



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**INTERPRETAÇÃO DE DADOS
MAGNETOTELÚRICOS DE BANDA LARGA DA
REGIÃO DIAMANTÍFERA DA SERRA DO
ESPINHAÇO MERIDIONAL, MINAS GERAIS**

Lucas de Moura Feliciano

Diamantina
2022



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**INTERPRETAÇÃO DE DADOS
MAGNETOTELÚRICOS DE BANDA LARGA DA
REGIÃO DIAMANTÍFERA DA SERRA DO
ESPINHAÇO MERIDIONAL, MINAS GERAIS**

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/INPE/CNPq)

Lucas de Moura Feliciano (Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
– UFVJM, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: lucasfelicianomoura@gmail.com

Orientador: Dr. Antonio Lopes Padilha (CGCEA/DIHPA)
Orientadora: Dra. Andrea Cristina Lima Santos Matos (DPGR/PPGES)

Diamantina

2022

RESUMO

A Serra do Espinhaço, localizada na porção centro-oriental do Brasil, representa a faixa orogênica mais extensa e contínua do território brasileiro, estendendo-se desde a área central do estado de Minas Gerais até o norte da Bahia. Desde o século XVIII, notabilizou-se por alojar uma importante província diamantífera, sendo os diamantes concentrados em metaconglomerados e metabrechas da formação Sopa-Brumadinho, assim como em coluviões e aluviões quaternários da rede de drenagem da região norte do segmento meridional da Serra. As áreas fontes dos diamantes da Serra do Espinhaço Meridional são ainda desconhecidas, constituindo-se num dos grandes desafios da geologia dessa faixa orogênica. A utilização do método magnetotelúrico (MT) se apresenta como uma ferramenta importante para o aprofundamento do conhecimento sobre os processos geodinâmicos da área estudada, especialmente na caracterização das estruturas tectônicas maiores pertencentes ao segmento. O método geofísico MT é utilizado para estimar a distribuição da condutividade elétrica no interior da Terra a partir da interpretação de medidas simultâneas das variações temporais naturais dos campos geomagnéticos e geelétricos induzidos. Para o presente trabalho, dados das estações MT de banda larga foram obtidos durante os anos de 2020 e 2021. Foram coletados pelo Instituto de Ciência e Tecnologia da UFVJM, tendo sido estabelecidas 82 estações, equidistantes em cerca de 2 Km, no âmbito dos distritos de São João da Chapada-Campo Sampaio, Sopa-Guinda e Extração (região de Diamantina/MG). Após revisão bibliográfica sobre o método magnetotelúrico, englobando seus aspectos teóricos, os dados foram processados seguindo fluxograma de processamento utilizado pelo grupo de pesquisa em Geomagnetismo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (GEOMA/INPE) para obtenção das curvas de funções de transferência magnetotelúrica.

Palavras-chaves: Interpretação geofísica. Método Magnetotelúrico. Distritos diamantíferos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da área de estudo.....	2
Figura 2 - Mapa Geológico dos distritos Sopa-Guinda, Diamantina – MG.....	4
Figura 3 - Faixas de frequência utilizadas pelo MT e as respectivas profundidades de investigação.	7
Figura 4 - Mapa de localização das estações MT.....	11
Figura 5 - Configuração do equipamento em campo para aquisição de dados banda larga.	12
Figura 6 - Fluxograma de processamento.....	13
Figura 7 - Curvas de resistividade aparente e fase das estações ALBION02 e ALBION05.	15
Figura 8 - Curvas de resistividade aparente e fase das estações DUMBA04 e EST01..	16
Figura 9 - Curvas de resistividade aparente e fase das estações EST12 e EST15.....	16
Figura 10 - Curvas de resistividade aparente e fase das estações EST16 e EST17.....	17
Figura 11 - Curvas de resistividade aparente e fase das estações EST19 e EST23.....	17
Figura 12 - Curvas de resistividade aparente e fase das estações EST24 e EST26.....	18
Figura 13 - Curvas de resistividade aparente e fase das estações DOIDA00 e EST02..	18
Figura 14 - Curvas de resistividade aparente e fase das estações EST06 e EST11.....	19
Figura 15 - Curvas de resistividade aparente e fase das estações EST20 e EST22.....	19
Figura 16 - Curvas de resistividade aparente e fase das estações EST25 e EST27.....	20

LISTA DE SÍMBOLOS

\vec{J} = é a densidade total de corrente elétrica (Am^{-2});

\vec{E} = campo elétrico (Vm^{-1}).

\vec{B} = vetor indução magnética (T);

\vec{H} = campo magnético (Am^{-1});

\vec{D} = deslocamento do campo elétrico (Cm^{-2});

$\vec{\rho}$ = densidade volumétrica de cargas elétricas (Cm^{-3})

∇ = Operador Nabla;

∂t = Variação no tempo

σ = condutividade elétrica do meio (Sm^{-1});

ϵ = permissividade (F/m);

μ = permeabilidade magnética (H/m);

δ = profundidade de investigação;

\emptyset = fase;

Fm-SB = Formação Sopa-Brumadinho;

SdEM = Serra do Espinhaço Meridional;

MT = Método Magnetotelúrico.

ICT/UFVJM - Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri;

GEOMA/INPE = Grupo de pesquisa em Geomagnetismo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	CONTEXTO GEOLÓGICO	3
3	DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO	5
3.1	Fundamentação Teórica	5
3.1.1	Fonte dos Sinais	6
3.1.2	Equações de Maxwell e o Método Magnetotelúrico	8
3.2	Aquisição de Dados Magnetotelúricos	11
3.3	Processamento dos dados	12
4	RESULTADOS	15
5	CONCLUSÕES	21
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

1 INTRODUÇÃO

A Serra do Espinhaço, localizada na porção centro-oriental do Brasil, representa a faixa orogênica mais extensa e contínua do território brasileiro, estendendo-se por cerca de 1200 km na direção N-S, desde a área central do estado de Minas Gerais até o norte da Bahia. O segmento meridional da faixa orogênica limita o sudeste do Cráton São Francisco e se estende por cerca de 300 km do Quadrilátero Ferrífero até a região de Olhos d'Água, ao norte (ALMEIDA ABREU; RENGER, 2007). A Serra do Espinhaço Meridional é edificada por rochas paleoproterozoicas e mesoproterozoicas, sobretudo quartzitos, filitos, metaconglomerados e formações ferríferas, relacionadas à inversão tectônica da bacia, que ocorreu no final do Mesoproterozoico (ALMEIDA-ABREU; RENGER, 2002).

A Serra do Espinhaço notabilizou-se, desde o século XVIII, por alojar uma província diamantífera, sendo os diamantes concentrados em metaconglomerados e metabrechas da Formação Sopa-Brumadinho (Fm-SB), assim como em coluviões e aluviões quaternários da rede de drenagem da região. A mineralização de diamantes nas rochas da Fm-SB distribui-se em 5 distritos, sendo eles: São João da Chapada-Campo Sampaio, Sopa-Guinda, Extração, Datas e Presidente Kubitschek, que se encontram alinhados, preferencialmente, na direção N-S na faixa mediana-central da SdEM. A origem dos diamantes da SdEM tem sido motivo de discussões desde o início do século XX, sobretudo no que diz respeito às suas áreas fontes, ou seja, fonte distal versus fonte proximal (CHAVES et al. 1998, ALMEIDA-ABREU & RENGER, 2001).

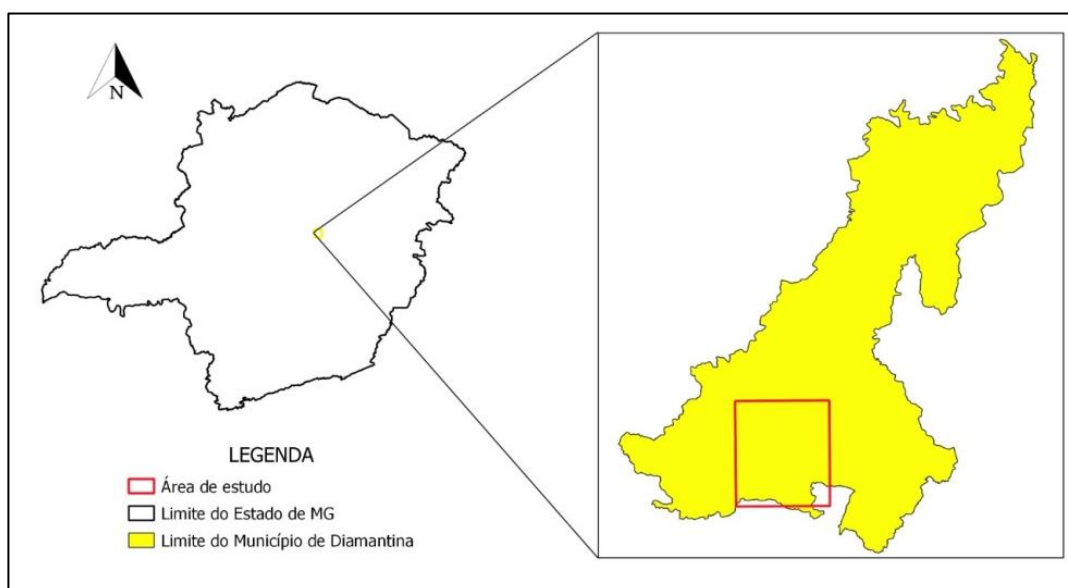
A origem e história da bacia Espinhaço na faixa central da SdEM, teve como proposições originais as apresentadas Pflug (1965) e outros autores que admitiam ambientes marinhos costeiros para as formações São João da Chapada e Sopa-Brumadino, modeladas como de ambiente rifte que teria evoluído para uma margem continental passiva (ALMEIDA-ABREU 1995) ou para uma bacia sag (MARTINS-NETO, 1998). Posteriormente, Almeida-Abreu & Renger, (2007) propuseram que essas duas formações representam o registro de uma larga e extensa planície aluvial nas adjacências ocidentais da bacia Espinhaço propriamente dita.

