

**ESTUDOS SOBRE A PROSPECÇÃO MAGNETOMÉTRICA DAS  
OCORRÊNCIAS DE FERRO DA FAIXA NOVA ERA-ITAMARANDIBA  
MINAS GERAIS \***

*por*

*André Davino*

*Departamento de Geologia Econômica e Geofísica Aplicada*

**ABSTRACT**

This paper presents the results of a magnetic prospection made in the region situated between Nova Era and Itamarandiba districts, State of Minas Gerais. The most recent geological study of this region, that belongs to the Group Minas and in part to the Group pré-Minas, is due to Pflug (1965).

The magnetic anomalies were classified in three types: (1) the Cauê type, (2) the Boa Esperança type and (3) the canga type.

The exceptional magnetic anomalies caused by the canga deposits were interpreted as due to the existence of a strong magnetic supergene iron mineral: the maghemite.

An aerial magnetic survey covering the area detected about 20 magnetic anomalies, almost of them corresponding the magnetite-itabirite bodies.

The most important contribution of the magnetic prospection deals with the possibility of finding the limits of the iron occurrence in a short time and by a considerably reduced costs.

**RESUMÉ**

Ce travail présente les résultats des études entreprises en Prospection Géophysique sur des gisements de fer le long d'une bande comprise entre les villes de Nova Era et Itamarandiba, dans l'État de Minas Gerais, Brésil.

Le but du présent travail était de caractériser les méthodes les plus convenables à la prospection géophysique de ces gisements de fer. Bien que toutes les méthodes puissent être, en fait, employées, on a vérifié en pratique, que la combinaison de la magnétométrie et de la Electro-résistivité est la meilleure, ces méthodes concernées étant les plus économiques et les plus rapides dans de tels cas.

Les anomalies magnétiques, exceptionnellement intenses, qu'on trouve souvent sur les dépôts de *cangas* ont pu être interprétées comme provenant de l'action d'un mineral d'origine superficiel, présentant une susceptibilité magnétique très élevée, la maghemite. Cette constatation est, en fait, une limitation très gênante à la prospection par cette méthode.

## RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados dos estudos sobre a prospecção magnetométrica das ocorrências de ferro situadas na faixa Nova Era – Itamarandiba, no centro-leste do Estado de Minas Gerais.

O trabalho mais recente sobre a geologia dessa área se deve a Pflug (1965). Esse autor considera que as rochas gnáissicas que constituem a faixa Nova Era – Itamarandiba pertencem em parte ao Grupo Minas, ou mais particularmente, à fácies Guanhães desse Grupo, e, em parte, ao grupo pré-Minas. Há, no entanto, diversos indícios de que se trata de uma única unidade estratigráfica, possivelmente a fácies Guanhães do Grupo Minas, definida por Pflug.

Os estudos geofísicos foram efetuados em algumas áreas da parte sul da faixa Nova Era – Itamarandiba, mas, as conclusões tiradas são válidas para toda a região, pois que os corpos de magnetita-itabirito existentes nessa faixa apresentam características litológicas, estruturais e comportamento magnético semelhantes.

De acordo com seu padrão, as anomalias magnéticas foram classificadas em três categorias: (1) tipo-Cauê, (2) tipo-Boa Esperança e (3) tipo-canga. Essa classificação tem grande importância do ponto de vista da aplicabilidade do método magnetométrico na pesquisa daquelas ocorrências de ferro.

Foram realizados levantamentos magnetométricos em 4 locais da parte sul da faixa Nova Era – Itamarandiba: Boa Esperança, Liberdade, Cuité e Curriola. Os resultados desses levantamentos são discutidos no presente trabalho. Sua principal contribuição foi permitir traçar os contornos das ocorrências de ferro em tempo muito mais curto do que seria necessário se fosse usado qualquer outro método de pesquisa.

O levantamento aeromagnetométrico executado pela Companhia Vale do Rio Doce na faixa compreendida entre Nova Era e Guanhães detectou cerca de 20 anomalias magnéticas, quase todas correspondentes a corpos de magnetita-itabirito. Além disso, auxiliou no traçado das grandes linhas estruturais da área sobrevoada.

## INTRODUÇÃO

Embora conhecidas desde longa data, até recentemente pouco interesse despertaram para os mineradores as numerosas ocorrências de minério de ferro localizadas ao longo da faixa Nova Era – Itamarandiba, no centro-leste do Estado de Minas Gerais (fig. 1), em face das enormes reservas do Quadrilátero Ferrífero.

Nos últimos anos, porém, a Companhia Vale do Rio Doce (C.V.R.D.) teve sua atenção voltada para aquelas ocorrências, por diversos motivos:

- a) a excepcional qualidade do minério existente na Jazida Boa Esperança, de grande aceitação no Exterior;
- b) a necessidade de aumentar suas reservas de minério de ferro em face do ritmo crescente das exportações;
- c) a possibilidade de aproveitamento de seu pessoal técnico e de seus próprios equipamentos e meios de transporte para o desenvolvimento das novas áreas de mineração.

De fato, algumas ocorrências de ferro da faixa Nova Era – Itamarandiba – como, por exemplo, as de Boa Esperança, também conhecida como Piçarrão, Liberdade, Cuité e Curriola – se localizam a menos de 30 quilômetros do tronco principal da Estrada de Ferro Vitória – Minas, de propriedade da CVRD, que serve de escoadouro para o minério produzido no Distrito de Itabira, onde a CVRD tem suas maiores jazidas.

A fim de avaliar, no mais curto prazo possível, os recursos em minério de ferro daquela faixa, a CVRD decidiu-se por um levantamento aeromagnetométrico. O planejamento de vôo e as previsões dos resultados dependiam, no entanto, do conhecimento das características magnéticas dos minérios de ferro.

O autor teve a oportunidade de realizar os primeiros ensaios de magnetometria naquela região, em dezembro de 1967. Segundo consta, nenhuma outra tentativa de aplicação dos métodos geofísicos fora anteriormente empreendida na área.

