

MODELAGEM NUMÉRICA DA INFLUÊNCIA DO ELETROJATO EQUATORIAL EM DADOS MAGNETOTELÚRICOS PRODUZIDOS POR ESTRUTURAS TRIDIMENSIONAIS

Carrasquilla, A. A. G.

Tese de Doutorado em Geofísica

Data da Aprovação: 15.03.93 (CG/UFPA)

Orientador: Dr. Luiz Rijo

A América do Sul apresenta várias peculiaridades geomagnéticas, uma delas é a presença do Eletrojato Equatorial, o qual se estende de leste para oeste no Brasil, ao longo de aproximadamente 3.500 km. Considerando-se o fato de que a influência do Eletrojato Equatorial pode ser detectada a grandes distâncias do seu centro, isto suscita o interesse em se estudar os seus efeitos na exploração magnetotelúrica no Brasil. A influência do eletrojato equatorial na prospeção magnetotelúrica tem sido modelada para meios geológicos uni e bidimensionais, valendo-se para isto de soluções analíticas fechadas e de técnicas numéricas, tais como elementos finitos e diferenças finitas. Em relação aos meios geológicos tridimensionais, eles têm sido modelados na forma de "camadas finas", usando o algoritmo "thin sheet". As fontes indutoras utilizadas para simular o eletrojato equatorial nestes trabalhos têm sido linhas de corrente, eletrojatos gaussianos e eletrojatos ondulantes. Por outro lado, o objetivo principal da nossa tese foi o modelamento dos efeitos que o eletrojato equatorial provoca em estruturas tridimensionais próprias da geofísica da prospeção. Com tal finalidade, utilizamos o esquema numérico da equação integral, com as fontes indutoras antes mencionadas. De maneira similar aos trabalhos anteriores, os nossos resultados mostram que a influência do eletrojato equatorial somente acontece em frequências menores que 10^{-1} Hz. Este efeito decresce com a distância, mantendo até uns 3.000 km do centro do eletrojato. Assim sendo, a presença de grandes picos nos perfis da resistividade aparente de um semi-espaco homogêneo indica que a influência do eletrojato é notável neste tipo de meio. Estes picos se mostram com diferente magnitude para cada eletrojato simulado, sendo que a sua localização também muda de um eletrojato para outro. Entretanto, quando se utilizam modelos geoeletricos unidimensionais mais de acordo com a realidade, tais como os meios estratificados, percebe-se que a resposta dos eletrojatos se amortece significativamente e não mostra

muitas diferenças entre os diferentes tipos de eletrojato. Isto acontece por causa da dissipação da energia eletromagnética devido à presença da estratificação e de camadas condutivas. Dentro do intervalo de 3.000 km, a resposta eletromagnética tridimensional pode ser deslocada para cima ou para baixo da resposta da onda plana, dependendo da localização do corpo, da frequência, do tipo de eletrojato e do meio geológico. Quando a resposta aparece deslocada para cima, existe um afastamento entre as sondagens uni e tridimensionais devidas ao eletrojato, assim como um alargamento da anomalia dos perfis que registra a presença da heterogeneidade tridimensional. Quando a resposta aparece deslocada para baixo, no entanto, há uma aproximação entre estes dois tipos de sondagens e um estreitamento da anomalia dos perfis. Por outro lado, a fase se mostra, geralmente, de uma forma invertida em relação à resistividade aparente. Isto significa que quando uma sobe a outra desce, e vice-versa. Da mesma forma, comumente nas altas frequências as respostas uni e tridimensionais aparecem deslocadas, enquanto que nas baixas frequências se mostram com os mesmos valores, com exceção dos eletrojatos ondulantes com parâmetros de ondulação = -2 e -3. Nossos resultados também mostram que características geométricas próprias das estruturas tridimensionais, tais como sua orientação em relação à direção do eletrojato e a dimensão da sua direção principal, afetam a resposta devido ao eletrojato em comparação com os resultados da onda plana. Desta forma, quando a estrutura tridimensional é rotacionada de 90° , em relação à direção do eletrojato e em torno do eixo z, existe uma troca de polarizações nas resistividades dos resultados, mas não existem mudanças nos valores da resistividade aparente no centro da estrutura. Ao redor da mesma, porém, se percebem facilmente alterações nos contornos dos mapas de resistividade aparente, ao serem comparadas com os mapas da estrutura na sua posição original. Isto se deve à persistência dos efeitos galvânicos no centro da estrutu-

ra e à presença de efeitos indutivos ao redor do corpo tridimensional. Ao alongar a direção principal da estrutura tridimensional, as sondagens magnetotélúricas vão se aproximando das sondagens das estruturas bidimensionais, principalmente na polarização XY. Mesmo assim, as respostas dos modelos testados estão muito longe de se considerar próximas das respostas de estruturas quase-bidimensionais. Porém, os efeitos do eletrojato em estruturas com direção principal alongada, são muito parecidos com aqueles presentes nas estruturas menores, considerando-se as diferenças entre as sondagens de ambos tipos de estruturas. Por outro lado, os mapas de resistividade aparente deste tipo de estrutura alongada, revelam um grande aumento nos extremos da estrutura, tanto para a onda plana como para o eletrojato. Este efeito é causado pelo acanalamento das correntes ao longo da direção principal da estrutura. A modelagem de estruturas geológicas da Bacia de Marajó confirma que os efeitos do eletrojato podem ser detecta-

