

**ANOMALIAS MAGNETOMÉTRICAS DA REGIÃO DE DIAMANTINA  
(SERRA DO ESPINHAÇO, MINAS GERAIS) E SEUS SIGNIFICADOS  
GEOLÓGICOS, ESTRUTURAIS E TECTÔNICOS**

*MAGNETOMETRIC ANOMALIES FROM DIAMANTINA REGION (ESPINHAÇO RANGE, MINAS GERAIS) AND ITS GEOLOGICAL, STRUCTURAL AND TECTONICAL MEANINGS*

**João Paulo de Paula CALDAS<sup>1</sup>; Mario Luiz de Sá Carneiro CHAVES<sup>1</sup>; Maria Silvia Carvalho BARBOSA<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências. Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte – MG.  
E-mails: caldas.geologo@gmail.com; mlschaves@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de Ouro Preto. Departamento de Geologia. Campus Morro do Cruzeiro s/n – Bauxita, Ouro Preto – MG. E-mail: mscharbosa@gmail.com

Introdução  
Contexto Geológico Regional  
Anomalias Magnetométricas da Folha Diamantina  
Características Gerais  
Metodologia de Estudo  
Caracterização das Anomalias  
Área do Aeroporto de Diamantina  
Área de Pinheiros  
Área de Quartéis  
Área do Trevo de Datas  
Mapas Magnetométricos Obtidos e Discussões dos Resultados  
Mapa de Amplitude do Sinal Analítico (Asa)  
Outros Mapas e Correlações  
Resultados Quantitativos  
Modelo Tridimensional  
Conclusões  
Agradecimentos  
Referências

**RESUMO** - A região de Diamantina, Serra do Espinhaço Meridional, constitui foco de inúmeros estudos geológicos, particularmente pelos depósitos diamantíferos do Supergrupo Espinhaço, principal unidade litoestratigráfica que sustenta a serra. Uma área relativamente ainda pouco abrangida por tais estudos é a geofísica. O levantamento aeromagnetométrico realizado pelo órgão estadual CODEMIG tem permitido a aplicação de novas metodologias para o entendimento do arcabouço tectônico dessa região, cuja geologia básica está bem caracterizada. Com o intuito de complementar tais conhecimentos em subsuperfície, aplicaram-se modernos *softwares*, para que com a metodologia “Deconvolução de Euler” sobre dados magnetométricos, fossem confeccionados modelos tridimensionais representativos para anomalias selecionadas, buscando-se compreender seus significados geológicos. Perfis geofísicos de deconvolução foram gerados e comparados com dados de campo, selecionados em locais onde as anomalias (lineares ou circulares) eram mais evidentes, encontrando-se profundidades de até 1.500m para as primeiras e 1.900m para as segundas, o que demonstrou suas raízes profundas. Juntamente com os dados deconvoluídos foram gerados mapas temáticos que permitiram integração de informações, considerando-se a Formação Sopa Brumadinho como principal foco das anomalias. A magnetometria facilitou a identificação de estruturas em subsuperfície fornecendo resultados a respeito da conformação do rifte gerador da Bacia Espinhaço, definindo a “falha mestra” do rifteamento.

**Palavras-chave:** Magnetometria, Deconvolução de Euler, Região de Diamantina, Serra do Espinhaço.

**ABSTRACT** - The Diamantina region, Southern Espinhaço Range, is the focus of numerous geological studies, particularly by the diamond-deposits of the Espinhaço Supergroup, the main lithostratigraphic unit that sustains this range. An area still relatively little covered by such studies is geophysics. The aeromagnetometric survey carried out by the CODEMIG state company has allowed the application of new methodologies for the understanding of the tectonic framework of this region, whose basic geology is quite characterized. In order to complement this knowledge in subsurface, modern software was applied, so that with the “Euler Deconvolution” methodology on magnetometric data, it was possible to make representative three-dimensional models for selected anomalies, looking for understand their geologic meanings. Geophysical deconvolution profiles were generated and compared with field data, selected in places where the anomalies (linear or circular) were more evident, with depths of up to 1,500m for the former and 1,900 m for the latter, demonstrating its deep roots. Together with the deconvolution data, thematic maps were generated that allowed a better integration of information, considering the Sopa Brumadinho Formation as the main focus of the anomalies. The magnetometry facilitated the identification of subsurface structures, providing results regarding the formation of the rift generator of the Espinhaço Basin, defining the “master fault” of the rifting.