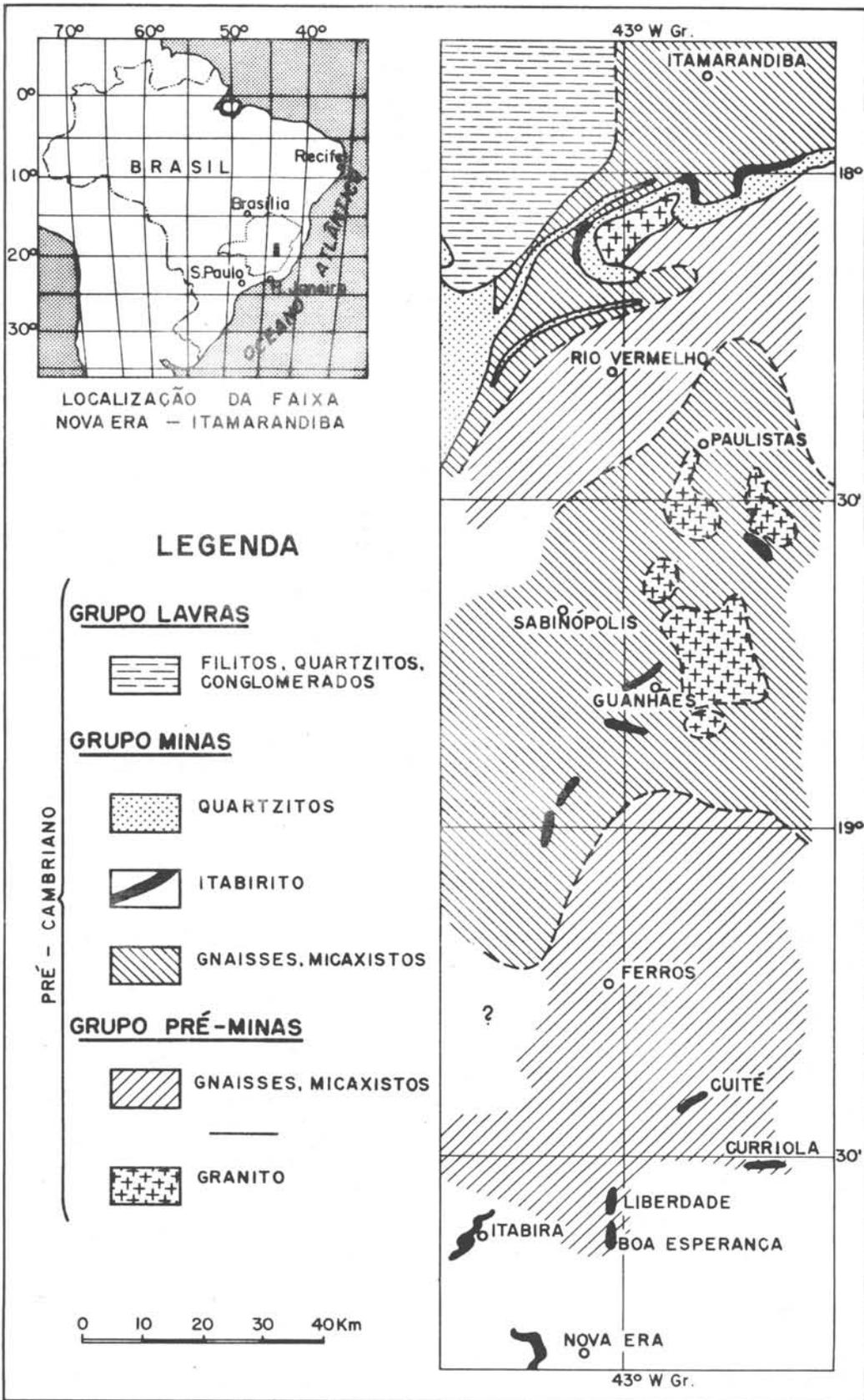


Figura 1 - A faixa Nova Era-Itamarandiba. Geologia seg. Pflug (1965), modificada.

Para testar a aplicabilidade do método e prever os resultados do levantamento aerotransportado foram realizados estudos na área da Jazida Boa Esperança que é a ocorrência de ferro mais conhecida da faixa Nova Era – Itamarandiba. Além disso, medições magnetométricas foram efetuadas nas áreas das jazidas Cauê e Conceição, ambas situadas no Distrito mineiro de Itabira.

Os resultados desses ensaios indicaram vários problemas para a prospecção geofísica, os quais mereciam um estudo mais acurado não só de interesse acadêmico, mas pelas implicações econômicas que tais estudos teriam na orientação das futuras pesquisas a serem feitas na área.

Graças a auxílio recebido da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo o autor pôde ampliar os estudos empreendidos. Além do método magnetométrico, empregou-se gravimetria e eletrorresistividade. Este último mostrou-se excepcionalmente útil como método de prospecção das jazidas tipo-Boa Esperança.

Um perfil gravimétrico levantado na parte norte da Jazida do Cauê acusou um *alto gravimétrico* de  $-10$  mgal. Ainda que o método gravimétrico possa ser de grande utilidade para a prospecção das jazidas de ferro, preferiu-se preterir-lo aos outros dois – magnetometria e eletrorresistividade – porque a aplicação da gravimetria exige um levantamento topográfico de alta precisão, o que onera e torna muito moroso o levantamento. O relevo acidentado das áreas das jazidas e arredores constitui também um fator contrário ao emprego de gravimetria.

*A Faixa Nova Era – Itamarandiba* – Essa faixa se localiza a leste da parte meridional da Cordilheira do Espinhaço, no centro-leste do Estado de Minas Gerais, aproximadamente entre os meridianos de  $43^{\circ} 15'$  e  $42^{\circ} 45'$  W e os paralelos  $17^{\circ} 50'$  e  $19^{\circ} 50'$  S (figura 1). Ao sul, situa-se a cidade de Nova Era e ao norte, Itamarandiba, enquanto Guanhães ocupa posição central dentro da faixa considerada. O distrito ferrífero de Itabira, a noroeste de Nova Era, é considerado parte do Quadrilátero Ferrí-

fero (Dorr e Barbosa, 1963).

A área apresenta relevo acidentado, montanhoso, e é drenada pelos tributários do Rio Doce que deságua no Oceano Atlântico.

Do ponto de vista geológico, a faixa Nova Era – Itamarandiba é pouco conhecida. A maioria das referências, algumas das quais da-

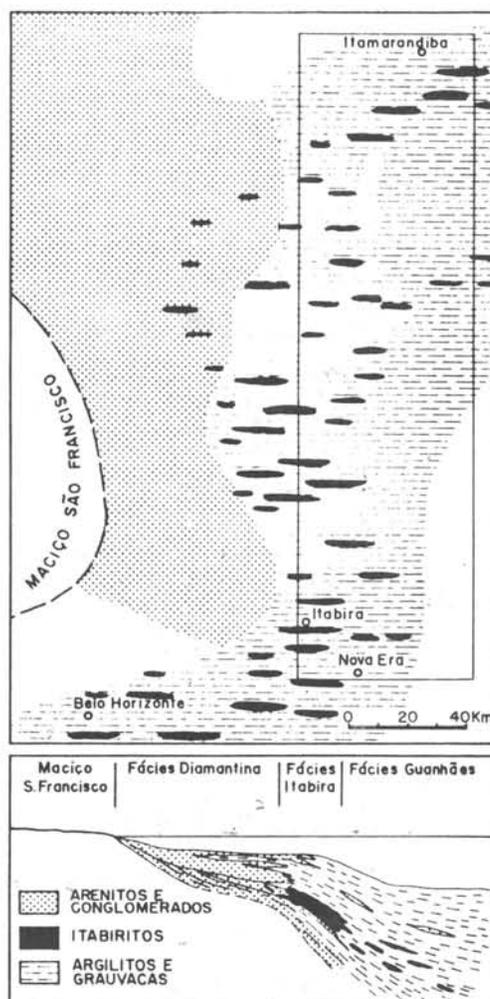


Figura 2 – Distribuição das fácies no Grupo Minas, seg. Pflug (1965, pp.32 e 33), modificado.

tam do século passado, limita-se a descrições locais. Foram ensaiadas, no entanto, algumas tentativas de correlação estratigráfica regional.

A publicação mais atual e mais completa sobre a geologia da região se deve a Pflug (1965). Neste excelente trabalho, Pflug aplican-

do os conceitos de mudança de fácies e de zonas metamórficas, pôde provar que o grupo Minas (Dorr et al, 1957, p. 22) tem uma extensão muito maior do que foi geralmente suposto.

Para Pflug, a região fornecedora de sedimentos, durante a deposição do Grupo Minas, estaria situada na atual bacia do Rio São Francisco (fig. 2). Ao redor desse núcleo continental ter-se-iam desenvolvido tres *zonas de fácies*:

fácies Diamantina

fácies Itabira

fácies Guanhães

Estas zonas de fácies indicariam uma evolução de sedimentos de plataforma continental para sedimentos de geossinclinal.

A *fácies Diamantina*, caracterizada por areias bem classificadas, com estratificação cruzada e pelos conglomerados, atinge até 100 km de largura.

A *fácies Itabira*, com potentes itabiritos, tem de 10 a 15 km de largura.

A *fácies Guanhães*, com sedimentos eu-geossinclinais, hoje representados pelos gnaisses e micaxistos, possui mais de 100 km de largura.

*Posição estratigráfica dos gnaisses e micaxistos* — A posição estratigráfica dos gnaisses e micaxistos assume certa importância no presente trabalho, porque as ocorrências de itabirito e hematita, tratadas no capítulo referente à magnetometria, estão encaixadas em gnaisses e micaxistos. São as ocorrências de Boa Esperança, Liberdade, Cuitê e Curriola, as quais foram localizadas por nós no mapa geológico de Pflug (1965, prancha) reproduzido na figura 1. Nesse mapa, Pflug distingue os gnaisses e micaxistos pertencentes ao grupo Minas dos gnaisses, e micaxistos do Grupo pré-Minas.

