

Análise e otimização dos parâmetros geométricos das fontes transmissoras de um sistema de aquisição de dados geofísicos eletromagnéticos à multi-frequência.

Gilmário S. Maciel,CPGG/ UFBA; André Telles da Cunha Lima, Instituto de Física /UFBA

Copyright 2012, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no V Simpósio Brasileiro de Geofísica, Salvador, 27 a 29 de novembro de 2012. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do V SimBGF, mas não necessariamente representa a opinião da SBGF ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGF.

Resumo

Este trabalho consiste na análise do comportamento dos campos elétrico e magnético gerados por uma fonte transmissora situada na superfície terrestre. O transmissor é percorrido por um loop de corrente horizontal, que possui uma forma geométrica buscando uma aproximação deste transmissor para uma fonte circular (Ryu J., Morrison H. F., 1970).

É proposto um modelo com um loop de corrente octogonal para a fonte. Com isso, espera-se que sejam necessários menores valores para a distância de separação entre o transmissor e o receptor (T-R), para que seja realizada uma aproximação para o loop circular.

Os campos gerados por esta nova configuração são comparados com os campos devido às fontes de estrutura circular e quadrada, para que possa avaliar se o modelo octogonal possui algum efeito otimizador.

Introdução

No processo de aquisição de dados geofísicos através do uso do método eletromagnético à multi-frequência, são efetuadas medidas em varredura sobre valores de frequência que variam na ordem de 1Hz até 100KHz, operando na superfície com separação (T-R) entre as bobinas transmissora e receptora de até alguns quilômetros.

Geralmente, medem-se as amplitudes dos componentes em fase e quadratura do campo magnético gerado por um loop de corrente horizontal de forma quadrada ou retangular (Poddar, M., 1982). Isso se faz através de uma técnica que aproxima a estrutura geométrica da bobina transmissora para uma estrutura circular, para que então possa considerá-la como sendo um dipolo magnético vertical.

No entanto, essa hipótese impõe uma restrição quanto à distância de separação (T-R), que está diretamente relacionada com a profundidade de investigação do método.

Deduções e análises dos campos elétrico e magnético, gerados por transmissor de estrutura quadrada, (Machado, M. V. B.; Dias, C. A., 2007) demonstram que ao fazer a aproximação do transmissor de geometria quadrada (de semi-lado r_0) para a circular, devem ser consideradas distâncias (T-R) superiores a $6r_0$, pois abaixo deste valor são obtidos erros significativos (superiores a 1%).

Este trabalho sugere um arranjo de geometria octogonal, de aplicação viável, para o transmissor, a fim de se obter uma melhor aproximação com a geometria circular. Assim, espera-se obter uma relação de separação (T-R) menor, em relação ao arranjo quadrado, comumente utilizado.

Metodologia/ Problema Investigado

Primeiramente, é feito um estudo teórico para a dedução dos campos elétrico e magnético devido a um loop octogonal de corrente, situada na superfície de um semi-espaço condutor e homogêneo. Para tal, decompõe-se o loop de corrente octogonal em um loop circular e oito pequenos circuitos considerados como dipolos magnéticos pontuais, dispostos nos baricentros das quinas do octógono, desprezando-se qualquer acoplamento eletromagnético entre os circuitos presentes.

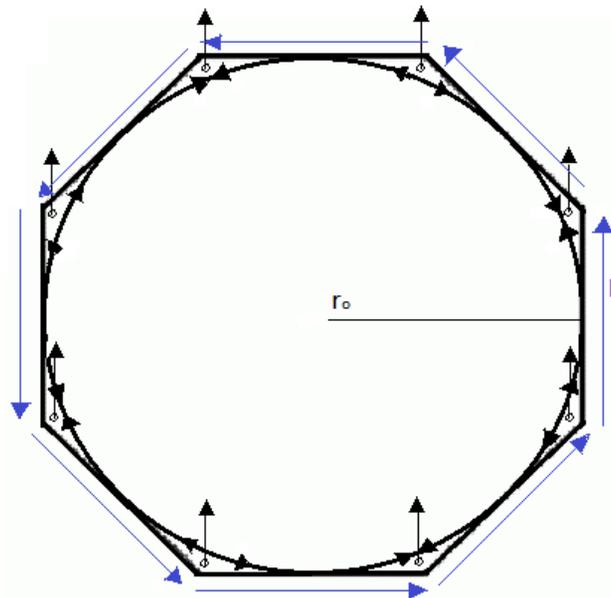


Figura 1: Loop octogonal de corrente decomposta em um círculo e 8 dipolos nas quinas do octógono.