A geologia de superfície foi detalhada por mapeamento geológico e estudos de análise de bacias, petrográficos e litogeoquímicos (PFLUG & RENGER, 1973; ALMEIDA-ABREU & PFLUG, 1994; ALMEIDA-ABREU & RENGER, 2002). Em conjunto com levantamento gravimétrico recente (FÉRES *et al.*, 2021), essas pesquisas indicaram a necessidade de um estudo geofísico alcançando maiores profundidades para tentar localizar as rochas primárias dos diamantes nessa região, e também para obter informação sobre a crosta e manto sublitosférico e suas relações com os distritos diamantíferos.

A utilização do método magnetotelúrico (MT) se apresenta como uma ferramenta importante para o aprofundamento do conhecimento sobre os processos geodinâmicos da área estudada, especialmente na caracterização das estruturas tectônicas maiores pertencentes ao segmento. O método geofísico MT é utilizado para estimar a distribuição da condutividade elétrica no interior da Terra a partir da interpretação de medidas simultâneas das variações temporais naturais dos campos geomagnéticos e geoeletrônicos induzidos (SANTOS, 2012).

Neste sentido, o presente trabalho apresenta a etapa de processamento robusto dos dados magnetotelúricos de 20 estações MT, adquiridas nos distritos diamantíferos de Diamantina-MG (Figura 1), para obter as curvas de funções de transferência magnetotelúrica.

Figura 1 – Localização da área de estudo.



2 CONTEXTO GEOLÓGICO

O presente estudo encontra-se inserido na Serra do Espinhaço Meridional, faixa orogênica que limita o sudeste do Cráton São Francisco e se estende por cerca de 300 km do Quadrilátero Ferrífero até a região de Olhos d'Água.

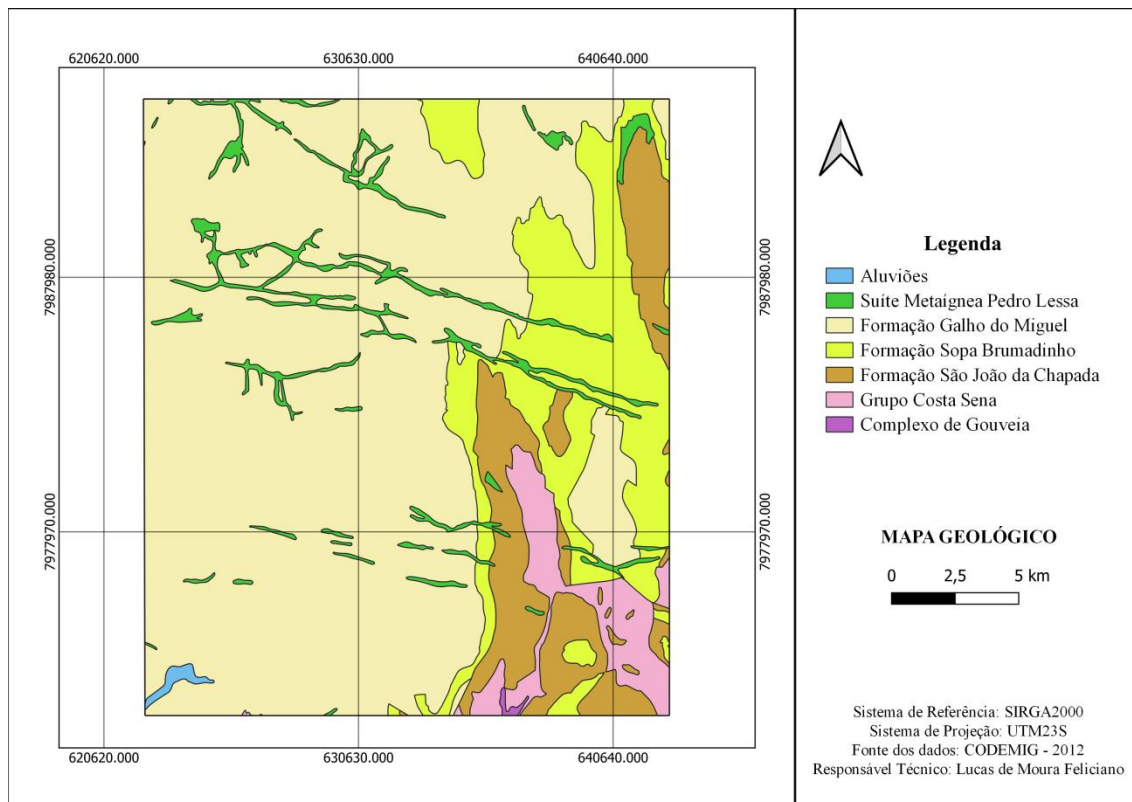
Na região da Serra do Espinhaço Meridional (SdEM), sobre a borda sudeste do Cráton São Francisco, as bacias do Mesoproterozóico constituem resposta a forças distensivas que afetaram a crosta após a orogênese transamazônica. Após tais eventos, a tectônica brasileira (650 – 550 Ma), que representou uma inversão tectônica dos movimentos, foi responsável pela deformação das bacias e à estruturação do Orógeno Araçuaí (DUSSIM & DUSSIM, 1995; ALMEIDA-ABREU, 1995). Durante o regime extensivo, ocorreu um adelgaçamento da litosfera continental que resultou em fraturamento e ruptura da crosta. Neste contexto, desenvolveu-se um processo de rifting que resultou na instalação de uma ampla bacia de extensão submeridiana no qual se depositou o Supergrupo Espinhaço (DUSSIM & DUSSIM, 1995; ALMEIDA-ABREU, 1995).

Os sistemas deposicionais e os elementos estruturais da tectônica sin-extensional associadas às formações inferiores do Supergrupo Espinhaço indicam que o Rifte Espinhaço evoluiu em três fases distintas. Esta evolução, além de possuir evidências de um controle termal, pela correlação da dinâmica continental com o fluxo de calor proveniente do manto, aponta também similaridades com os processos de extensão dos riftes fanerozóicos (ALMEIDA-ABREU, 1995).

A primeira fase da extensão do Rifte Espinhaço ocorreu por volta de 1750 Ma, conforme datações obtidas por Machado et al. (1993), coincidindo com a idade em que vários domínios continentais sofreram processos de distensão crustal, iniciando a fragmentação de um supercontinente amalgamado entre 2100 e 1800 Ma. Após a primeira fase, marcada por intensa atividade termal, a segunda fase do rifteamento permitiu um relaxamento termal da crosta instalando-se então uma extensa bacia fluvial onde foi depositada a Formação São João da Chapada (MARTINS NETO, 1993). Os ciclos sedimentares dessa formação são depósitos de fluxo prográdantes, com predomínio de paleocorrentes com direções W para E, alternados com depósitos agradacionais (ALMEIDA-ABREU, 1995). A terceira e última fase de extensão crustal do rifte Espinhaço é marcada pela deposição das formações Sopa–Brumadinho e Galho

do Miguel. A retomada de extensão crustal é relacionada, mais uma vez, ao intenso aquecimento termal imposto à crosta continental que sustentou o Rifte Espinhaço (ALMEIDA-ABREU, 1995). Esta terceira etapa deve ter ocorrido entre 1711 e 1700 Ma de acordo com as datações de metariolitos que ocorrem intercalados nos metassedimentos das formações São João da Chapada e Sopa-Brumadinho (MACHADO et. al., 1989) e de filitos hematíticos que afloram na faixa mediana central dessa serra (DUSSIN et. al., 1993). A geologia da área que engloba aquela do presente estudo é apresentada na Figura 2.

Figura 2 - Mapa Geológico dos distritos Sopa-Guinda, Diamantina – MG.



3 DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO

3.1 Fundamentação Teórica

O método magnetotelúrico, proposto por Tikhonov (1950) e Cagniard (1953), é um método geofísico que utiliza variações naturais dos campos eletromagnéticos para obtenção de um modelo da estrutura geelétrica do interior do planeta Terra (PÁDUA, 2004). Este método segue alguns princípios teóricos, referentes à indução eletromagnética da Terra que deriva da resolução das equações de Maxwell. Estes princípios são descritos por Simpson e Bahr (2005) como:

- I. As equações de Maxwell, para o eletromagnetismo, são obedecidas;
- II. A Terra não gera energia eletromagnética (o planeta Terra só é capaz de dissipar ou absorver esta energia);
- III. Os campos elétricos e magnéticos podem ser tratados como conservativos longe de suas fontes;
- IV. As fontes naturais são geradas por sistemas de correntes ionosféricas de grande escala que estão, relativamente, distantes da superfície da Terra. Podem ser tratados como ondas eletromagnéticas uniformes, plano polarizadas, que colidem com a Terra com incidência quase vertical. Esta suposição pode ser violada em regiões polares e equatoriais;
- V. Não se espera que nenhuma acumulação de cargas livres ocorra em subsuperfície em uma estrutura unidimensional (condutividade elétrica varia apenas com a profundidade). Em uma Terra multidimensional, as cargas podem se acumular ao longo de suas descontinuidades;
- VI. A carga elétrica é conservada e a Terra se comporta como um condutor ôhmico, correspondendo à equação:

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (1)$$

onde:

\vec{J} = densidade DA corrente elétrica (Am^{-2});

σ = condutividade elétrica do meio (Sm^{-1});

$$\vec{E} = \text{campo elétrico (Vm}^{-1}\text{)}.$$

- VII. O deslocamento do campo elétrico, para as frequências usadas nas sondagens magnetotélúricas, pode ser considerado como praticamente estático. Assim, as correntes de deslocamento variantes no tempo, decorrentes dos efeitos de polarização, são desprezíveis em comparação com as correntes de condução variantes no tempo. Isso permite o tratamento do fenômeno de indução eletromagnética no interior da Terra como um processo de difusão;
- VIII. Qualquer variação, tanto na permissividade elétrica quanto na permeabilidade magnética das rochas, são consideradas desprezíveis em comparação com as variações da condutividade elétrica na rocha.

