prof. Yushiro Kihara, Prof. Dr. José Eduardo Siqueira Farjallat, Geólogo Carlos Takashi Takamiya, Dr. Werner Schellmann, Prof. Dr. Clemente Graco, Prof. Dr. Geraldo Conrado Melcher, Prof. Dr. Helmut Born e Sr. Valentim Robles Arnal pelas sugestões, discussões e colaboração em diversas etapas do trabalho. Aos alunos estagiários Antônio Carlos Bertachini, Yoshiaki Odan e Roberto Nakamura somos gratos pela ajuda prestada nos trabalhos de campo e de laboratório. Agradecemos, também, a Serrana S. A. de Mineração e ao seu corpo técnico pelas facilidades proporcionadas para a execução do trabalho.

BIBLIOGRAFIA

- ALBRECHT, H. — 1968 — *Concretos leves* — Instituto Tecnológico do Rio Grande do Sul. Boletim nº 43.
- BARBOSA, O. e ALMEIDA, F. F. M. de — 1949 — *A série Tubarão na hácia do rio Tietê, Estado de São Paulo* — DGM/DNPM, Notas Preliminares e Estudos, nº 48, 16 p.
- CONLEY, J. E., WILSON, H., KLINEFELTER, T. A. e outros — 1948 — *Production of Lightweight Concret Aggregates from Clays, Shales, slates and other Materials* — U. S. Bureau of Minns. R. I. 4401, p. 1-119.
- FORMOSO, M. L. L. — 1970 — *Argilas expandidas para concreto leve* — Associação Brasileira de Cimento Portland, 32 p., São Paulo.
- PETRI, S. — 1964 — *Grupo Tubarão* — in *Geologia do Estado de São Paulo* — Boletim do Instituto Geográfico e Geológico nº 41, p. 56-63.
- RILEY, C. M. — 1951 — *Relation of Chemical Properties to the Blasting of Clays* — *Journal of the American Ceramic Society*, vol. 34, nº 4, p. 121-128.
- ROSSO, T. — 1969 — *Caracterização de concretos leves* — *Engenharia* nº 312 — São Paulo.
- SHELLMANN, W. e FASTABEND, H. — 1972 — *Laboratorium untersuchungen zur Beurteilung* — von Blähtonen Ziegelindustrie, nº 2, p. 1-8.
- SCHMIDT, H. — 1970 — *Herstellung und Verwendung von Blähtongranulat im Spiegel der Literatur* — *Die Ziegelindustrie* nº 21/22, p. 463-471.
- SOUZA, J. V. — 1966 — *Estudo tecnológico de algumas argilas e caulins do Recôncavo do Estado da Bahia* — Tese de Doutorado, EPUSP, São Paulo.
- SOUZA, J. V. e LOURENÇO, O. B. — 1971 — *Notas preliminares sobre o emprego de argilas e folhelhos do Recôncavo do Estado da Bahia para a fabricação de agregados leves* *Cerâmica*, vol. 17, nº 66, p. 174-186.
- SOUZA SANTOS, P. — 1966 — *Argilas para fabricação de agregados leves* — *Cerâmica*, vol. 12, nº 47/48, p. 281-293.
- SOUZA SANTOS, P. e MITIDIERI, A. — 1973 — *Desenvolvimento de uma fábrica de agregado leve em São Paulo, SP* — *Cerâmica*, vol. 19, ano XIX, nº 73, p. 29-46.
- TEZUKA, Y. — 1973 — *Concreto leve à base de argila expandida* — *Dissertação de Mestrado, EPUSP, São Paulo.*
- WARSHAW, C. M. e ROY, R. — 1961 — *Classification and a Scheme for the Identification — of Layer Silicates* — *Geol. Soc. of Am. Bull.* nº 72, p. 1455-1492.
- WILSON, H. — 1954 — *The British Clayworker* — vol. 63, nº 750, p. 218-219 (in Schmidt, 1970).

CONTRIBUIÇÃO À METALOGENIA DO SISTEMA DE DOBRAMENTOS RIBEIRA

Jorge S. Bettencourt *
Eberhard Warnick *
Faustino Penalva **

RESUMO

É discutido, em caráter preliminar, a distribuição das ocorrências principais de metais básicos e raros vinculados ao Ciclo Brasileiro do Sul do Brasil, à luz da estruturação do Sistema de Dobramento Ribeira. As diversas unidades tectônicas (Faixas de Dobramento e Maciças Medianas), apresentam frequência e tipologias distintas de depósitos minerais de dependência de sua posição na sistema geossinclinal, tipos litológicos associados e atividades tecto-magmáticas associadas.

ABSTRACT

The Ribeira Folded Belt System may be structurally differentiated into zones of alternating Median Massifs and Folded Belts. The examination of these two types of structural units reveal the existence of diverse magmatism either related to the units as a whole or restricted to equivalent tectonic units, and this diversity is also true for the metallic mineralizations which are directly or indirectly related to the magmatic events.

In this study the authors approach these differences mainly based on available data from the Estados do Rio Grande do Sul and São Paulo, and try to explain those differences by means of a metallogenetic model of evolution.

The most important Sn and W mineralizations of Pelotas Median Massif are concentrated along the eastern contact of the Massif as demonstrated by different mineral assemblages. They are genetically related to magmatism and constitute veins, pegmatites and dissemination which show a clear litho - structural control.

In relation to the major mineral occurrences there is a clear regional zoning from east to west through the folded areas including Cu (Au) in Camaquã, Cu, Pb (Au?) in Cérro dos Martins, Cu, Au, Ag, Pb, and Zn in Lavras do Sul and Au in the vicinities of Ramada and São Sepé granite plutons. The mineral assemblages so observed vary in time and space and are conditioned by the host rock types and the characteristics of tectono-magmatic phenomena which give rise to different associated polymorphous deposits. Along the Apiai Folded Belt of distinct geologic history there is mainly Pb, Zn, Ag and Au mineralization which characterize a distinct metallogenetic domain different from the Tijucas Folded Belt. These differences are mainly caused by the particular position in relation to the Ribeira Geosyncline. The absence within the Joinville Median Massif of mineral deposits similar to those of the Pelotas Median Massif suggest that the tectonism marginal to the Joinville Median Massif and the Apiai Folded Belt ought to be much less shallow and less pronounced.

The proposed metallogenetic evolution scheme is compared with some similar geosynclinal areas.

1 - INTRODUÇÃO

No decorrer dos últimos anos o panorama geológico brasileiro caracterizou-se por um crescente e contínuo acúmulo de informações acerca da geologia do sul do País, através de mapeamentos sistemáticos regionais e de estudos de detalhe, ligados a problemas geológicos, estruturais, petroiológicos, geocronológicos, econômicos e estratigráficos de suas áreas cristalinas pré-cambrianas. Esta soma de informações, ainda que insuficiente sob muitos aspectos, já permite a elaboração dos primeiros trabalhos de síntese de caráter preliminar, envolvendo a área em questão.

No presente trabalho os autores apresentam uma análise regional das ocorrências representativas de metais raros e básicos do sul do Brasil, tentando sistematizar a sua distribuição e interpre-

* Departamento de Geociências, F. F. C. L. - Rio Claro UNESP

** Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo

tá-los à luz da estruturação tectônica do Sistema de Dobramento Ribeira (32)** e parcialmente das características das rochas graníticas (58) e vulcânicas ali presentes.

Dentro das possibilidades de interpretação dos dados disponíveis sugerem os principais processos que os geraram bem como comparam a distribuição dos recursos observada com a de outras áreas geossinclinais semelhantes.

II – PANORAMA GEOLÓGICO DO CRISTALINO SUL-BRASILEIRO

A região em foco é constituída por uma sucessão de faixas com disposição geral NE – SW, alternadamente constituída por rochas epimetamórficas (Faixas de Dobramento *) e rochas meso – e catazonais (Maciços Medianos *), constituindo o Sistema de Dobramentos Ribeira * (32). De NW para SE, os epimetamorfitos correspondem às Faixas de Dobramentos * Apiaí, Tijucas e Uruguai Oriental e as faixas meso e catazonais, aos Maciços Medianos * de Joinville e Pelotas (fig. 1 e 2).

A F. D. Apiaí engloba os Grupos * São Roque (Estado de São Paulo) * e Açungui (Estado do Paraná); a F. D. Tijucas é formada pelos Gr. Brusque (Formação Botuverá), (Estado de Santa Catarina) * e Lavalleja (Uruguai); a F. D. do Uruguai Oriental, de pequena expressão, é constituída pelo Gr. Rocha.

As Faixas de Dobramentos são constituídas por rochas ectiníticas, representadas por metasedimentos clásticos grosseiros e finos (conglomerados, arenitos, ritmitos, siltitos, argilitos), clastoquímicos (arenitos calcíferos e margas) e vulmicos (calcários, calcários dolomíticos e dolomitos). Falta a seqüência ofiolítica típica da fase de subsidência, assim como é raro material vulcânico da fase de diferenciação geossinclinal. Toda a seqüência ectinítica, predominantemente epizonal, é cortada por abundantes corpos graníticos. Minerais índices caracterizam a região como tendo sofrido metamorfismo de baixa e média pressão (32, 20).

Os Maciços Medianos são de história geológica bastante complexa. São constituídos por granulitos, charnockitos, rochas ultrabásicas, gnaisses, migmatitos, granitoides, xistos, anfíbolitos; quartzitos, itabiritos e rochas carbonáticas são raros. São unidades polimetamórficas com idades variáveis entre 3.000 e 500 m. a., com rochas referíveis aos Ciclos Guriense (~ 3.000 m. a.), Jequié (~ 2.600 m. a.), Transamazônico (~ 2.000 m. a.) e Brasileiro ** (~ 1.000 – 500 m. a.) (2). Correspondem a faixas crustais muito antigas, sucessivamente remobilizadas e, em parte, representam porções profundas das faixas de dobramentos epimetamórficos brasileiros. A semelhança destas, também os maciços medianos são cortados por abundantes corpos graníticos.

O M. M. de Joinville é constituído pelos Complexos Cristalinos dos Estados de SP e PR, pela Fm. Setuva (PR), assim como pela parte norte do Cp. Taboleiro (SC) e pela extremidade oriental do Escudo Sul-riograndense (RS). O M. M. de Pelotas engloba a parte sul do Gr. Taboleiro (SC), a Fm. Cambaí (RS) bem como parte do Cp. Cristalino do Uruguai.

O S. D. R. acha-se limitado a leste pelo Oceano Atlântico, a sudeste pelo Craton La Plata e a oeste pela cobertura sedimentar-vulcânica da Sinéclise do Paraná. O seu limite nordeste ainda não foi claramente definido, correspondendo à Z. C. Norte de São Paulo, constituída pelos Gr. Amparo, Paraíba, Pinhal e Itapira, também rica em granitoides brasileiros (fig. 2).

Junto aos contatos entre as faixas de dobramento e os maciços, de natureza eminentemente tectônica (33, 47, 44, 31, 29) bem como no interior destes, ocorrem depósitos molassóides associados a efusivas e piroclásticas, ácidos a intermediários, depositados em bacias tectônicas (1, 40, 25, 56). Constituem a Fm. Maricá e os Gr. Bom Jardim e Camaquã (RS), o Gr. Itajaí e a Fm. Garcias (SC), o Gr. Castro e as Fm. Campo Alegre, Guaratubinhas e Camarinha (PR), além do Gr. Eleutério (SP).

(**) Os números em parêntesis indicam a Bibliografia no final do trabalho.

(*) Abreviações usadas neste trabalho:

F. D. Faixa de Dobramento
M. M. Maciço Mediano
Gr.: Grupo
Fm.: Formação
S. D. R.: Sistema de Dobramento Ribeira
Cp.: Complexo
Z. C.: Zona Cristalina
SP.: Estado de São Paulo
PR.: Estado do Paraná
SC.: Estado de Santa Catarina
RS.: Estado do Rio Grande do Sul

(**) Equivalente ao Ciclo Baikaliano (Pré-Cambriano Superior)

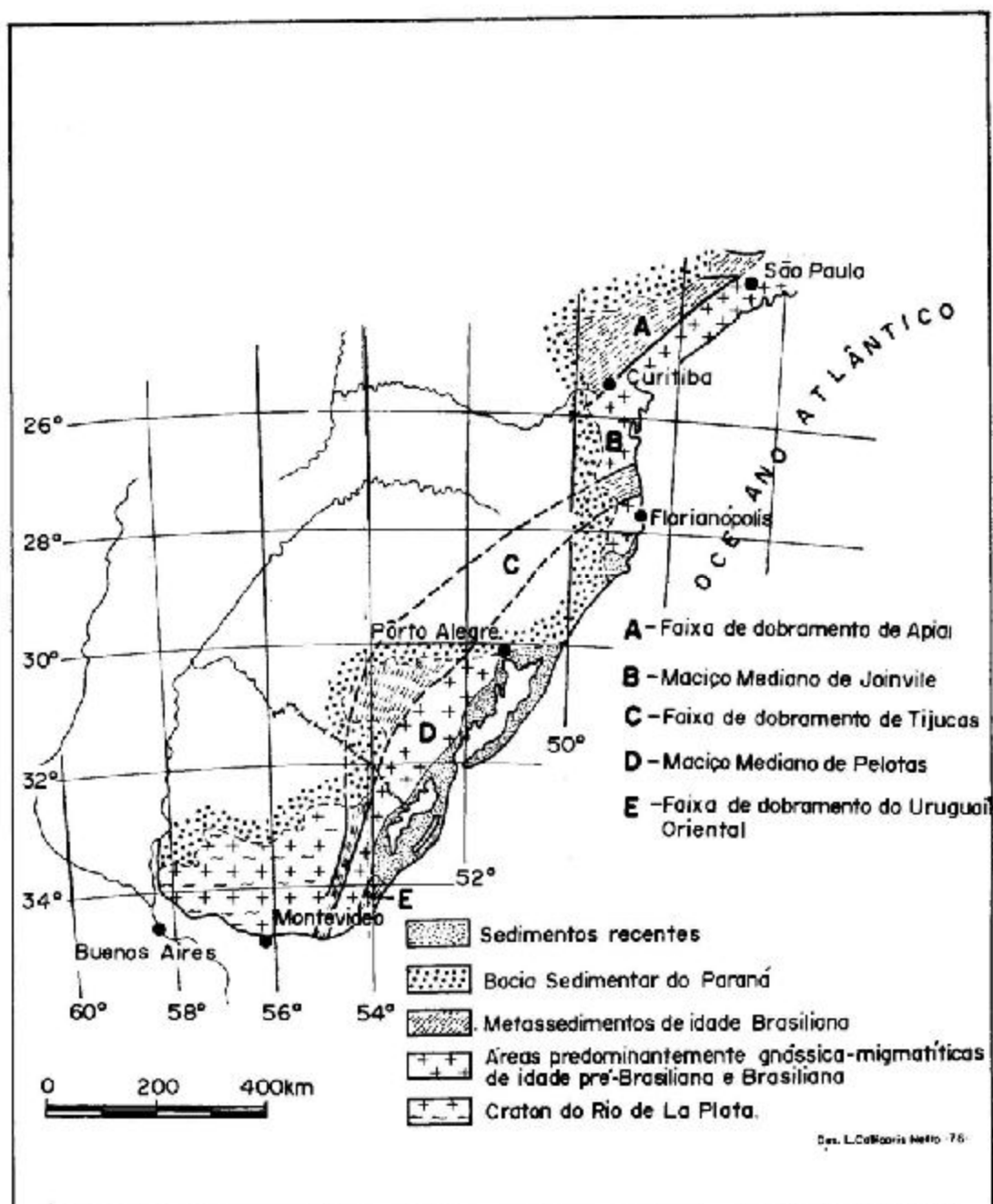


Fig. 1 - Estruturação do Sistema de Dobramento Ribeira, segundo Masui et al. (1975)

Dados geocronológicos (Rb/Sr, K/A) indicam que as rochas das faixas de dobramento foram geradas no Ciclo Brasiliano (Baikaliano) com a seguinte evolução geológica (15):

1. Entre 650 e 600 m. a.: metamorfismo principal e formação de granitos sintectônicos;
2. Entre 590 e 500 m. a.: intrusão dos granitos tardi - e postectônicos; formação de depósitos molássicos;
3. Cerca de 450 m. a.: alçamento regional de cadeiras montanhosas; formação de depósitos molássicos.

No presente trabalho só serão abordadas as porções do S. D. R. expostas no Brasil, omitindo-se a sua área de ocorrência no Uruguai.

III – MACIÇO MEDIANO DE PELOTAS

Os granitos do M. M. de Pelotas ocorrem aglutinados em dois grandes complexos situados na zona tectônica entre o M. M. de Pelotas a F. D. Tijucas. São os Cp. Gaúcho e Pedras Grandes, respectivamente situados ao sul de Porto Alegre e Florianópolis e com áreas de cerca de 10.000 e 8.400 km². O primeiro é formado pelos granitos Dom Feliciano, Encruzilhada, Prestas, Cordilheira, Arroio dos Ladrões, Figueiras, Cerro Frio e Campinas; o segundo pelos granitos Imarú, Morro da Fumaça, Rio Chicão, Jaguaruna e Palmeira do Meio.

Os complexos são de natureza polidiapírica com corpos sin -, tardi -, e postectônicos, nos quais os mais jovens cortam ou rodeiam as intrusivas mais antigas. São intensos os fenômenos de remobilização e metassomatismo. A composição dos diversos granitos varia de quartzo diorítica a granítica, incluindo termos monzoníticos, adamélfíticos e granodioríticos. A sua natureza varia de calco - alcalina a subalcalina, atingindo localmente caráter alcalino. Ocorrem corpos equigranulares e porfiróides, leuco a mesocráticos. Entre as intrusões e nos corpos mais antigos ocorrem intercalações de rochas encaixantes.

Os contatos entre as diversas intrusões são tanto nítidos quanto difusos e freqüentemente tectônicos. Os contatos entre os complexos e as encaixantes do M. M. de Pelotas são difusos ou gradacionais, com freqüente interdigitação entre gnaiesses e granitos e formação de migmatitos. Outras vezes são intrusos, concordantes a discordantes, ou tectônicos. Em relação às rochas encaixantes da F. D. Tijucas são nitidamente intrusivos, discordantes, ou tectônicos. Em todo M. M. de Pelotas ocorrem, com maior ou menor freqüência, diques e "plugs" de granitos ligados à fase de decompressão generalizada que caracterizou o fim da fase tectogênica brasileira (58).

Dados geocronológicos Rb/Sr e K/A (18, 45), revelaram para a fase sintectônica idade de 650 m. a., para a fase tarditectônica, 610 m. a. e para os granitos postectônicos, 550 m. a.

Os principais recursos metálicos do M. M. P. são representados por mineralizações de metais raros (W, Sn, Be, Mo, Nb, Ta) e Li, F, que constituem depósitos ou ocorrências intra - e, predominantemente, peribatolíticas. As segundas localizam-se tanto em ectinitos quanto em migmatitos da faixa de contato entre o M. M. P. e a F. D. T., representada pela Dorsal do Canguçu.

As mineralizações dos Cp. Gaúcho e Pedras Grandes são principalmente de três tipos:

1. Pegmatitos com quartzo, feldspatos, muscovita, columbita, berilo e cassiterita. São fontes de Be, Nb e Ta. Ocorrem em falhas perpendiculares às grandes falhas NE - SW da Dorsal do Canguçu.
2. "Greisens" com quartzo, damourita, turmalina, epidoto, fluorita, zinnwaldita, com Sn, W, Be, Terras Raras, Nb, e Ta, localizados em fraturas.
3. Filões e vieiros com quartzo, cassiterita, calcopirita, fluorita, turmalina, berilo, topázio e monazita, atingem até 1.000 m de comprimento e localizam-se em fraturas NE - SW, NW - SE e E - W.

Dentro do Cp. Gaúcho situam-se as províncias de Campina e Encruzilhada do Sul, caracterizadas respectivamente pela ausência e presença de sulfetos. Na região de Encruzilhada do Sul ocorrem também, ao lado de associações portadoras de W e Sn, pequenas mineralizações compostas apenas por sulfetos de Pb, Zn e Cu. A natureza das paragêneses observadas, quando comparadas com os modelos teóricos de (55) e (52) para tipos de mineralizações de estanho associadas a cúpulas graníticas, permite conferir à mineralização da região de Campina um caráter mais proximal e a da região de Encruzilhada do Sul um caráter mais distal em relação ao foco central da mineralização. A primeira área é caracterizada por paragêneses topázio/zinnwaldita, topázio/muscovita e associações portadoras de turmalina; a segunda área por paragêneses portadoras de turmalinas, associações com clorita e sulfetos ou paragêneses predominantemente sulfetadas.

Vários autores (34, 5, 55), rejeitam as mineralizações de Sn, W, Li, F, etc; como sendo o produto de soluções graníticas residuais. Consideram os depósitos como resultantes da conjugação de processos metassomáticos, incluindo lixiviação, substituição e deposição de Sn e outros elementos originais sendo o Sn contido principalmente nas biotitas de granitos sódicos com características geoquímicas especiais. Segundo (54) existe um confinamento espacial entre ocorrências minerais, entre as quais o Sn, a granitos diapíricos que ascendem sob a forma de massas relativamente passivas ao longo de falhas profundas por ocasião do amainamento das atividades tectometamórficas. Durante a sua ascensão os diápiros provocam mudanças radicais nas condições de P e T das rochas atravessadas, com conseqüente criação de grandes gradientes físicos. Disto resulta a remoção e incorporação de elementos móveis contidos nas encaixantes, profundas ou não, por parte das massas graníticas, propiciando o desenvolvimento dos processos supra mencionados.

Também (50) caracteriza as ocorrências de Sn, W, Mo, Nb, Ta como ligadas a rochas graníticas associadas a falhas profundas que limitam M. M. e F. D. e ressalta que entre as mineralizações de elementos raros, o W é mais freqüente em áreas eugeossinclinais, enquanto o Sn predomina em áreas mioeossinclinais. A maior riqueza em Sn no M. M. P. coaduna-se com as características gerais do

S. D. R. enquadrado por (58) como sendo um geossinclínio de perfil sílico segundo a classificação de (37).

IV – FAIXA DE DOBRAMENTO TIJUCAS

Os granitos nesta faixa são relativamente raros. Podem ser agrupados em dois tipos: 1) os intrusivos nas epimetamórficas e 2) os associados aos depósitos molassóides. Os primeiros são representados pelos granitos Caçapava do Sul, Jaguari-Lavras, Valsungana e Guabiruba e os segundos pelos granitos São Sepé, Ramada e Subida. Os primeiros são corpos mesotectônicos de dimensões médias e circunscritos, e ocorrem sob a forma de domos. São tanto discordantes quanto concordantes e exibem porções marginais com foliação cataclástica e núcleos centrais geralmente maciços. Ostentam auréolas de contato e irradiação de pegmatitos e aplitos. São corpos de polidiapirismo restrito, com facies tardi- e postectônicas. Seu alojamento é controlado pelas estruturas dobradas, ocorrendo em núcleos de anticlinais. Greisenização, metassomatose e remobilização são raros.

São rochas de composição variável entre diorítica e granítica, predominando amplamente esta; comumente são portadoras de ortoclásio. A textura é predominantemente equigranular, associada a termos profliróides e com textura "rapakivi".

Os granitos do segundo grupo são corpos epitectônicos, pequenos, geneticamente ligados às efusivas da fase molássica. Constituem intrusões pós-orogênicas nos depósitos molassóides ou nas epimetamórficas da F. D. Tijucas. Exibem contatos discordantes e "chilled margins"; foliação cataclástica falta nas zonas marginais. Associados a esses corpos, ocorrem diques de basaltos, andesitos, lamprófiros e granófiros. As intrusões são controladas por fragmentos e em alguns casos exibem zoneamento litológico.

As rochas do segundo grupo são de composição variável entre granodiorítica e granítica, predominando amplamente esta. Sua textura é geralmente equigranular e ortoclásio é o feldspato alcalino mais freqüente (58).

Ao lado das rochas graníticas, adquirem expressão na F. D. T, as rochas vulcânicas da fase molassóide. São representadas por riolitos, dacitos, andesitos e subordinadamente basaltos, referíveis às Fm. Hilário, Acampamento Velho e Rodeio Velho.

Datações geocronológicas referentes aos granitos da F. D. Tijucas (16, 18), revelaram para os granitos Caçapava e Jaguari-Lavras história evolutiva complexa, com uma fase de 610 m. a. e outra de 525 m. a. Os granitos de filiação molássica (Ramada, Subida e São Sepé), exibem idade de 525 m. a.

Considerando-se os dados geocronológicos disponíveis para a F. D. T. e a área limítrofe com o M. M. P., podem ser caracterizadas para esta região as seguintes fases tectônicas-magmáticas:

- 650 M. A. – Intrusão de granitos sintectônicos ao longo da Dorsal do Canguçu.
- 610 M. A. – Intrusão dos granitos tarditectônicos de Lavras e Caçapava.
- 610 M. A. – Efusão dos andesitos da Fm. Hilário.
- 550 M. A. – Intrusão dos granitos postectônicos ao longo da Dorsal do Canguçu.
- 525 M. A. – Intrusão das fases postectônicas dos granitos Lavras e Caçapava, penetração dos granitos Ramada e São Sepé e extrusão das efusivas da Fm. Acampamento Velho.
- 525 M. A. – Efusão das vulcânicas da Fm. Rodeio Velho.

Os mecanismos de intrusão e efusão são controlados por falhas, a maioria das quais de natureza profunda.

Os principais depósitos metálicos da F. D. T. demonstram uma conexão espacial e temporal com as atividades tecto-magmáticas plutônicas e vulcânicas. Estes depósitos metálicos concentram-se nas rochas efusivas, piroclásticas, clásticas e pelíticas dos depósitos molassóides e subordinadamente nos ectínitos e rochas graníticas. No Estado do Rio Grande do Sul observa-se nítido zoneamento metalogenético regional seguindo uma seção de E para W, assim expresso:

1. Região de Camaquã e Folha de Bom Jardim. A mineralogia primária principal é representada por pirita, calcopirita, bornita, calcocita, hematita e algum ouro. A mineralização ocorre em sedimentos clásticos e rochas vulcânicas do Gr. Bom Jardim e da Fm. Santa Bárbara, e rochas epimetamórficas da Fm. Vacacaí.
2. Cerro dos Martins, com pirita, calcopirita, bornita, calcocita, hematita, galena e algum ouro. A mineralização ocorre nos clásticos do Gr. Bom Jardim e nos andesitos da Fm. Hilário.
3. Região peri-granito Caçapava (e. q. Santa Bárbara, Primavera, etc.). Ocorre principalmente calcocita e calcopirita em ectínitos da Fm. Vacacaí.
4. Região do Granito Lavras (e. q. Volta Grande, Vista Alegre, Butiá, etc.). A mineralização nas rochas graníticas exhibe pirita, pirrotita, magnetita, hematita, galena, esfalerita e ouro. Nos andesitos da Fm. Hilário ocorre calcopirita, calcocita, bornita, cobre gris, óxidos e ouro.

5. Região de Ramada e São Sepé. Ocorrem filões de quartzo aurífero nos actínitos da Fm. Vaccaí, nos clásticos do Gr. Bom Jardim e nas rochas graníticas.

As mineralizações são do tipo disseminado, preenchimento de brechas e filões, estes últimos associados principalmente a fraturas e falhas E - W e NW - SE relacionadas às grandes falhas regionais NE - SW. De modo geral as paragêneses são simples, semelhantes a outras áreas de mineralização epigenética em rochas molássicas.

Os autores de um modo geral (e. q. 38, 4, 43, 27, 48, 49, 35) admitiram para os depósitos cupríferos da F. D. T. RS, uma filiação magmática, à exceção de (43) e (48) que sugeriram que as mineralizações poderiam ser parcialmente de origem sin-genética. Os presentes autores baseados em estudos preliminares da composição mineralógica das rochas encaixantes e minérios, concentrações de elementos traços dos sulfetos, inclusões fluidas de baritas e composição isotópica ($^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$) dos sulfetos hipógenos da Mina de Camaquã, (6, 7) sugerem: participação de águas meteóricas ou mistura de fluidos hidrotermais durante a deposição a baixa temperatura da última fase de mineralização provável origem profunda do enxofre além de que os elementos metálicos, em boa parte, são familiares às rochas encaixantes da mineralização.

Este processo estaria ligado a soluções hidatogênicas que circularam ao longo das numerosas fraturas profundas, continuamente reativadas, existentes em toda a região e que foram gerados e movimentados em função das diversas fases de aporte térmico ligado às intrusões graníticas e às numerosas manifestações vulcânicas que caracterizam o fim do Ciclo Brasileiro nessa faixa. Estas pulsações tectônicas e as várias fases térmicas acham-se refletidas nos diversos estádios de mineralização, tais como observados por (38, 27, 6, 7, 8).

Neste contexto o zoneamento na F. D. T. seria o resultado de um controle litológico-estrutural. O cobre, regionalmente presente, resultaria da redistribuição de material metálico familiar contido nos sedimentos molássicos e nas rochas vulcânicas em concentrações individualizadas ou em traço. A presença de Pb e Zn em maiores quantidades nas paragêneses da região de Lavras a Caçapava resultaria de sua maior concentração primária nos granitos e rochas vulcânicas. As maiores concentrações de ouro na região dos granitos Lavras, São Sepé e Ramada seria o resultado de metamorfismo hidrotermal nas áreas de maior conteúdo em Au, tanto com filiação primária molássica como ouro de filiação granítica e andesítica. Entre as mineralizações destas regiões distinguem-se paragêneses com ouro, pirita, pirrotita, goetita, magnetita, hematita, galena e esfarelita presentes na região dos granitos Caçapava e Lavras e outra com quartzo aurífero e pirita que ocorre na região de Ramada e São Sepé. Segundo (39) estas associações correspondem respectivamente a depósitos resultantes da remobilização em condições meso - e epitermais, estando a segunda associação de acordo com o caráter parcialmente sub-vulcânico dos granitos Ramada e São Sepé.

Depósitos semelhantes aos supra escritos ocorrem também nos actínitos, granitos e depósitos molássico-clásticos do Estado de Santa Catarina (Fm. Botuverá, Gr. Itajaí, granitos Valsungana e Guabiruba).

V - MACIÇO MEDIANO DE JOINVILLE

Os granitos do M. M. de Joinville, ocorrem grosseiramente agrupados segundo 3 faixas distintas com orientação geral NE - SW. As duas primeiras (faixas NW e central) são formadas por grandes batólitos predominantemente polidiapíricos envolvendo fases sin -, tardi - e postectônicas. A terceira (SE) engloba principalmente intrusões postectônicas menores de caráter alascuítico ou alcalino.

A primeira faixa situa-se ao longo do contato, essencialmente tectônico, entre o M. M. de Joinville e a F. D. Apiaí, de tal modo que os complexos graníticos exibem contatos tanto com rochas epizonais a NW quanto com rochas meso - a catazonais a SE. Os principais representantes desta faixa são os complexos de Agudos Grandes e Piedade, formando possivelmente um só grande complexo com cerca de 200 por 200 km e com disposição geral paralela às estruturas regionais. São de caráter polidiapírico, com rochas sin - e tarditectônicas cortadas ou rodeadas por corpos postectônicos. Ostentam composição variável, entre quartzo diorítica e granítica, predominando os termos adamélficos. São constituídos tanto por rochas equigranulares quanto predominantemente porfiríides. Parte dos granitos porfiríides adamélficos, principalmente os mais foliados, são muito heterogêneos e exibem patentes sinais de fenômenos metassomáticos, representados por intensa blastese de megacristais de microclina. São comuns intercalações mais ou menos extensas de rochas encaixantes mesonais com disposição paralela à lineação dos corpos. Seus contatos com as rochas graníticas são ora nítidos ora difusos. Os contatos entre os complexos e as rochas encaixantes do M. M. de Joinville, são variáveis, desde gradacionais, difusos, até nítidos, quer intrusivos quer tectônicos. Já os contatos com as rochas epizonais da F. D. Apiaí são tectônicos ou nitidamente intrusivos.

A faixa central é bastante semelhante à faixa NW, e englobando complexos predominantemente sintectônicos com feições migmatíticas e complexos polidiapíricos, com corpos sin -, tar-

di —, e postectônicos (Cp. Cachoeira, Itariri e Paraibuna, entre outros). A faixa é formada por um número maior de corpos mas de menores dimensões em relação à faixa NW.

A faixa SE é formada por corpos reduzidos (60-200 km²), alásquíticos ou de tendência alcalina, alinhados grosseiramente segundo duas linhas. São corpos postectônicos com contatos intrusivos nítidos, ou tectônicos e de caráter concordante e discordante. Junto aos contatos ocorre localmente brechação e irradiação de diques e veios. A linha sul é formada pelos corpos Gorupá, Morro Redondo, Mandirá, Dona Francisca e Piraf e o alinhamento norte, pelos corpos Anhangava, Graciosa, Marumbi, Barra do Turvo e Guará. Relacionados a estas duas linhas, estão presentes os depósitos molássicos clásticos e efusivos do Gr. Castro e da Fm. Campo Alegre, depositados em bacias tectônicas. Condicionamento tectônico de intrusões postectônicas, através de fraturas, é também observado em relação aos granitos associados ao falhamento de Cubatão, ao sul da cidade de São Paulo.

Ligados à fase de descompressão regional no final do Ciclo Brasileiro ocorrem numerosos diques e "plugs" de granitos porfíros (58).

Dados geocronológicos referentes aos granitos do M. M. de Joinville (14, 57, 45, 16, 15) indicam para a fase sintectônica 650 m. a. A fase tarditectônica é da ordem de 600 m. a. e os granitos postectônicos têm cerca de 540 m. a. A fase vulcânica molássica situa-se ao redor de 425 m. a.

O M. M. J. caracteriza-se, de modo geral, pela ausência, pelo menos até à presente data, de ocorrências metálicas de valor econômico, quer nos granitos quer nos depósitos molássicos. A ausência de maiores mineralizações de W e Sn junto aos contatos entre o M. M. P., a F. D. T. e a F. D. A., como preconizado por (50) sugere que as falhas que limitam o M. M. P. foram menos profundas e intensas que as da Dorsal do Canguçu, implicando em atividades magmáticas granítica menos intensa. Outro fato que chama atenção é a ausência, pelo menos até o momento, de maiores concentrações metálicas ligadas aos granitos alcalinos, o que contrasta com os dados disponíveis para estes tipos de rocha na literatura mundial, principalmente para cinturões modernos. Neste sentido os autores sugerem maiores investigações nestes corpos.

VI — FAIXA DE DOBRAMENTO APIAÍ

As rochas graníticas perfazem cerca de 50% da área de exposição da F. D. Apiaí. Constituem complexos batolíticos com várias centenas de quilômetros quadrados (granitos Cunhaporanga, Três Córregos, São Roque, Sorocaba, Itaqui, Cantareira, Serra Branca), corpos com dimensões intermediárias (granito Morro Grande, Itaoca, São Francisco, São Miguel Arcanjo, Maiporã) e bossas e "stocks" com dimensões reduzidas (Granito Cerne, Piedade, Varginha, Espírito Santo, Apiaí, Capua, Barreiro, Perús, Tico-Tico, Pirapora). São do tipo tardi — e postectônicos, circunscritos, alóctones. As massas graníticas pequenas ou intermediárias são tanto expansões laterais de corpos maiores, quanto intrusões independentes. Os corpos maiores ostentam usualmente forma alongada, paralela às estruturas regionais.

Os complexos desta faixa são do tipo mesotectônico e de polidiapirismo restrito. A primeira feição é revelada pelo controle de sua intrusão através das estruturas dobradas, (alojamentos em núcleos de anticlinais), concordância estrutural (aliada a numerosas discordâncias locais), auréolas e brechas de contato, irradiação de corpos filonares através das encaixantes, amarramento local destas e a presença de xenólitos mais ou menos assimilados. Em vários corpos ocorre alinhamento marginal dos minerais, feições protocataclásticas e ativo tectonismo de borda, sugerindo penetração forçada. O caráter polidiapírico restrito é evidenciado pela heterogeneidade dos complexos maiores (cuja composição varia de quartzo diorítica a granítica), pela associação entre granitos tardi — e postectônicos, com os segundos cortando os primeiros (e. g. granito Carambeí intrusivo no Granito Cunhaporanga) ou rodeando-os (caso dos granitos Cerne, Varginha, Piedade e Ribeirão Branco, associados ao Granito Três Córregos).

Entre os granitos tarditectônicos, que é o mais freqüente, predominam rochas porfiróides de composição adamelítica, constituídos por uma matriz cinza, quartzo diorítica e granodiorítica, na qual estão inseridas quantidades variáveis de megacristais cinza-claros ou rosados de microclina com 2 a 5 cm. Os granitos postectônicos são equigranulares, homogêneos, cinzentos ou rosados, de composição granítica. Geralmente são de reduzidas dimensões. Alguns corpos são caracterizados por textura pegmatóides e ricos em minerais acessórios de origem pneumatolítica.

Somam-se às rochas plutônicas as ocorrências de rochas efusivas do Gr. Castro representando a fase vulcânica molássica. Ocorrem em bacias tectônicas e são representados por riolitos, dacitos, andesitos e material piroclástico. Toda a faixa contém, também, diques e "plugs" de granitos porfíros ligados à generalizada descompressão da fase postectônica (58).

Dados geocronológicos Rb/Sr, através de isócronas de referência, indicam para os granitos tarditectônicos idades ao redor de 620 m. a. e para os granitos postectônicos cerca de 540 m. a. As efusivas molássicas do Gr. Castro são datadas em torno de 425 m. a. (30, 14, 16, 15).

As principais mineralizações metálicas do F. D. A. são representadas por mais de uma centena de ocorrências de Pb, Zn, Cu, Ag, Au, F e Ba, e alguns depósitos de importância econômica, (Painéis, Furnas, Paqueiro, Ribeirão da Rocha, Lageado e Santa Blandina, localizada a Sul de Itapeva (3). As ocorrências da Região do Vale do Ribeira ocorrem dentro de uma faixa lenticular com extensão de 80 km e largura máxima de 20 km, situada a SE do granito Três Córregos. Não são conhecidas ocorrências afastadas mais de uma dezena de quilômetros de corpos graníticos (42, 23, 12). Constituem veios lenticulares em fraturas paralelas ou formando pequeno ângulo com as camadas. Situam-se preferencialmente na Faixa Calcária central (10); subordinadamente ocorrem em margas que constituem enclaves nas rochas graníticas e apenas uma ocorrência é conhecida em xistos. São de mineralogia primária simples contendo galena, esfalerita, pirita, calcopirita, arsenopirita, Au e Ag. A idade das galenas (23, 24, 12) revelam, de modo geral, idades homogêneas aparentes em torno de 1.100 M. A., ou seja superiores aos dos granitos da F. D. A., excluindo-se portanto a hipótese de derivação da mineralização a partir dessas rochas. Tais dados, ainda de acordo com os mesmos autores sugerem que os depósitos sejam de origem singenética ou resultem da remobilização e concentração de material metálico singenético possivelmente contidos nos calcários, no embasamento ou na parte inferior de seqüência sedimentar, durante o metamorfismo do Gr. Açungui, (42) aponta para essas rochas teores de Pb da ordem de 4 ppm, enquanto (9) obtiveram valores entre 10 e 15 ppm.

A ocorrência de Pb e Zn singenético associado a rochas carbonáticas de plataforma é assinalado na literatura mundial. (10) estudando o ambiente de sedimentação das rochas calcárias da F. D. A. concluíram que as águas foram, de modo geral, rasas com os ambientes mais afastados muito próximo do batial.

As ocorrências de Pb ao norte da Falha de Taxaquara (12) devem ser interpretadas à luz dos movimentos ao longo deste elemento tectônico. (32) sugeriram que a porção do Grupo São Roque situada ao N da Falha de Taxaquara possivelmente corresponda a um sulco intrageossinclinal, outrora situado a W do Grupo Açungui. (10) sugerem que as rochas calcárias do Grupo São Roque profundidades de sedimentação mais rasas que as da Faixa Central Açungui e algo mais profundo que os das Faixas NW e SE. A ausência quase total de ocorrência de Pb nas Faixas NW e SW do Grupo Açungui; a pobreza das ocorrências no Grupo São Roque e a concentração dos depósitos na Faixa Central do Grupo Açungui, sugerem que a possível deposição do Pb singenético sofreu controle ambiental mais ou menos patente. Hipótese semelhante foi expressa por (11) e analisada por (41), (53) e (13) para os Alpes orientais. Segundo (53) depressões com ambiente com tendência eufônica seriam particularmente ativos no enriquecimento sedimentar primário de sulfetos de Pb e Zn. Este ambiente foi determinado por (10) para os calcários da Faixa Central do Grupo Açungui.

VII – ZONA CRISTALINA NORTE DE SÃO PAULO

As rochas graníticas da Z. C. N. de São Paulo *ocorrem distribuídas em 3 áreas com características distintas. A área SE situa-se junto ao contato tectônico entre a Z. C. N. de São Paulo e a F. D. Apiaí. É constituída por uma série de corpos isolados, circunscritos, mesotectônicos, simples e de caráter tardi – ou postectônico (granito Itu, Ponanduva, Jundiá, Atibaia, Nazaré Paulista, etc.), de dimensões médias ou pequenas. São de composição variada, entre granodiorítica predominando esta. Sua textura é equigranular ou porfiróide. Exibem contatos discordantes, irradiação de veios e apófises, tectônica de borda mais ou menos intensa, xenólitos. O metamorfismo de contato é pouco nítido dado o caráter gnaissico migmatítico das rochas encaixantes.

A área central é formada por complexos cata – e mesozonais, polidiapíricos, com fases sin –, tardi – e postectônicas (e. g. Cp. Morungaba, Piracaia e Socorro). São de composição diorítica a granítica, compostos por rochas migmatíticas, porfiróides e equigranulares. Os corpos postectônicos cortam os mais antigos (Cp. de Morungaba e Socorro) ou os rodeiam (granitos Itatiba e Jaquariuna, que circundam o Cp. Morungaba). As relações entre as diferentes fases intrusivas são complexas, os contatos são gradacionais, difusos ou intrusivos nítidos (concordantes a discordantes) ou tectônicos. Fenômenos metassomáticos são freqüentes.

A área N representa a maior concentração de material granítico tardi – e postectônico da Z. C. N. de São Paulo, formando tantos corpos isolados, circunscritos, de dimensões médias a pequenas, quanto formando migmatitos no sentido clássico. Neste caso as rochas gnaissicas encaixantes são cortadas, invadidas e assimiladas por material granítico equigranular de composição granítica, originando migmatitos de blocos, estromatíticos, dobrados, de "schlieren", nebulíticos e homofânicos.

A migmatização é acompanhada por intensos fenômenos metassomáticos.

As grandes áreas migmatíticas assim resultantes (Gr. Pinhal) são por sua vez cortadas e rodeadas por corpos postectônicos equigranulares e de composição granítica, caracterizando polidiapirismo restrito.

(*) Zona Cristalina Norte de São Paulo = Z. C. N. de São Paulo

Em toda a região ocorrem, também, diques e "plugs" de granitos pórfiros relacionados à decompressão generalizada que caracteriza o estágio orogênico final. Não são conhecidas efusivas ligadas aos depósitos molássicos (58).

Dados geocronológicos disponíveis indicam para os granitos târdi — e postectônicos idades semelhantes às obtidas para estas fases do M. M. de Joinville (620) e 540 m. a.) (30, 15, 17, 22, 59).

A semelhança do M. M. P., a Z. C. N. de São Paulo mostra-se muito pobre em recursos metálicos, restritos principalmente a pequenas ocorrências de metais raros (W, Li ou U) associados a granitos das proximidades do contato tectônico entre a Z. C. N. de São Paulo e a F. D. A. Wolfrâmio ocorre na forma de vieiros associado a topázio e fluorita; no granito (51) e na região de Sorocaba (36). Estas mineralizações são insignificantes quando comparadas com as do M. M. P. apesar da frequência de fenômenos metassomáticos e pneumatólíticos observados em granitos próximos ao contato tectônico, quer na Z. C. N. de São Paulo quer no F. D. A. (granitos Perúz, Nazaré, Tico-Tico, São Roque, etc.), geralmente portadores de turmalina (19, 28, 46, 26) associado ou não a fluorita.

VIII — CONCLUSÕES

O exame dos principais depósitos metálicos do Sistema de Dobramento Ribeira revela a semelhança das rochas graníticas regionais (58), uma distribuição transversal diferencial sendo cada unidade tectônica (Maciço Mediano, Faixa de Dobramento) caracterizado por tipologias distintas em função de suas características litológicas, estruturais e magmáticas:

1. Os M. M. ostentam mineralizações geralmente reduzidas, com exceção do M. M. P. onde ocorrem quantidades substanciais de Sn associado em maior ou menor grau com W e outros metais raros. Estas mineralizações estão ligadas a rochas graníticas submetidas a complexos processos metassomáticos e vinculadas a falhas profundas que separam o M. M. P. da F. D. T. As associações presentes enquadram-se no modelo de zoneamento proposto para áreas com mineralização de Sn e W. O fato destas mineralizações se restringirem a ocorrências discretas ao longo dos contatos do M. M. J. e da Z. C. N. de São Paulo, sugere que nestes maciços os fenômenos magmáticos marginais foram menos intensos indicando possivelmente que as zonas tectônicas que os delimitam foram menos profundas.
2. As mineralizações nas faixas de dobramento são mais frequentes diferindo entretanto na F. D. A. e na F. D. T.
3. Na F. D. A. a mineralização é essencialmente de Pb e Zn associado a Cu, Au e Ag. Resultam provavelmente da remobilização e deposição por soluções hidatogênicas durante metamorfismo de material singenético cuja distribuição primária poderia ter sido controlada pelo ambiente de sedimentação. Na F. D. T. ocorre essencialmente Cu e Au associado, localmente, a Pb e Zn. Estes elementos metálicos são, em boa parte, provavelmente familiares às rochas molássicas, vulcânicas e graníticas, encaixantes da mineralização.
4. A mineralogia em ambas as faixas de dobramento é relativamente simples e concordante com a descrita em outras regiões geossinclinais com características semelhantes.
5. A mineralização na F. D. A. é comparativamente mais simples e restrita às rochas calcárias. Não ocorre zoneamento regional de tipos de depósitos. Tal fato resulta de uma litologia inicial mais homogênea e apenas uma fase principal de aporte térmico e movimentação tectônica. Na F. D. T. a mineralização é frequentemente polifásica e nem sempre está restrita às imediações de corpos graníticos. Ocorre zoneamento regional correlacionável à distribuição dos diferentes depósitos clásticos, vulcânicos e tipos de rochas graníticas. Tais dados sugerem que a remobilização, concentração, deposição ou redeposição de possível material singenético é devido a soluções hidrotermais geradas e movimentadas pelos diversos eventos térmicos e que circularam ao longo das numerosas fraturas e falhas profundas que cortam a F. D. T. e que foram continuamente criadas e reativadas por ocasião dos numerosos eventos tectono-magmáticos ali assinalados.
6. As diferenças na natureza das mineralizações, no número de eventos tectônicos e térmicos, taxa e tipos de rochas graníticas, frequência em calcários, depósitos molássicos e efusivas associadas na F. D. T. e F. D. A. sugerem que os seus correspondentes intrageossinclíneos ostentaram características diversas no contexto da evolução da Faixa de Dobramento Ribeira. Os dados sedimentológicos, a taxa de rochas graníticas e a relação Sn/W analisadas no presente trabalho, são mais uma vez sugestivos para um caráter essencialmente miogeossinclinal do referido sistema.

BIBLIOGRAFIA

1. ALMEIDA, F. F. M. de (1969) — *Diferenciação Tectônica da Plataforma Brasileira. Anais do XXIII Congr. Bras. de Geologia, 29 — 46.*

2. ALMEIDA, F. F. M. de (1971) — *Geochronological division of the Precambrian of South America*. *Rev. Brasil. Geociências*, 1, (1) : 13 — 21, São Paulo.
3. ARRUDA, M. R. (1971) — *Mineralogia da Mina de Cobre Santa Blandina, em Itapeva, Estado de São Paulo*. *Tese de Doutorado*, I. G. — USP.
4. BARBOSA, A. F. (1958) — *Alguns aspectos da mineralização de cobre e da pesquisa das jazidas do Seival, Estado do Rio Grande do Sul* — *Tese U. S. P.*
5. BARSUKOV, L. L. (1967) — *On the source of ore substance of tin deposits*, *Lecture IAGOD. Symposium*. St. Andrews, Scotlen.
6. BETTENCOURT, J. S. (1972) — *A mina de cobre de Camaquã — RS*. *Tese de Doutorado*. IG — USP.
7. BETTENCOURT, J. S. (1976) — *Mineralogia, inclusões fluidas e isótopos estáveis de oxigênio e enxofre da Mina de Cobre de Camaquã, RS*. *XXIX Congr. Bras. Geol.* — Ouro Preto, MG. (no prelo).
8. BETTENCOURT, J. S. e DAMASCENO, J. E. C. (1974) — *Análise tectônica e controles de mineralizações no Distrito Cuprífero de Camaquã — RS*. *An. XXVIII Congr. Bras. Geol.* — Porto Alegre, RS (no prelo)
9. BETTENCOURT, J. S. e LANDIM, P. M. B. (1974) — *Estudo geoquímico de óxidos e elementos de rochas calcárias do Grupo Açungui pela análise fatorial*. *An. XXVIII Congr. Bras. Geol.* — Porto Alegre, RS. (no prelo)
10. BETTENCOURT, J. S. e WERNICK, E. (1976) — *Geoquímica do Sr de rochas calcárias dos Grupos São Roque e Açungui (SP e PR)*. *XXIX Congr. Bras. Geol.* — Ouro Preto, MG. (no prelo)
11. CASSEDANE, J. (1971) — *Estudo das elementos — traços e acessórios das galenas do Vale da Ribeira (SP)*. *An. XXV Congr. Bras. Geol.* vol. 1: 111 — 119, São Paulo — SP
12. CASSEDANE, J. (1972) — *Les gîtes de plomb e de zinc du Brésil et leur répartition linéamentaire*. *Bull. du B. R. G. M. — Deuxième série — Sect. II, n^o 5, P., 1:31.*
13. CLAR, E. (1953) — *Ueber die Herkunft der ostalpinen vererzung* — *Geol. Rundschau*, v. 42, 1, : 107-127.
14. CORDANI, U. G. (1974) — *Comentários sobre as determinações geocronológicas disponíveis nas Folhas Assunção e Curitiba*. In "Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Folha Assunção — SG. 21 e Folha Curitiba SG. 22. Texto Explicativo", 68-67, M. M. E./D. N. P. M. — Brasília.
15. CORDANI, U. G. e BETTENCOURT, J. (1967) — *Determinação de Idade Potássio — Argônio em Rochas do Grupo Açungui*. *An. XXI Congr. Brasil. Geol.*, 218-223.
16. CORDANI, U. G. e KAWASHITA, K. (1971) — *Estudo Geocronológico pelo método Rb-Sr de Rochas Graníticas Intrusivas no Grupo Açungui*. *An. XXV Congr. Bras. Geol.*, 105-110.
17. CORDANI, U. G.; DELHAL, J. e LEDENT, D. (1973) — *Orogenèses superposées dans le Précambrian du Brésil sud-oriental — (États de Rio de Janeiro et de Minas Gerais)*. *Rev. Bras. Geoc.*, 3, 1-22.
18. CORDANI, U. G.; HALPERN, M. e BERENHOLC, M. (1974) — *Comentários sobre as determinações geocronológicas da Folha de Porto Alegre*. In: "Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, DNPM, Folhas Porto Alegre (SH — 22) e Lagos Mirim (SI — 22)", 70-84.
19. COUTINHO, J. M. V. (1953) — *Petrologia da Região de São Roque, SP*. *Fac. Fil. Ciênc. Letr., U. S. P., Bol.* 159, Mineralogia 13.
20. COUTINHO, J. M. V. (1971) — *Estado atual de conhecimento do Pré-Cambriano Superior Sul Brasileiro: uma síntese*. *An. XXV Congr. Bras. Geol.*, 83-91.
21. COUTINHO, J. M. V. (1972) — *Petrologia do Pré-Cambriano em São Paulo e Arradões*. *Bol. Inst. Geoc., U. S. P.*, 3, 5-19.
22. DELHAL, J.; LEDENT, D. e CORDANI, U. G. (1969) — *Âges Pb/U, Sr/Rb et Ar/K des Formations Métamorphiques et Granitiques du Sud-Est du Brésil (Estado do Rio de Janeiro e Minas Gerais)*. *Annal. Soc. Geol. Belgique*, 92 : 271-283.
23. DAMASCENO, E. C. (1970) — *Geologia de Mina do Paqueiro*. *An. Acad. Brasil. Ciênc.*, 42 (3) : 535-553.
24. DAMASCENO, E. C. e BETTENCOURT, J. S. (1968) — *Idades relativas da mineralização de chumbo da Panelas e Itapirapuã*. *Resumo, XXII Congr. Bras. Geol.*, 37 — Belo Horizonte, MG.

25. EBERT, H. (1971) — O Grupo Guaratubinha no Norte do Estado de Santa Catarina. *Anais do XXV Congr. Bras. Geol.*, 1 : 147-165, São Paulo.
26. FRANCO, R. R. (1958) — Contribuição ao conhecimento das rochas termometamórficas da Série São Roque. *Fac. Fil. Ciênc. e Letr., U. S. P. — Bol.* 189. (Mineralogia 14), 81 pp.
27. GOÑI, J. C. (1961) — O Rapakivi Lavras, Jazidas Metalíferas associadas, Rio Grande do Sul, Brasil, UFRGS, Esc.
26. FRANCO, R. R. (1958) — Contribuição ao conhecimento das rochas termometamórficas da Série São Roque. *Fac. Fil. Ciênc. e Letr., U. S. P. — Bol.* 189. (Mineralogia 14), 81 pp.
27. GOÑI, J. C. (1961) — O Rapakivi Lavras, Jazidas Metalíferas associadas, Rio Grande do Sul, Brasil, UFRGS, Esc. Geol., Bol. 7. Porto Alegre.
28. HASUI, Y. (1963) — Sobre os granitos turmaliníferos de Perú, São Paulo, SP. *Bol. Soc. Bras. Geol.*, 13 (1 e 2) : 87-108.
29. HASUI, Y. (1973) — Tectônica da área das folhas de São Roque e Pilar do Sul. Tese de Livre Docência. Instituto de Geociências da Univ. de São Paulo, 190 pg. (Inédita).
30. HASUI, Y. e HAMA, M. (1972) — Geocronologia do Grupo São Roque pela método potássio - argônica. *Rev. Bras. Geociênc.*, 2 : 8-24.
31. HASUI, Y.; PENALVA, F. e HENNIES, W. T. (1969) — Geologia do Grupo São Roque. *An. XXIII Congr. Bras. Geol.*, 101-134.
32. HASUI, Y.; CARNEIRO, C. DAL RÉ e COIMBRA, A. M. (1975) — The Ribeira Folded Belt. *Rev. Bras. Geociênc.*, 5 (4) : 257-268.
33. HENNIES, W. T.; HASUI, Y. e PENALVA, F. (1967) — O Falhamento Transcorrente de Taxaquara. *Anais XXI Congr. Bras. Geol.*, 159-168 — Curitiba.
34. ITSIKSON, G. V. (1963) — Source of alkaline metals in the course of development of thin-bearing deposits of sulphide-cassiterite formation. *Proc. Symp. Prob. Postmagmatic Ore deposits, Appendix To Volt. 1*: 149-153 — PRAHA.
35. KAUL, P. F. T. e ZIR FILHO, J. A. (1974) — Mineralizações auríferas de Lavras do Sul, RS — tipos, controle tectônico, aspectos genéticos e guias para localização de novos corpos mineralizados. *Bol. n.º 1 — Resumo — XXVIII Congr. Bras. de Geol.*, 108-109.
36. KNECHT, T. (1964) — As Jazidas de wolframita e cassiterita da Serra de São Francisco, Município de Sorocaba, Estado de São Paulo, Brasil. *Congr. Panamer. Eng. Minas, Geol.*, 2º — Petrópolis — *Anais*, V. II, 113-139.
37. KUZNETSOV, Yu. A. (1971) — Principal types of magma-controlling structures and magmatic formations. *Inter. Rev.*, 13 (11) : 1585-1599.
38. LEINZ, V. e ALMEIDA, S. C. (1941) — Gênese de Jazida de Dobre "Camaquã". *Secr. Ind. Com. R. G. S. — DPM — RGS — Bol. n.º 8 — Porto Alegre.*
39. MACHAIRAS, G. (1970) — Contribution à l'étude minéralogique et métallogénique de l'or. *Bull. B. R. G. M. — Deuxième série — Sect. II, n.º 3*, 72 p.
40. MAU, H. (1962) — Atividades magmáticas na Região de Caçapava — Lavras, Estado do Rio Grande do Sul, *Fac. Fil. Ciênc. e Letr. da Universidade de São Paulo. Bol.* 264 (Geologia 19), 64 p. São Paulo.
41. MAUCHER, A. und SCHNEIDER, H. J. — (Redakteure) — (1957) — Entstehung von Blei — Zinkerzlagertstätten in Karbonatgesteinen — Berg — Hüttermann. *Monatsh. Montan. Hochschule Leoben*, 102: 225-226.
42. MELCHER, G. C. (1968) — Contribuição ao conhecimento do distrito mineral do Ribeira de Iguapé, Estados de São Paulo e Paraná. Tese. Escola Polit. USP, 122 p.
43. MELCHER, G. C. e MAU, H. (1960) — Novas observações geológicas na Região de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul. *Anais Acad. Bras. Ciênc.*, 32 : 43-50.
44. MELCHER, G. C., et alii (1973) — Geologia e Petrologia das Rochas Metamórficas e Graníticas associadas do Vale do Rio Ribeira de Iguapé, SP e PR, *Rev. Bras. Geoc.*, 3 : 97-123.

45. **MINIOLI, B. e KAWASHITA, K. (1971)** – Contribuição à Estratigrafia Eo-Paleozóica do Escudo Sul. SBG. Anais do XXV Congr. Bras. Geol., v. 1; 193-198, São Paulo.
46. **PENALVA, F. e HASUI, Y. (1970)** – A intrusão granítica dos Morros Grande e do Tico-Tico, Município de Caieiras, SP. Anais Acad. Bras. Ciênc. 42 (4) : 725-730.
47. **PICADA, R. S. (1971)** – Ensaio sobre a tectônica do Escudo Sul-Rio-grandense. Caracterização dos Sistemas de Falhas. Anais do XXV Congr. Bras. Geol., 1 : 167-191.
48. **RIBEIRO, M. (1968)** – Investigação preliminar sobre a gênese de algumas ocorrências cupríferas de folha de Bom Jardim. An. XXI Congr. Bras. Geol., Belo Horizonte, MG. 65-73.
49. **RIBEIRO, M.; BOCCHI, P. R.; FIGUEIREDO F. P. M. e TESSARI, R. I. (1966)** – Geologia da Quadrícula de Caçapava do Sul, RGS, DNPM/DFPM, Bol. nº 127, Rio de Janeiro.
50. **RUNDQUIST, D. V. (1971)** – On twinned arches of zones with rare-metal mineralization. Proc. IMA – IAGOD – Tokyo – Kyoto Mtgs'70, IAGOD Vol. 82-85.
51. **SALDANHA da GAMA (1946)** – O estudo de jazida de wolframita de Inhandjara. Fac. Fil. Ciênc. Letr., USP. Bol. LX (Mineralogia nº 8) 95 p. São Paulo.
52. **SCHERBA, G. N. (1970)** – Greisens. Intern. Geol. Rev. Vol. 12 nº 2 e 3 : 114-150 e 239-255.
53. **SCHNEIDER, H. J. (1964)** – Facies differentiation and controlling factors for the depositional lead-zinc concentration in the Ladinian geosyncline of the Eastern Alps. 69 Congr. Int. Sedim. Development – Development in Sedimentology – Vol. 2 : 29-45. (Sedim. and ore genesis) – Armstutz ed., Elsevier.
54. **SKVOR, V. (1967)** – The relation of metallogeny to deep – seated faults and granitoid massifs. Proc. Symp. Probl. Hidrotermal ore Deposits. Series A – nº 2 : 82-84 – ST. Andrews – Scotland.
55. **TISCHENDORF, G.; HOSEL, G.; LANGE H. e BOLDVAN, H. (1971)** – The geochemical and structural control of the thin mineralization in the Erzgebirge. Soc. Mining. Geol. Japan, Spec. Issue 3 : 15-19. Proc. IMA – IAGOD Meetings' 70.
56. **TREIN, E. e FUCK, R. A. (1967)** – O Grupo Castro. Bol. Paran. Geoc., 23/25 : 257-305, Curitiba.
57. **WERNICK, E. (1972)** – A geologia do maciço granítico de Morungaba, Leste do Estado de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. Bol. Geol. 16, 110 pp.
58. **WERNICK, E. e PENALVA, F. (1976)** – Rochas graníticas do sul do Brasil, III Congr. Ibero-Americ. de Geol. Econ. – México. (no prelo).
59. **WERNICK, E. et alii (1976)** – Estudo Geocronológica pelo método Rb/Sr em Rochas do Bloco Jundiá. Rev. Bras. Geoc., São Paulo. (no prelo).

CONDICIONAMENTO DAS MINERALIZAÇÕES RADIOATIVAS NO PLANALTO DE POÇOS DE CALDAS, BASEADO EM IMAGENS MSS DO LANDSAT

Waldir Renato Paradella
Raimundo Almeida Filho

RESUMO

Interpretações visuais e automáticas de imagens e fitas compatíveis com computador do Sistema LANDSAT, integradas a dados geológicos, geofísicos, geocronológicos e altimétricos, permitiram definir os principais parâmetros condicionantes das mineralizações radioativas, no Complexo Alcalino de Poços de Caldas, bem como delinear certos aspectos da evolução tectonomagmática desenvolvida na área.

Verificou-se que as anomalias radiométricas e as ocorrências minerais radioativas conhecidas estão relacionadas à presença de estruturas secundárias menores, associadas à caldeira principal.

A identificação de várias destas estruturas é altamente sugestiva, como guia para a prospecção de novos depósitos na área.

ABSTRACT

Visual and automatic interpretation of multispectral images and computer compatible tapes of Landsat System, permitted us to disclose the main controls of the radioactive deposits (Uranium and Thorium) in the Poços de Caldas alkaline Complex.

These interpretative results are concordant with available geological, geochronological, altimetric and geophysical data.

It was verified that the known radiometric anomalies and mineral occurrences are located around secondary circular structures associate with the main caldera.

The identification of several favorable circular structures, is highly suggestive as guides for the prospection of new deposits in the area.

INTRODUÇÃO

O Maciço Alcalino de Poços de Caldas concentra as maiores reservas de urânio atualmente conhecidas no País, havendo volume considerável de informações bibliográficas, fruto de desenvolvimento de estudos na área, desde o final do século passado.

A análise das imagens multiespectrais do satélite LANDSAT-1 possibilitou o reconhecimento de características novas, que integradas a dados bibliográficos já existentes, permitiram delinear novas perspectivas, no estudo dos controles das mineralizações radioativas.

SÍNTESE GEOLÓGICA DA ÁREA

A reativação tectonomagmática que afetou a Plataforma Brasileira, entre o Mesozóico e o Cenozóico (ALMEIDA, 1967), foi caracterizada, entre outros eventos, pelo intenso magmatismo alcalino. Datações geocronológicas efetuadas por AMARAL et al (1967) e BUSHEE (inédito), em rochas do Maciço de Poços de Caldas, permitem colocá-lo como ligado à segunda fase da Reativação "Wealdeniana".

O Complexo apresenta uma forma ligeiramente circular, com diâmetro em torno de 30 km e altitudes por volta de 1.200m. Às suas bordas, dispõem-se diques anelares, conferindo à estrutura o aspecto de uma grande cratera.

O Maciço de Poços de Caldas é uma das maiores manifestações de rochas alcalinas em todo o mundo, incluindo tipos comuns ao clã dos nefelina-sienitos, representados por foiaítos, tinguaítos, larvas fonolíticas, tufos e aglomerados relacionados à atividade vulcânica. Algumas ocorrências de sedimentos são encontradas no interior do Planalto, principalmente em suas bordas. As encaixantes

granito-gnáissicas do embasamento, em alguns locais, apresentam-se fenitizadas, próximo ao contato com a intrusão.

MATERIAL E MÉTODOS

No presente trabalho foram utilizadas Fitas Compatíveis Com Computador (CCT), diapositivos e cópias em papel, dos 4 canais, ampliadas em escala conveniente, referentes à imagem E-104B-12330, de 09 de setembro de 1972, do Scanner multiespectral do LANDSAT-1. O uso de interpretação visual e automática de dados de sensoriamento remoto é uma técnica relativamente nova, sendo raros os trabalhos que empregam tais métodos. A maioria dos artigos pode ser encontrada nos anais dos simpósios, patrocinados pela NASA, sobre os resultados do Programa LANDSAT.

A interpretação visual das imagens LANDSAT-1 foi discutida por LIU et al (1973) e AMARAL (1974). De um modo geral, ela se assemelha aos moldes clássicos de fotointerpretação. No entanto, a propriedade fundamental em que se baseia o sensoriamento remoto, de que materiais diferentes mostram assinaturas espectrais diferentes, para cada banda do espectro considerada, faz com que os métodos de interpretação, de imagens e fotografias multiespectrais, se diferenciam, em muitos aspectos, da interpretação fotogeológica convencional.