Uma vez que a parcela da corrente proveniente dos dipolos magnéticos que percorre parte do círculo se cancela com a corrente oriunda do loop circular, teremos na soma, a corrente percorrendo uma trajetória octogonal, como mostrado na figura 1.

Desse modo, há possibilidade de fazer a soma dos campos gerados pelo loop circular com os campos devido aos oito dipolos magnéticos, para obter os campos elétrico e magnético devido ao loop octogonal.

Em seguida, calcula-se o momento de dipolo magnético de cada um dos dipolos que, juntos, configuram o loop de corrente octogonal. É calculado também, o baricentro referente à posição desses dipolos pontuais complementares nas quinas da fonte octogonal.

Após essa etapa, torna-se possível a obtenção dos valores desses campos para o modelo em questão, que serão calculados através de programas computacionais.

Este processo possibilita uma análise quantitativa em função da distância de separação (T-R), que pode ser comparada ao modelo com transmissor de geometria quadrada. Com isso, são calculados os erros relativos, associados à distância (T-R), entre os modelos octogonal e quadrado.

Resultados

Assumindo a dependência temporal dada por $e^{-i\omega t}$, são conhecidas as expressões dos campos elétrico e magnético (Ward and Hohmann, 1988). São considerados pontos de observação acima ($z < 0$) e interior ($z \geq 0$) a um semi-espaco condutor homogêneo, no caso do transmissor situado na superfície deste semi-espaco, devido ao loop circular e devido aos oito dipolos magnéticos verticais:

a) Loop circular de raio r_0 :

a.1) Para $z < 0$:

$$E_\phi = -i\omega\mu_0 \frac{I r_0}{2} \int_0^\infty \left[e^{-|z|\lambda} + \left(\frac{\lambda-u}{\lambda+u} \right) e^{z\lambda} \right] J_1(\lambda r_0) J_1(\lambda r) d\lambda \quad (1)$$

$$H_r = \frac{I r_0}{2} \int_0^\infty \left[e^{-|z|\lambda} - \left(\frac{\lambda-u}{\lambda+u} \right) e^{z\lambda} \right] \lambda J_1(\lambda r_0) J_1(\lambda r) d\lambda \quad (2)$$

$$H_z = \frac{I r_0}{2} \int_0^\infty \left[e^{-|z|\lambda} + \left(\frac{\lambda-u}{\lambda+u} \right) e^{z\lambda} \right] \lambda J_1(\lambda r_0) J_0(\lambda r) d\lambda \quad (3)$$

a.2) Para $z \geq 0$:

$$E_\phi = -i\omega\mu_0 I r_0 \int_0^\infty \left(\frac{\lambda}{\lambda+u} \right) e^{-uz} J_1(\lambda r_0) J_1(\lambda r) d\lambda \quad (4)$$

$$H_r = I r_0 \int_0^\infty \left(\frac{\lambda u}{\lambda+u} \right) e^{-uz} J_1(\lambda r_0) J_1(\lambda r) d\lambda \quad (5)$$

$$H_z = I r_0 \int_0^\infty \left(\frac{\lambda^2}{\lambda+u} \right) e^{-uz} J_1(\lambda r_0) J_0(\lambda r) d\lambda \quad (6)$$

b) 8 Dipolos magnéticos verticais:

b.1) Para $z < 0$:

$$E_\phi = \sum_{j=1}^8 -i\omega\mu_0 \frac{m_T}{4\pi} \int_0^\infty \left[e^{-|z|\lambda} + \left(\frac{\lambda-u}{\lambda+u} \right) e^{z\lambda} \right] \lambda J_1(\lambda r_j) d\lambda \quad (7)$$

$$H_r = \sum_{j=1}^8 \frac{m_T}{4\pi} \int_0^\infty \left[e^{-|z|\lambda} - \left(\frac{\lambda-u}{\lambda+u} \right) e^{z\lambda} \right] \lambda^2 J_1(\lambda r_j) d\lambda \quad (8)$$

