

INTERPRETAÇÃO DE ANOMALIAS DA COMPONENTE VERTICAL DO CAMPO MAGNÉTICO

JOSÉ GOUVÊA LUIZ*

ABSTRACT This paper demonstrates the development of a technique for the interpretation of anomalies of the vertical component of the magnetic field produced by point dipole and line of dipoles. The inclination of the sources of the anomalies is determined by the comparison of the ratio between the amplitudes of the maximum and minimum of the anomalous magnetic profiles observed in the field and the same ratio for pre-calculated theoretical profiles. The inclination permits the determination of a parameter that multiplied by the horizontal distance between the amplitudes of the maximum and minimum of the anomalous magnetic profiles observed in the field will give estimates of the depth. The possible errors that might occur when using the technique demonstrated are discussed.

INTRODUÇÃO Inúmeros trabalhos abordando o problema da determinação da profundidade de fontes de anomalias magnéticas têm sido publicados. Entre eles podem ser citados os de Henderson e Zietz (1948), Peters (1948), Vacquier *et al.* (1951), Smellie (1956), Gay Jr. (1963), Barker (1975) e Leão (1976). De um modo geral, os métodos apresentados para a solução do problema podem ser enquadrados em dois grupos: 1) os que empregam técnicas simples e práticas, podendo ser utilizados no próprio campo; e 2) os que requerem um conhecimento especializado e só podem ser empregados com auxílio de computadores. Em trabalhos de prospecção geofísica há necessidade de se utilizar métodos interpretativos pertencentes aos dois grupos. O método de interpretação aqui apresentado pertence ao Grupo 1. Sua aplicação permite a determinação da inclinação e da profundidade de fontes de anomalias da componente vertical do campo magnético associadas a dipolos e linhas de dipolos. Inicialmente, e com bastante detalhe, será desenvolvida a interpretação de dipolos. A interpretação das linhas de dipolos será apresentada menos detalhadamente por ter um desenvolvimento semelhante ao caso dos dipolos.

No final do artigo são apresentadas estimativas de erro no emprego da técnica.

DIPOLOS MAGNÉTICOS O potencial escalar magnético U produzido por um dipolo de momento magnético m em um ponto de observação $P(x,0,0)$ (Fig. 1) é dado por

$$U = \frac{m \cos(I + 90 - \theta)}{x^2 + z^2} \quad (1)$$

em que m representa o módulo do momento magnético; I , a inclinação do dipolo; e θ , a co-latitute do ponto de observação P em relação ao dipolo. A componente vertical do campo magnético em $P(x, 0, 0)$ é dada por.

$$F_z = \left. \frac{-\partial U}{\partial z} \right|_{z=h} = m \left[\frac{(2h^2 - x^2) \sin I - 3hx \cos I}{(x^2 + h^2)^{5/2}} \right] \quad (2)$$

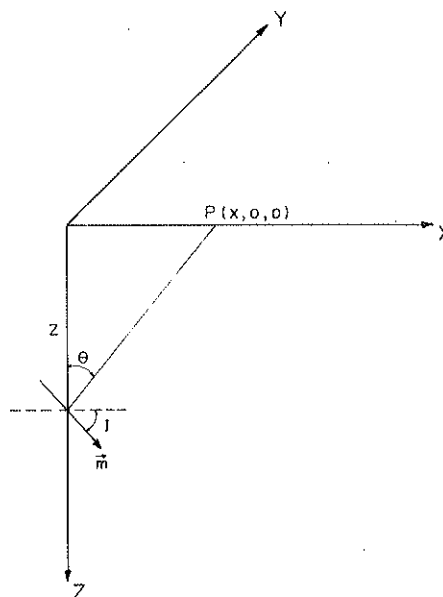


Figura 1 — Dipolo magnético, representado por seu momento, localizado no plano xz, à profundidade z