Na interpretação visual, foram utilizadas as imagens dos canais 5 (0.6-0.7 μ) e 7 (0.8-1.1 μ). A boa refletância dos solos e rochas, expostos na faixa do canal 5, faz com que esta banda seja a mais utilizada no mapeamento de unidades fotogeológicas. Por outro lado, a uniformidade de tons de cinza, devido à alta refletância da vegetação no infravermelho próximo, aliada a efeitos de sombreamento, ressaltam a morfologia do terreno na banda do canal 7, facilitando o mapeamento estrutural.

Dados de sensoriamento remoto em geral e, em particular, imagens e fotografias multiespectrais obtidas de aeronaves, satélites ou plataformas espaciais, reúnem uma quantidade tal de informações, que seria impossível absorvê-las, em tempo hábil, pelos métodos convencionais de interpretação.

Da necessidade de um monitoramento rápido e a baixo custo, dos recursos naturais, estão surgindo sofisticadas técnicas de interpretação automática, com o crescente uso de computadores.

Neste trabalho, todas as classificações automáticas e realce de cenas foram efetuadas no Analisador Multiespectral "Image 100" (I-100), do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). Este aparelho é o mais moderno sistema de interpretação automática de dados, atualmente disponível. Sua principal função é a de extrair informações a partir de dados multiespectrais, aplicáveis a uma variedade de disciplinas.

Operando com base no princípio de que todos os objetos ou materiais possuem assinatura espectral própria, o aparelho utiliza essa propriedade para identificar feições similares, através da análise simultânea das assinaturas espectrais dos alvos, em diferentes bandas do espectro eletromagnético. Para isto, é necessário, no entanto, que o usuário informe à máquina quais os objetos ou feições (água, solo, vegetação, etc.), de seu interesse. Isto é feito por meio de um cursor que, assumindo diferentes formas e tamanhos, é posicionado sobre o tema a investigar, permitindo à máquina extrair as propriedades espectrais do mesmo. Ao final desta etapa, o sistema analisa toda a imagem, ou determinada área, em escala apropriada, pixel * a pixel, e determina se as propriedades espectrais de cada pixel correspondam àquelas do objeto investigado. O produto final é um mapa temático, no qual estão assinaladas as áreas que mostram características espectrais semelhantes às escolhidas na fase de treinamento.

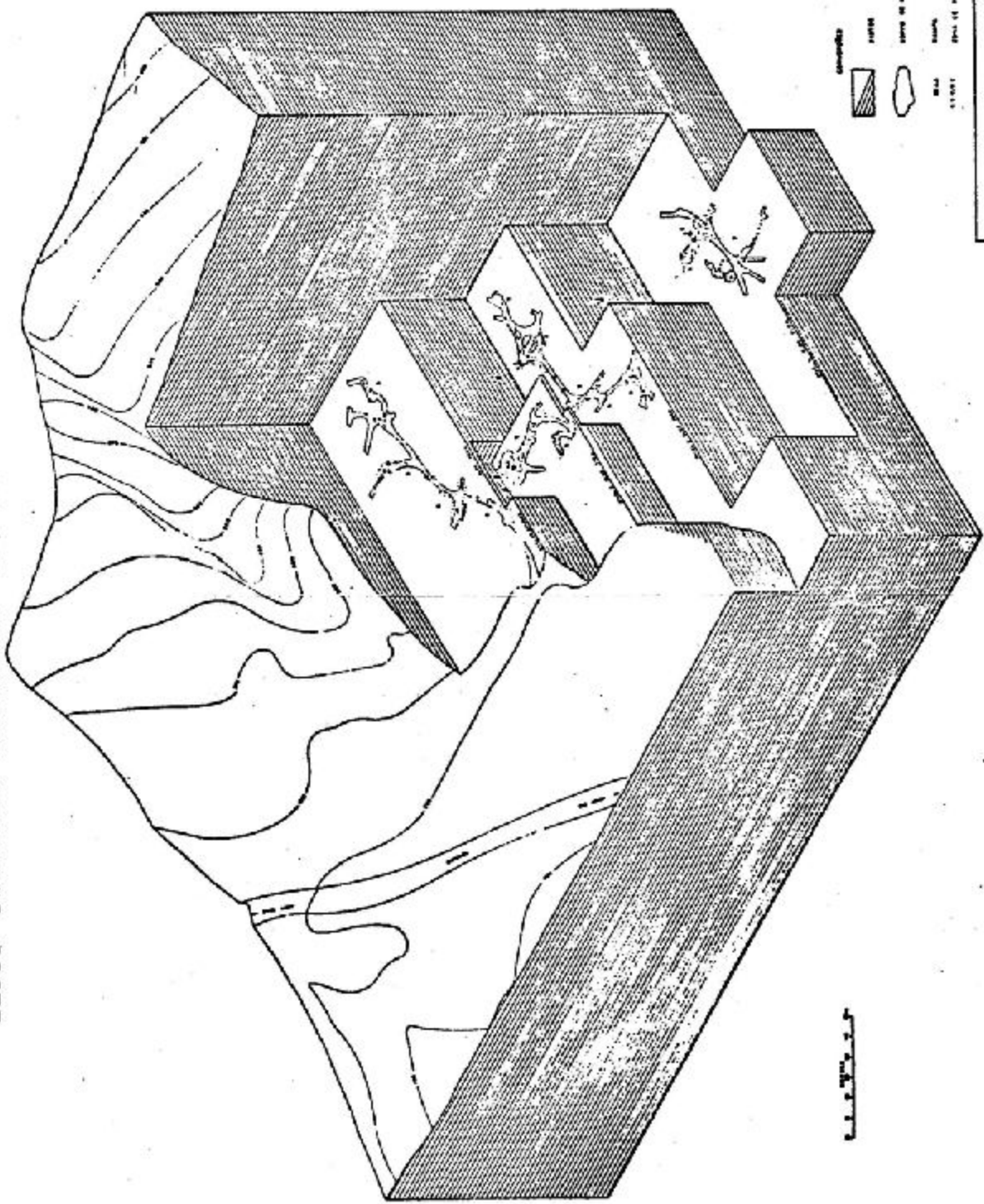
Tais temas são mostrados em um vídeo de TV a cores, podendo ser gravados em fitas magnéticas, filmes, "printout" ou documentados através de fotografias comuns.

Neste aspecto, como se vê, a interpretação automática é supervisionada, pois cabe ao usuário definir as áreas de treinamento, assim como julgar, com base em conhecimentos prévios, se a classificação corresponde a um dado ou conjunto de dados de verdade terrestre.

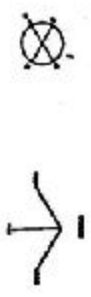
As composições coloridas falsa cor, de imagens LANDSAT, obtidas através de combinações de diferentes filtros e variações de intensidade luminosa, e as classificações baseadas em áreas de treinamento, são apenas algumas das mais simples funções desempenhadas pelo I-100. Um conjunto de programas (software), adaptados ao sistema, possibilita tratamento bem mais sofisticado, permitindo realce de cenas, a partir dos dados de entrada.

* Menor elemento de informação contido na imagem.

BLOCO DIAGRAMA ISOMÉTRICO DA MINA DE BELA FAMA



Legenda:
 [Hatched Box] Estratigrafia
 [Hatched Box] Fundos
 [Hatched Box] Obras de arte
 [Hatched Box] Minas
 [Hatched Box] Eixo de inclinação de caméras de minas



INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - UFRJ

AUTOR: ABRAMO G. TORRES
 DATA: JUNHO DE 1974
 ESCALA: 1:5000

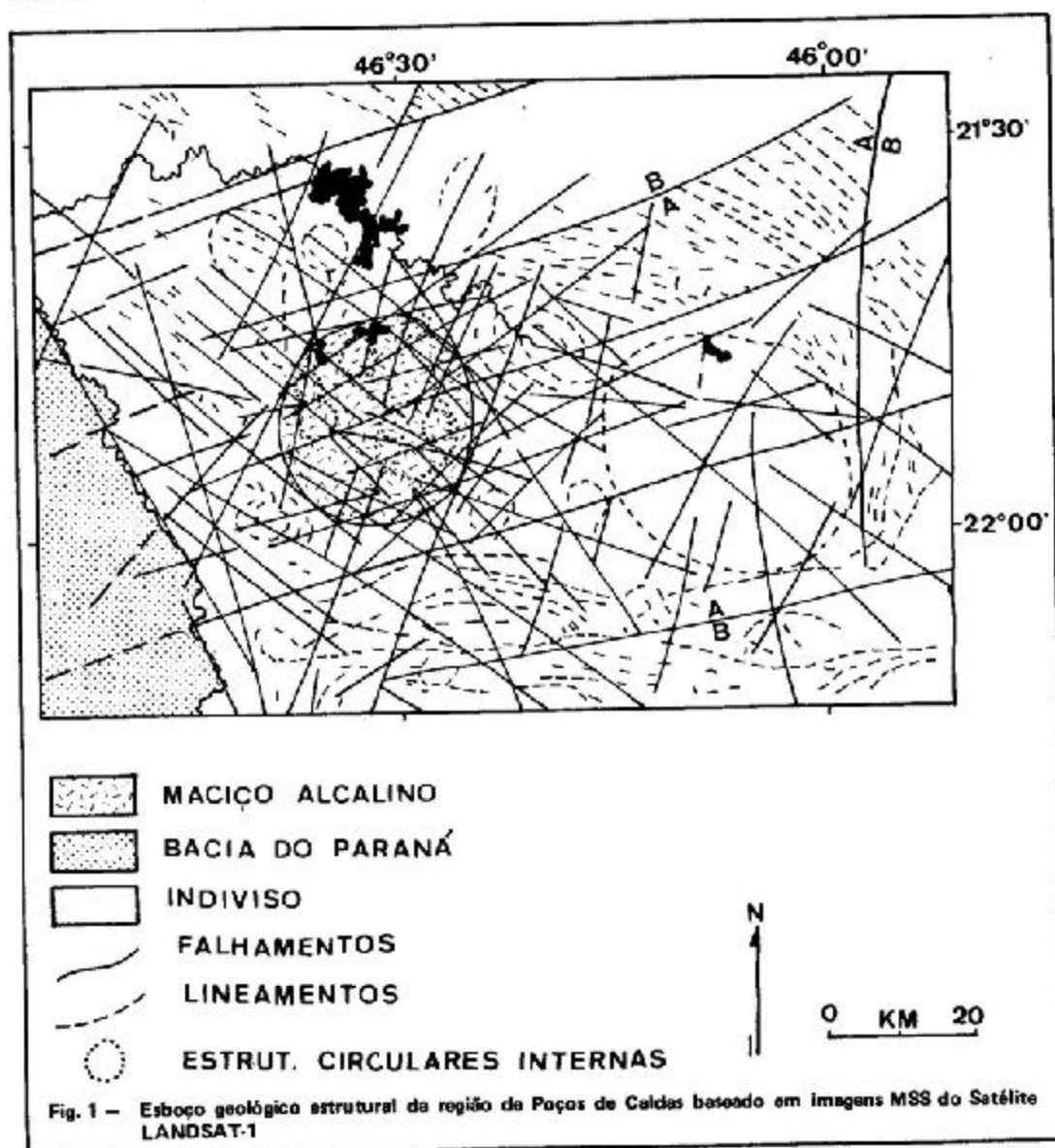
FOLHA 10

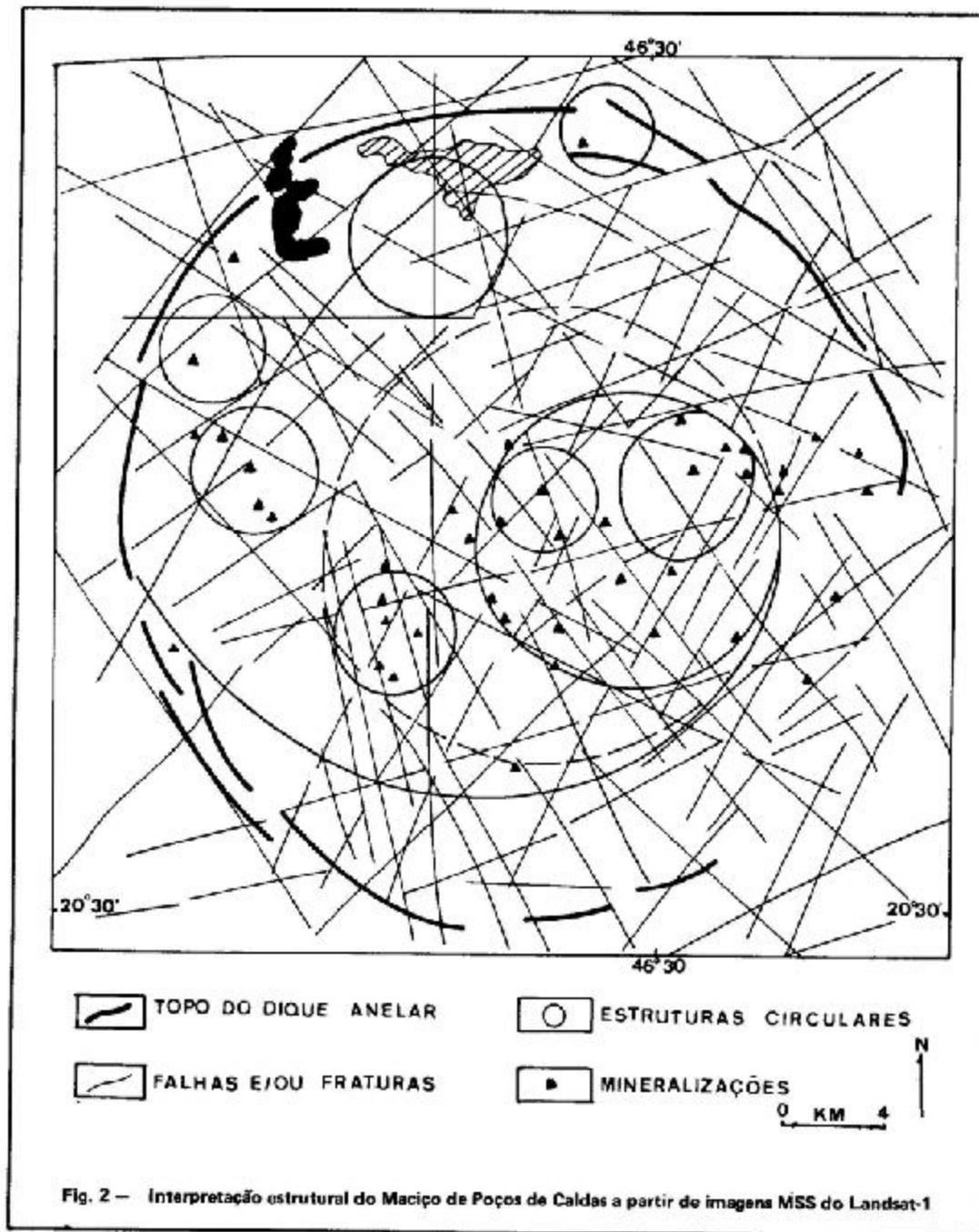
RESULTADOS

Um dos aspectos mais importantes, de caráter regional, observados nas interpretações visuais e automáticas das imagens LANDSAT, diz respeito à presença de grandes falhamentos, com várias orientações, cortando indistintamente, o embasamento cristalino, os sedimentos da Bacia do Paraná e o Maciço Alcalino (fig. 1). Alguns deles orientados para N70-80E, desempenharam importante papel no modelamento dos grandes traços do relevo regional. Ao sul da área, as serras do Pau d'Alho, Paiol e Cervo, são escarpas de falhas com aquela orientação.

Mais ao norte, falhamentos com orientações semelhantes cortam o Maciço e se prolongam além da área estudada. Outros, truncam lineamentos estruturais orientados para NW, provocando rompimento brusco e acentuada quebra topográfica, indicando movimentos verticais de grandes blocos, que criam uma estrutura em forma de "graben". Esses dados sugerem a existência de uma zona de fraqueza, condicionante do magmatismo alcalino na região.

Pela proximidade e pela orientação quase paralela, esses grandes lineamentos ENE da região, parecem ligados aos mesmos eventos estruturais, que criaram a Serra do Mar e o "Rift Valley", que abriga o Rio Paraíba do Sul, reconhecidos por ALMEIDA (1971) como condicionantes das intrusivas de Itatiaia, Passa Quatro e Morro Redondo.





A análise do padrão estrutural regional desenvolvido no sítio do Maciço Alcalino, mostra com clareza a posição do Complexo, situado no encontro de grandes falhamentos, que o cortam e o tangenciam em várias orientações. Ele é delimitado por grande número de falhas que se interseccionam junto às suas bordas, caracterizando uma estrutura de aspecto poligonal, dentro da qual se encaixou o corpo magmático.

Correlações semelhantes da influência de falhas do embasamento, reativadas no início de processos de formação de maciços circulares, foram observadas por BUDANOV (1970), em complexos anelares meso-cenozóicos, no deserto da Arábia (Gebel Abu Hruk); por BRANCH (1966), na Austrália; como também por MAKSIMOV (1970, 1973), na descrição evolutiva de vários maciços alcalinos circulares mesozóicos, no escudo de Aldan (Complexo de Tommot, principalmente).

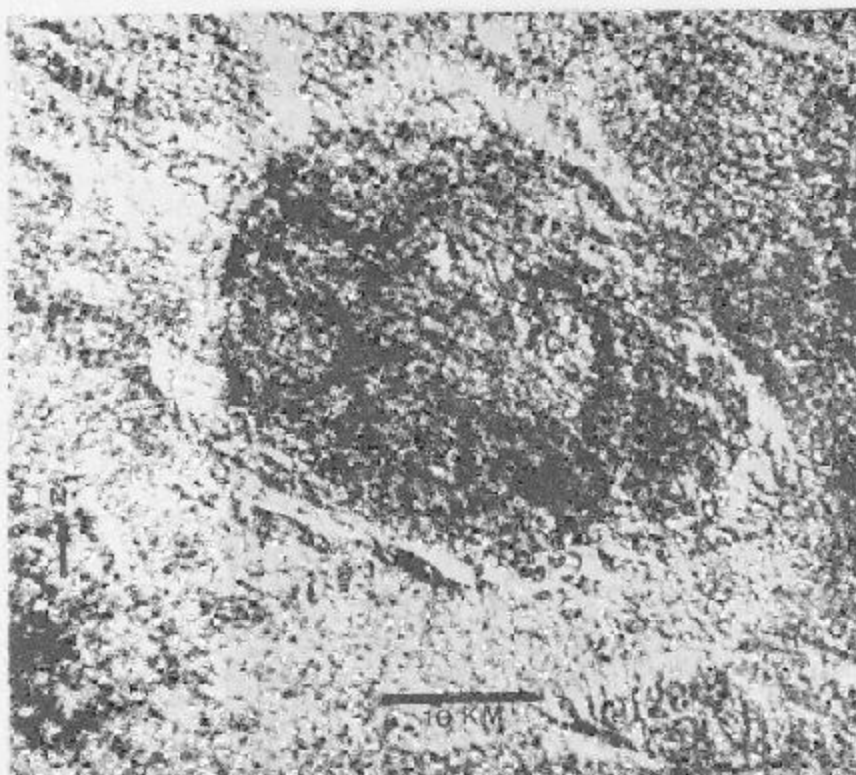


Fig. 3 - Complexo Alcalino e suas extensões, como visto a partir de Fitas Computáveis com Computador no analisador I-100

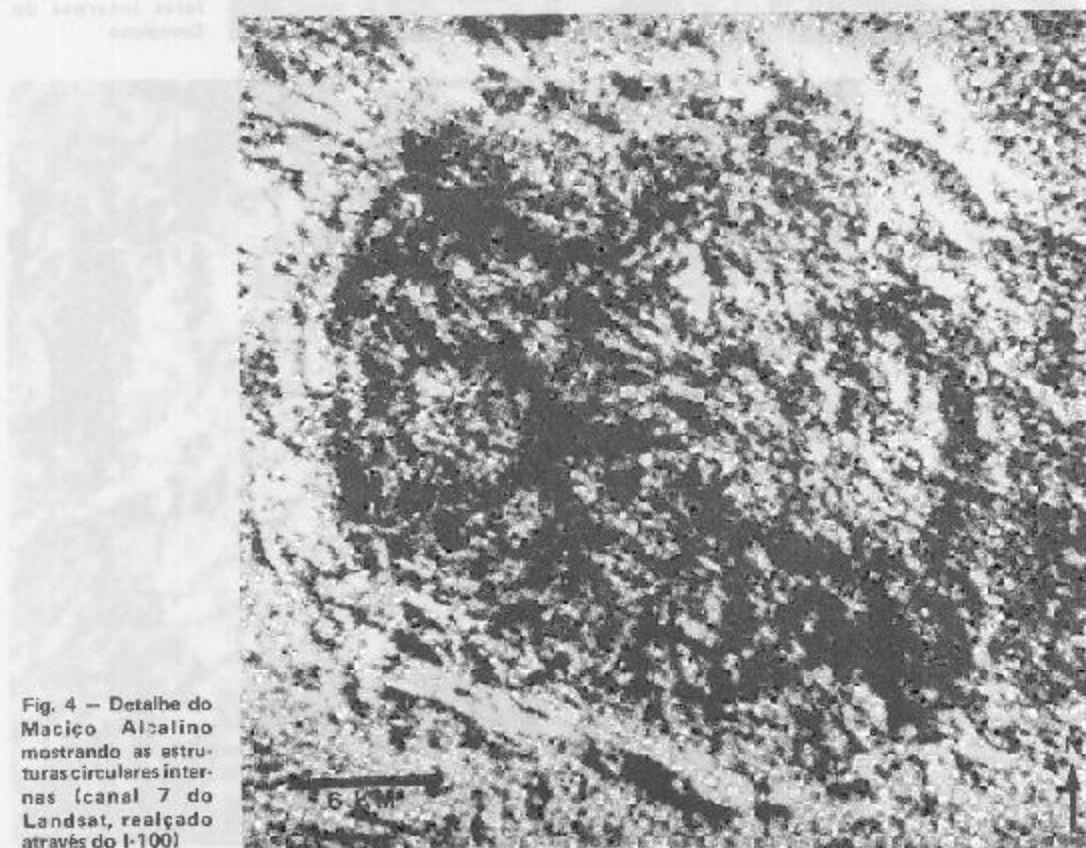


Fig. 4 - Detalhe do Maciço Alcalino mostrando as estruturas circulares internas (canal 7 do Landsat, realçado através do I-100)



Fig. 5 — Interpretação automática utilizando a técnica de treinamento e Classificação para realce das estruturas circulares internas do Complexo

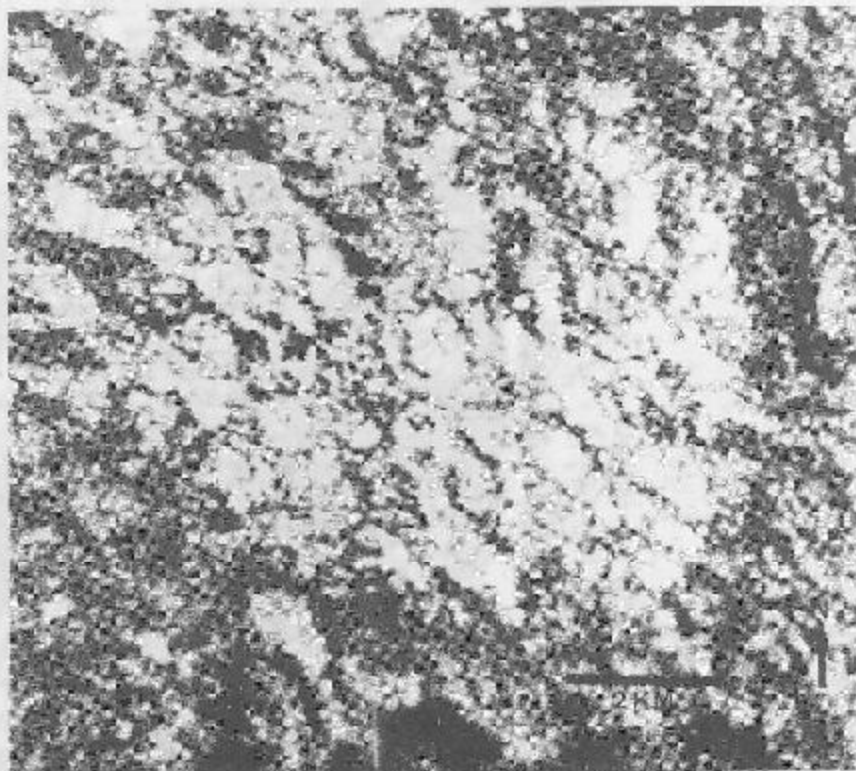


Fig. 6 — Detalhe da estrutura circular observada na região centro-oeste do maciço, obtido a partir de Fitas CCT em escala original 1:369.000, (1ª geração)

Além dos falhamentos regionais, a análise das imagens permitiu identificar grande número de falhas no interior do Planalto (fig. 2). Em geral, esses falhamentos cortam todo o complexo, prolongando-se pelas encaixantes. Em certos locais, eles quebram a continuidade do grande dique anelar externo, com a E da cidade de Poços de Caldas, onde uma falha rompeu a borda do maciço, deslocando-a por quase 2 km.

O grande número de falhas na área e a pequena escala de trabalho, tornam difícil estabelecer seqüências cronológicas entre os diferentes eventos estruturais do interior do Maciço.

Um fato de maior importância diz respeito à constatação, no interior do Complexo Alcalino, de estruturas à semelhança de corpos anelares subordinados, dispostos numa seqüência de 2ª e 3ª ordens, provavelmente relacionadas à fase intrusiva, no desenvolvimento do processo evolutivo na região.

Quanto aos falhamentos internos, nota-se que são mais numerosos quando próximos às citadas estruturas circulares, cortando-as ou definindo seus limites. MAKSI MOV (1973) reconhece a importância de falhamentos regionais como condicionantes de feições estruturais internas, em maciços alcalinos do escudo de Aldan.

Em Poços de Caldas, essas estruturas circulares, pelo caráter dômico que apresentam, sustentam as cotas mais altas do interior do Maciço. Em seus sítios, o relevo é freqüentemente acidentado e os córregos, em geral, formam vales em "V".

Se forem plotadas as áreas de ocorrências e de indícios de mineralizações radioativas conhecidas, sobre o mapa da fig. 2, obtido de interpretações visuais e automáticas de imagens LANDSAT, comparando-o também com o mapa cintilométrico do Maciço, pode-se notar que tanto as mineralizações quanto os indícios anômalos, distribuem-se preferencialmente ao longo de estruturas circulares internas, ou em seus interiores, condicionados a falhamentos a elas associados. A constatação deste fato pode explicar a ocorrência de áreas mineralizadas, ou com indício de mineralização, nas mais diferentes partes do interior do Maciço.

Deste modo, a estrutura circular interna, só parcialmente representada na borda E-S-W do Maciço, parece responsável pelos indícios de "Lagoa Dourada" e "SW de Águas da Prata". A estrutura circular da porção Centro-oeste e as duas menores em seu interior, parecem condicionar a maioria das mineralizações conhecidas no interior do Maciço, destacando-se entre elas o "Morro do Ferro", o "Campo do Agostinho" e o "Cercado".

A SW do Planalto, as interpretações automáticas indicam a existência de uma estrutura circular que, apesar de não ser visível em análises visuais, seria responsável pelas ocorrências da "Vilela", "Moirões", "Tamanduá", entre outras.

Na extremidade Oeste do Maciço, duas estruturas circulares são muito evidentes, às quais estariam condicionadas as mineralizações das áreas "Quirinos", "Serrote" e "Cascata".

Os veios de caldasito, próximos à Pedra Balão, ao Norte do Maciço, e totalmente afastados das áreas mineralizadas até agora conhecidas, podem ser explicados pela existência de uma estrutura circular ali observada, que emergiu sobre o grande dique anelar, causando seu rompimento. Para as mineralizações das áreas "Espingarda", "Da Elisa", "Pires" e "Cascalho", alinhadas na borda E-SE do Maciço, não se notou existência de estrutura circular como fator condicionante. No entanto, naquela região, o grande dique anelar externo foi totalmente rompido, indicando a presença de grandes esforços naquele setor do Complexo.

Os fatos, acima expostos, sugerem que os condicionamentos das mineralizações radioativas em Poços de Caldas, não parecem ser de natureza litológica, ligados à rocha potássica, mas estrutural. A própria distribuição em área, daquela unidade litológica parece estar, com as mineralizações e a topografia acidentada de certas partes do Maciço, diretamente relacionada às estruturas circulares internas e falhamentos associados.

Decorrido o processo magmático ou concomitante com seus estágios evolutivos finais, a presença de estruturas circulares internas teria desempenhado papel fundamental no controle das mineralizações. O grande número de falhamentos desenvolvidos no interior ou em suas bordas, às vezes estabelecendo seus limites, criaram zonas de fraqueza favoráveis, através das quais percolaram as soluções mineralizantes. Fato semelhante foi notado por BUTAKOVA (1967), nos maciços alcalinos de Tuva.

Em Poços de Caldas, TOLBERT (1958) reconheceu a importância dos falhamentos como condicionante dos veios zircono-uranífero.

As mineralizações zirconíferas da área "Quirinos-Serrote", relacionadas, ao que parece, às estruturas circulares daquele setor do Complexo, já foram reconhecidas por ELLERT (1959), como condicionadas aos limites de um corpo foiaítico intrusivo, com aspecto circular, encaixado em tinguaitos.

Para as mineralizações molíbdio-uraníferas, OLIVEIRA (1974) reconheceu novas características condicionantes. Para aquele autor, as melhores concentrações de minério ocorrem nas zonas de maior esmagamento tectônico, associado à rocha potássica, com as mineralizações ou indícios anômalos, dispostos nos limites de uma estrutura circular observada na região Centro-oeste do Maciço.

CONCLUSÕES

Parecem claras as relações existentes entre as estruturas circulares internas e as mineralizações radioativas. Tais estruturas e falhamentos associados constituíram o principal fator condicionante das citadas mineralizações na área.

A rocha potássica parece estar intrinsecamente relacionada às estruturas anelares e falhamentos, por representar produto final do hidrotermalismo nos nefelina-sienitos, explicando assim, o seu estreito relacionamento com as mineralizações radioativas.

Os dados obtidos sugerem o uso das técnicas de sensoriamento remoto, no estudo de outros maciços alcalinos.

BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, F.F.M. de — 1967 — *Origem e Evolução da Plataforma Brasileira*, DNPM — DGM, Bol. nº 241 — 36 p. — Rio de Janeiro.
- ALMEIDA, F.F.M. de — 1969 — *Diferenciação Tectônica da Plataforma Brasileira*, SBG. An. XXIII Congr. Bras. Geol. p. 29-45, Salvador.
- ALMEIDA, F.F.M. de — 1971 — *Condicionamento Tectônico do Magmatismo Alcalino Mesozóico do Sul do Brasil e do Paraguai*, An. Acad. Bras. Ciênc. 43 (3/4): 835-836.
- ALMEIDA FILHO, R. e PARADELLA, W.R. — 1975 — *Relatório Preliminar das Atividades do Projeto Alumínio durante o ano de 1974*, SJC, INPE — 601 — R1/286 — 45 p.
- ALMEIDA FILHO, R. e PARADELLA, W.R. — 1976 — *Identificação de áreas de argila na região das cabeceiras do Rio Claro (MG) através de análise automática de dados do LANDSAT*, SJC, INPE — (Inédito).
- ALMEIDA FILHO, R. e PARADELLA, W.R. — 1976 — *Mapeamento Automático de Áreas Favoráveis à Ocorrência de Argilas no Planalto de Poços de Caldas*, SJC, INPE — (Inédito).
- AMARAL, G. — 1974 — *Geologia Pré-cambriana da Região Amazônica*, Tese de Livre Docência — Inst. Geoc. USP — São Paulo, 1974, p. 212.
- AMARAL, G., BUSHEE, J., CORDANI, U.G., KAWASHITA, K. e REINOLDS, J.H. — 1967 — *Potassium-Argon Ages of Alkaline Rocks from Southern Brazil Geoch. Cosmoch. Acta* 31, p. 117-142.
- BARBOSA, D. — 1936 — *Notas Preliminares sobre o Planalto de Poços de Caldas e suas Potencialidades Econômicas*, DNPM-DPPM, Av. 8, 33, p.
- BARBOSA, D. — 1948 — *Sobre a Idade das Rochas Alcalinas e a Origem do Planalto de Poços de Caldas* Rev. Eng. Min. Met. 13 (76): 235-236.
- BJORNBERG, A.J.S. — 1956 — *Arenitas do Bordo do Planalto de Poços de Caldas*, An. Acad. Bras. Ciênc. 28 (4): 465-471.
- BJORNBERG, A.J.S. — 1959 — *Rochas Clásticas do Planalto de Poços de Caldas*, USP, Fac. Fil. Ciênc. Let., Bol. 237, Geol. (18): 65-122.
- BLODGET, H.W., BRAUN, G.F. e MOIK, J.G. — 1975 — *Geological Mapping in Northwestern Saudi Arabia Using Landsat Multispectral Techniques*, NASA — Earth Res. Surv. Symposium (1-B): 971-991.
- BRANCH, C.D. — 1966 — *Volcanic Cauldrons, Ring Complexes, and Associated Granites of the Georgetown Inlier, Queensland, Australia* Bur. Min. Resources, Geol. Geoph. Bull. (76): 158 p.
- BRANCO, J.J.R. — 1956 — *Notas sobre a Geologia e Petrografia do Planalto de Poços de Caldas, MG*, UMG, Inst. Pesq. Rad. Pub. nº 5, 77 p.
- BUDANOV, V.I. — 1970 — *Mechanism of Formation of Ring Complexes* Doklady of Acad. Scienc. USSR, Transl. by American Geol. Inst. vol. 191 p. 59-61, Washington.
- BUSHEE, J. — 1970 — *A Geochronological Study of the Alkaline Massif of Poços de Caldas, Brazil — USP — Dept. Geol., Geochron. Lab. 25 p. (Inédito).*
- BUTAKOVA, Ye. L. — 1967 — *Tectonic Conditions of Origin of Alkaline Rocks in East Tuva*, Inst. Geol. Rev. 9 (1): 13-24, Washington.
- CAMPOS, M., GUIMARÃES, D. e FIGUEIREDO, D.G. — 1953 — *Algumas Rochas Alcalinas de Poços de Caldas Relacionadas com as Jazidas de Caldasito*, UMG, Inst. Pesq. Radiat. (2): 38 p. Belo Horizonte.
- CHRISTOFOLETTI, A. — 1972 — *Características Fisiográficas do Planalto de Poços de Caldas. (MG-Brasil)*, USP, Inst. Geogr., Geomorfologia 32 26 p. São Paulo.
- CHRISTOFOLETTI, A. — 1973 — *A Unidade Morfoestrutural do Planalto de Poços de Caldas*, Notícia Geomorf. 13 (26) — 77-85, PUCC-Campinas.
- COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR — 1974 — *Mapa Geológico do Planalto de Poços de Caldas, Poços de Caldas, MG.*
- COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR — 1974 — *Mapa Radiométrico do Planalto de Poços de Caldas, Poços de Caldas, MG.*
- DERBY, O.A. — 1987 — *On Nepheline Rocks in Brazil with Special Reference to the Association of Phonolite and Foyaites*, Quart. Jour Geol. Soc. of London, 43 457-473, London.

- DIRKSEN, M. — 1964 — Pesquisa em Minerais Zirconíferos de Poços de Caldas. *Rev. Eng. Min. Met.* 40 (240): 253-255.
- DMITRIYEV, D.N.; SHATILOV, S.V. e BULAKH, A.G. — 1970 — New Data on the Geology of Alkaline Ultramafic and Carbonatite Plutons of Turij Peninsula (Kola Peninsula) *Doklady of the Acad. Scienc. USSR. Transl. by American Geol. Inst.* vol. 193, p. 103-105, Washington.
- DOIG, R. — 1970 — An Alkaline Rock Province Linking Europe and North America. *Canadian Jour. Earth Sci.* 7 (1): 22-28.
- DUTRA, C.V. — 1966 — O método Chumbo-Alfa e Idades de Zircões do Maciço Alcalino de Poços de Caldas. *EFMOP. Bol. do Inst. Geol.* 1 (3/4): 125-135. Ouro Preto.
- ELLERT, R. 1959 — Contribuição à Geologia do Maciço Alcalino de Poços de Caldas, USP. *Fac. Fil. Cienc. Let. Bol.* 237. *Geol.* (18): 5-63. São Paulo.
- ERICKSON, J.D. — 1975 — Advances in Automatic Extraction of Earth Resources Information from Multispectral Scanner Data — NASA. *Earth Resour. Survey Symp.* (I-B): 1245-1274. Houston, Texas.
- FONTANEL, A.; BLANCHET, C. e LALLEMAND, D. — 1975 — Enhancement of Landsat Imagery by Combination of Multispectral Classification and Principal Component Analysis. *NASA. Earth. Resour. Survey Symp.* (I-B): 891-1012. Houston, Texas.
- FRAYHA, R. — 1950 — Estudo Preliminar e Prospecção das Jazidas de Rochas Potássicas de Poços de Caldas. *DNPM — DFPM. Bol.* 37. p. 11-109. Rio de Janeiro.
- FRAYHA, R. — 1952 — Rochas Potássicas (Planalto de Poços de Caldas). *DNPM-DFPM. Bol.* 13. p. 107-116. Rio de Janeiro.
- FRAYHA, R. — 1957 — Ocorrências Uraníferas no Arenito de Águas da Prata. *Rev. Eng. Min. Met.* 26 (64): 201-205.
- FRAYHA, R. — 1962 — Urânio e Tório no Planalto de Poços de Caldas. *DNPM — DFPM. Bol.* 116. 75 p. Rio de Janeiro.
- FRANCO, R.R. — 1945 — Minerais de Zircônio na Região de Poços de Caldas. *USP. Fac. Fil. Ciênc. Let., Mineral.* (7): 7-28. São Paulo.
- FRANCO, R.R. — 1945 — Poços de Caldas e sua Jazida de Zircônio. *Digesto Econômico.* 1 (4): 34-40. São Paulo.
- FRANCO, R.R. e LOEWENSTEIN, W. — 1948 — Zirconium from the Region of Poços de Caldas. *Americ. Mineral.* 33 (3/4): 142-151. Menasha, Wisconsin.
- FREITAS, R.O. — 1943 — As Estruturas Fósséis do Sistema Santa Catarina no Planalto de Poços de Caldas. *Bol. Assoc. Geograf. Brasileiros.* 3 (3): 25-37. São Paulo.
- FREITAS, R.O. — 1944 — Jazimentos das Rochas Alcalinas no Brasil Meridional. *Rev. Eng. Min. Met.* B (43): 45-48.
- FREITAS, R.O. — 1958 — Sobre um Ankerito da Serra do Mirante. *Bol. da SBG.* 5 (2): 77-90. São Paulo.
- GENERAL ELECTRIC COMPANY — 1975 — *Image-100 — User Manual.* 119 p. Flórida.
- GORSKY, V.A. e GORSKY, E. — 1968 — Contribuição ao Estudo de Caldasito do Planalto de Poços de Caldas. *SBG XXII Cong. Bras. Geol. Res. das Comunicações.* p. 9-10.
- GORSKY, V.A. e GORSKY, E. — 1970 — Diferentes Tipos de Mineralizações no Planalto de Poços de Caldas-MG. *SBG. XXIV Cong. Bras. Geol., Res. Conf. e Comunicações. Bol. Esp.* nº 1, p. 135-137.
- GORSKY, V.A. e GORSKY, E. — 1973 — Contribuição ao Estudo de Diferentes Tipos de Mineralizações no Planalto de Poços de Caldas. *SBG. XXVII Cong. Bras. Geol., Res. Conf. e Comunicações. Bol. Esp.* nº 1, p. 19-21.
- GORSKY, V.A. e GORSKY, E. — 1974 — Contribuição à Mineralogie e Petrologia do Planalto de Poços de Caldas. *CNEN. Bol.* 13. 91 p.
- GUIMARÃES, D. — 1947 — Origem das Rochas Alcalinas. *Inst. Tecnol. Ind. — Bol.* nº 5, 103 p. Belo Horizonte.
- GUIMARÃES, D. — 1948 — The Zirconium Ore Deposite of the Poços de Caldas Plateau and Zirconium Geochemistry. *Inst. Tecnol. Ind. Bol.* nº 6 p. 78. Belo Horizonte.
- GUIMARÃES, D. — 1965 — Princípios da Metalogênese e Geologia Econômica do Brasil. *DNPM-DFPM. Bol.* 121. 626 p. Rio de Janeiro.
- GUIMARÃES, D. e ILCHENKO, W. — 1954 — Rochas com Pseudoleucita ou Eplleucita de Poços de Caldas. *Bol. Agr.* 3 (1/2): 71-13. Belo Horizonte.
- HASUI, Y. e CORDANI, U.G. — 1968 — Idades Potássio-Argônio de Rochas Eruptivas Alcalinas Mesozóicas do Oeste Mineiro e Sul de Goiás. *SBG An. XXII Cong. Bras. Geol.* p. 139-144.
- ILCHENKO, V. e GUIMARÃES, D. — 1954 — O Processo de Decomposição das Rochas Alcalinas do Planalto de Poços de Caldas — Estado de Minas Gerais. *UMG. Inst. Pesq. Red. Pub.* nº 3. 52 p. Belo Horizonte.
- KALINKIN, M.M. — 1973 — The Mechanism That Produce Concentric Folds and Faults in the Khibiny Pluton. *Doklady of Geol. Scienc. USSR. Transl. by American Geol. Inst.* vol. 210. p. 67-70. Washington.
- KOTSEN, M. Ye e ARTAMONOV, M.A. — 1967 — Aeromagnetic Prospecting for Carbonatites (East Sayan) *Int. Geol. Rev.* 9 (2): 220-224. Washington.
- LIU, C.C.; CARRARO, C.C. e YAMAGATA, S.K. — 1973 — Geology of the Areas of the Upper São Francisco Basin and Furnas Dam (Brazil) Based on Interpretation of ERTS-1 Imagery — *SJC. INPE — Lefe* 395. 49 p.
- LOVEGREEN, J.R.; PROSSER, W.J. e MILLET, R.A. — 1975 — Geology Analysis of Landsat-1 Multispectral Imagery of a Possible Power Plant Site Employing Digital and Analog Image Processing. *NASA. Earth Resour. Surv. Symp.* (I-B): 1293-1308. Houston, Texas.
- MACIEL, A.C. e CRUZ, P.R. — 1973 — Perfil Analítico do Urânio. *MME-DNPM. Bol.* 27. p. 27-70. Rio de Janeiro.
- MACIEL, A.C. e CRUZ, P.R. — 1973 — Perfil Analítico do Tório e Terras Raras. *MME-DNPM. Bol.* 28. 71 p. Rio de Janeiro.

- MACIEL, A.C.; AZUAGA, C.H. e CRUZ, P.R. — 1973 — Reservas de Urânio e Tório no Brasil e no Mundo — Capacidade de Produção e Perspectivas de Demanda. SBG. An. XXVII Cong. Bras. Geol. vol. 2, p. 353-368.
- MAKSIMOV, Ye P. — 1970 — New Data on The Geology of Volcano Plutonic Ring Complexes of The Central Aldan. Doklady of Geol. Scienc. USSR. Transl. by American Geol. Inst. Vol. 190, p. 51-64. Washington.
- MAKSIMOV, Ye P. — 1973 — Mesozoic Annular Magmatic Complexes in Aldan Shield. Int. Geol. Rev. 15 (1): 46-56. Washington.
- NEVSKIY, U.A. E KOTLYAR, V.N. — 1972 — Structure of Endogenic Ore Deposits in Association with Annular Ruptures. Int. Geol. Rev. 14 (10): 1114-1123. Washington.
- OLIVEIRA, A.G. — 1968 — Urânio no Planalto de Poços de Caldas. SBG XXII Cong. Bras. Geol. Res. das Comunicações, p. 30.
- OLIVEIRA, A.G. — 1973 — Perspectivas de Reservas e Características Gerais da Mineralização Uranífera no Setor c/09 — Poços de Caldas. SBG. XXVII Cong. Geol., Res. das Comunicações. Bol. nº 1 p. 35-36.
- OLIVEIRA, A.G. — 1974 — Mineralização de Urânio e Molibdênio no Planalto de Poços de Caldas. CNEN. Primeira Reunião Sobre Minérios Brasileiros de Urânio, p. 15-30, Rio de Janeiro.
- OLIVEIRA, A.I. — 1956 — Ocorrências Brasileiras de Urânio. Rev. Eng. Min. Met. 24 (142): 209-212.
- OLIVEIRA, M.A.F.; ALVES, F.R. e COIMBRA, A.M. — 1975 — Sedimentação Associada ao Vulcanismo Alcalino de Poços de Caldas (Divinolândia-SP). USP. Bol. Inst. Geol. vol. 6, p. 13-19, São Paulo.
- OSIPOV, M.A. — 1974 — Process of Cooling of an Intrusive and Distribution of Ore Bodies. Int. Geol. Rev. 16 (4): 379-383. Washington.
- RAMOS, J.R.A. — 1970 — Situação Atual da Prospecção de Minérios Nucleares no Brasil. SBG. An. XXIV Cong. Bras. Geol. p. 25-39.
- RAMOS, J.R.A. e FRAEHEL, M.O. — 1974 — Principais Ocorrências de Urânio no Brasil, CNEN. Bol. 12, 24 p. Rio de Janeiro.
- SANTOS, L.C.S. — 1976 — Curso de Prospecção de Minerais Radioativos — Mineralogia de Urânio. Nuclebrás. 61 p. (Inédito).
- SANTOS, L.C.S. — 1976 — Curso de Prospecção de Minerais Radioativos — Geologia do Urânio. Nuclebrás. 46 p. (Inédito).
- SHEVCHENKO, V.I., STANKEVICH, Ye K. e REZANOV, I.A. — 1974 — Pre-Cenozoic Magmatism in Caucasus and Western Turkmenia in Relation to Deep-Seated Structures. Int. Geol. Rev. 16 (3): 301-307. Washington.
- SHORT, N.M. e MARRS, R.W. — 1975 — The Anatomy of An Anomaly — NASA — Earth Resources Survey Symposium (I-B): 641-663, Houston, Texas.
- STAVTSEV, A.L. — 1968 — Some Relationships Between Magmatic Activity Mineralization, and Tectonics in the Eastern Part of The Aldan Shield and Southern Verkhoyansk Region. Geotectonics, nº 5, p. 295-298. Washington.
- TEIXEIRA, E.A. — 1937 — Zircônio no Planalto de Poços de Caldas. Rev. Eng. Min. Met. 1 (4): 159-168.
- TEIXEIRA, E.A. — 1943 — Zircônio em Poços de Caldas DNPM — DFPM. Bol. 65, 63 p. Rio de Janeiro.
- TOLBERT, G.E. — 1958 — The Uraniferous Zirconium Deposits of The Poços de Caldas Plateau, Brazil. Geol. Surv. Bull. 1185 — C. 28 p. Washington.
- TURNER, D.C. — 1963 — Ring — Structures in The Sara-Fier Younger Granite Complex, Northern Nigeria. Quart. Jour. Geol. Soc. London 119 (475): 345-366. London.
- UTSUMI, O. — 1971 — Programa de Excursão à Poços de Caldas. SBG. XXV Cong. Bras. Geol. Bol. Esp. nº 1, p. 7-13.
- UTSUMI, O. — 1971 — Mineralização Urano-Molibdenífera no Planalto de Poços de Caldas. SBG. XXV Cong. Bras. Geol. Res. das Comunicações. Bol. Esp. nº 1, p. 40-41.
- WEDOW Jr., H — 1967 — The Morro do Ferro, Thorium and Rare — Earth Ore Deposits, Poços de Caldas District, Brazil — Geol. Surv. Bull. 1185-D, Washington.
- WRUCKE, C.T. e SILBERMAN, M.L. — 1975 — Cauldron Subsidence of Oligocene Age at Mount Lewis. Northern Shoshone Range, Nevada. Geol. Surv. Prof. Paper 876. Washington.

ESTUDOS SOBRE A APLICABILIDADE DA INTERPRETAÇÃO AUTOMÁTICA DE IMAGENS LANDSAT PARA PROSPECÇÃO MINERAL

Gilberto Amaral *

RESUMO

Um dos produtos mais importantes do programa LANDSAT são as fitas compatíveis com computador (CCT) nas quais uma área com cerca de 35 000 km², correspondente a um quadro, é digitalizada para aproximadamente 250 milhões de bits de informação. As imagens assim formatadas poderão ser processadas em qualquer computador digital para a extração de informação impossível de ser obtida por meios convencionais. De modo a testar essa possibilidade, o autor selecionou áreas que incluem depósitos minerais com porte adequada em função da resolução do imageador multi-espectral dos satélites LANDSAT, que é uma célula de 79 por 56 metros. As áreas examinadas até o momento, foram a Serra dos Carajás, o vale do Rio Fresco e o beixo vale do Rio Trombetas, encerrando importantes depósitos, respectivamente, de ferro, estanho e alumínio. Todas essas áreas pertencem à região Amazônica e estão geralmente recobertas por densa floresta.

Os resultados preliminares são bastante animadores, especialmente para depósitos de ferro. Espera-se que com o auxílio de técnicas matemáticas mais elaboradas e imagens de melhor qualidade (baixo nível de ruído e pequena nebulosidade) será possível o estabelecimento de padrões interpretativos para a identificação de áreas favoráveis à prospecção de novos depósitos.

ABSTRACT

One of the most important products of the LANDSAT program are the computer compatible tapes (CCT) in which an area of about 35 000 sq. km., corresponding to one frame, is codified to near 250 million bits of information. The data so formatted can be processed in any digital computer and can yield information not available by conventional means. In order to test such possibility the author selected areas enclosing mineral deposits within the resolution range of the LANDSAT multispectral scanner (MSS) system, which is an cell of about 79 by 56 meters. These areas included the Serra dos Carajas, with its large iron deposits, the Rio Fresco valley with its tin-bearing granites, and the lower Trombetas river valley with its large bauxite deposits. All these areas are within the Amazon region and area normally covered by dense jungle.

Preliminary results, obtained up to now are very promising, in particular for iron deposits. It is expected that with the use of more elaborated mathematical techniques and imagery of better quality (low noise and cloud coverage) it will be possible to establish interpretation patterns for those mineral deposits.

INTRODUÇÃO

Os resultados obtidos desde 1972 com a utilização dos satélites de recursos naturais (LANDSAT, ex-ERTS) foram extraordinários, ultrapassando as melhores expectativas de seus usuários. Desde 23 de julho de 1972, com o lançamento do LANDSAT-1, e de 22 de janeiro de 1975, com o lançamento do LANDSAT-2, ambos em pleno funcionamento, já foram levantados cerca de $1,17 \cdot 10^{10}$ quilômetros quadrados da superfície terrestre, correspondendo a 30 vezes toda a superfície terrestre incluindo os oceanos. Esse volume fantástico de informação está sendo utilizado em todo o mundo para o levantamento de recursos naturais, para a prevenção e cálculo de danos decorrentes de acidentes naturais e, para se avaliar o impacto das atividades humanas na superfície terrestre. Os benefícios já obtidos são incalculáveis, ultrapassando muitas vezes os investimentos feitos nesse programa.

O Instituto de Pesquisas Espaciais, órgão subordinado ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico da Secretaria de Planejamento da Presidência da República, já inves-

* Instituto de Geociências — Univ. São Paulo
Instituto de Pesquisas Espaciais — INPE

tiu cerca de US\$ 10 milhões no programa LANDSAT. Esse investimento inclui a instalação em território nacional de um sistema completo para a aquisição, processamento e disseminação de produtos do programa, além de sistemas para a interpretação automática e convencional. O Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) mantém um quadro de cerca de 70 pesquisadores (geólogos, agrônomos, geógrafas, oceanógrafos, engenheiros, físicos, matemáticos, etc.) que se ocupam quase que exclusivamente de projetos objetivando estabelecer metodologias de utilização de dados do programa LANDSAT. O autor está ligado ao INPE desde 1971, como coordenador do Convênio existente entre essa entidade e o Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, tendo participado do programa LANDSAT-1 como investigador principal junto à NASA, para aplicações geológicas no Brasil.

O presente trabalho, apresentado sob a forma de comunicação preliminar devido à impossibilidade de impressão dos resultados sob a forma de fotografias coloridas, objetiva chamar a atenção da comunidade geológica do País para as potencialidades da interpretação automática das imagens LANDSAT para prospecção mineral.

MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizamos, no presente trabalho, os conjuntos de fitas compatíveis para computador, correspondentes às imagens:

L1-73-257-132351 de 4/8/1973 — Serra dos Carajás;

L1-73-199-130332 de 18/7/1973 — Rio Fresco e

L1-73-257-132351 de 14/9/1973 — Baixo Trombetas.

As duas primeiras imagens apresentaram-se excelentes, praticamente sem cobertura de nuvens. A imagem do Rio Fresco apresentou ruído eletrônico no canal 6, prejudicando a utilização do mesmo. A imagem do baixo Trombetas apresentou-se com nebulosidade, especialmente desenvolvida sobre as áreas de ocorrência dos platôs bauxitíferos, o que prejudicou bastante sua interpretação.

As fitas foram analisadas no sistema "IMAGE - 100" do INPE, constituído de um computador DIGITAL modelo PDP-11-45; um módulo de memória expandida com capacidade para cerca de 300 milhões de bits de informação; uma mesa de luz acoplada a sistema de TV para digitalização de imagens fotográficas e uma mesa de interação homem/máquina provida de todos os controles necessários além de dois monitores de TV para acompanhamento da evolução do processo interpretativo. Aparentemente complexo, esse equipamento requer pequeno treinamento para seu uso. Uma série de programas utilitários são disponíveis para um grande número de técnicas de interpretação. No caso presente foram utilizados programas para análise estatística simples e individualização de intervalos tonais dos quatro canais do imageador multi-espectral. Técnicas mais elaboradas como análise estatística multi-dimensional, análise de agrupamento, análise fatorial, etc., apesar de disponíveis, não foram empregadas.

Os resultados obtidos estão sob a forma de "slides" coloridos ou fitas magnéticas, não reproduzíveis nos presentes Anais. Desta maneira descreveremos apenas os resultados obtidos, sem o auxílio de ilustrações.

RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados mais impressionantes foram obtidos para a região da Serra dos Carajás. A clara associação da canga, desenvolvida sobre os corpos de minério de ferro, com vegetação menos densa é facilmente perceptível nas imagens LANDSAT, mesmo ao exame visual. No canal 5, correspondente à região do visível entre 0,6 e 0,7 microns de comprimento de onda, as manchas de canga, (clareiras) aparecem com tonalidade cinza-clara. No canal 7, correspondente à região do infra-vermelho entre 0,8 e 1,1 microns de comprimento de onda, as clareiras aparecem com tonalidade cinza-escura, em forte contraste com a mata que se apresenta quase branca devido à alta refletividade da vegetação nessa região do espectro. A interpretação automática dessa imagem permitiu a individualização de, pelo menos, 90% das áreas de canga, quando comparada com o mapa elaborado pela AMAZONIA MINERAÇÃO S. A. (Vide roteiros de excursão da X Conferência Geológica Inter-Guianas, 1975). Os intervalos tonais obtidos para os quatro canais poderão ser utilizados para a localização de feições com comportamento espectral semelhante em outros locais da Amazônia, talvez associadas a depósitos similares.

Para a região do rio Fresco os objetivos consistiam na individualização dos corpos de granitos alcalinos associados a mineralizações estaníferas. Esses granitos apresentam um comportamento estrutural, geomorfológico e espectral diferente de granitos do embasamento indiviso e dos granitos associados ao vulcanismo do evento Paraense (1600 ± 100 milhões de anos). Na região do rio Fresco esses corpos graníticos são facilmente individualizados por interpretação visual. Entretanto o processamento automático foi experimentado com o objetivo fundamental de se estabelecer os padrões interpretativos para outras áreas na Amazônia. Como já foi mencionado, na hora de obtenção da ima-

gem a região encontrava-se quase desprovida de nuvens. Todavia, por problemas de gravação das fitas, o canal 6 apresentou forte ruído o que prejudicou sobremaneira a interpretação automática. Por esse motivo uma nova fita foi solicitada para posterior prosseguimento dos trabalhos. De qualquer modo, os principais corpos de granitos alcalinos já conhecidos foram individualizados, apesar de áreas significativas de outros tipos de rochas também terem sido incluídas. Um refinamento no tratamento da nova fita poderá permitir uma separação quase completa das rochas de interesse.

Com respeito à região do baixo Trombetas, a região de ocorrência dos platôs bauxitíferos apresentou-se coberta por nebulosidade o que impediu a utilização dos canais 4 e 5 para os objetivos propostos, que consistiam na individualização daquelas feições ou do comportamento espectral da vegetação a elas associada. Dessa maneira o experimento consistiu em testar o grau de detalhamento possível, de ampliações para escala 1:100 000 no monitor de TV do sistema. Nessas ampliações foram feitos tratamentos especiais para aumentar os contrastes e, assim, ressaltar as feições de interesse. Foram feitas tentativas de individualização das zonas bauxitíferas com utilização apenas dos canais do infravermelho (6 e 7), sem muito sucesso. A seguir, toda a imagem foi lançada no monitor, em escala aproximada 1:600 000, para uma nova tentativa em regiões a leste de Oriximiná, onde platôs semelhantes também ocorrem. Novamente aqui, a nebulosidade não permitiu um tratamento adequado. Do ponto de vista geológico foi interessante o comportamento da faixa de sedimentos do flanco norte da Bacia Amazônica onde um nítido falhamento de direção aproximada NE coloca em contato duas unidades espectralmente distintas. É importante notar que essa feição não é visível nas imagens de radar do Projeto Radam. Outro aspecto de interesse foi o dos limites do rio Amazonas quando comparado com o mosaico de radar correspondente, pois no caso da imagem LANDSAT o rio estava cheio, o mesmo acontecendo com os diversos lagos da região. Isto demonstra uma das características do programa LANDSAT qual seja o da cobertura repetitiva, permitindo a análise de fenômenos dinâmicos de interesse, como por exemplo a área real afetada pelas inundações na Amazônia.

SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO À PROSPECÇÃO DE MINERAIS DE ZINCO NO GRUPO BAMBUÍ, BASEADO EM ESTUDOS GEBOTÂNICOS

Flávio Soares do Nascimento
Sherry Chua Chen

ABSTRACT

A geobotanical and geological study using remote sensing techniques of the areas: Poço Verde, Sucuri and Ouro Preto, around the Vazante City in the State of Minas Gerais were carried out.

The vegetation distribution and the chemical analysis of the plant and soil indicated the locations of zinc mineralized area.

The mineralized zones were delineated on the color infrared transparency at the of 1:15,000 and 1:30,000.

The black white aerial photographs using panchromatic film with red filter and the I²S (International Imaging Systems) multispectral transparency were used for the geological interpretation of the study area.

1 – INTRODUÇÃO

1.1 – Generalidades

Nos últimos anos, estudos utilizando a técnica de sensoriamento remoto, para detecção de anomalias geobotânicas na prospecção mineral, tem causado considerável interesse. Essas técnicas são baseadas na suposição de que o sistema radicular, da vegetação, age como um poderoso mecanismo de amostragem, que pode penetrar até a rocha e encontrar zonas de anomalias geoquímicas. Se o íon metal se encontrar em solução, no solo, e disponível, pode penetrar no sistema de circulação da planta através da extremidade da raiz, por reação de troca de cátions (Fig. 1.1).

Para a nutrição e o crescimento normal da planta, é necessária uma mínima quantidade de todos os íons metais. Uma quantidade em excesso, no suprimento nutricional, pode causar mudanças fisiológicas ou morfológicas nas plantas (Tabela 1.1).

O efeito tóxico dos metais, acumulados nas superfícies dos solos, através do ciclo biogeoquímico, (Fig. 1.2), pode perturbar o padrão de distribuição normal das plantas, na região de mineralização, devido à tolerância, à toxicidade do metal, para cada variedade de planta.

As plantas, que podem suportar altas concentrações de metais, grupam-se em três categorias:

- Plantas acumuladoras, que crescem somente em alguns solos e absorvem grande quantidade de íons metais, quando enraizadas em zonas mineralizadas. Uma planta acumuladora ideal é aquela que está largamente distribuída e na qual o tecido da planta contém o elemento característico, proporcional à quantidade de minerais no solo e em quantidades facilmente determinadas analiticamente.
- Plantas indicadoras, que crescem somente em solos diretamente acima dos depósitos minerais. Elas podem ter ou não o elemento característico no seu tecido.
- Plantas transformadoras, não só capazes de tornar aproveitáveis os compostos de metais insolúveis, mas também de retorná-los à superfície do solo.

Estas três categorias de plantas são úteis para a prospecção mineral.

O Sensoriamento Remoto de plantas afetadas por metais, ou o padrão de distribuição de vegetação, fornecem informações geoquímicas concernentes à localização de depósitos minerais, em áreas de difícil acesso.

Os métodos botânicos, mais sistemáticos, apareceram a partir de 1950 na U. R. S. S., França e E. U. A.. Mais recentemente, experimentos investigando mudanças de reflectância na vegetação afetada por metais, tem contribuído na pesquisa dos depósitos minerais.

TABELA I. 1

MODIFICAÇÕES FISIOLÓGICAS E MORFOLÓGICAS EM PLANTA
CAUSADAS POR TOXIDEZ DE METAIS

| ELEMENTO | EFEITO |
|------------|--|
| Alumínio | Raízes curtas, grossas e muito ramificadas, necrose das folhas, crestamento. |
| Boro | Folhas escuras, necrose nos bordos das folhas mais velhas, atrofiamento, internódios deformados e curtos; formas rastejantes; pubescência excessiva; aumento na produção de galhas. |
| Cromo | Folhas amarelas com nervuras verdes. |
| Cobalto | Manchas brancas nas folhas. |
| Cobre | Manchas mortas nas folhas mais baixas, iniciando no ápice; caules púrpuras, folhas cloróticas com nervuras verdes, raízes atrofiadas, formas rastejantes estéreis em algumas espécies. |
| Ferro | Partes aéreas atrofiadas, raízes muito ramificadas, distúrbios na divisão celular. |
| Manganês | Folhas cloróticas, lesões no caule e pecíolo, crestamento e áreas mortas nos bordos das folhas. |
| Molibdênio | Atrofiamento, coloração amarelo-alaranjado. |
| Níquel | Manchas brancas nas folhas, formas estéreis apétalas. |
| Urânio | Número anormal de cromossomos no núcleo, frutos deformados, formas apétalas estéreis, folhas em roseta. |
| Zinco | Folhas cloróticas com nervuras verdes, formas anãs brancas, áreas mortas nos ápices foliares, raízes atrofiadas. |

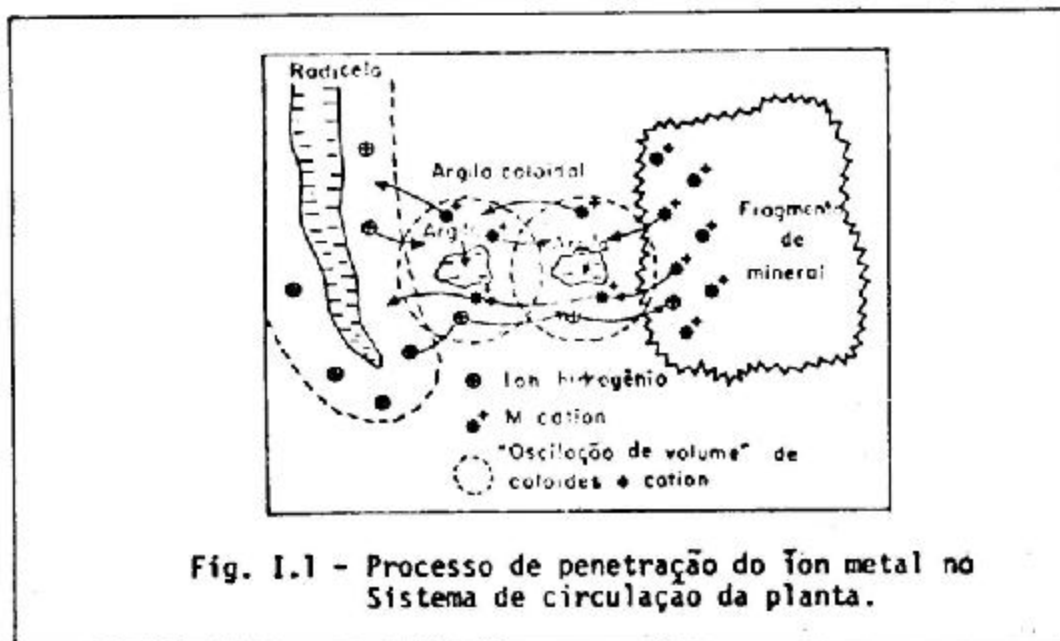


Fig. I.1 - Processo de penetração do íon metal no Sistema de circulação da planta.

