

## MAGNETISMO ANÔMALO DE ALGUNS DEPÓSITOS DE FERRO SUPÉRGENOS DE MINAS GERAIS \*

por

André Davino  
Instituto de Geociências, USP

### ABSTRACT

Cangas and other types of supergene iron deposits show magnetic anomalies stronger than that corresponding to the big mass of itabirite and hematite from the Itabira ferriferous district, in Minas Gerais. The Magnetic behaviour of these deposits is not related to their content of magnetite, but, most probably to the content of maghemite, a ferriferous supergene mineral of high magnetic susceptibility.

### RESUMO

As cangas e outros tipos de depósitos de ferro supérgenos apresentam anomalias magnéticas muitas vezes mais intensa do que às correspondentes aos grandes corpos de itabirite e hematita do Distrito de Itabira. O caráter magnético desse depósito não está ligado a seu teor de magnetita, mas, provavelmente, à maghemita, mineral de ferro de origem supérgena, de alta susceptibilidade magnética.

### INTRODUÇÃO

Ao curso de prospecção magnetométrica realizadas em áreas do Quadrilátero Ferrífero e na denominada faixa Nova Era – Itamarandiba, MG chamou-nos a atenção as anomalias magnéticas intensas e irregulares, obtidas sobre cangas e outros tipos de depósitos de ferro supérgenos. Essas anomalias magnéticas deveriam ser, normalmente, menos pronunciadas sobre aqueles tipos de depósitos do que nos itabirites e nas hematitas, rochas a partir das quais se formam. Acharmos, por isso, interessante tentar encontrar um explicação para esse fato.

**Padrões de anomalias magnéticas.** Procurou-se inicialmente classificar as ocorrências de miné-

rio de ferro da região pesquisada, não do ponto de vista petrográfico, mineralógico ou genético,

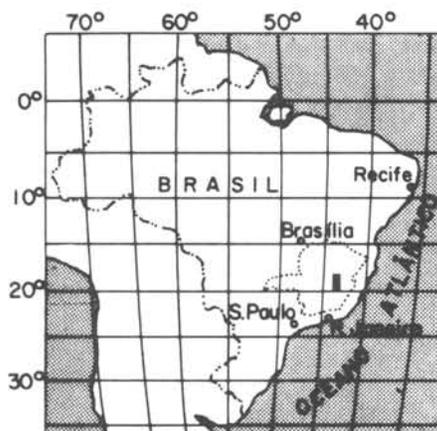


Fig. 1 — Localização da faixa Nova Era – Itamarandiba no Estado de Minas Gerais.

\* Trabalho realizado com auxílio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo e do Conselho Nacional de Pesquisas.

mas, do ponto de vista da prospecção magneto-métrica.

Foram estudadas ocorrências de ferro da faixa Nova Era – Itamarandiba e das jazidas do distrito ferrífero de Itabira. Referências são feitas também a outras jazidas do Quadrilátero Ferrífero.

Existem três tipos bem distintos de padrões de anomalias (fig1) na região em estudo:

1º) **Anomalias tipo – Cauê**, produzidas pelos corpos de itabiritos e hematitas das jazidas situadas no Distrito de Itabira.

2º) **Anomalias tipo – Boa Esperança**, produzidas pelos corpos de hematita e itabiritos magnéticos da faixa Nova Era – Itamarandiba.