3.1.1 Fonte dos Sinais

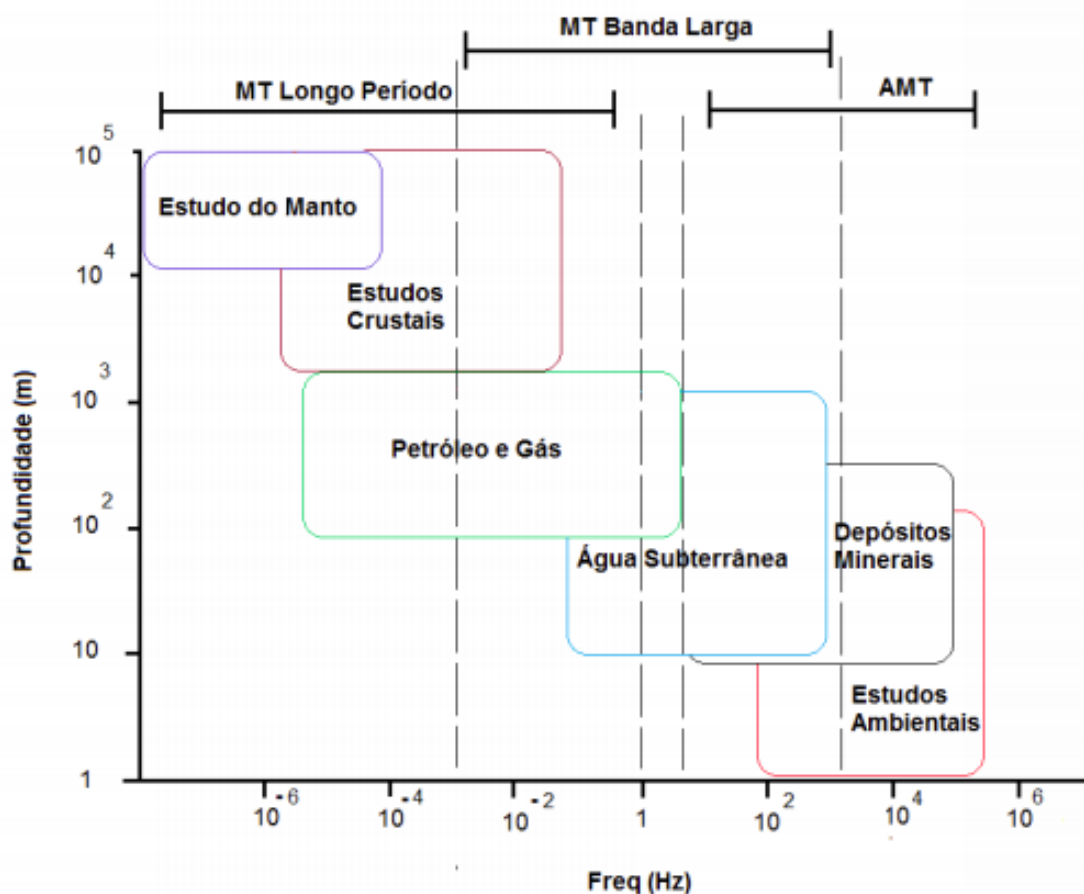
Segundo Pádua (2004) as sondagens magnetotélúricas utilizam-se dos campos magnéticos naturais como fonte de sinal para imagear a subsuperfície. Considera-se que as variações temporais, tanto dos campos elétricos (E) como dos campos magnéticos (H), ocorrem devido à incidência de ondas eletromagnéticas planas que se propagam verticalmente no interior do planeta (SANTOS, 2012).

Estas variações temporais permitem classificar as ondas eletromagnéticas em dois tipos, sendo eles:

- I. Fontes de baixas frequências ($f < 1\text{Hz}$): sinais que correspondem a interação entre vento solar, ionosfera e a magnetosfera terrestre. São principalmente micropulsões contínuas e irregulares observadas durante tempestades magnéticas.
- II. Fontes de altas frequências ($f > 1\text{Hz}$): sinais correspondentes a fenômenos elétricos (descargas elétricas) que ocorrem entre a ionosfera e a superfície da Terra.

Os sinais eletromagnéticos naturais abrangem um espectro de frequência que varia, aproximadamente, entre 10^{-6} até 10^5 Hz e que define o alcance da onda e a profundidade de investigação do método geofísico. Sinais de alta frequência são rapidamente amortecidos no interior da Terra e trazem informação sobre profundidades rasas da crosta superior. Sinais de baixa frequência se propagam a grandes profundidades e trazem informação sobre a crosta inferior e o manto superior. Por apresentar extensa faixa de frequências, o método magnetotelúrico é subdividido em grupos vinculados com sua aplicação prática (Figura 3).

Figura 3 - Faixas de frequência utilizadas pelo MT, profundidades de investigação e aplicações em diferentes tipos de estudo.



Fonte: (RIBEIRO, 2017).

3.1.2 Equações de Maxwell e o Método Magnetotelúrico

Como apresentado no Item 3.1 deste trabalho, os fenômenos eletromagnéticos, utilizados no método magnetotelúrico, obedecem às equações de Maxwell que descrevem o comportamento dos campos eletromagnéticos. Estas equações são:

I. Lei de Ampère:

$$\nabla \times \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{J} \quad (2)$$

II. Lei de Faraday:

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (3)$$

III. Lei de Gauss para o campo elétrico:

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho \quad (4)$$

IV. Lei de Gauss para o campo magnético:

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (5)$$

onde:

\vec{E} = campo elétrico (Vm^{-1});

\vec{B} = vetor indução magnética (T);

\vec{H} = campo magnético (Am^{-1});

\vec{D} = deslocamento do campo elétrico (Cm^{-2});

\vec{J} = densidade de corrente elétrica (Am^{-2});

ρ = densidade volumétrica de cargas elétricas (Cm^{-3})

Para correlacionar o comportamento e as propriedades elétricas e magnéticas da estrutura de subsuperfície, as equações de Maxwell são complementadas por relações constitutivas, dadas por:

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E}; \quad (6)$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H}; \quad (7)$$

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}; \quad (8)$$

onde:

ϵ = permissividade (F/m);

μ = permeabilidade magnética (H/m);

σ = condutividade elétrica do meio (Sm⁻¹).

Resolvendo essas equações de Maxwell para as condições descritas no item 3.1, obtém-se as equações fundamentais para uso do método magnetotelúrico em estudos geofísicos. A primeira delas é a resistividade aparente que mostra como a resistividade no interior da Terra pode ser obtida a partir de medidas dos campos elétricos e magnéticos na superfície:

$$\rho_{axy}(\omega) = \frac{1}{\omega\mu_0} (Z_{xy}(\omega))^2 \quad (9)$$

onde:

ρ_a = resistividade aparente (Ωm);

x e y = duas direções ortogonais quaisquer;

ω = frequência angular (radianos por segundo);

μ_0 = permeabilidade magnética no vácuo (H/m);

Z = impedância complexa (Ω).

onde:

$$Z_{xy}(\omega) = \frac{E_x(\omega)}{H_y(\omega)} \quad (10)$$

onde:

E_x = campo elétrico medido em uma direção x qualquer;

H_y = campo magnético medido em uma direção y ortogonal.

Por ser Z um tensor de impedâncias complexo (componentes Z_{xx} , Z_{xy} , Z_{yx} e Z_{yy}) define-se também um atraso de fase entre as componentes dos campos elétrico e magnético dada por:

$$\phi_{xy}(\omega) = \arctan\left(\frac{Im(Z_{xy}(\omega))}{Re(Z_{xy}(\omega))}\right) \quad (11)$$

onde:

ϕ = fase (graus);

$Im(Z_{xy})$ = parte imaginária do elemento complexo Z ;

$Re(Z_{xy})$ = parte real do elemento complexo Z .