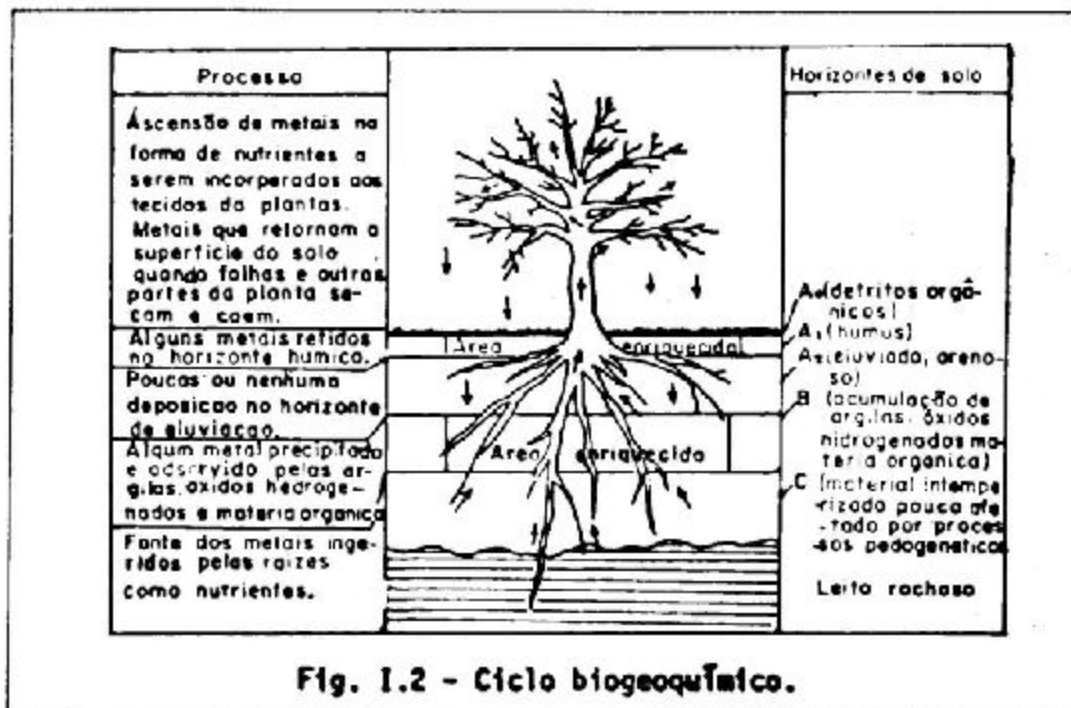


Fig. 1.2 - Ciclo biogeoquímico.

1.2 – OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar as técnicas de sensoriamento remoto, no reconhecimento e estudo de comunidades de plantas e feições geológicas que auxiliem a prospecção mineral.

1.3 – ÁREA TESTE

A área escolhida para avaliação das técnicas de sensoriamento remoto abrange as Serras Lapa Nova, Poço Verde, Sucuri, Ouro Podre e proximidades (Fig. 1. 3). Localiza-se a NE da cidade de Vazante, no Estado de Minas Gerais, Brasil.

II – GEOLOGIA DA ÁREA

As rochas predominantes, na área, são de natureza pelítica-carbonática, sendo essencialmente calcários dolomíticos, dolomitos, metassiltitos e ardósias da Formação Paraopeba, do Grupo Bambuí.

As rochas carbonáticas variam desde calcário dolomítico até dolomitos puros. O calcário dolomítico é cinza-claro, granulometria fina e às vezes silicificados. Os dolomitos têm cor rósea ou creme, finamente acamados, bem recristalizados e com veios de calcita, dolomita e quartzo. As intercalações pelíticas nessa seqüência (metassiltitos e ardósias), quando nas proximidades de zonas de falhas, se encontram filonitizados.

Nos calcários dolomíticos, observa-se estruturas estromatólicas atribuídas à ação biológica de algas azul-esverdeadas do Grupo "cyanophyton", indicando, localmente, pequenos biobermas.

Os calcários dolomíticos aparecem em lentes nos metassiltitos e/ou com intercalações pelíticas, refletindo as variações faciológicas durante a sedimentação.

Dardene (1974), explica as variações litológicas, relacionadas às facies existentes, que mostram um ambiente de águas rasas, quentes, freqüentemente agitadas, onde fases de emersão e subsidência repetiam-se periodicamente, traduzindo a instabilidade de fundo de bacia durante a sedimentação. E que a dolomitização das rochas calcárias é precoce, isto é, penecontemporâneo à sedimentação.

As rochas da região sofreram esforços compressivos, de leste para oeste, mostrando uma tendência a se alinharem em direção N50E, com mergulhos variando de 20º a 40ºNW. As rochas pelíticas, mais plásticas, estão mais dobradas do que os dolomitos, que são menos competentes. Os eixos das dobras têm direções N – S e E – W.

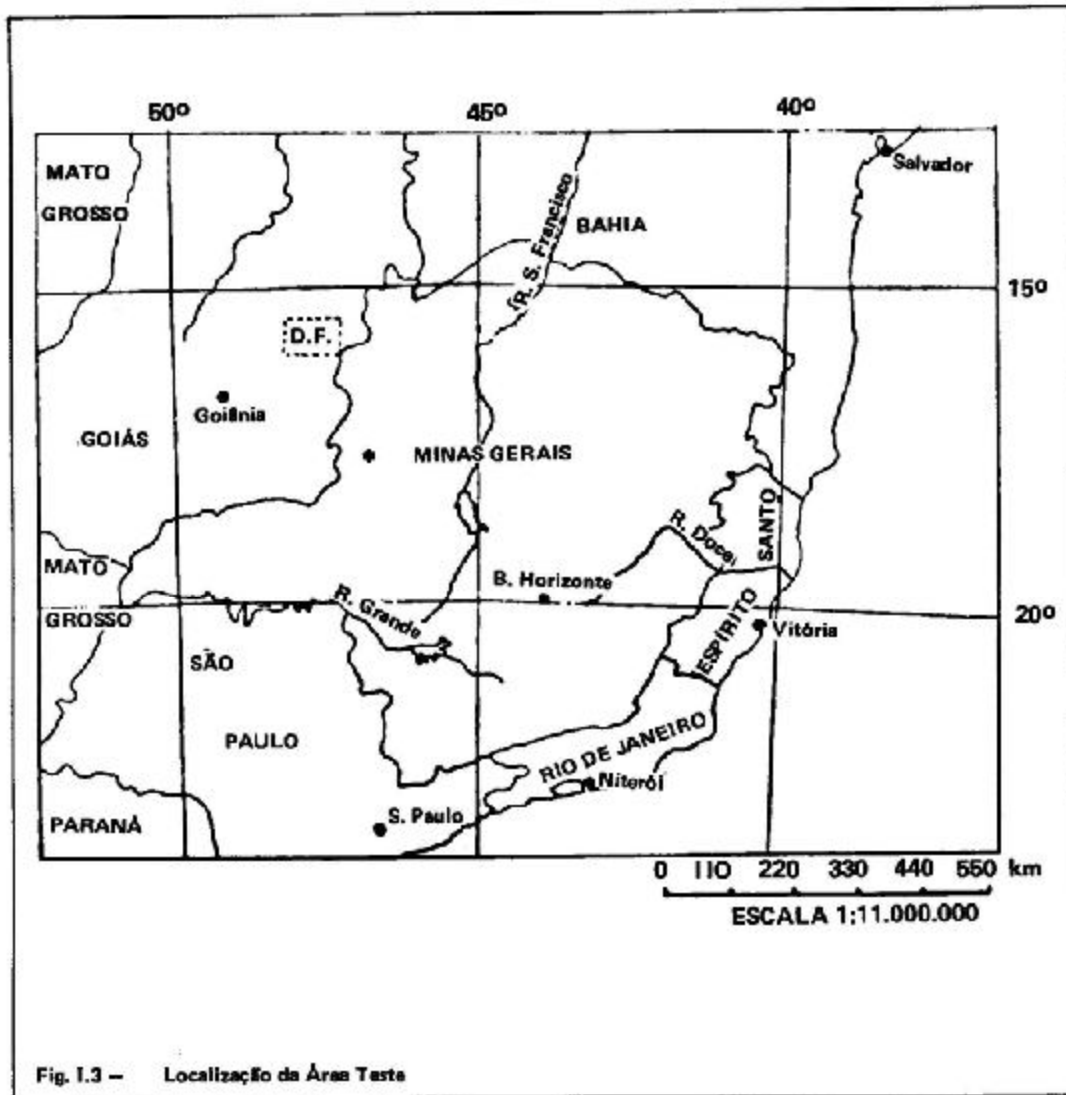


Fig. 1.3 – Localização da Área Teste

A principal feição tectônica da área é o falhamento vertical, de direção N50E com inflexão para N (Serras do Poço Verde, Sucuri, Ouro Podre e Morro de Minas).

As mineralizações mais conhecidas estão ao longo da zona de falha; são mineralizações de zinco, onde os depósitos superficiais são de minerais oxidados (calamina, wilemita, hidrozincita e zincita) e, às vezes, afloram sulfetos de zinco e chumbo (blenda e galena). Aparecem outros minerais associados com o zinco: minerais de chumbo, cobre, prata, e ferro, porém sem importância econômica.

As jazidas da região localizam-se no Morro Lapa Nova, Serra do Poço Verde e parte da Serra do Sucuri (concessões da Companhia Mineira de Metais, do Grupo Votorantim), Serra do Ouro Podre e Morro das Minas (concessões da M. A. S. A., ex-Companhia Mercantil e Industrial Ingá). A gênese dessas jazidas, alteradas por oxidação, é atribuída à tectônica de falhamento e, principalmente, a uma origem primária singenética, sedimentar (Amaral, 1968).

III – METODOLOGIA

III. 1 – Coleta de Dados de Sensores Fotográficos

No levantamento aerofotográfico, realizado pela Aeronave Bandeirante, PP – FXC, do Instituto de Pesquisas Espaciais, durante a estação seca de julho de 1972, obteve-se transparências positivas em quatro escalas diferentes: 1:90.000, 1:60.000, 1:30.000 e 1:15.000.

Foram usadas quatro câmeras Hasselblad (f=50 mm), simultaneamente providas com filmes 70 mm Ektachrome MS, Aerochrome IR (falsa cor), com filtro laranja, e Plus-X pancromático, com filtros verde e vermelho. O redescobrimto com filme IR falsa cor foi restringido às Serras Poço Verde, Sucuri e Ouro Podre e Morros das Minas e Lapa Nova, atingindo um máximo de 15 km de extensão. Com o filme pancromático, a área sobrevoada foi de 8,5 por 37,5 km², abrangendo a cidade de Vazante, Morro Lapa Nova, Serras do Poço Verde, Sucuri e Ouro Podre, Morro das Minas e adjacências.

Dois levantamentos aerofotográficos foram realizados, posteriormente, em junho e setembro de 1975, obtendo-se transparências em três escalas diferentes: 1:30.000, 1:10.000 e 1:50.000.

Foi utilizada a câmera I²S (International Imaging System), que é composta de quatro objetivas (f = 100 mm), com filme Kodak Aerographic 2424 (Infravermelho preto-e-branco), sensível à radiação visível e infravermelho (Fig. III. 1). Os filtros são acoplados em cada uma das quatro objetivas, sendo respectivamente Wratten 47B (azul), 57 (verde), 25 (vermelho) e 88A (infravermelho) (Fig. III. 2).

Na escala 1:30.000, a área abrangida é, aproximadamente, 12 x 50 km e nas escalas 1:10.000 e 1:5.000, somente sobre o Morro Lapa Nova e partes das Serras Poço Verde e Sucuri.

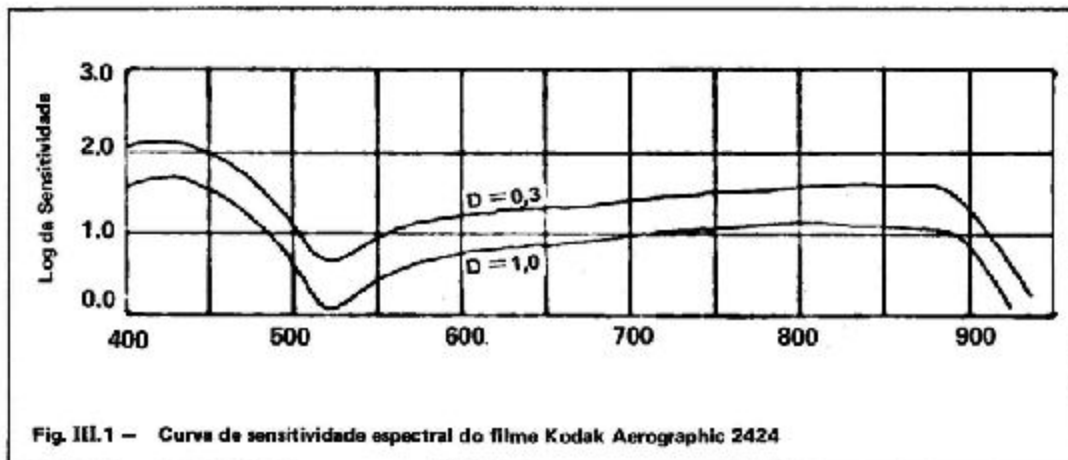


Fig. III.1 - Curva de sensibilidade espectral do filme Kodak Aerographic 2424

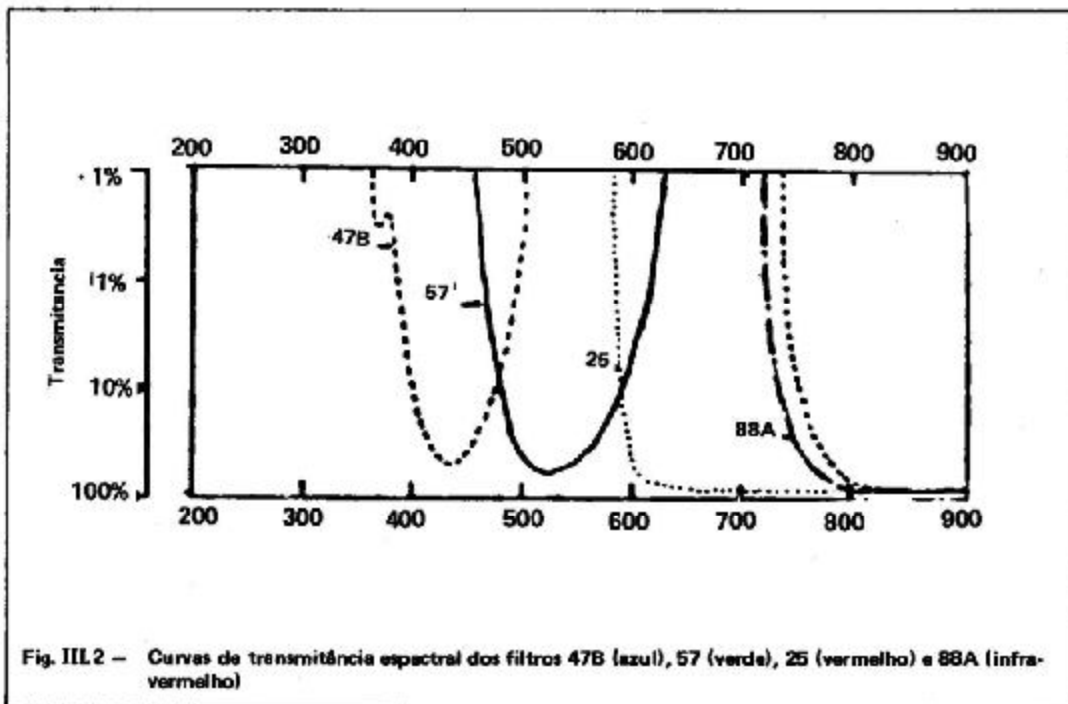


Fig. III.2 - Curvas de transmitância espectral dos filtros 47B (azul), 57 (verde), 25 (vermelho) e 88A (infravermelho)

III. 2 – Coleta de Dados para Análise Química de Plantas e Solos

Para análise química, de plantas e solos, foram escolhidas amostras na área de Vazante, durante o trabalho de campo preliminar.

Na amostragem obedeceu-se aos seguintes critérios: Procurou-se plantas de larga distribuição geográfica na região, assim como plantas características de locais que continham o minério oxidado. Em cada ponto foram coletadas amostras de folhas e caules das plantas, como também do solo subjacente. A locação dos pontos de coleta está no esboço anexo (Fig. III. 3).

III. 2. 1 – Preparação para Análise de Absorção Atômica das Plantas

0,15 g da amostra foi lavada por água não mineralizada, secada a 70 – 80°C, moída e submetida à peneira de 20 mesh. O material foi misturado com 10 ml de HNO₃ (puro). Estando a matéria orgânica parcialmente digerida e o volume de ácido nítrico reduzido à metade do volume inicial, adicionou-se 2 ml de ácido perclórico (72%). Por fim juntou-se 100 ml de água destilada ao resíduo, para análise de absorção atômica, no espectrofotômetro, dos elementos K, Ca, Mg, Mn, Zn, Fe e Cu. Enquanto o nitrogênio foi analisado pelo método Kjeldahl, o fósforo foi determinado por colorimetria.

III. 2. 2 – Preparação para Análise de Solos

As amostras de solos foram preparadas para análise de rotina, no Centro de Estudos de Solos (ESALQ).

Para medida de pH, 20 g de solo foram colocadas em um becker de 50 ml, com 20 ml de água destilada. Agitou-se várias vezes, durante 10 minutos, e deixou-se em repouso, durante 30 minutos, para que as partículas sólidas se precipitassem. O pH foi medido por um Hach, model 2075 pH meter, com o eletrodo imerso num líquido semi-claro da solução.

III. 2.3 – Preparação para Análise Anatômica das Plantas

As folhas foram fixadas numa solução F. A. A. (formol – ácido – álcool) e cortadas em pedaços pequenos, de aproximadamente um centímetro, dos dois lados da nervura principal. Foram desidratadas com uma série de álcool etílico, embebidas em parafina, tingidas com Delafield's Haematoxyline, e cortadas transversalmente com 10 μ de espessura. Foram obtidas fotografias com um Fotomicroscópio American Optics.

IV – ANÁLISE DOS RESULTADOS

IV. 1 – Sensores Fotográficos

Carraro (1972), fornece os seguintes resultados, obtidos na fotointerpretação das transparências coloridas, feitas em mesa de luz, com estereoscópio de bolso.

– Filme Ektachrome MS Aerographic

As transparências, na escala 1:15.000 e 1:30.000, tiveram bom contraste de cor. Devido à similaridade de resposta espectral da vegetação, na faixa do visível, não se observaram as diferenças entre as formações geológicas.

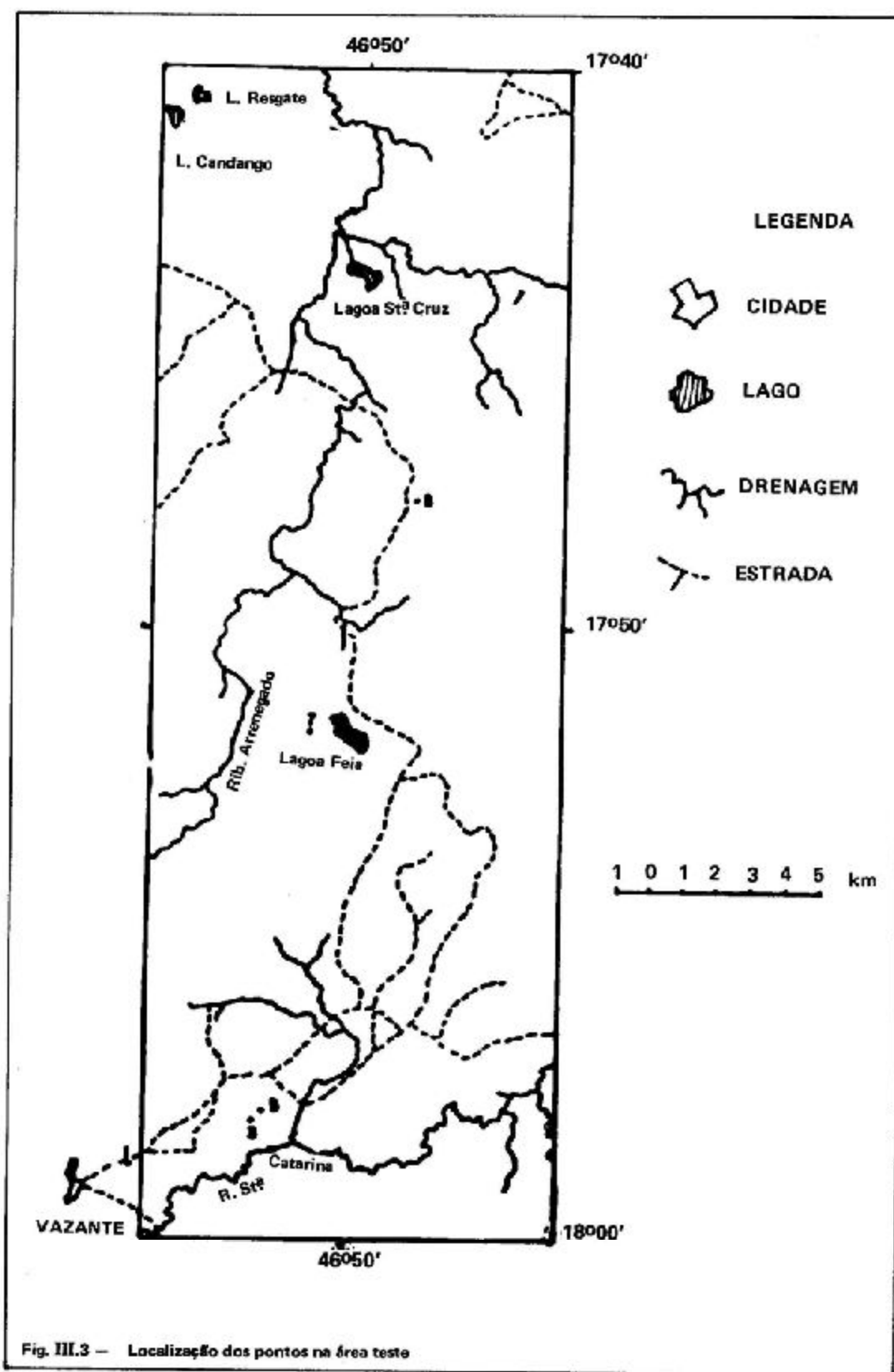
As transparências, na escala 1:60.000 e 1:90.000, apresentaram uma tonalidade azulada, uniforme, em toda extensão, devido, provavelmente, à falta de filtro conveniente, fato que se agravou com o aumento da altura de vôo, nestas escalas.

– Filme Aerochrome Infravermelho c/Filtro Laranja

As imagens, nas escalas 1:15.000 e 1:30.000, apresentaram ótima qualidade, sendo possível uma fotointerpretação das diferentes formações geológicas. A zona mineralizada foi delimitada pela diferença de cor com as regiões adjacentes. Estes resultados foram, posteriormente, transferidos para cópias de papel das imagens preto-e-branco e, levadas ao campo, verificou-se que, sempre que o solo e a vegetação originais estavam conservados, a interpretação da zona mineralizada, como tal, era verdadeira (Fig. IV. 1).

Amaral (1968), mostra que as gramíneas *Heteropogon villosus* Nees, *Paspalum trachycoleon* Steudel e *Axonopus chrysodactylus* Kuhl, juntamente com o abusto *Gophrena* sp, têm uma afinidade com o minério oxidado.

Carraro (1972), em observações de campo, conclui que, apesar da *Gophrena* sp ter grande afinidade com o minério de zinco, não se desenvolve extensivamente, deixando de ter resolução espacial suficiente para as escalas 1:30.000 e 1:15.000; por outro lado, a gramínea *Heteropogon villosus* Nees parece ser a mais significativa, por se desenvolver mais extensivamente sobre a zona mineralizada.



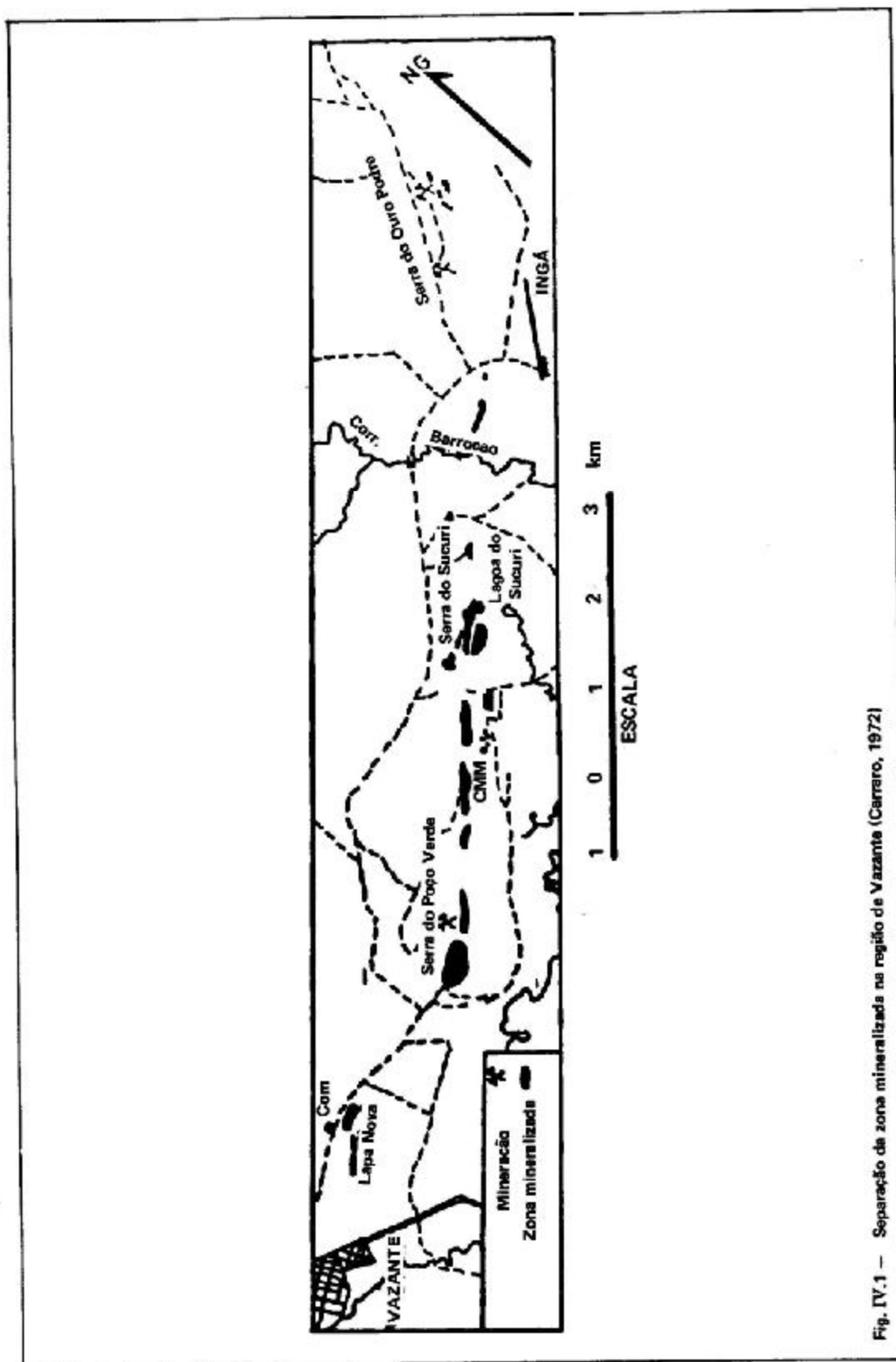


Fig. IV.1 — Separação da zona mineralizada na região de Vazante (Carraro, 1972)

O Manual de Sensores Remotos (ASP, 1975) indica o uso de filme preto-e-branco, com filtro vermelho (25A), como mais indicado para fotointerpretações geológicas. As transferências negativas, deste filme, foram ampliadas para três vezes a da escala original (1:90.000) em cópias de papel.

A fotointerpretação foi feita com base nos seguintes parâmetros: expressão topográfica, padrão da drenagem e textura, densidade de drenagem, lineamento estrutural, contraste tonal e vegetação.

As transparências positivas, preto-e-branco, multispectrais, obtidas com a câmera fotográfica I²S, acrescentam as possibilidades de uma fotointerpretação mais correta, devido aos seguintes fatores:

- A separação, em faixas espectrais (azul, verde, vermelho e infravermelho), permite individualizar alvos de diferentes reflectâncias, em cada uma dessas faixas. Por exemplo, a faixa espectral, do infravermelho, separa bem os cursos de água e vegetação, devido à baixa reflectância da água e à alta reflectância das árvores.
- Possibilita, ainda, a análise das quatro faixas espectrais, através do Color Additive Viewer, instrumento composto de quatro objetivas, combinadas com filtros azul, verde e vermelho. Os canais (faixas espectrais) são superpostas através das lentes. Com a adição dos filtros e intensidade de luz simulam-se composições coloridas normais e falsa cor. Pode-se também, fazer outras combinações que realcem alvos de interesse.

A fotointerpretação das transparências I²S complementa a fotointerpretação da cópia de papel, do filme pancromático, onde se usou estereoscopia, que ajuda melhor a detetar as diferenças texturais e a geologia estrutural.

O uso das transparências aumenta a resolução, sendo melhor que as fotos de papel, cujas reflexões internas, entre a base do papel e a emulsão, dificultam a distinção de dois alvos próximos (Welch, 1968).

Na fotointerpretação foram separadas três unidades geológicas, dentro da Formação Parapeba do Grupo Bambuí.

Estas unidades foram reconhecidas em trabalho de campo, do qual o mapa e o relatório estão em fase de execução.

IV. 2 - Análise Química de Plantas e Solos

Para interpretação de dados, temos que ter em mente que os minerais, no solo e nas plantas, apresentam um problema, porque o zinco, utilizado pela planta, depende do pH e do conteúdo de fósforo e matéria orgânica.

Clark and Graham (1968) mostraram que, em solos alcalinos, a quantidade de zinco, disponível para a planta, diminui devido ao fato de o zinco se encontrar sob a forma de zinco precipitado ($Zn(OH)_2$ e $CaZn(OH)_4$), de baixa sensibilidade.

Shaw e Dean (1951) verificaram que, para solos com pH abaixo de 6,5 e 0,05 ppm de zinco, o zinco é disponível para a planta, ao passo que solos com pH acima de 6,5 e 2,7 ppm de zinco, já não existe essa disponibilidade.

Outros estudos também mostraram que o zinco, disponível para as plantas, está em função da acidez do solo.

Os solos de área mineralizada, conhecida em Vazante, são ácidos, têm um elevado conteúdo de potássio, fósforo e matéria orgânica, comparados com o índice de fertilidade usado no I. A. C. (Instituto Agronômico de Campinas) - (Tabela IV.1).

Os solos da área mineralizada têm quantidade mais elevada de cálcio e magnésio, devido à predominância de calcário dolomítico.

As análises químicas das amostras de solo, para zinco, não foram feitas.

Embora numerosos estudos tenham mostrado que o zinco disponível para a planta é inversamente correlacionável com o pH, fósforo e matéria orgânica, assumimos que havia zinco suficiente, nos solos, para absorção pelas plantas, porque todas as amostras de plantas das áreas 1, 3 e 5 (Tabela IV. 2) possuem alto conteúdo de zinco, nos caules e folhas, enquanto que, para as áreas não mineralizadas (7 e 8), o conteúdo foi abaixo de 104 ppm, considerado normal para vegetação (Sarruge, 1974).

A distribuição irregular do conteúdo de zinco, nas partes da planta (caules e folhas), não indicou a parte preferencial para análise química.

O conteúdo de zinco anormal da planta 1 (*Gomphrena* sp) é notável. Cole (1968) verificou que a espécie *Gomphrena* (*canescens*) ocorria sobre uma zona mineralizada, conhecida, de zinco e

* A *Polycarpae spirostylis* é a planta indicadora de cobre em Queensland, e a *Trianthema rhynchocalyptra*, a *Gomphrena canescens* e a *Taphrosia aff. polysyga* são plantas acumuladoras de chumbo em Run Jungla.

chumbo na Austrália, mas não era uma espécie indicadora *, pois se desenvolvia também em outras áreas, como em Warmina e Jirrupbon Springs, onde o conteúdo de zinco e chumbo está abaixo de 30 ppm. Entretanto, seu conteúdo de metais parece ser relacionado com o conteúdo no solo, sugerindo sua aptidão para prospecção biogeoquímica na Austrália.

No nosso caso, como a planta 1 (*Gomphrena* sp.) existe, somente, na área mineralizada, pensamos que ela é essencial para identificar os fatores que controlam sua distribuição, assim como para verificar se é uma planta indicadora em potencial. Esta verificação será realizada num estudo de estufa.

IV. 3 — Análise Anatômica de Plantas

Durante o trabalho de campo, verificou-se que as mudanças de vegetação, entre as áreas que continham minério oxidado e as estéreis, eram marcantes.

Não foi possível classificar as plantas coletadas, de acordo com seus nomes científicos, pois durante a coleta (novembro), as plantas se encontravam em estágio vegetativo, portanto, sem flores. Assim sendo, foi dado um número a cada uma delas. O local da coleta de cada uma delas está explícito na Tabela IV.2.

Na área mineralizada predominam as três espécies de vegetação de gramíneas: *Heteropogon villosus* Nees, *Paspalum trachycoleon* Steudel e *Axonopus chrysodactylus* Kuhl. Em alguns lugares, da zona mineralizada, aparece a planta 2 (*Bauhinia* sp.) e/ou arbusto da planta 1 (*Gomphrena* sp.). A vegetação da zona mineralizada é, predominantemente, de cerrado e/ou matas secas.

A planta 1 (*Gomphrena* sp.) possui folhas pubescentes, o que dificultou o seu corte com o micrótomo. O corte a mão livre deu melhores resultados, para efeito de microfotografia. Essa planta tem folhas dorso ventrais, com pêlos multicelulares que foram ramificados de maneira dendrítica, em ambos os lados da superfície da folha. Grandes drusas de oxalato de cálcio foram encontradas na mesófila.

A planta 2 é típica de cerrado e possui várias camadas de células palisadas, e células esponjosas, sendo que as esponjosas não são claramente definidas. A camada dorsal é mais palisada, enquanto que a ventral é menos palisada. A superfície dorsal da folha, com hipoderna, não tem estômato e é coberta somente por pêlos normais. Entretanto, no lado ventral, os estômatos foram, facilmente, localizados entre papilas. Pêlos ordinários e glandulares foram encontrados. Os tipos de pêlos e a estrutura mesófila levaram-nos a concluir que se tratava da planta 2, uma espécie do gênero *Bauhinia*.

A *Bauhinia* das áreas 7 e 8 (que têm o menor conteúdo de zinco no solo), foram comparadas com as de outras áreas (1, 3 e 5), para ver se o conteúdo de zinco no solo causava alguma modificação na estrutura celular. As seguintes diferenças foram notadas:

- 1) O arranjo da estrutura mesófila das folhas, de áreas mineralizadas, é mais esparso, com mais espaços intercelulares do que as folhas das plantas de área não mineralizada.
- 2) As folhas de plantas, de áreas mineralizadas, têm mais fibras circundando os vasos condutores, e foram mais facilmente afetadas, após a desidratação do álcool, do que as folhas de áreas não mineralizadas. Então, após o corte, as células superficiais não ficaram intatas. Provavelmente isso se deva ao fato de que plantas de áreas mineralizadas estejam, fisiologicamente, afetadas, tornando as folhas mais sensíveis aos processos químicos usados.
- 3) A parênquima palisada da folha de uma área não mineralizada, tem mais cloroplastos do que em áreas anômalas, pela observação microscópica.

Uma suposição, aplicável à observação acima, é que a comparação é feita em folhas de mesma idade e sob as mesmas condições ambientais. Assim, desenvolvimentos diferentes e radiação solar recebida não afetarão a estrutura mesófila, as fibras e o conteúdo de clorofila nas folhas.

Para confirmar se há, realmente, alguma modificação na planta, será feito um estudo de estufa, onde serão colocadas sementes da planta 2 (*Bauhinia* sp.) até germinarem. Posteriormente, serão plantadas em solos mineralizados e solos não mineralizados. Após seu desenvolvimento, serão feitas as comparações anatômicas. Somente sob essas condições controladas serão eliminados todos os outros fatores, que também podem causar modificações anatômicas.

A planta 3 tem a mesófila bem compacta com uma camada de células palisadas e 2 ou 3 camadas de células semelhantes à palisada (mais curtas e arredondadas).

V — CONCLUSÕES

As análises do conteúdo de zinco de solos e plantas confirmaram que o nível de toxicidade de zinco, na zona mineralizada, é o fator que controla a distribuição da vegetação, onde somente as espécies de gramíneas *Heteropogon villosus* Nees, *Paspalum trachycoleon* Steudel e *Axonopus chrysodactylus* Kuhl, juntamente com a *Gomphrena* sp e *Bauhinia*, são capazes de sobreviver.

Isto sugere que os métodos geobotânicos têm vantagens sobre os métodos geoquímicos, pois não requerem um tratamento de dados sistemático.

A análise das transparências coloridas, no infravermelho falsa-cor, mostrou a eficácia da identificação de zonas mineralizadas. Por sua vez, as fotografias preto-e-branco, obtidas com filme Panchromático e filtro vermelho, juntamente com as transparências multispectrais I²S, são essenciais para a interpretação geológica e separação de áreas com maiores probabilidades de mineralizações.

BIBLIOGRAFIA

- ALVES, J. — 1962 — *Zinco: Jazida de Vazante, MG, Brasil, Dep. Nac. Prod. Min., Div. Forn. Prod. Min., Rel. da Diretoria, Brasil, Bol. 114:32-33, Rio de Janeiro.*
- AMARAL, G. — 1968 — *Geologia e depósitos de minérios da Região de Vazante, Estado de Minas Gerais. Tese de Doutorado, Univ. de S. Paulo, 103 pp.*
- AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY — 1975 — *Manual of Remote Sensing — vol. I e II, Falls Church, Virginia.*
- BENEDITO, P. — 1964 — *Estudo de jazidas não ferrosas da região de Vazante, Estado de Minas Gerais, Rel. da Dir. do D. N. P. M., Bol. 122.*
- CANNON, H. L. — 1960 — *Botanical prospecting for ore deposits. Science, vol. 132, nº 3427, p. 591-598.*
- CARRARO, C. C. — 1971 — *Reconhecimento de Rocha Mineralizada de Vazante nas Transparências Falsa-Cor, São José dos Campos, INPE-282-R/71 — 28 pp.*
- CLARCK, A. C., GRAHAM, E. R. — 1968 — *Zinc Diffusion and Distribution Coefficient in Soil as affected by Soil Texture, Zinc Concentration and pH, Soil. Sci. — 105:409-418.*
- COLE, M. M. et al — 1968 — *Geobotany, biogeochemistry and geochemistry in mineral exploration in the Bulmer-Waimuna Springs area, Northern Territory, Australia, Transactions/Section B. vol. 77, p. 881-B-104, Institute of Mining and Metallurgy.*
- DARDENE, M. A. — 1974 — *Geologia da região de Vazante (Minas Gerais, Brasil). Resumo das Comunicações do XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia — Porto Alegre.*
- D. N. P. M. — 1973 — *Perfil analítico do zinco, Bol. nº 26 da Dep. Nac. de Prod. Min. Rio de Janeiro.*
- ELLIS and MCGREGOR — 1967 — *The Kalengwa copper deposit, Econ. Geol., Vol. 62, p. 781-797.*
- GUIMARÃES, D. e DUTRA, C. V. — 1969 — *Contribuição ao Estudo da Série Bumbuí, Dep. de Geologia e Mineralogia, Bol. nº 243 — D. N. P. M.*
- GUIMARÃES, D. et al — 1962 — *Jazida plumbo-zinífera do município de Vazante — Minas Gerais, Bol. nº 110, D. F. P. M./D. N. P. M. — Rio de Janeiro.*
- HOWARD, J. A., WATSON, R. D. and HESSIN, T. D. — *Spectral reflectance properties of Pinus ponderosa in relation to copper content of the soil — Malachite mine, Jefferson country, Colorado, Proc. 7th Symp. Rem. Sens. Environ. vol. 1, p. 285-297.*
- LADEIRA, A. E. et al — 1953 — *Contribuição à Geologia de Vazante, Revista da Escola de Minas de Ouro Preto Minas Gerais.*
- MORAES, L. J. — 1958 — *Depósitos de Minério de Zinco e associados do Município de Vazante, Minas Gerais, Revista Engenharia Mineração e Metalurgia, vol. XXVII — nº 158 — Rio de Janeiro.*
- N.A.S.A. — *The application of biogeochemistry to mineral exploration, NASA, sp. 5056.*
- SARRUGE, J. R. e HAAG, H. P. — 1974 — *Análises Químicas em plantas — E. S. A. "Luiz de Queiroz" — USP — 56 pp. Piracicaba — SP.*
- TACIANO, J. — 1969 — *Estudo de jazidas não ferrosas — Região de Vazante — Rel. da Diretoria do D. N. P. M. — Bol. nº 119 — D. N. P. M.*
- THORMAN, C. H. and NAHASS, J. — 1974 — *Interpretação Estrutural da Área de Vazante, Minas Gerais — Brasil — Resumo das Comunicações do XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia — Porto Alegre.*
- YISTE and WENDEROTS — *The reflectance spectra of mineralized trees. Proc. 7th Symp. Rem. Sens. Environ. vol. 1 — p. 269-284.*
- WELCH, R. — 1968 — *Film Transparencies vs Paper Prints. Photogrammetric Engineering, vol. XXXIV, nº 5, p. 490-501 — University of Glasgow.*

GEOLOGIA E MINERALOGIA DE DEPÓSITOS DE WAVELITA E TURQUESA DA REGIÃO DE CONSELHEIRO MATA, DIAMANTINA – MINAS GERAIS

J.M. Correia Neves *
R.N. Cardoso *
Arno Brichta **

RESUMO

É estudada ocorrência de Wavelita e Turquesa, associada a rochas da Formação Rio Pardo Grande, unidade relacionada a seqüência Espinhaço.

O estudo mineralógico da ocorrência ora descoberta é acompanhado de dados relacionados à Geologia local da área, bem como da caracterização morfológica do depósito.

ABSTRACT

This paper concerns the study of Wavelite and Turquoise associated to the Rio Pardo Grande formation, which belongs to the Espinhaço sequence.

The mineralogical study is complemented with geological informations of the locality, as well data concerning the morphology and genesis of the deposit.

INTRODUÇÃO

Amostra de material trazida por morador de Conselheiro Mata, permitiu a identificação do mineral Wavelita.

Posteriormente foi feito reconhecimento da área e nova amostragem. Esta permitiu também a identificação de Turquesa, que ocorre associada a Wavelita.

Ao que parece trata-se do primeiro depósito com importância econômica no Estado. Encontra-se associado a rochas pelíticas que ocupam calha de estrutura sinclinal, posicionada com o eixo orientado segundo N-S. Sotopostos aquela litologia encontram-se conglomerados e quartzitos que integram a estrutura sinclinal.

A unidade pelítica foi referida a Formação Rio Pardo Grande, unidade pertencente à seqüência Espinhaço e considerada correlacionável ao Grupo Minas.

O minério ocorre sob duas formas distintas. Superficialmente forma massas irregulares de ocorrência descontínua, ocupando área de vários hectares. Ocorre ainda associado à rocha hospedeira, sob a forma de lâminas acompanhando ou não a estratificação.

A rocha a qual o minério encontra-se associado, macroscopicamente corresponde a um filito, com laminação nítida, representada, quando não alterada, por unidades claras e cinza-escuro.

Em amostras de mão o minério mostra duas fases, uma branca e outra azul-turquesa. O mineral branco ocorre em associações esféricas de cristais aciculares e o azul em vênulas. Os dois estão nitidamente associados. Estudos roentgenográficos e químicos revelaram tratar-se de Wavelita e Turquesa. A origem dos minerais é supergênica.

Análises individuais das massas mineralizadas indicaram teores de P_2O_5 de 12 a 15%.

GEOLOGIA LOCAL

O depósito estudado relaciona-se à Formação Rio Pardo Grande, que PFLUG (1965, 1968)

*Instituto de Geociências – UFMG – Belo Horizonte

**Instituto Eschwege – Diamantina – Minas Gerais

considera pertencer a seqüência correlacionável com a "Série Minas" (1) ocorrente no Quadrilátero Ferrífero.

Determinou, para o que considerou "Série Minas" na região Meridional do Espinhaço, da capa para a lapa, as seguintes unidades:

| | | |
|----------------|----------|---|
| Mais de 1000 m | Formação | Rio Pardo Grande: — Predominância de filitos, em parte com manganês, quartzitos e dolomitos. |
| 700 — 1000 m | Formação | Córrego Pereira: — Quartzitos. |
| 200 m | Formação | Córrego da Bandeira: — Filitos com intercalações quartzíticas. |
| 250 m | Formação | Córrego dos Borges: — Quartzitos. |
| 250 m | Formação | Sta. Rita: — Filitos e siltitos. |
| 2000 — 300 m | Formação | Galho do Miguel: — Quartzitos e, ocasionalmente, filitos. |
| 100 — 250 m | Formação | Sopa-Brumadinho: — Quartzitos, filitos hematíticos, conglomerados diamantíferos intercalados. |
| 100 — 200 m | Formação | São João da Chapada: — Predominância de quartzitos. |

A designação Rio Pardo Grande foi tomada do Rio homônimo que cruza esta unidade; a seção tipo encontra-se no Rio Batatal (V. mapa geológico na figura 1).

A expressão geomorfológica desta unidade é a de um extenso altiplano que ocupa as regiões a norte e nordeste de Conselheiro Mata.

Petrograficamente é caracterizada pela predominância de filitos, localmente ricos em ferro e manganês, que dão origem a pequenas jazidas, resultado de enriquecimento supergênico.

Na seção estabelecida a norte do Rio Pardo Grande, a unidade inclui espesso banco de conglomerados, que gradam para quartzitos e estes para metasiltitos.

PFLUG (op. cit.) refere-se a ligeira discordância com os quartzitos da Formação Córrego Pereira, não descrevendo, porém, a natureza da mesma.

A presença dos conglomerados na base da Formação Rio Pardo Grande caracteriza a referida discordância e permite admitir-se a existência de um subciclo sedimentar.

Ainda PFLUG (op. cit.) refere-se a possível ocorrência de rocha diamantífera, inferência estabelecida pelo fato de que os afluentes meridionais do Córrego Batatal, nascidos dentro da Formação Rio Pardo Grande apresentarem concentrações daquele mineral. É lícito supor que os conglomerados da base da Formação devam ser diamantíferos.

A nós parece que a seqüência caracterizada como Rio Pardo, realmente, deve merecer o status de Formação, dado sua extensão, perfeita separação com a unidade sotoposta e características petrográficas bastante distintas.

TECTÔNICA

A tectônica da área é caracterizada pela deformação intensa a que foram sujeitas as rochas da seqüência Espinhaço, cujos principais elementos encontram-se caracterizados nos trabalhos desenvolvidos por PFLUG e colaboradores.

O depósito ora estudado encontra-se relacionado a calha de estrutura sinclinal cujo eixo apresenta posicionamento N-S com mergulho para sul. A estrutura é seccionada por fraturamento intenso que, em parte, controla a drenagem.

Os quartzitos, em conseqüência da maior resistência mecânica, mostram, via de regra, dobramentos simples no que contrastam com os filitos que revelam intenso plissamento.

MORFOLOGIA E GÊNESE

O depósito encontra-se associado a rochas pelíticas, correspondendo a folhelho siltico, com laminação nítida, representada quando não alterada, por unidades claras e cinza-escuro.

O minério ocorre sob duas formas distintas. Superficialmente forma massas irregulares constituindo crostas superficiais de ocorrência descontínua, ocupando área de alguns hectares. Alguns poços abertos revelaram crostas com espessuras superiores a um metro. Ocorre ainda associado a rocha hospedeira sob a forma de lâminas acompanhando ou não a estratificação.

Em amostra de mão observam-se duas fases: uma branca, outra azul-turquesa. O mineral branco ocorre em associações esféricas de cristais aciculares e o azul em vênulas. Os dois minerais encontram-se intimamente associados.

A estrutura e relações do depósito sugerem tratar-se de depósito residual, mormente con-

(1) A designação Grupo Espinhaço nos parece mais apropriada. Além da prioridade, não implica no estabelecimento de correlação com a área tipo do Quadrilátero Ferrífero. Tal posicionamento ao que parece é atualmente preferido pela maior parte dos geólogos.

siderando-se a origem secundária dos minerais estudados. Contudo não foi possível definir a fonte, pois que análise do material sobre a qual se encontra o depósito não revelou teores incomuns de fósforo e cobre. Desta forma a gênese do depósito não pode ser explicada prontamente, mesmo considerando-se a presença do fósforo na rocha filítica em teores muito baixos.

Usualmente Wavelita é um dos minerais responsáveis pelos teores de fósforo em depósito de ferro e manganês, ocorrendo em finas incrustações. Mas neste caso os volumes são desprezíveis e é perfeitamente compreensível seja originada de fontes distantes não relacionadas aos depósitos.

No caso em pauta, contudo, pode-se estimar volumes da ordem de milhares de toneladas, o que dificulta, pelo menos com os dados disponíveis, postular origem autóctone.

Desta forma somente estudos complementares poderão definir sobre a gênese da ocorrência ora descoberta. Não deve ser excluída a possibilidade de origem alóctone. Neste caso pode-se considerar a proveniência do fósforo e cobre de fonte distante.

A caracterização de depósitos de bauxita em dois grupos principais autóctone ou eluvial e alóctone ou sedimentar é discutida por Routhier (1963). No caso presente o material estudado pode ser considerado como um depósito de bauxita fosforosa e o mesmo tipo de raciocínio aplicável.

WAVELITA

A wavelita; $Al_3 [(OH)_3 (PO_4)_2] \cdot 5H_2O$, foi encontrada pela primeira vez por Babington em 1805. No Brasil já em 1929 Luiz Caetano Ferraz faz referência à Wavelita ocorrendo em vários locais de Minas Gerais. Rui Ribeiro et alii. (1972) reproduzem fotografias de exemplares de Tripuí (Ouro Preto) pertencente à coleção do Prof. C. M. Ferreira, e de Carandaí pertencente ao Museu da EMOP.

Na ocorrência em estudo, a Wavelita aparece em associações esféricas de cristais aciculares. Tem cor branca. Quando a Wavelita é corada a causa da cor reside na presença de V (Foster et alii, 1955) nos estados de oxidação 4 e 5.

ROENTGENOGRAFIA

Da Wavelita de Conselheiro Mata obtivemos o difratograma reproduzido na figura 2. O resultado da interpretação reproduz-se no quadro 1, juntamente com os valores correspondentes à ficha 17-203 do ASTM a qual corresponde à Wavelita da Seixeira estudada em tempos por um de nós (Correia Neves, 1960). As diferenças observadas entre os diagramas das wavelites da Seixeira e de Conselheiro Mata ilustram bem a influência das condições experimentais na resolução dos diagramas obtidos. Assim sendo deve a ficha 17-203 do ASTM ser substituída por outra obedecendo às especificações apontadas por Bayliss (1976).

A indiciação foi conseguida usando os valores $a_0 = 9,62 \text{ \AA}$, $b_0 = 17,34 \text{ \AA}$ e $c_0 = 6,99 \text{ \AA}$ determinados por Gordon (1950). Os índices obtidos obedecem às condições seletivas do grupo D_{2h}^{13} — Pmmn e não às do grupo D_{2h}^{16} Pnma indicado por Gordon (1950).

ESTUDO QUÍMICO

Um estudo por espectrografia de fluorescência da Wavelita de Conselheiro Mata revelou como elementos maiores P, Al e traços de K, Ca, Be, Fe, Zn, Cu e Pb. O resultado da sua análise reproduz-se no quadro 2, juntamente com a análise da Wavelita de Carandaí (Ferraz, 1929) e a interpretação da análise da Wavelita de Conselheiro Mata. A determinação quantitativa dos elementos traços deu os seguintes resultados: $K_2O = 0,02\%$; $CaO < 0,1\%$ e $SiO_2 < 0,1\%$. Outros valores estão indicados no quadro 2.

Comparando os resultados obtidos da interpretação da análise A com os que seriam de esperar a partir da fórmula, verificamos que a Wavelita de Conselheiro Mata apresenta uma leve deficiência em P e um leve excesso em H.

ANÁLISE TÉRMICA DIFERENCIAL

Da Wavelita de Montgomery (U.S.A.) obteve Manly (1950) o primeiro diagrama de análise térmica diferencial deste mineral. Um de nós (Correia Neves, 1960) obteve também um diagrama de DTA da Wavelita da Seixeira (Portugal). Em 1962 Anderson et alii estudaram termicamente a Wavelita de Bingham (U.S.A.). Da Wavelita de Conselheiro Mata conseguimos o diagrama reproduzido na figura 3.

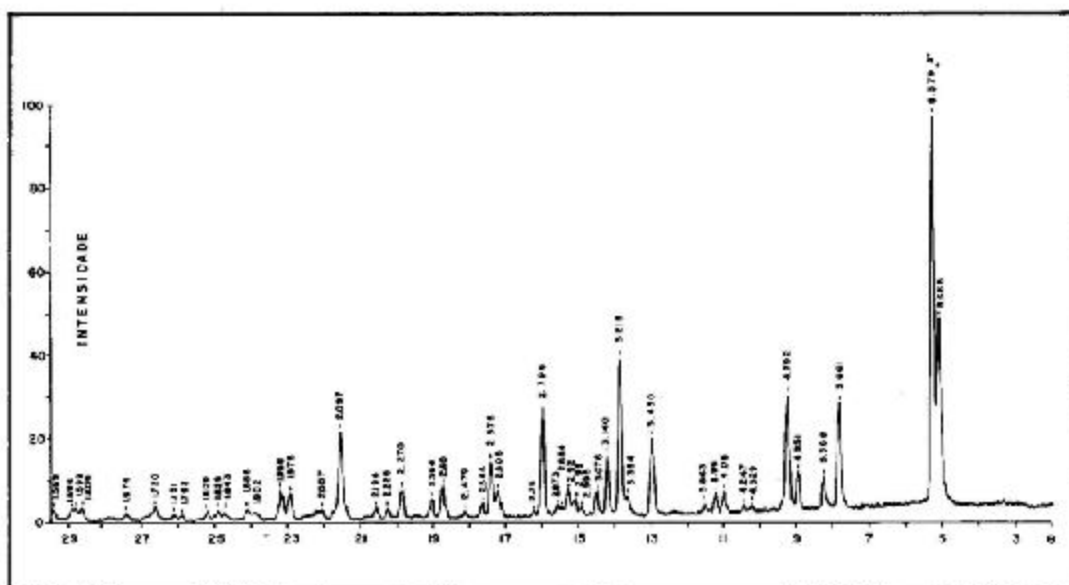


Fig. 2 — Diagrama de difração de Raios-X da wavelita de Conselho Mata. Radiação K α do Cu. 50 KV 30 mA. Fator de escala 4×10^4 . Registro obtido no Departamento de Química da UFMG

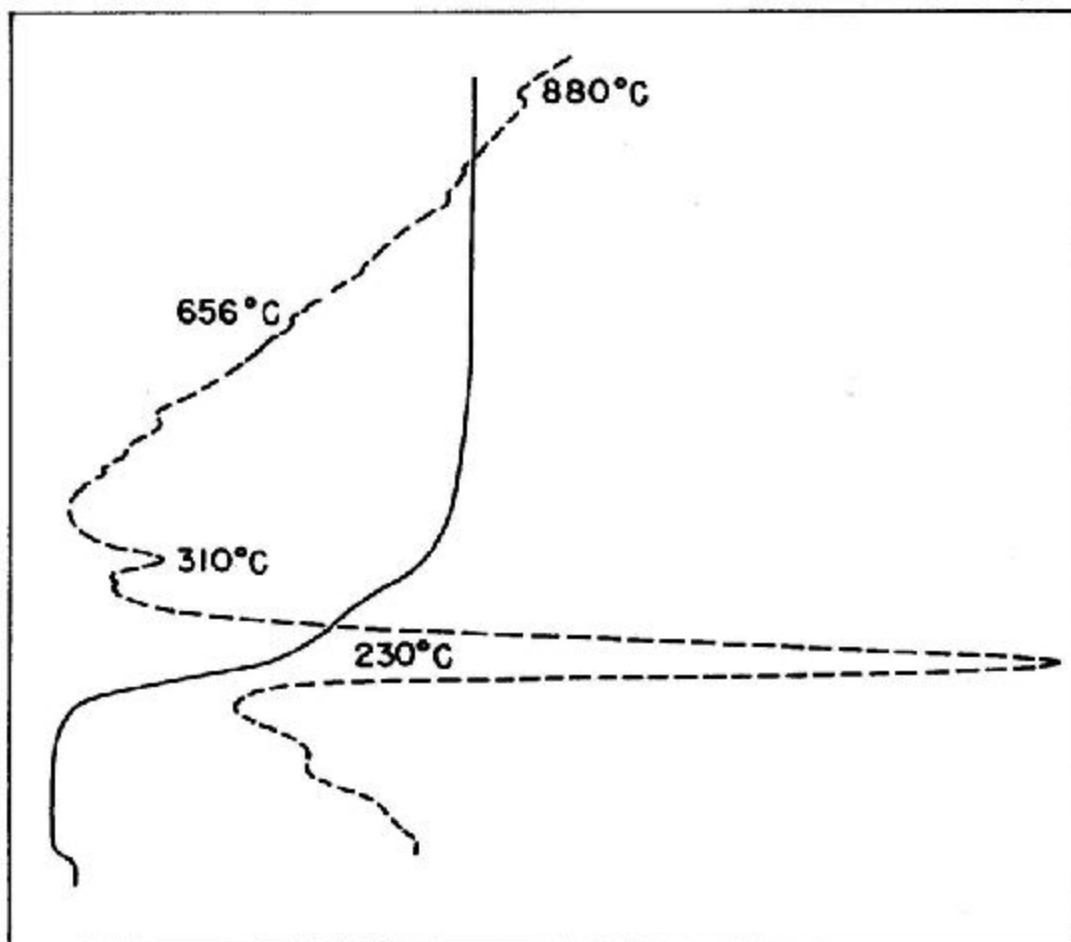


Fig. 3 — Curvas térmica diferencial (- - -) e ponderal da wavelita de Conselho Mata registradas nos laboratórios em Belo Horizonte, da Nuclebrás

| WAVELITA - CONSELHEIRO MATA | | | | WAVELITA - FICHA ASTM 17 - 203 | | | |
|-----------------------------|----|-----------|-----------|--------------------------------|----|-----------|-----------|
| d A° obs | l | hkl | d A° calc | d A° obs | l | hkl | d A° calc |
| 8.665 | 49 | 020 | 8.671 | 8.58 | 8 | 020 | 8.678 |
| 8.379 | 97 | 110 | 8.412 | | | | |
| 6.661 | 29 | 101 | 6.655 | 5.68 | 5 | 101 | 6.662 |
| 5.368 | 11 | 111 | 5.376 | | | | |
| 4.951 | 12 | 130 | 4.955 | 4.82 | 5 | 200 | 4.811 |
| 4.792 | 30 | 200 | 4.810 | | | | |
| 4.329 | 1 | 040 | 4.335 | | | | |
| 4.247 | 1 | | | | | | |
| 4.044 | 8 | 131 | 4.042 | | | | |
| 3.960 | 8 | 201 | 3.964 | 4.03 | 3 | 201 | 3.966 |
| 3.863 | 5 | 211 | 3.863 | | | | |
| 3.430 | 20 | 141 | 3.441 | 3.437 | 10 | 141 | 3.451 |
| 3.264 | 6 | 231 | 3.269 | 3.263 | 10 | 231 | 3.273 |
| | | 150 | 3.264 | | | | |
| 3.218 | 40 | 240 | 3.220 | | | | |
| 3.140 | 16 | 310 | 3.153 | | | | |
| 3.076 | 8 | 122 | 3.086 | 3.080 | 1 | 122 | 3.077 |
| 2.995 | 4 | 032 | 2.992 | | | | |
| 2.960 | 6 | 151 | 2.957 | 2.950 | 2 | 151 | 2.966 |
| 2.920 | 8 | 241 | 2.925 | | | | |
| 2.873 | 4 | 311 | 2.875 | | | | |
| 2.786 | 28 | 212 | 2.791 | 2.800 | 2 | 212 | 2.794 |
| 2.760 | 3 | 321 | 2.763 | | | | |
| 2.605 | 8 | 331 | 2.603 | | | | |
| | | 251 | 2.610 | | | | |
| 2.578 | 15 | 161 | 2.574 | 2.575 | 6 | 161 | 2.582 |
| 2.546 | 5 | 232 | 2.540 | | | | |
| 2.478 | 3 | 260 | 2.478 | | | | |
| 2.400 | 9 | 400 | 2.406 | | | | |
| 2.364 | 6 | 302 | 2.363 | 2.371 | 1 | 302 | 2.365 |
| 2.270 | 6 | 401 | 2.274 | 2.280 | 1 | 401 | 2.275 |
| | | 103 | 2.265 | | | | |
| 2.225 | 3 | 062 | 2.227 | | | | |
| 2.194 | 3 | 123 | 2.191 | | | | |
| 2.097 | 22 | 440 | 2.103 | 2.103 | 6 | 271 | 2.107 |
| | | 203 | 2.097 | | | 440 | 2.105 |
| 2.007 | 31 | 143 | 2.007 | | | | |
| 1.976 | 7 | 402 | 1.981 | 1.987 | 8 | 172 | 1.984 |
| | | 280 | 1.978 | | | 280 - 402 | 1.983 |
| | | 233 | 1.971 | | | | |
| 1.968 | 7 | 370 | 1.981 | | | | |
| 1.902 | 2 | 451 - 281 | 1.902 | 1.900 | 1 | 451 - 281 | 1.905 |
| 1.886 | | 371 - 243 | 1.887 | | | | |
| | | 303 | 1.885 | | | | |
| 1.843 | 2 | 511 | 1.845 | | | | |
| | | 082 | 1.842 | | | | |
| 1.829 | 3 | 362 | 1.829 | 1.830 | 1 | 362 | 1.833 |
| 1.809 | 3 | 182 | 1.809 | | | | |
| 1.763 | 2 | 531 | 1.766 | | | | |
| 1.751 | 2 | 004 | 1.748 | 1.755 | 1 | 004 | 1.751 |
| 1.720 | 4 | 282 | 1.720 | 1.726 | 2 | 282 | 1.726 |
| 1.674 | 2 | 471 | 1.675 | 1.690 | 1 | 124 - 502 | 1.689 |
| | | 034 | 1.672 | | | | |
| 1.609 | 3 | 480 | 1.610 | 1.614 | 2 | 391 | 1.612 |
| | | 391 - 433 | 1.608 | | | 433 | 1.610 |
| 1.599 | 3 | 144 | 1.598 | | | | |
| | | 382 | 1.597 | | | | |
| 1.594 | 3 | 292 | 1.583 | | | | |
| 1.569 | 3 | 542 | 1.571 | | | | |
| | | 481 | 1.568 | | | | |
| | | 183 | 1.566 | | | | |
| 1.555 | 3 | 0.10.2 | 1.554 | 1.540 | 2 | 244 | 1.538 |
| | | 472 | 1.547 | | | 304 | 1.536 |

Quadro 1 - Interpretação do diagrama de difração da Wavelita de Conselheiro Mata, Comparando-o com o diagrama da Wavelita da Seixeira (Gonçães Neves, 1960). * Raia não indicada.

| | (A) | 1 | 2 | 3 | (B) |
|--------------------------------|-------|--------|--------|-------|----------|
| P ₂ O ₅ | 32,50 | 32,67 | 0,4603 | 7,63 | 33,00 |
| Al ₂ O ₃ | 35,80 | 36,00 | 0,7061 | 11,70 | 36,10 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,54 | 0,54 | 0,0067 | 0,11 | — |
| Cu O | 0,012 | 0,012 | 0,0001 | — | — |
| Mg O | 0,085 | 0,085 | 0,0021 | 0,03 | 0,20 |
| Be O | 0,085 | 0,085 | 0,0034 | 0,06 | — |
| H ₂ O* | 29,98 | 30,14 | 3,3378 | 55,32 | 26,20 |
| F | 0,80 | 0,80 | 0,0421 | 0,70 | 3,60 |
| Outros | 0,008 | 0,008 | | | CaO 0,30 |
| | 99,81 | 100,34 | | | |
| OeqF | 0,34 | 0,34 | | | |
| | 99,47 | 100,0 | | | |

Quadro 2 — Análises químicas de Wavelitas de Conselheiro Mata (A) e de Carandaí (B) e interpretação de (A). 1 — Análise (A) recalculada para 100; 2 — Proporções catiônicas; 3 — Átomos por malha elementar; * — Dado fornecido como perda ao fogo; Outros — TiO₂ 60 ppm, ZnO 20 ppm. Analista de (A) — Cláudio Dutra.

O nosso diagrama mostra 2 picos endotérmicos a 230°C e 310°C devidos a desidratação da Wavelita e um pico exotérmico a 656°C causado pelo aparecimento de uma estrutura fosfotri-dimita (Correia Neves, 1960 e Mainly, 1950).

ANÁLISE DA ABSORÇÃO DE INFRAVERMELHOS

Usando um aparelho Perkin-Elmer modelo 621, pertencente ao Instituto de Química da UFMG, obtivemos o diagrama de infravermelhos da figura 4. O nosso diagrama é idêntico ao obtido por Anderson et alii, (1962) duma Wavelita de Bingham.

A absorção entre os 3.070 cm⁻¹ e os 3.490 cm⁻¹ corresponde às vibrações ν (estiramento) das moléculas da H₂O e do grupo OH⁻; a absorção dos 1.636 cm⁻¹ corresponde às vibrações δ (flexão) das moléculas de H₂O. Aos 1.100 e 1.060 cm⁻¹ ocorre a vibração ν (estiramento) do grupo PO₄ e as restantes observações correspondem às vibrações δ (flexão) do grupo PO₄.