As ocorrências de ferro de Boa Esperança, Liberdade, Cuitê e Curriola se situam no limite sul do mapa de Pflug; apenas Cuitê está dentro da unidade denominada por aquele Autor de gnaisses e micaxistos pré-Minas; as demais se encontram em uma zona não mapeada. Por extensão, poder-se-ia considerar aquelas ocorrências de ferro como pertencentes ao Grupo pré-Minas.

Reeves (1966, p. E 10), em seu trabalho sobre a geologia e recursos minerais das Quadrículas de Monlevade e Rio Piracicaba, denominou Gnaiss Monlevade às rochas subjacentes ao Grupo Minas naquelas Quadrículas.

O Gnaiss Monlevade consiste principalmente de gnaisses e, em menor proporção, de quartzo-micaxisto, anfíbolito e itabirito e é provavelmente o equivalente altamente metamorfoseado e metassomatizado do Grupo Rio das Velhas. O grau do metamorfismo regional nessas Quadrículas é maior do que no Quadrilátero Ferrífero em geral.

As áreas de ocorrência do Gnaiss Monlevade mapeado por Reeves (1966) se situam a menos de 50 quilômetros ao sul das unidades mapeadas por Pflug (1965) como gnaisses e micaxistos do Grupo pré-Minas. Se se tratarem, por conseguinte, da mesma unidade estratigráfica, as ocorrências de itabirito de Boa Esperança, Liberdade, Cuitê e Curriola seriam apenas uma unidade litológica do Gnaiss Monlevade do Grupo Rio das Velhas.

Nas Quadrículas Monlevade e Rio Piracicaba, o itabirito é também um constituinte do Gnaiss Monlevade. Reeves (1966, pág. E 15) diz que pequenas lentes e camadas de itabirito estão distribuídas no Gnaiss Monlevade, mas elas não são numerosas nem apresentam extensão suficiente para serem mapeadas. Acrescenta ainda que parte do itabirito converteu-se em hematita e magnetita compacta quase pura pela substituição da sílica por ferro. Esses corpos de hematita apresentam 1–5 metros de espessura e são muito pequenos para serem considerados corpos de minério pelo menos presentemente.

As características estruturais e petrográficas do itabirito pertencente ao Gnaiss Monlevade coincidem com as observadas e estudadas em Boa Esperança, Liberdade, Cuitê e Curriola. São lentes de itabirito magnético muito dobradas, em parte transformadas em hematita magnética granular compacta, com uma ou duas dezenas de metros de espessura por uma ou duas centenas de metros de comprimento, intercaladas em gnaisses e micaxistos.

O estudo petrográfico de uma lâmina de

gnaisse da região de Boa Esperança revelou a seguinte composição mineralógica:

Quartzo, plagioclásio, biotita, granada, epítodo, allanita, hornblenda, opacos, apatita, zircão e calcita.

A amostra é um testemunho de sondagem de gnaiss leucocrático. Bandas delgadas de minerais fêmicos alternam-se com bandas espessas constituídas principalmente por quartzo e plagioclásio. Gnaissificação bem pronunciada. A granulação média dos minerais oscila em torno de 0,5 a 0,2 mm. Quartzo e plagioclásio são os minerais predominantes. O plagioclásio se apresenta, em geral, geminado segundo a *lei da albita*; geminação segundo periclínio é bem mais rara; trata-se da variedade oligoclásio. Os minerais fêmicos ocorrem em quantidade relativamente pequena; dentre eles predomina a biotita (z marron, x amarelo). Hornblenda verde ocorre em quantidade muito pequena. Além desses minerais, há quantidades mínimas de epítodo (pistacita), allanita, opacos, apatita e zircão. Calcita é intersticial, secundária e muito rara.

O estudo comparativo dos trabalhos de Pflug (1965) e de Reeves (1966) não permite concluir de modo taxativo qual a posição estratigráfica das ocorrências de itabirito estudadas no presente trabalho, pois que em seu mapa geológico, Pflug deixou ainda algumas áreas em claro e interrogações. Acrescenta-se ainda o fato de o Grupo Rio das Velhas apresentar nas Quadrículas Rio Piracicaba e Monlevade um grau de metamorfismo mais elevado do que no resto do Quadrilátero Ferrífero, do que resultou feições litológicas e estruturais que não permitem correlacioná-la com as unidades menos altamente metamorfoseadas da área oeste e central do Quadrilátero Ferrífero (Reeves, 1966, pág. E-1).

## ESTUDOS MAGNETOMÉTRICOS

É clássica a aplicação do método magnetométrico na pesquisa de jazidas de ferro e considera-se uma fase necessária antes da programa-

ção dos furos de sondagens e dos outros meios tradicionais de prospecção.

Procuraremos fornecer todos os elementos que caracterizam a aplicabilidade da magnetometria como método para a prospecção das ocorrências de ferro da faixa Nova Era — Itamarandiba e ainda, as vantagens, as limitações e os custos operacionais da prospecção magnetométrica em comparação com a prospecção convencional.

Alguns estudos foram efetuados nas jazidas de ferro do distrito de Itabira. Referências são feitas também a outras jazidas do Quadrilátero Ferrífero.

### *Padrões das Anomalias Magnéticas* —

Uma das primeiras preocupações foi a de classificar as ocorrências de minério de ferro da região estudada, não do ponto de vista petrográfico, mineralógico ou genético, mas, do ponto de vista da prospecção magnetométrica.

O critério escolhido para a classificação foi o *padrão das anomalias magnéticas*. Esse padrão é definido pela *intensidade* e pela *forma* das anomalias, as quais, por sua vez, dependem do contraste de susceptibilidade magnética, das estruturas, distribuição e profundidade das rochas envolvidas.

Existem tres tipos bem distintos de padrões de anomalias (fig. 3) na região em estudo:

- 19) *Anomalias tipo-Cauê*, produzidas pelos corpos de itabiritos e hematitas das jazidas situadas no Distrito de Itabira.
- 29) *Anomalias tipo-Boa Esperança*, produzidas pelos corpos de hematita e itabiritos magnetéticos da faixa Nova Era — Itamarandiba.
- 39) *Anomalias tipo-canga*, produzidas pelos depósitos superficiais de minério de ferro, *canga*, principalmente. Os *rolados* (vide definição, por exemplo, em Dorr e Barbosa, 1963, p. 76) também podem ser incluídos nessa categoria.

As anomalias *tipo-Cauê* são menos intensas que as anomalias *tipo Boa Esperança* e *tipo-canga*. A componente vertical das anomalias *tipo-Cauê* raramente ultrapassa 3.000 gamas, en-

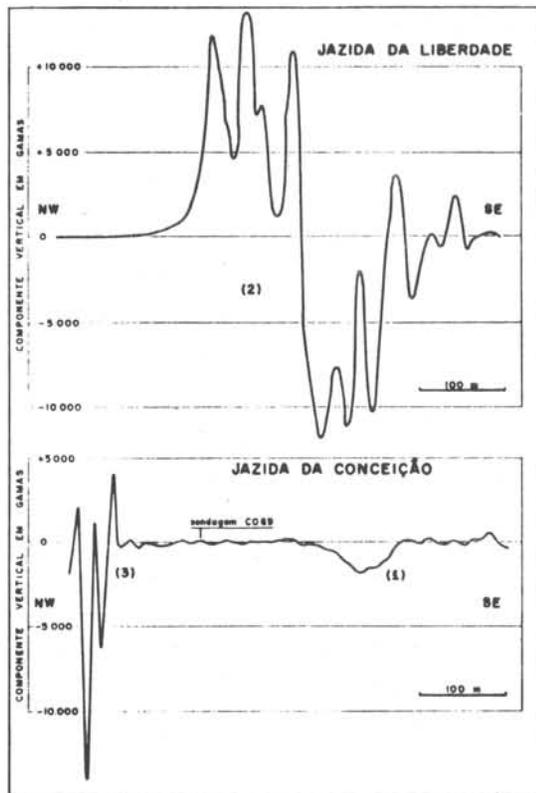


Figura 3 — Padrões de anomalias magnéticas: (1) tipo-Cauê, (2) tipo-Boa Esperança e (3) tipo-canga.

quanto que essa componente comumente atinge mais de 20.000 gammas nas anomalias *tipo Boa Esperança e tipo-canga*.