3º) **Anomalias tipo – canga**, produzidas

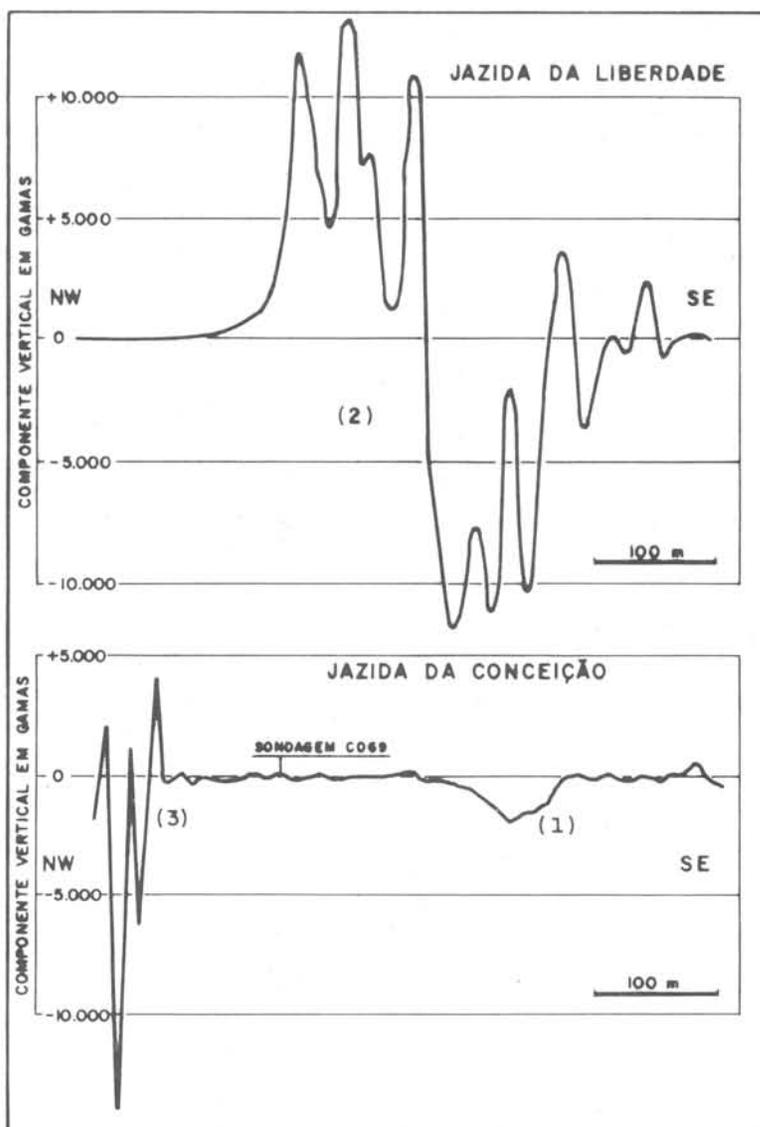


Fig. 2 – Padrões de anomalias magnéticas: (1) tipo-Cauê, (2) tipo-Boa Esperança e (3) tipo-Canga (seg. Davino, 1973).

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.

Há muitos outros tipos intermediários de padrões de anomalias, mas seria inconsequente para a compreensão da prospecção e para a interpretação dos resultados uma classificação mais elaborada.

#### INTENSIDADE DAS ANOMALIAS

A magnetização das rochas é devida em parte à indução no campo magnético terrestre e em parte à sua magnetização permanente ou remanescente. A magnetização induzida depende primariamente da suscetibilidade magnética e do campo magnetizante; a magnetização permanente depende das transformações pelas quais passou a rocha no decorrer dos tempos geológicos.

Na faixa Nova Era — Itamarandiba afloram rochas fracamente magnéticas: os metasedimentos e rochas graníticas; anfíbolitos (Pflug, 1965, p. 39) e quartzitos magnéticos (Pflug, 1965, p. 29) que ocorrem em menor escala na região devem apresentar magnetismo mais elevado. Essas rochas por sua natureza, apresentam principalmente magnetização induzida, isto é, sob a ação de um campo magnético fixo elas adquirem uma imantação proporcional a esse campo. Pode-se escrever:

$$\vec{I} = K \cdot \vec{H}$$

onde  $\vec{I}$  é a intensidade de magnetização e  $\vec{H}$ , o campo magnético aplicado, ou seja, o campo magnético da Terra;  $k$  é a suscetibilidade magnética volumétrica da rocha.