TURQUESA

A turquesa (Cu Al₆ [(OH)₂ / PO₄]₄ 4H₂O) constitui um dos termos extremos da série que tem no outro a chalcosiderite em que o Al aparece substituído pelo Fe . . .

É um mineral triclinico, com as seguintes dimensões para a malha elementar a₀ = 7,424 Å, b₀ = 7,629 Å, c₀ = 9,910 Å, α = 68,61°, β = 69,71°, γ = 65,08°. Grupo espacial P1 (Dresdner, 1965). Existe possibilidade de substituição isomórfica do Cu pelo Zn e pelo Ca dando origem à faustita e a Ceruleolactita respectivamente quando a substituição é completa.

No Brasil cita-se a ocorrência de turquesa no Remanso, Bahia (Rui Ribeiro Franco, 1972), encontrando-se uma amostra depositada na coleção do IGUSP.

A turquesa de Conselheiro Mata aparece em vênulas de forma irregular, tem aspecto maciço, fratura subconchoidal e cor azul-turquesa, com brilho terroso. Não se observaram cristais individuais.

ROENTGENOGRAFIA

Da turquesa de Conselheiro Mata obtivemos o difratograma reproduzido na figura 5. O resultado da sua interpretação reproduz-se no quadro 3 juntamente com os valores correspondentes à ficha 6-0216 do ASTM. A concordância entre os resultados é perfeita. No nosso difratograma detetam-se ainda as duas raías mais intensas da estrutura do quartzo e que no quadro vão assinalados com asterisco.

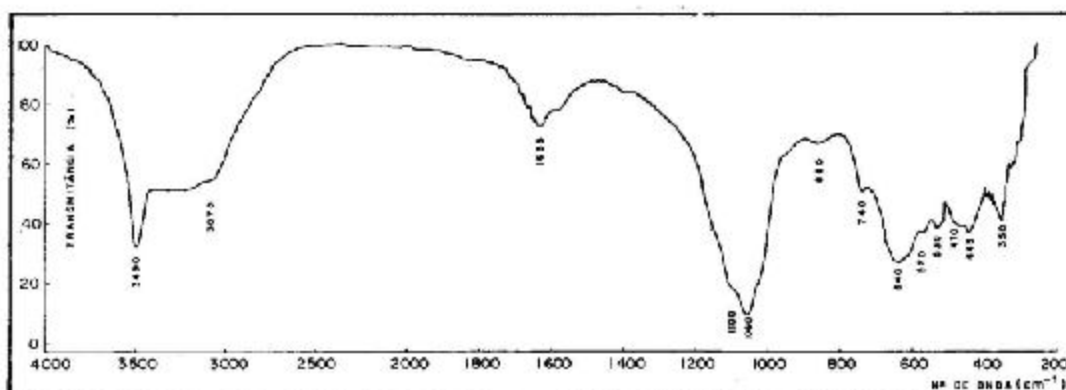


Fig. 4 — Diagrama de absorção de infravermelho da wavelita de C. M. registrado num Perkin Elmer 621 do Departamento de Química da UFMG (Dilúente KBr; conc. 200/1)

| TURQUESA CONS. MATA | | TURQUESA, FICHA ASTM 6 - 0216 | | |
|---------------------|-----|-------------------------------|-----|-----------------------|
| d A° obs. | I | d A° | I | hkl |
| 9.017 | 6 | 9.09 | 50 | 010 |
| 6.701 | 9 | 6.73 | 50 | 001 |
| 6.150 | 11 | 6.17 | 70 | 011 - 111 |
| 5.980 | 6 | 6.00 | 40 | 110 |
| 5.749 | 4 | 5.77 | 20 | 101 |
| 5.368 | | | | |
| 4.792 | 11 | 4.80 | 60 | 011 - 110 |
| | | 4.65 | 20 | 121 |
| 4.269 | 4* | | | |
| 3.674 | 32 | 3.68 | 100 | 211 - 111 - 111 |
| 3.510 | 5 | 3.51 | 10 | 102 - 122 |
| 3.424 | 12 | 3.44 | 70 | 201 - 221 |
| 3.354 | 10* | | | |
| 3.274 | 11 | 3.28 | 70 | 210 - 120 - 021 - 131 |
| 3.080 | 6 | 3.10 | 40 | 022 |
| 3.035 | 5 | 3.05 | 20 | 031 |
| 2.985 | 4 | 3.00 | 20 | 030 - 130 |
| 2.900 | 23 | 2.91 | 80 | 012 - 112 |
| 2.870 | 6 | 2.89 | 10 | |
| 2.526 | | 2.52 | 40 | |
| 2.480 | 3 | 2.47 | 20 | |
| 2.342 | 5 | 2.35 | 40 | |
| 2.307 | 5L | 2.32 - 2.29 | 40 | |
| 2.231 | 5 | 2.23 | 40 | |
| 2.179 | | 2.19 | 20 | |
| 2.116 | | 2.12 | 40 | |
| 2.061 | | 2.07 | 50 | |
| 2.013 | | 2.02 | 60 | |
| 1.900 | | 1.903 | 40 | |
| 1.843 | | 1.845 | 40 | |
| 1.822 | | 1.824 | 40 | |

Quadro 3 — Interpretação do diagrama de difração da turquesa de Conselheiro Mata, comparando-o com os valores da ficha ASTM 6 - 0216.

ANÁLISE TÉRMICA DIFERENCIAL

Da turquesa são referidas na literatura três curvas térmicas diferenciais. A primeira por Mainly (1950) dum turquesa do Novo México (U.S.A.), a segunda por Anderson et alii (1962) dum turquesa de Bingham (U.S.A.) e a terceira por Khorassani et alii (1976) da turquesa de Damghan no Irã. Os diagramas mostram uma forte reação indotérmica por volta dos 350°C relacionada com a desidratação da turquesa e uma reação exotérmica por volta dos 750°C causada pelo aparecimento dum estrutura tipo fosfotridimite.

Da turquesa de Conselheiro Mata obtivemos o diagrama de DTA reproduzido na figura 6. O diagrama mostra-se idêntico aos referidos anteriormente.

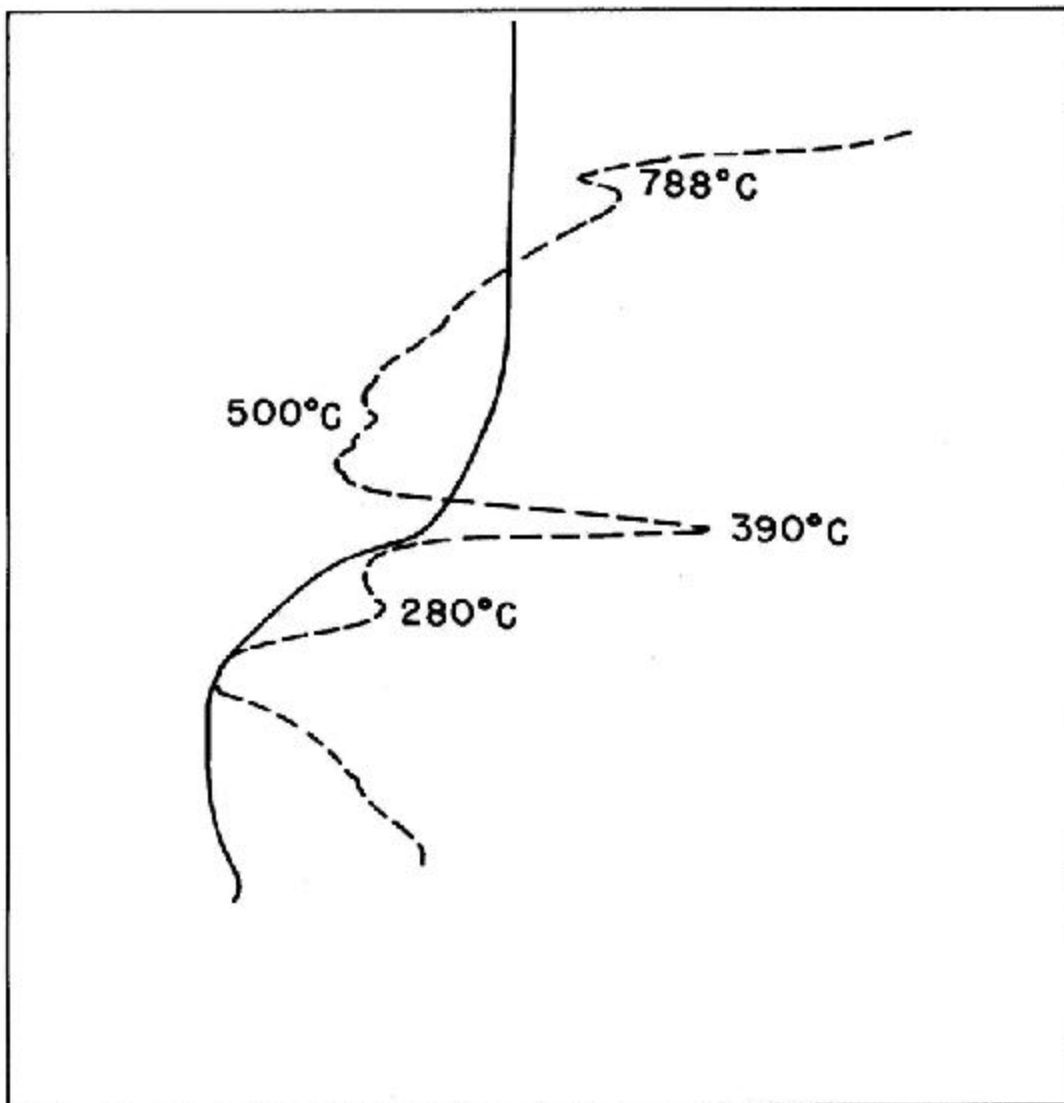


Fig. 6 — Curvas térmica diferencial (a tracejado) e ponderal da turquesa de Conselheiro Mata registradas nos laboratórios em Belo Horizonte, da Nuclebrás

ANÁLISE DA ABSORÇÃO DE INFRAVERMELHOS

Da turquesa conhecemos dois estudos por infravermelhos. Um de Anderson et alii (1962) e outro de Khorassani et alii (1976).

O diagrama por nós registrado (figura 7) num espectrografo Perkin Elmer 621 é idêntico aos referidos atrás.

As nítidas raías da banda de absorção compreendida entre 3080 e 3490 cm^{-1} correspondem às vibrações ν das moléculas de H_2O e dos grupos OH^- a banda de absorção dos 1640 cm^{-1} corresponde às vibrações δ da H_2O .

As raías da forte banda de absorção compreendida entre os 1.000 e os 1.200 cm^{-1} correspondem às vibrações ν dos grupos tetraédricos PO_4 as restantes raías do espectro correspondem às vibrações δ dos tetraédros PO_4 presentes na estrutura da turquesa.

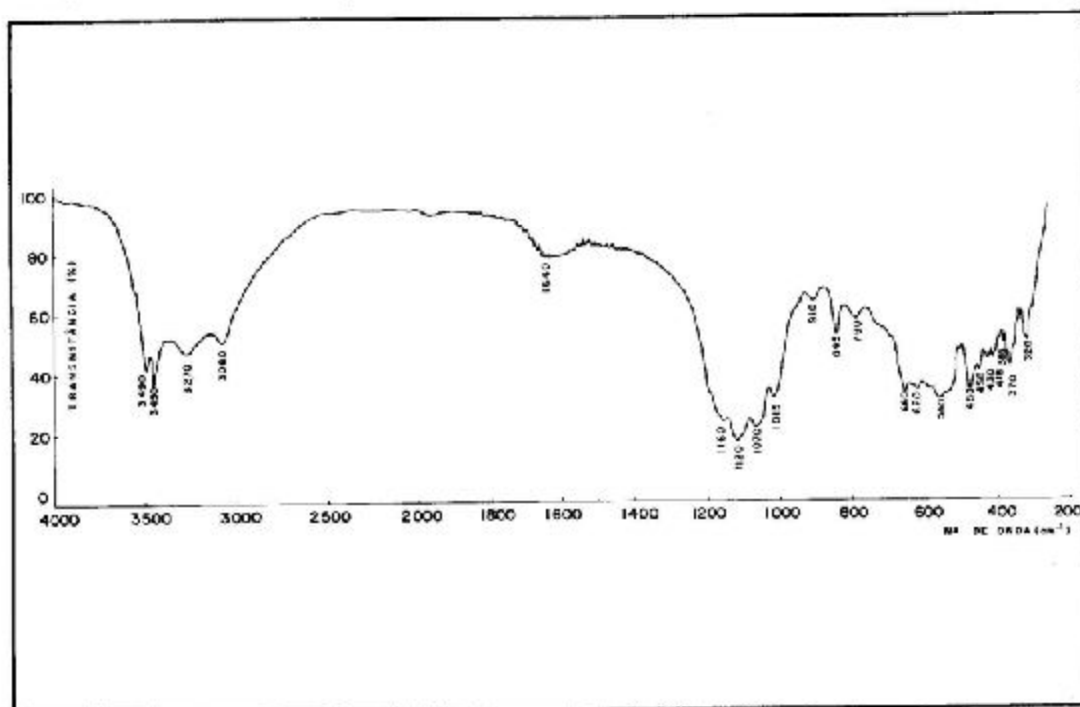


Fig. 7 — Diagrama de absorção de infravermelho da turquesa de C. M. registrado num Parkin Elmer 621 do Departamento de Química da UFMG (Diluyente KBr; Conc. 200/1)

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Eng.^o Clécio Campi Murta e Eng.^a Maria José C. Mendes, pela gentileza do registro dos diagramas de DTA e Raios-X respectivamente. Agradecem ainda ao Dr. Cláudio V. Dutra as análises químicas apresentadas.

BIBLIOGRAFIA

- ANDERSON, W.R. et alii — 1962. Secondary phosphates from Bingham, Utah. *Am. Min.* vol. 47, 1303-1309.
- BAYLISS, P. — 1976. X-ray diffraction powder data — *Am. Min.* vol. 61, 334-336.
- CORREIA NEVES, J.M. — 1960. Pegmatitos com berilo, columbitantalite e fosfatos de Bandada (Sabugal, Guarda). *Mem. Notícias de Univ. Coimbra* n.º 50, 1-172.
- DRESDNER, H.C. — 1965. The crystal structure of Turquoise. *Am. Min.* vol. 50, 293.
- FERRAZ, L.C. — 1929 — *Compêndio dos Minerais do Brasil*. Rio de Janeiro (Imprensa Nacional).
- FOSTER, M.D. and SCHALLER, W.T. — 1966 — Cause of colors in Wavellite from Dug Hill, Arkansas — *Am. Min.*, vol. 51, 422-428.
- GORDON, S.G. — 1960 — *Am. Min.* vol. 35, 132, citada em Strunz (1966).
- KHORASSONI, A., ABEDINI, M. — 1976. A new study of turquoise from Iran. *Min. Magazine* vol. 40, n.º 314, 640-641.
- MAINLY, R.L. Jr. — 1960. The differential thermal analysis of certain phosphates. *Am. Min.* vol. 35, 108-115.
- PFLUG, R. — 1965. A Geologie da Parte Meridional da Serra do Espinhaço e Zonas Adjacentes, Minas Gerais: DNPM, DGM, Bol. n.º 226, 51 p., map., PL. I-VI. Rio de Janeiro.
- PFLUG, R. — 1968. Observações sobre a Estratigrafia da Série Minas na Região de Diamantina, Minas Gerais: DNPM, DGM, Notas Prel. e Estudos. n.º 142, 20 p. — Rio de Janeiro.
- RIBEIRO FRANCO, R., et alii — 1972. *Minerais do Brasil* Editora da USP. 3 volumes.
- ROUTHIER, P., 1963. *Les Gisements Metallifères, Géologie et Principes de Recherches*, Tome I, Masson ET CIE ED., 867 p. Paris.
- STRUNZ, H. — 1966. *Mineralogische Tabellen*, 4. Auflage.

**29º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA
OURO PRETO – 1976**

**ECONOMIA MINERAL E
GEOMATEMÁTICA**



OURO PRETO – NOVEMBRO – 1976

CUSTOS DE PROGRAMAS DE PROSPECÇÃO GEOQUÍMICA EM SEDIMENTOS DE DRENAGEM DESENVOLVIDOS PELA METAIS DE GOIÁS S.A. — METAGO

Raul Minas Kuyumjian*
Sílvia Ronan Bressan*

RÉSUMÉ

Ce travail traite des coûts de la prospection géochimique par la méthode des sédiments de drainage, développée par la METAGO dans l'Etat de Goiás. Afin de réaliser l'évaluation des dépenses deux programmes distincts ont été considérés: le premier réalisé par des géologues, qui effectuent l'échantillonnage simultanément au lever géologique de la région étudiée; le second réalisé par des techniciens se préoccupant uniquement avec l'échantillonnage géochimique. L'analyse constante des coûts de prospection a rendu possible, chaque fois que cela fût nécessaire, la reformulation et la réévaluation de la systématique de travail adoptée, visant à la rendre aussi efficace que possible dans les conditions de rentabilité optimale.

I — INTRODUÇÃO

Como o desenvolvimento de uma prospecção geoquímica através de sedimentos de drenagem é indicada, geralmente, para o rápido recobrimento de amplas regiões a baixo custo por unidade de área, verifica-se quão importante é a constante reavaliação da sistemática de trabalho adotada em programas deste tipo, visando torná-la a mais eficiente possível, do ponto de vista econômico.

No entanto, são raros os trabalhos geoquímicos publicados que apresentam considerações sobre os custos dos mesmos, principalmente no Brasil, onde um bom número de empresas vem empregando de modo eficiente e crescente a amostragem de sedimentos de drenagem na prospecção mineral.

Este estudo tem por objetivo contribuir para aumentar o acervo de dados concernentes ao problema, apresentando as avaliações de custo de dois programas geoquímicos distintos desenvolvidos pela METAGO no Estado de Goiás. Em um dos programas, com a utilização de geólogos, realizou-se concomitantemente, uma amostragem de sedimentos de drenagem e um reconhecimento geológico na área prospectada. No outro, empregando-se técnicos em mineração, foi realizada somente uma prospecção geoquímica através de sedimentos de drenagem.

II — AVALIAÇÃO DE CUSTOS

O custo de uma prospecção geoquímica de sedimentos de drenagem é, em geral, apresentado por área unitária (custo/km²) e depende evidentemente da densidade da amostragem, do número de elementos a serem analisados, dos métodos analíticos empregados, das condições de acesso da região estudada e de vários outros fatores.

Para uma melhor avaliação, os custos dos programas geoquímicos aqui estudados foram divididos em três itens: amostragem, análises químicas e supervisão e interpretação.

No custo de amostragens estão incluídas as despesas efetivamente realizadas com pessoal, veículos e material, necessários à coleta das amostras geoquímicas. O item referente às análises químicas abrange os gastos com a dosagem das amostras geoquímicas, pelo método de espectrofotometria de Absorção Atômica, ressaltando-se que as análises foram realizadas nos próprios laboratórios da empresa. Os gastos com supervisão e interpretação foram aqueles efetuados no planejamento do

* Metais de Goiás S. A. — METAGO
Goiânia — Goiás — Brasil

programa, orientação dos trabalhos de campo, interpretação dos dados obtidos e na conseqüente elaboração do relatório final do programa de prospecção. Finalmente, cabe salientar que estes custos, calculados a preços vigentes de agosto/76, foram acrescidos de 20% de seu valor, referentes a taxa de administração.

II.1 — Programa 1

Este programa abrange uma área de 5.611 km², situada aproximadamente 200 km a noroeste de Goiânia, na região centro-sul de Goiás.

Tendo em vista, a existência de mapas geológicos em escala de 1:100.000 da citada área e o próprio conhecimento da geologia de região por parte dos técnicos da METAGO, a metodologia de prospecção adotada neste programa, constou de um levantamento geoquímico através de sedimentos de drenagem, visando selecionar áreas enormes, promissoras à presença de mineralizações.

Os trabalhos de campo foram realizados em 82 dias por uma equipe constituída por um técnico em mineração e um motorista, que coletaram 604 amostras de sedimentos de drenagem, com áreas de captação em torno de 5 a 10 km². A densidade de amostragem foi de 1 amostra/9 km², tendo sido coletadas 7 a 8 amostras por dia. As análises químicas foram efetuadas para 5 elementos, utilizando-se o método de espectrofotometria de Absorção Atômica.

O custo total deste programa de prospecção geoquímica foi estimado em Cr\$ 32,90/km², sendo que deste valor, Cr\$ 12,97/km² correspondem aos custos de amostragem, Cr\$ 16,14/km² aos de análises químicas e Cr\$ 3,79/km² aos de supervisão e interpretação.

Nota-se assim, que as análises químicas constituíram-se no principal fator de encarecimento do programa, representando 49,06% do custo total, enquanto que os gastos com amostragem e supervisão e interpretação, atingiram 39,43% e 11,51%, respectivamente.

II.2 — Programa 2

Este programa de prospecção foi desenvolvido em uma área de 4.500 km², localizada a cerca de 200 km a norte-noroeste da cidade de Goiânia, na região centro-sul do Estado de Goiás.

Para atingir os objetivos a que se propunha este programa, a metodologia de prospecção adotada foi a realização de um reconhecimento geológico detalhado da região, concomitantemente, a um levantamento geoquímico de sedimentos de drenagem.

Dada a necessária presença de geólogos para o desenvolvimento do programa, a amostragem geoquímica foi efetuada pelos mesmos, tendo em vista, que a quase totalidade das estradas a serem percorridas durante os trabalhos de reconhecimento geológico, cruzavam a maioria dos cursos d'água que drenam a área estudada.

Para a realização do programa a área foi dividida em quatro setores, correspondendo cada um deles a uma equipe constituída por um geólogo e um motorista, que em 15 dias efetuaram os trabalhos de campo.

Na amostragem geoquímica, que abrangeu toda a região prospectada (4.500 km²), adotou-se áreas de captação em torno de 10 km², tendo sido coletadas 355 amostras de sedimentos de drenagem. A densidade de amostragem foi de 1 amostra/12 km² e cada equipe coletou em média cerca de 6 amostras por dia. Em todas as amostras foram dosados 5 elementos, por espectrofotometria de Absorção Atômica.

O custo total deste programa de prospecção foi estimado em Cr\$ 40,50/km², sendo que deste valor, 56,35% (Cr\$ 22,83/km²) correspondem ao custo dos trabalhos de campo, 29,21% (Cr\$ 11,83/km²) aos de análises químicas e 14,44% (Cr\$ 5,85/km²) aos de supervisão e interpretação.

Estes dados mostram que os trabalhos de campo constituíram-se no principal componente do custo total do programa, o que pode ser explicado pela própria natureza do trabalho efetuado, ou seja, a realização concomitante de reconhecimento geológico e prospecção geoquímica, com participação exclusiva de geólogos. Assim, os custos dos trabalhos de campo englobam os gastos dispendidos na amostragem geoquímica e nos estudos geológicos, sendo difícil estimá-los separadamente, pois estes serviços foram efetuados de forma integrada.

Ressalte-se ainda, que o desenvolvimento de trabalhos de geologia reflete também nos custos de supervisão e interpretação, que são mais elevados quando comparados com aqueles obtidos em outros programas de prospecção da empresa, onde foram efetuados somente levantamentos geoquímicos através de sedimentos de drenagem.

III — CONCLUSÕES

A constante análise dos custos de prospecção em uma empresa possibilita, sempre que necessário a reavaliação e reformulação da sistemática de trabalho adotada, visando torná-la a mais eficiente possível do ponto de vista econômico.

Os programas geoquímicos desenvolvidos pela METAGO, são realizados, em sua maioria, de forma integrada com outros trabalhos de prospecção, o que dificulta a avaliação de custos dos mesmos.

Em programas envolvendo somente levantamentos geoquímicos através de sedimentos de drenagem, as análises de custos efetuadas confirmaram que a densidade de amostragem, vias de acesso e o número de elementos a serem dosados, são os principais fatores que influem nos custos dos mesmos.

BIBLIOGRAFIA

- AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT, 1972 - L'Application des Techniques de Prospection de Matieres aux Zones Tropicales par les Methodes Geochimiques, Botanique, Geophysique et la Detection a Distance. Office of Science and Technology, Washington, D. C.*
- BRADSHAW, P. M. D., Clews, D. R. e WALKER, J. L., 1973 - Exploration Geochemistry. Barringer Research Limited, Toronto, Ont., p. 19.*
- METAIS DE GOIÁS S. A., 1975 - Relatório Anual de Atividades da Diretoria Técnica. Goiânia, Circulação interna.*

ANÁLISE DE RISCO EM ESTUDOS DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE PROJETOS DE MINERAÇÃO

Eliezer Braz Pereira*

RESUMO

Em estudos de viabilidade econômica são feitas estimativas e previsões sujeitas a variações frequentemente significativas. Portanto, há um risco associado aos resultados obtidos que deve ser levado em consideração nas decisões de investimento.

Alguns aspectos da indústria de mineração acentuam as condições de risco nas quais as decisões são tomadas. Dessa forma, ainda mais importante se torna a confiança nos resultados obtidos na avaliação de um projeto de mineração e a variação desses resultados ao serem modificadas as variáveis estimadas nessa avaliação.

O objetivo deste trabalho é discutir as técnicas desenvolvidas para análise de risco e sua aplicação em estudos de viabilidade econômica de projetos de mineração.

ABSTRACT

In economic feasibility studies estimates and forecasts made are often subjected to significant variations. Therefore, there is a risk associated to the obtained results that shall be taken into account in investment decisions.

Some aspects of the mining industry increase the risk conditions in which decisions are arrived at. Thus, more important yet becomes the confidence on the results obtained in the evaluation of a mining project and the variation of these results as the variables estimated on the evaluation are modified.

The purpose of this paper is to discuss the techniques developed for risk analysis, and their application in economic feasibility studies on mining projects.

I – INTRODUÇÃO

A mineração é geralmente considerada uma atividade que oferece riscos elevados quando comparada com outros setores industriais. Esses riscos são provenientes, basicamente, da dificuldade de descobrir depósitos minerais, da impossibilidade de completo conhecimento desses depósitos, dos elevados investimentos necessários para aproveitamento dos bens minerais existentes e do demorado tempo de retorno desses investimentos. O risco em projetos de mineração também é conseqüência, como em outros projetos industriais, dos custos e das condições de mercado.

Todos esses fatores são analisados nos estudos de viabilidade econômica, quando são feitas previsões e estimativas cuja confiabilidade depende do grau de conhecimento disponível sobre as variáveis envolvidas. O risco é conseqüência da impossibilidade de se estabelecer com certeza os valores dessas variáveis no presente, como no caso das reservas minerais, ou seu comportamento futuro, tal como acontece com os preços de mercado.

Os estudos de viabilidade econômica têm como objetivo definir a conveniência de instalação de projetos, com base nos custos e receitas esperados e pela comparação desses custos e receitas, através de métodos de avaliação, entre os quais destacam-se o método da taxa interna de retorno e o método do valor atual líquido. Os valores utilizados nessas avaliações e as conclusões obtidas sugerem uma precisão que não reflete a possibilidade de que esses valores não ocorram efetivamente e, conseqüentemente, que as conclusões tiradas não mais sejam válidas. Assim, se uma taxa de retorno é calculada para um projeto, considera-se esse valor como determinante da decisão de investimento, muitas vezes sem levar em conta o risco de que ele não ocorra de fato. O que deve estar presente para quem analisa uma alternativa de investimento é que as estimativas e previsões, mesmo sendo os valores mais prováveis, estão sujeitas a variações que podem ser significativas.

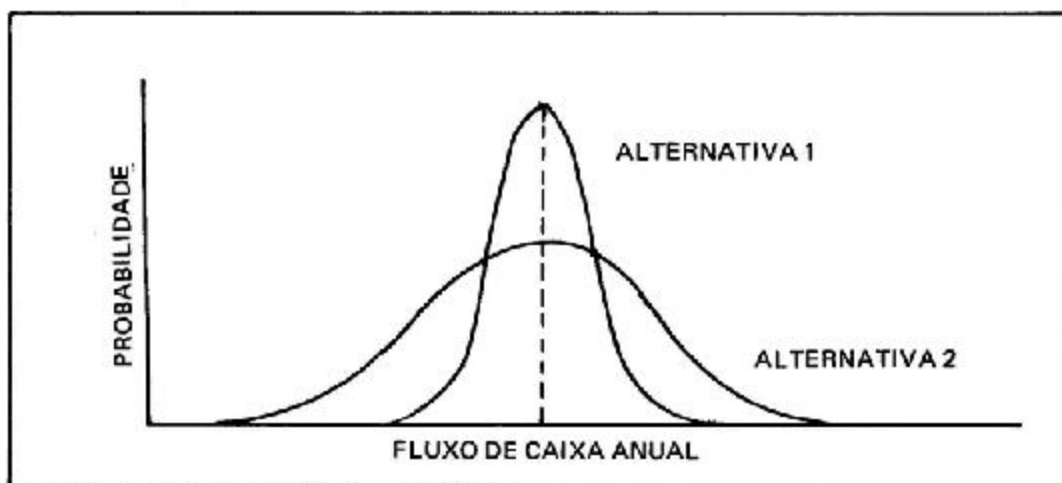
* CPRM – SUREG – RE

Faz-se uma diferença entre risco e incerteza considerando-se que existe risco quando as probabilidades de ocorrência de um evento são conhecidas e incerteza quando não se conhece essas probabilidades. De modo menos rigoroso, pode-se considerar que o risco é consequência de decisões tomadas em condições de incerteza, agora definida como a impossibilidade de determinar valores exatos para as variáveis em análise.

Há uma relação entre risco e rentabilidade que quase sempre é levada em consideração nas decisões de investimento, mesmo que isto seja feito de modo intuitivo. Quanto mais elevado for o risco associado a um projeto, maior será a rentabilidade mínima que será considerada aceitável pelo investidor e vice-versa. A menor taxa de retorno exigida é aquela em que os riscos são mínimos, como é o caso, por exemplo, de Obrigações do Tesouro e Letras de Câmbio. Para riscos maiores, a taxa mínima de retorno exigida também seria mais elevada, podendo ser interpretada como sendo a soma de duas componentes: a taxa mínima de retorno sem risco e uma taxa correspondente ao risco existente.

O conhecimento do risco existente tanto é importante na avaliação de um projeto como no estudo de alternativas de investimento. Entre dois projetos de igual rentabilidade, um pode ser nitidamente superior se o fator risco for levado em consideração — aquele projeto de menor risco é superior, apesar disso não ficar evidenciado na análise feita pelos métodos usuais de avaliação de projetos.

Considerando-se dois projetos para os quais as estimativas de fluxos de caixa anuais sejam iguais, mas com riscos diferentes, ou seja, com diferentes distribuições de probabilidade para fluxos de caixa anuais, tem-se a situação indicada na figura a seguir.



A distribuição dos fluxos de caixa na Alternativa 1 apresenta menor dispersão do que na Alternativa 2 e, conseqüentemente, o risco de que o valor esperado não ocorra efetivamente é menor naquela alternativa. Assim, levando em consideração o risco, a Alternativa 1 é superior. Como medida da dispersão utiliza-se o coeficiente de variação (CV), definido como a relação entre o desvio padrão (δ) e a média ou valor esperado (μ):

$$CV = \frac{\delta}{\mu}$$

Para projetos igualmente atrativos do ponto de vista da rentabilidade do investimento, a decisão seria tomada com base no menor coeficiente de variação.

Os estudos de viabilidade são conduzidos em diferentes níveis de detalhe, dependendo de sua finalidade e dos dados disponíveis. A medida que o detalhamento aumenta, o risco diminui, ou seja, é menor a probabilidade de que os resultados obtidos na avaliação não se verifiquem uma vez que o projeto esteja em funcionamento. No entanto, como a obtenção de dados mais detalhados implica em custos adicionais, é indispensável definir o grau de detalhe requerido no estudo de viabilidade levando em consideração o risco aceitável para cada nível de decisão.

A quantificação do risco associado a um projeto de mineração é sempre difícil, por depender em grande parte da experiência e julgamento de quem realiza o estudo de viabilidade. No entanto, vários métodos têm sido utilizados para incorporação da análise de risco na avaliação de propos-

tas de investimento. A identificação da fonte de risco é fundamental, pois a utilização de dados altamente precisos juntamente com dados imprecisos ou cuja confiabilidade não pode ser avaliada leva a resultados que merecem pouca confiança.

II – REAJUSTAMENTO DA TAXA DE DESCONTO

Um dos métodos mais simples para levar em consideração o risco na avaliação de projetos de investimento é o reajustamento da taxa de desconto dos fluxos de caixa de modo a compensar o risco estimado para o projeto em estudo. Assim, se a empresa considerar aceitável uma taxa de desconto de 10% para os projetos típicos existentes, ela poderá elevar esta taxa, digamos, para 15%, ao analisar uma proposta de investimento que julgue mais arriscada. Dessa forma, se para um investimento de Cr\$ 30.000,00 a previsão dos fluxos de caixa fosse de Cr\$ 13.000,00 nos três anos seguintes, o valor atual líquido (VAL) para uma taxa de desconto de 10% seria:

$$\text{VAL} = -30.000 + \frac{13.000}{1,10} + \frac{13.000}{(1,10)^2} + \frac{13.000}{(1,10)^3} = 2.336,00$$

Porém, se a empresa julgasse elevado o risco do empreendimento e empregasse uma taxa de desconto de 15% para compensar esse risco, o VAL seria de:

$$\text{VAL} = -30.000 + \frac{13.000}{1,15} + \frac{13.000}{(1,15)^2} + \frac{13.000}{(1,15)^3} = -239,00$$

O método do reajustamento da taxa de desconto indicaria, para este caso, a conveniência de que o investimento não fosse realizado, já que levando em conta o risco estimado para o projeto, o VAL esperado seria negativo. No caso de se usar o método da taxa interna de retorno, a aceitação ou rejeição de proposta de investimento seria determinada pela comparação da taxa de retorno encontrada com a taxa de desconto reajustada.

Apesar de ser um método de fácil aplicação uma vez estabelecida a taxa de desconto reajustada, é na determinação desta taxa onde reside a fraqueza do método. Apesar do risco estar implícito na taxa de desconto reajustada, sua quantificação é intuitiva, além de não levar em consideração a distribuição de probabilidades dos fluxos de caixa previstos.

III – EQUIVALENTES DE CERTEZA

Neste método, o reajustamento para levar em consideração o risco é feito não mais através da taxa de desconto e sim nos próprios fluxos de caixa, mediante a multiplicação destes fluxos de caixa por um coeficiente equivalente da certeza. Se a empresa espera um fluxo de caixa FC num período t, mas existe um risco de que tal não ocorra, e se ela acha que não há risco de que o fluxo de caixa nesse período seja menor do que FC*, o coeficiente equivalente de certeza seria dado por:

$$\alpha_t = \frac{\text{FC}^*}{\text{FC}}$$

Esse coeficiente seria igual a 1 no caso de certeza da ocorrência do fluxo de caixa FC, decrescendo à medida que fosse diminuindo a probabilidade de ocorrência desse evento. Supondo que a empresa estime para um certo período o fluxo de caixa de Cr\$ 10.000,00, estando, no entanto, segura de que ele não será menor do que Cr\$ 8.000,00, tem-se um equivalente de certeza:

$$\alpha_t = \frac{8.000}{10.000} = 0,8$$

Uma vez eliminado o risco mediante a aplicação de coeficientes equivalentes de certeza, seria calculado o valor atual líquido ou a taxa interna de retorno. No primeiro caso, a taxa de desconto a ser utilizada seria a taxa de juros pura (i), correspondente a um investimento sem risco.

$$\text{VAL} = \sum_{t=0}^n \frac{\alpha_t \text{FC}_t}{(1+i)^t}$$

No caso de ser calculada a taxa interna de retorno, ela seria comparada com a taxa de juros pura para definição da viabilidade do empreendimento.

Do mesmo modo que no caso de reajustamento da taxa de desconto, a determinação dos equivalentes de certeza é bastante arbitrária e, também neste caso, é difícil levar em consideração adequadamente a distribuição de probabilidade de ocorrência dos fluxos de caixa esperados. No entanto, este método poderia ser considerado, pelo menos teoricamente, superior ao método de reajustamento da taxa de desconto, pois permite levar em consideração o risco associado a cada período independentemente, o que não acontece com a taxa de desconto reajustada.

A aplicação dos dois métodos para um mesmo caso em análise implica em considerar coeficientes equivalentes de certeza decrescentes para termos crescentes, ou seja, riscos maiores à medida que o tempo aumenta. Embora normalmente isto aconteça, por ser mais difícil fazer previsões de longo prazo, não é necessariamente verdadeiro, podendo haver casos em que os riscos de curto prazo sejam maiores. No caso de um projeto de mineração em fase de pesquisa, os riscos durante a fase de pesquisa podem ser superiores aos existentes na fase de lavra, uma vez tenha sido descoberta uma jazida e a mina tenha entrado em operação.

IV – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A análise financeira consiste na parte final de um estudo de viabilidade, fornecendo elementos que possibilitam à empresa tomar decisões relativas à aceitação ou rejeição de propostas de investimentos. Uma vez realizada a análise financeira e determinados parâmetros tais como a taxa interna de retorno ou o valor atual líquido, pode-se desejar saber de que modo esses parâmetros serão afetados ao serem modificados os valores das variáveis levadas em consideração nessa análise. Como o risco é consequência da possibilidade de variação dos valores esperados das variáveis, a simulação desses valores e seu efeito sobre o resultado da análise financeira podem ser de grande utilidade para a tomada de decisões acertadas e a identificação de variáveis críticas no que diz respeito ao risco. Essa simulação, ou análise de sensibilidade, embora não quantifique o risco existente, fornece respostas úteis para a avaliação de projetos de investimento. Por exemplo, se a empresa deseja saber que efeito sobre a taxa de retorno terá um aumento de 20% nos preços dos bens minerais produzidos, ela terá facilmente a resposta recalculando a taxa de retorno considerando o novo preço estimado. Da mesma forma, um grande número de questões pode ser esclarecido por meio de análise de sensibilidade.

Suponha-se um projeto onde um investimento inicial de Cr\$ 240.000,00 proporcionasse fluxos de caixa anuais de Cr\$ 67.000,00 durante 5 anos, tendo um valor residual de Cr\$ 70.000,00 ao fim desse tempo (Stermole, 1971). A taxa de retorno neste caso é de 18%. A tabela seguinte mostra como essa taxa de retorno varia em consequência de erro de previsão nos fluxos de caixa anuais.

| Erro de Previsão (%) | Fluxo de Caixa | Taxa de Retorno | Varição da Taxa de Retorno (%) |
|----------------------|----------------|-----------------|--------------------------------|
| - 40 | 40.200 | 3,6 | - 80,2 |
| - 20 | 53.600 | 11,0 | - 39,0 |
| 0 | 67.000 | 18,0 | 0 |
| + 20 | 80.400 | 24,0 | 37,9 |
| + 40 | 93.800 | 31,6 | 74,8 |

A análise de sensibilidade, embora não quantifique o risco, ou seja, não especifique a probabilidade de ocorrência de um evento simulado, proporciona informações importantes sobre os efeitos de variações das variáveis consideradas na análise financeira na medida de rentabilidade utilizada nessa análise. Deste modo, pode-se identificar quais os fatores cujos efeitos sobre a viabilidade do projeto são mais significativos, de modo a que lhes seja dispensada maior atenção ao serem elaboradas as previsões de seus valores no projeto.

V – DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADES

Os métodos até agora abordados não quantificavam o risco em termos de probabilidade de ocorrência dos fluxos de caixa estimados. Se a distribuição de probabilidades de cada um desses fluxos de caixa é conhecida, pode-se determinar o valor atual líquido (VAL) esperado, bem como o seu desvio padrão (δ).

O valor atual líquido, sendo \overline{FC}_t o fluxo de caixa esperado num período t , será dado por

$$VAL = \sum_{t=0}^n \frac{\overline{FC}_t}{(1+i)^t}$$

Levando-se em consideração que o risco está associado à distribuição de probabilidades dos fluxos de caixa, cujos parâmetros são conhecidos, utiliza-se para desconto a taxa de juros para (i), pois de outro modo se levaria em conta o risco duplamente: através da distribuição de probabilidades e através de reajustamento da taxa de desconto.

O desvio padrão do valor atual líquido será:

$$\delta = \sqrt{\sum_{t=0}^n \frac{\delta \overline{FC}_t}{(1+i)^{2t}}}$$

onde $\delta \overline{FC}_t$ é o desvio padrão da distribuição de fluxos de caixa no período t. Seu valor, por sua vez, é:

$$\delta \overline{FC}_t = \sqrt{\sum_{x=1}^m (FC_{xt} - \overline{FC}_t)^2 P_{xt}}$$

sendo FC_{xt} um dos fluxos de caixa possíveis no período t e P_{xt} é sua probabilidade de ocorrência.

Suponha, por exemplo, que um investimento de Cr\$ 15.000,00 proporcione fluxos de caixa líquidos estimados conforme a tabela abaixo, com suas respectivas probabilidades de ocorrência, durante 3 anos.

| Ano 1 | | Ano 2 | | Ano 3 | |
|--------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|
| Fl. de Caixa | Prob. | Fl. de Caixa | Prob. | Fl. de Caixa | Prob. |
| 5.000,00 | 0,10 | 7.000,00 | 0,10 | 6.000,00 | 0,10 |
| 6.000,00 | 0,25 | 8.000,00 | 0,25 | 7.000,00 | 0,25 |
| 7.000,00 | 0,30 | 9.000,00 | 0,30 | 8.000,00 | 0,30 |
| 8.000,00 | 0,25 | 10.000,00 | 0,25 | 9.000,00 | 0,25 |
| 9.000,00 | 0,10 | 11.000,00 | 0,10 | 10.000,00 | 0,10 |

Neste caso, os desvios padrões para os anos 1, 2 e 3 são

$$\delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = \text{Cr\$ } 1.140,00$$

O valor atual líquido, adotando-se uma taxa de juros pura de 5% será

$$VAL = 15.000 + \frac{7.000}{1,05} + \frac{9.000}{(1,05)^2} + \frac{8.000}{(1,05)^3} = \text{Cr\$ } 6.741,00$$

O desvio padrão calculado para este valor atual líquido é

$$\delta = \sqrt{\frac{1140^2}{(1+0,05)^2} + \frac{1140^2}{(1+0,05)^4} + \frac{1140^2}{(1+0,05)^6}} = \text{Cr\$ } 1.794,00$$

Portanto, para o projeto em análise, espera-se um valor atual líquido de Cr\$ 6.741,00 com um desvio padrão de Cr\$ 1.794,00.

Estas informações podem ser utilizadas de modo bastante útil pela empresa. Por exemplo, elas permitam determinar qual seria a probabilidade de que o VAL fosse negativo, ou seja, apesar do valor atual esperado ser positivo, que o valor atual real fosse negativo e o projeto não desse o retorno mínimo aceitável pela empresa.

Muitas vezes pode acontecer que não se disponha de uma distribuição de probabilidades para os fluxos de caixa, e sim de um valor mais provável e valores mínimos e máximos estimados com determinados limites de confiança. A empresa pode estimar que o preço do minério será de Cr\$ 80,00/kg num determinado período, estimando, com 90% de confiança, que ele não será superior a Cr\$ 100,00 nem inferior a Cr\$ 60,00. Se a distribuição dos fluxos de caixa possíveis no período for normal, pode-se calcular o desvio padrão do fluxo de caixa esperado no período, e proceder como anteriormente para o cálculo dos parâmetros do VAL.

Os exemplos apresentados são os mais simples possíveis, apenas para ilustração de uma aplicação do método. Uma crítica ao método é que a distribuição de probabilidades de ocorrência dos valores das variáveis em análise é determinada de modo subjetivo, dependendo do julgamento de quem estima esses valores. Como a qualidade do resultado obtido dependerá dos dados utilizados, o uso de uma técnica sofisticada não melhora as condições de decisão da empresa, a não ser que os dados sejam merecedores de confiança.

VI – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos de viabilidade de projetos de mineração podem ser aprimorados levando-se em consideração os riscos, apesar de sua quantificação envolver quase sempre um julgamento subjetivo.

O método da taxa de desconto reajustada é de aplicação bastante simples, sendo aplicado com freqüência de modo intuitivo na avaliação de alternativas de investimento. Embora a disposição para correr riscos seja bastante variável, há em geral um consenso de que riscos maiores podem ser aceitos desde que compensados por elevadas taxas de retorno. A fórmula de Hoskold é um exemplo de aplicação da taxa de desconto reajustada para levar em conta o risco. No entanto, esse método pode ser considerado rudimentar, pela maneira arbitrária como é reajustada a taxa de desconto. Além disso, esse reajustamento, mesmo que fosse adequado, refletiria o risco global do projeto, não sendo possível identificar a fonte de risco ou os períodos onde os riscos seriam maiores ou menores.

A utilização de coeficientes equivalentes de certeza também é merecedora das mesmas restrições que o método acima. Apenas há, neste caso, a possibilidade de ajustar o coeficiente de acordo com o período de tempo considerado e o risco estimado para este período.

A análise de sensibilidade, mediante o estudo dos efeitos causados por variações nos elementos levados em consideração no estudo de viabilidade, é um método de grande utilidade na avaliação de investimentos. O método, no entanto, não determina a probabilidade de que as variações levadas a efeito ocorram efetivamente. Esta deficiência, no entanto, pode ser eliminada mediante a combinação da análise de sensibilidade com a análise das distribuições de probabilidades.

O método de análise das distribuições de probabilidades dos valores das variáveis estudadas na avaliação de um projeto fornece dados importantes para a correta tomada de decisões pela empresa. Essas decisões podem ser tomadas de modo mais adequado se além do valor esperado ou mais provável das variáveis, se dispõe de uma estimativa da faixa de valores que elas podem tomar e das probabilidades de que isto ocorra. É verdade que a qualidade dessa estimativa depende de quem a fez e dos dados que foram empregados, de modo que as conclusões obtidas terão sua validade condicionada a essas restrições. Além disso, é bastante difícil avaliar as probabilidades associadas aos possíveis valores das variáveis em análise. No entanto, se adequadamente conduzida, a análise de risco através de métodos estatísticos é útil para a empresa, pois lhe fornece informações adicionais de interesse no processo decisório.

O emprego de modelos de simulação permitem análises detalhadas do risco em projetos de investimento. O método consiste em construir um modelo do projeto e atribuir distribuições de probabilidades aos fatores analisados no estudo de viabilidade, simulando valores aleatórios para esses fatores, levando em consideração suas probabilidades de ocorrência. Uma vez simulados valores para cada um dos fatores, calcula-se o valor atual líquido ou a taxa de retorno, repetindo-se a operação até que se possa calcular o valor esperado e a dispersão em torno deste valor.

Ainda uma aplicação de distribuições de probabilidades na avaliação de alternativas de investimento, principalmente quando as decisões precisam ser tomadas de modo seqüenciado, cada uma delas sendo afetada pela decisão anterior, é na utilização de árvores de decisão. Esse tipo de decisão seqüenciada é freqüente em projetos de mineração, principalmente na fase de pesquisa.

BIBLIOGRAFIA

- BENNETT, H.J. et alii – 1970 – Financial valuation of mineral deposits using sensitivity and probabilistic analysis methods. Washington, U.S. Dep. of the Interior, Bureau of Mines, 82 p.
- MARKENZIE, B.W. et alii – 1976 – Quantitative economic analysis applied to the mineral industries 3ª ed. In: Economics of the mineral industries. New York, AIME, p. 317-373.
- PETERS, W.S. & SUMMERS, G.W. – 1973 – Análise estatística e processo decisório. Trad. de Nathanael C. Calzaro. Rio de Janeiro, Fundação Getúlio Vargas, 683 p.

- RUDAWSKY, O. — 1971 — *Economic evaluation techniques for mining investment projects*. Golden, Colorado School of Mines Mineral Industries Bulletin. 14 (1): 1-12.
- SPURR, W.A. & BONINI, C.P. — 1967 — *Statistical analysis for business decisions*. Homewood, Richard D. Irwin, Inc., 743 p.
- STERMOLE, F.J. — 1971 — *Engineering economy and investment decision methods*. Golden, Colorado School of Mines, 225 p.
- THUESEN, H.G.; FABRYCKY, W.J.; THUESEN, G.J. — 1971 — *Engineering economy*. 4.^a ed. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, Inc.
- VAN HORNE, J.C. — 1971 — *Política e administração financeira*. Trad. de Alfredo Filéline. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicas, v. 1.
- WINTERS, JR., H.J. — 1972 — *Analysis of risk factors in mining projects*. In: *Financial analysis in the mining industry*. San Francisco, Society of Mining Engineers of AIME, 26 p.

TESTE DA ANÁLISE DE SUPERFÍCIES DE TENDÊNCIA PARA DISTRIBUIÇÕES ALEATÓRIAS

Gilberto Amaral*

RESUMO

De modo a estabelecer chaves de interpretação para a análise de superfícies de tendência por polinômios ortogonais, o autor aplicou essa técnica a conjuntos de pontos definidos por números aleatórios. Num certo sentido este trabalho representa uma extensão daquele executado por HOWARTH (1967).

A idéia básica é a de se definir a variabilidade de parâmetros estatísticos que definem o ajuste para situações onde não existe tendência. Assim, no caso de uma aplicação real, se os parâmetros de ajuste forem iguais ou menores que aqueles obtidos para distribuições aleatórias, poderá se afirmar que existe uma grande probabilidade de não existir tendência.

Mesmo para distribuições aleatórias, à medida que o número de pontos se aproxima do número de termos do polinômio empregado, o valor dos parâmetros de ajuste aumentará. De maneira a testar também essa possibilidade, os testes foram aplicados a conjuntos de 100, 300 e 1000 pontos e para superfícies definidas por polinômios ortogonais de graus 1 até 8. Em cada caso um número significativo de conjuntos de pontos foi processado por meio de um programa desenvolvido pelo autor, onde os coeficientes dos polinômios são calculados pelo método de eliminação de Gauss com condensação pivotal, dupla precisão e refinamento de solução. Assim, os coeficientes são calculados com erros menores que 0,5%. Os parâmetros estatísticos calculados, foram: percento da soma total dos quadrados; variação total; desvio padrão; valor F (distribuição Fisher) e coeficientes de determinação e correlação.

A experiência tem demonstrado que o primeiro parâmetro é o mais sensível para definir o ajuste das superfícies aos dados. Para 100 conjuntos de 100 pontos, os resultados obtidos para a porcentagem da soma total dos quadrados foi (média mais dois desvios padrão): 6,36; 12,16; 17,72; 25,25; 34,68; 42,96; 52,15 e 59,27, respectivamente para superfícies de graus 1 a 8. Para 60 conjuntos de 1000 pontos, os resultados foram: 0,70; 1,15; 1,88; 2,36; 3,22; 4,48; 5,36 e 6,51. Parece existir uma relação quase linear entre ambos conjuntos de resultados, indicando que à medida que o número de pontos (N) cresce, os valores limites para aquele parâmetro de ajuste crescem numa razão 100/N com relação aos resultados obtidos para 100 pontos. Essa relação foi comprovada para os resultados obtidos para 300 pontos. Em casos reais, se o valor de porcentagem da soma total dos quadrados for menor que os valores limites, haverá uma grande probabilidade de que não exista tendência, isto é, a variação observada não difere de uma distribuição ao acaso.

ABSTRACT

In order to establish interpretation keys for trend surface analysis by orthogonal polynomials, this technique was applied to groups of randomly generated points. In a sense this work is an extension of that of HOWARTH (1967).

The basic idea is to define the variation range of statistical parameters which define the fitting of mathematical surfaces to a given set of data. In getting this the interpretation of a real case would be facilitated by definition of the upper boundaries for that parameters obtained for random distributions.

Even for random distributions, as the number of data points approach the number of terms of the polynomial, the fitting will improve. In order to test such possibility the tests were carried out for 100, 300 and 1000 points and for trend surfaces up to 8th degree. In each case a significant number of sets of points were generated and processed through the program developed by the author. This program calculates the polynomial coefficients by the Gauss elimination method with pivotal condensation and double precision. A refinement of the solution was also applied in order to obtain coefficients with errors smaller than 0.5%. The calculated statistical parameters were: percent of the total sum of squares; variance; standard deviation; F value (Fisher distribution); and determination and correlation coefficients.

The percent of the total sum of squares has demonstrated to be the most sensible parameter for defining the surface fitting. The results obtained for such parameter, for surfaces from degrees 1 to 8, were: 6.36,

* Instituto de Geociências — USP

12.16, 17.72, 25.25, 34.68, 42.96, 52.15 and 59.27 for 100 points and 100 runs. The values express the arithmetic mean plus 2 standard deviations. For 1000 points and 60 runs, the results were: 0.70, 1.15, 1.88, 2.36, 3.22, 4.48, 5.36 and 6.51. There is an almost linear relationship among both sets of results indicating that as the number of points increase, the limiting values decrease with a ratio 100/number of points, with respect to the results obtained for 100 points. In real cases if the value obtained for that parameter is smaller than the limiting value there is a high probability that there is no trend, it is, the observed distribution does not differ of a random one.

I – INTRODUÇÃO

A análise de superfícies de tendência (trend surface analysis) é hoje uma das ferramentas da geomatemática mais utilizadas para o tratamento de dados distribuídos em área. Desde 1969 o autor vem aplicando essa técnica aos mais diversos tipos de problemas em geologia, oceanografia, meteorologia, geografia e sensoriamento remoto, em todos os casos com enorme economia de tempo e dinheiro, além de uma boa segurança na análise dos dados. Um problema que sempre surge quando da aplicação dessa técnica é a de se definir, com base nos resultados obtidos, até que ponto se pode confiar nos mesmos ou melhor dizendo, se existe um comportamento regional (tendência) confiável. Para isso, os programas de computador utilizados geralmente calculam uma série de parâmetros estatísticos que definem o grau de ajuste das funções matemáticas aos dados de interesse. Entretanto, os critérios comumente utilizados para a análise desses parâmetros são um tanto subjetivos pois são sujeitos a variações importantes em função do número de pontos do conjunto de dados e da complexidade da função matemática utilizada.

A primeira e única tentativa de se estabelecer critérios mais palpáveis para a interpretação de superfícies de tendência foi apresentada por HOWARTH (1967), para conjuntos de 100 pontos e para superfícies definidas por polinômios ortogonais de 1.º, 2.º e 3.º graus. Entretanto, à medida que o número de pontos aumenta ou o mesmo acontece ao grau do polinômio empregado, os resultados apresentados por aquele autor não são significativos. Além disso, ele baseou toda a sua discussão num único parâmetro de definição de ajuste, qual seja a porcentagem da soma total dos quadrados (PSTQ), definida por:

$$PSTQ = 100 \cdot \frac{\text{variação explicada}}{\text{variação total}}$$

Entretanto, outros parâmetros são também importantes, tais como o desvio padrão do ajuste, o valor F e os coeficientes de determinação e correlação.

O presente trabalho tem como objetivo complementar o trabalho de HOWARTH (1967) efetuando-se testes para conjuntos de 100, 300 e 1000 pontos, para superfícies definidas por polinômios ortogonais de graus 1 a 8 e calculando-se diversos parâmetros de definição do grau de ajuste.

II – METODOLOGIA

Para elaborar o presente trabalho o autor desenvolveu um programa em FORTRAN IV para o computador Burroughs B-8700 do Centro de Computação Eletrônica da Universidade de São Paulo. Esse programa foi baseado no programa rotineiro, também desenvolvido pelo autor, para análise de superfícies de tendência. As diferenças principais entre ambos são:

- Os dados são gerados por números aleatórios de modo a criar conjuntos sem nenhuma tendência;
- Não há impressão dos dados, nem dos mapas de tendência, são listados apenas os parâmetros estatísticos obtidos para cada conjunto de pontos e para o total dos conjuntos;
- Um número significativo de conjuntos de pontos é gerado e processado, de maneira a serem obtidas médias e desvios do total.

De modo a minimizar os tempos de processamento, o programa foi otimizado ao máximo e foram gerados e processados 100 conjuntos de 100 pontos; 60 conjuntos de 300 pontos e 40 conjuntos de 1000 pontos. Mesmo assim, o tempo total de processamento foi de aproximadamente 6 horas.

Para cada ponto são gerados três valores designados Y, U e V, respectivamente, a variável de interesse, a coordenada vertical e a coordenada horizontal. De posse de um conjunto de pontos assim gerados, o programa calcula os coeficientes de um polinômio ortogonal do tipo:

$$Y = c_1.U^0.V^0 + c_2.U + c_3.V + c_4.U^2 + c_5.U.V + \dots + c_m.U^k.V^n$$

Nessa expressão m representa o número de termos, c_i os coeficientes e a soma $(k + n)$ o grau do polinômio. Os polinômios de 1.º a 8.º graus tem respectivamente 3, 6, 10, 15, 21, 28, 36 e

45 termos. Aplicando-se o método dos mínimos quadrados são calculados os coeficientes que melhor definem uma superfície que se ajuste ao conjunto de pontos. Com esses coeficientes e com as coordenadas U_i e V_i de cada ponto é possível, então, obter-se o valor calculado para Y (Y_{ci}). Esse valor difere do observado (Y_{oi}) de uma quantidade denominada resíduo (R_i). O método dos mínimos quadrados consiste em tornar o menor possível a soma dos quadrados dos resíduos. Quanto menor for esse valor, melhor a superfície matematicamente definida se ajustará aos dados observados. A partir de Y_{oi} , Y_{ci} e R_i , são calculadas as variações total, explicada e não explicada, que guardam entre si o seguinte relacionamento:

$$\sum_{i=1}^n (Y_{oi} - \bar{Y}_o)^2 = \sum_{i=1}^n R_i^2 + \sum_{i=1}^n (Y_{ci} - \bar{Y}_c)^2$$

À esquerda do sinal de igualdade temos a variação total, o primeiro termo do lado direito representa a variação não explicada e o segundo, a variação explicada.

A porcentagem da soma total dos quadrados é a relação entre a variação explicada e a variação total expressa em termos percentuais. O coeficiente de determinação é a mesma relação como calculada e o coeficiente de correlação é a raiz quadrada do coeficiente de determinação. O valor F exprime a relação entre as variâncias (variação/graus de liberdade) explicada e não explicada.

A porcentagem da soma total dos quadrados ou seu equivalente o coeficiente de determinação, são muito sensíveis ao ajuste da função matemática aos dados observados. Ao se aproximarem de 100% ou 1,0, respectivamente, o ajuste tende a ser total. O coeficiente de correlação tende a subir rapidamente e depois se estabilizar, pois está relacionado com o coeficiente de determinação de forma não linear, sendo mais difícil de visualizar. O valor F é indispensável quando se quer determinar as fontes de variação observadas. Simplificadamente, deseja-se testar a hipótese de que não exista uma função matemática que se ajuste aos dados, num determinado nível de significância. Se o valor de F obtido for maior que o tabulado em tabelas de distribuição F , a hipótese é rejeitada e a hipótese alternativa (existe a função) é aceita. A análise de variância assim executada é indispensável para se tomar decisões em casos onde os demais parâmetros de ajuste não são conclusivos.

III – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A Tabela I sumariza os resultados obtidos para a porcentagem da soma total dos quadrados.

TABELA I

| Nº Pontos Grau | 100 | 300 | 1000 |
|-------------------|--------------|--------------|-------------|
| 1º | 2.14 ± 2.11 | 0.50 ± 0.57 | 0.22 ± 0.24 |
| 2º | 5.62 ± 3.27 | 1.45 ± 0.95 | 0.55 ± 0.30 |
| 3º | 9.58 ± 4.07 | 3.09 ± 1.42 | 0.98 ± 0.45 |
| 4º | 14.59 ± 5.33 | 4.96 ± 2.27 | 1.44 ± 0.46 |
| 5º | 21.68 ± 6.50 | 7.10 ± 2.32 | 2.06 ± 0.58 |
| 6º | 28.98 ± 6.99 | 9.17 ± 2.42 | 2.86 ± 0.81 |
| 7º | 36.55 ± 7.80 | 12.16 ± 2.86 | 3.64 ± 0.86 |
| 8º | 46.39 ± 6.44 | 14.92 ± 3.00 | 4.53 ± 0.99 |

Analisando-se a Tabela I percebe-se claramente que, à medida que o grau do polinômio aumenta, o ajuste melhora. Verifica-se, ainda, que à medida que o número de pontos aumenta o ajuste diminui, marcando claramente o grau de aleatoriedade de sua distribuição. Um ajuste perfeito é obtido quando o número de pontos é igual ao número de termos do polinômio utilizado, o que explica porque, à medida que o número de pontos diminui e o grau do polinômio aumenta, o ajuste melhora.

Com base nos resultados da Tabela I, tomando-se a média mais duas vezes o desvio padrão de modo a englobar 95% dos casos, temos os limites superiores para distribuições claramente aleatórias. Assim, no caso de uma aplicação real da técnica, considerando-se o número de pontos e o grau do polinômio considerado, pode-se decidir se existe uma tendência regional para a distribuição, associada a alguma feição geológica, ou não.

Um exame mais detalhado daquela Tabela mostrará que existe uma relação aproximadamente linear entre os valores obtidos para diferentes números de pontos, sendo mais ou menos 100/N dos resultados obtidos para 100 pontos ($N = n^{\circ}$ de pontos). Foi estabelecido empiricamente, que para porcentagens da soma total dos quadrados menores que 30% o ajuste é fraco, entre 30 e 60% regular e acima de 60% bom. Deve ser ressaltado aqui que um ajuste fraco não significa necessariamente que não exista tendência, o que pode acontecer é que as observações estejam sujeitas a um "ruído" que resultará numa maior magnitude dos resíduos. Nesses casos, a decisão deverá ser feita com base numa análise cuidadosa da situação geológica das variáveis consideradas e das possíveis fontes de interferência.

Os resultados para o coeficiente de determinação foram, naturalmente, semelhantes aos obtidos para a porcentagem da soma total dos quadrados, apenas que divididos por 100, sendo válido o que foi discutido nos parágrafos anteriores.

A Tabela II apresenta os resultados obtidos para o coeficiente de correlação.

TABELA II

| Nº Pt. Grau | 100 | 300 | 1000 |
|----------------|-------------|-------------|-------------|
| 1º | 0,13 ± 0,07 | 0,06 ± 0,03 | 0,04 ± 0,02 |
| 2º | 0,23 ± 0,07 | 0,11 ± 0,04 | 0,07 ± 0,02 |
| 3º | 0,30 ± 0,06 | 0,17 ± 0,04 | 0,10 ± 0,02 |
| 4º | 0,38 ± 0,07 | 0,22 ± 0,05 | 0,12 ± 0,02 |
| 5º | 0,46 ± 0,07 | 0,26 ± 0,04 | 0,14 ± 0,02 |
| 6º | 0,53 ± 0,07 | 0,30 ± 0,04 | 0,17 ± 0,02 |
| 7º | 0,60 ± 0,06 | 0,35 ± 0,04 | 0,19 ± 0,02 |
| 8º | 0,68 ± 0,05 | 0,38 ± 0,04 | 0,21 ± 0,02 |

A análise da Tabela II mostra que o coeficiente de correlação é menos sensível à aleatoriedade que os discutidos anteriormente. Foi estabelecido empiricamente, que coeficientes de correlação menores que 0,4 são baixos, entre 0,4 e 0,7 regulares e acima de 0,7 bons. Percebe-se, na Tabela II, que valores consideráveis regulares são facilmente obtidos para 100 pontos. A utilização do coeficiente de correlação deverá ser feita sempre em conjunção com os demais parâmetros, especialmente na tomada de decisões em casos limítrofes.

O valor F é um parâmetro de compreensão mais difícil, sendo utilizado como último recurso para o estabelecimento da existência ou não de uma tendência regional para a variável (geológica ou não) considerada. Ele é utilizado para análise de variância que objetiva determinar se a função matemática de ajuste é estatisticamente significativa ou se ela apenas reflete uma situação casual. Tabelas estatísticas, como por exemplo as apresentadas por PEREIRA e BUSSAB (1976) relacionam os valores de distribuições F para diferentes níveis de significância em função dos graus de liberdade do numerador e do denominador da expressão de cálculo acima descrita. O grau de liberdade da variação explicada (numerador) é igual ao número de termos do polinômio de grau n mais um. O grau de liberdade da variação não explicada (denominador) é igual ao número de pontos menos o número de termos do polinômio considerado. A Tabela III relaciona os valores F obtidos no presente experimento.

TABELA III

| Nº Pt. Grau | 100 | 300 | 1000 |
|----------------|-------------|-------------|-------------|
| 1º | 1,08 ± 1,10 | 0,75 ± 0,86 | 1,08 ± 1,23 |
| 2º | 1,91 ± 1,18 | 1,45 ± 0,96 | 1,85 ± 0,99 |
| 3º | 2,44 ± 1,22 | 2,33 ± 1,12 | 2,46 ± 1,14 |
| 4º | 2,99 ± 1,33 | 3,01 ± 1,48 | 2,88 ± 0,94 |
| 5º | 3,76 ± 1,45 | 3,58 ± 1,27 | 3,44 ± 0,98 |
| 6º | 4,34 ± 1,49 | 3,95 ± 1,16 | 4,10 ± 1,20 |
| 7º | 4,81 ± 1,68 | 4,61 ± 1,24 | 4,57 ± 1,12 |
| 8º | 5,46 ± 1,48 | 5,01 ± 1,19 | 5,05 ± 1,15 |

Uma comparação entre os valores obtidos (Tabela III) com aqueles de tabelas estatísticas, mostrará que as probabilidades de existência de tendências são geralmente elevadas. Isto é mostrado pelo fato de os valores obtidos geralmente excederem os valores das tabelas, mesmo para níveis de significância bastante severos. Nos casos em que os valores F obtidos excederem os valores tabelados a hipótese de que não existe função matemática (coeficientes nulos) é rejeitada. A análise de variância é utilizada em casos extremos onde se quer estabelecer com que nível de segurança se poderá confiar nos resultados.