A outra equação é a da profundidade pelicular que mostra como o sinal eletromagnético é amortecido no interior da Terra em função da frequência do sinal e da condutividade do meio. Indica que o sinal se propaga até maiores profundidades em frequências mais baixas e condutividade elétrica mais baixa.

$$\delta(T) \simeq 500\sqrt{T\rho_a} \quad (11)$$

onde:

δ = profundidade de investigação (metros);

T = período (segundos);

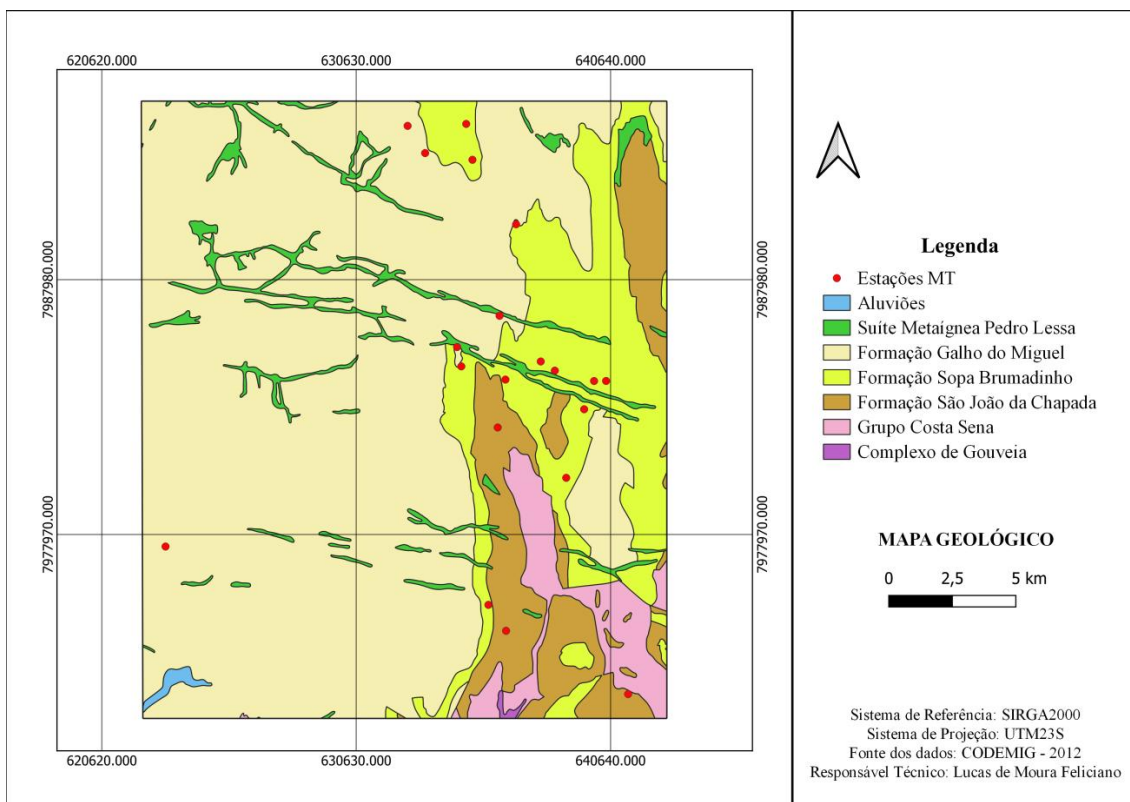
ρ_a = resistividade aparente (Ωm).

Essas equações em conjunto (9 a 12) mostram que para obter a distribuição de condutividade da Terra usando o método magnetotelúrico é necessário medir componentes ortogonais dos campos elétricos e magnéticos na superfície em diferentes frequências.

3.2 Aquisição de Dados Magnetotelúricos

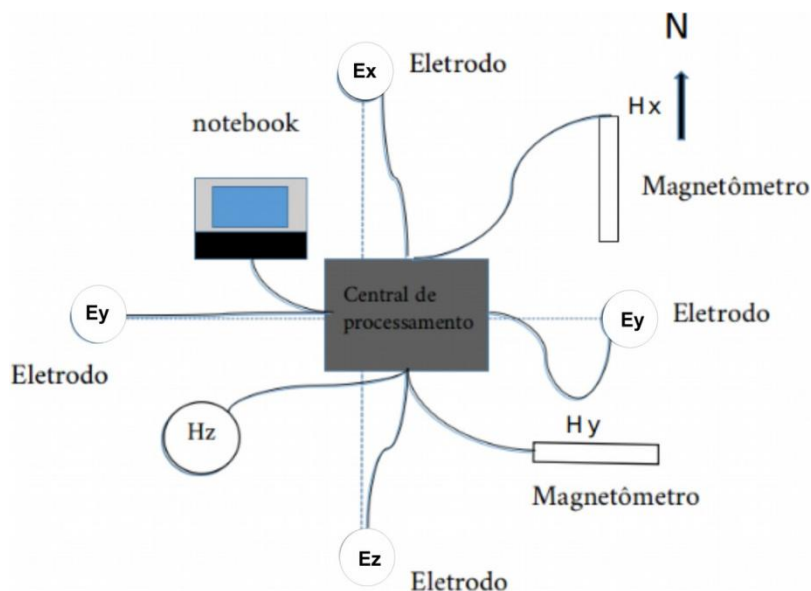
A aquisição dos dados magnetotelúricos de banda larga usados nesta pesquisa foram coletadas pelo ICT/UFVJM - Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Foram estabelecidas 82 estações (equidistantes cerca de 2 km) no âmbito dos distritos de São João da Chapada-Campo Sampaio, Sopa-Guinda e Extração. Destas estações, foram selecionadas 20 sondagens nos distritos diamantíferos de Sopa-Guinda, na região de Diamantina/MG, para a realização desta pesquisa (Figura 4).

Figura 4 - Mapa de localização das estações MT.



A Figura 5 ilustra a configuração do equipamento em campo para aquisição das componentes ortogonais do campo eletromagnético, registrando as variações temporais do campo elétrico (E_x e E_y) e variações temporais da intensidade do campo magnético (H_x , H_y e H_z).

Figura 5 - Configuração do equipamento em campo para aquisição de dados banda larga.

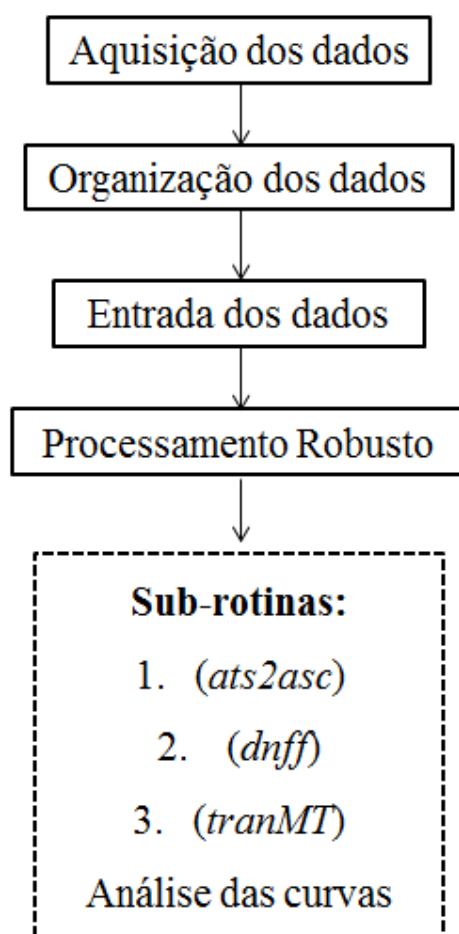


Fonte: SANTOS, 2019.

3.3 Processamento dos dados

Os dados foram processados seguindo fluxograma de processamento (Figura 6) utilizado pelo grupo de pesquisa em Geomagnetismo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (GEOMA/INPE) para obtenção das curvas de funções de transferência magnetotelúrica.

Figura 6 - Fluxograma de processamento.



Fonte: Modificado (SANTOS, 2012)

Após a aquisição e organização dos dados, a primeira etapa para o processamento é a conversão dos dados, uma vez que os mesmos são registrados pelo equipamento em extensão binária (*.ats*). Para estimar o tensor de impedância utilizando o pacote de processamento robusto EMTF (EGBERT, 1997) é necessário converter estes dados *.ats* para a extensão *.asc* por meio da sub-rotina *ats2asc*. Outra conversão é ainda necessária para prosseguir com o processamento robusto. Os dados são registrados pelo equipamento em formato de séries temporais (no domínio do tempo), sendo então necessário converter estes dados para o domínio da frequência utilizando a Transformada Rápida de Fourier (FFT). A sub-rotina para realizar esta conversão, no EMTF, é o *dnff*.

Por meio desta sub-rotina (*dnff*) ainda é possível obter os coeficientes de Fourier das séries temporais registradas, no qual a série temporal é dividida no que se denomina como “janelas”, cujo tamanho representa a relação entre o maior período que se deseja extrair e a resolução e erro das estimativas. Para cada banda definida para o número de dados em cada janela (128, 4096, 6556 e 131072), utilizou-se o *dnff* em cada uma delas para estabelecer qual delas produziria curvas mais suaves de resistividade e fase, buscando aumentar a relação sinal/ruído.

Em seguida, foi utilizada a sub-rotina *tranmt* (EGBERT, 1997) para efetuar a estatística robusta para remover os *outliers* (medidas que se encontram relativamente afastadas da curva de medidas) dos dados em análise. Por meio desta sub-rotina é possível estimar as componentes do tensor de impedância, de onde são resultados os gráficos de resistividade aparente e fase em função do período de amostragem.

4 RESULTADOS

Como a propagação do campo eletromagnético no interior da Terra é atribuída como um processo de difusão e os espectros foram suavizados em torno da frequência alvo no processamento, espera-se que as variações da resistividade aparente e fase apresentem curvas suaves com a variação do período do sinal.

Os resultados obtidos no processamento robusto estão dispostos abaixo (Figuras de 7 a 16). As estimativas das funções de transferências para cada estação, 20 sondagens, são demonstrados nos gráficos como resultados de resistividade aparente e fase.

Figura 7 - Curvas de resistividade aparente e fase das estações ALBION02 e ALBION05.