**Keywords:** Magnetometry, Euler Deconvolution, Diamantina Region, Espinhaço Range.

## INTRODUÇÃO

A região de Diamantina está localizada na Serra do Espinhaço em sua porção meridional. Nessa região, a serra é sustentada basicamente por quartzitos, filitos e metaconglomerados, que

constituem o Supergrupo Espinhaço, uma sequência depositada a partir de ~1,78 Ga (Paleoproterozoico) numa bacia inicialmente do tipo rifte. Algumas centenas de estudos geológicos já envolveram tal região desde o século XIX, motivados principalmente pelos depósitos de diamantes existentes em metaconglomerados de uma de suas unidades, a Formação Sopa Brumadinho, cuja erosão propiciou a formação de diferentes tipos de depósitos superficiais subrecentes e recentes.

Dentre as muitas áreas da geologia envolvidas nos estudos anteriormente mencionados, a geofísica foi sempre pouco utilizada, certamente pelos altos custos financeiros que representam campanhas desta natureza. No entanto, desde inícios da década de 2000 a CODEMIG (Companhia de Desenvolvimento Econômico do Estado de Minas Gerais) vem desenvolvendo um programa de estudos aerogeofísicos sistemáticos no estado inteiro, que culminaram recentemente com o seu completo recobrimento na escala 1:100.000. A existência de tal programa, além de

fomentar a indústria mineral em pesquisas abrangendo novas metodologias, propicia também a realização de estudos acadêmicos voltados para os muitos problemas de ordem geológica que ainda persistem na região do Espinhaço.

De tal maneira, o presente estudo objetiva, a partir da utilização desses novos recursos geofísicos disponibilizados a fins acadêmicos, abranger as anomalias geofísicas magnetométricas utilizando *softwares* avançados, como o OASIS MONTAJ 7.0.1, gerando-se mapas temáticos e fácies específicas para as anomalias que ocorrem na região. Além disso, através do programa EULDEP 1.0, visa-se elaborar e delimitar perfis de “Deconvolução de Euler” para confecção de modelos tridimensionais que possibilitem o estudo de estruturas e componentes geológicos em profundidade. Estudos adicionais de campo visaram ainda a checagem de locais onde as anomalias eram mais evidentes, onde os perfis geofísicos foram levantados.

## CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

Na Serra do Espinhaço em seu segmento meridional, região de Diamantina, as rochas mais antigas constituem granitos, gnaisses e migmatitos pertencentes ao Complexo Gouveia, de idade arqueana. Localmente, entre esse complexo basal e o Supergrupo Espinhaço ocorrem quartzitos e xistos, com intercalações de formações ferríferas bandadas e rochas metaultramáficas, as quais são incluídas no Grupo Costa Sena (Hoffmann, 1983; Chaves et al., 2012).

O Supergrupo Espinhaço é formado predominantemente por quartzitos e filitos, com intercalações frequentes de metaconglomerados, além de rochas metamagmáticas intrusivas na sequência, que compõe um mosaico de unidades metassedimentares atingindo cerca de 3.000-4.000 m de espessura. A estratigrafia do Supergrupo Espinhaço tem sido abrangida em numerosos trabalhos, onde em geral se reconhecem nove formações, da base para o topo: Bandeirinha, São João da Chapada, Sopa Brumadinho, Galho do Miguel, Santa Rita, Córrego dos Borges, Córrego da Bandeira, Córrego Pereira e Rio Pardo Grande (Pflug, 1968; Scholl & Fogaça, 1969; Dossin et al., 1990; Almeida-Abreu, 1993; Martins Neto, 1998, 2000).