IV – CONCLUSÕES

O presente trabalho estabeleceu valores limitantes para índices estatísticos de ajuste de funções polinomiais a dados distribuídos em área. Esses valores limitantes referem-se a distribuições propositadamente aleatórias, onde há uma grande probabilidade de não existir controles para sua variação regional (não existir tendências).

Os limites assim estabelecidos servirão para orientação, dos usuários das técnicas de análise de superfícies de tendência, quanto à possibilidade ou não da existência de fatores controladores de variação regional de dados geológicos. Esses limites não deverão ser tomados como barreiras rígidas, mas como indicadores do grau de cuidado que deverá ser tomado na interpretação dos resultados obtidos. Qualquer que seja o caso, antes de se aplicar a técnica deve ser feita uma análise cuidadosa do significado da variável a ser utilizada bem como dos possíveis fatores causadores de interferências.

BIBLIOGRAFIA

- HARBAUGH, J.W. and MERRIAN — 1968 — *Computer Applications in Stratigraphical Analysis*. J. Wiley & Sons, N. York, 282 p.
- HOWARTH, R.J. — 1967 — *Trend-Surface Fitting to Random Data — An Experimental Test*. *Am. Jour. Sci.* 265 (7): 619-625.
- PEREIRA, J.S.C. e BUSSAB, W.O. — 1976 — *Tábuas de Estatística e Matemática*. Ed. Brasiliense, São Paulo. 39 pp. de tabelas e 27 pp. do manual explicativo.

APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE SUPERFÍCIES DE TENDÊNCIA À GRANULOMETRIA DE FUNDO DA LAGOA DOS PATOS, RS

Renato Herz *
Gilberto Amaral **

RESUMO

As técnicas de análise de superfícies de tendência foram aplicadas a dados granulométricos obtidos para 350 amostras de sedimentos de fundo da Lagoa dos Patos, Rio Grande do Sul. O mesmo foi feito para cerca de 3.000 dados batimétricos de modo a verificar o relacionamento entre os sedimentos de fundo e forma da lagoa.

Os resultados obtidos indicam uma forte correlação entre a forma da lagoa e a variação regional de parâmetros granulométricos, que refletem a distribuição superficial de energia. Foi possível o estabelecimento dos padrões gerais de transporte e sedimentação com base na variação regional de parâmetros granulométricos e sua influência na forma da bacia.

ABSTRACT

Trend surface analysis techniques were applied to granulometric data for 350 samples of bottom sediments from the Patos Lagoon of the Rio Grande do Sul State. The same techniques were applied for near 3000 bathimetric points in order to verify the relationship between the bottom sediments and shape of the lagoon.

The results obtained indicated a strong correlation between the shape of the lagoon and the superficial distribution of energy, manifested by the granulometry of bottom sediments. It was possible to disclose the transportation/deposition trends with basis on the regional pattern of granulometric parameters and its influence on the basin shape.

I – INTRODUÇÃO

O presente trabalho faz parte de um estudo mais amplo, em desenvolvimento pelo primeiro autor, do desenvolvimento da Lagoa dos Patos. Ele objetivou analisar o relacionamento entre a forma e a granulometria de fundo daquela lagoa com vistas a melhor definir o padrão de distribuição de energias e assim esclarecer os processos que lhe deram origem.

A região estudada situa-se na faixa litorânea do Estado do Rio Grande do Sul, entre os meridianos 50° e 52° W e os paralelos 30° e 32° S (vide Figura 1).

Agradecimentos: Agradecemos aos Professores Doutores Luiz Roberto Martins e J.A. Vilwock, do Centro de Estudos Costeiros e Oceanográficos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pela cessão de dados inéditos utilizados no presente trabalho.

II – METODOLOGIA

Os dados sedimentológicos utilizados no presente trabalho, em número de 350, foram extraídos de CUNHA (1971), MARTINS (1963 e 1971), MARTINS e GAMERMANN (1967) e VILWOCK (1972) além de dados inéditos fornecidos por L.R. Martins e J.A. Vilwock. As análises sedimentológicas foram apresentadas sob a forma dos parâmetros de FOLK e WARD (1967), a saber: média, mediana, desvio, assimetria e curtose.

Os dados batimétricos foram extraídos da carta náutica nº 2140 da Diretoria de Hidrografia e Navegação do Ministério da Marinha (1968). Além dos dados constantes da carta foram adicionados cerca de 100 pontos com profundidade zero, acompanhando as margens da lagoa. O total de pontos foi de cerca de 2900.

* Instituto Oceanográfico – USP

** Instituto de Geociências – USP

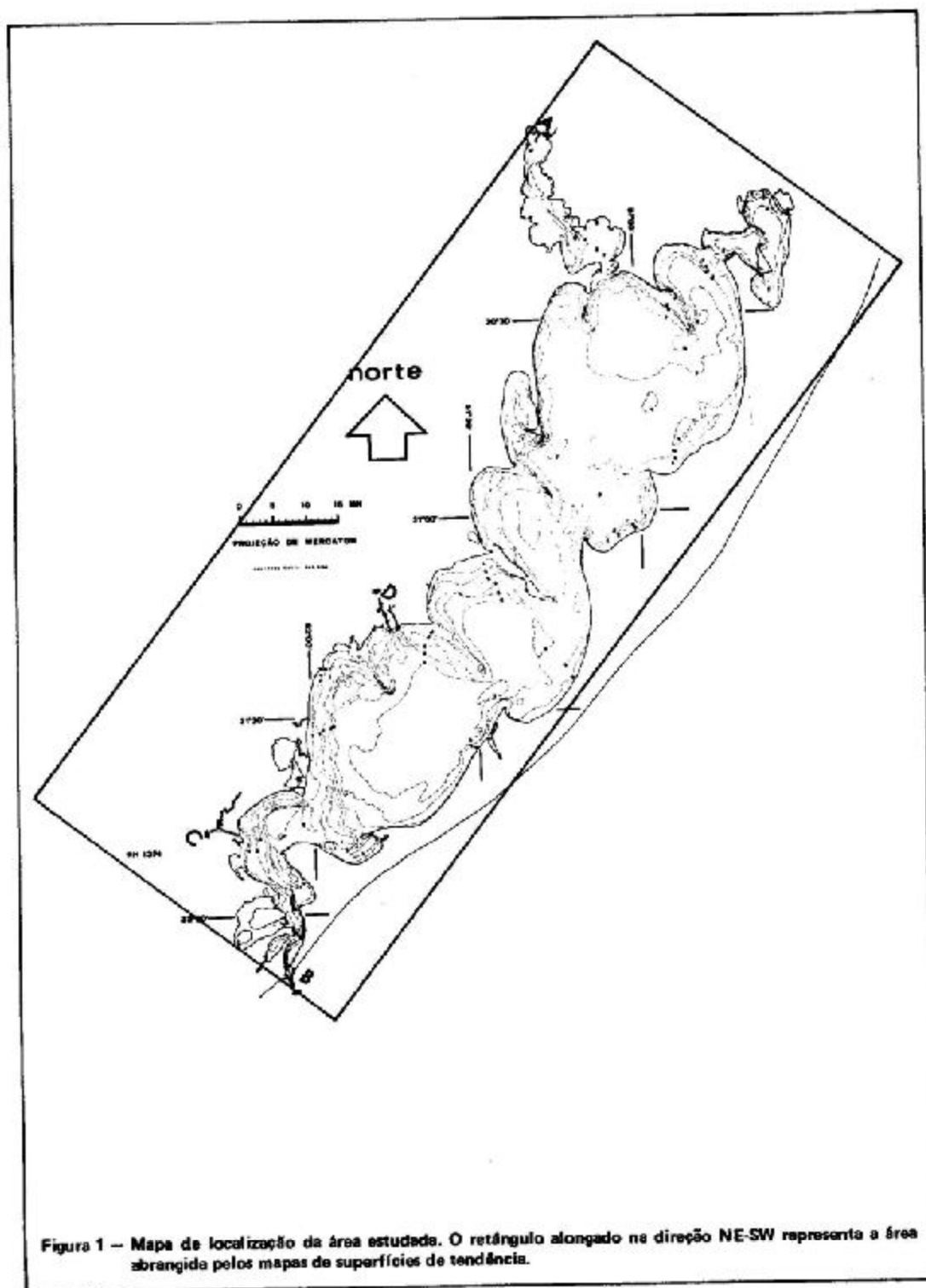


Figura 1 — Mapa de localização da área estudada. O retângulo alongado na direção NE-SW representa a área abrangida pelos mapas de superfícies de tendência.

Tanto os dados granulométricos como batimétricos foram codificados juntamente com suas coordenadas, para posterior perfuração em cartões de computador. A figura 1 mostra o retângulo abrangido por essa codificação. As coordenadas usadas são arbitrárias e têm sua origem no vértice mais ao norte.

O programa de computador utilizado foi desenvolvido pelo segundo autor em 1975 e apresenta as seguintes características:

- Capacidade para processar 4000 pontos e uma variável por vez;
- Cálculo de coeficientes pelo método dos mínimos quadrados utilizando-se o método da eliminação de Gauss com dupla precisão, condensação pivotal e refinamento de solução, para uma precisão maior que 0,5%;
- Cálculo de parâmetros de ajuste (porcento da soma total dos quadrados, coeficientes de determinação e correlação, etc.);
- Impressão dos dados observados e dados calculados juntamente com os valores residuais para polinômios de 1º a 8º grau;
- Impressão de mapas de superfícies de tendência (V. figuras 2 a 7).

Maiores informações sobre a técnica utilizada poderão ser encontrados em HARBAUGH e MERRIAN (1968) e AMARAL (1976).

III – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As figuras 2 a 7 exibem as superfícies de 8º grau obtidas para as seis variáveis utilizadas (batimetria, média, mediana, desvio, assimetria e curtose). Essa superfície foi selecionada pois apresentou os melhores graus de ajuste. A Tabela I resume os parâmetros estatísticos obtidos.

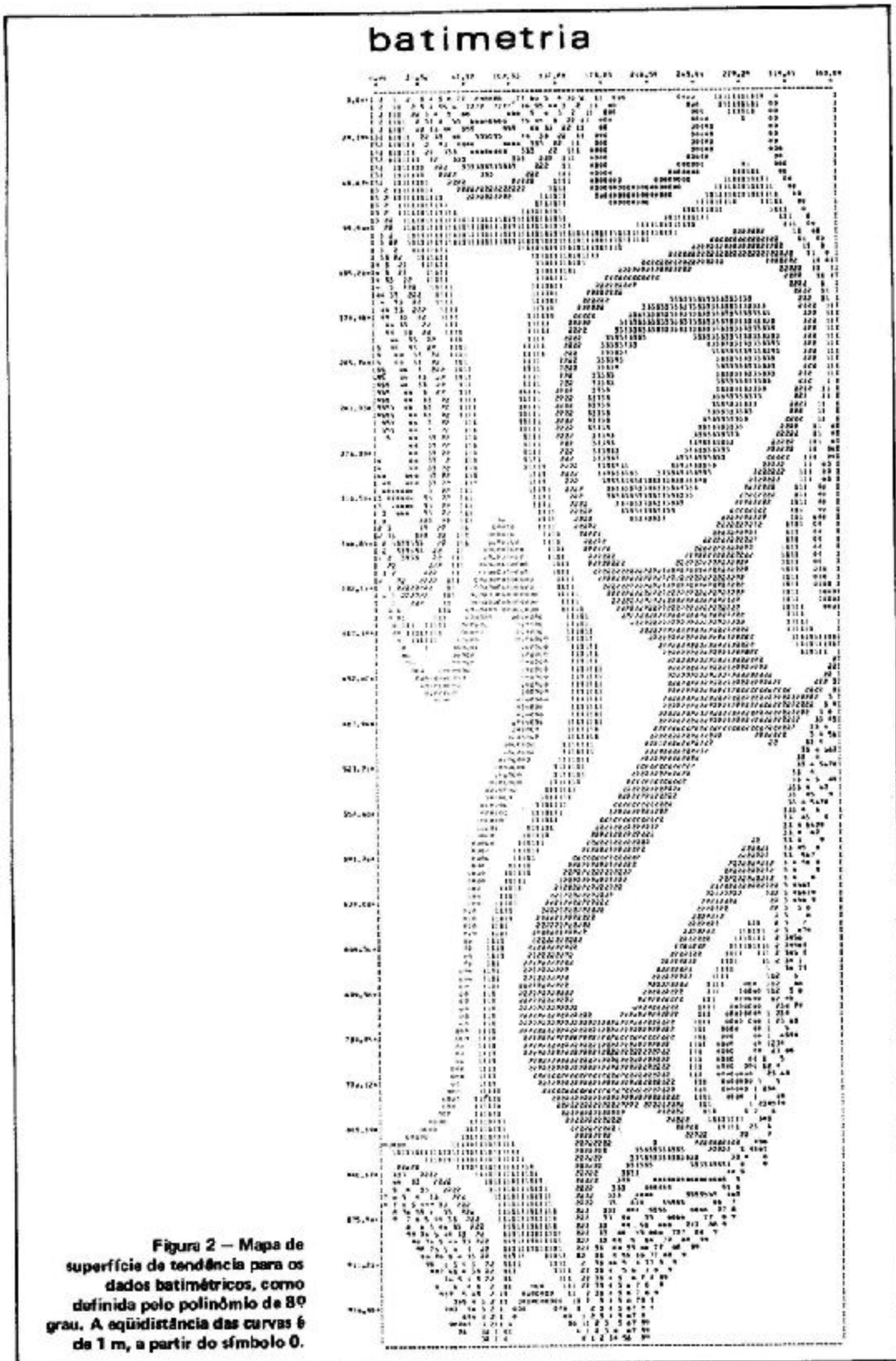
TABELA I

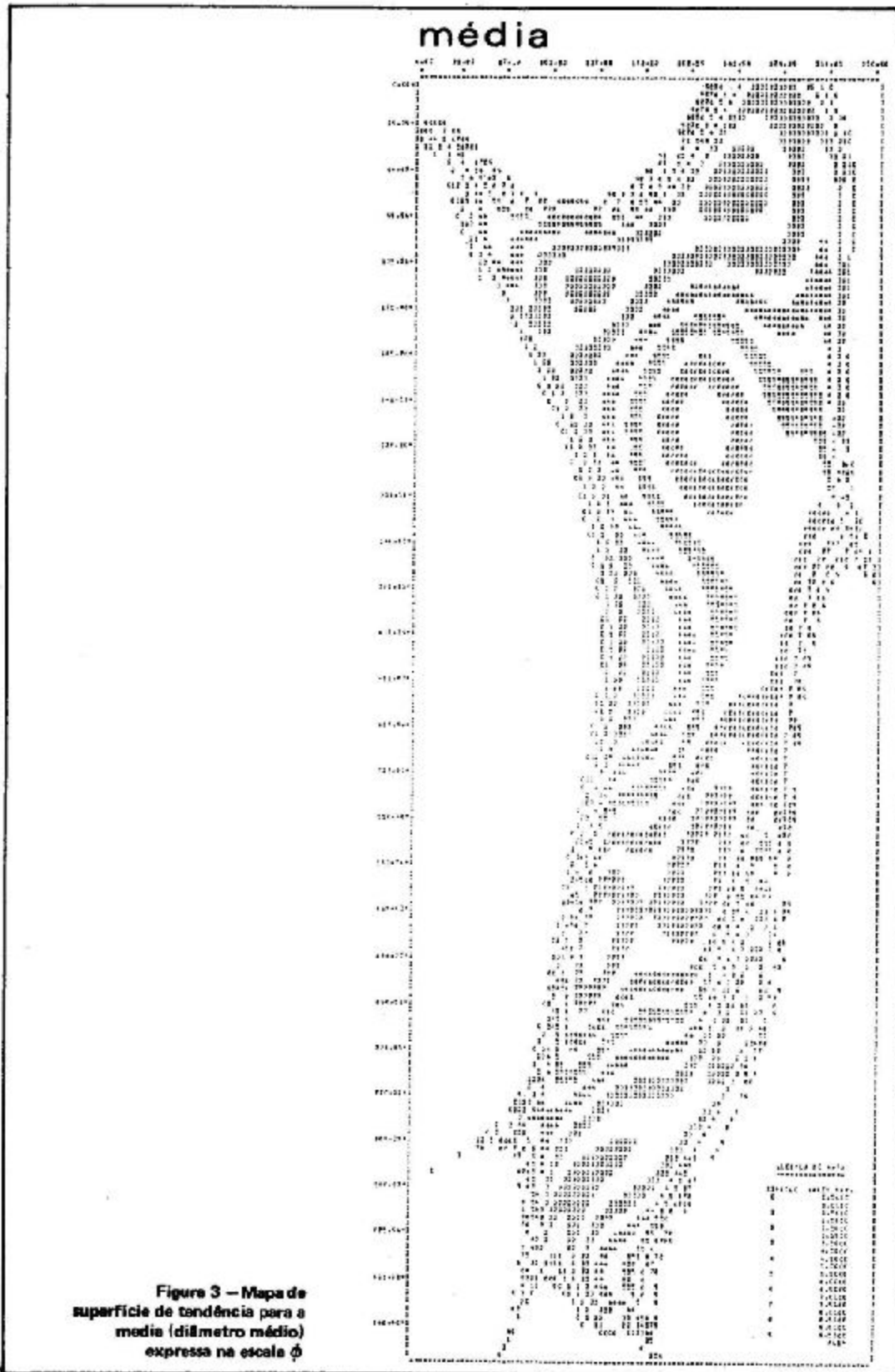
| Param. Variável | % da soma total dos quadrados | coef. de determinação | coef. de correlação |
|-----------------|-------------------------------|-----------------------|---------------------|
| Batimetria | 42.29 | 0.65 | 0.80 |
| Média | 61.51 | 0.78 | 0.88 |
| Mediana | 60.12 | 0.77 | 0.88 |
| Desvio | 49.70 | 0.70 | 0.84 |
| Assimetria | 32.10 | 0.56 | 0.75 |
| Curtose | 39.89 | 0.63 | 0.79 |

Os parâmetros de ajuste indicam a existência de uma forte tendência regional, de acordo com os critérios estabelecidos por AMARAL (1976). Isso é também mostrado pelas figuras 2 a 7, onde a forma das superfícies é notavelmente semelhante à forma da Lagoa dos Patos (V. Fig. 1). A figura 2 exibe isopletas com equidistância de 1 m, sendo que o símbolo 0 apresenta valor máximo de 1 m.

O mapa da figura 2 apresenta notáveis semelhanças com a forma real da Lagoa (V. Fig. 1), faltando apenas os esporões de areia, muito embora alguns deles estejam esboçados por curvaturas nas isopletas. Outro aspecto importante e típico de superfícies de tendência, é a extrapolação de valores anômalos para fora da área que contém os pontos observados, como por exemplo a mancha de maior profundidade próxima ao canto superior esquerdo do mapa, dentre outras. No seu conjunto, respeitados os limites da lagoa, a superfície de 8º grau representa notavelmente a forma da mesma. Percebe-se claramente o canal do rio Guaíba no canto noroeste do mapa e o canal do rio Grande, na parte sul. As margens oeste e nordeste também apresentam-se bem marcadas, mas a margem sudeste não. A grande célula em frente à foz do Guaíba e o canal longitudinal da lagoa mostram-se claramente.

Os resultados mais impressionantes foram aqueles obtidos para os parâmetros granulométricos, onde as principais feições morfológicas da lagoa são marcadas por modificações daqueles parâmetros. A média (diâmetro médio) e a mediana, como era de se esperar, apresentam comportamento quase idêntico (V. Figs. 3 e 4). A legenda de ambos os mapas exprime o valor na escala ϕ , sendo que à medida que esse valor cresce o diâmetro diminui. O valor zero corresponde a um diâmetro de 1 mm. Assim, verifica-se que as bordas da lagoa e seus canais apresentam granulação mais grossa, ao passo que as partes mais profundas exibem granulação geralmente mais fina. Na porção centro-sul da lagoa uma figura em forma de 8 deitada indica uma zona de granulação menor cortada por um canal (faixa) de granulação maior, correspondente ao canal longitudinal da lagoa. A foz do Guaíba é marcada geralmente por uma anomalia granulométrica que sugere a existência de uma feição do tipo delta. O desvio representa o grau de seleção, sendo inversamente proporcionais entre si.





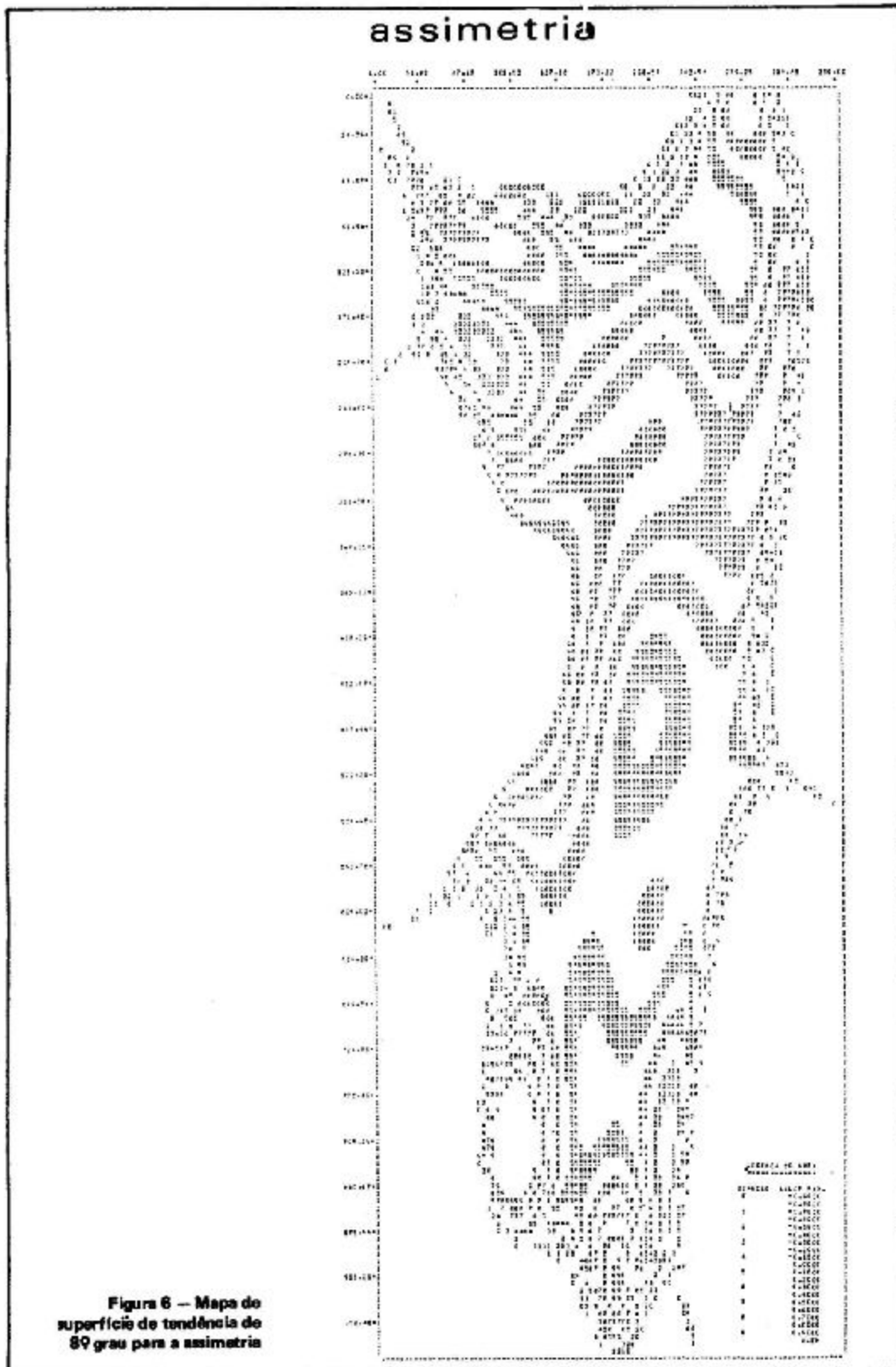


Figura 6 — Mapa de superfície de tendência de 89 graus para a assimetria

Desta maneira, o mapa da figura 5 indica uma tendência geral da seleção melhorar para as bordas e para o canal central, além da foz do Guaíba e do canal do Rio Grande. A assimetria é de certo modo uma outra medida da seleção, apenas que definindo se existe uma dispersão para diâmetros maiores (negativa) ou menores (positiva). No mapa da figura 6 os símbolos 4 e 5 indicam que as curvas de granulação são aproximadamente simétricas (assimetria nula). O mapa mostra que em geral as assimetrias são positivas, isto é, desviadas para granulações mais finas. Existe uma tendência geral para a assimetria se tornar mais negativa em direção à borda leste da lagoa, onde existe interferência de sedimentos eólicos (dunas costeiras). Uma tendência oposta é verificada na margem oeste, com assimetria geralmente positiva sugerindo uma contribuição de material fino vindo do continente. A curtose é um parâmetro difícil de se interpretar estando também relacionado com a seleção do sedimento. Quanto maior o seu valor, melhor será a seleção. No presente trabalho verifica-se que a curtose indica curvas de distribuição granulométrica bastante achatadas, isto é, com pouca caracterização de um diâmetro mais freqüente. O mapa da figura 7 mostra uma tendência geral de aumento da curtose (melhor definição de uma moda) para a borda oeste da lagoa, ocorrendo o inverso para a borda leste. Uma análise mais detalhada deveria ser feita juntamente com as curvas de distribuição granulométrica pois a presença de mais de uma moda (o que é esperado no ambiente das bordas da lagoa) poderá distorcer o significado deste parâmetro.

IV – CONCLUSÕES

Os mapas de superfícies de tendência são auto-explicativos e demonstram claramente a existência de uma forte correlação entre a forma da lagoa e a variação regional dos parâmetros granulométricos. A correlação só não é perfeita porque o ambiente da lagoa é bastante complexo e sujeito à ação de um grande número de fatores externos. HERZ (1974) mostrou uma síntese desses fatores, no mapa de circulação das águas dentro da lagoa. Foi verificado que o ambiente lagunar é afetado pela descarga do rio Guaíba, pela direção predominante dos ventos e pelos efeitos das marés. Essas distorções com respeito a um padrão lagunar normal são mostradas pelas superfícies de tendência, especialmente no que se refere à diferença entre as margens leste e oeste e pela presença de um canal longitudinal de circulação. Na margem leste, os sedimentos lagunares são contaminados por sedimentos eólicos provenientes da faixa de dunas costeiras. A margem leste recebe uma carga de sedimentos predominantemente finos proveniente de diversos cursos d'água menores. A circulação ao longo do canal central gera uma faixa de maior energia capaz de selecionar melhor os sedimentos de fundo. A direção preferencial dos ventos, de NE para SW, dá origem a grandes redemoinhos (eddy currents) que por sua vez interferem no padrão de circulação ao longo do canal central, além de causarem erosão de um lado e sedimentação de outro, formando as feições celulares da lagoa.

Estudos mais detalhados, em desenvolvimento pelo primeiro autor, procurarão definir melhor os fenômenos geológicos, climáticos e oceânicos que deram origem à Lagoa dos Patos ou que estão controlando o seu desenvolvimento atual.

BIBLIOGRAFIA

- AMARAL, G. — 1976 — *Teste de análise de superfícies de tendência para distribuições aleatórias*. Anais do XXIX Congr. Bras. Geol., Belo Horizonte.
- CUNHA, R. — 1971 — *O estuário do Guaíba — Características texturais, mineralógicas e morfológicas*. Tese de Mestrado, Inst. Geociências UFRGS, Porto Alegre.
- FOLK, R.L. and WARD, V. — 1957 — *Brazos River bar: a study in significance of grain size parameters*. Jour. Sed. Petr. 27 (1).
- HARBAUGH, J.W. and MERRIAN, D.F. — 1968 — *Computer Applications in stratigraphical analysis*. Wiley, N. York, 282 pp.
- HERZ, R. — 1974 — *Estudo das tendências de circulação das águas de superfície da Lagoa dos Patos*. Anais do XXVIII Congr. Bras. Geol. (no prelo).
- MARTINS, L.R. — 1963 — *Contribuição à sedimentologia da Lagoa dos Patos (RGS): I — Saos da Ricão e do Medanha*. Bol. Esc. Geol. UFRGS (13): 1-43.
- 1971 — *Sedimentologia do canal do Rio Grande*. Tese de Mestrado, Inst. Geociências UFRGS.
- MARTINS, L.R. e GAMERMANN, N. — 1967 — *Contribuição à sedimentologia da Lagoa dos Patos: III — Granulometria da zona norte e média*. Iheringia, Geologia (1).
- VILLWOCK, J.A. — 1972 — *Contribuição à geologia do Holoceno da Província Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil*. Tese de mestrado Inst. Geociências UFRGS.

**29º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA
OURO PRETO – 1976**

**GEOLOGIA APLICADA, GEOFÍSICA,
HIDROGEOLOGIA**



OURO PRETO – NOVEMBRO – 1976

CONSIDERAÇÕES GEOTÉCNICAS EM OCEANO PROFUNDO A PARTIR DE DADOS SÍSMICOS E ECOBATIMÉTRICOS

Mércio Paulo de Ataíde Costa*
Renato Oscar Kowsmann*
Carlos Alfredo Becker Amaral**

ABSTRACT

In order to evaluate the relative stability conditions along a proposed submarine cable route beginning at Fortaleza, existing seismic reflection and 3,5 kHz echosounding data were examined.

The seismic profiles revealed the occurrence of widespread gravitational processes in the geologic past, such as slides, slumps and compaction faults. Analyses of the 3,5 kHz echograms permitted the construction of an echocharacter map. Depositional processes responsible for the formation of the various echo types were inferred from the existing literature. The two above mentioned data sets led to the identification of the more likely unstable areas better to be avoided.

On the other hand, indication of frequent seismic activity in the area suggests that older sediments liable to move, have already done so. This and negligible modern sedimentation rates imply that conditions today should be much stabler than those revealed by seismic reflection and 3,5 kHz data, which are related to older events associated with high sedimentation rates.

I – INTRODUÇÃO

Por solicitação da Empresa Brasileira de Telecomunicações – EMBRATEL ao Projeto REMAC, os autores consideraram os riscos geológicos que poderiam ameaçar um cabo telefônico submarino com vida útil de 25 anos a ser lançado entre Fortaleza e St. Thomas, Ilhas Virgens (Amaral et alii, 1976).

Ao largo do Ceará (Figura 1), os riscos geológicos temidos, relacionam-se principalmente, com possibilidades de escorregamentos e deslizamentos tais como os descritos por Moore et alii (1970), e com correntes de densidade, cujos depósitos foram discutidos por Damuth et Kumar (1974).

A área de interesse foi examinada sob vários aspectos, em três escalas de tempo: os eventos mais antigos vistos nos registros sísmicos, os eventos mais recentes através dos ecogramas, e os eventos modernos – pelo enfoque dos sedimentos superficiais e do material em suspensão.

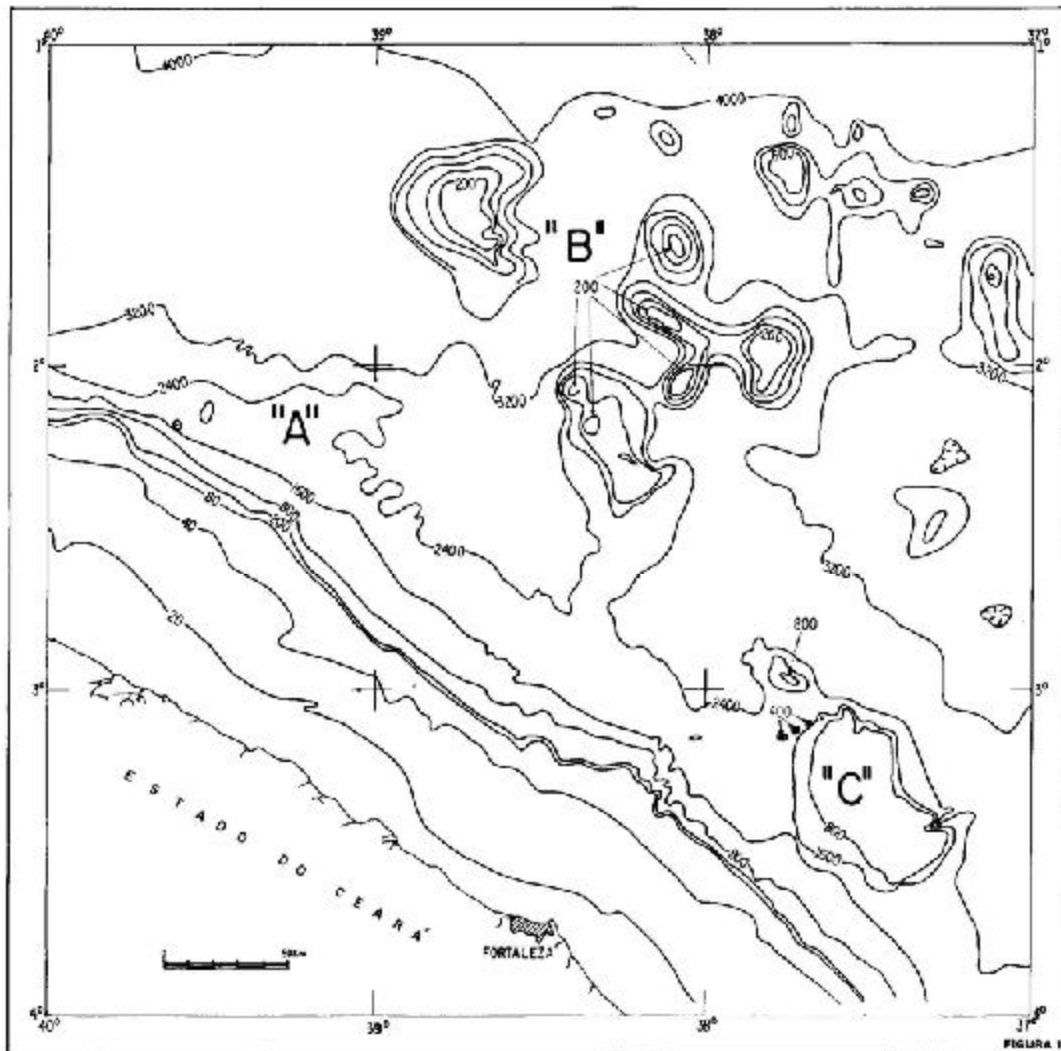
II – DISCUSSÃO DOS DADOS, MÉTODOS E RESULTADOS

Utilizaram-se os dados abaixo enumerados, obtidos em levantamentos prévios, de cunho científico:

- a) cobertura batimétrica;
- b) ecogramas 3,5 kHz;
- c) registros sísmicos de grande penetração e baixa resolução, e
- d) dados sobre a natureza dos sedimentos superficiais e subsuperficiais rasos, material em suspensão na água superficial e atividade sísmica regional.

*Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM – Projeto REMAC – Av. Pasteur, 404 – 20.000 – Rio de Janeiro – RJ

**Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) – Projeto REMAC – Rua Ramon Franco, 49 – 20.000 – Rio de Janeiro – RJ

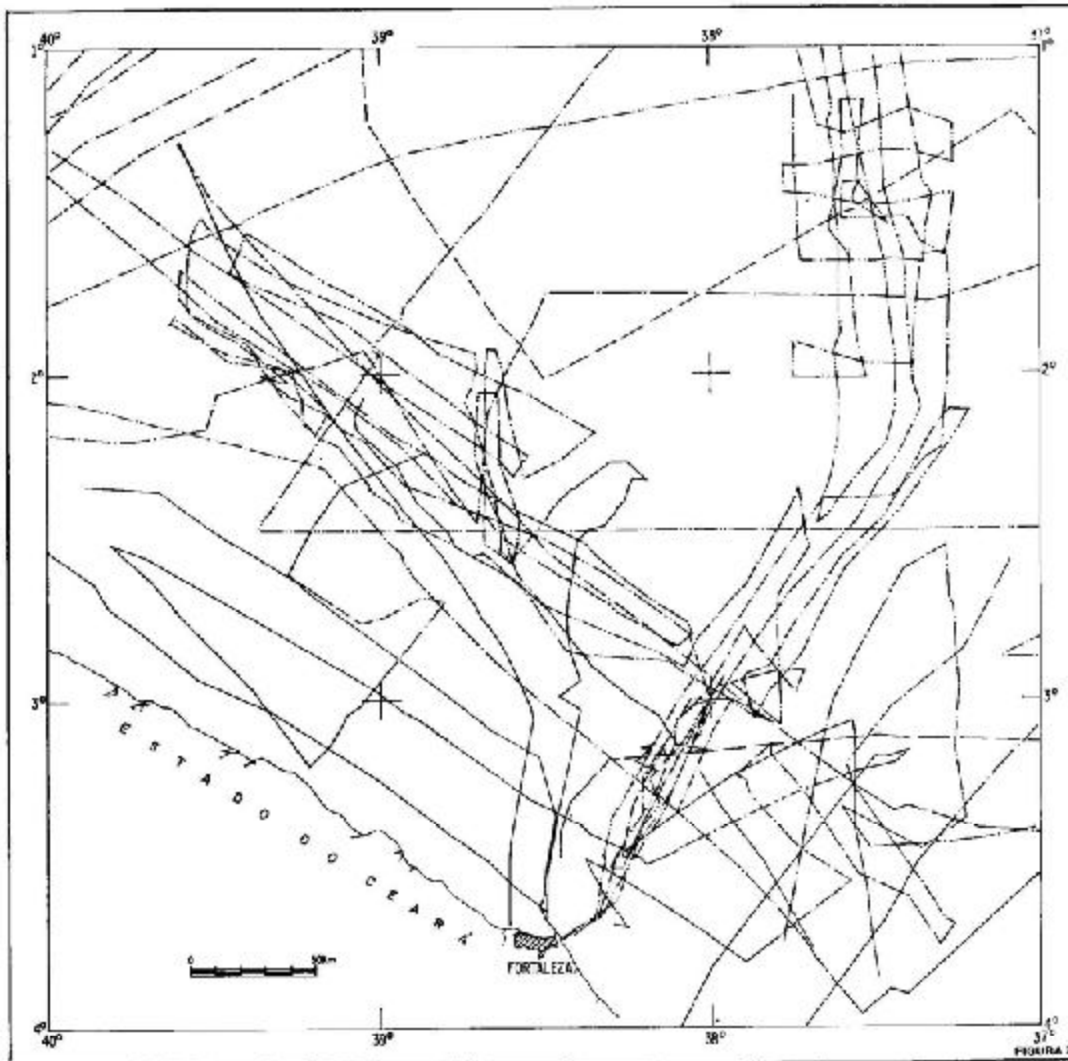


Os ítems "b" e "c" incluem os registros oriundos dos Cruzeiros "Woods Hole - Águas Rasas" e "REMAC - Águas Rasas" - realizados pelo REMAC, "Vema" Nºs 20, 26 e 31, e "Conrad" Nºs 11, 15 e 16 - realizados pelo Lamont-Doherty Geological Observatory (LDGO), e "Chain" Nº115 - pela Woods Hole Oceanographic Institution (figura 2). Do Cruzeiro "BRUS" - realizado pela EMBRATEL, utilizaram-se duas linhas de ecogramas 3,5 kHz, alguns registros 12 kHz e a cobertura batimétrica.

III - BATIMETRIA

A região estudada limita-se pelas coordenadas 19° e 49° sul e 37° e 40° oeste, abrangendo parte da Margem Continental Nordeste do Brasil, o Terraço do Ceará, os Montes Submarinos do Ceará e o Platô do Ceará (figura 1). O mapa batimétrico foi contornado à escala aproximada de 1:300.000. Para isto, utilizaram-se ampliações de mapas preexistentes (Amaral e Barretto, 1973, e França et alii, 1973), aos quais foram adicionados pontos batimétricos dos cruzeiros mencionados anteriormente (ítem "b").

Não se farão comentários sobre a influência dos gradientes batimétricos na estabilidade dos declives, por dois motivos: (a) falta de dados diretos sobre as propriedades geotécnicas dos sedimentos nas regiões das rotas e encostas adjacentes e (b) extrema dependência do significado de um mesmo valor gradiente para diferentes materiais nele em repouso. Assim, o Mapa Batimétrico foi utilizado principalmente para auxiliar a confecção e a interpretação do Mapa dos Padrões de Características dos Registros Sísmicos (figura 3) e do Mapa dos Padrões de Características dos Ecogramas 3,5 kHz (figura 4).



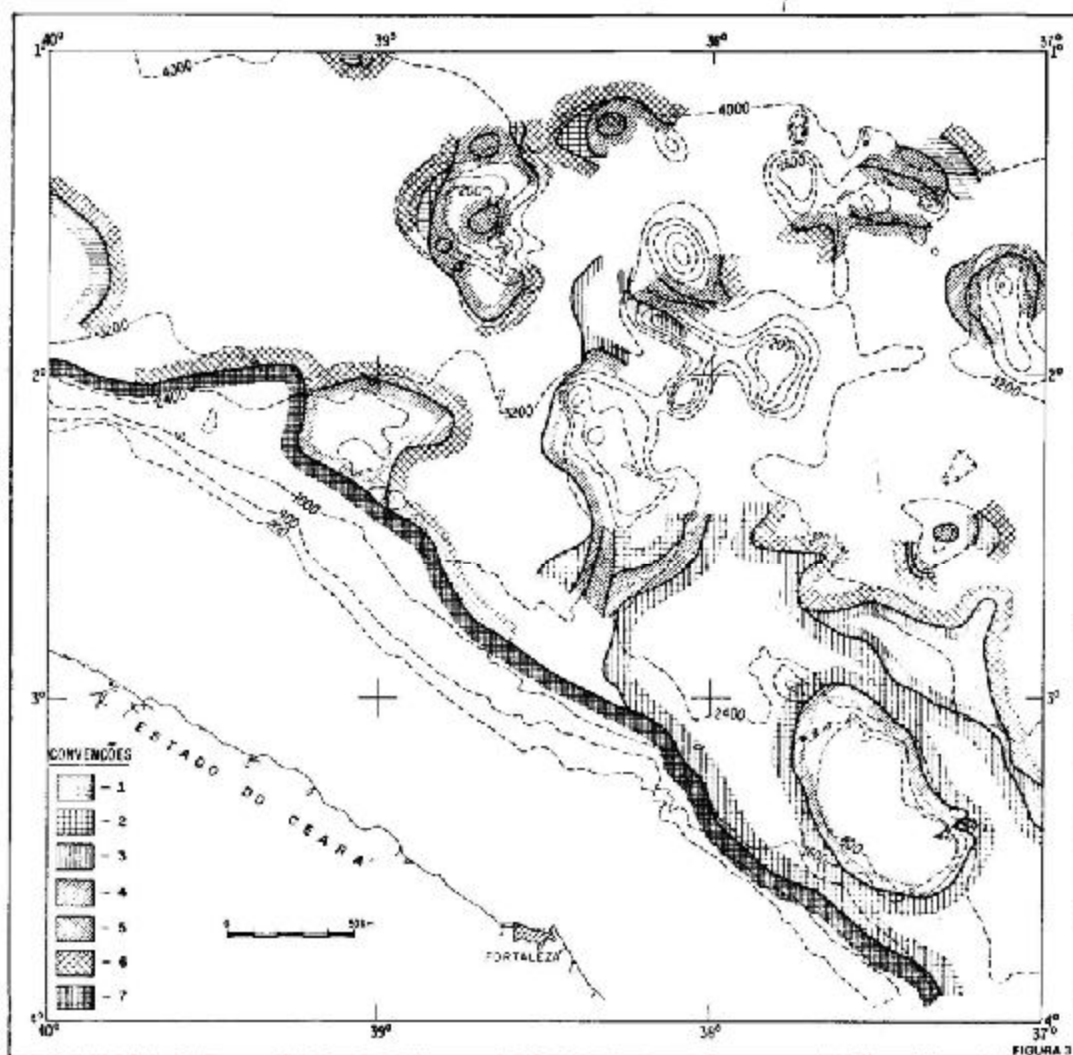
O estudo dos ecogramas revelou um grande número de canhões encravados no talude. Porém nenhum deles prolonga-se sobre a plataforma continental, indicação de que estes canhões provavelmente não estão conduzindo, talude abaixo, sedimentos oriundos do continente ou da plataforma continental.

IV – SÍSMICA DE GRANDE PENETRAÇÃO E BAIXA RESOLUÇÃO

Ao contrário do que seria desejável para melhor atender as finalidades deste estudo (sísmica de pequena penetração e alta resolução convenientemente distribuída na área), todos os registros foram obtidos com sísmica de grande penetração e baixa resolução, em levantamentos anteriores ao presente estudo (figura 2). Em sua grande maioria, trabalharam-se com reproduções reduzidas das seções sísmicas originais.

Nos registros sísmicos assinalaram-se as seguintes feições, direta ou indiretamente relacionadas com o problema em pauta, confeccionando-se o Mapa dos Padrões de Características dos Registros Sísmicos (figura 3).

- 1) camadas profundas deformadas e/ou deslocadas;
- 2) camadas profundas e "rasas" deformadas e/ou deslocadas;
- 3) camadas "rasas" deformadas e/ou deslocadas;
- 4) "talus" em encostas do embasamento;
- 5) embasamento aflorante;
- 6) camadas regularmente estratificadas, e
- 7) limite inferior do talude continental.



As áreas com camadas profundas e/ou camadas "rasas" deformadas e/ou deslocadas ("1", "2" e "3") representam a extensão dos processos de movimentação de massas verificados no passado geológico. Os depósitos de "talus" em encostas do embasamento ("4") resultam de remobilizações de depósitos anteriores e possivelmente encontram-se num equilíbrio metaestável. Estes sedimentos são potencialmente passíveis de deslizamentos e/ou avalanches, especialmente se ativados, por exemplo, por abalos sísmicos.

As áreas de embasamento aflorante ("5") e o talude continental ("7") embora em geral não sejam propensas a deslizamentos, localmente apresentam "bolsões" de sedimentos altamente instáveis. As camadas bem estratificadas ("6") em áreas horizontalizadas oferecem o menor risco geológico de todas as feições discutidas.

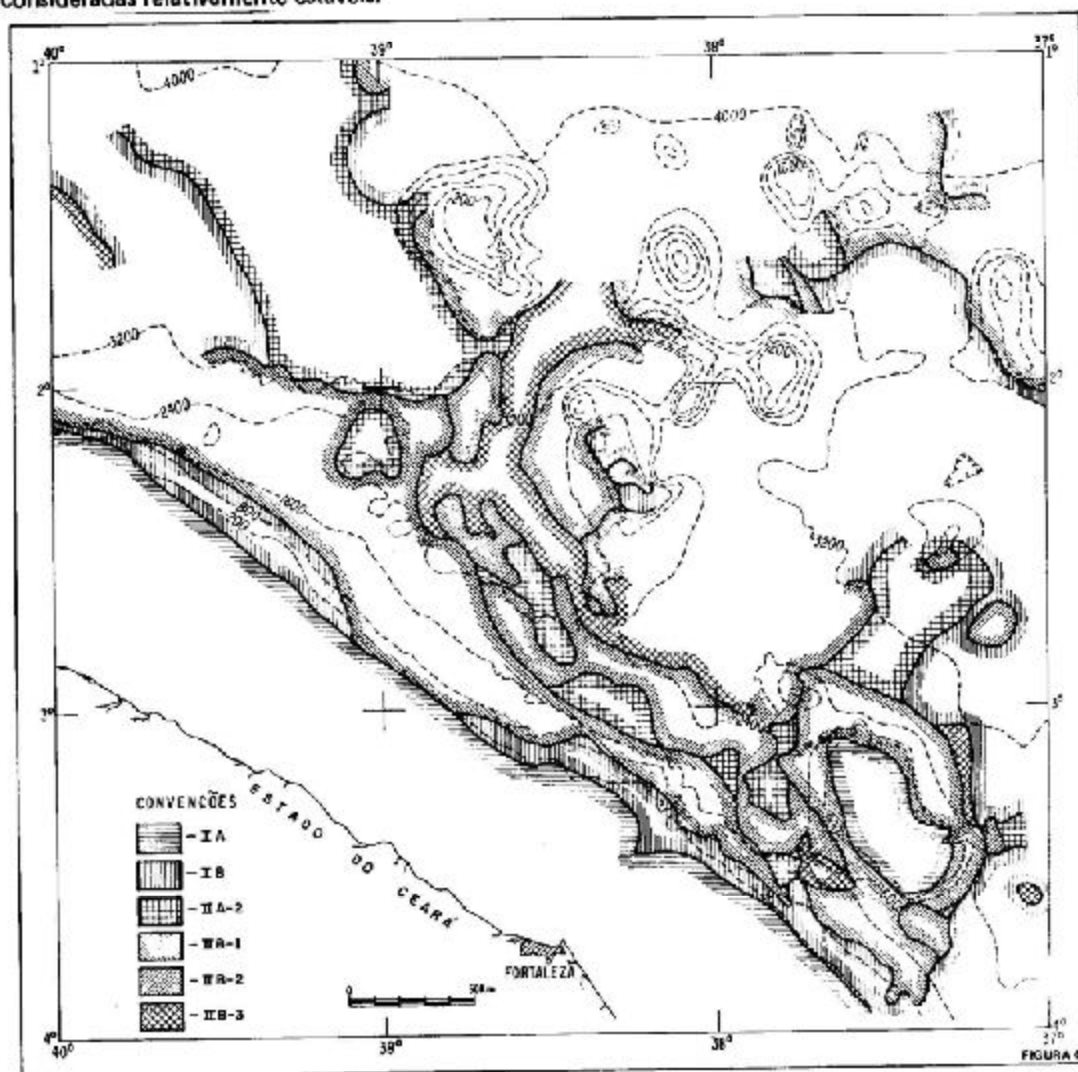
V - PERFIS ACÚSTICOS 3,5 kHz

Utilizaram-se os registros oriundos dos Cruzeiros assinalados anteriormente relativamente escassos e mal distribuídos para as presentes finalidades (figura 2). Foram, entretanto, manuseados os ecogramas originais, cópias fotográficas e microfimes - todos satisfatórios do ponto de vista de apresentação. Alguns registros 12 kHz obtidos pela EMBRATEL com o Cruzeiro "BRUS" foram utilizados, para interpolação dos limites dos padrões mapeados em áreas com poucos dados 3,5 kHz.

Damuth (1975), comparando ecogramas 3,5 kHz com testemunhos, caracterizou padrões de ecogramas que refletem a natureza dos processos sedimentares. Seguindo-se sua classificação, confeccionou-se o Mapa de Padrões de Características dos Ecogramas 3,5 kHz (Figura 4), que apresenta os seguintes padrões:

- (IA) – Fundo nítido e contínuo aparentemente sem refletores subsuperficiais;
- (IB) – Fundo nítido e contínuo com refletores subsuperficiais nítidos e paralelos (por dezenas ou centenas de km);
- (IIA-2) – Fundo prolongado com zonas semiprolongadas de refletores subsuperficiais descontínuos que se alternam com zonas de refletores subsuperficiais difusos ou intermitentes ("mushy");
- (IIB-1) – Hipérboles acavaladas bem irregulares até hipérboles isoladas suavemente onduladas com seus vértices a distâncias amplamente variáveis do fundo oceânico (10-200 m);
- (IIB-2) – Hipérboles regulares acavaladas com seus vértices a distâncias variáveis do fundo oceânico. Estas hipérboles apresentam-se com amplitudes entre 10-50 m e comprimentos de onda entre 500-1.000 m;
- (IIB-3) – Hipérboles regulares e freqüentes acavaladas com seus vértices aproximadamente tangentes ao fundo oceânico.

O padrão (IA) domina a região da plataforma continental e o topo do Platô do Ceará, ocorrendo também no topo de montas submarinos. Segundo Damuth (1975), sugere um tipo de fundo oceânico detrítico de granulometria grosseira ou calcário que, por sua elevada refletividade, obscurece os possíveis refletores subsuperficiais. Devido à suavidade morfológica, essas regiões podem ser consideradas relativamente estáveis.



O padrão (IB) estende-se ao longo do talude, exceto na parte central do mapa, e nas áreas abissais planas. Segundo Damuth (1975), o padrão (IB) sugere a existência de pouco ou nenhum sedimento grosseiro (silte, areia e cascalho), nas camadas sedimentares dos primeiros metros abaixo do fundo oceânico. Com estrutura plano-paralela, pode ser considerado o tipo de fundo mais seguro, quando sobre áreas horizontalizadas.

O padrão (IIA-2) ocorre em pequenas áreas isoladas, que se alinham na direção sudeste-noroeste e, em maior extensão, na parte noroeste do mapa. Segundo Damuth (1975), o padrão (IIA-2) indica a presença de camadas de sedimentos clásticos grosseiros, nos primeiros metros abaixo do fundo oceânico. Por sua estrutura plano-paralela, este tipo de fundo pode ser considerado seguro, quando sobre áreas horizontalizadas.

O padrão (IIB-1) estende-se ao longo do talude continental inferior e sobre o talude superior, na porção central do mapa, cobrindo também o Terraço do Ceará e as encostas do Platô do Ceará e montes submarinos adjacentes. Indica uma topografia bem irregular, no talude, devida à presença de canhões e, nas demais regiões, uma topografia controlada por rocha (embasamento acústico) aflorante ou coberta por fina camada de sedimentos conformantes. Em sua área de ocorrência, observaram-se, localmente, acumulações sedimentares provavelmente inconsolidadas repousando sobre encostas acentuadas. Estes sedimentos oferecem riscos de movimentação. No Terraço do Ceará e nas encostas do Platô do Ceará e dos montes submarinos adjacentes, os limites deste padrão, (IIB-1), coincidem com os depósitos de "talus" assinalados na figura 3. Também nestes locais, há, potencialmente, grande perigo geológico.

Os padrões (IIB-2) e (IIB-3), segundo Damuth (1975), podem refletir feições deposicionais e/ou erosionais como as que se originam por correntes de fundo, correntes de turbidez, escorregamentos e deslizamentos e outros tipos de movimentações de sedimentos. Embora nem sempre seja possível distinguir-se entre os processos acima, comparando-se as figuras 3 e 4, nota-se que, na área dos montes submarinos a este do Terraço do Ceará, os limites de ocorrência de (IIB-2) coincidem aproximadamente com os depósitos de "talus" (figura 3). Os deslizamentos que os formaram, teoricamente podem se repetir.

Por outro lado, a faixa de ocorrência do padrão (IIB-3) que se estende noroeste-sudeste, entre o talude e a região dos montes submarinos acima citada, pode ser atribuída à ação de fortes correntes de fundo que produzem ondulações no fundo oceânico. Se estas correntes forem atuantes ainda hoje, seriam capazes de solapar e soterrar o cabo sucessiva e alternadamente. Além disso, elas deveriam, também, ser consideradas nas operações de lançamento do cabo.

VI – SEDIMENTOS SUPERFICIAIS E SUBSUPERFICIAIS RASOS

Extenso programa de testemunhagem conduzido pelo LDGO, na área da bacia oceânica ao norte e nordeste do Brasil revelou a história geológica dos processos regionais de deposição (Hayes et Ewing, 1970; Damuth, 1973; Damuth, 1975; Damuth et Fairbridge, 1970; Damuth et Kumar, 1974; Damuth et Kumar, 1975a e Damuth et Kumar, 1975b). Esses estudos concluíram que, até o final da última glaciação, há cerca de 11.000 anos, a sedimentação foi predominantemente hemipelágica em toda a região, com as correntes de densidade e outros processos gravitacionais comandando a deposição dos componentes terrígenos. Porém, com a transgressão holocênica e o conseqüente afastamento das fontes de suprimento de clásticos continentais, somente sedimentos pelágicos, a uma razão de sedimentação muito baixa, vêm se depositando na bacia oceânica. Uma camada desse sedimento com cerca de 0,8 m de espessura ocorre nos topos de praticamente todos os testemunhos.

Por outro lado, os sedimentos superficiais de plataforma continental também estão relativamente bem estudados, em escala de reconhecimento. Segundo Barreto e outros (1975) e Summerhayes e outros (1975), com base no maior volume de dados até então disponível e na discussão de numerosos estudos anteriores, a plataforma é coberta principalmente por areia quartzosa reftca e apresenta uma província carbonática à base de fragmentos de algas, carapaças de foraminíferos, moluscos e "maerl" que se estende ao longo do seu bordo externo. A presença da faixa de sedimentos carbonáticos na plataforma externa e a ausência de lama sugerem que, presentemente, não estão sendo transportados terrígenos como carga de fundo, através da plataforma até o talude. A ausência de canhões na plataforma exclui outra possível via de transporte de sedimentos para o talude.

Portanto, embora o transporte de sedimentos terrígenos tenha sido efetivo no passado geológico (também indicado pelos ecogramas 3,5 kHz e registros sísmicos), o regime deposicional parece ter sido lento nos últimos 11.000 anos.

VII – MATERIAL EM SUSPENSÃO

Barreto e Summerhayes (no prelo) estudaram o material em suspensão presente nas águas superficiais da plataforma continental. Seus dados sugerem que "há pouco ou nenhum transporte de

sedimento da costa para as regiões de águas profundas da bacia oceânica e inclusive da plataforma continental (. . .)", confirmando as conclusões do ítem anterior.

VIII – ATIVIDADE SÍSMICA

Dois zonas de fratura importantes atravessam a área: a Zona de Fratura Fernando de Noronha que chega até o Platô do Ceará e a Zona de Fratura Romanche que atinge o Terraço do Ceará (Gorini et Bryan, 1975). Estas zonas caracterizam-se por uma relativa atividade tectônica que pode abalar depósitos sedimentares em equilíbrio metaestável.

Informações recebidas da Estação Sismológica da Universidade de Brasília (Mendiguren, comunicação escrita, 1975) que incluem os dados do Catálogo de Sismos do "United States Coast and Geodetic Survey", revelaram diversos sismos rasos de média magnitude nas vizinhanças da dorsal da Cordilheira Mesoatlântica, como esperado, e quatro no continente. Nenhum deles situou-se na área em estudos e o mais próximo registrou-se em Uruburutama, Ceará (aproximadamente 3º40'S, 39º30'W) em 1974.

A mesma comunicação, entretanto, atribui a inexistência de mais indicações de atividades sísmicas à falta de equipamento adequado em funcionamento no Brasil antes de 1960. E estima que pelo menos 15 sismos de média magnitude, não detectados, teriam ocorrido na costa brasileira desde 1900. Baseando-se em escassas informações, e "desde um ponto de vista pessimista", sugere que "é provável que pelo menos um sismo de média magnitude ocorra na área de interesse nos próximos 25 anos". Embora esta extrapolação não se baseie em dados adequados, mostra a possibilidade estatística de futuras atividades sísmicas.

IX – CONCLUSÕES

- a) No passado geológico, a área de estudo foi sítio de intensos deslizamentos e correntes de turbidez. No entanto, há boas evidências de que, durante os últimos 11.000 anos, sobreveio um regime de baixa taxa de sedimentação, em que mobilizações de massa daquela natureza não foram freqüentes.
- b) Isto não significa, necessariamente, que estes processos não mais ocorrerão, desde que áreas potencialmente instáveis foram detectadas, e terremotos eventualmente poderão reativá-las produzindo-se os deslizamentos. Bons exemplos dessas áreas são os depósitos de "talus" sobre encostas de embasamento no Terraço do Ceará, Platô do Ceará e Montes Submarinos adjacentes, bem como os depósitos de sedimentos inconsolidados sobre o talude continental;
- c) As duas zonas de fratura que atravessam a região sugerem a possibilidade de ocorrência de sismos. E, embora os dados disponíveis não registrem nenhum terremoto importante na área de estudo, isto deve refletir mais a falta de equipamento de precisão para detectá-los antes de 1960. Estatística dos dados existentes confirma que o risco de terremotos não pode ser negligenciado, mesmo dentro dos próximos 25 anos;
- d) As áreas de ocorrência de "talus" sobre encostas do embasamento ("4") são as mais propensas a escorregamentos.
- e) As áreas cobertas por deslizamentos anteriores também são perigosas pois, caso novas movimentações ocorram, poderão atingir aqueles mesmos limites.

X – AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à EMBRATEL, que financiou o estudo, pela autorização desta publicação; ao Lamont-Doherty Geological Observatory, Woods Hole Oceanographic Institution e Universidade Federal de Brasília pelos dados fornecidos; aos Geólogos Jorge J. C. Palma e Hernani A. F. Chaves pelas sugestões e críticas ao texto.

BIBLIOGRAFIA

- AMARAL, C. A. B., KOWSMANN, R. O. e COSTA, M. P. A. – 1976 – *Estudo de Possibilidades de Deslizamentos e Correntes de Turbidez ao Largo do Ceará, Relatório Final, Relatório interno, Projeto REMAC* (inédito).
- AMARAL, C. A. B. e BARRETO, L. A. – 1973 – *Mapa batimétrico da margem continental norte brasileira. Relatório interno, Projeto REMAC* (inédito).
- BARRETO, H. T. e SUMMERHAYES, C. P. – 1975 – *Oceanography and suspended matter off Northeastern Brazil. Jour. Sed. Petrol. V. 45, nº 4, pp. 822-833.*
- BARRETO, L. A., MILLIMANN, J. D., AMARAL, C. A. B. e FRANCISCONI, O. – 1975 – *Continental margin sedimentation off Brazil, Part 2, Northern Brazil. Contributions to Sedimentology, V. 4, pp. 11-43.*

- DAMUTH, J. E. — 1973 — *The western Equatorial Atlantic: morphology, Quaternary sediments and climatic cycles*. Ph. D. Thesis, Columbia Univ., New York, 602 p.
- DAMUTH, J. E. — 1975 — *Echo character of the western equatorial Atlantic floor and its relationship to the dispersal and distribution of terrigenous sediments*. *Marine Geology*, V. 18, pp. 17-45.
- DAMUTH, J. E. e FAIRBRIDGE R. W. — 1970 — *Equatorial Atlantic deep-sea arkosic sands and iceage aridity in the tropical South America*. *Geol. Soc. America Bull.*, V. 81, pp. 189-206.
- DAMUTH, J. E. e KUMAR, N. — 1974 — *Distribution of coarse terrigenous sediments in the outer continental margin: Western Equatorial Atlantic (Abstr.)*. AAPG-SEPM Annual Meeting Abstracts, V. 1, pp. 24.
- DAMUTH, J. E. e KUMAR, N. — 1975a — *Amazon Cone: morphology, sediments, age and growth pattern*. *Geol. Soc. America Bull.*, V. 86, pp. 863-878.
- DAMUTH, J. E. e KUMAR, N. — 1975b — *Late Quaternary depositional processes on the continental rise of the Western Equatorial Atlantic: comparison with the Western North Atlantic and implications for reservoir-rock distribution*. AAPG Bull., V. 59, nº 11, pp. 2172-2181.
- FRANÇA, A. M. C., MILLIMAN, J. D. e SUMMERHAYES, C. P. — 1973 — *Mapa batimétrico da margem continental nordeste brasileira. Relatório interno, Projeto REMAC (inédito)*.
- GORINI, M. A. e BRYAN, G. M. — 1975 — *The tectonic fabric of the Equatorial Atlantic and adjoining continental margins: gulf of Guinea to Northeastern Brazil*. *International Symposium on Continental Margins of Atlantic Type, São Paulo*.
- HAYES, D. e EWING, M. — 1970 — *North Brazilian Ridge and adjacent continental margin*. AAPG Bull., V. 54, nº 11, pp. 2120-2150.
- MOORE, T. C. Jr., van ANDEL, Tj., BLOW, W. H. e HEATH, G. R. — 1970 — *Large submarine slide off northeastern continental margin of Brazil*, AAPG Bull., V. 54, nº 1, pp. 126-128.
- SUMMERHAYES, C. P., COUTINHO, P. N., FRANÇA, A. M. C. e ELLIS, J. — 1975 — *Continental margin sedimentation off Brazil, Part 3, Salvador to Fortaleza, Northeastern Brazil*. *Contributions to Sedimentology*, V. 4, pp. 44-78.