O teor de magnetita das rochas das formações ferríferas tipo-Cauê, tipo Boa Esperança e tipo-canga explica em parte as intensidades das anomalias magnéticas.

*Relação entre Susceptibilidade Magnética e Teor de Magnetita* — Sendo a magnetita o mais importante constituinte a afetar a susceptibilidade magnética das rochas, foram sugeridas muitas relações quantitativas entre a susceptibilidade magnética  $k$  de uma rocha e seu teor em magnetita. Existem apenas dados experimentais Jahren (1963) encontrou a seguinte relação (fig. 4):

$$K = 0,00116 V^{1,39} \text{ unidades C.G.S.}$$

onde  $V$  é a porcentagem, em volume de magnetita.

Dessa relação pode-se tirar as seguintes conclusões:

- 1ª) Como as anomalias magnéticas crescem rapidamente com o aumento no conteúdo de magnetita, nesse particular, as ocorrências de ferro da faixa Nova Era — Itamarandiba são mais favoráveis à pesquisa por magnetometria que as jazidas do Quadrilátero Ferrífero.
- 2ª) A hematita, que é o mineral mais comum das formações ferríferas estudadas, afeta muito pouco a intensidade de magnetização total das rochas, pois sua ação corresponde apenas àquela de um corpo com menos de 1%, em volume, de magnetita conforme pode-se observar na fig. 4. Conseqüentemente, as hematitas isentas de magnetita apresentam anomalias magnéticas relativamente pequenas e podem ser completamente mascarados pelo efeito magnético das cangas que as recobrem.

Com relação às *formas* das anomalias as seguintes considerações podem ser feitas:

As anomalias tipo-Cauê são suaves e amplas e se distinguem facilmente das anomalias tipo-Boa Esperança e tipo-canga.

As cangas, por causa da distribuição caótica dos blocos de hematita e itabirito que as constituem, cada qual funcionando como pe-

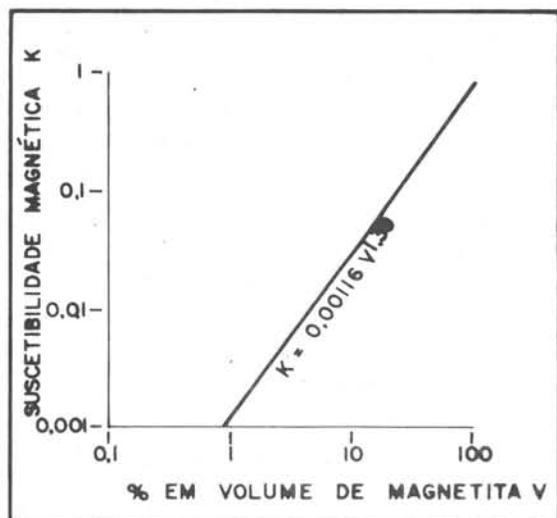


Figura 4 — Relação entre susceptibilidade magnética e conteúdo de magnetita, seg. Jahren (1963).

quenos imãs permanentes, apresentam um relevo magnético completamente irregular, em *dente-de-serra*.

Um procedimento rápido e capaz de indicar se uma anomalia magnética provém de depósitos superficiais ou de corpos magnéticos mais profundos, consiste em obter dois valores da anomalia em cada estação, em alturas diferentes na mesma vertical. Como a anomalia é inversamente proporcional ao cubo de uma distância (isto decorre do fato do momento magnético ter a dimensão do produto volume x campo), se o corpo causador da anomalia estiver próximo à superfície de terreno, uma pequena diferença de altura causará grande diferença no valor da anomalia lida. Na fig. 5 é fornecido um exemplo desse procedimento. Os pares de medidas em cada estação foram efetuados estando o magnetômetro a 70 cm e 100 cm de altura. Obtém-se duas curvas ao longo do mesmo perfil. O afastamento das curvas é um índice *da profundidade das fontes* de anomalias.

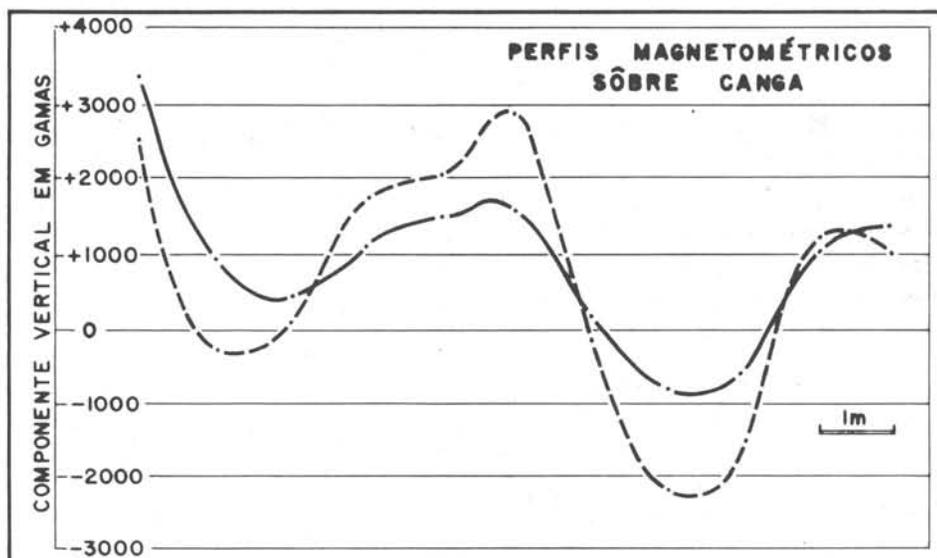


Figura 5 — Teste expedito para verificar anomalias magnéticas de pequena profundidade (depósitos superficiais).

#### JAZIDA DE BOA ESPERANÇA (PIÇARRÃO)

É a única ocorrência de ferro bem conhecida da faixa Nova Era — Itamarandiba. Foi

prospectada por meio de furos de sondagens e de poços. A jazida situa-se no município de Nova Era, cerca de 20 km a leste da cidade de Itabira.

O minério, constituído por hematita granular contendo cerca de 10 a 30% de magnetita apresenta-se sob a forma de lentes delgadas de alguns a algumas dezenas de metros de comprimento, dentro de uma seqüência muito distorcida de itabirito e gnaisses e micaxistos. Sua posição estratigráfica não está ainda definitivamente assente. Preferimos incluir a jazida Boa Esperança e as demais que serão tratadas a seguir dentro do Grupo Minas. Enquanto não for esclarecida sua verdadeira posição estratigráfica, sugerimos utilizar para essa unidade litológica a denominação *itabirito Boa Esperança*.

*Perfis Magnetométricos* — O levantamento magnetométrico na jazida Boa Esperança consistiu no estabelecimento de uma linha-base ao longo do eixo maior da jazida, a partir da qual foram levantadas linhas perpendiculares e, sempre que possível, paralelas entre si.

A fig. 6 mostra a posição das direções dos perfis magnetométricos levantados na parte norte do corpo principal da Jazida Boa Esperança e a fig. 7 fornece detalhes de um dos perfis.