As rochas das formações ferríferas apresentam não apenas magnetização induzida, mas, principalmente, magnetização remanescente, pois seus constituintes mineralógicos (hematita e outros óxidos e hidróxidos de ferro) são substâncias ferromagnéticas, isto é substâncias que se caracterizam primeiramente, pelos altos valores que podem alcançar sua imantação a partir de fracas intensidades do campo magnetizante e, em segundo lugar pelo fato de conservarem uma parte pelo menos de sua magnetização quando se suprime o campo magnético atuante. São ferromagnéticas a magnetita, a hematita e a maghemita. Nos corpos ferromagnéticos, a imantação não é função definida do campo magnético presente, pois que nesses corpos a imantação magnética depende também de campos que atuaram anteriormente e, mais genericamente, de todos os tratamentos magnéticos, mecânicos, térmicos e químicos a que foi submetida a rocha.

#### CAUSAS DO MAGNETISMO

As medidas magnetométricas nas áreas estudadas permitiram verificar que 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, enquanto que essa componente comumente atinge mais de 20.000 gamas nas anomalias *tipo-Boa Esperança* e *tipo-canga*.

A princípio pensou-se que essas intensidades pudessem ser explicadas apenas em função do teor médio de magnetita das rochas consideradas, pois, é conhecido o fato da suscetibilidade magnética de uma rocha crescer em função da porcentagem de magnetita. De fato, conforme pode-se notar na tabela 1 há uma diferença marcante no conteúdo de magnetita das hematitas e itabiritos do Quadrilátero Ferrífero e das mesmas rochas do sul da faixa Nova-Era — Itamarandiba, de um lado, e das cangas do Cauê,

de outro lado.

TABELA 1

TEOR DE MAGNETITA CALCULADO A PARTIR DA ANÁLISE QUÍMICA DE FeO EM AMOSTRAS DE MINÉRIO DE FERRO DE VÁRIAS LOCALIDADES DO CENTRO DE MINAS GERAIS

Local	Nº de Ordem	Rocha	% em Peso de Magnetita
Mina Casa da Pedra Distrito de Congonhas	1	Hematita	1,6(a)
Quadrângulo Nova Lima	2	Itabirito	4 (b)
	3	Itabirito	1 (b)
	4	Itabirito	1 (b)
Quadrângulo D. Rosco	5	Itabirito	7 (c)
	6	Itabirito	traços(c)
	7	Itabirito	traços(c)
	8	Itabirito	4 (c)
	9	Itabirito	24 (d)
	10	Itabirito	6 (d)
Quadrângulos Monlevade e Piracicaba	11	Itabirito	10 (d)
	12	Hematita	0 (d)
	13	Hematita	0 (d)
	14	Hematita	0 (d)
	15	Hematita	0 (d)
	16	Hematita	0 (d)
Jazida Boa Esperança	17	Hematita	24
	18	Hematita	24
	19	Hematita	15
Cuité	20	Hematita	13
	21	Hematita	16
	22	Hematita	23
	23	Hematita	17
	24	Hematita	14
	25	Hematita	19
Curriola	26	Hematita	16
	27	Hematita	16
	28	Hematita	17
Jazida do Cauê Itabira	29	Hematita	41
	30	Canga rica	20
	31	Canga rica	19

Exceto (a), (b), (c) e (d), as análises foram feitas no Laboratório de Química da C.V.R.D.  
 (a) seg. GUILD (1966) p.124 (c) seg. JOHNSON (1962) p.31  
 (b) seg. GAIR (1962) p. 37 (d) seg. REEVES (1966) p.29,33

Foram realizadas diversas experiências com a finalidade de separar mecanicamente o material magnético de amostras de itabirito, hematita e canga. As amostras eram moídas, peneiradas e, por meio de um ímã, eram separadas as frações magnéticas das diferentes classes granulométricas. Cerca de 50 amostras foram separadas e assim pôde-se calcular a porcentagem da fração magnética, suposta constituída principalmente por magnetita.