dos em estruturas pequenas, do tipo "horst" ou "graben", a grandes distâncias do centro do mesmo. Assim, os efeitos do eletrojato podem ser percebidos tanto nos meios estratificados como tridimensionais, em duas faixas de frequência (nas proximidades de 10^{-1} Hz e para frequências menores que 10^{-3} Hz), possivelmente influenciados pela presença do embasamento cristalino e a crosta inferior, respectivamente. Desta maneira, os resultados utilizando o eletrojato como fonte indutora mostram que nas baixas frequências as sondagens magnetotélúricas podem ser fortemente distorcidas, tanto pelos efeitos galvânicos da estrutura tridimensional como pela presença da influência do eletrojato. Conseqüentemente, interpretações errôneas dos dados de campo podem ser cometidas, se não se corrigirem os efeitos do eletrojato equatorial ou, da mesma forma, não se utilizarem algoritmos tridimensionais para interpretar os dados, no lugar do usual modelo unidimensional de Tikhonov - Cagniard

ABSTRACT

South America presents several unique geomagnetic features, one of which is the Equatorial Electrojet, a current system which extends east-west in Northern Brazil, for almost 3.500 km. Considering the fact that the influence of the Equatorial Electrojet can be detected at great distances from its central axis, it is important to understand its effects on magnetotelluric exploration in Brazil. In magnetotelluric prospecting, the influence of the equatorial electrojet has been modelled for both one and two-dimensional geological media, employing both analytical and numerical techniques solutions such as finite element and finite difference. Three-dimensional geological media have been modelled by "thin-layers" using a "thin sheet" algorithm. Lines of current, gaussian electrojets and undulatory electrojets have been used as induction sources to simulate the equatorial electrojet in these algorithms. In this thesis the principal objective is to model the effects of the equatorial electrojet on three-dimensional structures commonly found in geophysical prospecting. To accomplish this, we have computed numerical solutions of the integral equation for three-dimensional media using the inductive sources mentioned before. As previous works have indicated, our results also

show that the influence of the equatorial electrojet is prominent only for frequencies lower than 10^{-1} Hz. This influence decreases with distance but is detectable up to as far as 3000 km from the center of the electrojet. Thus, the presence of peaks in the apparent resistivity profiles over a homogeneous half-space indicates that the influence of the electrojet is more noticeable for this kind of medium. These peaks display different amplitudes for each type of simulated electrojet, and the peak locations also change from one electrojet to the other. However, when we use more geologically realistic one-dimensional models such as a stratified media, the effect of the electrojet source diminishes considerably and the results do not vary greatly for the different kinds of electrojet employed in the model. This effect is caused by the electromagnetic energy dissipation due to the presence of stratified conductive layers within the media. Within the 3000 km region, the three-dimensional electromagnetic response can be larger or smaller than the plane wave response, depending on location of the body, frequency, kind of the electrojet and geology. When the apparent resistivity is larger than the plane wave response, there is a spread between the one and the three-dimensional sounding cur-

ves caused by the electrojet, as well as a widening of the profile anomaly caused by the three-dimensional inhomogeneities relative to the one due to a plane wave. When the apparent resistivity is less the two kinds of sources yield anomalies approximately equal as well as a shortening of the profile anomaly. On the other hand, the phase usually shows an inverted way related to the apparent resistivity. This means that when one phase goes up the apparent resistivity goes down, and vice-versa. Similarly at high frequencies, the one and three-dimensional phases are offset, while at low frequencies they are the same, except for the undulating electrojet with undulation factor $\alpha = -2$ and -3 . Our results also show that the geometric characteristics of three-dimensional structures, such as their orientations relative to the direction of the electrojet and the dimensions of their principal direction, change the response due to the electrojet source as compared to a plane wave source. For example, when the three-dimensional structure is rotated 90 degrees, relative to the direction of the electrojet, there is a change in polarization (of the electric and magnetic fields) but there are no changes in the values of apparent resistivity at the center of symmetry of the structure. When the measurements are taken away from the center of symmetry changes in the apparent resistivity are shown when compared with the unrotated structure. This is due to the persistence of the galvanic effects at the center of the structure and the presence of inductive effects at the periphery of the three-dimensional body. When we elongate the principal direction of the three-dimensional structure, the magnetotelluric soundings start to approach those of two-dimensional structures. This is more

noticeable in the XY polarization. Even so, the responses of the models tested are still quite different from the responses of the quasi-two-dimensional structures. Nevertheless, the effects of the electrojet in structures with elongated principal direction are very similar to those present in smaller structures, considering the differences between the soundings of both kinds of structures. On the other hand, the apparent resistivities of this kind of elongated structures show a great increase at the edges of these structures, both for the plane wave or electrojet sources. This effect is caused by the channelling of the current along the main direction of the structure. The modelling of geological structures in the Marajó Basin, confirms that the effect of the electrojet can be detected even in small horst and graben structures located at great distances from the electrojet center. Electrojet effects are noticeable in both one and three-dimensional media for two frequency bands, one near 10^{-1} Hz and another band, between 10^{-3} Hz to DC. This possibly reflects the influence of a resistive geological basement and a resistive lower crust, respectively. The results of the analysis, using the electrojet as an inductive source, show that at low frequencies the computed responses from the magnetotelluric soundings can be strongly distorted, both by galvanic effects in the three-dimensional structure as well as the presence of the electrojet. Therefore, if the equatorial electrojet effects are not accounted for, a misleading interpretation of magnetotelluric data will result. Similarly, a three-dimensional model should be used to interpret the data, instead of one-dimensional Tikhonov-Cagniard model.