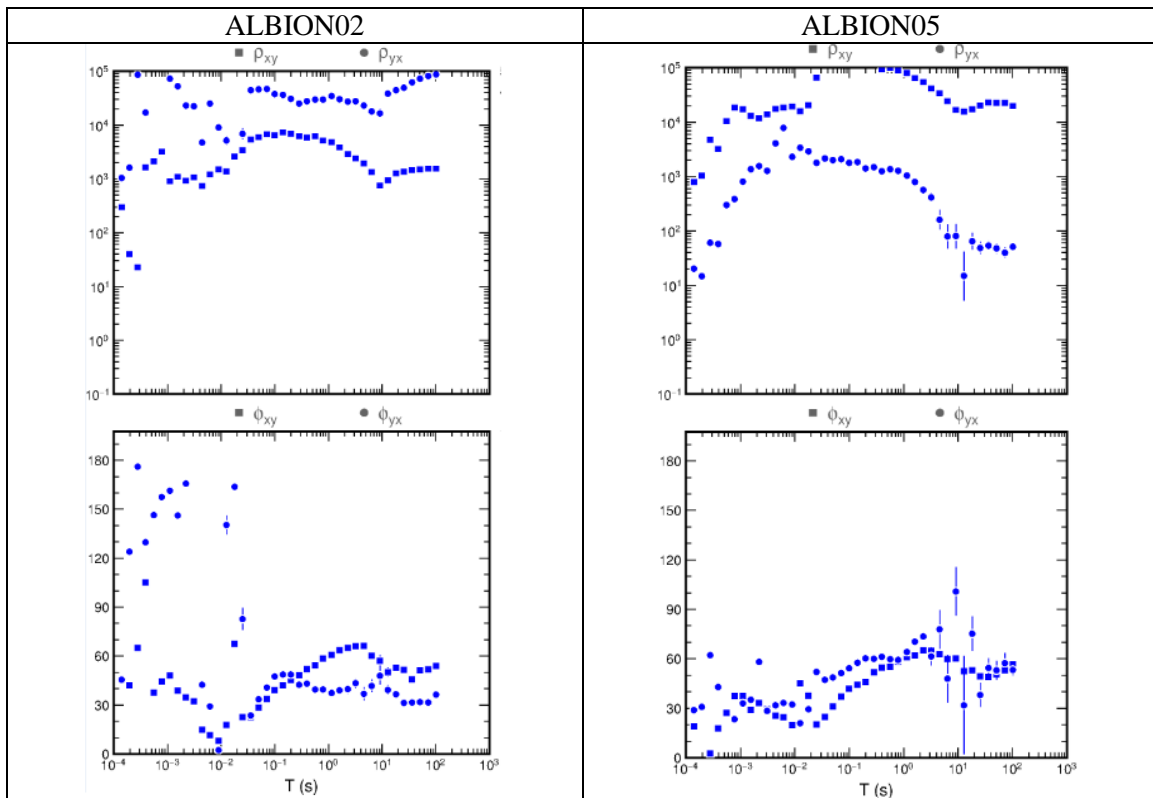


Figura 8 - Curvas de resistividade aparente e fase das estações DUMBA04 e EST01.

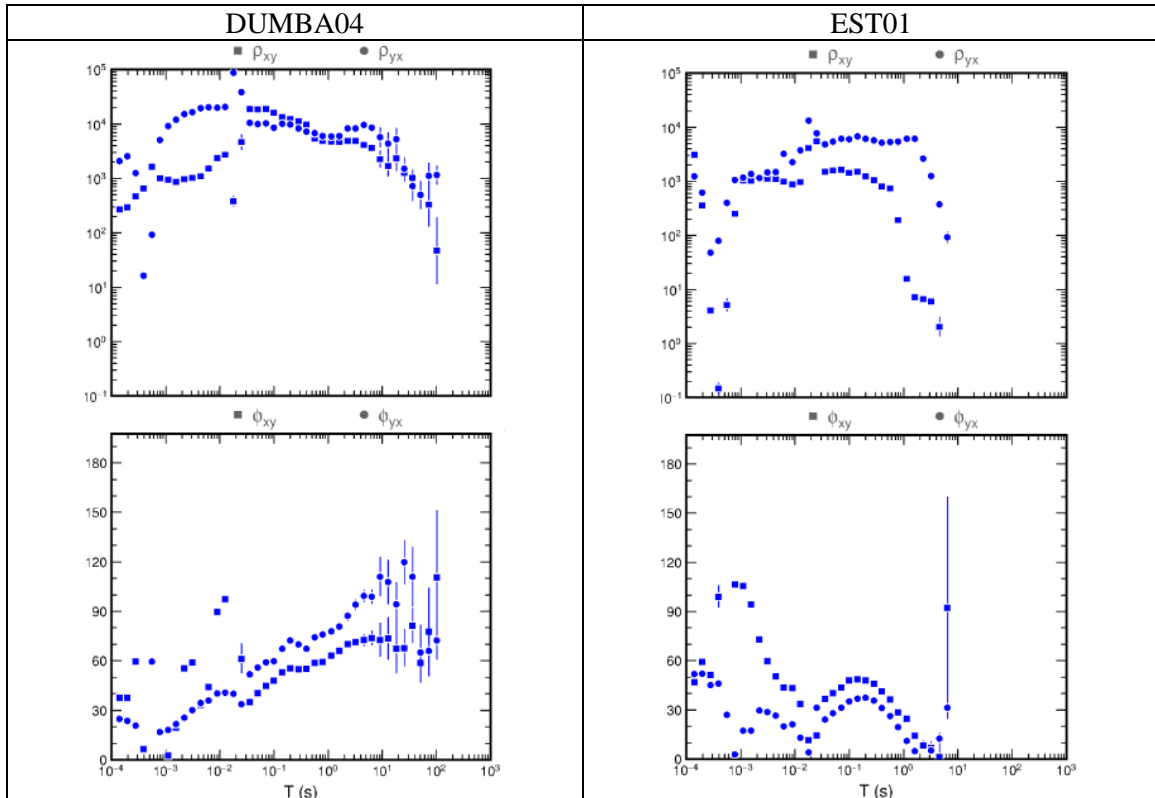


Figura 9 - Curvas de resistividade aparente e fase das estações EST12 e EST15.

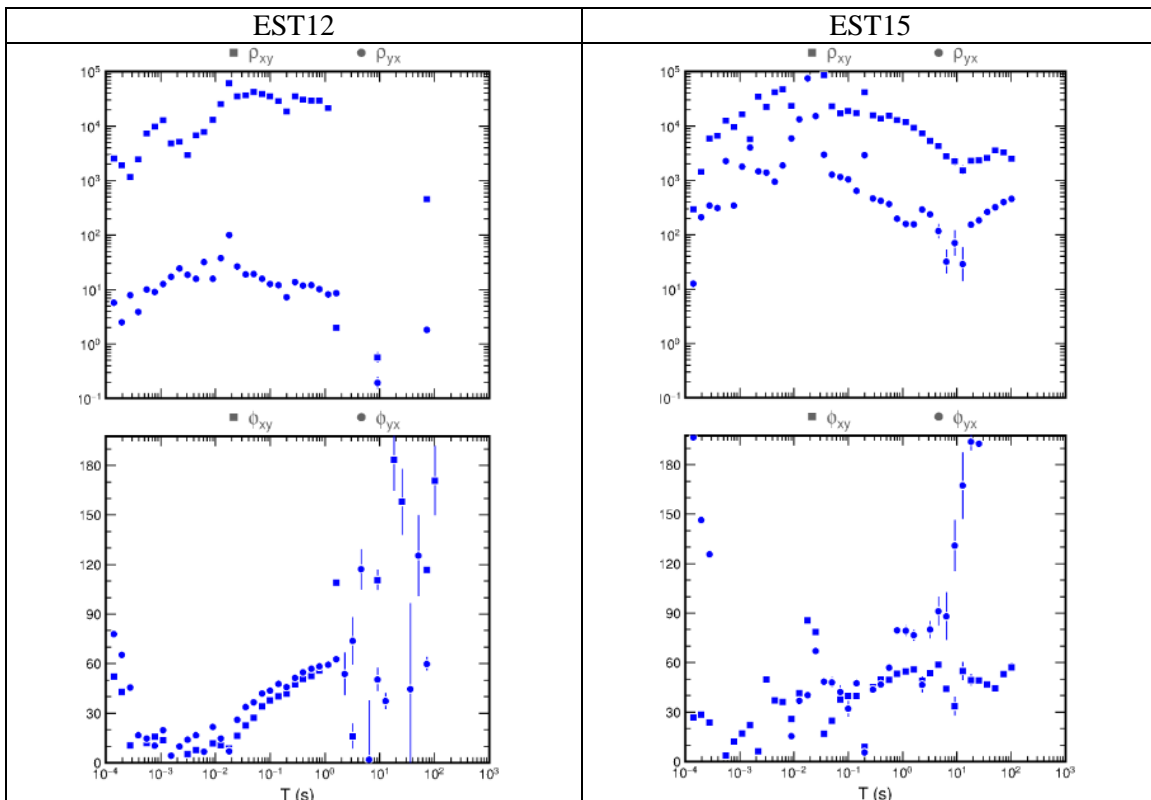


Figura 10 - Curvas de resistividade aparente e fase das estações EST16 e EST17.