ou, ainda,

$$F_z = \frac{m}{h^3} \left[\frac{(2 - \alpha_1^2) \sin I - 3 \alpha_1 \cos I}{(1 + \alpha_1^2)^{5/2}} \right], \quad (3)$$

em que

$$\alpha_1 = \frac{x}{h} \quad (4)$$

Se m é constante, a expressão (3) pode ser escrita

$$F_z = K_1 f(\alpha_1), \quad (5)$$

em que

$$K_1 = m/h^3, \quad (6)$$

$$f(\alpha_1) = \frac{(2 - \alpha_1^2) \sin I - 3 \alpha_1 \cos I}{(1 + \alpha_1^2)^{5/2}} \quad (7)$$

* Departamento de Geologia/Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil

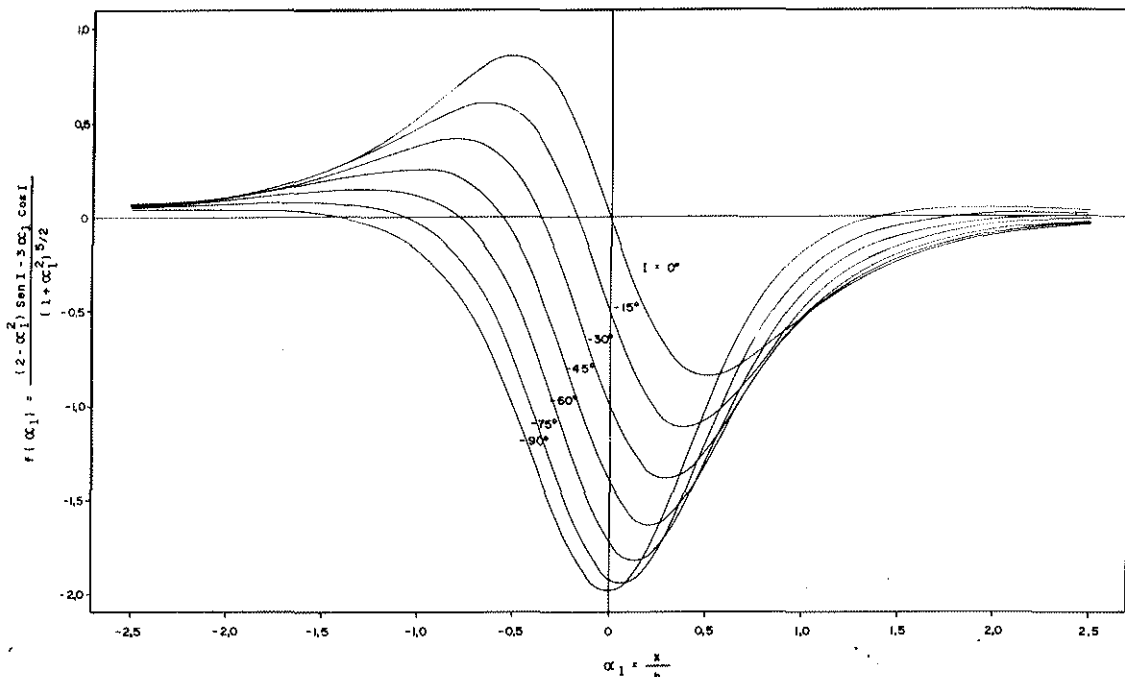


Figura 2 — Perfis da componente vertical do campo magnético devidos a dipolos em diversas latitudes geomagnéticas sul