Algumas dessas amostras trituradas foram analisadas quimicamente e a porcentagem em peso de magnetita, calculada a partir do teor em FeO, mostrou-se sempre diferente daquela calculada a partir da separação por meio de uma ímã.

Assim, a título de exemplos, são dados na tabela 2 os resultados dos testes feitos para amostras de hematita de Curriola e Cuité. As amostras foram cuidadosamente trituradas e peneiradas. Utilizou-se a fração das peneiras *Granutest* entre 60 e 35 USBS (mesh) ou seja 0,250 a 0,500mm ou 60 e 32 Tyler.

Mesmo considerando os erros experimentais, as discrepâncias entre a quantidade de ma-

TABELA 2

COMPARAÇÃO ENTRE AS PORCENTAGENS DE MAGNETITA CALCULADAS POR SEPARAÇÃO MAGNÉTICA E POR ANÁLISE QUÍMICA

Local: Curriola

(hematita)

Amostra nº	quantidade da amostra (gramas)	quantidade de material magnético (gramas)	% "magnetita" em peso	% magnetita seg. análise química
1	15,5	6	38,7	16
2	29,9	10,1	33,7	16
3	34,8	19	54,5	17
4	25,9	15	57,9	41

Local: Cuité

(hematita)

1	272,0	18	6,6	13
2	26,5	9,9	33,3	16
3	53,0	14	26,5	23
4	47,5	13	27,3	17
5	31,2	19,5	62,5	14
6	61,0	20,5	33,6	19

terial magnético separado mecanicamente e a calculada a partir da análise química de FeO são grandes e indicam que, além de magnetita, outros minerais podem ser responsáveis pela intensidade das anomalias magnéticas.

Nos trabalhos publicados pelos geólogos do USGS e DNPM sobre a geologia e recursos minerais do Quadrilátero Ferrífero, alguns chegaram a focalizar a questão concernente ao caráter magnético de certos minerais de ferro supérgenos.

Gair (1962, p. A-35) na descrição petrográfica do Itabirito Cauê da Quadrícula de Nova Lima menciona a existência de óxido de ferro *magnético*. À página A-36, o citado Autor diz que em Itabirito ocreoso predominam óxidos de ferro *magnético* sendo pequena a porcentagem de magnetita. Gair, no entanto, não identificou o óxido de ferro magnético.

Johnson (1962, p. B-31) separou por meio de uma ímã a fração magnética de uma amostra de itabirito da Quadrícula de Dom Bosco. Um exame ao raio-X dessa fração magnética revelou a presença de magnetita, hematita, traços de quartzo e um mineral de ferro *não identificado*. Maghemita e jacobsita não puderam ser detectadas.

Pomerene (1964, p. D-13) advoga a formação de óxidos de ferro *magnéticos* por ação do intemperismo ou possivelmente por redução pela luz solar, porque itabirito magnético é raro na subsuperfície.

Dorr (1964) em extenso trabalho sobre os minérios de ferro supérgenos do Quadrilátero Ferrífero afirma (Dorr, 1964, p. 1220) que maghemita,  $\gamma - \text{Fe}_2 \text{O}_3$ , mineral altamente magnético, é localmente abundante na superfície. Para o referido Autor, por razões desconhecidas, os óxidos hidratados de ferro parecem se desidratar superficialmente para formar uma fina crosta de hematita e maghemita, mas, a poucos centímetros abaixo, nessas localidades, os óxidos são geralmente hidratados. Cocções magnéticas coletadas pelo referido Autor nos

solos que recobrem filitos na Quadrícula Lagoa Grande foram identificados como maghemita. As causas da formação de maghemita preferencialmente à goethita ou hematita não puderam ser decifradas.

Dorr (1964, p. 1239) no fim de seu artigo recomenda um estudo mais acurado das causas da formação de maghemita e hematita em condições superficiais.

Parece que realmente um mineral magnético formado em condições superficiais seja o responsável em parte pela magnetização das cangas e de outros depósitos de ferro supérgenos. Segundo o relato de Dorrr (1964) tratar-se-ia de maghemita.