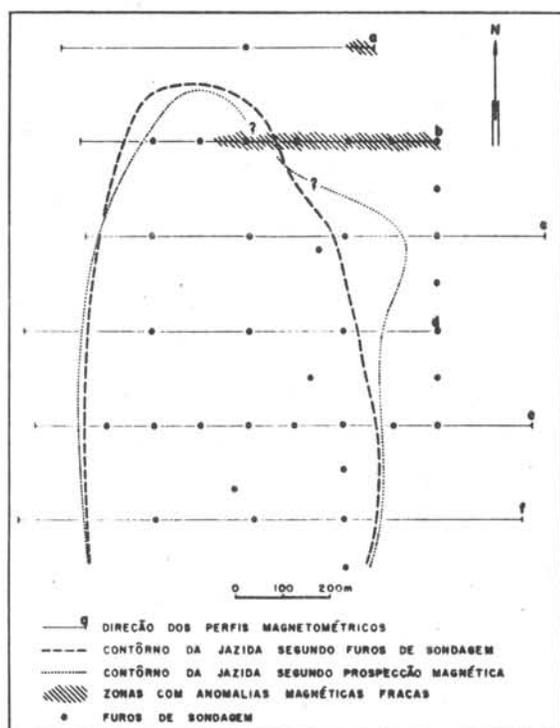


Figura 6 — Parte norte do corpo principal da Jazida Boa Esperança.

As anomalias correspondentes ao *itabirito Boa Esperança* são bem nítidas em relação às anomalias quase nulas correspondentes às rochas encaixantes. Isto facilita enormemente a delimitação da área de ocorrência da formação ferrífera.

O relevo magnético, acidentado e irregular, com diversos picos positivos seguidos de picos negativos, evidenciam a complexidade estrutural da área. Os corpos causadores das anomalias não tem formas geométricas simples. De fato, constata-se total impossibilidade de correlação litológica dos dados dos furos de sondagens mesmo quando estes estão distantes apenas 50 metros.

No perfil geológico da fig. 7 denominou-se *itabirito Boa Esperança* a unidade heterogênea formada pelo conjunto de rochas ferríferas (itabirito e hematita magnéticas) no meio das quais ainda ocorrem lentes delgadas de gnaisses, veios pegmatíticos e de quartzo. Na realidade, a complexidade estrutural é muito maior do que sugere o corte geológico. Supõe-se a exis-

tência de uma série de falhas escalonadas de pequeno rejeito da ordem de metros ou, no máximo, uma dezena de metros. Essas falhas se sucedem na forma de uma escada que desce para oeste até o rio Piçarrão, cujo rumo para norte, naquela área, é controlada por falhamento visível, tanto em fotografias aéreas como sobre o terreno.

As cangas, embora raras, e os *rolados* contribuem para aumentar as irregularidades das anomalias magnéticas. O campo magnético criado pelos depósitos superficiais se superpõe às anomalias provenientes dos corpos *in situ*.

No perfil da fig. 7 pode-se notar também que o *nível magnético zero* correspondente às rochas encaixantes não apresenta o mesmo padrão numa extremidade e na outra. A leste há pequenas ondulações nas anomalias que indicam a presença de material magnético, pequenas lentes de itabirito e/ou hematita da ordem de 1 metro de comprimento, muito esparsas e de material *rolado* em pequena quantidade. A oeste, todavia, os valores permanecem próximos do zero, indicando a ausência de qualquer perturbação magnética nesse lado e, consequentemente, uma descontinuidade lateral da formação ferrífera, provavelmente, a falha mencionada.

Do que ficou acima exposto, as conclusões práticas que se chega com relação a jazida do Piçarrão são as seguintes:

Os levantamentos magnetométricos permitem delimitar facilmente os contornos das ocorrências de ferro, mas, num estudo mais elaborado, poderiam indicar também as zonas onde os corpos magnéticos são maiores e mais espessos.

Dada a complexidade estrutural, é praticamente impossível pretender separar os itabiritos das hematitas, a partir dos resultados da magnetometria.

A fig. 6 mostra o contorno da área magneticamente anômala, traçado a partir dos perfis magnetométricos. Esse contorno coincide praticamente com aquele traçado pela C.V.R.D. com base nos dados dos furos de sondagem.

*Outras ocorrências.* As ocorrências da

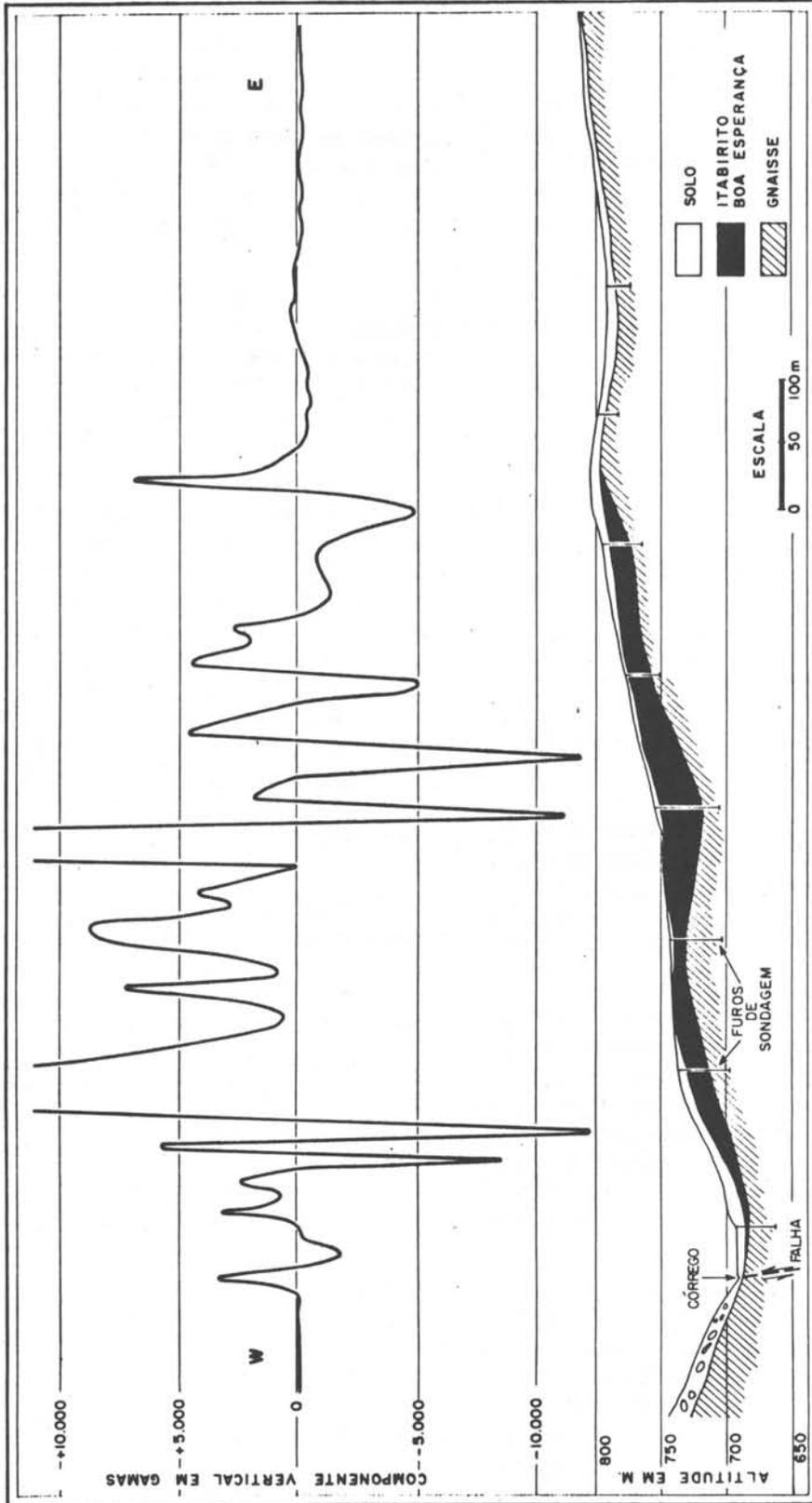


Figura 7 — Perfil magnetométrico ao longo da direção **n**. O corte geológico foi obtido a partir dos dados de sondagens.