Na Fig. 2 estão representadas curvas de $f(\alpha_1)$ para valores de I variando entre zero grau e -90° . A solução da equação

$$\frac{df(\alpha_1)}{d\alpha_1} = 0 \tag{8}$$

fornece dois pontos de máximo e um ponto de mínimo para a função $f(\alpha_1)$. Tomando o ponto de máximo (α_{1M}) mais próximo da origem dos eixos coordenados e o ponto de mínimo (α_{1m}), os valores de $f(\alpha_{1M})$ e $f(\alpha_{1m})$ podem ser encontrados a partir da expressão (7); $f(\alpha_{1M})$ e $f(\alpha_{1m})$ são, respectivamente, o pico máximo e de mínimo para a curva $f(\alpha_1)$. Da expressão (5) vêm

$$F_{zM} = K_1 f(\alpha_{1M}) \tag{9}$$

$$F_{zm} = K_1 f(\alpha_{1m}), \tag{10}$$

em que F_{zM} e F_{zm} são os valores dos picos de máximo e de mínimo para a curva F_z . A partir das expressões (9) e (10) têm-se que a razão entre $f(\alpha_{1M})$ e $f(\alpha_{1m})$ é exatamente igual à razão entre F_{zM} e F_{zm} . A Fig. 3 mostra valores da razão entre os módulos de $f(\alpha_{1M})$ e $f(\alpha_{1m})$, representados pela função R_1 , contra valores de inclinação. As razões devem ser sempre menores que a unidade para que seja utilizada a Fig. 3, e o módulo de F_{zM} ou $f(\alpha_{1M})$ é sempre menor que o módulo de F_{zm} ou de $f(\alpha_{1m})$ quando $-90^\circ \leq I < 0^\circ$. O inverso acontece quando $0^\circ < I \leq 90^\circ$.

Da expressão (4) vem que

$$x = \alpha_1 h. \tag{11}$$

Para os pontos α_{1M} e α_{1m} , a expressão (11) fornece

$$x_M = \alpha_{1M} h \tag{12}$$

$$x_m = \alpha_{1m} h. \tag{13}$$

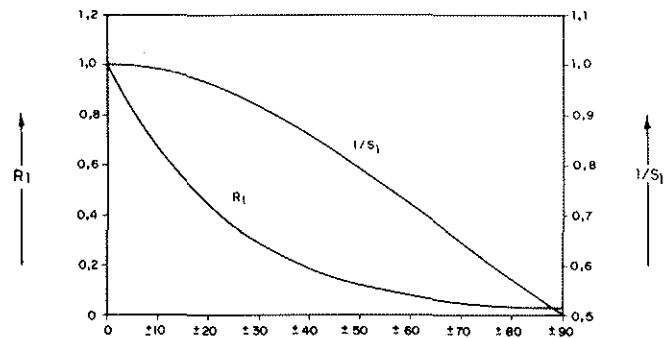


Figura 3 — Parâmetros para interpretação de anomalias da componente vertical do campo magnético devidas a dipolos

Subtraindo (12) e (13) temos

$$h = X_1/S_1 \tag{14}$$

em que

$$X_1 = x_m - x_M \text{ e } S_1 = \alpha_{1m} - \alpha_{1M}.$$

X_1 é a distância horizontal entre os picos de máximo e mínimo para a curva observada no campo (curva de F_z). S_1 é a distância horizontal entre esses picos para a curva de $f(\alpha_1)$. Para cada valor de I haverá valores de X_1 ou S_1 correspondentes. Na Fig. 3 estão representados os valores de $1/S_1$ contra valores de I .

O procedimento para aplicação da técnica descrita consiste em:

1. Construir um perfil da função F_z na direção do plano vertical que contém o dipolo evidenciado no levantamento de campo.
2. Suavizar e filtrar a curva de campo eliminando os efeitos do regional.
3. Calcular a razão entre os módulos dos picos de máximo e mínimo da curva de campo.

4. Comparar a razão obtida no item 3 com a razão R_1 das curvas de $f(\alpha_1)$ da Fig. 3 para determinar a inclinação do dipolo.

5. De posse do valor da inclinação, utilizando ainda a Fig. 3, determinar o parâmetro $1/S_1$.

6. Calcular a distância entre os picos de máximo e mínimo da curva de campo e efetuar seu produto com o parâmetro $1/S_1$ para obter a profundidade do dipolo.