TÍTULOS DAS FIGURAS

- Figura 1 — *Mapa Batimétrico. Contorno batimétrico em metros. A — Terraço do Ceará; B — Montes Submarinos do Ceará e C — Platô do Ceará.*
- Figura 2 — *Mapa Índice dos Registros Utilizados. Traço contínuo — ecograma 3,5 kHz; traço interrompido — ecograma 3,5 kHz e reg. sísmico reduzido; traço a um ponto — ecograma e reg. sísmico original; traço e dois pontos — ecograma 12 kHz, e traço e três pontos — reg. sísmico reduzido.*
- Figura 3 — *Mapa dos Padrões de Características dos Registros Sísmicos. 1 — camadas profundas deformadas e/ou deslocadas; 2 — camadas profundas e "rasas" deformadas e/ou deslocadas; 3 — camadas "rasas" deformadas e/ou deslocadas; 4 — "talus" em encostas; 5 — embasamento efflorente; 6 — camadas regularmente estratificadas e 7 — limite do talude continental.*
- Figura 4 — *Mapa dos Padrões de Características dos Ecogramas 3,5 kHz. IA — fundo nítido e contínuo sem refletores subsuperficiais; IB — fundo nítido e contínuo com refletores paralelos; IIA-2 — fundo prolongado com refletores descontínuos; IIB-1 — hipérboles acavaladas irregulares até hipérboles isoladas com seus vértices a distâncias amplamente variáveis do fundo; IIB-2 — hipérboles regulares acavaladas com vértices a distâncias variáveis do fundo oceânico e IIB-3 — hipérboles regulares e freqüentes ecavaladas com seus vértices tangentes ao fundo.*

APLICABILIDADE DO MÉTODO ELETROMAGNÉTICO DE « LOOP HORIZONTAL » (SLINGRAM) NO VALE DO RIO CURUÇÁ – BAHIA

Raymundo A.A. Dias Gomes *

ABSTRACT

This paper presents the results of the geophysical prospecting working with the electromagnetic unit horizontal loop array, carried out in the extend of target Cu-05 and Cu-06.

With these results it was possible to place the conductive zone, showing the copper ore concentration. This method was used in the employ of geological mapping. These factors together with the cheap operational cost and the high production enable the routine use of this method.

I – INTRODUÇÃO

A sistemática de prospecção de cobre no Vale do Rio Curuçá, definida em função dos estudos realizados pelo Projeto Cobre – Convênio CPRM/DNPM, inclui a geofísica como um método de exploração a ser aplicado nas fases de semidetalhe e detalhe.

Como resultado desses estudos, firmou-se a opinião que, em ambas as fases, os métodos magnético e elétrico de Polarização Induzida são indispensáveis, e a gravimetria, eventualmente, pode ser utilizada para dirimir dúvidas.

Com a aquisição, pela CPRM, de modernos equipamentos de Slingram resolveu-se testar este método, no Projeto Curuçá, objetivando a minimização dos custos dos levantamentos na fase de semi-detalhe, em substituição ao método de Polarização Induzida, cujos custos são relativamente altos.

Os trabalhos experimentais foram efetuados nas áreas mineralizadas de LAGOA DA MINA (FAZ. ANGICO), PIRULITO e CUPIM, em junho/75, e os resultados mostraram-se favoráveis (RELATÓRIO DOS TESTES DOS MÉTODOS DE VLF, SLINGRAM e SP NO VALE DO RIO CURUÇÁ – BAHIA – Relatório interno – CPRM).

Este trabalho ora apresentado procura mostrar os resultados deste método, complementando a sistemática geral adotada por esta Companhia em prospecção geofísica no Vale do Curuçá.

II – PRINCÍPIOS BÁSICOS DO MÉTODO DE SLINGRAM

Os métodos eletromagnéticos utilizam duas fontes de campo: a) Fontes Naturais: AFMAG, MAGNÉTICO TELÚRICO e TELÚRICO; b) Fontes Artificiais: SLINGRAM, IREM e TURAM.

Para o nosso caso o aparelho empregado foi a unidade eletromagnética EM-17, da Geonics Limited, operando numa frequência 1.600 Hz.

O princípio básico é que certos corpos de minérios, como os existentes no Vale do Rio Curuçá, constituídos de rochas noríticas-dioríticas e proxeníticas, sendo eletricamente condutivos, podem ser excitados eletricamente por um campo eletromagnético primário aplicado.

O corpo de minério produz então um campo eletromagnético secundário que pode ser detectado em superfície. A figura 1 mostra como o fenômeno se processa.

* Geólogo da CPRM (SUREG/SALVADOR)

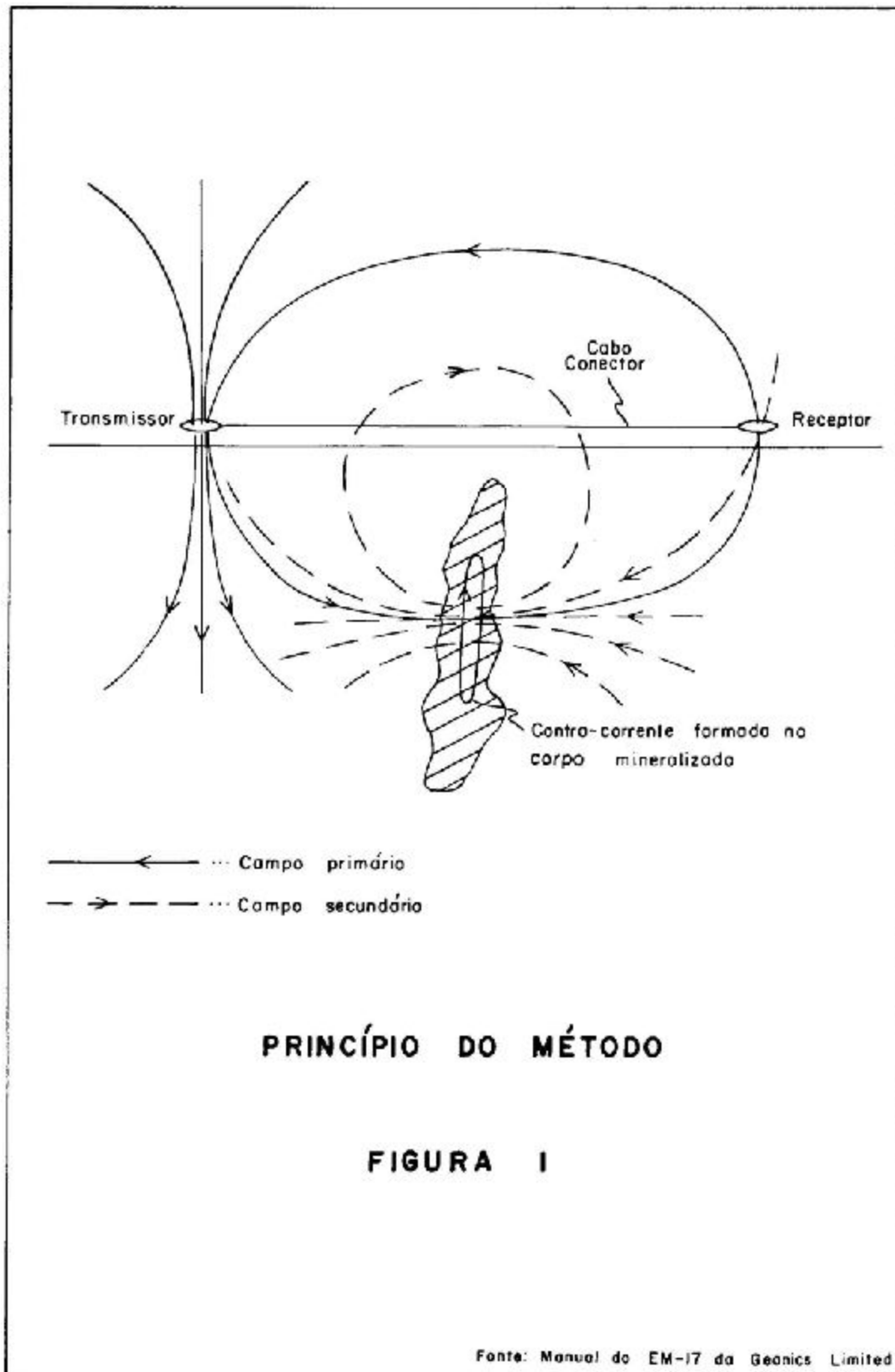


TABELA I
ERRO EM PORCENTAGEM DEVIDO À ORIENTAÇÃO
INCORRETA DAS BOBINAS

| Orientação incorreta | Componente em Fase Erro |
|----------------------|-------------------------|
| 2º | Não significativa |
| 4º | Não significativa |
| 6º | 0,5% |
| 8º | 1,0% |
| 10º | 1,5% |
| 12º | 2,0% |
| 14º | 3,0% |
| 16º | 4,0% |
| 18º | 5,0% |
| 20º | 6,0% |

Fonte: Manual do EM-17 da Geonics Limited.

TABELA II
ERRO EM PORCENTAGEM DEVIDO À SEPARAÇÃO
INCORRETA ENTRE AS BOBINAS

| Separação entre as bobinas | | | | |
|----------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Erro em pés | 100 pés | 200 pés | 300 pés | 400 pés |
| 1 | 3,0 | 1,5 | 1,0 | 0,5 |
| 2 | 6,0 | 3,0 | 2,0 | 1,5 |
| 3 | 9,0 | 4,5 | 3,0 | 2,0 |
| 4 | 12,0 | 6,0 | 4,0 | 3,0 |
| 5 | 15,0 | 7,5 | 5,0 | 3,5 |

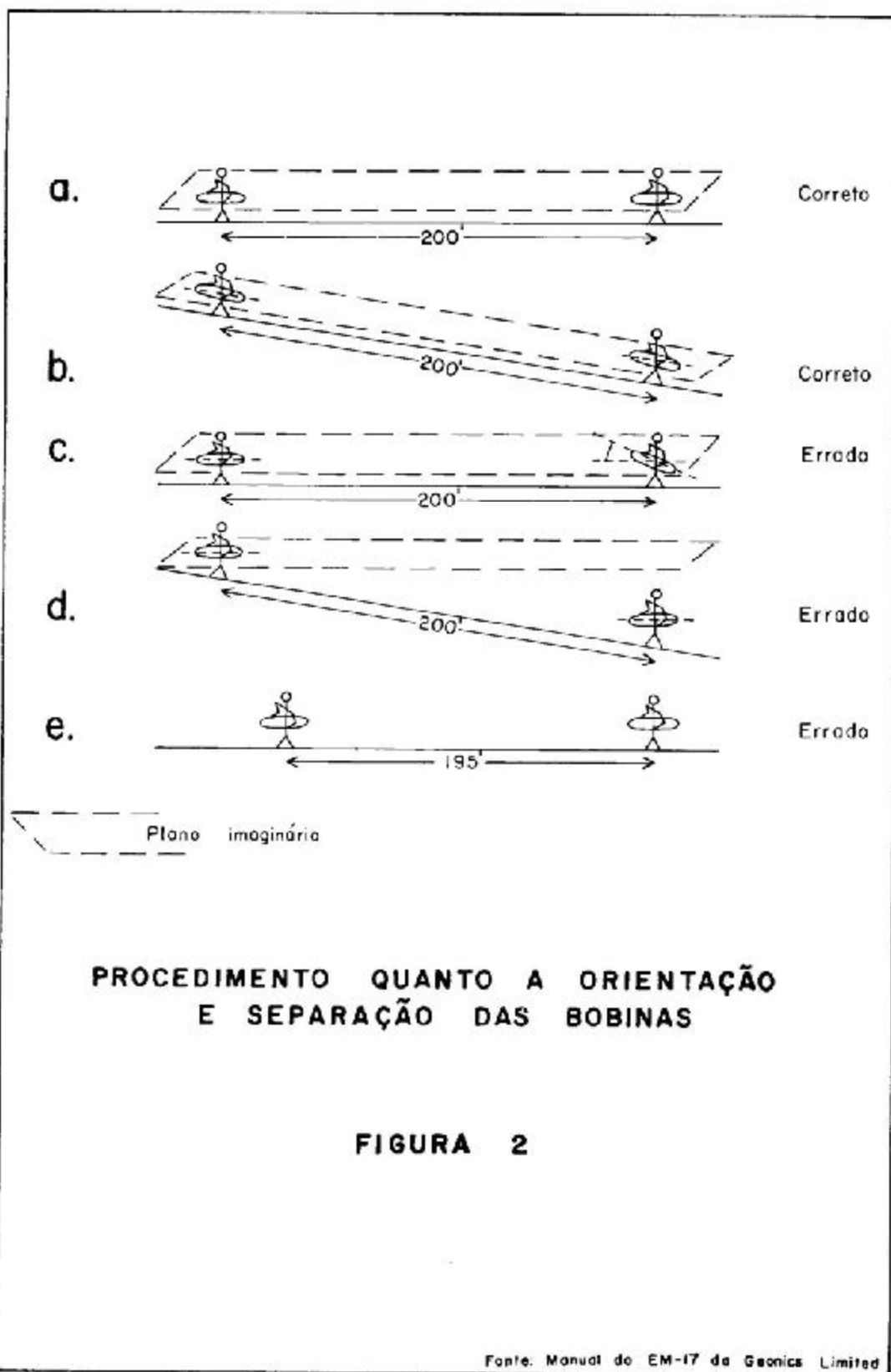
Fonte: Manual do EM-17 da Geonics Limited.

O campo primário é produzido por uma bobina transmissora, a qual é alimentada por uma corrente oscilatória do próprio transmissor. O campo secundário é captado pela bobina receptora e é medido no receptor. O campo secundário é decomposto em duas componentes, uma em fase (componente real) e outra fora de fase (componente imaginária) com relação ao campo primário, e comparado com ele em amplitude.

As intensidades relativas das duas componentes servem como parâmetros do produto "largura de condutividade" do condutor soterrado, a qual está relacionada à quantidade de minerais condutores presentes.

Sendo o EM-17 um instrumento de 2 componentes (real e imaginária), diferente, portanto, dos instrumentos que medem uma única componente, como o AFMAG e o IREM que detectam somente "ângulo de inclinação", esta é uma vantagem que nos possibilita distinguir mais facilmente entre diferentes tipos de condutores e determinar mais acuradamente as profundidades e formas. Contudo, cuidados devem ser tomados com respeito a orientação e separação das bobinas.

Portanto, deve-se ter o máximo cuidado para que, nas operações de campo, as bobinas sejam coplanares (isto é, estejam no mesmo plano), e que a separação entre elas seja mantido dentro do comprimento utilizado, conforme mostra a figura 2, para que não ocorram erros que venham resultar em falsas anomalias. Para que a precisão de $\pm 1\%$ seja alcançada é necessário que a inclinação de uma bobina em relação a outra não ultrapasse de 8º (oito graus). Destes erros, aquele devido a separação das bobinas é o mais sério e de mais difícil controle. As tabelas I e II mostram os erros devido a esses problemas operacionais.



Nos trabalhos com o EM-17 a separação entre as bobinas pode ser de 100, 200, 300 ou 400 pés, dependendo da profundidade que se deseja pesquisar, e que é equivalente a aproximadamente 2/3 do espaçamento entre as bobinas.

Os dados obtidos em percentagem da intensidade do campo secundário, são plotados em perfis das duas componentes (real e imaginária) ao longo das linhas de medida, como pode ser visto na figura 6. O ponto de plotação é exatamente o meio da separação entre as bobinas.

III – SISTEMÁTICA DO PROJETO CURAÇÁ

Devido a importância de se pesquisar cobre no Vale do Rio Curaçá a CPRM, através da Divisão de Pesquisa Própria, planejou e executou trabalhos de mapeamento geológico, geofísico e geoquímico, em escala de 1:10.000, nesta região, com a finalidade de selecionar áreas alvos, favoráveis à concentração de minério. Visando o detalhamento posterior foi feita a integração dos trabalhos desta primeira etapa, onde a geofísica utilizou a magnetometria em malha de 300 x 100 m. Trabalhos sistemáticos de mapeamentos geológico, geofísico e geoquímico foram realizados nos alvos selecionados. A geofísica participou nos trabalhos de detalhe com magnetometria em malha de 75 x 50 m, "Slingram" em malha de 75 x 25 m, e com perfis gravimétricos e de Polarização Induzida, estes dois últimos métodos já na fase de locação de furos de sondagens.

IV – INTERPRETAÇÃO DOS ALVOS CU-05 e CU-06

Como exemplo da aplicação do método na área do Vale do Curaçá escolhemos os alvos CU-05 e CU-06, localizados entre os paralelos de 9º31'48" S e 9º31'00" S e os meridianos de 39º48'39" W e 39º49'02" W, conforme mostra a figura 3.

Para um melhor entendimento da interpretação dos dados geofísicos dos alvos estudados os resultados do mapeamento geológico e prospecção geoquímica estão representados nas figuras 4 e 5.

Geofísica – A figura 6 mostra perfis de "Slingram", onde as feições de "baixos" representam anomalias eletromagnéticas devido aos corpos condutores soterrados, ou devido a formação de solo condutivo.

As figuras 7 e 8 mostram os mapas das componentes real e imaginária em curvas de isopercentual. O mapa da componente imaginária reproduziu com mais fidelidade o comportamento geológico dos corpos básicos e ultrabásicos mapeados pela geologia.

A pouca espessura de solo, aproximadamente 1 a 2 metros, nas áreas dos alvos Cu-05 e Cu-06 propiciou, ao emprego do método, um grande poder de resolução, tendo em vista a maior possibilidade de penetração da corrente, sem ocorrer perdas pela formação de solo condutivo. É óbvio que o método apresenta maior resolução na prospecção de corpos de minerais metálicos concentrados (maior que 5%), porém mostrou-se eficiente em corpos de minério de cobre disseminado com teor de até 0,5% exigindo, todavia, um tratamento mais cauteloso das duas componentes em que se baseia o método.

A técnica empregada na locação da anomalia de "Slingram" consiste na determinação de eixos condutores e suas inclinações, o que tem provado, na maior parte dos casos, corresponderem à presença de corpos básicos e ultrabásicos com mineralização.

Para os trabalhos com o método eletromagnético de "Slingram" foi utilizada a separação de 400 pés (120 metros), entre as bobinas, por ser a que possibilitou uma maior penetração da corrente, evitando, assim, que o efeito do condutor pudesse ser cancelado por uma camada de rocha mais superficial.

Os resultados obtidos e a interpretação dos perfis e mapas das duas componentes mostraram a locação dos eixos condutores, os quais, provavelmente, no Vale do Rio Curaçá, estão associados às rochas básicas e ultrabásicas.

Os perfis integrados das linhas 42,00 e 42,75 do alvo Cu-05 (Figuras 9 e 10) mostram as locações dos furos Cu-04-Ba e Cu-10-Ba, baseadas principalmente nas anomalias de "Slingram", sendo que o furo Cu-04-Ba também foi suportado por geoquímica. O método foi de grande utilidade também no auxílio ao mapeamento geológico, não só porque comprovou a existência dos corpos básicos e ultrabásicos mapeados pela geologia, bem como mostrou a continuação desses corpos em subsuperfície, e ainda foi de grande ajuda na delimitação de estruturas falhadas e eixos de anticlinais e sinclinais, como é mostrado na figura 11.

V – CONCLUSÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

O método "Slingram" foi mais conclusivo e de mais fácil interpretação que o método magnético de campo total, no auxílio ao mapeamento geológico, pelo menos onde os mergulhos dos corpos são suaves, sendo que a produção de um método em relação ao outro pode ser considerada equivalente.

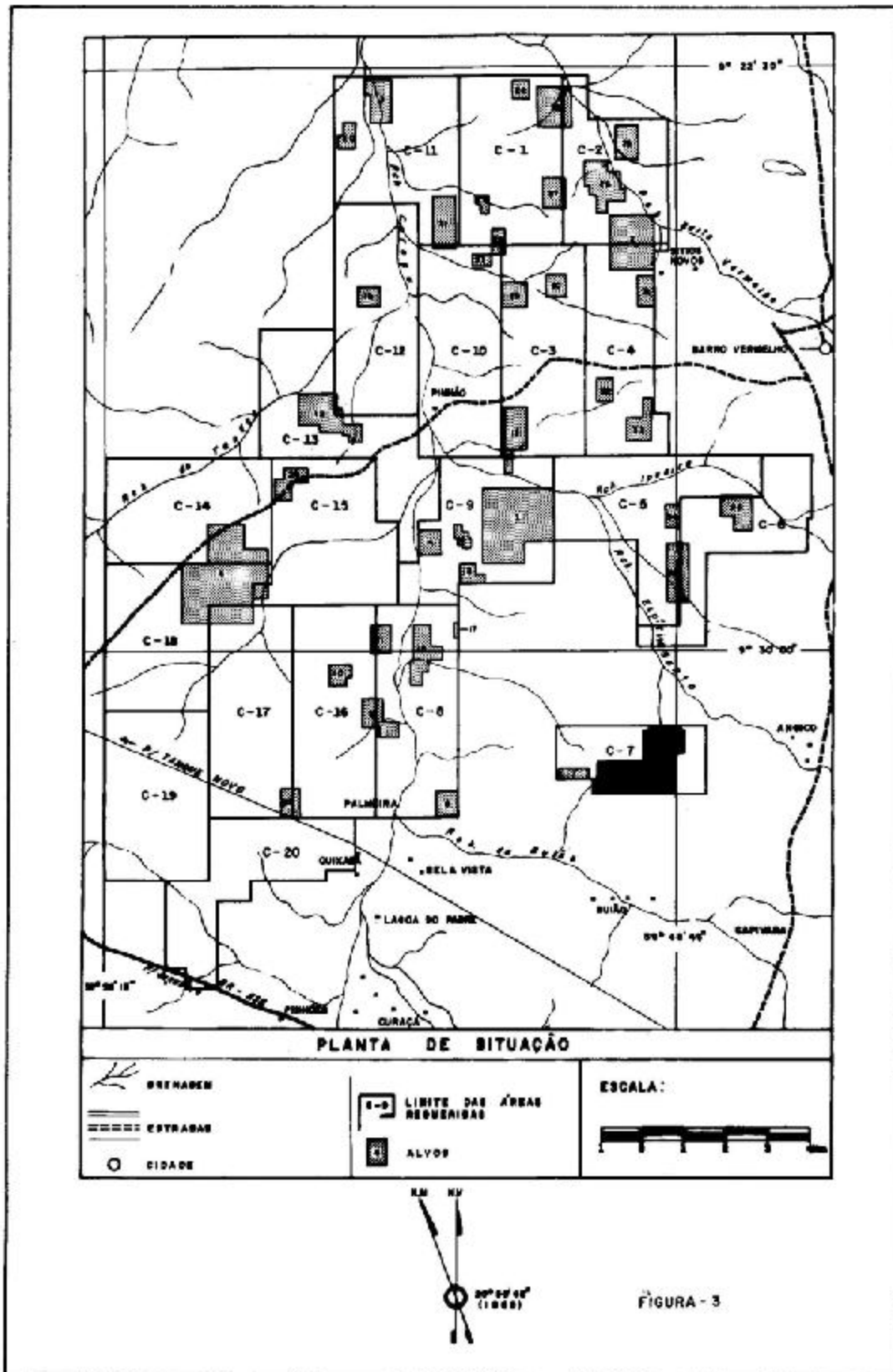
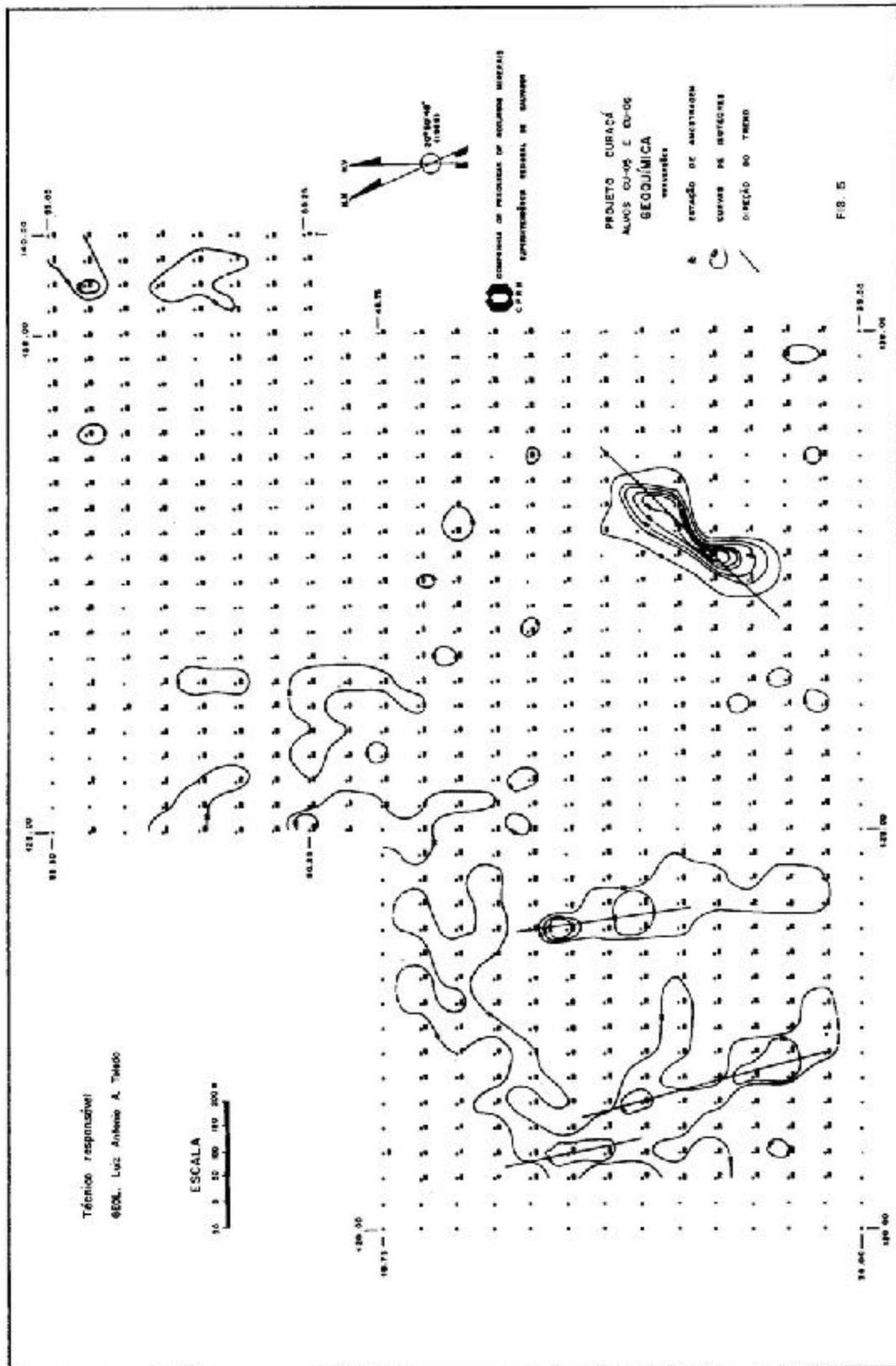
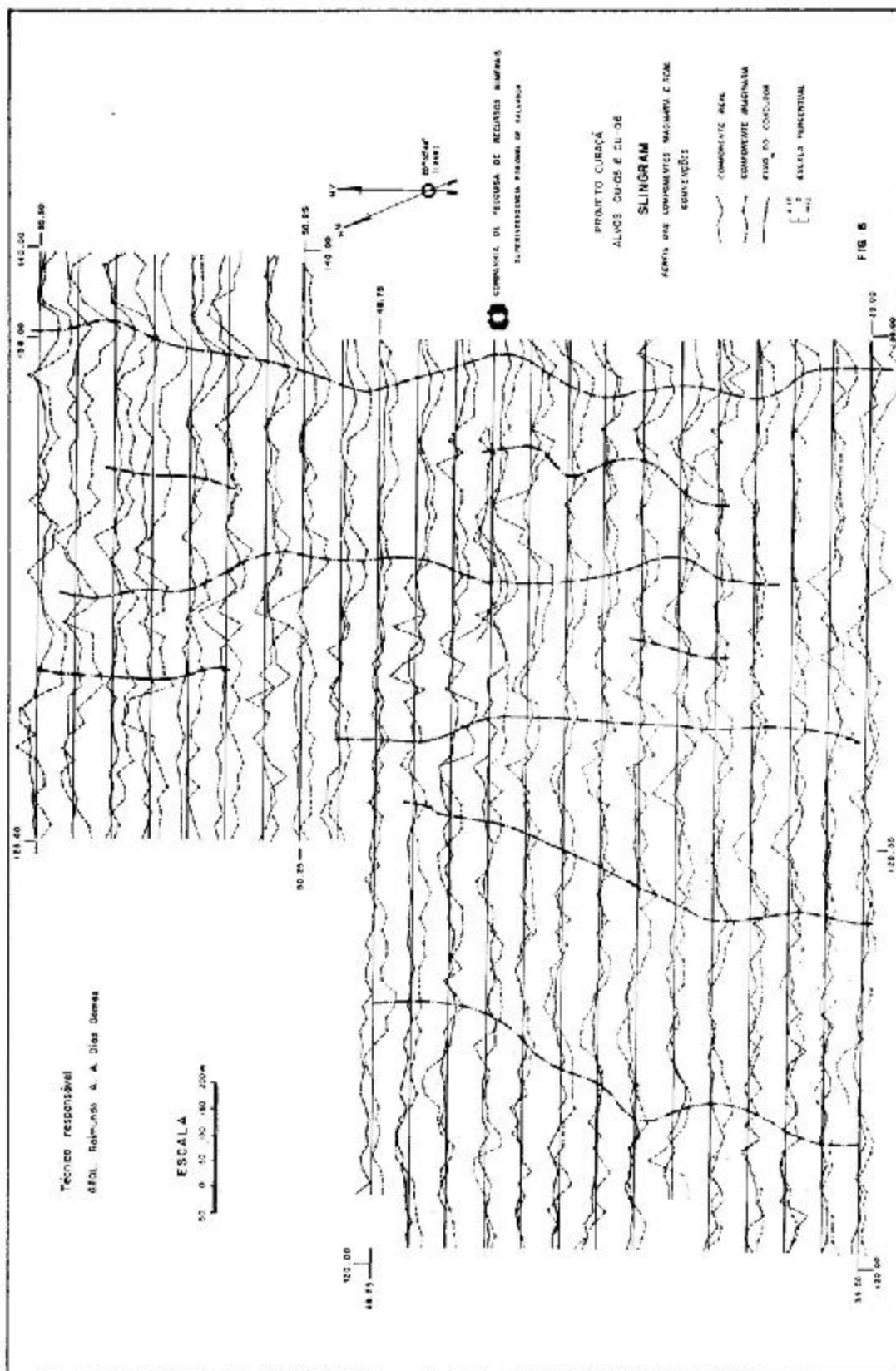


FIGURA - 3





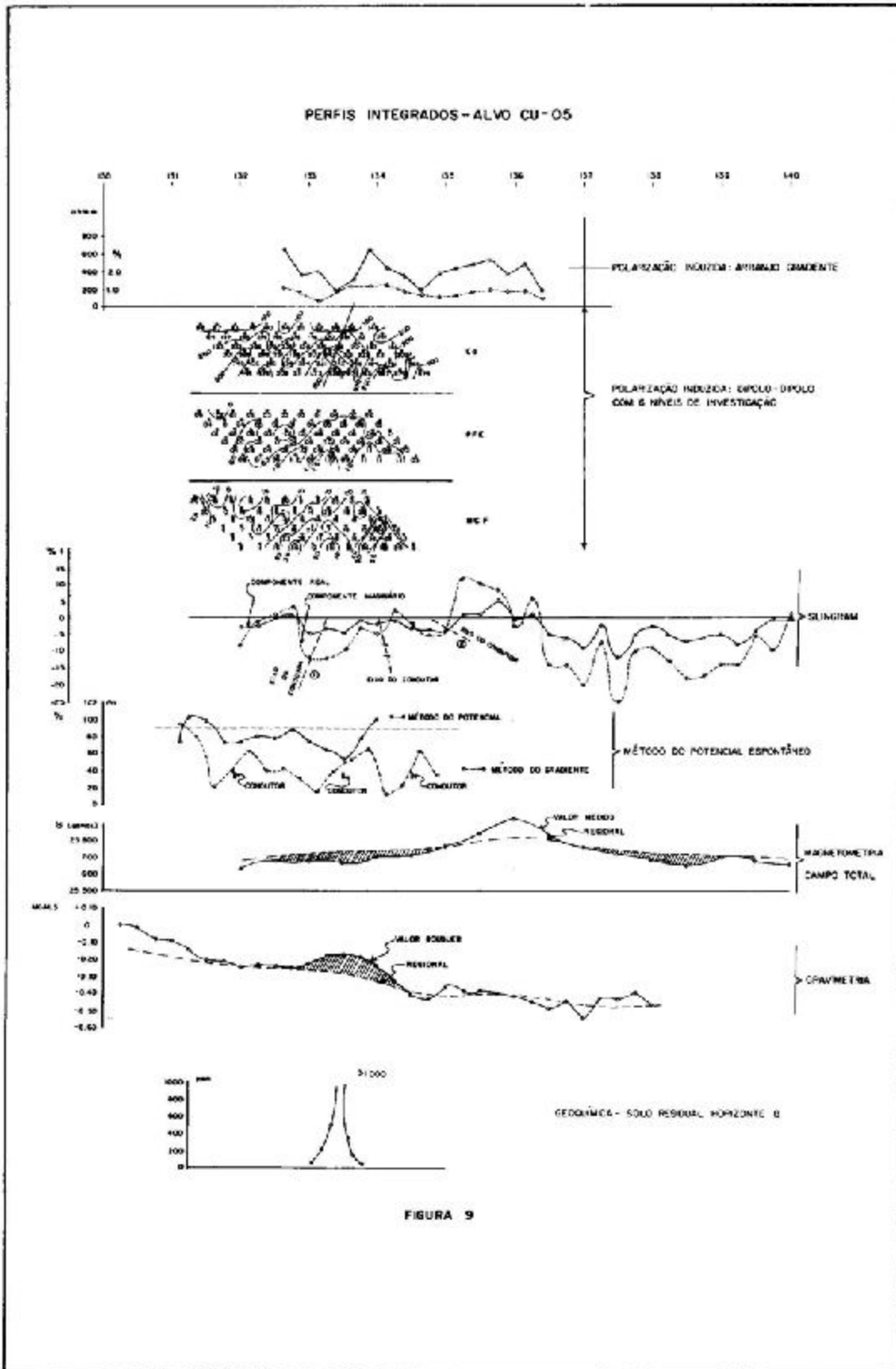


FIGURA 9

PERFIS INTEGRADOS PARA LOCAÇÃO DO FURO 2136 - CA IO BA LINHA 42.75

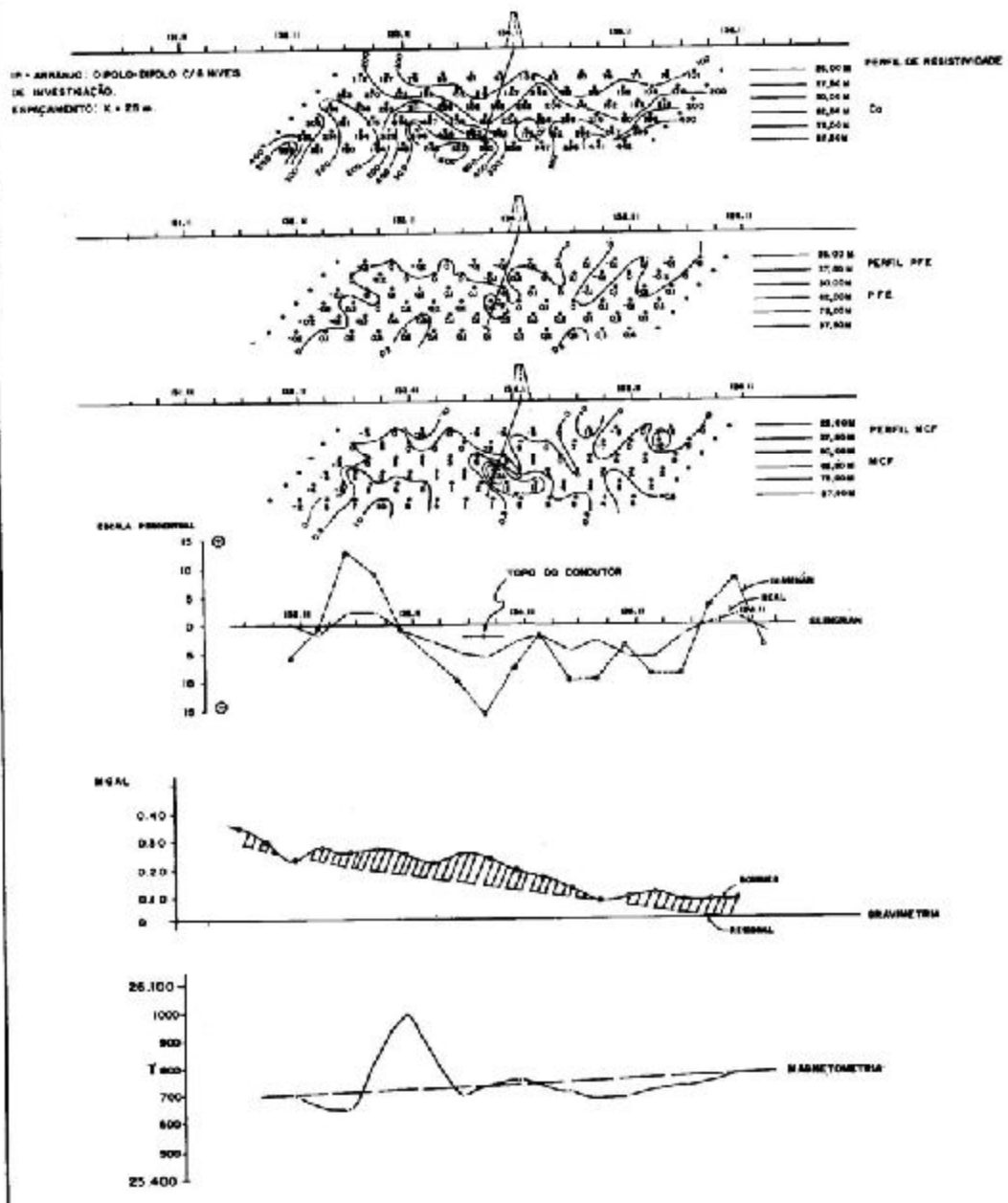


FIGURA 10

Substituiu parcialmente o método de Polarização Induzida, com vantagens, nas fases de semidetalhe e detalhe, devido ao seu baixo custo operacional e alta produção.

Mostrou que no Vale do Rio Curaçá o método é aplicável na pesquisa de minério de cobre disseminado, onde o teor está na faixa de 0,5 a 2%, embora os métodos eletromagnéticos sejam recomendados para mineralização com teor maior que 5%.

O método, além de ter mapeado os eixos condutores, possibilitou a determinação da forma, profundidade e largura do corpo condutor.

Os furos executados em função dos resultados de "Slingram" mostraram coerência com os dados quantitativos calculados, sendo que a profundidade encontrada para o topo do corpo mineralizado, pelos furos de sondagens, ficou em torno de 10 m, e a obtida pelo "Slingram" em torno de 13 m. Cuidados devem ser tomados na interpretação para os efeitos devido a material aluvionar e grafitoso.

As experiências com o método de "Slingram" reforça o nosso ponto de vista de que os métodos geofísicos de prospecção mineral devem ser interpretados e integrados com outros métodos e técnicas, (geologia, geoquímica, etc.).

Finalmente recomenda-se o método em apreço na rotina de prospecção do Vale do Rio Curaçá (malha 300 x 150 m), nas fases de semidetalhe e detalhe (75 x 50 m), imediatamente após trabalhos regionais de aerogeofísica (linhas de vôos espaçadas de 300 a 500 m) e de geologia (1:25.000).

BIBLIOGRAFIA

- KELLER, G. V. e FRISCHKNECHT — 1970 — *Electrical Methods in Geophysical Prospecting* — Pergamon Press — pp. 380-396.
- ORELLANA, ERNESTO — 1974 — *Prospeccion Geoelectrica por Campos Variables* — Madrid — Paraninfo — pp. 380-390.
- WARD, S.H. — 1971 — *Mining Geophysics* — Vol. II — Tulsa — The Society of Exploration Geophysics — pp. 244-247.
- STRANGWAY, D.W. — 1966 — *Mining Geophysics* — Vol. I — Tulsa — The Society of Exploration Geophysics — pp. 227-241.
- PARASNIS, D.S. — 1966 — *Mining Geophysics* — Amsterdam — Elsevier Publishing Company — pp. 132-135.
- OPERATING INSTRUCTIONS — 1970 — EM-17 — *Electromagnetic Survey Unit* — Ontario-Geonics LTD — 13 pp.

ESTUDO PALEOMAGNÉTICO DE SECÇÕES DO SUBGRUPO ITARARÉ

E.M. Paschoiati*
I.G. Pacca*

ABSTRACT

Partial results of a detailed paleomagnetic study of the Late Paleozoic Itararé Subgroup, Tubarão Group, from the Paraná Basin are presented. The program aims to contribute for a better definition of the apparent polar wander path for South America and the Permo-Carboniferous Calm Interval (PCR) of reversed polarity. Results refer to the analysis of seventy-three specimens of mudstones from seven different levels collected in the Sorocaba-Itapetininga region.

The samples have been submitted to thermal demagnetization treatment and all display a reversed magnetization. The corresponding Paleomagnetic Pole was determined at Lat. 54.0°S, Long. = 351.5°E.

I – INTRODUÇÃO

A curva de deriva polar aparente para a América do Sul está razoavelmente bem determinada até o Carbonífero Superior. Por outro lado, a existência de um grande intervalo de polaridade reversa chamado de Intervalo Calmo do Permo-Carbonífero (PCR), antes denominado Intervalo de Kiaman, com limites médios iguais a 227 e 313 m.a., propicia uma unidade cronológica global, útil para correlações estratigráficas. Dentro deste intervalo reverso, são conhecidos alguns eventos de polaridade normal.

Com o objetivo de obter dados para a melhor definição do intervalo PCR e da curva de deslocamento polar aparente para a América do Sul, desenvolve-se no Laboratório de Paleomagnetismo do IAG-USP estudo sistemático de seções do Grupo Tubarão, onde seja possível coletar seqüências de amostras orientadas que pareçam adequadas para análise paleomagnética. Este programa tem utilizado informações sobre estratigrafia física do Projeto Paleozóico Superior da América do Sul. Espera-se, em contrapartida, que os resultados paleomagnéticos forneçam subsídios para o trabalho de correlação geológica do Projeto.

Neste trabalho, apresentam-se resultados parciais de seis seções do Subgrupo Itararé localizadas nos Estados de São Paulo e Paraná.

II – GEOLOGIA E AMOSTRAGEM

O Subgrupo Itararé representa a seqüência glacial do Grupo Tubarão. É coberto pela seqüência pós-glacial, representada no Estado de São Paulo pela Formação Itapetininga e assenta-se sobre o embasamento Pré-Cambriano e formações devonianas ou pré-devonianas da Bacia do Paraná. Extensa bibliografia sobre a geologia do Subgrupo Itararé pode ser encontrada em Rocha-Campos (1967).

Evidências paleontológicas e palinológicas atribuem ao Subgrupo Itararé idades dentro do intervalo Carbonífero Superior-Permiano Inferior (Rocha-Campos, 1967), (Daermen e Quadros, 1970), (Rocha-Campos, 1973).

As seis seções amostradas, que foram ou estão sendo analisadas, correspondem aos seguintes sítios, indicados na figura 1:

1. Rodovia SP-300, km 159.9 – Córrego da Baronesa – Seção descrita por Rocha-Campos (1972). Coletados 24 blocos orientados de siltitos, calcários e arenitos, provenientes de 7 níveis, abrangendo uma espessura de aproximadamente 15 metros.

* Instituto Astronômico e Geofísico,
Universidade de São Paulo, Caixa Postal 30.627 – São Paulo – Brasil

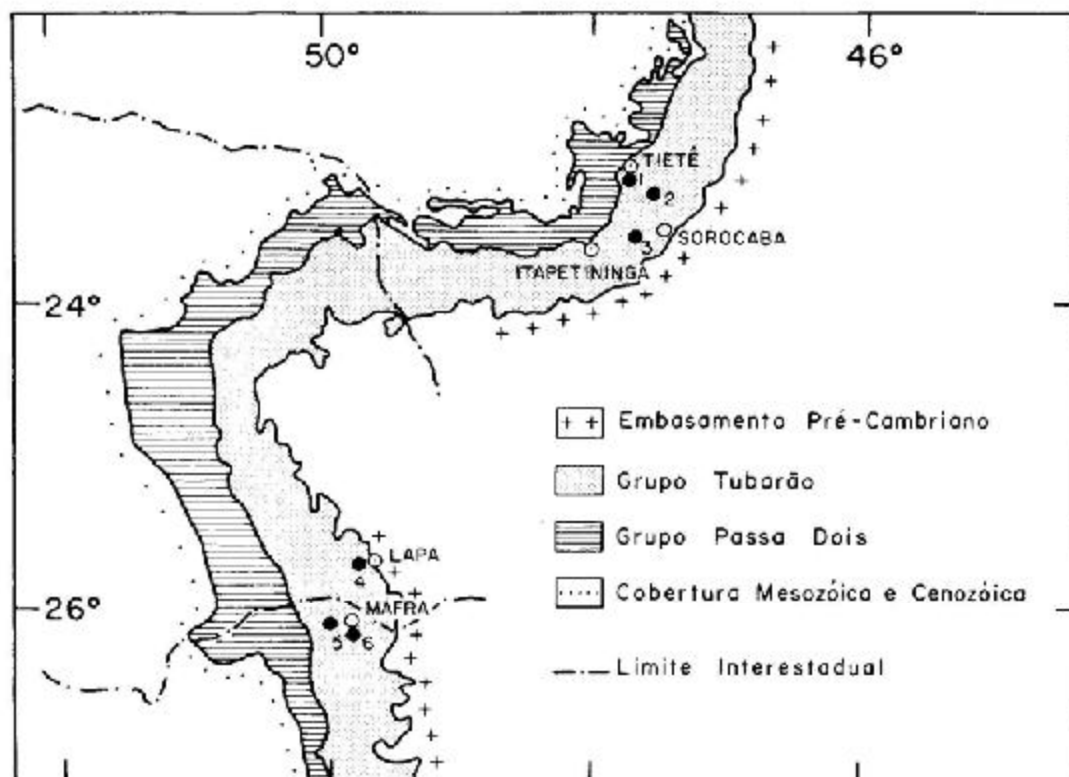


FIGURA 1

2. Rodovia SP-300, km 137.7 – Boituva – Seção descrita por Rocha-Campos (1972). Coletados 29 blocos orientados de ritmitos e arenitos, provenientes de 9 níveis, abrangendo uma espessura de aproximadamente 15 metros.
3. Rodovia SP-270, km 122.3 – Seção descrita por Rocha-Campos (1972). Coletados 19 blocos orientados de peloditos, provenientes de 4 níveis, abrangendo uma espessura de aproximadamente 10 metros.
4. Rodovia BR-476, km 65.2 – Pedreira D.E.R. – Seção descrita por Rocha-Campos (1972). Coletados 23 blocos orientados de diamictitos, ritmitos e folhelhos, provenientes de 8 níveis, abrangendo uma espessura de aproximadamente 11,5 metros.
5. Rodovia SC-21, km 20 – Pedreira Butiá – Seção descrita por Rocha-Campos (1966). Coletados 12 blocos orientados de diamictitos, provenientes de 4 níveis, abrangendo uma espessura de aproximadamente 8,5 metros.
6. Rodovia BR-116, km 109.1 – Pedreira Mafra – Seção descrita por Medeiros (1971). Coletados 12 blocos orientados de diamictitos, provenientes de 4 níveis, abrangendo uma espessura de aproximadamente 6,5 metros.

Foram utilizadas bússolas de sol e magnética para orientar as amostras.

III – ANÁLISE PALEOMAGNÉTICA

De cada bloco orientado, foram extraídos, em média, quatro discos de 2,5 cm de diâmetro e 2,5 cm de altura.

A magnetização remanescente natural dos discos foi medida utilizando-se um magnetômetro rotativo Dígico.

A estabilidade magnética foi testada, tomando-se um disco (piloto) de cada amostra, e submetendo-o a desmagnetizações térmicas em etapas de 50°C até 400°C. Desta maneira, determinou-se a melhor temperatura para a qual a magnetização remanescente estável foi isolada, isto é, quando não ocorreram mais mudanças significativas na direção, no tratamento a temperaturas mais altas.

Além do piloto, mais três discos de cada amostra foram submetidos à melhor temperatura, 300 a 350°C, para a definição da direção de magnetização remanescente estável.

As amostras dos sítios de n.ºs 1, 2 e 4 foram analisadas e revelaram-se insatisfatórias para estudos paleomagnéticos, devido a intemperismo ou a remagnetizações químicas muito estáveis, que não puderam ser eliminadas pelo tratamento de desmagnetização térmica. Os de n.ºs 5 e 6 ainda estão sendo analisados, e o de n.º 3 é a base deste trabalho.

Para o sítio 3, foram cortados e medidos 73 discos.

As amostras de n.ºs 13 e 15 não foram submetidas ao processo de desmagnetização, devido à fraca intensidade ($< 10^{-8}$ u.e.m.).

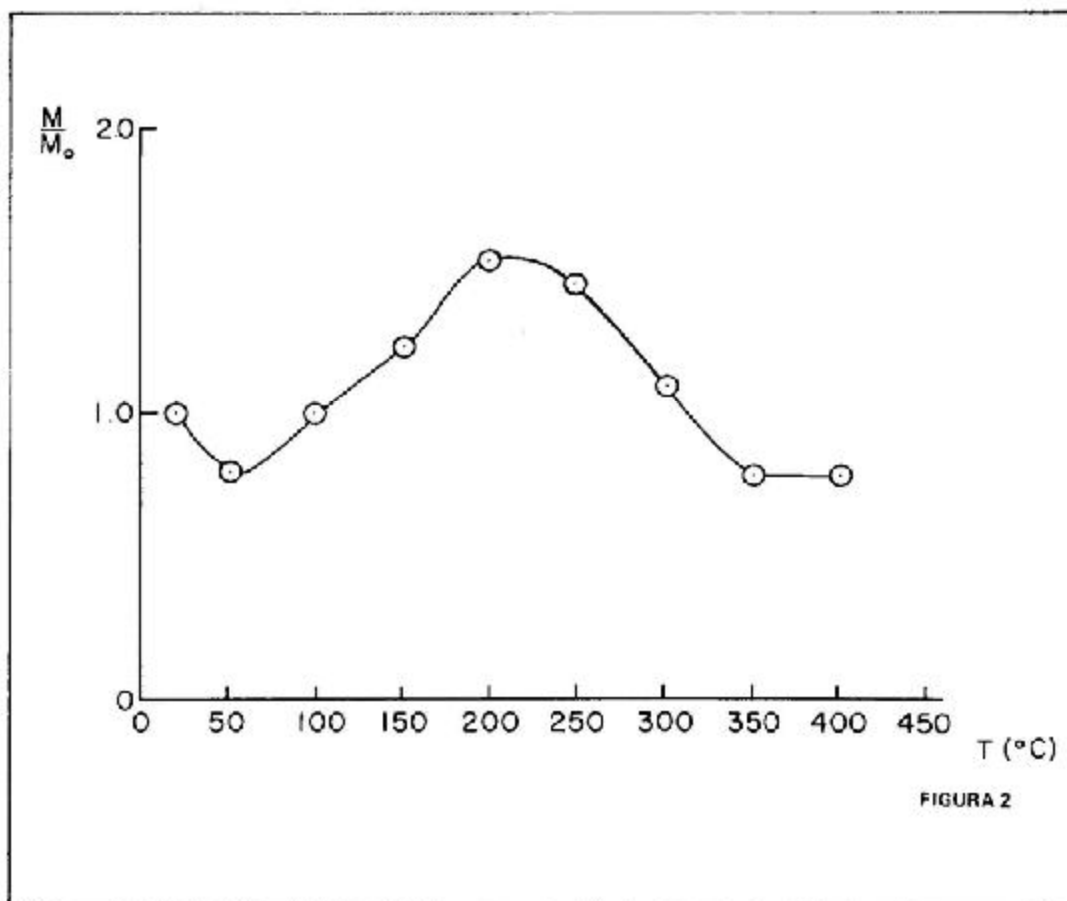


FIGURA 2

Exemplos de curvas de desmagnetização térmica ($M/M_0 \times T$) estão representados na figura 2. Tais curvas apresentam um comportamento típico às amostras de polaridade reversa: a magnetização remanescente natural (M.R.N.) possui uma componente secundária instável, cuja direção é a do campo magnético atual, de polaridade normal e, em contraposição, uma componente primária, de polaridade reversa. Com as sucessivas lavagens, a componente secundária vai sendo eliminada e, conseqüentemente, o vetor resultante tende a crescer, para depois decrescer, quando começa a ser eliminada também a primária.

A figura 3 mostra exemplo de variação da direção de magnetização com o tratamento térmico.

A direção de magnetização média antes e depois da lavagem, para cada nível, está representada em rede estereográfica, na figura 4. Note-se que antes da lavagem, seis níveis apresentavam-se reversos (inclinação positiva) em relação à direção do campo geomagnético atual, e um nível de polaridade normal (inclinação negativa), com círculo de confiança ($\alpha 95$) igual a 27.1° . Depois da lavagem, as direções da remanência estável tornaram-se bem agrupadas, apresentando os sete níveis polaridade reversa, com $\alpha 95 = 3.8^\circ$.

Atribuindo-se peso unitário a cada disco, calculou-se a direção média da magnetização estável para cada nível, utilizando-se o método estatístico de Fisher (1953) (Tabela I).

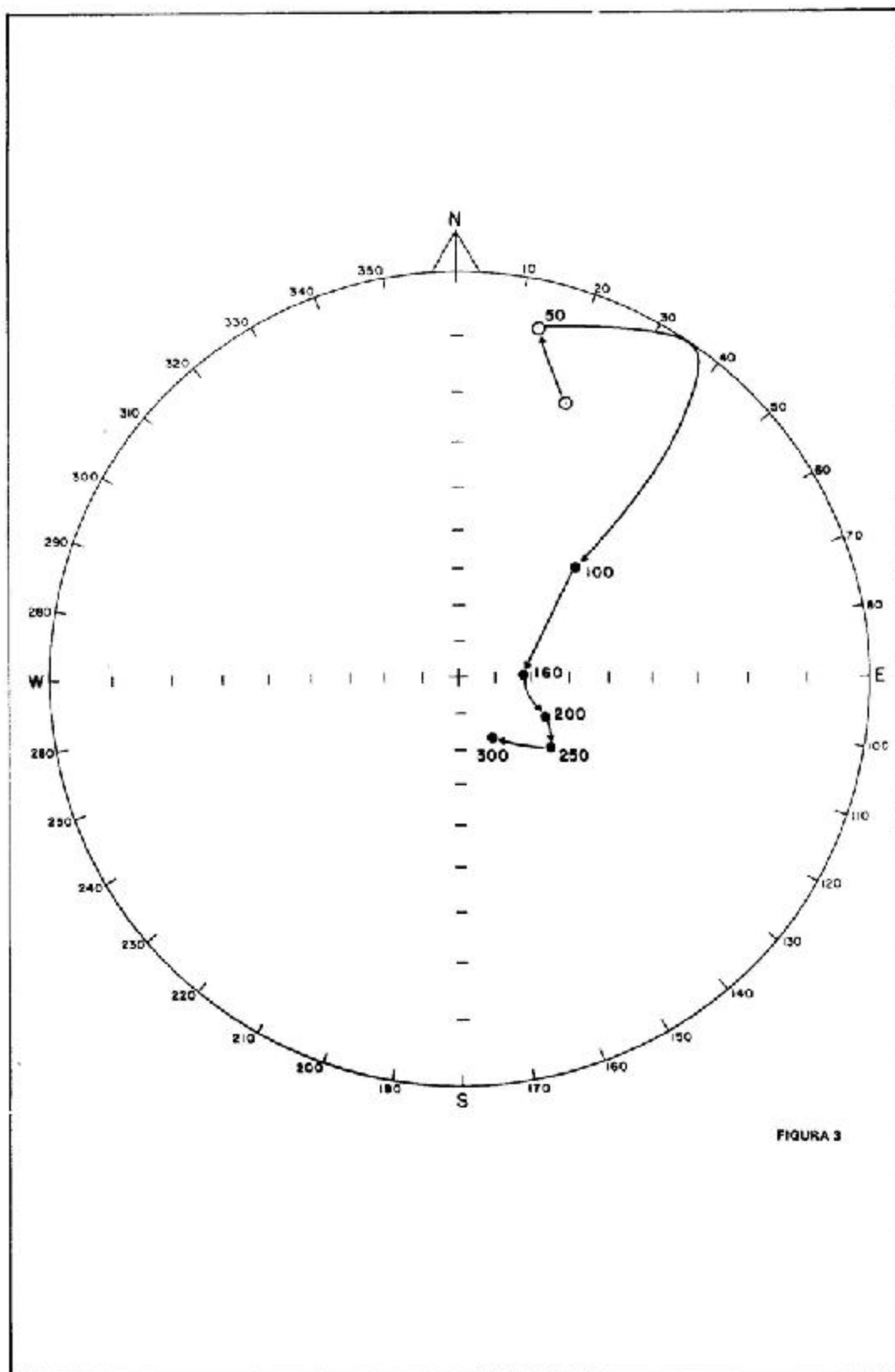


FIGURA 3

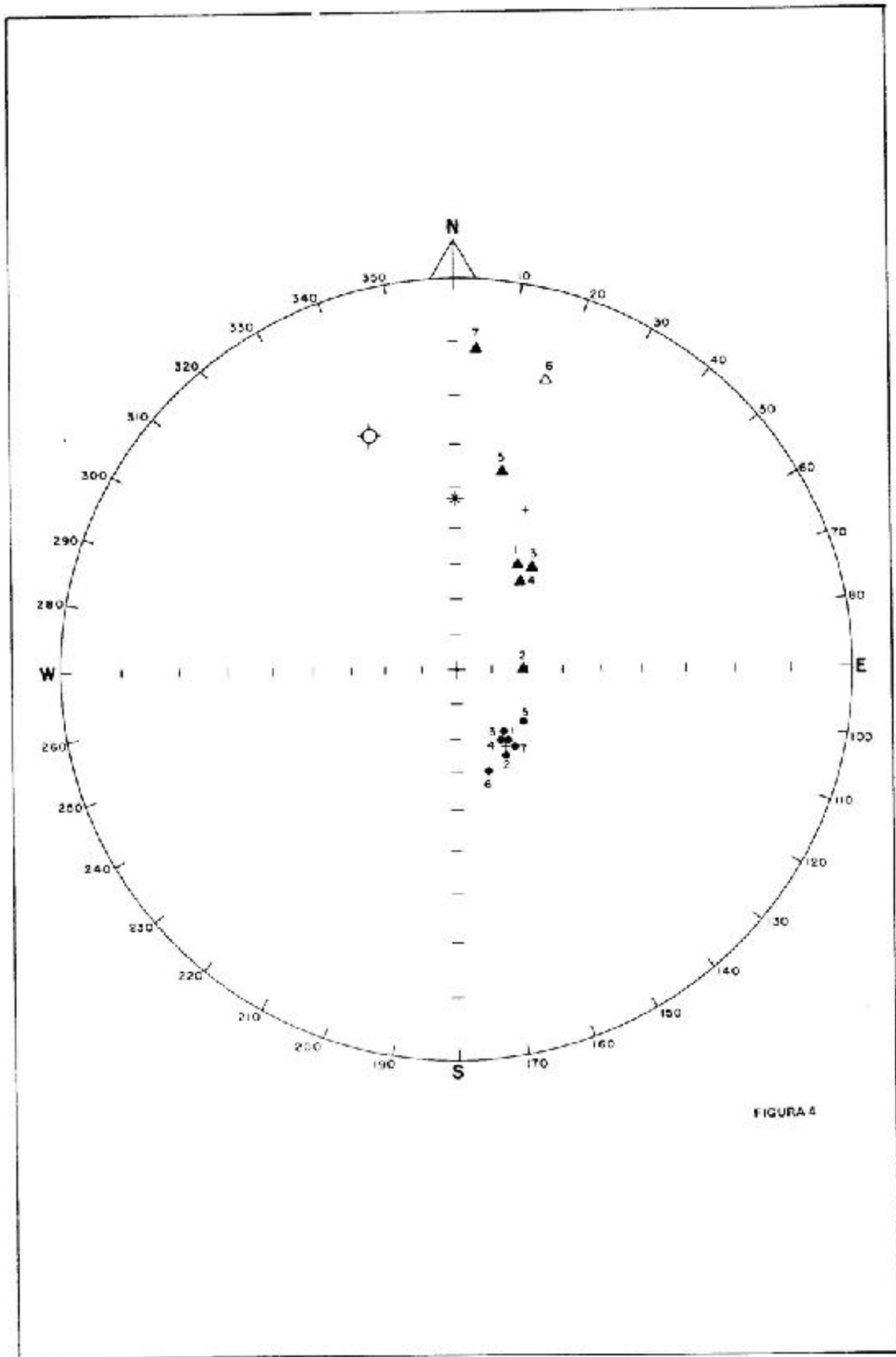


TABELA I

SUMÁRIO DOS DADOS PALEOMAGNÉTICOS DO SUBGRUPO ITARARÉ, GRUPO TUBARÃO RODOVIA BOROCARA-ITAPETININGA, ESTADO DE SÃO PAULO

| Sítio | Nível | Nº de amostras | Direção da M.R.N. em relação à paleo-horizontal | | | | Direção de magnetização depois lavagem | | | | Pólo geomagnético virtual | | | | | |
|-------|-------|----------------|---|---------|---------|-------|--|--------------|---------|---------|---------------------------|-------------------|-----------|------------|---------------------|--------------------|
| | | | Nº de discos | Dec (º) | Inc (º) | K | α_{95} (º) | Nº de discos | Dec (º) | Inc (º) | K | α_{95} (º) | Lat (º) S | Long (º) S | d ₁ (º) | d ₂ (º) |
| 1 | 1 | 1 | 4 | 5,9 | 11,3 | 106,0 | 8,0 | 4 | 142,7 | 64,4 | 106,9 | 8,8 | 52,4 | 356,9 | 11,3 | 14,1 |
| | 2 | 3 | 5 | 13,3 | -13,9 | 62,9 | 9,7 | 4 | 164,0 | 81,3 | 48,8 | 13,2 | 56,5 | 343,7 | 15,6 | 20,3 |
| | 3 | 3 | 12 | 12,7 | 35,3 | 13,2 | 12,3 | 12 | 128,2 | 66,5 | 113,1 | 4,0 | 42,3 | 356,6 | 5,4 | 6,8 |
| | 4 | 3 | 14 | 36,8 | 58,8 | 6,4 | 18,9 | 12 | 147,3 | 89,7 | 178,4 | 3,2 | 53,7 | 348,9 | 4,4 | 5,3 |
| | 5 | 3 | 12 | 36,2 | 54,3 | 70,5 | 5,2 | 12 | 144,3 | 88,8 | 194,5 | 3,1 | 80,8 | 345,6 | 4,5 | 5,3 |
| | 6 | 2 | 8 | 88,2 | 71,7 | 33,9 | 9,8 | 8 | 150,9 | 63,4 | 160,5 | 4,3 | 59,1 | 353,0 | 5,4 | 6,8 |
| | 7 | 4 | 15 | 31,1 | 55,0 | 24,2 | 7,9 | 15 | 144,7 | 89,8 | 84,9 | 4,1 | 52,7 | 352,6 | 5,4 | 6,7 |
| Média | | | 19 | 34,2 | 41,6 | 5,9 | 27,1 | 67 | 146,6 | 86,5 | 248,9 | 3,8 | 54,0 | 351,5 | $\alpha_{95} = 5,9$ | |

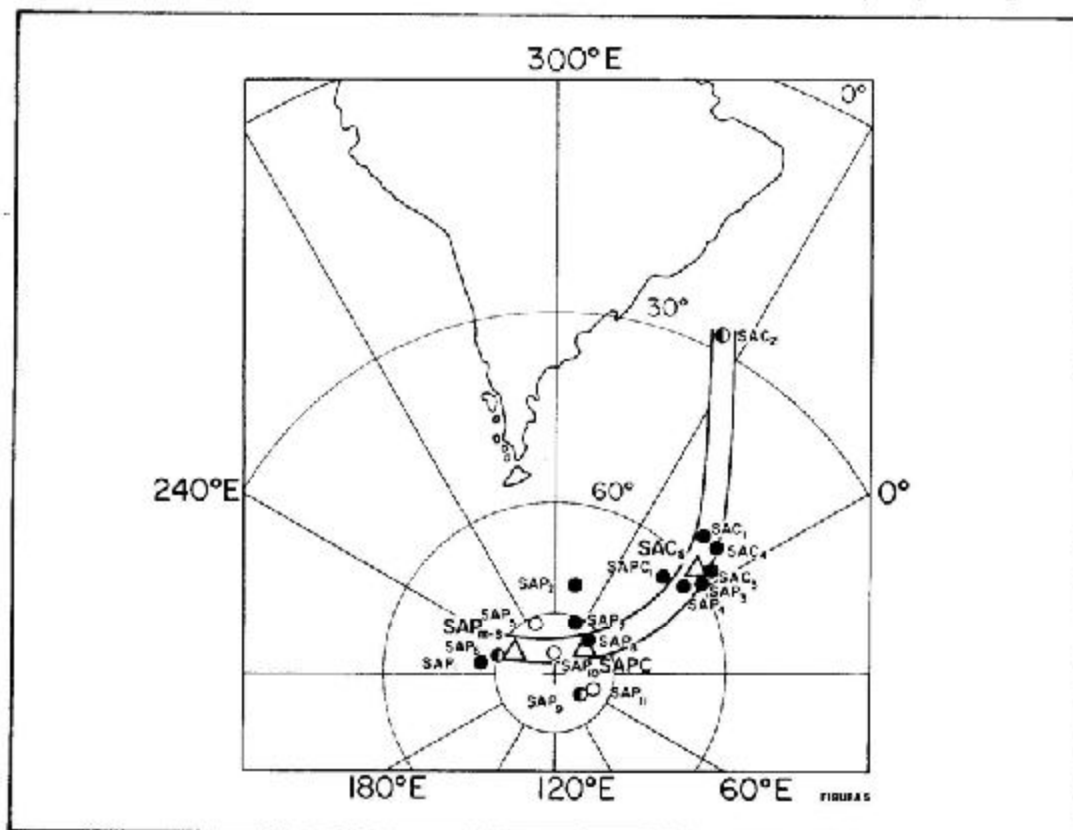
A ausência de magnetizações secundárias importantes é indicada pelo agrupamento em direção divergente do campo atual, como também pela presença de magnetização reversa.