Liberdade, de Curriola e de Cuité são litológica e estruturalmente semelhantes à jazida Boa Esperança. São constituídas por lentes ou camadas de itabiritos e hematita magnéticas encaixadas em gnaisses e micaxistos e apresentam mergulho de 15° a 20°.

Os levantamentos magnetométricos ex-

cutados sobre essas ocorrências (fig. 8) serviram para reforçar e generalizar as conclusões tiradas anteriormente.

Em média, foram necessários apenas 5 dias para a execução do levantamento de cada ocorrência, utilizando-se um variômetro vertical ABEM e uma equipe de 2 pessoas.

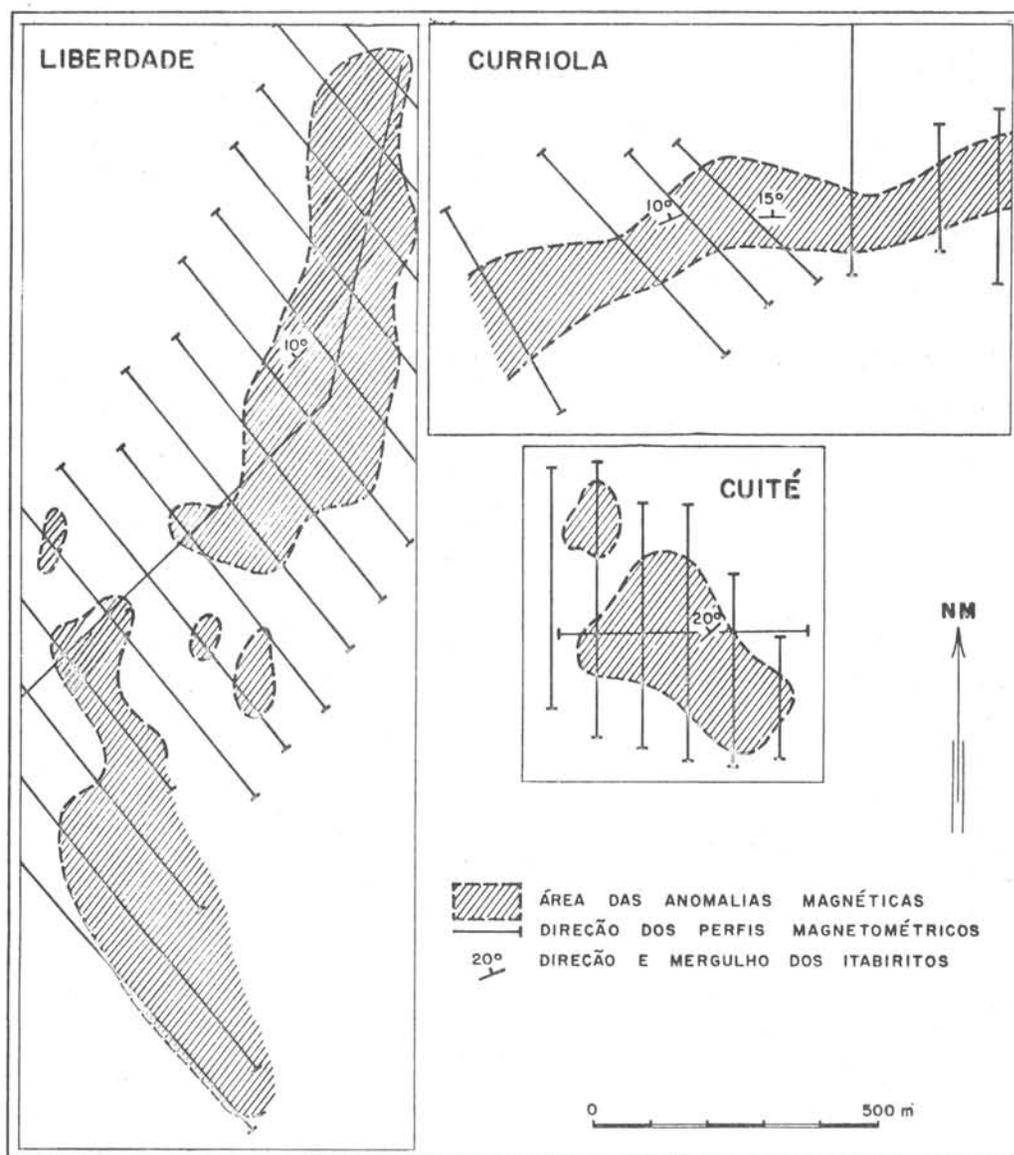


Figura 8 — Resultados da prospecção magnetométrica das áreas de Liberdade, Curriola e Cuité.

## ESTUDOS SOBRE MODELOS EM ESCALA REDUZIDA

Dois dispositivos foram construídos nas oficinas da C.V.R.D. para servirem aos estudos sobre modelos em escala reduzida (fig. 9). As partes essenciais desses dispositivos são descritas a seguir.

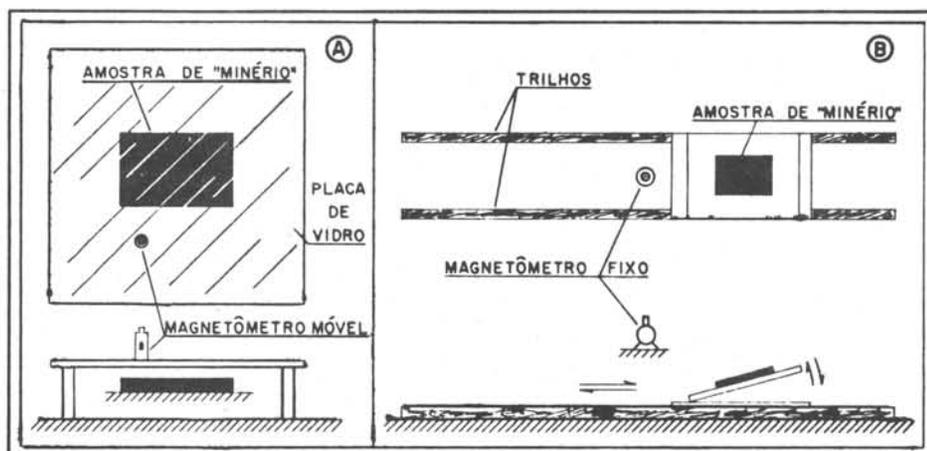


Figura 9 — Dispositivos para medição com modelos em escala reduzida: (A) para obtenção de mapas isogamas; (B) para obtenção de perfis magnetométricos.

Uma placa de vidro, sob a qual é colocada a amostra representativa do corpo de minério, servia como superfície topográfica (fig. 9-A). Como instrumento de medida foi utilizado um magnetômetro de pequenas dimensões — o *Minimag* da Craelius Geophysical instruments, pertencente à C.V.R.D..

Na fig. 10 reproduz-se os resultados de um desses estudos que pode ser feito no laboratório, em cerca de 1 hora. É a carta das isoanomalias da componente vertical causada por um corpo tabular horizontal; a superfície do terreno (placa de vidro) é plana e horizontal. Os polos, positivo e negativo, da *camada de minério de ferro* (amostra) são remanentes e não induzidos, e portanto pouco afetados pelo campo magnético da terra.

O outro dispositivo utilizado (fig. 9-B) é mais apropriado para obter perfis magnetométricos. Consiste em princípio num suporte móvel que pode deslizar horizontalmente sobre trilhos. Como instrumento de medida foi utilizado um variômetro ABEM que, nessa experiên-

cia, é mantido fixo.

A amostra de minério é talhada em dimensões proporcionais àquelas da jazida e colocada sobre o suporte móvel com a mesma orientação com que é encontrada no afloramento. O modelo é deslocado no sentido horizontal e as leituras, no magnetômetro, são feitas para cada posição relativa modelo-instrumento.