A gênese e a paragênese da maghemita não é ainda um problema solucionado. A maghemita pode resultar ou da alteração supérgena da magnetita ou provir de outros óxidos de ferro pela ação redutora de matéria orgânica ou pela desidratação da lepidocrosita,  $\gamma - \text{FeO.OH}$  (Deer et al, 1962, p. 77).

## ESTUDOS POR RAIO-X E EM SECÇÕES POLIDAS

Um estudo por raio-x foi elaborado no laboratório de Mineralogia do Instituto de Geociências da USP pelo Dr. J.V. Valarelli em amostras de cangas do Distrito de Itabira e hematita granular compacta de Boa Esperança. Secções polidas desses materiais foram estudadas pelo Dr. A.P.Barbour em colaboração com o Professor Dr. J.Moreschi, ambos, também do Instituto de Geociências da USP.

*Minério de ferro de Boa Esperança.* Foram examinadas 8 secções polidas. Verificou-se que as amostras estudadas caracterizavam-se por vários graus de oxidação. Alguns grãos estão completamente oxidados; outros, semi-oxidados e outros ainda não-oxidados. A oxidação da magnetita efetuou-se de maneira uniforme em todo o grão, não se notando direções preferenciais. Os grãos não oxidados, isotropos, com

refletividade menor do que a da hematita, puderam ser identificados como magnetita. Os grãos semi-oxidados, com ligeira anisotropia e refletividade menor que da hematita, não puderam ser identificados. Os grãos completamente oxidados são de hematita; são anisótropos e mostram refletividade maior do que a da magnetita.

A contagem ao longo de linhas paralelas de duas centenas desses grãos indicam as seguintes porcentagens:

grãos não-oxidados (magnetita)	— 10%
grãos semi-oxidados (?)	— 20%
grãos oxidados (hematita)	— 70%

Para suplementar os dados ópticos uma amostra do minério de ferro de Boa Esperança foi estudada por difratometria de raio-X. A amostra, após trituração, foi submetida a tratamento prévio em vácuo de  $10^{-5}$  mm de mercúrio e aquecimento de  $385^{\circ}\text{C}$ . Com esse tratamento objetivou-se a recristalização da magnetita e da possível maghemita, evitando-se a oxidação do  $\text{Fe}^{2+}$ . Isto permitiu a obtenção de um diagrama de difratometria mais nítido.

Esse diagrama indicou a presença de hematita, magnetita, maghemita e um outro mineral não identificado.

A comparação dos dados obtidos com o estudo microscópico com luz refletida e de difratometria sugere a seguinte correspondência:

grãos oxidados	→	hematita
grãos semi-oxidados	→	maghemita
grãos não-oxidados	→	magnetita

Nessa comparação a hematita e a magnetita têm determinação óptica segura.

**Canga de Itabira.** No estudo das secções polidas da canga coletada da Mina do Cauê, no Distrito de Itabira, foi caracterizado um mineral anisótropo (hematita) e alguns grãos de quartzo. Não foi verificado nenhum mineral isótropo nas secções da amostra estudada.

Os estudos dos difratogramas de amostras de canga do Distrito de Itabira não são conclusivos quanto à presença de maghemita. Foram efetuados os seguintes ensaios por difratometria de raio-X:

- 1) Sem tratamento térmico prévio
  - a) de um bloco de hematita da canga
  - b) de cimento da canga
  - c) da fração *magnética* de cimento da canga
- 2) com tratamento térmico prévio, isto é, aquecimento a  $385^{\circ}\text{C}$  em vácuo de  $10^{-5}$  mm Hg.
  - d) do cimento da canga.

O ensaio (a) indicou essencialmente hematita e impurezas não identificadas.

O ensaio (b) permitiu verificar a presença de hematita, goethita, e outros minerais não identificáveis por causa da má qualidade de difratograma.