Nesta região, dados geocronológicos em rochas

metamagmáticas indicam que a fase inicial de abertura do rifte que originou a Bacia Espinhaço se deu em torno de 1,78 Ga (Machado et al., 1989; Dussin, 1994; Chemale Jr. et al., 2011).

Estudos recentes, envolvendo a datação de zircões detríticos (U-Pb LA-ICPMS) tem mostrado a existência de um hiato deposicional entre as formações São João da Chapada e Sopa Brumadinho, na medida em que foram encontrados zircões com cerca de 1,2 Ga nesta última unidade, indicando sua idade máxima (Chemale Jr. et al., 2011, 2012; Santos et al., 2013). Tais autores reconheceram assim a existência de duas fases de rifteamento, informalmente designadas “Espinhaço I” ou “Espinhaço Inferior” e “Espinhaço II” ou “Espinhaço Superior”, envolvendo respectivamente as duas formações basais e o pacote desde a Formação Sopa Brumadinho até o topo.

Cortando toda megassequência Espinhaço ocorrem rochas metabásicas, que constituem a Suíte Intrusiva Pedro Lessa, datada em 906 Ma (U-Pb TIMS em baddeleyita e zircão; Machado et al., 1989). O Supergrupo Espinhaço é sobreposto discordantemente, em ambas as margens serranas, pelo Grupo Macaúbas, de idade neoproterozoica e depositado entre 900 e 650 Ma (Pedrosa-Soares et al., 2012,

Kuchenbecker et al., 2015). Logo após o final deste período, entre 630 e 490 Ma (Ciclo Brasileiro), deu-se o desenvolvimento da Faixa

Araçuai, ciclo este que foi o principal responsável pela deformação e metamorfismo de todas as unidades anteriormente descritas.