$$H_z = \sum_{j=1}^8 \frac{m_T}{4\pi} \int_0^\infty \left[e^{-|z|\lambda} + \left(\frac{\lambda-u}{\lambda+u} \right) e^{z\lambda} \right] \lambda^2 J_0(\lambda r_j) d\lambda \quad (9)$$

b.2) Para $z \geq 0$:

$$E_\phi = \sum_{j=1}^8 -i\omega\mu_0 \frac{m_T}{2\pi} \int_0^\infty \left(\frac{\lambda^2}{\lambda+u} \right) e^{-uz} J_1(\lambda r_j) d\lambda \quad (10)$$

$$H_r = \sum_{j=1}^8 \frac{m_T}{2\pi} \int_0^\infty \left(\frac{\lambda^2 u}{\lambda+u} \right) e^{-uz} J_1(\lambda r_j) d\lambda \quad (11)$$

$$H_z = \sum_{j=1}^8 \frac{m_T}{2\pi} \int_0^\infty \left(\frac{\lambda^3}{\lambda+u} \right) e^{-uz} J_0(\lambda r_j) d\lambda \quad (12)$$

onde:

$$u = (\lambda^2 + k^2)^{1/2} \quad (13)$$

$$k^2 = i\omega\mu_0(\sigma + i\omega\varepsilon) \quad (14)$$

$$\omega = 2\pi f \quad (15)$$

μ_0, ε e σ são, respectivamente: a permeabilidade magnética do vácuo, a permissividade elétrica e a condutividade elétrica do meio em questão;

k , e u são respectivamente: o número de onda do meio em questão e o parâmetro de propagação da onda no meio em questão;

ω e f são, respectivamente, frequências angular e linear;

J_0 e J_1 são, respectivamente, funções de Bessel de 1ª espécie de ordem 0 e de ordem 1 (Watson, G. N., 1966);

(r, z) são as variáveis cilíndricas de deslocamento linear; i é a unidade imaginária;

I é a intensidade de corrente disponibilizada no transmissor;

\vec{m}_T é o momento de dipolo magnético associado a um dipolo pontual.

Sabendo-se que o momento de dipolo magnético é o vetor que quantifica a contribuição do magnetismo interno de um sistema ao campo magnético dipolar produzido pelo sistema, cujo módulo é dado pelo produto da corrente pela área limitada pelo circuito elétrico, temos que: $\vec{m} = I \cdot \vec{A}$, onde \vec{A} é um vetor de módulo igual a área, orientado perpendicularmente à superfície com sentido dado pela regra da mão direita.

Para a obtenção do momento de dipolo magnético de um dipolo associado ao octógono, utiliza-se apenas a área onde se encontra o dispositivo. $A = \frac{1}{8} (A_{oc} - A_c)$, onde A_{oc} é a área do octógono, dada por $A_{oc} \cong 3,3137 r_0^2$ e A_c representa a área de círculo, conhecida por $A_c = \pi r^2$. Assim, temos que o momento de dipolo magnético m_T associado à geometria octogonal é: $m_T = \frac{I r_0^2}{8} (3.3137 - \pi)$.

Por questões de simetria verifica-se que o baricentro da área referente à posição desses dipolos pontuais, encontra-se sobre a diagonal do octógono que corta esta região, conforme mostra a figura 2.

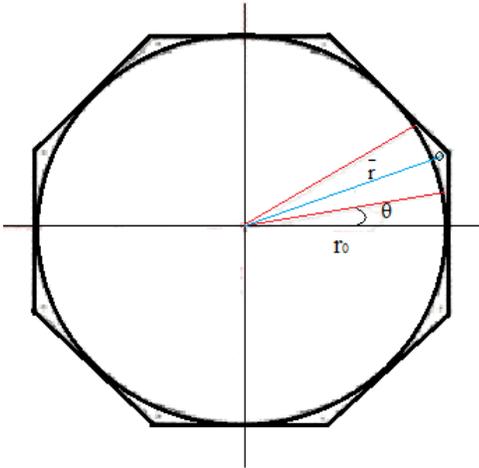


Figura 2: Posição do baricentro da região para posicionamento do dipolo.