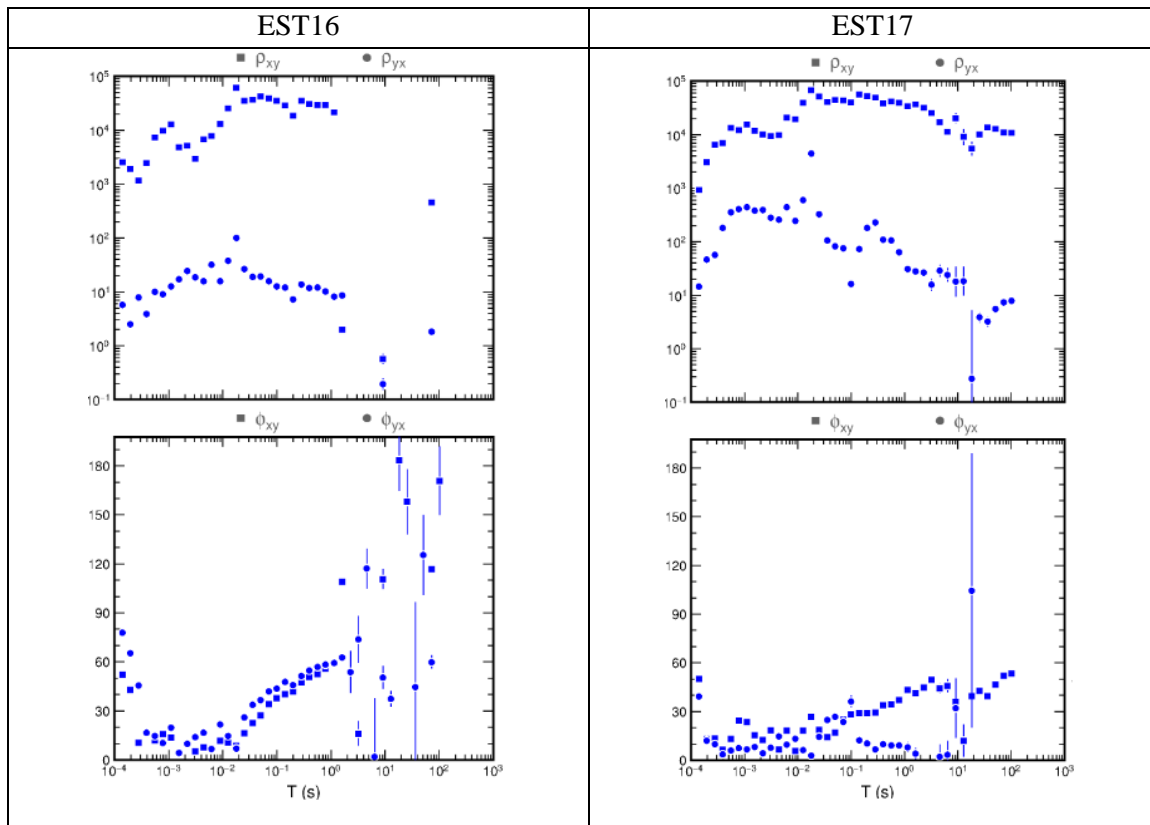


Figura 11 - Curvas de resistividade aparente e fase das estações EST19 e EST23.

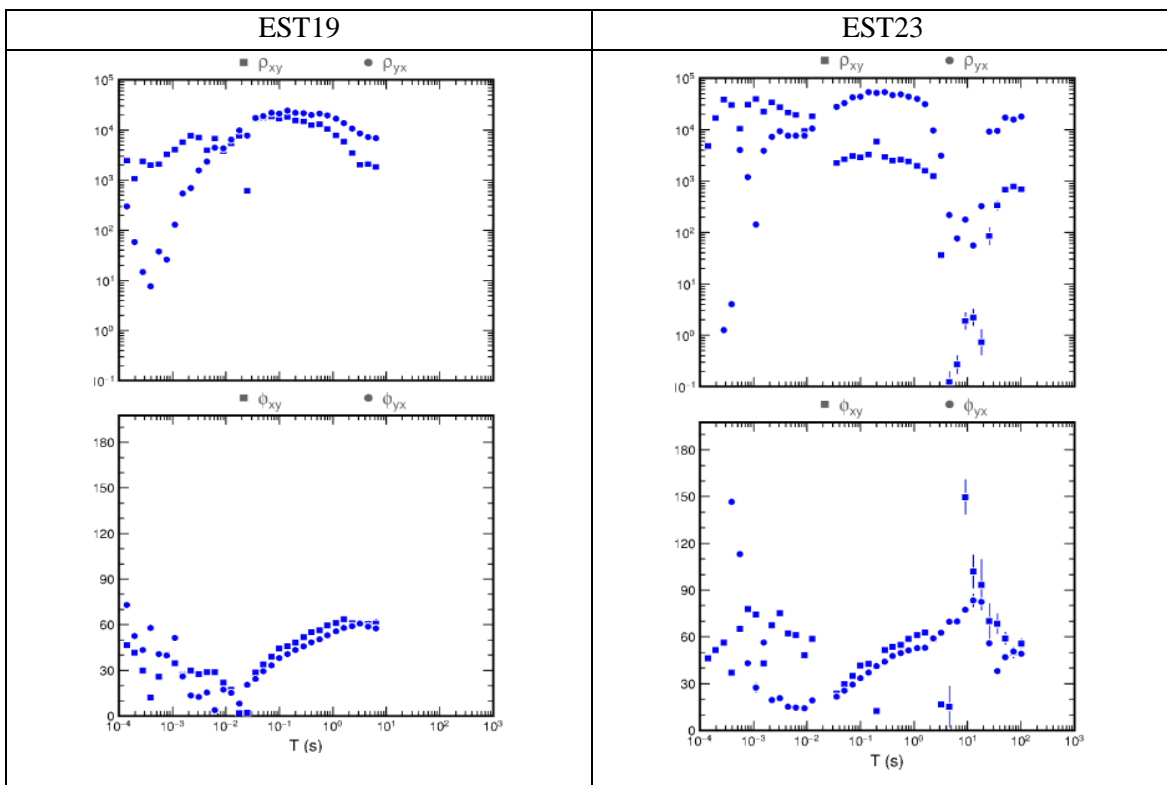


Figura 12 - Curvas de resistividade aparente e fase das estações EST24 e EST26.

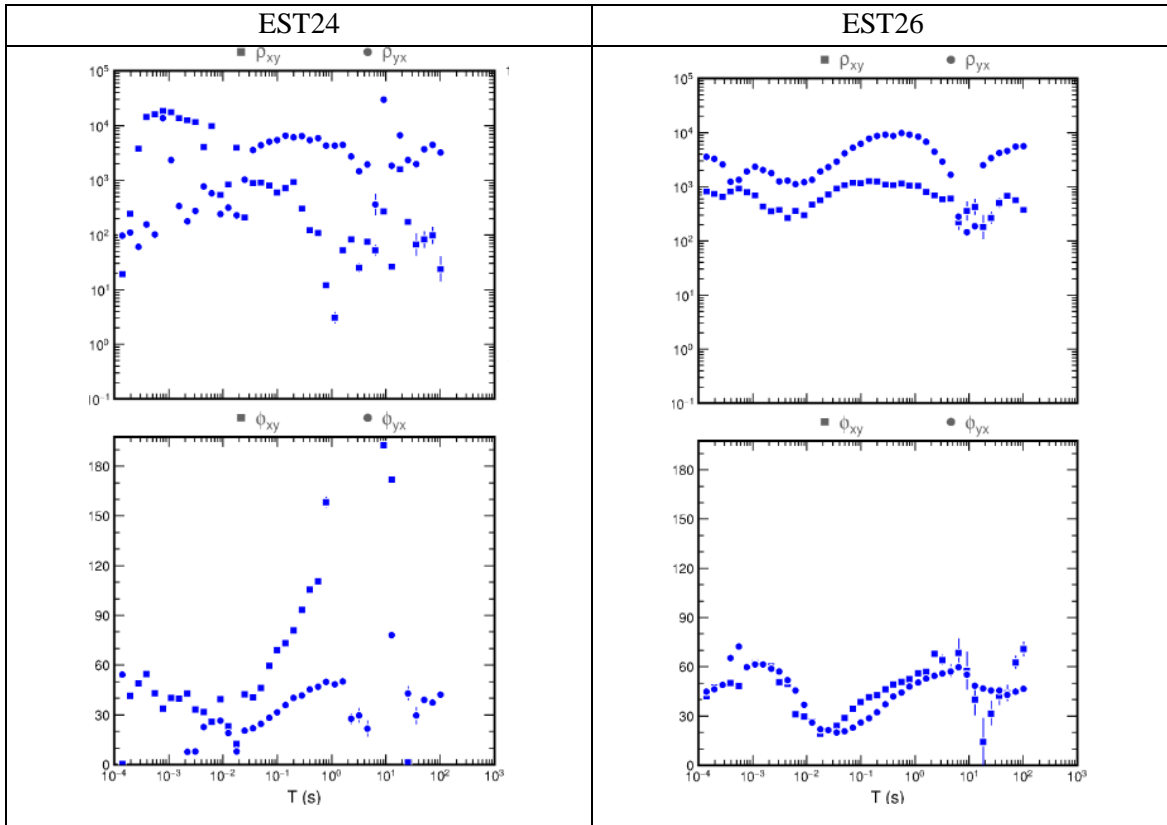


Figura 13 - Curvas de resistividade aparente e fase das estações DOIDA00 e EST02.