LINHA DE DIPOLOS MAGNÉTICOS Considerando a linha de dipolos mostrada na Fig. 4, o potencial magnético U em um ponto de observação $P(x,0,0)$ é representado por

$$U = \frac{2M \cos(I + 90 - \gamma)}{(x^2 + z^2)^{1/2}} \quad (15)$$

em que M é o módulo do momento magnético de dipolo por unidade de comprimento; I é a inclinação dos dipolos; e γ , a co-latitudo do ponto de observação em relação à linha de dipolos.

A componente vertical do campo magnético no ponto $P(x,0,0)$ é

$$F_z = -\frac{\partial U}{\partial z} = -2M \left[\frac{(h^2 - x^2) \sin I - 2hx \cos I}{(x^2 + h^2)^2} \right] \quad (16)$$

Se M é constante, a expressão (16) toma a forma

$$F_z = K_2 f(\alpha_2), \quad (17)$$

em que

$$K_2 = 2M/h^2 \quad (18)$$

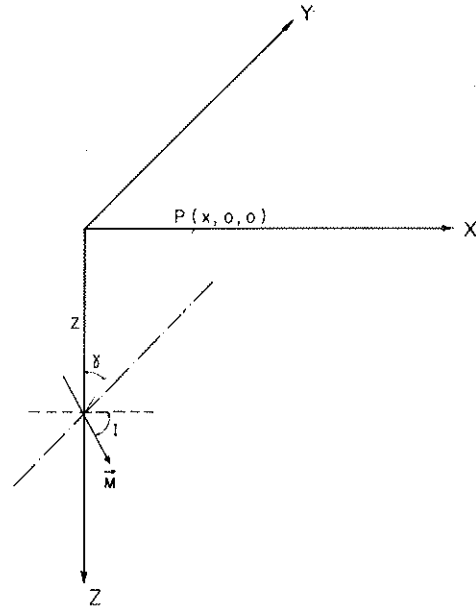


Figura 4 — Linha de dipolos magnéticos desenvolvida segundo a direção y . Os dipolos estão localizados no plano xy , a uma profundidade z , dispostos segundo a linha representada por traços e pontos

e

$$f(\alpha_2) = - \frac{[(1 - \alpha_2^2) \sin I - 2\alpha_2 \cos I]}{(1 + \alpha_2^2)^2}, \quad (19)$$

em que

$$\alpha_2 = x/h. \quad (20)$$

Curvas de $f(\alpha_2)$ para valores de I entre zero grau e -90° vêm representadas na Fig. 5.