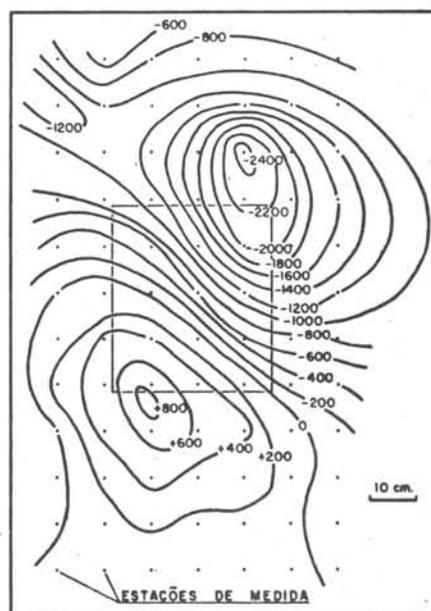


Figura 10 — Carta de isoanomalias obtida sobre modelo em escala reduzida. O retângulo no centro da figura representa a posição da amostra.

A fig. 11-a reproduz um perfil, magnetométrico obtido sobre um modelo em escala reduzida e, a título de comparação, a fig. 11-b, um perfil real obtido na ocorrência de Cur-

riola. Deve-se observar a importância dos efeitos magnéticos locais sobre o perfil. O estudo em modelos reduzidos permite visualizar esse fato e orientar a interpretação.

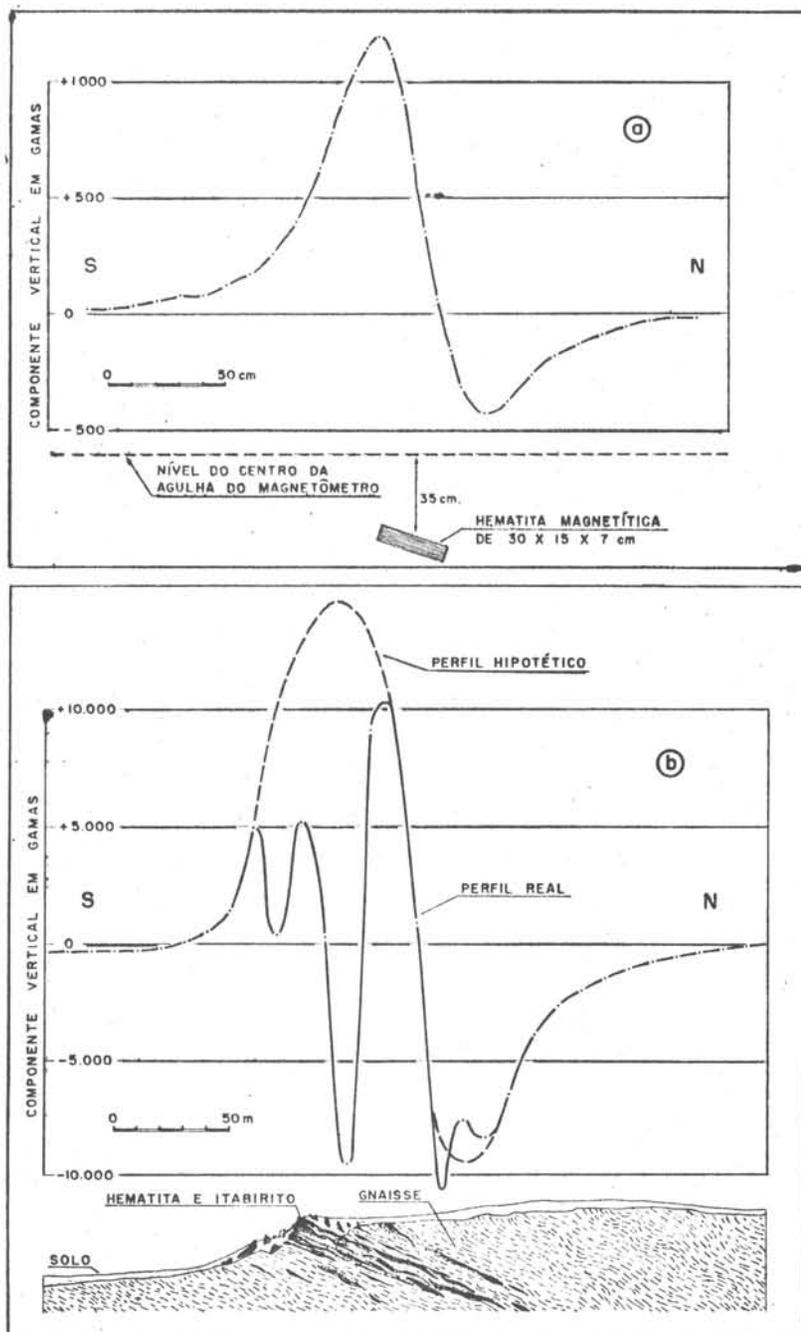


Figura 11 — Comparação entre o perfil magnetométrico obtido sobre modelo (a) e o obtido no campo (b). O corte geológico é uma secção N-S da Jazida de Curriola.

## LEVANTAMENTOS AEROMAGNETOMÉTRICOS

A C.V.R.D. fez executar um levantamento aeromagnetométrico cobrindo a faixa Nova Era—Guanhães. O trabalho de interpretação dos resultados coube à Cie. Générale de Géophysique, de Paris (Lacomblez, 1968).

Os objetivos desse levantamento foram definir as extensões das ocorrências conhecidas e detectar todos os *indícios desconhecidos* a fim de orientar os levantamentos em terra, possibilitando a avaliação completa dos recursos em ferro da zona estudada. O levantamento restringiu-se à faixa Nova Era—Guanhães (fig. 1), cobrindo uma zona retangular de orientação N—S com 40 km de largura por 135 km de comprimento.

Foram detectadas mais de 20 anomalias magnéticas na área pesquisada por aeromagnetometria (entre as quais estão aquelas correspondentes às jazidas Boa Esperança, Liberdade, Cuité e Curriola) e pôde-se traçar, com auxílio das fotografias aéreas, as grandes linhas estruturais da área em estudo: as direções de gnaissificação e xistosidade, os eixos dos dobramentos e as direções dos falhamentos. O vôo foi concluído em 25 dias; a compilação e interpretação dos resultados, em aproximadamente, 1 mes. A aeromagnetometria era o único método capaz de fornecer um inventário completo dos recursos em ferro da área estudada em tão curto prazo.

## CONCLUSÕES

1) Se do ponto de vista da geologia regional, a faixa Nova Era—Itamarandiba é pouco conhecida, havendo formações cuja posição estratigráfica não está ainda perfeitamente estabelecida, como é o caso dos Gnaisses e Micaxistos pré-Minas (Pflug, 1965) equivalente talvez ao Gnaiss Monlevade (Reeves, 1966), dentro dos quais se encontram as ocorrências lenticulares de itabirito e hematita magnéticas estudadas no presente trabalho, do ponto de vista da prospecção geofísica, ficam perfeitamente ca-

racterizadas por suas propriedades físicas duas entidades geológicas bem distintas: de um lado, os corpos de itabirito e hematita e do outro, as rochas encaixantes: metassedimentares (filitos, quartzitos, gnaisses e micaxistos), granitos e, micaxistos), granitos e, em menor proporção (?).

As formações ferríferas da faixa Nova Era—Itamarandiba podem ser descobertas e prospectadas por métodos geofísicos graças às suas propriedades e características físicas próprias: intensidade de magnetização, condutibilidade elétrica, densidade e impedância acústica. Assim sendo, os quatro métodos principais de prospecção geofísica (magnetométrico elétrico, gravimétrico e sísmico) poderiam ser empregados teoricamente. Na prática, verificou-se que a combinação de magnetometria e eletrorresistividade é o mais conveniente por serem tais métodos os menos onerosos e os mais rápidos.