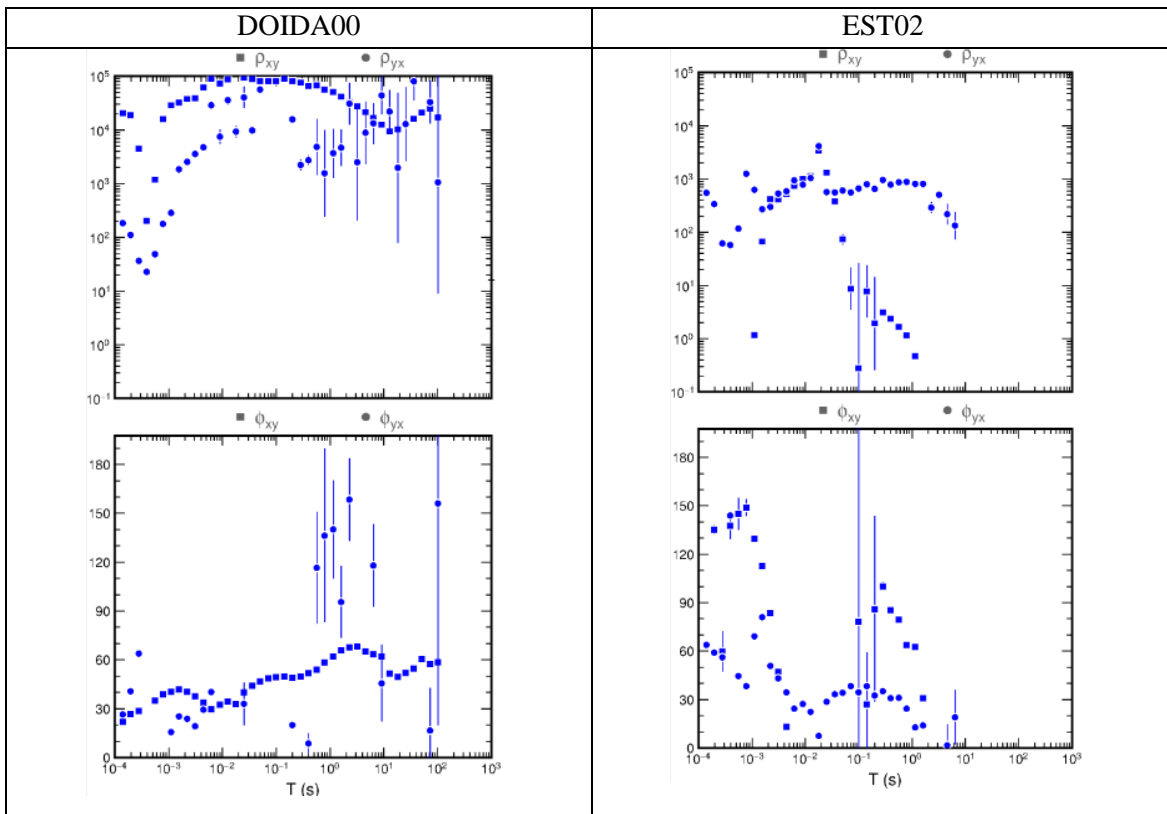


Figura 14 - Curvas de resistividade aparente e fase das estações EST06 e EST11.

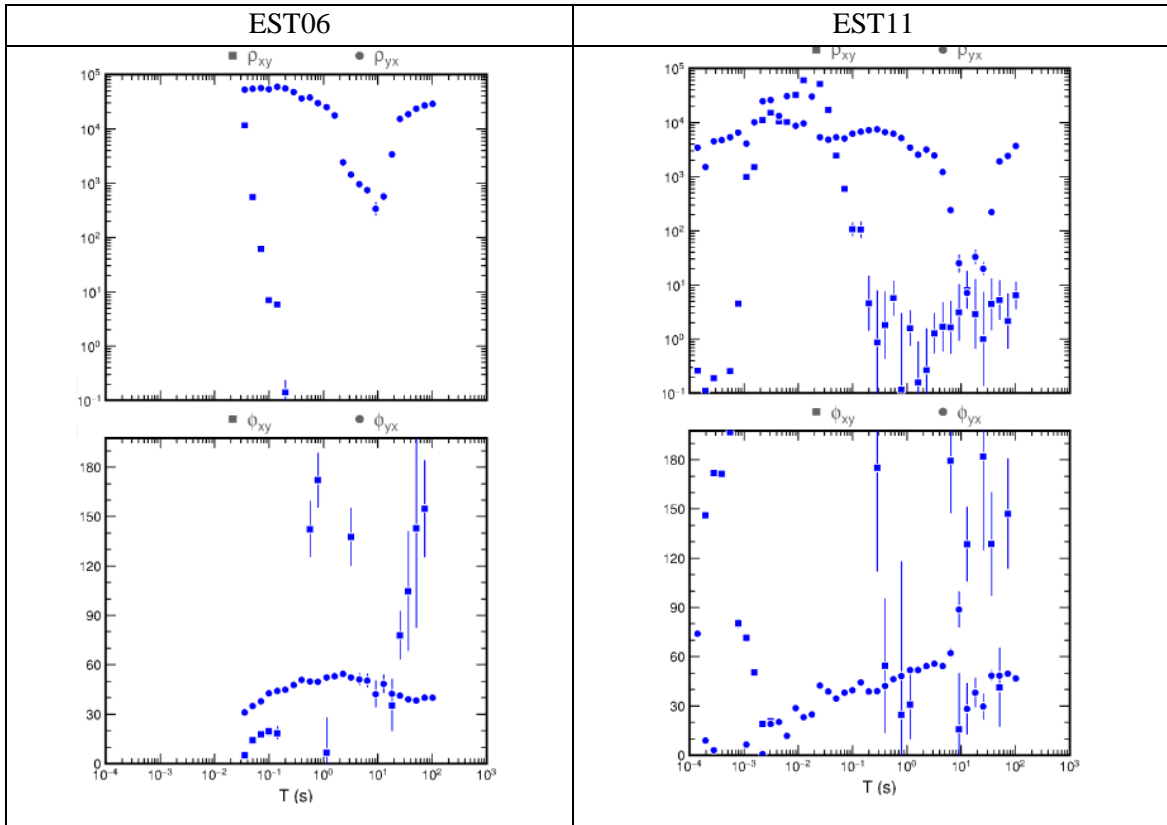


Figura 15 - Curvas de resistividade aparente e fase das estações EST20 e EST22.

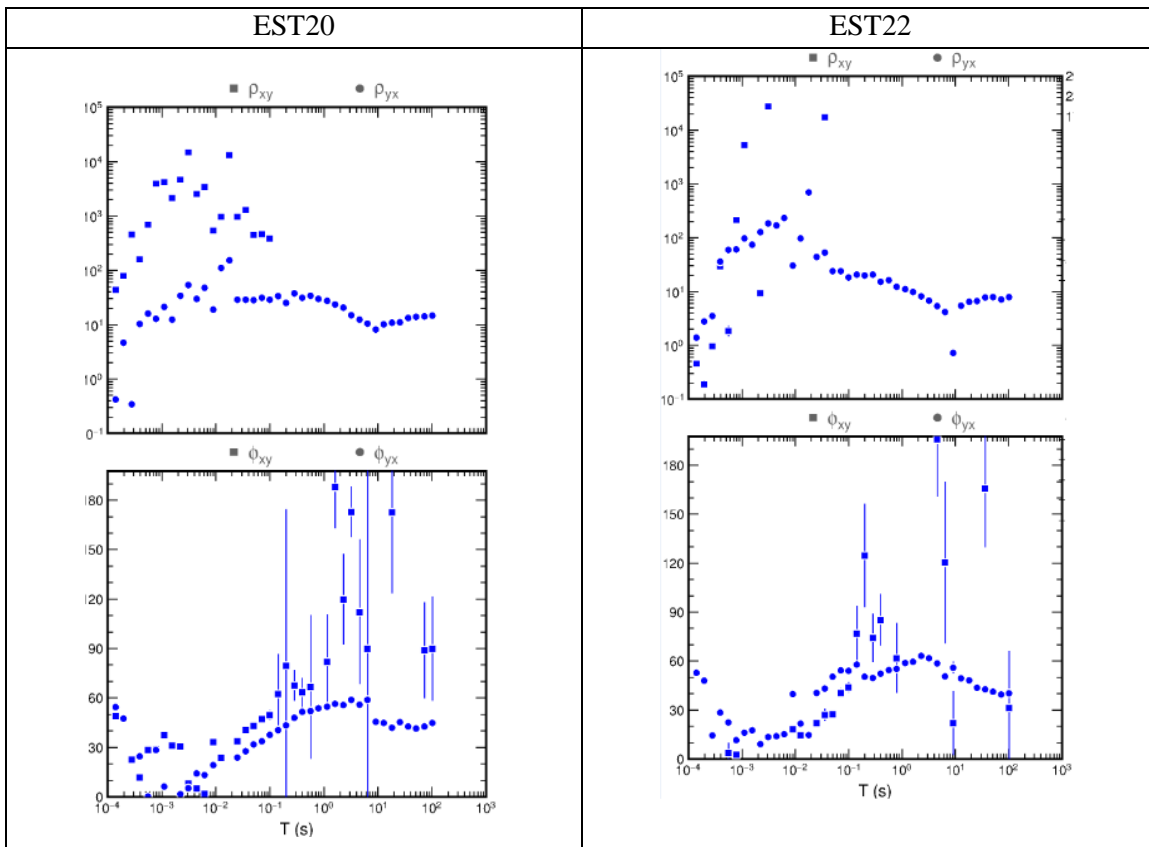
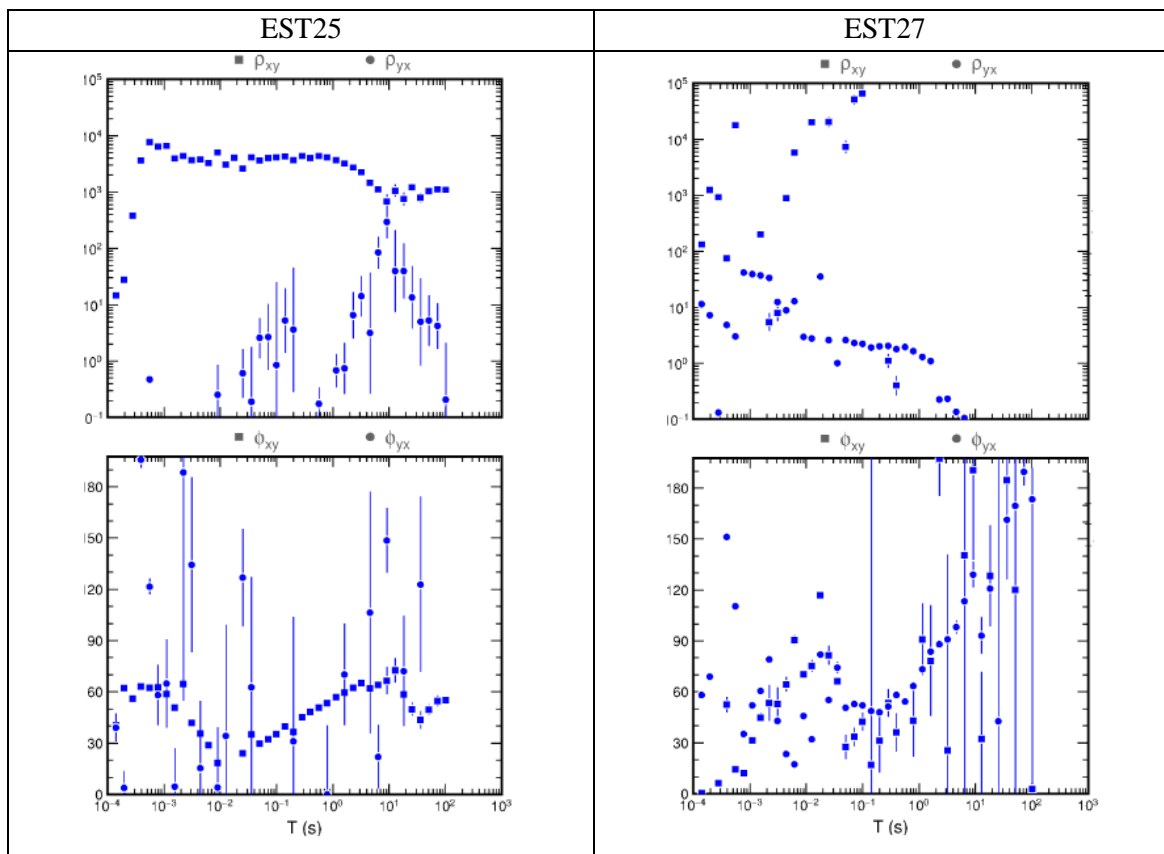