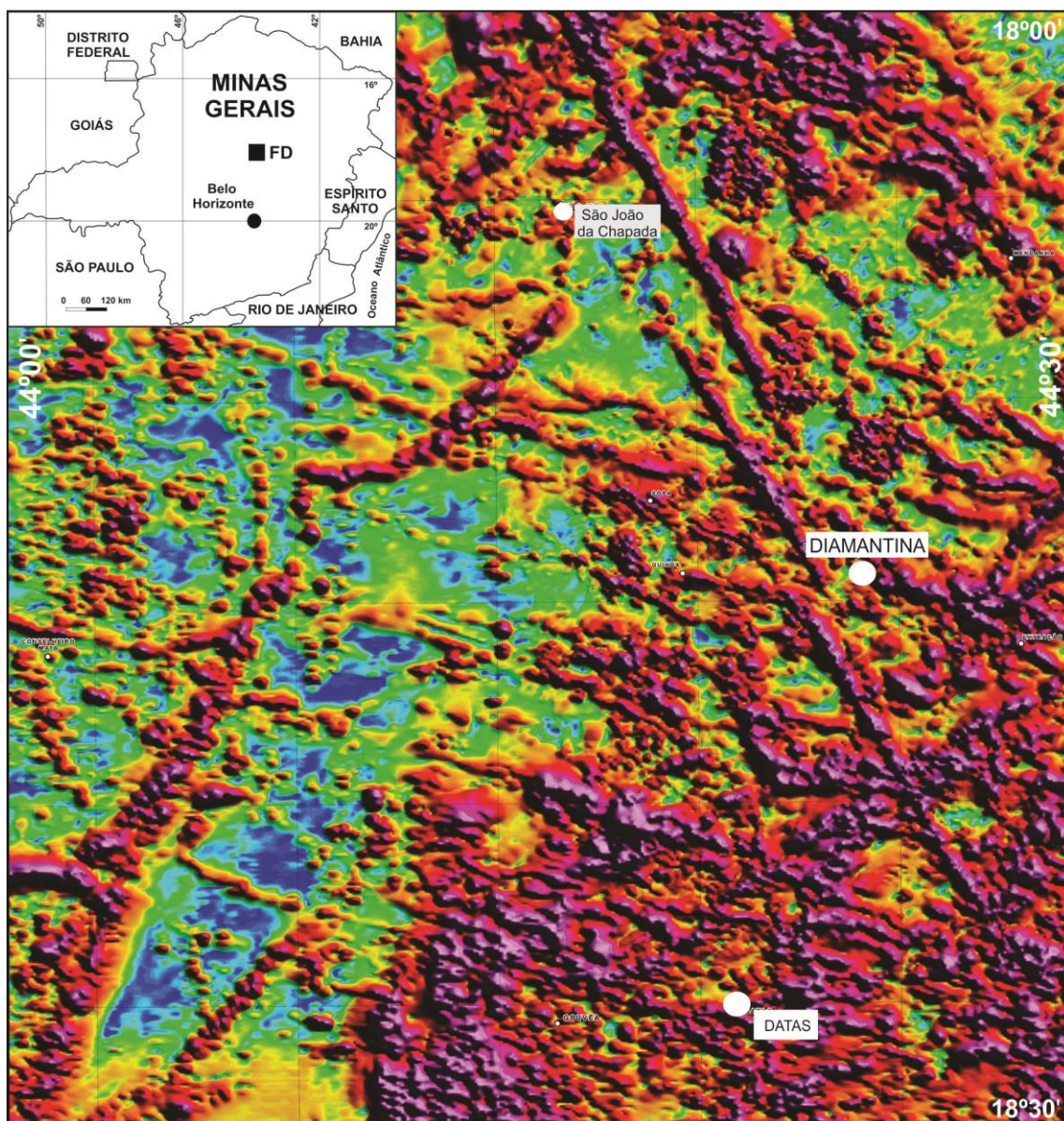
### ANOMALIAS MAGNETOMÉTRICAS DA FOLHA DIAMANTINA

O Supergrupo Espinhaço na região de Diamantina é composto por unidades litoestratigráficas de origem metassedimentar. Apesar dos litotipos presentes nessas unidades de maneira geral não terem características próprias de afinidade magnetométrica, muitas anomalias geofísicas são encontradas na área.

O mapa de Amplitude do Sinal Analítico da Folha Diamantina na escala 1:100.000, apresenta

bem as expressões anômalas presentes (Figura 1).

Tais anomalias estão relacionadas provavelmente a eventos de magmatismo sin-sedimentar ou pós-sedimentar, além de estruturais, que afetaram a bacia como um todo. Nesse mapa, são consideradas anomalias magneticamente positivas as de cores mais “quentes” próximas ao magenta, as intermediárias de cores amarelas e verdes e, as negativas as anomalias de cor azul.



**Figura 1-** Mapa magnetométrico da Folha Diamantina-FD (escala original 1:100.000), conforme integração entre as áreas 04 e 10 do Projeto Aerogeofísico do Estado de Minas Gerais (CODEMIG, 2000/2001 e CODEMIG, 2008/2009).

De tal modo, existem na área da Folha Diamantina diversos lineamentos extensos com duas tendências principais: NNW-SSE e NNE-

SSW, que podem ser consideradas como anomalias lineares. Tais feições são possivelmente anomalias relacionadas a elementos estruturais os quais são

compostos por minerais de conteúdo fortemente magnético. Em caráter secundário estão as anomalias que podem ser chamadas de pontuais, mas perfazendo um contexto massivo, bastante evidentes nas porções NE e SE do mapa. Essas

anomalias, devido à sua forma de ocorrência, podem ser resultado de contribuição magmática presente durante a evolução da Bacia Espinhaço, ou terem ocorrido de modo intrusivo posteriormente à evolução sedimentar.