A Tabela I também apresenta, em ordem estratigráfica, os pólos geomagnéticos virtuais de cada nível, visto representarem tempos geológicos distintos.

IV – RESULTADOS E DISCUSSÕES

A curva de deriva polar aparente no Paleozóico Superior para a América do Sul (Valencio, 1972), a qual inclui pólos paleomagnéticos que satisfazem um critério mínimo de confiança, é apresentada na figura 5. Tal curva inclui o pólo paleomagnético da Formação Irati, Grupo Passa Dois, representado como SAP₁₁, correspondendo a 83ºS, 54ºE, $\alpha_{95} = 3,4^\circ$ (Pascholati, E.M. et al., 1976).

O pólo do Subgrupo Itararé, SAC₄, foi calculado tomando-se a média dos pólos geomagnéticos virtuais apresentados na Tabela I e utilizando-se a estatística de Fisher. O pólo paleomagnético



obtido foi 54°S , 351.5°E , $\alpha_{95} = 5.9^{\circ}$ (fig. 5). Tal resultado é consistente com o pólo SAC₃ encontrado para sedimentos vermelhos do mesmo subgrupo, na região de Mococa, São Paulo: 57°S , 357°E , $\alpha_{95} = 15^{\circ}$ (Valencio, et al., 1975).

Levando-se em conta que a espessura amostrada foi de 10 metros, é de se supor que tal intervalo abranja, pelo menos, 10^4 anos e, portanto, que a variação secular tenha sido eliminada.

A posição do pólo SAC₄ enquadra-se no agrupamento de pólos paleomagnéticos assumidos como pertencentes ao Carbonífero Superior. A esse grupo de idade pertencem também os pólos da Formação Piauí (SAC₁) (Creer, 1964), Formação La Colina (SAP₃, SAP₄) (Valencio, 1972), (Embleton, 1970), Grupo Paganzo (SAPC₁) (Creer, 1965).

A estatística de Fisher foi utilizada para calcular a posição polar média para os pólos paleomagnéticos da América do Sul pertencentes ao Carbonífero Superior (SAC₁, SAC₃, SAC₄, SAPC₁, SAP₃, SAP₄), obtendo-se: 59°S , 353°E , $\alpha_{95} = 4.1^{\circ}$.

As amostras do Subgrupo Itararé apresentaram, todas elas, remanência magnética estável reversa, o que as situa no Intervalo Calmo do Permiano-Carbonífero (PCR), sem abranger nenhum dos eventos normais.

Com base na posição sobre a curva de deriva polar aparente para a América do Sul, Valencio et al. (1975) atribuíram idade carbonífera superior (Stefaniana) para os sedimentos vermelhos do Subgrupo Itararé da região de Mococa. O pólo SAC₄ do presente trabalho está em posição sobre a curva que parece indicar idade mais antiga. Entretanto, os círculos de confiança dos dois pólos se superpõem, o que não permite que se conclua qual das duas seções é mais antiga.

Este problema talvez se esclareça com o prosseguimento do programa de paleomagnetismo do Subgrupo Itararé.

O presente trabalho foi realizado com apoio da FAPESP e CNPq e é contribuição do Projeto do Paleozóico Superior da América do Sul (IGCP, Proj. Prop. nº 73/1/42).

BIBLIOGRAFIA

- CREER, K.M. — 1964 — *Paleomagnetism and the results of its application to South American rocks*. *Bol. Paranaense de Geografia*, 10-15, 93-138.
- CREER, K.M. — 1965 — *Paleomagnetic data from the Gondwanic continents*. *Phil. Trans. Royal Soc. A*: 258: 27-40.
- DAEMON, R.F. e QUADROS, L.P. — 1970 — *Bioestratigrafia do Neopaleozóico da Bacia do Paraná*. An. XXIV Congr. Soc. Bras. Geol.: 359-412.
- EMBLETON, B.J.J. — 1970 — *Nuevos estudios paleomagnéticos del Neopaleozóico (Paganzo II) de la República Argentina*. *Rev. Asoc. Geol. Argent.*, XXV, 1.
- FISHER, R.A. — 1953 — *Dispersion on a sphere*. *Royal Soc. London Proc. Sec. A.*, 217.
- MEDEIROS, R.A. — 1971 — *Roteiros das Excursões*, XXV Congr. Soc. Bras. Geol., São Paulo.
- PASCHOLATI, E.M., PACCA, I.G. e VILAS, J.F. — (em Impressão) — *Paleomagnetism of Sedimentary Rocks from the Permian Irati Formation, Southern Brazil*. *Rev. Bras. Geoc.*
- ROCHA-CAMPOS, A.C. — 1965 — *Novas ocorrências de fósseis marinhos no Grupo Tubarão em São Paulo e Santa Catarina*. *Bol. Soc. Bras. Geol.* 15(4): 5-13.
- ROCHA-CAMPOS, A.C. — 1967 — *The Tubarão Group in The Brazilian Portion of the Paraná Basin*, in Bigarella, J.J., Becker, R.D. e Pinto, I.D. (Eds), *Problems in Brazilian Gondwana Geology*, Curitiba, pp. 27-102.
- ROCHA-CAMPOS, A.C. — 1972 — *Excursion Guide Book, International Symposium on the Carboniferous and Permian Systems in South America*. *Acad. Bras. Ciênc.*
- ROCHA-CAMPOS, A.C. — 1973 — *Megafossil evidence on the age of the South America Gondwana glacial deposits*. *Abstracts, 3rd International Gondwana Symposium, Canberra, Austrália*.
- VALENCIO, D.A. — 1972 — *Intercontinental Correlation of Late Paleozoic South American rocks on the basis of their magnetic remanences*. *An. Acad. Bras. Ciênc.*, 44 (Suplemento): 357-364.
- VALENCIO, D.A., ROCHA-CAMPOS, A.C. e PACCA, I.G. — 1975 — *Paleomagnetism of some sedimentary rocks of the Late Paleozoic Tubarão and Passo Dois Groups, from the Paraná Basin, Brazil*. *Rev. Bras. Geoc.* 5 (3) 186-197.

EXPLICAÇÃO DAS FIGURAS

- Figura 1 — Esquema do mapa geológico com os sítios de amostragem: 1) Rodovia SP-300, km 159.9; 2) Rodovia SP-300, km 137.7; 3) Rodovia SP-270, km 122.3; 4) BR-476, km 65.2, Pedreira D.E.R.; 5) SC-21, km 17, Pedreira Butiá; 6) BR-116, km 108.1, Pedreira Mafra.
- Figura 2 — Exemplo de curva de desmagnetização térmica.
- Figura 3 — Exemplo da mudança de direção de magnetização com a temperatura (°C), em rede estereográfica.
- Figura 4 — Média de direção de magnetização para cada nível antes (O) e depois (Δ) da lavagem. Os símbolos O e * representam a direção do campo geomagnético e dipolar atuais, respectivamente. + representa a média com seu círculo de confiança.
- Figura 5 — Curva de deriva polar aparente do Paleozóico Superior, para a América do Sul. O e Δ representam os pólos paleomagnéticos e as médias para cada grupo de idade, respectivamente.

MÉTODO DE INTERPRETAÇÃO DE ANOMALIAS MAGNÉTICAS BASEADO NAS INTEGRAIS DOS MOMENTOS DAS COMPONENTES

Jorge Wilson Delgado Leão*
José Seixas Lourenço†

RESUMO

O objetivo do trabalho consiste em desenvolver uma metodologia para determinar os parâmetros de um corpo causador de uma anomalia magnética. Essa metodologia baseia-se na utilização de expressões analíticas, derivadas para as integrais finitas dos momentos da anomalia de intensidade total e das componentes H_x , H_y e H_z ao longo dos três eixos de um sistema de coordenadas cartesianas. Por meio do ajuste entre essas expressões analíticas e as integrais numéricas finitas dos momentos das componentes magnéticas obtidas a partir de um levantamento geofísico, pode-se computar, através de um processo iterativo, os parâmetros de magnetização, a posição, a profundidade e as dimensões de um corpo anômalo.

No caso em que são conhecidas as medidas de somente uma componente magnética, ainda é possível aplicar o método, pois as demais componentes podem ser obtidas por um esquema de filtragem matemática.

A metodologia foi testada com sucesso para modelos dipolo pontual e linha de dipolos os quais são muito utilizados em Geofísica para interpretar anomalias magnéticas produzidas por corpos geológicos que possuem uma ou duas dimensões horizontais muito menores do que a profundidade.

ABSTRACT

The objective of this work is to develop a methodology to determine the parameters of a body causing a magnetic anomaly. This methodology is based on the use of analytic expressions, derived for the finite integrals of the moments of the anomaly of total intensity and of the H_x , H_y and H_z components, according to the cartesian coordinate system. By fitting these analytic expressions and the numerical integrals of the moments of the magnetic components obtained from a geophysical survey, the parameters of magnetization, position, depth and dimensions of the anomalous body can be obtained through an iterative process.

When only one magnetic component is known, the method is still applicable, since the other components may be obtained by means of a mathematical filtering schema.

This methodology was successfully tested for point dipole and line of dipoles models, which are widely used in Geophysics to interpret magnetic anomalies caused by geologic bodies which have one or two horizontal dimensions much less than the depth.

I — INTRODUÇÃO

Um contraste de magnetização em subsuperfície, produz um campo magnético anômalo que se superpõe ao campo magnético normal da Terra. Geralmente, esse contraste de magnetização está associado com estruturas geológicas e o estudo do campo magnético anômalo pode fornecer informações sobre os parâmetros característicos destas estruturas, tais como: dimensões, profundidade e susceptibilidade magnética.

Em levantamentos aeromagnéticos geralmente determinam-se as medidas da intensidade do vetor campo magnético total resultante da superposição do vetor campo anômalo com o campo normal da Terra. Subtraindo o campo geomagnético normal tem-se a "anomalia de campo total" a qual é utilizada para representar o campo magnético produzido por corpos anômalos localizados em subsuperfície. Em geral a interpretação quantitativa dos dados da anomalia de campo total é baseada na

* Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas — Caixa Postal 1611 — Universidade Federal do Pará — Campus Universitário do Guamá — Belém — Pará — Brasil.

hipótese de que essas anomalias são causadas por corpos isolados de rocha, uniformemente magnetizados.

Um dos métodos mais comuns de interpretação quantitativa, consiste no estudo de perfis selecionados a partir do mapa de contorno dos isovalores da anomalia de campo total. Uma grande quantidade desses métodos, utilizam alguns pontos notáveis do perfil, tais como: pontos de inflexão, pontos de máximo ou mínimo da anomalia e pontos onde a anomalia atinge a metade do seu valor máximo; tais pontos são empregados para medir distâncias, como por exemplo; a distância horizontal entre a parte essencialmente reta do perfil, distância horizontal entre os pontos onde a anomalia tem a metade do seu valor máximo ("half-width"). A combinação dessas distâncias permite obter quantidades adimensionais, denominadas "parâmetros característicos", e construir curvas características desses parâmetros para o modelo escolhido. Calculando-se o valor de parâmetros característicos, a partir dos perfis extraídos dos mapas de contorno dos dados de anomalia de campo total e consultando-se as curvas características, é possível obter estimativas das dimensões horizontais e principalmente profundidade do corpo magnetizado. Como referência para esse método de interpretação utilizando pontos notáveis citam-se: Peters (1949), Smellie (1956), Grant e Martin (1966) e Hall (1969). A grande limitação desse método é que erros podem ser introduzidos se os pontos notáveis escolhidos estiverem deslocados em decorrência de interferências produzidas por anomalias vizinhas à anomalia em estudo, ou por ruído nas medidas.

Um método mais preciso do que o anterior para interpretação em perfis, é o método de ajuste de curvas ("curve-matching"). Ele consiste em obter curvas normalizadas independentes da escala, a partir de um perfil observado situado perpendicularmente ao eixo principal da anomalia de campo total e superpor estas curvas com famílias de curvas teóricas obtidas para modelos. Essas curvas teóricas fornecem valores de parâmetros índices, que permitem estimar a profundidade, dimensões horizontais, o mergulho e a magnetização do corpo anômalo caracterizado pelo modelo escolhido. Como referência pode-se citar Hutchinson (1958) e Gay (1963), que desenvolveram métodos de interpretação por ajuste de curvas para anomalias produzidas por corpos tabulares infinitamente longos e de extensão infinita em profundidade. Os métodos de ajuste de curvas descritos acima, estão sujeitos à capacidade manual e visual do interpretador em escolher a curva teórica de melhor ajuste.

Recentemente, foram desenvolvidos métodos de interpretação em perfis utilizando procedimentos iterativos, baseados em mínimos quadrados, que fazem ajuste automático, por intermédio de computadores digitais, entre o perfil observado e perfis computados para os parâmetros do modelo escolhido (Johnson, 1969; Mc Grath e Hood, 1970). A maioria dos métodos de interpretação quantitativa de perfis, são projetadas para interpretação de corpos bidimensionais.

Os métodos de interpretação quantitativa bidimensional dos dados, em geral fornecem resultados mais precisos do que aqueles de interpretação em perfis. Bhattacharyya (1966) desenvolveu um método baseado no modelo de prisma tridimensional, o qual utiliza as características bidimensionais da porção central da anomalia. A precisão deste método é fortemente influenciada pela posição do centro do corpo anômalo, a qual é de difícil determinação principalmente em baixas latitudes.

Whitehill (1973) desenvolveu um método de interpretação, para anomalias caracterizadas por prisma tridimensional, que utiliza uma quantidade arbitrária de pontos selecionados em um mapa de contorno da anomalia de campo total. Este método determina automaticamente as dimensões e susceptibilidade magnética e a posição do centro do prisma, através da técnica dos mínimos quadrados. Uma restrição do método é a suposição de que o corpo está magnetizado somente por indução, pois é bastante conhecido que a existência de magnetização remanente pode alterar completamente a forma de anomalia observada.

Helbig (1963), Bhattacharyya (1967) mostraram teoricamente que as componentes do campo magnético, ao longo dos três eixos coordenados, podem ser utilizadas para determinar o vetor magnetização total do corpo. Eles mostraram que empregando as integrais dos momentos de primeira ordem das três componentes magnéticas sobre o plano horizontal infinito, obtém-se diretamente as três componentes do vetor magnetização, sem necessidade de estabelecer quaisquer hipóteses sobre a forma ou profundidade do corpo anômalo. Lourenço (1972) analisou a possibilidade de aplicação prática dessas integrais, quando elas são avaliadas sobre áreas finitas. Foi observado que para obter bons resultados é necessário que o centro do corpo anômalo esteja diretamente abaixo do centro da área de medida. Além dessa dificuldade, verifica-se que o único parâmetro determinado por esse método é o vetor magnetização.

O presente trabalho consiste em desenvolver uma nova metodologia, que permita determinar não somente os parâmetros do vetor magnetização como também as dimensões e a profundidade do topo do corpo anômalo, supondo que ele pode ser caracterizado por um modelo adequadamente escolhido. Este método, baseia-se em expressões analíticas das integrais dos momentos de ordem zero e primeira ordem das três componentes magnéticas sobre áreas finitas e utiliza um método iterativo para determinação automática dos parâmetros do corpo causados da anomalia magnética.

II – METODOLOGIA UTILIZADA PARA OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS

É possível estudar o campo magnético gerado por um corpo uniformemente magnetizado analisando-o como uma distribuição contínua de dipolos magnéticos em um volume V . O potencial escalar magnético produzido por essa distribuição, num ponto exterior ao volume V é dado por:

$$\Delta V_a = \int_V \frac{\vec{j}(\vec{\rho}) \cdot \vec{r}}{r^3} dv' \quad (1)$$

onde: $\vec{\rho} = x' \vec{i} + y' \vec{j} + z' \vec{k}$ é o vetor posição de um elemento de volume dv'

$\vec{j}(\vec{\rho})$ é o vetor magnetização (momento de dipolo magnético por unidade de volume)

$$\vec{R} = x \vec{i} + y \vec{j} + z \vec{k}$$

$$\vec{r} = \vec{R} - \vec{\rho}$$

$$|\vec{r}| = r = [(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2]^{1/2}$$

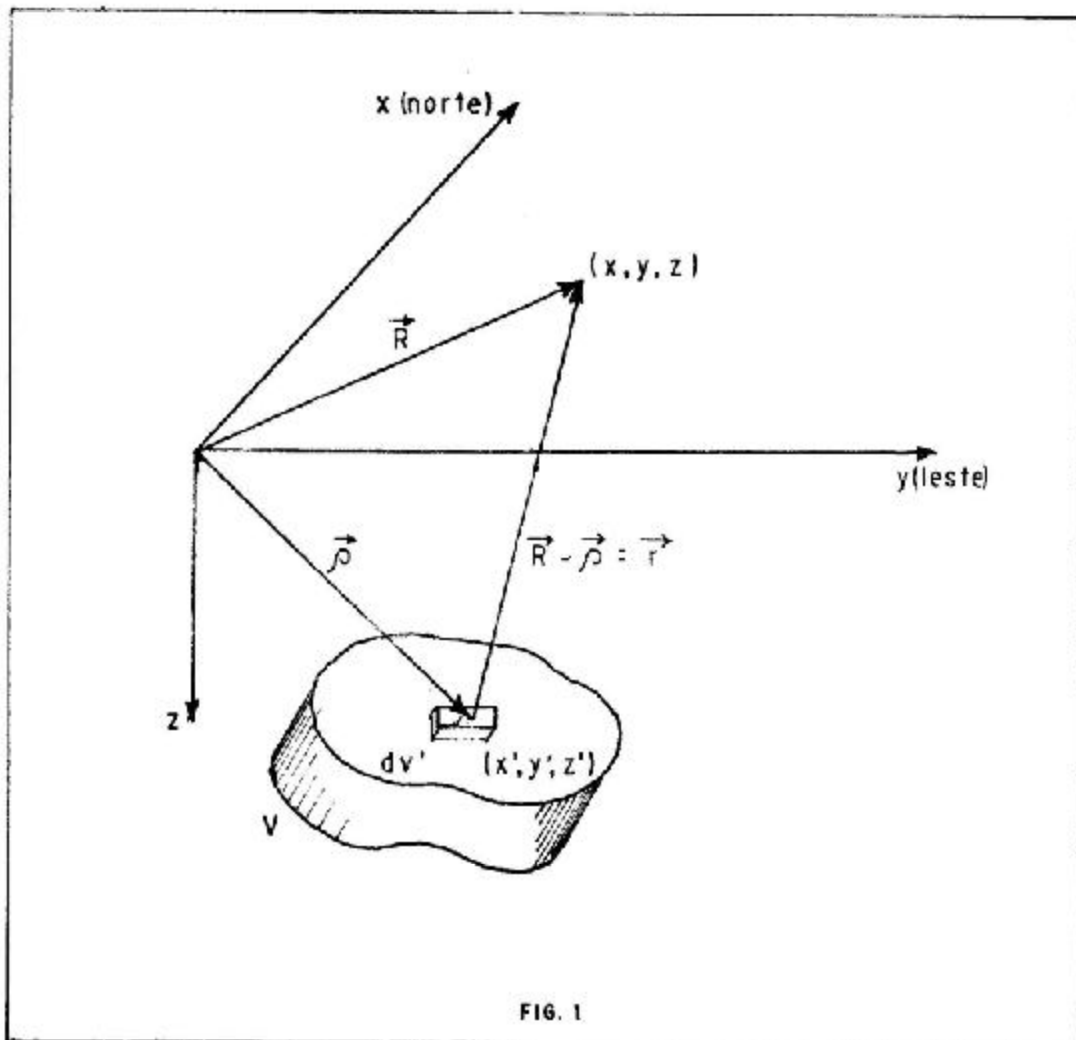


FIG. 1

A figura 1 ilustra o sistema de coordenadas e a distribuição do volume V.

O vetor campo magnético é:

$$\vec{T}_a = -\text{grad}(\Delta V_a) \quad (2)$$

Por meio das equações (1) e (2) obtém-se

$$\vec{T}_a = \int_V \left\{ \frac{3[\vec{J}(\vec{\rho}) \cdot \vec{r}]\vec{r}}{r^5} - \frac{\vec{J}(\vec{\rho})}{r^3} \right\} dv'$$

A partir de \vec{T}_a , obtido acima, pode-se escrever as componentes H_x , H_y , H_z e a anomalia de campo total ΔT , medidas no plano $z = 0$, como:

$$\left. \begin{aligned} H_x &= \vec{i} \cdot \vec{T}_a = H_x(x, y, x_0, y_0, l, D, J, h, \vec{f}) \\ H_y &= \vec{j} \cdot \vec{T}_a = H_y(x, y, x_0, y_0, l, D, J, h, \vec{f}) \\ H_z &= \vec{k} \cdot \vec{T}_a = H_z(x, y, x_0, y_0, l, D, J, h, \vec{f}) \\ \Delta T &= \vec{t}_0 \cdot \vec{T}_a = H_t(x, y, x_0, y_0, l, D, J, h, \vec{f}) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

onde:

(x_0, y_0) são as coordenadas da projeção do centro do corpo anômalo sobre o plano de medida xOy .

l, D e J são, respectivamente, a inclinação, a declinação e a intensidade do vetor \vec{J} .

h é a profundidade do topo do corpo anômalo.

\vec{f} é um vetor cujas componentes são as dimensões e orientação do corpo

\vec{t}_0 é um vetor no sentido do campo normal da Terra.

H_t é a componente do vetor campo anômalo na direção \vec{t}_0 .

Seja A uma área retangular, situada no plano $z = 0$, com lados paralelos aos eixos O_x e O_y de dimensões $2a$ e $2b$ respectivamente, e centro na origem. Utilizando as componentes obtidas em (3), pode-se calcular expressões analíticas para as integrais finitas dos momentos de ordem zero e de primeiro ordem das componentes H_x , H_y , H_z e H_t , sobre a área A e escrever um sistema de 12 equações abaixo relacionadas:

$$\left. \begin{aligned} \int_{-b}^b \int_{-a}^a H_m dx dy &= F_i(x_0, y_0, l, D, J, h, \vec{f}, a, b), \quad (i = 1, 2, 3, 4) \\ \int_{-b}^b \int_{-a}^a x H_m dx dy &= F_i(x_0, y_0, l, D, J, h, \vec{f}, a, b), \quad (i = 5, 6, 7, 8) \\ \int_{-b}^b \int_{-a}^a y H_m dx dy &= F_i(x_0, y_0, l, D, J, h, \vec{f}, a, b), \quad (i = 9, 10, 11, 12) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

onde:

F_i são funções, deduzidas analiticamente, que expressam as integrais finitas dos momentos das componentes

$m = x, y, z, t$

Convém esclarecer que para a determinação analítica das funções F_j faz-se necessário supor um modelo para o corpo anômalo, visto que a obtenção das componentes por (3) requer o conhecimento das dimensões e disposição espacial do volume V . Os valores das integrais dos primeiros membros em (4) podem ser obtidos a partir de dados geofísicos. A resolução do sistema (4) permitirá encontrar as dimensões, a posição e a magnetização de um corpo anômalo.

Na prática as componentes do campo magnético anômalo são representadas por um arranjo de valores discretos, tomados nos pontos de uma malha retangular de área $2a \times 2b$ e espaçamento uniforme s , então:

$$H_m(x, y, 0) \equiv H_m(j_s, k_s) \equiv H_m(j, k)$$

$$j = -M/2, \dots, -1, 0, 1, \dots, M/2$$

$$k = -N/2, \dots, -1, 0, 1, \dots, N/2$$

$$M = 2a/s, N = 2b/s \text{ são números inteiros.}$$

As integrais dos primeiros membros nas equações (4), pode ser computadas numericamente por:

$$\left. \begin{aligned} & \int_{-a}^a \int_{-b}^b H_m dx dy \approx S^2 \sum_{j=-M/2}^{M/2} \sum_{k=-N/2}^{N/2} \{ H_m(j, k) + H_m(j+1, k) + H_m(j, k+1) + \\ & \quad + H_m(j+1, k+1, k+1) \} / 4 = S_i, \quad (i = 1, 2, 3, 4) \\ & \int_{-b}^b \int_{-a}^a x H_m dx dy \approx S^2 \sum_{j=-M/2}^{M/2} \sum_{k=-N/2}^{N/2} \{ j H_m(j, k) + (j+1) H_m(j+1, k) + \\ & \quad + (j+1) H_m(j+1, k+1) + H_m(j, k+1) \} / 4 = S_i, \quad (i = 5, 6, 7, 8) \\ & \int_{-b}^b \int_{-a}^a y H_m dx dy \approx S^2 \sum_{j=-M/2}^{M/2} \sum_{k=-N/2}^{N/2} \{ k H_m(j, k) + (k+1) H_m(j+1, k+1) + \\ & \quad + k H_m(j+1, k) + (k+1) H_m(j, k+1) \} / 4 = S_i, \quad (i = 9, 10, 11, 12) \end{aligned} \right\} (5)$$

Especificados os valores de a e b , o sistema de equações (4) será resolvido utilizando métodos de minimização. Este consiste em procurar determinar os parâmetros do modelo que possibilitem o melhor ajuste, no sentido dos mínimos quadrados, entre as funções F_j de (4) — calculadas analiticamente para as componentes exatas do modelo — e os valores S_j computado por (5) usando as componentes que seriam obtidas através de um levantamento geofísico. Para isso, deve-se encontrar os parâmetros $x_0, y_0, l, D, J, h, \vec{f}$ que minimizam a função:

$$\sigma = \sigma(x_0, y_0, l, D, J, h, \vec{f}) = \sum_{i=1}^n \{ (F_i - S_i) W_i \}^2 \quad (6)$$

onde:

n é o número de integrais dos momentos das componentes que serão utilizados para definir σ .

W_i são pesos constantes escolhidos arbitrariamente

σ será denominado "função objetivo"

O método utilizado para minimizar a função objetivo é o "método dos poliedros flexíveis" devido a Nelder e Mead (1964).

Nota-se que o valor mínimo de n deve coincidir com o número de parâmetros a determinar para o modelo escolhido. Portanto não é obrigatório utilizar todas as 12 integrais dos momentos para definir a função objetivo. Em geral, quanto maior o número de integrais utilizados, melhor será a precisão obtida nos parâmetros calculados pelo método.

III – APLICAÇÃO DO MÉTODO USANDO ANOMALIAS TEÓRICAS

III.1 – Obtenção das componentes do campo magnético

A metodologia descrita na seção anterior será aplicada para modelos dipolo pontual e linha de dipolos magnéticos. O modelo dipolo pontual é muito utilizado em geofísica para interpretar anomalias produzidas por corpos geológicos que possuem as dimensões horizontais muito menores do que a profundidade. O modelo linha de dipolos é empregado na interpretação de anomalias produzidas por corpos alongados de pequena espessura em relação à profundidade.

Convém enfatizar que a formulação das integrais finitas exatas dos momentos envolve m ($m \leq 4$) componentes do campo magnético produzido pelo modelo. Portanto, supõe-se que os valores das m componentes do campo magnético produzido pelo corpo anômalo podem ser obtidas de alguma maneira.

Usualmente em um levantamento magnético, são efetuados as medidas de apenas uma componente do campo magnético. Em casos de levantamentos aéreos geralmente determinam-se os valores de anomalia de campo total $\Delta T \cong H_t$.

Considere-se que são conhecidos apenas os valores da anomalia de campo total, em $M \times N$ pontos de uma malha regular superposta a uma área retangular $2a \times 2b$ com centro na origem do sistema de coordenadas, lados horizontais e paralelos aos eixos Ox e Oy e espaçamento $s = 1$. Além disso suponha-se que todas as dimensões lineares são expressas em termos da unidade de espaçamento.

Desse modo a anomalia de campo total será representada por:

$$H_t(x, y, 0) \cong H_t(j_s, k_s) \cong H_{tjk}$$

$$j = 0, 1, 2, \dots, M-1$$

$$k = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

É possível determinar as componentes H_x , H_y e H_z do campo magnético a partir da componente H_t , utilizando um método de filtragem matemática desenvolvido por Lourenço (1972) o qual baseia-se no fato de que qualquer componente do campo magnético satisfaz a equação de Laplace e portanto pode ser representada por um desenvolvimento em série de Fourier harmônica finita bidimensional. Este método de filtragem consiste em deduzir "filtros conversores" G_{xmn} , G_{ymn} , G_{zmn} , estabelecidos no domínio das frequências, os quais permitem obter as transformadas de Fourier discretas W_{xmn} , W_{ymn} , e W_{zmn} das componentes H_x , H_y e H_z , respectivamente, a partir das expressões.

$$W_{xmn} = i \frac{K_m}{q_{mn}} W_{tmn} = G_{xmn} \cdot W_{tmn}$$

$$W_{ymn} = i \frac{K_n}{q_{mn}} W_{tmn} = G_{ymn} \cdot W_{tmn}$$

$$W_{zmn} = \frac{P_{mn}}{q_{mn}} W_{tmn} = G_{zmn} \cdot W_{tmn}$$

onde:

$$W_{tmn} = \frac{1}{MN} \sum_{j=0}^{M-1} \sum_{k=0}^{N-1} H_{tjk} e^{-2\pi i \left(\frac{jm}{M} + \frac{kn}{N} \right)}$$

$$K_m = \frac{2\pi m}{M}, \quad K_n = \frac{2\pi n}{N}$$

$$p_{mn} = (K_m^2 + K_n^2)^{1/2}$$

$$q_{mn} = \gamma_0 p_{mn} + i(\gamma_0 K_m + \beta_0 K_n)$$

i é a unidade imaginária.

sendo:

$$m = -N/2, \dots, -1, 0, 1, \dots, M/2$$

$$n = -N/2, \dots, -1, 0, 1, \dots, N/2$$

$\alpha_0, \beta_0, \gamma_0$ os cossenos diretores do campo normal da Terra.

Finalmente as componentes H_x, H_y e H_z serão obtidas a partir do seguinte desenvolvimento em série de Fourier finita:

$$H_{ujk} = \sum_{n=-N/2}^{N/2} \sum_{m=-M/2}^{M/2} W_{um} e^{2\pi i \left(\frac{jm}{M} + \frac{kn}{N} \right)}$$

onda

$u = x, y, z$

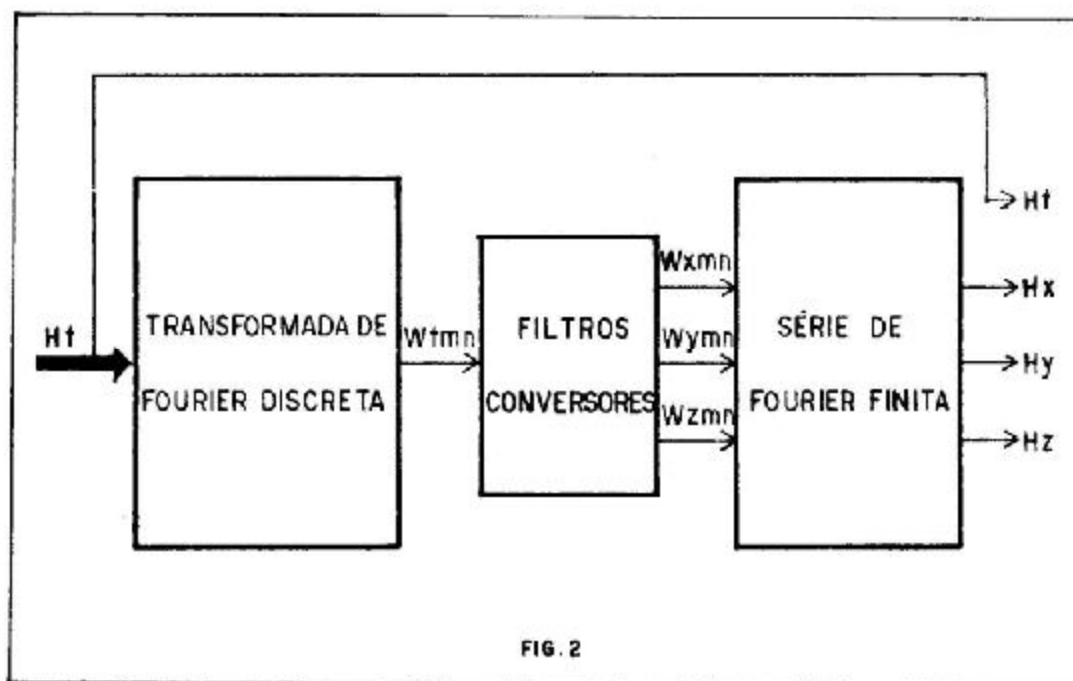


FIG. 2

A figura 2 ilustra as várias etapas deste método de filtragem.

Na prática, os desenvolvimentos em série de Fourier e as transformadas de Fourier discretas, serão determinados utilizando o algoritmo da "transformada de Fourier Rápida" (FFT) desenvolvido por Cooley e Tukey (1965). O programa utilizado computacionalmente para efetuar as operações da FFT é a sub-rotina HARMAN, descrita na publicação IBM H20-0205-3: "System/360 scientific sub routine package". Para aplicação da HARM é necessário que o número de pontos em cada lado da malha, seja uma potência inteira de 2. Em virtude desta restrição foi utilizada uma malha de 32 x 32 pontos para obtenção das componentes H_x, H_y e H_z através do método de filtragem descrito anteriormente.

III. 2 — Determinação dos Parâmetros do Corpo Causador de uma Anomalia Teórica Obtida para Modelos

Atribuindo-se valores arbitrários aos parâmetros do modelo escolhido, obtem-se teoricamente, a partir das equações (3), as medidas da anomalia de campo total H_t , nos pontos de uma malha 32 x 32 pontos, a qual será denominada "anomalia observada", pois os valores assim encontrados irão ser utilizados para simular uma anomalia real que seria obtida diretamente por medidas geo-

físicas. Empregando o método de filtragem descrito na seção III. 1 obtêm-se as componentes H_x , H_y e H_z . Utilizando-se as equações (5) computam-se os valores das integrais numéricas finitas dos momentos das "componentes observadas", S_i , os quais serão constantes durante o procedimento de minimização. A seguir computam-se as funções F_i em (4) para um conjunto arbitrário de valores iniciais dos parâmetros do modelo — denominado "aproximação inicial" — empregando expressões analíticas para as integrais dos momentos das componentes. Finalmente a função objetivo σ , expressa pela equação (6), será calculada para essa aproximação inicial e se processará automaticamente, no computador, a busca dos parâmetros do modelo que tornam cada vez menor o valor de σ . Essa busca será interrompida quando $\sigma < \delta$ onde δ é um número fixo arbitrário que especifica qual a ordem de grandeza que pode ser considerada como um valor mínimo. Nessas condições os valores correspondentes dos parâmetros do modelo serão os "parâmetros otimizados", ou seja, aqueles que fornecerão um modelo o qual produzirá a anomalia que melhor se ajustará à anomalia observada. O diagrama de blocos da figura 3 mostra a interligação das várias etapas descritas acima.

Em seguida se aplicará o método para anomalias simuladas a partir de modelo dipolo pontual e linha de dipolos.

III. 2. 1. — Dipolo pontual

O processo de determinação dos parâmetros que minimizaram a função objetivo, descrito nesta seção foi testado para diferentes aproximações iniciais usando como parâmetros do dipolo: a declinação D , a inclinação I e a intensidade P do momento magnético dipolar, a posição do centro (X_0, Y_0) e a profundidade H . O campo normal da Terra foi considerado com inclinação de 18° e declinação de -6° .

Para simular a anomalia de campo total H_t foi utilizada a equação:

$$H_t(x, y, z) = \alpha_0 H_x + \beta_0 H_y + \gamma_0 H_z$$

sendo:

$$H_x(x, y, z) = \frac{P}{r^5} \{ 3u(\alpha u + \beta v - \gamma H) - \alpha r^2 \}$$

$$H_y(x, y, z) = \frac{P}{r^5} \{ 3v(\alpha u + \beta v - \gamma H) - \beta r^2 \}$$

$$H_z(x, y, z) = \frac{P}{r^5} \{ -3H(\alpha u + \beta v - \gamma H) - \gamma r^2 \}$$

onde: α, β, γ são os cossenos diretores do vetor magnetização

$$u = x - X_0$$

$$v = y - Y_0$$

$$r = (u^2 + v^2 + H^2)^{1/2}$$

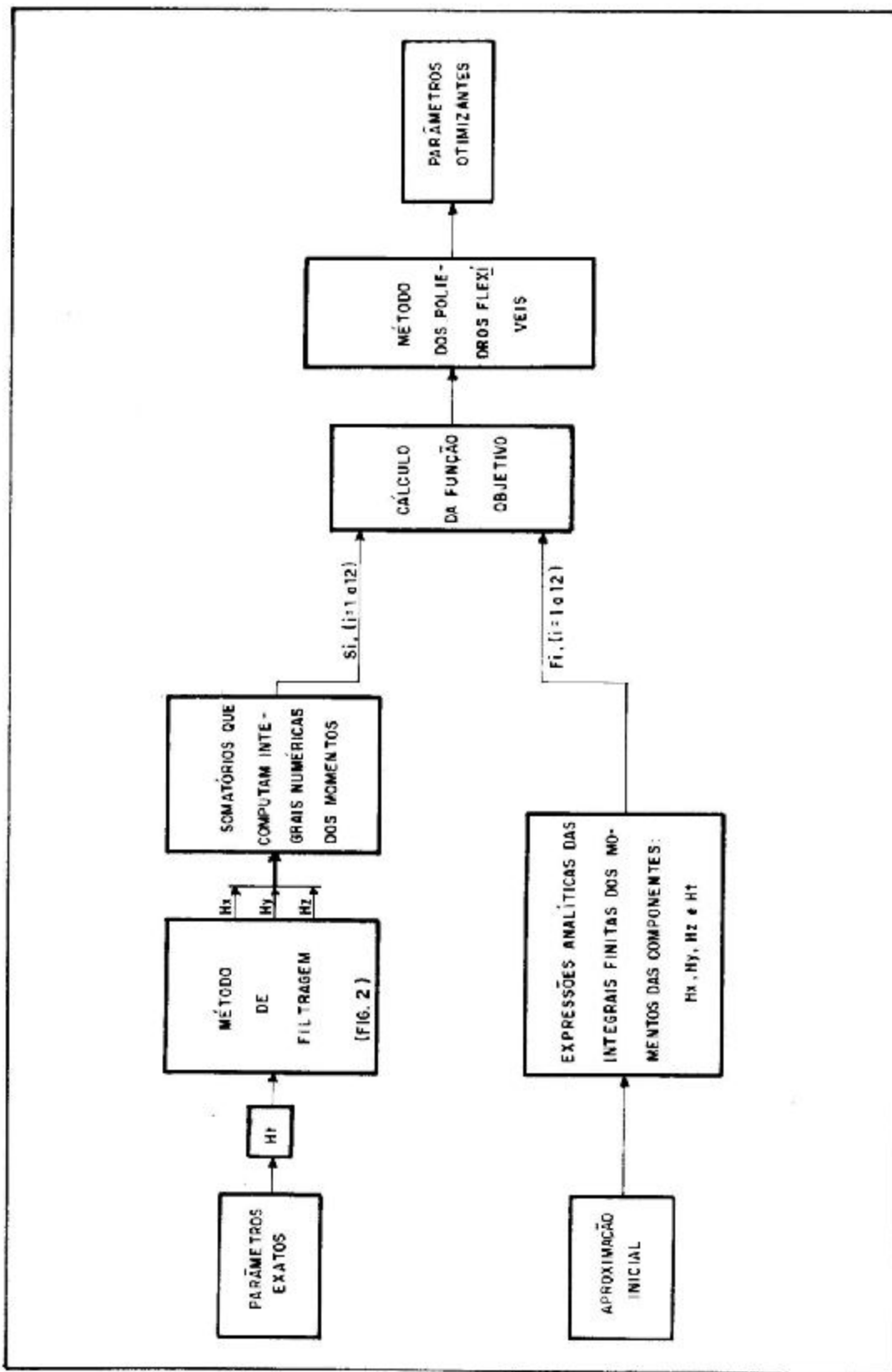
$$\alpha = \cos I, \cos D$$

$$\beta = \cos I, \sin D$$

$$\gamma = \sin I$$

As funções F_i , das equações (4) para o modelo dipolo foram deduzidas por Leão (1976).

O quadro 1 ilustra alguns dos resultados obtidos.



QUADRO 1

| TESTE Nº | PARÂMETROS | ($X_0; Y_0$) | H | I | D | P | N |
|----------|-------------|----------------|------|-------|--------|------|------|
| 1 | exatos | (1 ; 2) | 3 | 18 | - 6 | 3 | 980 |
| | otimizantes | (0,99 ; 1,99) | 2,83 | 17,99 | - 6,24 | 2,71 | |
| | iniciais | (3 ; 6) | 9 | 40 | 20 | 6 | |
| 2 | exatos | (1 ; 2) | 3 | 60 | 6 | 3 | 1680 |
| | otimizantes | (0,97 ; 1,98) | 3,01 | 60,69 | 5,01 | 2,97 | |
| | iniciais | (3 ; 5) | 0,5 | 40 | - 20 | 6 | |
| 3 | exatos | (1 ; 2) | 3 | 18 | - 6 | 3 | 270 |
| | otimizantes | (1,33 ; 2,03) | 2,98 | 15,13 | - 7,48 | 2,94 | |
| | iniciais | (2 ; 1) | 6 | 30 | - 17 | 1,5 | |
| 4 | exatos | (1 ; 2) | 3 | 60 | 6 | 3 | 1020 |
| | otimizantes | (1,05 ; 1,98) | 2,91 | 58,84 | 4,51 | 2,91 | |
| | iniciais | (2 ; 1) | 6 | 30 | - 17 | 1,5 | |

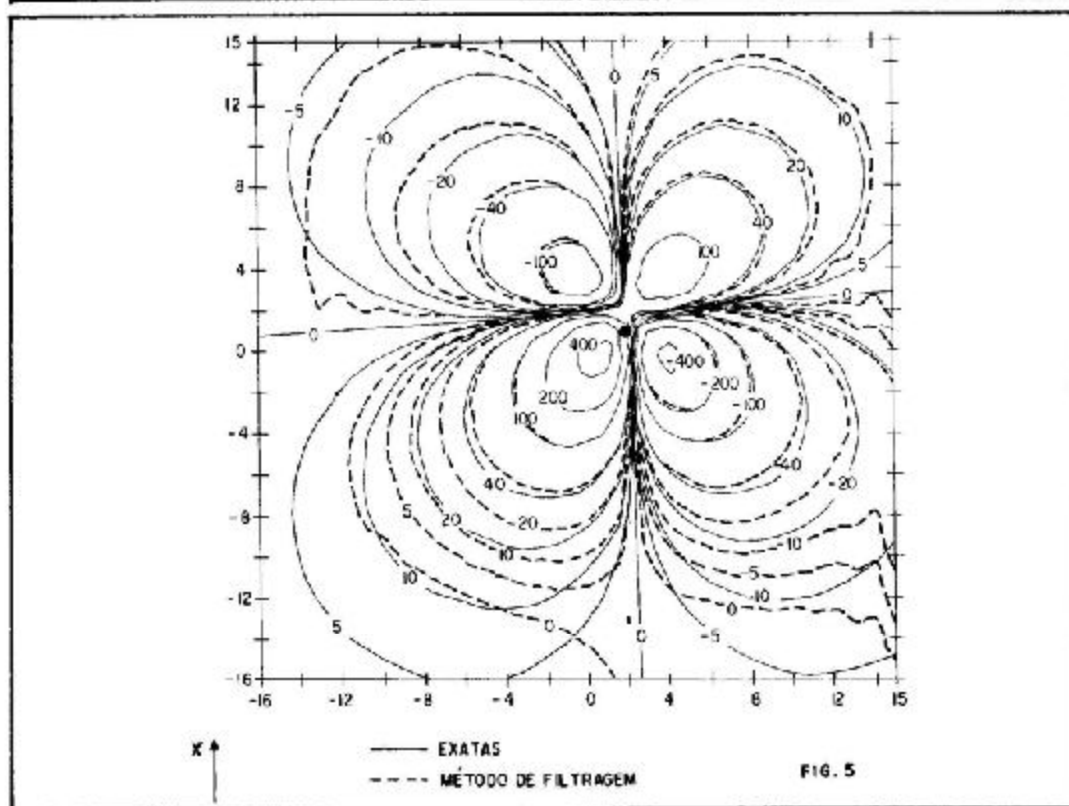
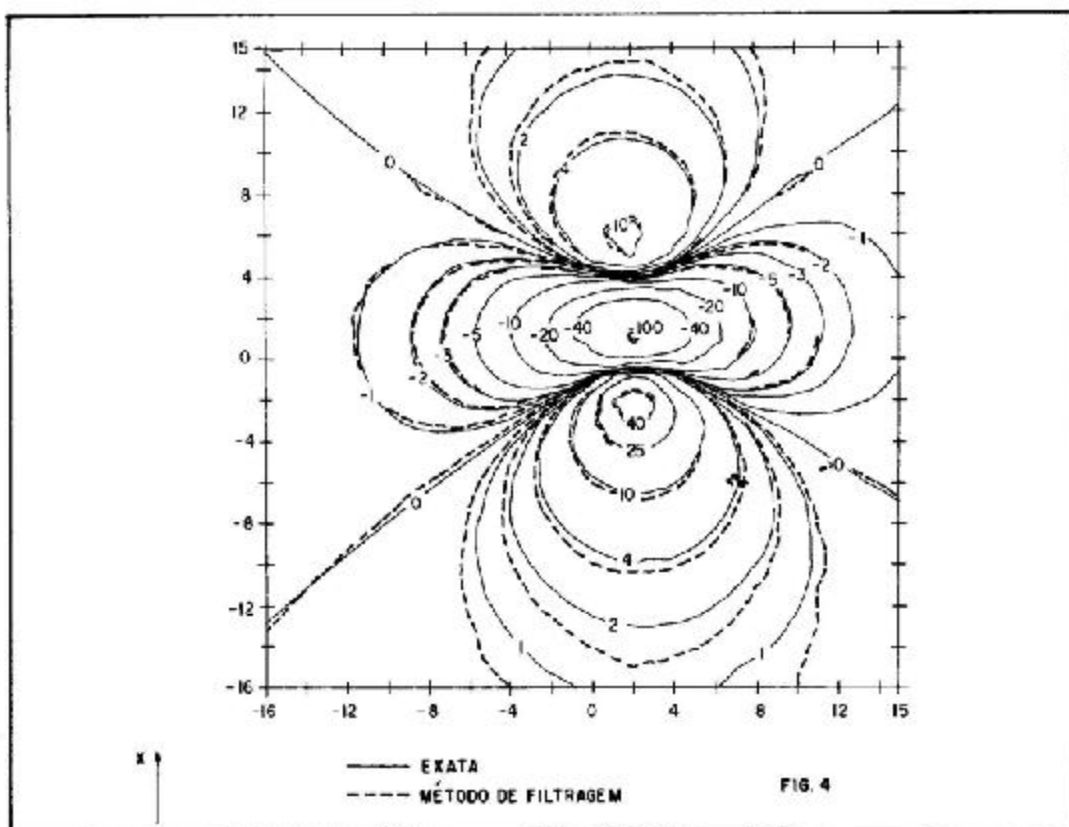
Este quadro mostra: os parâmetros exatos empregados para simular uma anomalia real, os valores dos parâmetros otimizantes, as várias aproximações iniciais utilizadas e o número N de iterações requeridas para computação dos parâmetros otimizantes. As integrais dos momentos das componentes foram avaliadas em uma área de 8×8 unidades nos testes nº 1 e nº 2 e de 18×16 unidades nos testes seguintes. Foi necessário escolher uma área menor do que 32×32 pontos para o cálculo das integrais dos parâmetros porque, quando as componentes H_x , H_y e H_z são obtidas pelo método de filtragem, verifica-se que seus valores não coincidem com os valores das componentes exatas em toda a área de 32×32 pontos (figuras 4, 5 e 6). Pode-se observar nestas figuras, que existe um bom ajuste entre as componentes exatas e as componentes obtidas pelo método de filtragem apenas na região central da área enquanto que ocorrem discrepâncias maiores nas bordas dos mapas, onde as amplitudes de cada componente exata são bem menores do que suas amplitudes máximas. Lourenço (1972), Lourenço e Morrison (1973) ressaltam que esta distorção deve ser consequência do tamanho limitado do mapa da anomalia de campo total e da escolha inadequada no intervalo de amostragem. Em virtude disso, o espectro computado $W_{t_{mn}}$ difere do espectro exato nas regiões das altas frequências e de frequências próximas de zero.

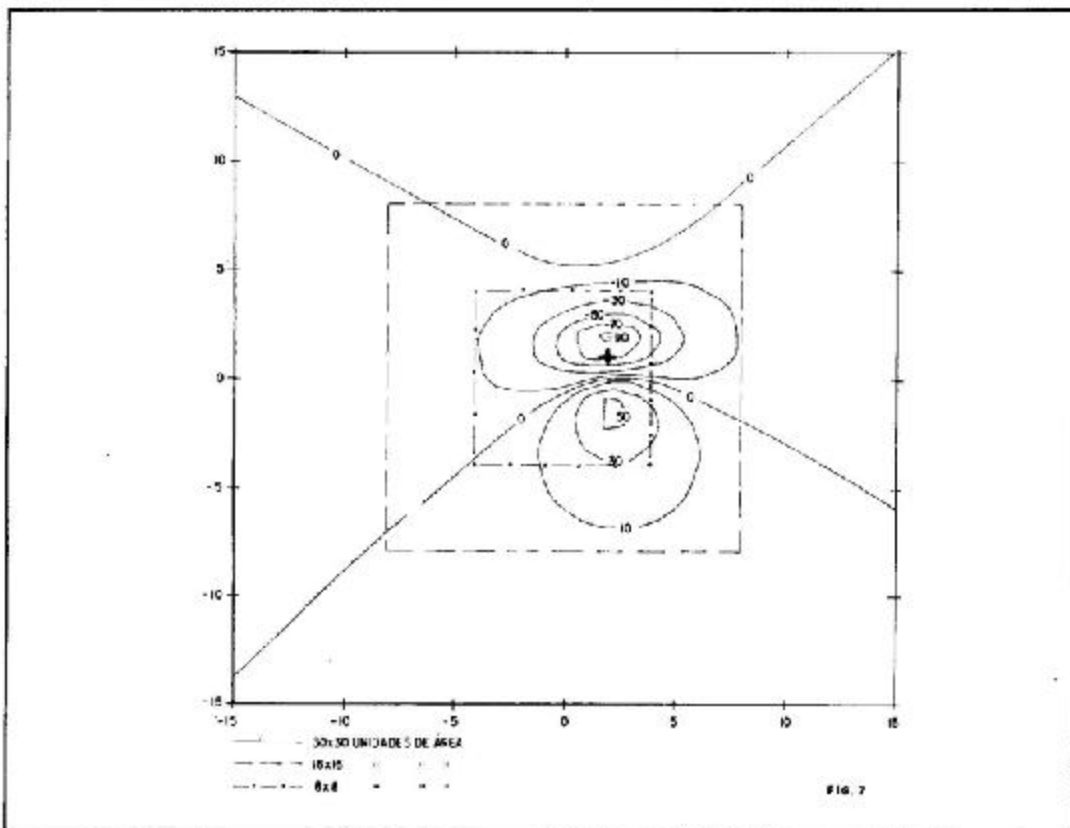
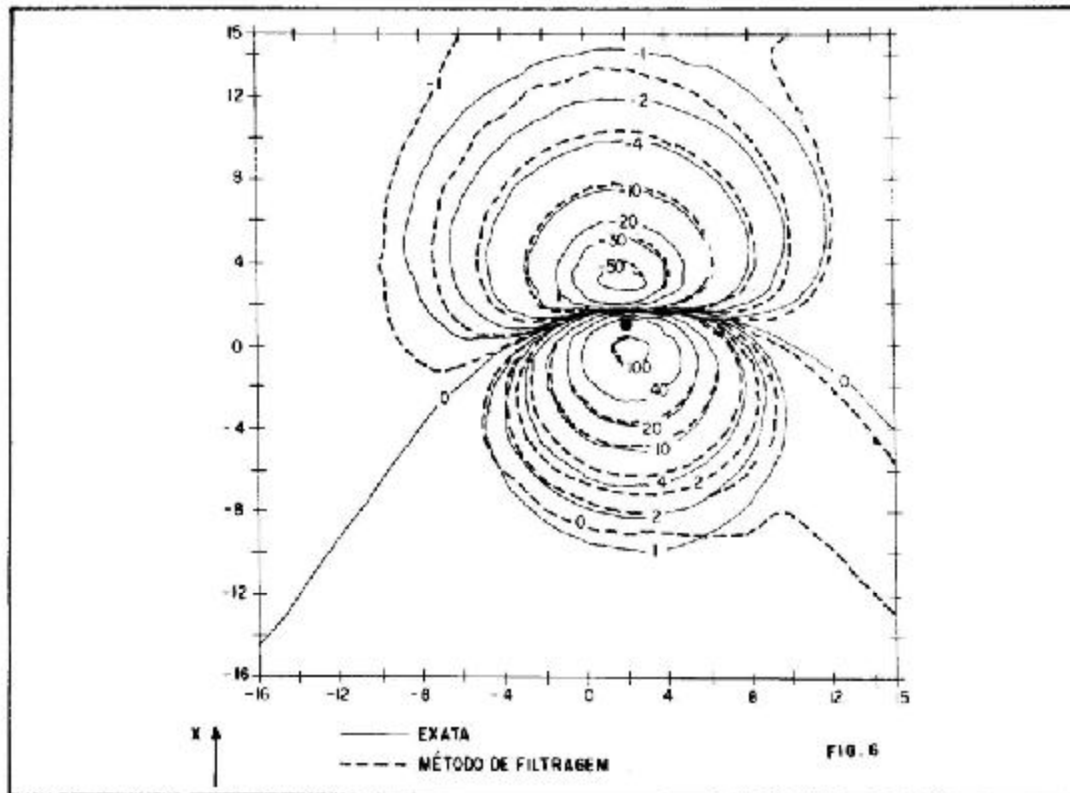
Observando-se o quadro 1 verifica-se que os parâmetros otimizantes encontrados convergem para os parâmetros utilizados para simular a anomalia real, mesmo nos casos dos testes nº 1 e nº 2, onde uma parte significativa da anomalia está fora da área utilizada para cálculo dos momentos, como ilustra a figura 7.

Uma comparação entre a anomalia de campo total obtida a partir dos parâmetros exatos e a anomalia obtida a partir dos parâmetros otimizantes calculados no teste nº 4 do quadro 1 (figura 8) mostra um ajuste muito bom entre essas anomalias o que confirma a precisão da metodologia desenvolvida neste trabalho.

III. 1. 2 — Linha de dipolos

De modo similar ao caso de dipolo pontual, a metodologia também foi testada para linha horizontal de dipolos em posição paralela ao eixo x_0 , utilizando como parâmetros do modelo: a inclinação I , a declinação D e a intensidade P_L do vetor momento de dipolo por unidade de comprimento, a posição do centro da linha (X_0, Y_0), a profundidade H e metade do comprimento da linha L_x .





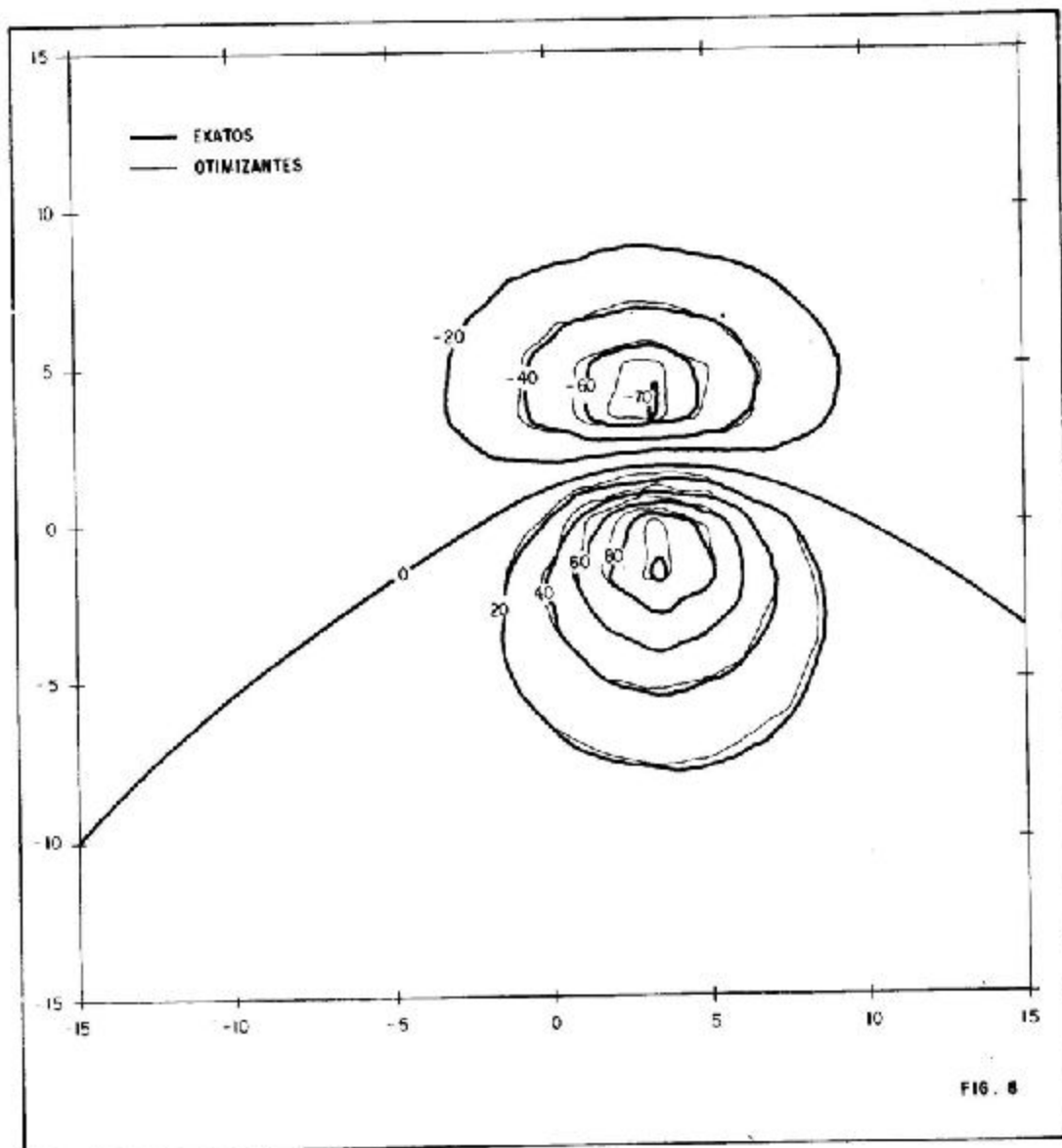


FIG. 8

Para simular a anomalia observada H_y , foi utilizada a equação
 $H_t = \alpha_0 H_x + \beta_0 H_y + \gamma_0 H_z$

sendo:

$$H_x(x, y, z) = P_L \left\{ \frac{\alpha u + \beta v - \gamma H}{r^3} \right\} \begin{matrix} u^2 \\ | \\ u = u_1 \end{matrix}$$

$$H_y(x, y, z) = P_L \left\{ \frac{\alpha v (v^2 + H^2)}{r^2} - \frac{(\beta v - \gamma H)}{r^2} uv + \left(\beta - \frac{2v(\beta v - \gamma H)}{v^2 + H^2} \right) u \right\} \begin{matrix} u^2 \\ | \\ u = u_1 \end{matrix}$$

$$H_z(x, y, z) = P_L \left\{ -\frac{\alpha H (v^2 + H^2)}{r^2} + \frac{(\beta v - \gamma H)Hv}{r^2} + \left(\gamma + \frac{2H(\beta v - \gamma H)}{v^2 + H^2} \right) u \right\} \begin{matrix} u^2 \\ | \\ u = u_1 \end{matrix}$$

onde:

$$u_1 = x - X_0 + L_x$$

$$u_2 = x - X_0 - L_x$$

$$v = y - Y_0$$

$$r = (u^2 + v^2 + H^2)^{1/2}$$

α, β, γ são os cossenos diretos do vetor P_L .

As funções F_i , que aparecem no segundo membro da equação (4) foram deduzidas analiticamente por Leão (1976).

Alguns dos resultados obtidos, com os testes realizados, são apresentados no quadro 2. Em todos os testes foi utilizada uma área de 16×16 unidades para computar as integrais dos momentos das componentes.

QUADRO 2

| TESTE Nº | PARÂMETROS | $(X_0; Y_0)$ | H | I | D | P_L | L_X | N |
|----------|-----------------------------------|---|------------------|-------------------|---------------------|------------------|----------------|------|
| 1 | exatos otimizantes iniciais | (1 ; 2) (0,99 ; 2,01) (3 ; 6) | 3 3,04 0,5 | 18 18,05 40 | - 6 - 5,94 10 | 3 3,02 6 ; | 4 3,99 8 | 3260 |
| 2 | exatos otimizantes iniciais | (1 ; 2) (1,03 ; 1,82) 2 ; 3) | 3 3,03 4 | 60 60,13 50 | 30 26,44 20 | 3 2,76 2 | 4 4,49 5 | 1000 |
| 3 | exatos otimizantes iniciais | (1 ; 2) (0,99 ; 2,02) (3 ; - 2) | 3 3,12 0,5 | 18 18,28 50 | - 6 - 5,92 15 | 3 3,17 20 | 4 3,85 8 | 2150 |
| 4 | exatos otimizantes iniciais | (1 ; 2) (1,03 ; 1,82) (3 ; - 2) | 3 3,03 0,5 | 60 60,13 50 | 30 26,44 15 | 3 2,76 20 | 4 4,49 8 | 2360 |

Pode-se verificar que em todos os casos estudados os parâmetros otimizados convergem para os parâmetros exatos que simulam a anomalia observada.

III - CONCLUSÃO

Neste trabalho é apresentado uma nova metodologia para determinação dos seguintes parâmetros de um corpo anômalo: a direção e a intensidade do vetor magnetização total, as dimensões, a posição do centro e a profundidade do topo. Este método supõe que a anomalia magnética produzida pelo corpo anômalo pode ser caracterizada por um modelo adequadamente escolhido e utiliza os dados do campo magnético anômalo sobre toda a área de medida. O desenvolvimento de métodos bidimensionais de interpretação é de grande importância em Geofísica visto que a maioria das técnicas de interpretação quantitativa existentes na literatura, utilizam dados de campo magnético em perfis e produzem resultados que podem diferir bastante dos valores exatos dos parâmetros do corpo anômalo, principalmente devido à interferência produzida por anomalias vizinhas à anomalia em estudo.

Para aplicar a metodologia proposta neste trabalho, primeiramente devem ser deduzidas analiticamente, expressões para as integrais sobre uma área retangular, dos momentos de ordem zero e de primeira ordem das componentes H_x , H_y , H_z e H_t do campo magnético produzido pelo modelo escolhido para caracterizar o corpo anômalo. O objetivo final do método, consiste na resolução de um sistema de equações algébricas, que estabelecem o ajuste entre as expressões analíticas das integrais dos momentos do campo magnético produzido pelo modelo e as integrais numéricas dos momentos das componentes do campo anômalo obtido a partir de levantamentos geofísicos. Este sistema de equações tem como incógnitas os parâmetros do modelo e a sua resolução permite obter a direção e a intensidade do vetor magnetização total, as dimensões, o centro e a profundidade do topo do corpo causador da anomalia magnética.

A metodologia foi testada com sucesso para modelos dipolo pontual e linha de dipolos magnéticos, os quais são usualmente empregados em interpretação geofísica para modelar vários corpos geológicos. Observando-se os resultados obtidos para os parâmetros destes modelos, verifica-se que a direção de magnetização é determinada com boa precisão mesmo nos casos em que os demais parâmetros apresentam alguma discrepância em relação aos parâmetros exatos. Esse fato pode servir de grande auxílio na interpretação geofísica de anomalias magnéticas visto que, com o conhecimento da direção do vetor magnetização total, é possível delinear o contorno da projeção horizontal do corpo anômalo, através da utilização do método de "redução ao pólo" desenvolvido por Baranov (1957).

Convém ressaltar que a maioria dos métodos de interpretação quantitativa bidimensional, utilizando modelos com forma geométrica definida, não determinam todos os parâmetros do corpo causador da anomalia magnética e, geralmente, supõem que a magnetização é exclusivamente induzida ou então que é conhecido o centro do corpo. Para aplicação da metodologia desenvolvida neste trabalho, não há necessidade de fixar a direção do vetor magnetização ou o centro do corpo anômalo, pois os valores desses parâmetros são calculados pelo método proposto.