Figura 16 - Curvas de resistividade aparente e fase das estações EST25 e EST27.



Observa-se que grande parte das estações processadas apresentam problemas/ruídos, uma vez que as curvas geradas não apresentam, em sua maioria, uma suavidade e continuidade aparente. Embora a utilização de fonte natural contribua para a sondagem, por não precisar de transmissores, o cuidado e o conhecimento prévio na instalação do equipamento de sondagem é essencial para minimizar os ruídos no sinal obtido.

5 CONCLUSÕES

O método magnetotelúrico foi utilizado na região meridional da Serra do Espinhaço em suporte a pesquisas que buscam determinar as áreas fontes dos diamantes encontrados nessa área. Sondagens de banda larga foram realizadas e os resultados de algumas delas foram apresentados neste trabalho com o objetivo de aferir a qualidade dos dados adquiridos. Embora utilizando as técnicas mais recentes de processamento de dados MT, com métodos robustos desenvolvidos pela comunidade internacional envolvida com estudos de indução eletromagnética, observou-se que as funções de transferência entre componentes elétricas e magnéticas do campo medido apresentam forte contaminação por ruídos eletromagnéticos. A fonte desses ruídos é indeterminada, mas provavelmente origina-se de linhas de transmissão de energia entre as cidades que compõem a área de estudo. Esses resultados preliminares mostram que, antes de dar prosseguimento ao trabalho com modelagem das estruturas de condutividade em subsuperfície, é necessária uma abordagem mais meticulosa do levantamento de campo para obtenção de dados MT nessa região. Alternativas como o uso da técnica de referência remota, na qual uma estação é continuamente operada em uma área isenta de ruído eletromagnético nas proximidades da área de estudo, devem ser avaliadas. Também, é sugerido verificar com mais cuidado a sequência no próprio procedimento de aquisição de dados, o qual deve incluir um pré-processamento dos dados durante seu período de aquisição. Isso vai permitir avaliar a qualidade dos dados ainda durante o trabalho de campo, permitindo orientar a mudança de local de aquisição em caso de sítios muito ruidosos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA-ABREU, P. A. O Supergrupo Espinhaço da Serra do Espinhaço Meridional (Minas Gerais): o rifte, a bacia e o orógeno. *Geonomos*, v. 3, n. 1, p. 1-18, 1995.

ALMEIDA-ABREU, P. A.; RENGER, F. E. Origem dos diamantes da Serra do Espinhaço Meridional: O exemplo do distrito diamantífero de Sopa-Guinda (Diamantina-MG). *Revista Brasileira de Geociências*, v. 31, n. 4, p. 511-520, 2001.

ALMEIDA-ABREU, P. A.; RENGER, F. E. Serra do Espinhaço Meridional: um orógeno de colisão do Mesoproterozóico. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 32, n.1, p. 1-14, 2002.

ALMEIDA-ABREU, P. A.; RENGER, F. E. Stratigraphie und Fazies der südlichen Serra do Espinhaço, Minas Gerais, Brasilien [Stratigraphy and facies of the southern Serra do Espinhaço, Minas Gerais, Brazil]. *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*, v. 158, p. 9-29, 2007.

ALMEIDA-ABREU, P.A., PFLUG, R. (1994): The geodynamic evolution of the southern Serra do Espinhaço, Minas Gerais, Brazil. – *Zbl. Geol. Paläont.*, 1/2: 21–44.

CAGNIARD, L.; Basic theory of the magneto-telluric method of geophysical prospecting. 1953. *Geophysics*, v. 18, p.605-635

CHAVES, M. L. D. S. C., Karfunkel, J., & Svisero, D. P. (1998). Sobre a polêmica da origem do diamante na Serra do Espinhaço (Minas Gerais): um enfoque mineralógico. *Brazilian Journal of Geology*, 28(3), 285-294.

DUSSIN, I A; DUSSIN, T M. Supergrupo Espinhaço: Modelo de Evolução Geodinâmica. *Geonomos*, v. 3, n. 1, p.19-26, 1995.

DUSSIN, I. A; DUSSIN, T. M.; CHARVET, J.; COCHERIE, A. & ROSSI, P. 1993. Single-zircon dating by step-wise Pb evaporation of Middle Proterozoic magmatism in the Espinhaço Range, Southeastern São Francisco Craton (Minas Gerais, Brazil). In: *SIMP. CRATON SÃO FRANCISCO*, 2, Salvador,1993. Salvador, SBG/Ba, p. 39-42.

EGBERT, G.D. Robust multiple station magnetotelluric data processing. 1997. *Geophys. J. Int.*, 130, 475-496.

FÉRES, W.M.L., ALMEIDA-ABREU, P.A., POLETTI, W. (2021): Integrating geological mapping and geophysical estimations in Southern Espinhaço range, eastern edge of the São Francisco Craton, Brazil. *Brazilian Journal of Geophysics*, 39(1): 47-69, Doi: 10.22564/rbgf.v39i1.2087

MACHADO, N. et al. Resultados preliminares da geocronologia U-Pb na Serra do Espinhaço Meridional. *Boletim do Núcleo Minas Gerais-Sociedade Brasileira de Geologia*, v. 10, p. 171-174, 1989.

MACHADO, N.; FENG, R. & NOCE, C. M. Datação U-Pb de zircões de sequências proterozóicas na região do Quadrilátero Ferrífero, borda sul do Craton do São Francisco: considerações sobre áreas-fonte e idades de sedimentação. In: *SIMP.*

CRATON SÃO FRANCISCO, 2, Salvador, 1993. Anais... Salvador, SBG/Ba - SGM/Ba, p.149-151. 1993.

MARTINS NETO, M. A. The sedimentary evolution of a Proterozoic rift basin – The basal Espinhaço Supergroup, southern Serra do Espinhaço, Minas Gerais, Brazil. PhD Thesis, University of Freiburg, Germany. 1993.

MARTINS NETO, M.A. 1998. O Supergrupo Espinhaço em Minas Gerais: registro de uma bacia rifte-sag do Paleo/Mesoproterozóico. Rev. Bras. de Geol., 48: 151-168.

PÁDUA, M. B. de Estudo da Indução Eletromagnética na caracterização de estruturas profundas sob a borda sul do Cráton de São Francisco. 2004. 163 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geofísica Espacial, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

PFLUG, R., RENGER, F. (1973): Estratigrafia e evolução geológica da margem sudeste do Cráton Sanfranciscano. – 27. Congr. Bras. Geol., (Aracajú), Anais 2: 5–19.

PFLUG, Reinhard. A geologia da parte meridional da Serra do Espinhaço e zonas adjacentes, Minas Gerais. Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia, 1965.

Ribeiro PL. 2017. Imageamento Bidimensional de Estruturas da Porção Nordeste da Província do São Francisco usando Dados Magnetotelúricos. 2017. 61 f. TCC (Graduação) – Curso de Geofísica, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

SANTOS, A.C.L., 2012. Imageamento magnetotelúrico de estruturas da litosfera na porção SE da província Borborema. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, 159 p.

SANTOS, P.R. modelo unidimensional de dados magnetotelúricos sob a Bacia Tucano Central e bloco Serrinha no nordeste do Brasil. UNIPAMPA, Bolsista PIBIC/CNPq. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, Julho de 2019.

SIMPSON, F.; BAHR, K.; Practical Magnetotellurics. 2005. Cambridge: Cambridge University Press, 270 p.

TIKHONOV, A.; On determining electrical characteristics of the deep layers of the earth's crust. 1950. Doklady Akademii Nauk SSSR, v. 73, p.295-297.