## METODOLOGIA DE ESTUDO

Através da magnetometria torna-se possível fazer diversas análises em subsuperfície, à partir de interpretação da base de dados obtida por levantamentos aéreos ou terrestres. A caracterização desses dados teve como base a integração de diversos estudos, em particular Telford et al. (1990), Kearey et al. (2002), Silva et al. (2016), Reid et al. (1990) e Musset & Khan (2001).

Para identificar as principais feições estruturais da área da Folha Diamantina, a partir de suas expressões como anomalias magnéticas, a seguinte metodologia foi utilizada: (1) processamento e análise de dados, utilizando-se o banco de dados do Levantamento Aerogeofísico de Minas Gerais da CODEMIG (Figura 1); (2) os dados referentes às áreas selecionadas foram processados através do *software* OASIS MONTAJ 7.0.1 para confecção de mapas geofísicos e de interpretação das anomalias; (3) elaboração e confecção de mapas temáticos, com variação de cores conforme as anomalias, gerados

no OASIS MONTAJ para cada método; (4) integração em ambiente SIG, onde os mapas geofísicos foram exportados e trabalhados em ARCGIS, e feita a análise qualitativa que consistiu em identificar as principais anomalias e lineamentos geofísicos, sendo criada uma roseta representativa de suas direções principais. Elas ainda foram agrupadas em magnetofácies de acordo com cada método utilizado; (5) inversão através da Deconvolução de Euler, utilizando-se o *software* EULDEP 1.0 (disponibilizado pela Witwatersrand University), para se estimar as profundidades do topo das anomalias em perfis esquemáticos confeccionados no procedimento de integração. O método da krigagem foi utilizado para interpolação dos perfis e criação de um modelo tridimensional das anomalias; (6) por fim, foram realizados trabalhos de campo para levantamento de informações geológicas *in situ*, que pudessem contribuir para a correlação das anomalias geofísicas com os dados cartográficos.

## CARACTERIZAÇÃO DAS ANOMALIAS

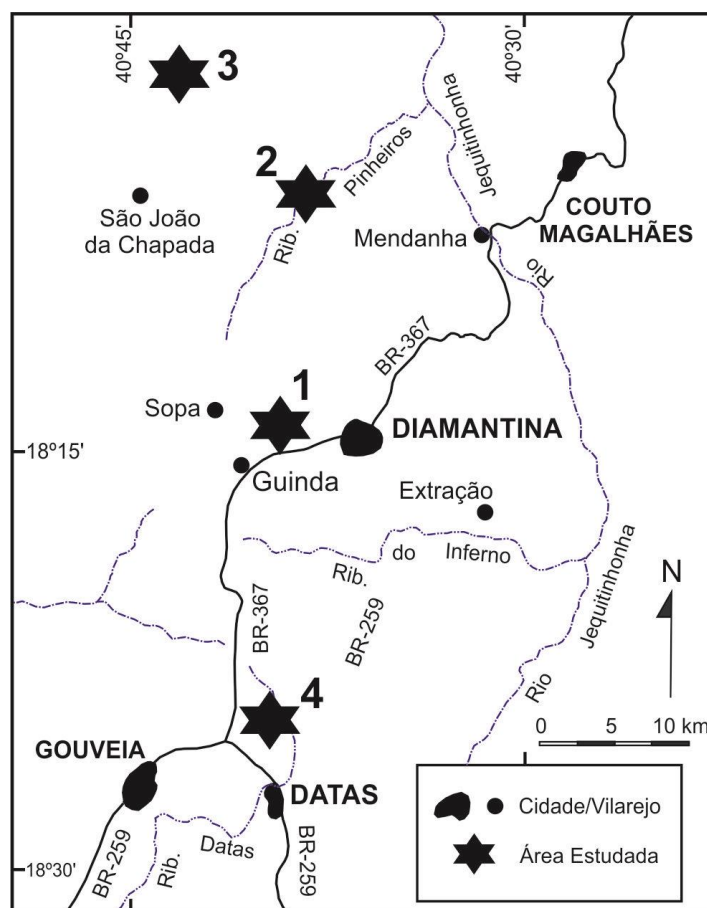
Para tal estudo, foram selecionadas quatro áreas com anomalias magnetométricas características, cujos locais de ocorrência pudessem ser acessados com maior facilidade, ou seja, com estradas mesmo que encascalhadas nas proximidades. Assim, depois das pré-análises das anomalias nos mapas geofísicos de Amplitude do Sinal Analítico (ASA) e de Segunda Derivada Vertical nos *softwares* utilizados, trabalhos de campo de reconhecimento geológico foram realizados com o intuito de identificar e descrever brevemente os principais aspectos da geologia local. O primeiro mapa (ASA) é utilizado devido ao seu caráter monopolar, que evita possíveis erros de interpretação. Já o mapa de Segunda Derivada Vertical, fornece respostas geofísicas de fontes magnetométricas próximas à superfície ou até aflorantes, e foi utilizado para auxiliar posteriormente os trabalhos de campo.