2) Embora a magnetometria seja o método clássico na prospecção de minério de ferro, as pesquisas realizadas nas ocorrências de ferro tipo-Boa Esperança e tipo-Cauê do Distrito de Itabira e o conhecimento que se tem da geologia e recursos minerais do Quadrilátero Ferrífero permitem prever algumas restrições quanto ao uso não criterioso do método.

Os padrões das anomalias magnéticas dos corpos de minério de ferro tipo-Cauê, tipo-Boa Esperança e dos depósitos superficiais (canga e *rolado*) podem ser caracterizados por sua intensidade e forma. O teor de magnetita das rochas explica em parte as intensidades das anomalias, mas a possibilidade de existência de maghemita,  $\gamma - \text{Fe}_2\text{O}_3$ , mineral altamente magnético, em abundância nas partes superficiais dos depósitos de ferro supérgenos veio esclarecer um dos problemas fundamentais do caráter magnético das formações ferríferas tipo-Cauê, tipo-Boa Esperança e tipo-canga. Foi verificado por meio de raio-X a presença de maghemita em amostra de hematita magnética de Boa Esperança.

As cangas apresentam surpreendentemente, anomalias de intensidade muitas vezes superior às dos grandes corpos de itabirito e hemati-

ta tipo-Cauê. O caráter magnético desses depósitos supérgenos não está ligado a seu teor de magnetita, mas, provavelmente, à maghemita. Um estudo aprofundado da gênese, paragenese e distribuição espacial da maghemita relacionada às formações ferríferas do Quadrilátero Ferrífero e adjacências contribuirá, não somente para o conhecimento desse mineral, mas também, para a orientação mais criteriosa da prospecção magnetométrica naquelas áreas. A presença de canga e outros depósitos superficiais de ferro é um fator limitante à localização por magnetometria de corpos de itabirito e hematita mesmo que estes apresentem grandes volumes. As anomalias magnéticas tipo-canga ultrapassam comumente 20.000 gamas, enquanto as do tipo-Cauê raramente atingem 3.000 gamas.

Como as ocorrências de itabirito e hematita representam por causa da alta densidade dos minerais do minério de ferro um grande excesso de massa em relação às encaixantes, a gravimetria poderia eventualmente ser utilizada nos casos em que os resultados de um levantamento magnetométrico forem mascarados por anomalias tipo-canga. Um perfil gravimétrico transversal à jazida do Canê, em Itabira, acusou um *alto* gravimétrico de - 10 mgals.. Os depósitos superficiais de canga são mais raros na faixa Nova Era-Itamarandiba que no Quadrilátero Ferrífero.

3) O emprego dos métodos geofísicos tanto na fase de reconhecimento (aeromagnetometria) como na fase de detalhes (magnetometria terrestre e resistividade) proporciona uma redução considerável do tempo, dos custos e dos esforços dispendidos na descoberta e prospecção das ocorrências de itabirito e hematita da faixa Nova Era-Itamarandiba. A execução e interpretação do levantamento aeromagnetométrico, que permitiu localizar mais de duas vintenas de áreas magneticamente anômalas, numa cobertura de 40 x 135 km, foram realizadas em menos de 2 meses. Para os levantamentos magnetométricos terrestres das áreas de Boa Esperança, Liberdade, Cuité e Curriola foram necessários, em média, apenas 5 dias para cada ocorrência. Constatou-se que, na área de Boa Esperança, cerca de 30% dos furos de son-

dagens poderiam ter sido melhor aproveitados se a locação desses furos tivesse sido programada com base no levantamento magnetométrico prévio.

## AGRADECIMENTOS

A elaboração deste trabalho só foi possível graças à cooperação de numerosas pessoas e entidades.

Os geólogos e engenheiros da Companhia Vale do Rio Doce demonstraram invulgar espírito de colaboração, pondo à nossa disposição todos os documentos necessários para elaboração deste trabalho. Os Geólogos José Eduardo Machado e Wanderlei de Rui Beisegel acompanharam e orientaram o autor nos trabalhos de campo diversas vezes. Tivemos oportunidade de conhecer diversos problemas relacionados com a geologia da área estudada em discussões com os Geólogos Domingos Drummond Torres, José Aluísio Vasconcellos, Amílcar Souto Jorge e Ricardo A.C. Figueiredo. O Engenheiro de Minas Guilherme Gasolla forneceu-nos dados concernentes ao trabalho de prospecção da jazida Boa Esperança. Recebemos valiosas informações e dados sobre análises químicas e teor de magnetita das rochas por parte do Engenheiro-Químico Edson Ribeiro Teixeira.

O colega Umberto G. Cordani, Diretor científico do Laboratório de Geocronologia da USP, gentilmente determinou a idade radiométrica de um gnaiss da área da Jazida Boa Esperança.

Encontramos em nossos amigos e colegas, especialistas em mineralogia, petrografia e pedologia, a melhor boa vontade em nos auxiliar. As secções polidas do minério de ferro foram feitas e estudadas pelos Professores Dr. Aledir Paganelli Barbour e João Moreschi. O Professor Dr. Vicente Antonio Girardi estudou e descreveu uma lâmina de gnaiss da área de Boa Esperança. Orientação bibliográfica para o estudo e compreensão do problema mineralógico da canga foi fornecida pelos professores Dr. Kenkichi Fujimori, Dr. José Vicente Valarelli e Dr. Adolpho José Melfi. O Professor Valarelli mui-

to gentilmente interpretou os resultados das operações com raio-X para determinação da magnetita de amostras de minério de ferro da região estudada.

Os senhores Kiyoshi Kadokaru e Oswaldo R. Obata, alunos do Curso de Geologia da USP, realizaram as experiências de eletrorresistivida-

de em escala reduzida.

De alta valia foi o auxílio financeiro prestado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo na elaboração do presente trabalho.

A todas as pessoas e entidades mencionadas, apresentamos sinceros agradecimentos.

---

## BIBLIOGRAFIA

- DORR, J.V.N. II (1964) – *Supergene iron ores of Minas Gerais, Brazil*. Economic Geology Vol. 59, nº 7, pp. 1203–1240.
- DORR, J.V.N. 2d. (1958) – *The Cauê Itabirite*. Bol. Soc. Bras. Geol. vol. 7, nº 2, p. 61–62. São Paulo.
- DORR, J.V.N. 2d. e BARBOSA, A.L.M. (1963) – *Geology and ore deposits of the Itabira district, Minas Gerais, Brazil*. USGS, Prof. Paper 341–C, 110 p. Washington.
- DORR, J.V.N. 2d., GAIR, J.E., POMERENE, J.B. e RYNEARSON, G.A. (1957) – *Revisão da Estratigrafia pré-cambriana do Quadrilátero Ferrífero*. DNPM, avulso 81. Rio de Janeiro.
- GAIR, J.E. (1962) – *Geology and Ore deposits of the Nova Lima and Rio Acima Quadrangles Minas Gerais, Brazil*. USGS Prof. Paper 341–A, Washington.
- JAHREN, Ch. E. (1963) – *Magnetic susceptibility of bedded iron-formations*. Geophysics.
- JOHNSON, R.F. (1962) – *Geology and Ore Deposits of the Cachoeira do Campo, Dom Bosco and Ouro Branco Quadrangles, Minas Gerais, Brazil*. USGS Prof. Paper 341 – B, Washington.
- LACOMBLEZ, P. (1968) – *Airmagnetic survey. Companhia Vale do Rio Doce*. Relatório Inédito. Belo Horizonte.
- PFLUG, R. (1965) – *A geologia da parte meridional da Serra do Espinhaço e zonas adjacentes, Minas Gerais*. Bol. 226 da Divisão Geol. e Min. do DNPM. Rio de Janeiro.
- REEVES, R.G. (1966) – *Geology and Mineral Resources of the Monlevade and Rio Piracicaba Quadrangles*. Minas Gerais, Brazil. USGS. Prof. Paper 341–E. Washington.