O ensaio (c) consistiu em separar do cimento da canga a parte *magnética* por meio de um ímã-de-mão. O diagrama correspondente à porção *magnética* do cimento da canga é semelhante ao obtido no ensaio (b), mas, com pronunciamento maior das raiais da hematita. Estão presentes raiais da goethita, quartzo e outros minerais não identificáveis.

O ensaio (d) indicou: hematita, goethita, quartzo e possivelmente maghemita.

## CONCLUSÕES

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. Os itabiritos e hematitas da ocorrência de Boa Esperança contêm um teor mais elevado de magnetita que as rochas correspondentes do Distrito de Itabira, conforme os resultados a partir da análise

química e estudo em secção polida. Uma parte dos grãos de magnetita de minério de Boa Esperança se transformou em maghemita, que é um mineral também altamente magnético.

As cangas apresentam anomalias de intensidade muitas vezes superiores às dos grandes corpos de itabirito e hematita do Distrito de Itabira. O caráter magnético desses depósitos não parece estar ligado a seu teor de magnetita, mas, provavelmente a um outro mineral de ferro de origem supérgena. De acordo com Dorr (1964, p. 1220) esse mineral seria a maghemita. Os ensaios realizados com difratometria de raio-X em amostras de canga indicaram apenas a possibilidade da existência de maghemita. Como a imantação permanente

de um mineral depende dos tratamentos magnéticos, mecânicos, térmicos e químicos a que a rocha foi submetida no tempo geológico é muito possível que outros fatores, além da provável presença de maghemita, contribuíssem para a magnetização das cangas.

#### AGRADECIMENTOS

Somos gratos aos Geólogos que nos auxiliaram na elaboração deste trabalho: Dr. Aledir Paganelli Barbour, Dr. João Moreschi, Dr. Vicente Antonio Girardi, Dr. Kenkichi Fujimori, Dr. José Vicente Valarelli, colegas do Instituto de Geociências da USP.

---

#### BIBLIOGRAFIA

- DEER, W.A., HOWIE, R.A. e SUSSMAN, J. (1962) – *Rockforming minerals*. vol. 5. Non-silicates, 371 pp. John Wiley and Sons Inc. Nova York.
- DORR, J.V.N. II (1964) – *Supergene iron ores of Minas Gerais, Brasil*. 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, Brasil*. 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.
- GOKHALE, K.V.G.K. (1961) a – *Studies on the oxidation of magnetite*. Economic Geology, vol.56, pp. 963–971. (1961) b – *Studies on the oxidation of Goethite*. Economic Geology, vol. 56. pp. 1058–1062.
- GUILD, P.W. (1960) – *Geologia e Recurso Minerais do Distrito de Congonhas, Estado de Minas Gerais*. Memória nº1, DNPM, Rio de Janeiro.
- JAHREN, Ch. E. (1963) – *Magnetic Susceptibility of bedded iron-formations*. *Gephysics*.
- JOHNSON, R.F. (1962) – *Geology and Ore Deposits of the Cachoeira do Campo, Dom Bosco and Ouro Branco Quadrangles, Minas Gerais, Brasil*. USGS Prof. Paper 341 B, Washington.
- PFLUG, R. (1965) – *A geologia da parte meridional da Serra do Espinhaço e zonas adjacentes, Minas Gerais*. Bol. 226 da Div. Geol. e Min. do DNPM, Rio de Janeiro.
- POMERENE, J.B. (1964) – *Geology and ore deposits of the Belo Horizonte, Ibité and Macacos Quadrangles Minas Gerais Brasil*. U.S. Prof. Paper 341–D. Washington.

REEVERS, R.G. (1966) – *Geology and Mineral Resources of the Monlevade and Rio Piracicaba Quadrangles, Minas Gerais, Brazil*. USGS Prof. Paper 341–E, Washington.

WALLACE, R.M. (1965) – *Geology and Mineral Resources of the Pico de Itabirito District Minas Gerais Brazil*. Geol. Survey Prof. Paper 341.F. Washington.