Considerando \bar{r} o afastamento, em relação ao centro do círculo, do baricentro referente à posição dos dipolos pontuais, tem-se $\bar{r} = 1,02 r_0$.

Com esses dados pode-se montar esta configuração e obter as expressões dos campos devido ao loop de corrente octogonal, através da técnica do somatório dos campos já mencionada.

Dessa forma é possível fazer uma análise qualitativa do comportamento dos componentes de interesse dos campos magnéticos originados por esses transmissores. Para isso, considera-se um modelo com uma única camada homogênea e isotrópica, com dados sintéticos de condutividade, espessura da camada e permeabilidade magnética, respectivamente iguais a: 0,01 s/m, 500 m e $4\pi \cdot 10^{-7}$ Henry/m.

Adotando um valor de frequência de 100KHz, foram obtidos resultados gráficos (figuras 3, 4 e 5) que mostram a relação entre as componentes magnéticas verticais geradas pelos modelos de fonte circular, quadrada e octogonal.

As figuras 3, 4 e 5 mostram a razões entre as componentes verticais dos campos magnéticos gerados pelos transmissores quadrado e octogonal com a mesma componente gerada pelo transmissor circular. Percebe-se que o campo gerado pelo modelo octogonal possui um comportamento mais próximo do campo gerado pelo modelo circular em distâncias de separação (T-R) superiores a $3r_0$, enquanto o modelo quadrado possui uma boa aproximação apenas para distâncias acima de $7r_0$.

A figura 6 contém o erro relativo, percentual, cometido quando se aproxima o transmissor de geometria quadrada (de semi-lado r_0) e octogonal (de lado $\cong 0,8r_0$) como sendo circular, para diferentes distâncias de separação (T-R). Nota-se que o transmissor de geometria octogonal apresenta erros menores que 1% para distâncias maiores do que $3r_0$. Já o transmissor de

geometria quadrada apresenta essa eficácia para valores de separação (T-R) acima de $7r_0$, conforme estimado na figura 4.

Discussão e Conclusões

Com os resultados obtidos pode-se concluir que a proposta de uma fonte transmissora de geometria octogonal é válida quando se deseja obter uma aproximação para fonte circular.

Menores distâncias entre o transmissor e o receptor podem ser usadas, em comparação ao transmissor de geometria quadrada.

Este fato é comprovado quando estes modelos são comparados, visto que o transmissor octogonal apresentou uma aproximação válida para um transmissor circular, com erros menores que 1%, em distâncias de separação (T-R) menores que as requeridas pelo transmissor quadrado.

Dessa forma, este modelo pode ser sugerido quando existem, durante o processo de aquisição de dados eletromagnéticos, situações litológicas ou operacionais que necessitem de uma distância entre o transmissor e o receptor menor do que a mínima separação imposta pelo modelo de fonte quadrada.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Física Nuclear Aplicada (LFNA) e ao Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia (CPGG) pela infraestrutura disponibilizada.

Agradecem a FAPESB pelo termo de outorga PPP 0025/2010 e também ao CNPq pela bolsa referente ao processo 124291/2011-2.

Referências

- Machado, M. V. B.; Dias, C. A.**, 2007, Dedução e análise dos campos elétrico e magnético gerados por um transmissor quadrado de um sistema geofísico eletromagnético a multi-frequência. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE BRAZILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY AND EXPOGEF, 10., 2007, Rio de Janeiro.
- Machado, M. V. B.; Dias, C. A.; Sato, H. K.**, 2009, Desenvolvimentos no processamento de dados eletromagnéticos obtidos com o protótipo de um sistema indutivo a multi-frequência aplicado a campos de petróleo. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE BRAZILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY AND EXPOGEF, 11., 2009, Salvador.
- Poddar, M.**, 1982, A rectangular loop source of current on a two-layered earth.. Geophys. Prosp., 30, pags. 101-114.

Ryu J., Morrison, H. F. and Ward, S. H., 1970, Electromagnetic Fields about a loop source of current. Geophysics, 35, pags. 862-896.

Ward, S. H.; Hohmann, G. W., 1988, Electromagnetic Methods in Applied Geophysics, Theory, ed. Nabighian, M.N., Tulsa: SEG. Vol. 1.