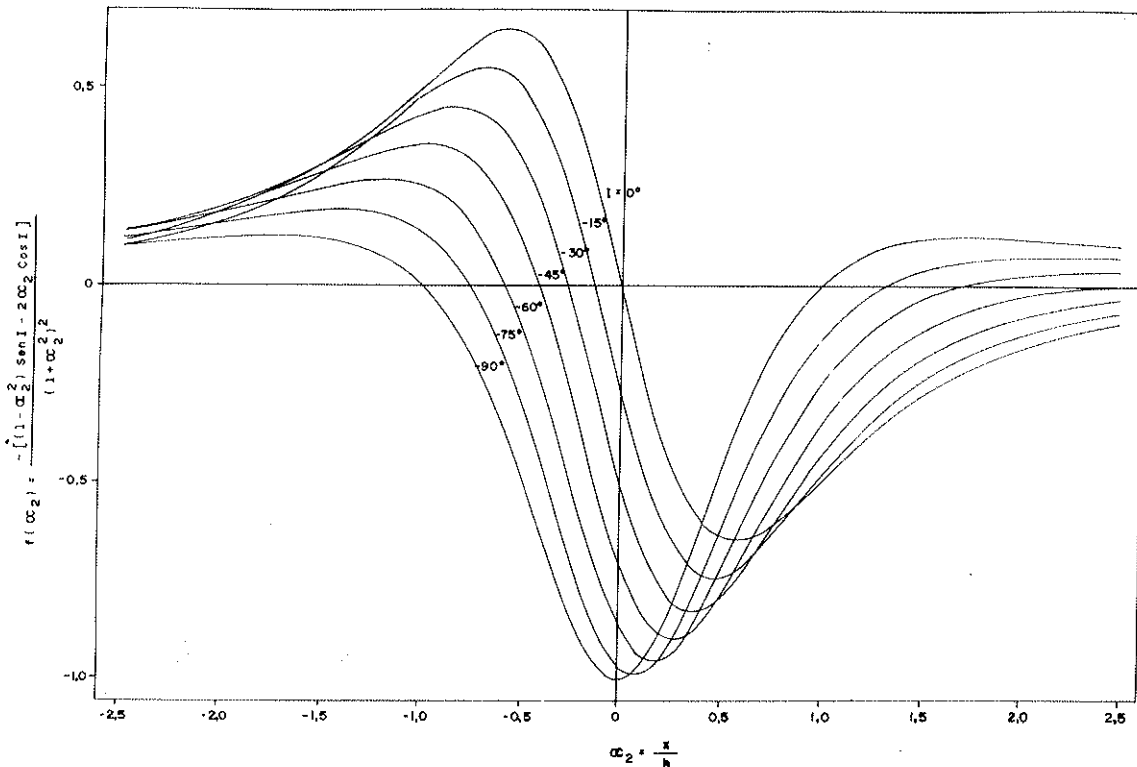


Figura 5 — Perfis da componente vertical do campo magnética devidos a linhas de dipolos em diversas latitudes geomagnéticas sul

Seguindo o mesmo procedimento observado no caso dos dipolos, teremos

$$F_{zM} = Kf(\alpha_{2M}), \quad (21)$$

$$F_{zm} = Kf(\alpha_{2m}), \quad (22)$$

$$X_{2M} = \alpha_{2M}h \text{ e} \quad (23)$$

$$X_{2m} = \alpha_{2m}h. \quad (24)$$

As expressões (23) e (24) permitem que se calcule o parâmetro S_2 , distância entre os picos de máximo e mínimo para a curva $f(\alpha_2)$, à semelhança do cálculo de S_1 efetuado no caso dos dipolos. Na Fig. 6 vêm representados valores de R_2 , razão entre os módulos dos picos de máximo e mínimo de $f(\alpha_2)$, e de valores de $1/S_2$, contra valores de inclinação.

O procedimento descrito anteriormente para a interpretação de dipolos deve ser observado no caso das linhas de dipolos, com as seguintes modificações:

a) No item 1, o perfil a ser analisado deve ser perpendicular à linha de dipolos.

b) Nos itens 4 e 5, deve ser utilizada a Fig. 6, que traz os parâmetros R_2 e $1/S_2$.

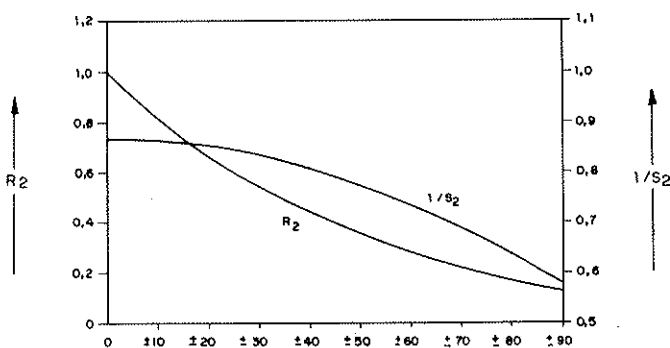


Figura 6 — Parâmetros para interpretação de anomalias da componente vertical do campo magnético devidas à linha de dipolos

ESTIMATIVAS DE ERRO Os parâmetros R_1 e R_2 têm seus valores diretamente relacionados à determinação do que se chama nível zero magnético, que corresponde a valores do campo magnético em pontos situados longe da influência da fonte de anomalia. Quando a fonte está isolada, esse nível pode ser facilmente determinado, porém,

no caso da proximidade de várias fontes, o problema torna-se bastante complexo e erros elevados podem ser cometidos.