Alguns métodos de interpretação bidimensional, publicados na literatura, são baseados em processos iterativos que utilizam o ajuste, no sentido dos mínimos quadrados, entre as medidas da anomalia de campo total observada e a anomalia de campo total computada para o modelo empregado na interpretação, sendo necessário calcular a cada iteração, a anomalia de campo total em todos os pontos da área de medida. Isso requer um tempo considerável de processamento em computador e, em geral, tais métodos procuram limitar o número total de iterações necessárias para obter resultados finais satisfatórios, através da diminuição do número dos parâmetros incógnitas do modelo, por exemplo, estabelecendo a hipótese de que a magnetização é induzida. A metodologia apresentada neste trabalho envolve um tempo relativamente menor de computação uma vez que as funções que expressam as integrais finitas dos momentos geralmente são calculadas, em cada iteração, somente duas vezes.

Visto que, no método aqui desenvolvido não é estabelecida qualquer hipótese com relação à direção do vetor magnetização total, pode-se visualizar uma importante aplicação deste trabalho em pesquisas na área de Paleomagnetismo, principalmente nos casos de anomalias isoladas. Atualmente esta metodologia está sendo aplicada para determinar a direção do vetor magnetização de um monte submarino ("seamount"), estudado por Francheteau et al (1970) e localizado no Oceano Pacífico na latitude 31, 9N e longitude 218, 2E.

Outra aplicação importante está na prospecção geofísica para determinação da posição e da profundidade do topo de estruturas geológicas, principalmente de corpos intrusivos isolados.

Presentemente estão sendo desenvolvidos as expressões analíticas das integrais dos momentos para o modelo prisma reto com base quadrangular o qual é muito utilizado em interpretação geofísica para caracterizar uma grande variedade de anomalias magnéticas, tais como anomalias produzidas por diques, chaminés vulcânicas, batólitos, anticlínios e sinclínios.

V – AGRADECIMENTOS

Os autores desejam agradecer à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pelo apoio financeiro à pesquisa. O autor principal gostaria de expressar seu reconhecimento ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) o qual concedeu-lhe bolsa de estudos durante a elaboração deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

- BARANOV, V. — 1957 — A new method for interpretation of aeromagnetism maps: pseudo-gravimetric anomalies. *Geophysics*, 22 (2) : 259 - 383.
- BHATTACHARYYA, B. K. — 1966 — A method for computing the total magnetization vector and the dimensions of a rectangular block-shaped body from magnetic anomalies. *Geophysics*, 31 (1) : 74-96.

- BHATTACHARYYA, B. K. — 1967 — Some general properties of potential fields in space and frequency domain: a review. *Geoexploration*, 5 : 127-143.
- COOLEY, J. W. e TUKEY, J. W. — 1965 — An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series. *Math. of Computation*, 19 (90) : 297 - 301.
- FRANCHETEAN, J., HARRISON, C. G. A., SCLATER, J. G. e RICHARDS, M. L. — 1970 — Magnetization of Pacific Seamounts: A Preliminary Polar Curve for the Northeastern Pacific. *J. Geophys. Res.*, 75 (11) : 2035 - 2061.
- GAY, S. P. — 1963 — Standard curves for interpretation of magnetic anomalies over long tabular bodies. *Geophysics*, 28 (2) : 161 - 200.
- GRANT, F. S. e MARTIN, L. — 1966 — Interpretation of aeromagnetic anomalies by the use of characteristic curves. *Geophysics*, 21 (1) : 135 - 148.
- HALL, D. H. — 1959 — Direction of polarization determined from magnetic anomalies. *J. Geophys. Res.*, 64 : 1945 - 1959.
- HELBIC, K. — 1963 — Some integrals of magnetic anomalies and their relation to the parameters of the disturbing body. *Geophysik*, 29 : 83 - 96.
- HUTCHISON, R. K. — 1958 — Magnetic analysis by logarithmic curves. *Geophysics*, 23 (4) : 749 - 769.
- JOHNSON, W. W. — 1969 — A least squares method of interpreting magnetic anomalies caused by two-dimensional structures. *Geophysics*, 34 (1) : 65 - 74.
- LEÃO, J. W. D. — 1976 — Interpretação de anomalias magnéticas usando integrais finitas dos momentos das componentes. Tese de mestrado não publicada, Universidade Federal do Pará, 130 pp.
- LOURENÇO, J. S. — 1972 — Analysis of three-component magnetic data, Ph.D. Thesis, University of California, Berkeley, USA.
- LOURENÇO, J. S. e MORRISON, H. F. — 1973 — Vector magnetic anomalies derived from measurements of a single component of the field. *Geophysics*, 38 (2) : 359 - 368.
- McGRATH, P. H. e HOOD, P. J. — 1970 — The dipping dike case: a computer curve-matching method of magnetic interpretation. *Geophysics*, 35 (5) : 831 - 848.
- NELDER, J. A. e MEAD, R. — 1964 — A simplex method for function minimization. *Computer Journal*, 7 : 308 - 313.
- PETERS, L. J. — 1949 — The direct approach to magnetic interpretation and its practical application. *Geophysics*, 14 (3) : 308 - 313.
- SMEILLIE, D. W. — 1956 — Elementary approximations in aeromagnetic interpretation. *Geophysics*, 21 (4) : 1021 - 1040.
- WHITEHILL, D. E. — 1973 — Automated interpretation of magnetic anomalies using the vertical prism model. *Geophysics*, 38 (6) : 1070 - 1087.

LEGENDA DAS FIGURAS E QUADROS

- Figura 1 — Posição da distribuição volumétrica de dipolos em relação ao sistema de coordenadas cartesianas.
- Figura 2 — Fluxograma do método de filtragem utilizado para calcular as componentes H_x , H_y e H_z do campo magnético anômalo, a partir da anomalia total H_t .
- Figura 3 — Diagrama de blocos que descreve a metodologia empregada para determinação dos parâmetros do corpo anômalo a partir das integrais finitas dos momentos das componentes.
- Figura 4 — Componente H_x do campo magnético produzido por um dipolo com magnetização induzida. Parâmetros do dipolo: $I = 18^\circ$, $D = -60^\circ$, $P = 3$, centro (1; 2) e $H = 3$. O círculo escuro assinala a posição do dipolo.
- Figura 5 — Componente H_y do campo magnético produzido por um dipolo com magnetização induzida. Parâmetros do dipolo: $I = 18^\circ$, $D = -6^\circ$, centro (1; 2) e $H = 3$. O círculo escuro assinala a posição do dipolo.
- Figura 6 — Componente H_z do campo magnético produzido por um dipolo com magnetização induzida. Parâmetros do dipolo: $I = 18^\circ$, $P = 3$, centro (1; 2) e $H = 3$. O círculo escuro assinala a posição do dipolo.
- Figura 7 — Anomalia de campo total produzida por um dipolo com parâmetros: $I = 18^\circ$, $D = -6^\circ$, $P = 3$, centro (1, 2), $H = 3$, supondo magnetização induzida. A cruz assinala a posição do dipolo.
- Figura 8 — Comparação entre as anomalias de intensidade de campo total obtidas a partir dos parâmetros: exatos: $I = 60^\circ$, $D = 6^\circ$, $P = 3$, $(X_D, Y_D) = (1, 2)$, $H = 3$ otimizantes: $I = 59,84^\circ$, $D = 4,51^\circ$, $P = 2,91$, $(X_D, Y_D) = (1,05; 1,96)$, $H = 2,91$.
- Quadro 1 — Testes da metodologia para modelo DIPOLO PONTUAL, utilizando as componentes obtidas pelo método de filtragem.
- Quadro 2 — Testes da metodologia para modelo LINHA DE DIPOLOS utilizando as componentes obtidas a partir de H_t por método de filtragem.

TRATAMENTO QUANTITATIVO DE ANOMALIAS DE POTENCIAL ESPONTÂNEO

Sônia Dias Cavalcanti Guerreiro*
José Seixas Lourenço*

RESUMO

A prospecção mineral por método de potencial espontâneo (SP) é extremamente simples e econômica tanto no que se refere à instrumentação utilizada, quanto em relação ao procedimento nos trabalhos de campo. Entretanto, a interpretação de mapas de isopotenciais tem sido principalmente qualitativa.

O propósito deste trabalho é desenvolver uma metodologia que permita determinar os parâmetros do corpo causador da anomalia: localização, dimensões, intensidade e direção do vetor polarização sem se limitar ao uso de perfis ou a ajustes com curvas teóricas.

Conhecendo-se na superfície do terreno a distribuição de potenciais decorrentes do processo de polarização espontânea é possível se obter as componentes do campo elétrico anômalo por filtragem, utilizando-se transformadas de Fourier ou por um simples processo de diferenças finitas. Calcula-se então as integrais dos momentos do potencial e das componentes do campo elétrico, de forma tal que seja obtido um conjunto de tantas equações, quanto forem os parâmetros do corpo que produz a anomalia.

A metodologia foi testada para os modelos mais característicos do processo de polarização espontânea, a saber o doublet e a linha de doublet, tendo sido obtidos resultados precisos para os parâmetros do corpo causador da anomalia.

ABSTRACT

Mineral prospecting by the method of spontaneous potential (SP) is extremely simple and economic as far as the instrumentation required and the field procedures are concerned. However the interpretation of the anomaly curves has been mainly qualitative.

The main purpose of this work is to apply a new method that enables one to determine the parameters of the causative body: localization, dimensions, and intensity and direction of the polarization vector, without being restrained to the use of profiles or to the matching to theoretical curves.

Knowing the potential distribution on the ground surface due to spontaneous polarization it is possible to obtain the components of the anomalous electric field by filtering with Fourier transforms or by a simple process of finite differences. The integrals of the moments of the potential and the components of the electric field are calculated and one can obtain a set of as many equations as the number of parameters of the causative body.

The methodology was tested with two models: the doublet and the line of doublets and has obtained accurate results for the parameters of the causative body of the SP anomaly.

I – INTRODUÇÃO

Em certas condições geológicas desenvolvem-se naturalmente potenciais elétricos no solo e nas rochas vizinhas a um corpo mineral eletricamente condutor. Este fenômeno é conhecido como polarização espontânea e freqüentemente abreviado SP.

A origem deste fenômeno ainda não está totalmente compreendida embora várias tenham sido as teorias propostas para explicá-lo. Entre elas a teoria de Sato e Mooney é a que melhor se ajusta à existência de potenciais espontâneos, embora não seja capaz de justificar a ocorrência de anomalias negativas maiores que 400mV.

A prospecção por método de polarização espontânea é extremamente simples e econômica, tanto no que se refere à instrumentação utilizada, quanto em relação ao procedimento nos trabalhos de campo. Entretanto a interpretação dos dados obtidos tem sido principalmente qualitativa supondo que, em geral, o corpo que produz a anomalia encontra-se localizado aproximadamente abaixo do centro de potenciais negativos.

* Universidade Federal do Pará – Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas

O objetivo primordial deste trabalho é desenvolver uma metodologia que permita determinar os parâmetros do corpo causador da anomalia: localização, dimensões, intensidade e direção de polarização sem se limitar ao uso de perfis ou a ajustes com curvas teóricas. A preocupação inicial foi descrever analiticamente a distribuição dos potenciais e do campo elétrico decorrentes do processo de polarização espontânea. Uma vez obtido esse campo e comparando-se as anomalias de SP a anomalias magnéticas ideais onde não existe magnetização induzida, buscou-se nos métodos de interpretação de anomalias magnéticas, subsídios para o tratamento quantitativo de anomalias de SP. Dessa forma foram usadas as integrais dos momentos do potencial e das componentes do campo elétrico, na determinação dos parâmetros do corpo causador da anomalia.

II – FORMULAÇÃO ANALÍTICA

De acordo com a teoria desenvolvida por Sato e Mooney, a origem da polarização espontânea deve-se fundamentalmente a uma variação com a profundidade, no potencial químico das soluções localizadas no solo e à presença de um corpo condutor que propicia o transporte dos elétrons, em excesso na zona em profundidade, à zona em superfície onde estão em deficit. A renovação constante na concentração dos íons das soluções vizinhas através de reações onde as espécies reduzidas em superfície são reoxidadas e as oxidadas em profundidade são reduzidas produz um processo permanente de transporte de elétrons que resulta numa distribuição de correntes estacionárias.

Seria absurdo pretender desenvolver uma teoria matemática para representar fenômeno tão complexo. Entretanto é válido procurar um modelo simplificado que contenha as principais características do fenômeno, de modo a se obter uma expressão analítica que descreva, em primeira aproximação, a distribuição de potenciais na superfície do solo. Dessa forma admite-se uma fonte de corrente i nos pontos do corpo onde ocorrem reações de oxidação das espécies e um sumidouro $-i$ na zona mais superficial onde acontecem as reações de redução. O transporte das cargas elétricas é efetuado ao longo do corpo condutor, da fonte ao sumidouro de corrente, separados por uma distância l .

A formulação será desenvolvida para a mais simples das distribuições, que dão origem à polarização espontânea e que consiste na presença de uma fonte e de um sumidouro pontual de corrente elétrica denominados pólo positivo e pólo negativo. Distribuições mais complexas são obtidas integrando-se adequadamente esse conjunto de fonte e sumidouro denominado "doublet".

Seja i uma fonte pontual de corrente elétrica, localizada num ponto F de um meio homogêneo, isotrópico, infinito de resistividade ρ . O potencial V produzido por essa fonte e medido em ponto P, qualquer desse meio é expresso por:

$$V(\vec{r}) = \frac{\rho i}{4\pi} \frac{1}{R} \quad (1)$$

onde \vec{r} é o vetor posição do ponto P e R é o módulo do vetor \vec{R} de origem no ponto F e extremidade em P. O campo elétrico é encontrado por:

$$E(\vec{r}) = -\Delta V(\vec{r}) = \frac{\rho i}{4\pi} \frac{\vec{R}}{R^3} \quad (2)$$

Entretanto, se F e P estão situados no meio 1, semiespaço homogêneo, isotrópico, separado de um meio 2, dielétrico homogêneo e isotrópico pela superfície z_0 , tanto o potencial quanto o campo elétrico em P sofrerão influência da interface. As expressões para o potencial e o campo elétrico podem, nesse caso, ser obtidas pelo método das imagens em que a eliminação da superfície de discontinuidade é acompanhada pela presença da fonte F' , imagem de F e situada numa posição simétrica a ela. Se além da fonte F de coordenadas (x_1, y_1, z_1) , houver um sumidouro de corrente elétrica em S de coordenadas (x_2, y_2, z_2) também localizado no meio 1, o potencial e o campo elétrico, de acordo com o método das imagens, são expressos por:

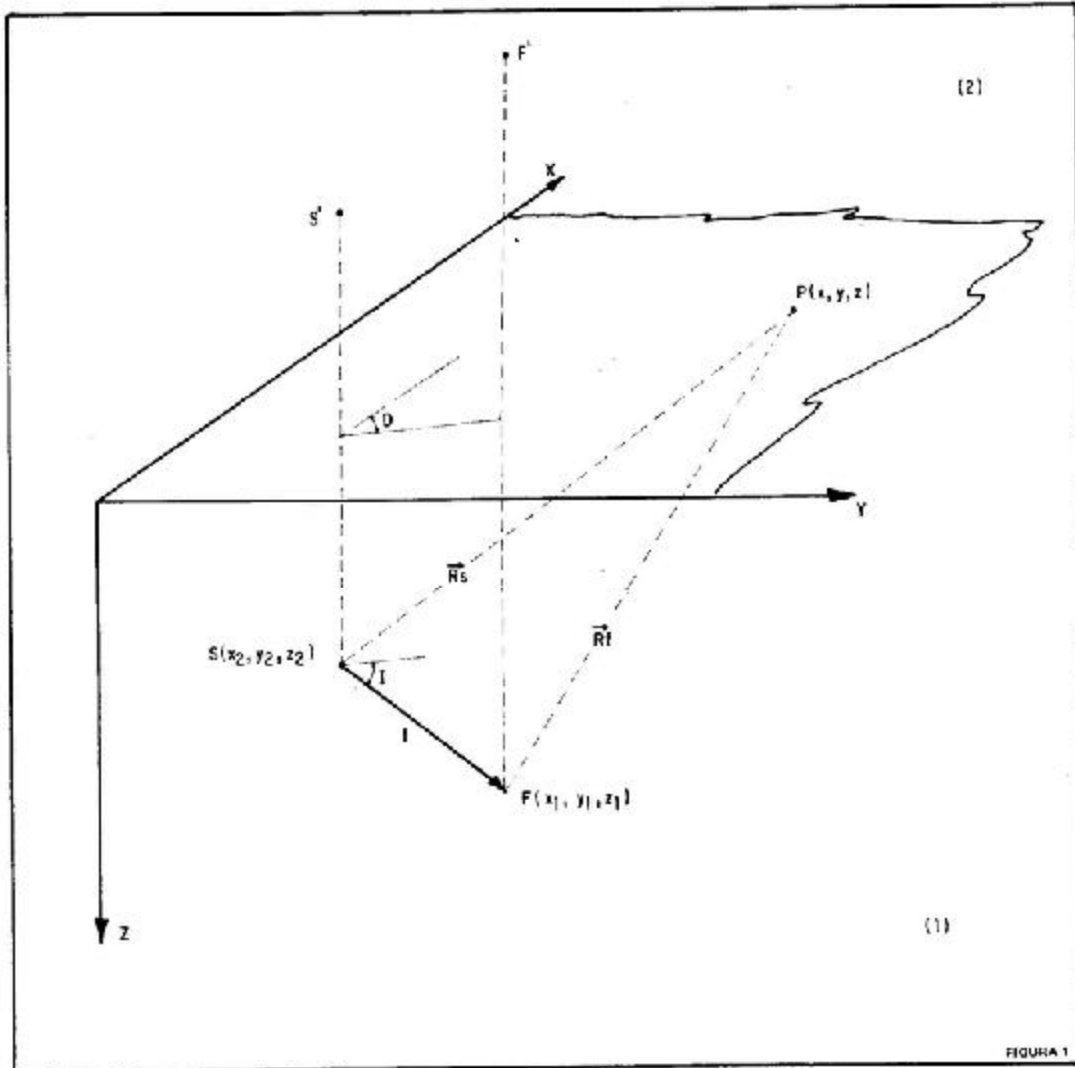
$$V(\vec{r}) = \frac{\rho i}{4\pi} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R'_1} - \frac{1}{R'_2} \right) \quad (3)$$

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{\rho i}{4\pi} \left(\frac{\vec{R}_1}{R_1^3} - \frac{\vec{R}_2}{R_2^3} + \frac{\vec{R}'_1}{R'^1_1} - \frac{\vec{R}'_2}{R'^2_2} \right) \quad (4)$$

onde R_1, R_2, R_1', R_2' são respectivamente as distâncias dos pólos F e S e das imagens desses pólos F' e S' ao ponto P segundo a figura 1.

As coordenadas do pólo positivo e negativo se relacionam facilmente se forem conhecidas a inclinação I , declinação D do doublet e a distância ℓ entre os pólos, indicadas na figura 1.

$$\begin{aligned} x_1 &= x_2 + \ell \cos I, \cos D \\ y_1 &= y_2 + \ell \cos I, \sin D \\ z_1 &= z_2 + \ell \sin I \end{aligned} \tag{5}$$



Para qualquer ponto P localizado na posição correspondente à superfície z_0 , a distância à fonte em F é idêntica à distância ao ponto imagem em F' , o mesmo acontecendo para S e S' . Assim, as expressões (3) e (4) passam a ser descritas:

$$V(\vec{r}) = \frac{\rho i}{2\pi} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \tag{6}$$

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{\rho i}{4\pi} \left(\frac{\vec{R}_1 + \vec{R}_1'}{R_1^3} - \frac{\vec{R}_2 + \vec{R}_2'}{R_2^3} \right) \tag{7}$$

As equações (6) e (7) referem-se à presença do doublet no meio 1 e à presença da interface, no caso particular em que as medidas são tomadas na superfície z_0 . Nessas circunstâncias é possível separar-se os dois efeitos notando-se que os valores numéricos do potencial e das componentes horizontais do campo elétrico são iguais ao dobro daqueles obtidos no caso do doublet, localizado na mesma situação em relação ao ponto P, mas sendo o meio 1 infinito. Assim, o potencial e as componentes devidos exclusivamente ao doublet localizado no meio 1, homogêneo, isotrópico, semiinfinito, quando tomados em relação à superfície z_0 , são expressos por:

$$V(\vec{r}) = \frac{\rho i}{4\pi} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \quad (8)$$

$$E_x(\vec{r}) = \frac{\rho i}{4\pi} \left(\frac{x-x_1}{R_1^3} - \frac{x-x_2}{R_2^3} \right) \quad (9)$$

$$E_y(\vec{r}) = \frac{\rho i}{4\pi} \left(\frac{y-y_1}{R_1^3} - \frac{y-y_2}{R_2^3} \right) \quad (10)$$

$$E_z(\vec{r}) = \frac{\rho i}{4\pi} \left(\frac{z-z_1}{R_1^3} - \frac{z-z_2}{R_2^3} \right) \quad (11)$$

onde E_x , E_y , E_z representam as componentes horizontais e vertical do campo elétrico \vec{E} e $(x-x_1)$, $(y-y_1)$, $(z-z_1)$ e $(x-x_2)$, $(y-y_2)$, $(z-z_2)$ as componentes horizontais e vertical respectivamente dos vetores \vec{R}_1 e \vec{R}_2 .

O doublet elétrico é o modelo adequado à situação em que o corpo causador da anomalia tem a forma alongada grosseiramente se assemelhando a um cilindro. O pólo negativo corresponde ao ponto onde o corpo reage entregando elétrons ao meio circundante, enquanto que o pólo positivo representa o local onde o corpo está recebendo elétrons da vizinhança. A distância entre esses dois pontos determina a extensão do doublet.

Muitas vezes, entretanto, o corpo causador da anomalia tem extensão lateral apreciável e não se ajusta à representação pelo modelo doublet. Quando uma das dimensões horizontais é desprezível em comparação com as demais, o corpo pode ser geometricamente esquematizado por uma placa. Nesse caso em termos de potencial espontâneo é mais adequada a utilização do modelo linha de doublet. As expressões para este modelo são obtidas integrando-se as equações (8), (9), (10) e (11).

Seja S_1 , F_1 , F_2 , S_2 na figura 2, a representação de uma placa condutora inclinada de um ângulo I em relação ao plano horizontal. Em termos de potencial espontâneo a placa é representada por uma linha de doublets, onde F_1F_2 representa a linha de pólos positivos localizada a uma profundidade z_1 enquanto que S_1S_2 a linha de pólos negativos localizada a uma profundidade z_2 . As linhas estão separadas de uma distância $2E$, têm comprimento $2E$ e pontos médios respectivamente (x_m, y_1, z_1) e (x_m, y_2, z_2) . Ambas as linhas estão imersas num meio homogêneo, isotrópico de resistividade ρ , limitado superiormente por um semiespaço dielétrico, homogêneo e isotrópico.

Integrando-se a expressão (8) obtém-se para o potencial da linha doublet.

$$V(\vec{r}) = \int_{L_1}^{L_2} \frac{\rho i}{4\pi} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) dx \quad (12)$$

$$\text{sendo } R_1 = ((x-e)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2)^{1/2}$$

$$R_2 = ((x-e)^2 + (y-y_2)^2 + (z-z_1)^2)^{1/2} \quad (13)$$

$$L_2 = x_m + E$$

$$L_1 = x_m - E$$

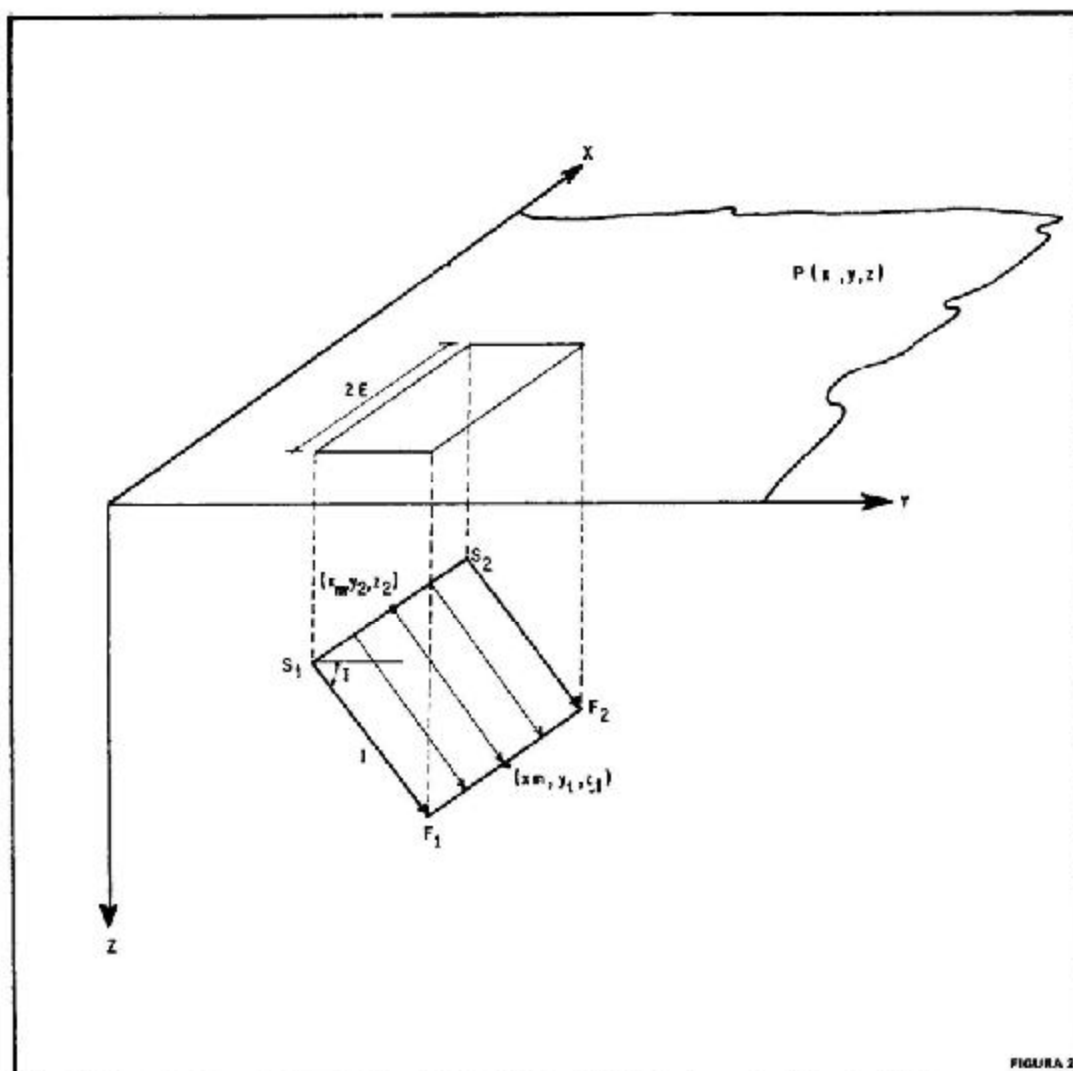


FIGURA 2

$$\text{assim } V(\vec{r}) = \frac{p i}{4 \pi} \left(\varepsilon \ln(R_{11} + u_1) - \varepsilon \ln(R_{21} + u_2) - \varepsilon \ln(R_{12} + u_1) + \varepsilon \ln(R_{22} + u_2) \right) \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \text{onde } R_{11} &= ((x-L_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2)^{1/2} = (u_1^2 + v_1^2 + w_1^2)^{1/2} \\ R_{21} &= ((x-L_2)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2)^{1/2} = (u_2^2 + v_1^2 + w_1^2)^{1/2} \\ R_{12} &= ((x-L_1)^2 + (y-y_2)^2 + (z-z_2)^2)^{1/2} = (u_1^2 + v_2^2 + w_2^2)^{1/2} \\ R_{22} &= ((x-L_2)^2 + (y-y_2)^2 + (z-z_2)^2)^{1/2} = (u_2^2 + v_2^2 + w_2^2)^{1/2} \end{aligned} \quad (15)$$

do mesmo modo que o potencial, podem ser calculadas as expressões para as componentes do campo elétrico, integrando-se as equações (9), (10) e (11):

$$E_x(r) = - \frac{p i}{4 \pi} \left(\frac{1}{R_{11}} - \frac{1}{R_{21}} - \frac{1}{R_{12}} + \frac{1}{R_{22}} \right) \quad (16)$$

$$E_y(\vec{r}) = \frac{\rho i}{4\pi} \left(\frac{v_1}{(v_1^2 + w_1^2)} \left(\frac{u_1}{R_{11}} - \frac{u_2}{R_{21}} \right) - \frac{v_2}{(v_2^2 + w_2^2)} \left(\frac{u_1}{R_{12}} - \frac{u_2}{R_{22}} \right) \right) \quad (17)$$

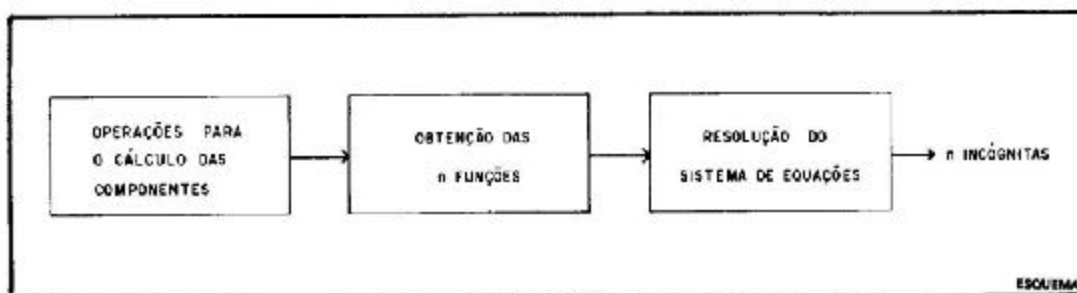
$$E_z(\vec{r}) = \frac{\rho i}{4\pi} \left(\frac{w_1}{(v_1^2 + w_1^2)} \left(\frac{u_1}{R_{11}} - \frac{u_2}{R_{21}} \right) - \frac{w_2}{(v_2^2 + w_2^2)} \left(\frac{u_1}{R_{12}} - \frac{u_2}{R_{22}} \right) \right) \quad (18)$$

III – MÉTODO PROPOSTO

As anomalias produzidas por polarização espontânea são comparáveis às anomalias magnéticas originárias de uma situação ideal em que haja apenas magnetização remanente.

Na interpretação de anomalias magnéticas Leão (1976) utiliza as integrais finitas dos momentos das componentes do campo magnético de modo a determinar os parâmetros do corpo que produz a anomalia. Adotando-se o mesmo procedimento no caso da polarização, ou seja, tratando-se quantitativamente os dados por meio de integrais finitas dos momentos do potencial e das componentes do campo elétrico, é possível, por meio das expressões obtidas, encontrar um sistema de tantas equações quanto forem o número de parâmetros necessários para se determinar o corpo causador da anomalia.

São discutidas a seguir as etapas que constituem o método proposto e que são indicadas no esquema abaixo.



1ª etapa: Obtenção das componentes do campo elétrico:

As componentes tanto podem ser obtidas diretamente pelo gradiente horizontal dos dados de campo (obtendo-se assim E_x e E_y) quanto pelo emprego de transformadas de Fourier (que conduz à obtenção de E_x , E_y e E_z). Em qualquer uma das opções é necessário inicialmente o conhecimento do potencial V , que é conseguido por levantamentos segundo os métodos convencionais.

2ª etapa: Obtenção das n funções que relacionam as n incógnitas.

A segunda etapa depende fundamentalmente de modelo escolhido. Na interpretação de anomalias de potencial espontâneo resolveu-se utilizar além das componentes do campo, como feito no caso magnético, também o potencial, uma vez que este é o dado originalmente medido nos trabalhos práticos.

Sendo o potencial e as componentes do campo elétrico dependentes dos parâmetros procurados, as integrais de V , E_x , E_y e E_z bem como de seus momentos em relação a x e y são funções daqueles parâmetros. Desse modo são obtidas facilmente expressões relacionadas às incógnitas procuradas e cuja forma geral é indicada por:

$$F_T = \int_{-x}^x \int_{-y}^y T \, dx dy \quad (19)$$

$$F_{\xi T} = \int_{-x}^x \int_{-y}^y \xi T \, dx dy \quad (20)$$

Nas equações (19) e (20) T representa uma das funções V , E_x , E_y ou E_z enquanto que ξ simboliza as coordenadas de posição x ou y .

Na prática as integrais (19) e (20) são calculadas numericamente através de somatórios, portanto o que se obtém são expressões do tipo

$$S_T = \sum_{j=-M/2}^{M/2} \sum_{k=-N/2}^{N/2} T(j,k) \quad (21)$$

$$S_{\eta T} = \sum_{j=-M/2}^{M/2} \sum_{k=-N/2}^{N/2} \eta T(j,k) \quad (22)$$

em que T representa V, Ex, Ey ou Ez e η i ou j. O espaçamento entre os pontos de medida foi considerado uniforme. Dessa forma haverá uma diferença entre o valor real da integral e o valor calculado por métodos numéricos expressa por

$$\Delta F_1 = F_V - S_V \quad ; \quad \Delta F_2 = F_{xv} - S_{xv} \quad ; \quad \Delta F_3 = F_{yv} - S_{yv} \quad (23)$$

$$\Delta F_4 = F_x - S_x \quad ; \quad \Delta F_5 = F_{xx} - S_{xx} \quad ; \quad \Delta F_6 = F_{yx} - S_{yx} \quad (24)$$

$$\Delta F_7 = F_y - S_y \quad ; \quad \Delta F_8 = F_{xy} - S_{xy} \quad ; \quad \Delta F_9 = F_{yy} - S_{yy} \quad (25)$$

$$\Delta F_{10} = F_z - S_z \quad ; \quad \Delta F_{11} = F_{xz} - S_{xz} \quad ; \quad \Delta F_{12} = F_{yz} - S_{yz} \quad (26)$$

que nada mais são que o erro absoluto da avaliação numérica das funções.

3ª etapa: Resolução do sistema de n equações e n incógnitas.

Tanto para o modelo doublet quanto para a linha de doublet usados neste trabalho, o número de variáveis é 7, portanto, são necessárias pelo menos 7 equações para a determinação dessas incógnitas.

O método de resolução do sistema de equações é baseado no trabalho de Nelder e Mead (1964), didaticamente tratado por Himmelblau (1970). Consiste em minimizar uma função de n variáveis. Para tal é construído um poliedro de n + 1 vértices no espaço das n incógnitas. A função é estudada em cada vértice e o ponto que apresentar o máximo valor é substituído por outro correspondente a um menor valor da função, encontrado por processos de reflexão, expansão e contração em relação ao centróide do poliedro ou ainda por uma redução total do poliedro.

A procura do vértice de menor valor da função continua até que para um poliedro suficientemente pequeno a diferença entre o valor da função no centróide e em cada vértice seja menor que uma tolerância, determinada a priori, de acordo com a precisão exigida no problema. As coordenadas do ponto correspondente ao valor mínimo da função são as soluções procuradas.

A função objetivo a ser minimizada na resolução do sistema de equações é dada pela soma dos quadrados dos erros absolutos entre as integrais exatas e as numéricas, equações (23) a (26), ou seja:

$$SOM = \sum_{i=1}^n (\Delta F_i) \quad (29)$$

Entretanto, de forma a atribuir a mesma importância a ΔF_i de ordens de grandeza diferentes, recorreu-se a um fator ponderante W_i . Assim preferiu-se utilizar o parâmetro dado pela equação abaixo

$$\sigma = \sum_{i=1}^n [\Delta F_i \cdot W_i]^2 \quad (30)$$

onde W_i , nos testes efetuados expressou-se por

$$W_i = \frac{C}{S_i} \quad (31)$$

sendo C um valor constante e S_i o somatório relativo àqueles ΔF_i particular. Naturalmente que para expressar o peso por (31) é necessário que S_i seja diferente de zero.

Quando σ atingir o mínimo conveniente, conforme a precisão estipulada, significa que foram encontradas soluções cujos valores reproduzem satisfatoriamente os valores anômalos observados.

IV – APLICAÇÃO

De modo a testar a metodologia foram simuladas anomalias de potencial espontâneo tanto para o caso de corpos alongados, quanto para corpos condutores em forma de placa. Para a obtenção da anomalia foram atribuídos valores aos parâmetros do corpo causador da anomalia. Assim, foram obtidos o potencial e as componentes do campo elétrico nos pontos de uma grade regular $M \times N$ e, posteriormente, as integrais dos momentos dessas funções. A partir delas efetuou-se o processo inverso, ou seja, utilizou-se as integrais finitas dos momentos do potencial e das componentes de modo a se obter os parâmetros do corpo causador da anomalia. A precisão das respostas obtidas pode ser apreciada quando comparada com os valores exatos.

Conhecidos o potencial e as componentes foi efetuada a segunda etapa do método proposto, que consiste em tomar um certo número de funções, de modo a tornar possível a resolução do sistema. Essas funções, generalizadas na forma das equações (19) e (20), encontram-se desenvolvidas no trabalho de Cavalcanti Guerreiro (1976). Usou-se um número maior de equações que incógnitas para se tornar mais fácil a convergência do sistema.

A última etapa a ser executada para a determinação dos parâmetros característicos do corpo causador da anomalia, na sistemática apresentada nesta seção, é resolver o sistema de equações.

Para a resolução do mesmo a construção do poliedro de $n+1$ vértices foi realizada atribuindo-se valores, denominados de aproximações iniciais, às coordenadas de um dos vértices. Os demais pontos são determinados por equações para construção de poliedros regulares encontradas na geometria analítica. Construído o poliedro determina-se, segundo o método de Nelder e Mead, os valores que constituem a solução do sistema. O sistema foi dado como resolvido quando as dimensões do poliedro atingiram o valor previamente escolhido de 10^{-6} e a soma dos quadrados da diferença entre as funções e as integrais numéricas, equação (30), o valor 10^{-3} . Nos testes apresentados foi usado o valor 10 para a constante, numerador do peso W_i , da equação (31).

A figura 3 indica os valores do potencial da anomalia simulada que foi usada nos testes.

O quadro 1 sintetiza alguns dos resultados obtidos para os parâmetros do doublet, causador da anomalia da figura 3, cujos valores exatos estão indicados na linha apropriada. As componentes empregadas nos testes do quadro 1 foram geradas pelas equações (9), (10) e (11) para uma grade de 32×32 pontos. Desta grade foram tomadas as áreas de 31×31 , 25×25 , 21×21 , conservando-se a origem sempre na mesma posição. O objetivo foi verificar a influência da dimensão da malha nos cálculos dos momentos. As aproximações iniciais aos parâmetros do doublet variaram de teste para teste.

O teste 1 foi executado com nove funções onde foram utilizadas as integrais das três componentes e dos momentos dessas componentes. Do segundo teste ao sexto a componente E_z e seus respectivos momentos foram substituídos pelas funções, que utilizam o potencial. Os dois últimos testes foram efetuados com oito funções: F_x , F_{xx} , F_{yx} , F_y , F_{xy} , F_{xy} , F_{yy} . As expressões das funções citadas são encontradas no trabalho de Cavalcanti Guerreiro (1976).

Observando-se os testes 2, 3 e 5 do quadro 1, verifica-se que os valores obtidos para os parâmetros do doublet não diferem muito entre si quando a área é reduzida. Da mesma forma comparando-se o teste 1 ao 2, encontra-se que os resultados não foram influenciados pelo conjunto de funções tomadas. Além disto a metodologia não apresentou exigência quanto à localização da origem sobre o corpo causador da anomalia conforme se pode comprovar pelos testes efetuados.

Os parâmetros que mostraram maior afastamento dos valores corretos foram p e l .

De modo a acompanhar o curso da resolução do sistema de equações foi traçado em gráfico o erro relativo de cada coordenada do vetor incógnita. Nesses gráficos o eixo das coordenadas refere-se aos erros percentuais plotados de cinco em cinco iterações enquanto que o das abscissas às iterações executadas. Para dar um caráter mais suave às curvas obtidas foi tomada para cada parâmetro a média móvel de cinco pontos entre os valores encontrados. O gráfico do teste 5 do quadro 1 está representado, a título de ilustração, na figura 4.

Nos trabalhos de campo as medidas do potencial são sempre relativas a um determinado ponto base, conseqüentemente os valores obtidos em cada ponto diferem do valor real por uma constante V_0 , dificilmente determinada com exatidão. Por este motivo não deve ser usada em trabalhos práticos a integral numérica do potencial na área de interesse. Entretanto, é válida a utilização dos momentos do potencial, desde que seja tomado um número ímpar de pontos em O_x e O_y da forma tal que a origem, ponto (0, 0), esteja localizada precisamente no centro da malha.

Assim

$$V_{\text{real}} = V_{\text{medido}} + V_0$$

(27)

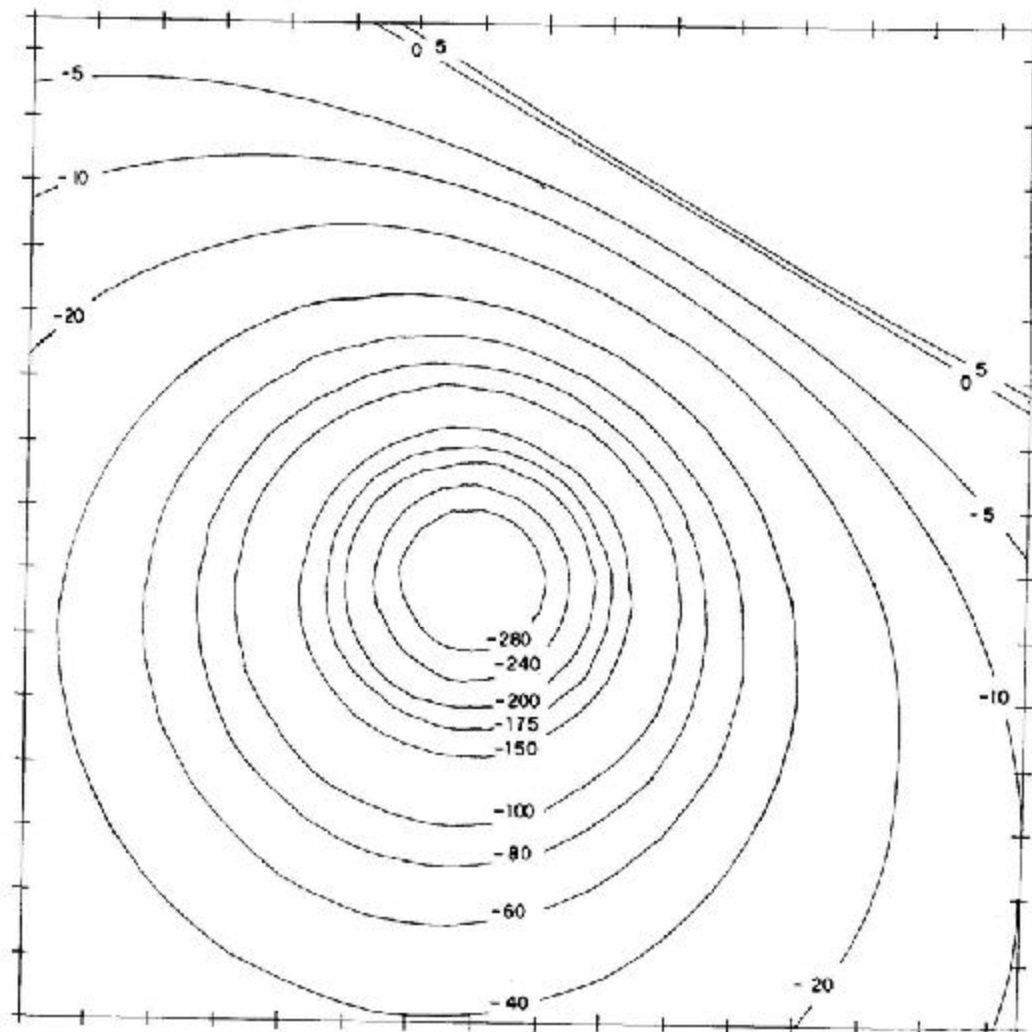


FIGURA 3

QUADRO 1

PARÂMETROS OBTIDOS PARA O DOUBLET SENDO UTILIZADAS AS COMPONENTES EXATAS DO CAMPO ELÉTRICO

| TESTE | DIMENSÕES DA MALHA | NÚMERO DE ITERAÇÕES | PARÂMETROS DO DOUBLET VALORES EXATOS | λ | β | κ_1 | ν_1 | κ_2 | ν_2 | λ |
|-------|--------------------|---------------------|--------------------------------------|-----------|---------|------------|---------|------------|---------|-----------|
| 1 | 31x31 | 1762 | Aproximações | 20 | 20 | 0 | -2 | 4 | 10 | 6 |
| | | | Resultados | 60,03 | 30,00 | -1,98 | -1,98 | 4,05 | 10,21 | 5,87 |
| 2 | 31x31 | 1143 | Aproximações | 20 | 20 | 0 | -1 | 3 | 14 | 7 |
| | | | Resultados | 60,01 | 30,01 | -1,95 | -1,95 | 4,05 | 10,21 | 5,87 |
| 3 | 25x25 | 230 | Aproximações | 20 | 20 | 0 | -1 | 3 | 14 | 7 |
| | | | Resultados | 60,02 | 30,51 | -2,01 | -1,99 | 4,01 | 10,01 | 5,81 |
| 4 | 25x25 | 1553 | Aproximações | 20 | 20 | 0 | -3 | 5 | 13 | 5 |
| | | | Resultados | 60,05 | 30,36 | -1,97 | -1,85 | 4,09 | 10,40 | 5,75 |
| 5 | 21x21 | 791 | Aproximações | 20 | 20 | 0 | -1 | 3 | 14 | 7 |
| | | | Resultados | 60,06 | 30,02 | -1,93 | -1,99 | 4,03 | 10,16 | 5,99 |
| 6 | 21x21 | 1572 | Aproximações | 30 | 35 | 0 | -3,5 | 6 | 12 | 4 |
| | | | Resultados | 58,95 | 29,75 | -1,99 | -2,01 | 4,01 | 10,01 | 5,83 |
| 7 | 31x31 | 1307 | Aproximações | 20 | 20 | 0 | -1 | 3 | 14 | 7 |
| | | | Resultados | 66,09 | 30,96 | -1,87 | -1,92 | 4,22 | 11,31 | 5,24 |
| 8 | 31x31 | 1651 | Aproximações | 20 | 20 | 0 | -1 | 3 | 14 | 7 |
| | | | Resultados | 60,02 | 29,63 | -2,13 | -2,04 | 3,82 | 8,89 | 6,77 |

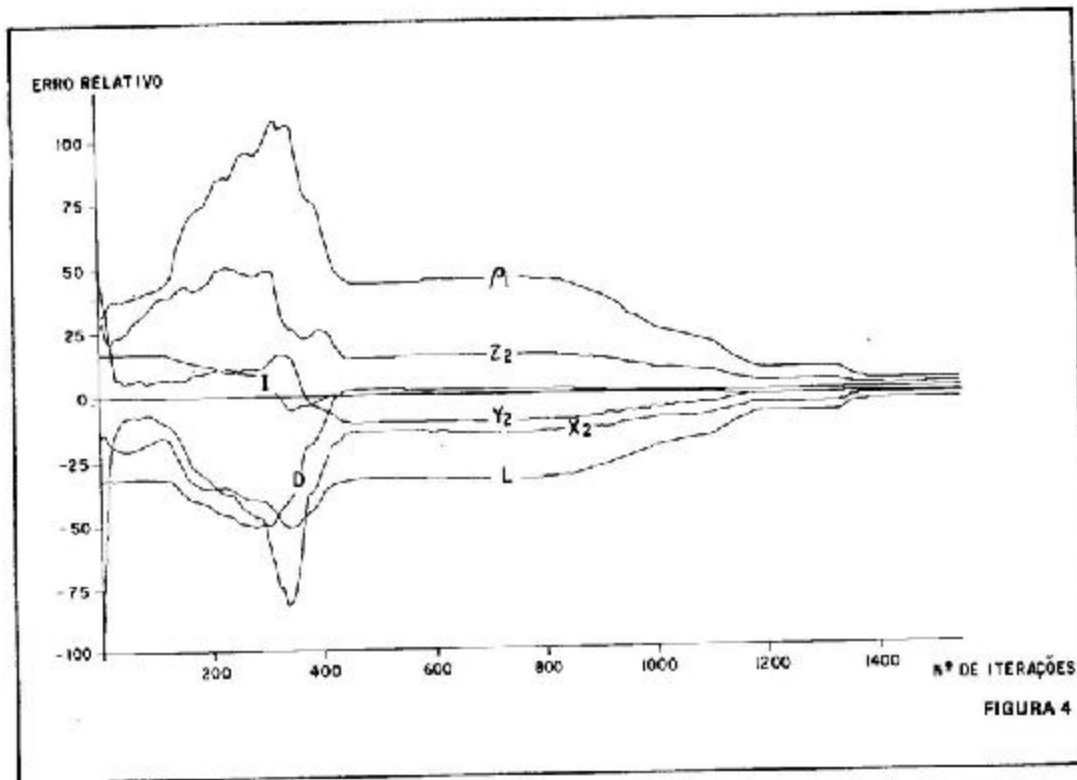


FIGURA 4

e a integral do momento em relação a x:

$$\int_{-x}^x \int_{-y}^y x V_{\text{real}} dx dy = \int_{-x}^x \int_{-y}^y x V_{\text{medido}} dx dy + V_0 \int_{-x}^x \int_{-y}^y x dx dy \quad (28)$$

o último termo do segundo membro é nulo pois a função a ser integrada é ímpar e os limites de integração são simétricos. Igualmente a integral do momento do potencial em relação a y é independente da constante V_0 .

Da mesma forma não devem ser usadas as integrais dos momentos das componentes verticais em trabalhos práticos. Estas componentes necessariamente devem ser obtidas por processos de filtragem e a utilização das mesmas no cálculo dos momentos não apresenta bons resultados a menos que a área de trabalho seja consideravelmente reduzida, Cavalcanti Guerreiro (1976).

O quadro 2 resume alguns dos resultados obtidos para o mesmo doublet quando as componentes horizontais do campo elétrico são calculadas dos dados de potencial usando-se transformadas de Fourier. Os três primeiros testes foram executados com nove funções, dadas pelos momentos do potencial e das componentes horizontais. Nos dois últimos testes não foi usada F_V momento de ordem zero do potencial. As observações feitas anteriormente para o quadro 1 são confirmadas: a redução da área utilizada para os cálculos não influenciou muito nos resultados, novamente os parâmetros que mais se afastaram dos valores exatos foram p_1 e l .

Comparando-se o terceiro e o sexto testes do quadro 1 com, respectivamente, os testes 1 e 4 do quadro 2, verifica-se que embora a precisão dos resultados quando são utilizadas transformadas de Fourier seja inferior aos obtidos se são tomadas as componentes exatas, a diferença entre eles não chega a ser significativa.

Quando o corpo causador da anomalia pode ser geometricamente esquematizado por uma placa é mais adequada a utilização das expressões do modelo linha de doublet.

Como no caso anterior foi simulada uma anomalia atribuindo-se valores aos parâmetros do corpo: ângulo de mergulho l , extensão horizontal da linha $2E$, coordenadas do ponto médio da linha de pólos negativos x_m , y_2 , z_2 o produto p_1 e a distância l entre as linhas de pólos positivos e negativos. A figura 5 representa a anomalia simulada e que foi utilizada para testar o método de interpretação no caso de uma placa condutora.

QUADRO 2
 PARÂMETROS OBTIDOS PARA O DOUBLET SENDO UTILIZADAS AS COMPONENTES
 DO CAMPO ELÉTRICO GERADAS POR TRANSFORMADAS DE FOURIER

| TESTE | DIMENSÕES DE MALHA | NÚMERO DE ITERAÇÕES | PARÂMETROS DO DOUBLET VALORES EXATOS | I | D | x_2 | y_2 | z_2 | ρ_1 | ζ |
|-------|--------------------|---------------------|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|---------|
| 1 | 25x25 | 507 | Aproximações | 70 | 20 | 0 | -1 | 3 | 14 | 7 |
| | | | Resultados | 60,17 | 29,90 | -1,85 | -1,92 | 4,26 | 11,58 | 5,13 |
| 2 | 25x25 | 1847 | Aproximações | 70 | 20 | 1 | -1 | 3 | 8 | 7 |
| | | | Resultados | 60,08 | 29,90 | -1,89 | -2,00 | 4,01 | 10,08 | 5,67 |
| 3 | 21x21 | 1120 | Aproximações | 70 | 20 | 0 | -1 | 3 | 6 | 7 |
| | | | Resultados | 60,00 | 30,05 | -2,01 | -2,01 | 3,93 | 9,99 | 6,07 |
| 4 | 21x21 | 2500 | Aproximações | 50 | 35 | 0 | -3,5 | 6 | 12 | 2 |
| | | | Resultados | 60,02 | 30,02 | -1,85 | -1,90 | 4,30 | 11,95 | 4,82 |
| 5 | 25x25 | 2500 | Aproximações | 70 | 20 | 1 | -1 | 3 | 8 | 7 |
| | | | Resultados | 60,19 | 29,78 | -2,02 | -2,02 | 3,86 | 9,80 | 6,22 |

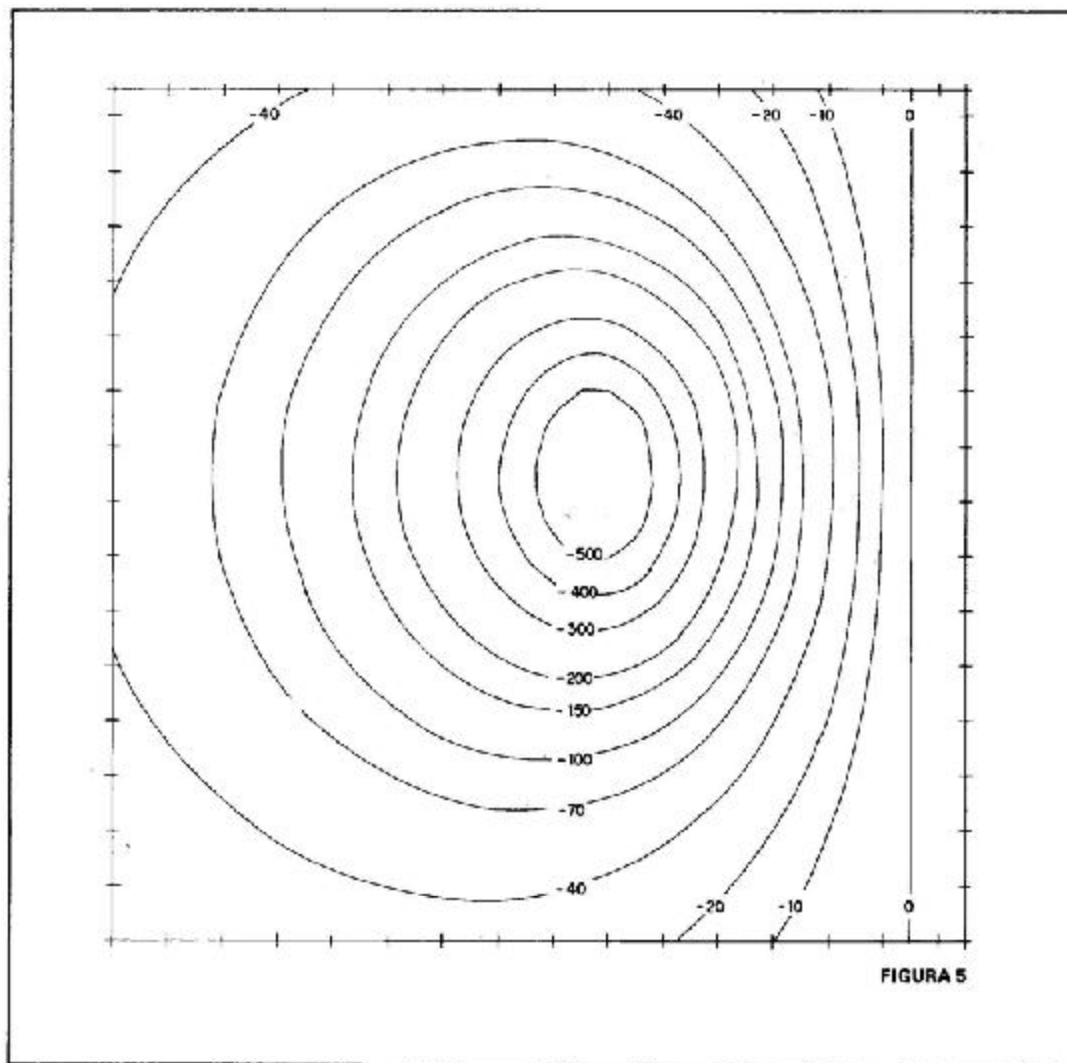


FIGURA 5

Conhecidos o potencial e as componentes obtêm-se as integrais dos momentos dessas funções que vão servir de dados de entrada para a determinação dos parâmetros da linha de doublet. Da mesma forma que para o modelo anterior a metodologia foi primeiramente testada usando-se as componentes exatas. Os resultados estão apresentados no quadro 3. Em todos os testes usou-se 31 x 31 pontos para as dimensões da malha. Os testes 1, 2 e 3 foram executados com as funções dadas pelos momentos do potencial e das componentes horizontais. Para o teste 4 não foi utilizado F_y .

QUADRO 3
PARÂMETROS OBTIDOS PARA A LINHA DE DOUBLET SENDO UTILIZADAS AS COMPONENTES EXATAS DO CAMPO ELÉTRICO

| TESTE | NÚMERO DE ITERAÇÕES | PARÂMETROS DO MODELO | I | E | X _M | Y ₂ | Z ₂ | ρ ₁ | ℓ |
|-------|---------------------|----------------------|-------|------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|
| | | VALORES EXATOS | | | | | | | |
| 1 | 662 | Aproximações | 50 | 4 | -1 | 3 | 5 | 6 | 3 |
| | | Resultados | 60,00 | 2,91 | 0,99 | 2,05 | 4,15 | 11,13 | 3,70 |
| 2 | 392 | Aproximações | 80 | 3,5 | 2 | 0 | 8 | 11 | 6 |
| | | Resultados | 59,94 | 3,12 | 1,00 | 1,96 | 3,91 | 9,15 | 4,23 |
| 3 | 592 | Aproximações | 50 | 6 | 1 | 3 | 8 | 6 | 3 |
| | | Resultados | 60,00 | 3,02 | 1,00 | 2,00 | 4,01 | 9,99 | 3,99 |
| 4 | 797 | Aproximações | 50 | 8 | 1 | 3 | 8 | 8 | 3 |
| | | Resultados | 60,14 | 2,74 | 1,00 | 2,10 | 4,29 | 12,21 | 3,43 |

No quadro 4 estão os resultados obtidos para o mesmo corpo quando as componentes horizontais são obtidas por transformada de Fourier. Os momentos foram obtidos em uma grade de 25 x 25 pontos, tendo sido as componentes geradas numa área de 32 x 32 pontos. Os testes 1 e 2 foram executados com as nove funções citadas enquanto que para o terceiro e o quarto teste empregou-se apenas oito, F_y foi suprimida.

QUADRO 4
PARÂMETROS PARA A LINHA DE DOUBLET SENDO UTILIZADAS AS COMPONENTES DO CAMPO ELÉTRICO GERADAS POR TRANSFORMADA DE FOURIER

| TESTE | NÚMERO DE ITERAÇÕES | PARÂMETROS DO MODELO | I | E | X _M | Y ₂ | Z ₂ | ρ ₁ | ℓ |
|-------|---------------------|----------------------|-------|------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|
| | | VALORES EXATOS | | | | | | | |
| 1 | 2380 | Aproximações | 50 | 4 | -1 | 3 | 5 | 6 | 3 |
| | | Resultados | 60,15 | 3,15 | 1,00 | 2,00 | 4,00 | 9,70 | 3,90 |
| 2 | 850 | Aproximações | 70 | 2 | 1,5 | 1,5 | 3 | 14 | 5 |
| | | Resultados | 60,17 | 3,12 | 1,00 | 2,03 | 4,07 | 10,14 | 3,79 |
| 3 | 1625 | Aproximações | 70 | 5 | 0 | 4,5 | 3 | 6 | 5 |
| | | Resultados | 60,54 | 3,09 | 0,99 | 2,18 | 4,48 | 13,37 | 2,63 |
| 4 | 2503 | Aproximações | 70 | 2 | 1,5 | 1,5 | 3 | 14 | 5 |
| | | Resultados | 59,47 | 3,05 | 1,00 | 1,65 | 3,63 | 7,33 | 4,05 |

V - CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentada uma metodologia, para a interpretação de anomalias de potencial espontâneo, que emprega integrais finitas dos momentos do potencial e das componentes. A metodologia embora sujeita a modelos de interpretação no que se refere à forma do corpo, apresen-

tou resultados muito bons quando se fez a escolha adequada da geometria conveniente ao problema. Por meio desta metodologia é possível determinar-se dimensões, localização e inclinação do corpo que produz a anomalia. A redução nas dimensões da área onde se localiza a anomalia pouco influenciou nas respostas obtidas pela resolução do sistema de equações e os parâmetros foram determinados com aproximadamente o mesmo grau de precisão para malhas de diferentes tamanhos. Do ponto de vista prático isto é vantajoso por permitir a interpretação de anomalias de SP em áreas pequenas.

De modo geral os valores obtidos para as variáveis do modelo apresentaram pequena diferença dos valores exatos, independentemente de terem sido usadas as componentes geradas analiticamente ou as obtidas por transformadas de Fourier. Este é um resultado importante pois na realidade, se dispõe apenas dos dados de potencial, sendo necessário, portanto, a obtenção das componentes do campo elétrico.

No caso prático a aplicação da metodologia que emprega integrais finitas deve seguir as etapas indicadas. A distribuição de potencial é obtida pelos dados de campo e, posteriormente, em uma grade regular, são calculadas as componentes horizontais do campo elétrico por processos de diferenças finitas ou por transformadas de Fourier. De posse do potencial e das componentes horizontais são calculadas numericamente as integrais dos momentos dessas funções. Estes resultados, utilizados no programa de resolução do sistema de equações, servem de padrão de comparação para as funções construídas com os parâmetros do corpo causador da anomalia, as quais dependem do modelo empregado. Quando os valores dessas funções estão suficientemente próximos das integrais calculadas numericamente, admite-se que foi atingida a solução procurada.

A qualidade dos resultados obtidos juntamente com o processamento automático do método, após ter sido escolhido o modelo de forma adequada, faz do emprego das integrais finitas dos momentos do potencial e das componentes do campo elétrico produzido por polarização espontânea, um método fácil e eficiente na interpretação de anomalias de SP, fornecendo maior número de informações e de forma mais precisa que os demais métodos empregados até então.

BIBLIOGRAFIA

- BHATTACHARYYA, B.K. — 1967 — *Some general properties of potential fields in space and frequency domain: a review*; *Geos exploration* 6: 127-143.
- CAVALCANTI GUERREIRO, S.D. — 1976 — *Tratamento quantitativo de anomalias de potencial espontâneo*. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Pará, Brasil.
- CORWIN, R. — 1973 — *Offshore application of self-potential prospecting*. Ph. D. Thesis, University of California, Berkeley, USA.
- HELBIG, K. — 1963 — *Some integrals of magnetic anomalies and their relation to the parameters of the disturbing body*. *Z. Geophysik*, 29: 83-96.
- HIMMELBLAU, D.M. — 1970 — *Applied non linear programming*. New York, McGraw Hill Book Co.
- KELLER, G.V., FRISCHKNECHT, F.C. — 1966 — *Electrical Methods in Geophysical Prospecting*, Oxford, Pergamon Press, 519 pp.
- LEÃO, J.W.D. — 1976 — *Interpretação de Anomalias Magnéticas usando integrais finitas dos momentos das componentes*. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Pará, Brasil.
- LOURENÇO, J.S. — 1972 — *Analysis of three - component magnetic data*; Ph. D. Thesis, University of California, Berkeley, USA.
- NELDER, J.A., MEAD, R. — 1964 — *A simplex method for function minimization*, *Computer Journal* 7: 308-313.
- SATO, M., MOONEY, H.M. — 1960 — *The electrochemical mechanism of sulfide self-potentials*, *Geophysics*, 25 (1): 226-249.

EXPLICAÇÃO DAS FIGURAS E QUADROS

- Figura 1 — Esquema geométrico de um doublet.
Meio (1) — meio condutor, homogêneo, isotrópico.
Meio (2) — meio dielétrico, homogêneo, isotrópico.
- Figura 2 — Esquema geométrico da linha de doublet.
- Figura 3 — Dados de potencial em mV anomalia simulada pelo modelo doublet.
- Figura 4 — Gráfico do processo de convergência do teste 5 do quadro 1.
- Figura 5 — Dados de potencial em mV anomalia simulada pelo modelo linha de doublet.
- Quadro 1 — Parâmetros obtidos para o doublet sendo utilizadas as componentes exatas do campo elétrico.
- Quadro 2 — Parâmetros obtidos para o doublet sendo utilizadas as componentes do campo elétrico geradas por transformadas de Fourier.
- Quadro 3 — Parâmetros obtidos para a linha de doublet sendo utilizadas as componentes exatas do campo elétrico.
- Quadro 4 — Parâmetros obtidos para a linha de doublet sendo utilizadas as componentes do campo elétrico geradas por transformadas de Fourier.

FOTOCOMPOSIÇÃO, MONTAGEM
E IMPRESSÃO:
EDITORA SANTA EDWIGES LTDA.
AV. TERESA CRISTINA, 1.665
FONE: (PBX) 337-9699
BELO HORIZONTE