Watson, G. N., 1966, A treatise on the theory of Bessel functions. Cambridge: Cambridge University Press.

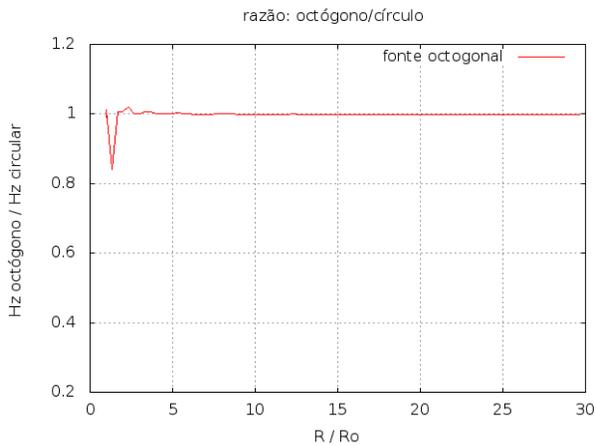


Figura 3: Razão entre o campo vertical devido à fonte octogonal e o campo vertical devido à fonte circular.

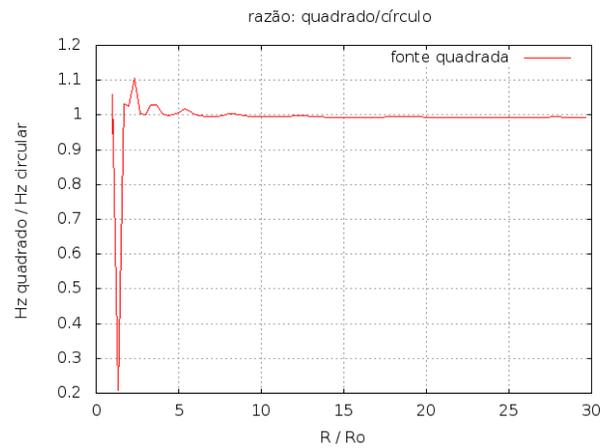


Figura 4: Razão entre o campo vertical devido à fonte quadrada e o campo vertical devido à fonte circular.

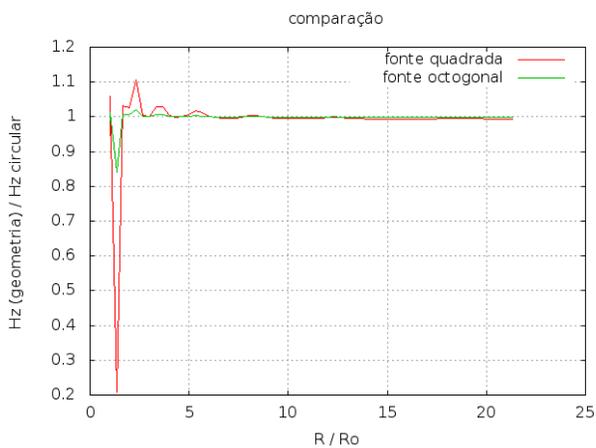


Figura 5: Comparação entre as razões dos campos gerados por transmissores de geometria quadrada e octogonal, em relação ao transmissor de loop circular.

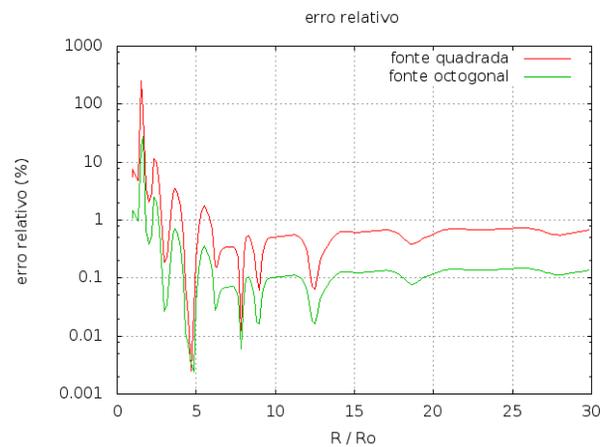


Figura 6: Erro relativo dos campos verticais gerados pelo loop circular em relação aos loops quadrado e octogonal.