Quanto menor for a inclinação do dipolo magnético, menor será a razão porcentagem de erro em R_1 — porcentagem de erro correspondente na inclinação. Por exemplo, se R_1 tem valor de 0,5 (correspondente a $I = 17^\circ$), porcentagens de erro na determinação desse valor corresponderão a iguais porcentagens de erro no valor de I ; no entanto, se R_1 tiver valor de 0,8 ($I = 6^\circ$), erros de 20% em sua determinação corresponderão a erros de 80% em I e, portanto, um valor de 1,2° ou 10,8, dependendo do sinal do erro, será determinado. Deve, porém, ser observado que, como o erro na determinação de I é bastante elevado para valores pequenos de I (abaixo de 20°), as altas porcentagens de erro produzirão valores que não serão considerados muito discrepantes em relação ao valor real, se o “sistema de referência” for o ambiente geológico.

Os erros na determinação de I acarretarão erros na estimativa do parâmetro $1/S_1$. Neste caso, no entanto, quanto menor for o ângulo de inclinação dos dipolos, menores serão os erros correspondentes em $1/S_1$. Os seguintes valores podem ser observados:

1) Para um dipolo de inclinação $I = 6^\circ$, um erro de 80% em sua determinação produzirá um erro de 0,9% na determinação do parâmetro $1/S_1$.

2) Um erro de 80% na determinação da inclinação de um dipolo de $I = 40^\circ$ determinará um erro máximo de 27% no valor de $1/S_1$.

3) Para uma inclinação de 80° , se o erro em sua determinação for de 30%, o erro correspondente em $1/S_1$ será de 34%.

Para os parâmetros de R_2 e $1/S_2$, os erros seguem uma distribuição análoga aos relacionados a R_1 e $1/S_1$ anteriormente tratados, porém com valores comparativamente menores.

OBSERVAÇÕES FINAIS A técnica aqui apresentada pode ser empregada com êxito se forem satisfeitas algumas restrições impostas pelo desenvolvimento teórico do método e pelas aproximações consideradas. Desse modo, bons resultados serão alcançados com a técnica se:

a) O corpo que está produzindo as anomalias for pequeno comparado à sua profundidade.

b) As anomalias são induzidas pelo campo magnético atual ou, no caso de magnetização remanescente, esta é muito forte em relação à induzida.

BIBLIOGRAFIA

- BARKER, R.D. — 1975 — Elementary approximations in aeromagnetic interpretation for application in low latitudes. *Geophysics* 40(4):686-688.
- GAY Jr., S.P. — 1963 — Standard curves for interpretation of magnetic anomalies over long, tabular bodies, *Geophysics* 28(2):161-200.
- HENDERSON, R.G. e ZIETZ, I. — 1948 — Analysis of total magnetic intensity anomalies produced by point and line sources. *Geophysics* 13(3):428-436.
- LEÃO, J.W.D. — 1976 — Interpretação de Anomalias Magnéticas Usando Integrais Finitas dos Momentos das Componentes. Tese de Mestrado em Geofísica, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geofísicas e Geológicas da Universidade Federal do Pará.

- PETERS, L.J. — 1949 — The direct approach to magnetic interpretation and its practical application. *Geophysics* 14(3):290-320.
- SMELLIE, D.W. — 1956 — Elementary approximations in aeromagnetic interpretation. *Geophysics* 21(4):1021-1040.
- VACQUIER, V., STEENLAND, N.C., HENDERSON, R.G. e ZIETZ, I. — 1963 — Interpretation of Aeromagnetic Maps. Geol. Soc. America, Memoir 47 (Reprinted).