### Área do Aeroporto de Diamantina

Nesta área, localizada logo a oeste da cidade Diamantina (Figura 2), pode-se acessar um dos principais elementos geofísicos presentes em toda folha homônima: uma longa anomalia

magnetométrica linear, às vezes rompida bruscamente, presente desde seu extremo norte até o extremo sul da superfície da folha, direcionada segundo NNW-SSE (Figura 1).

Neste setor do lineamento foram encontrados dois litotipos principais, ambos considerados como pertencentes à Formação Sopa Brumadinho conforme o “Projeto Espinhaço” (Fogaça, 1997): (a) filitos sericíticos com níveis grafitosos intercalados, bastante alterados, apresentando raros afloramentos e extensas áreas com solo argiloso característico. Essa subunidade foi considerada como basal da mencionada formação, ou seja, relacionada ao Membro Datas no sentido de Almeida-Abreu (1993); (b) quartzitos finos a médios com níveis centimétricos ricos em sericita e abundantes veios de quartzo discordantes, apresentando *trend* geral NW-SE. Essa subunidade sustenta as serras por toda a área abrangida e está nitidamente sobreposta aos filitos. Ela também foi considerada como parte da mesma formação, porém, nesse caso, pertencente ao seu membro intermediário Caldeirões.



**Figura 2-** Localização das quatro áreas levantadas geofísica e geologicamente na região de Diamantina (MG). 1 – Aeroporto de Diamantina; 2 – Pinheiros; 3 – Quartéis; 4 – Trevo de Datas.

### Área de Pinheiros

Na região de Pinheiros, localizada ao noroeste de Diamantina e leste do vilarejo de São João da Chapada (Figura 2), existe uma anomalia circular bastante interessante e que provavelmente tem feições que corresponderiam a um corpo intrusivo (Figura 1), o qual foi objeto de checagem *in situ*. Com auxílio dos mapas geofísicos, foram selecionados possíveis locais onde as fontes das anomalias estariam mais próximas da superfície. A geologia desta área é complexa, marcada por três subunidades litológicas: (a) filito hematítico – aflorante na estrada de acesso e na localidade de Pinheiros, constitui uma rocha magmática típica da região de Diamantina. Sua mineralogia macroscópica básica é composta de sericita e óxidos de ferro. O corpo apresenta-se na provável forma de *sill* sustentando uma larga chapada desde Biribiri até Pinheiros; tal rocha possui coloração cinza escura e brilho submetálico característico; (b) quartzito sericítico – a sequência aflorante é pertencente à Formação Sopa Brumadinho, conforme Fogaça (1997). Tal rocha tem granulação média a grossa, localmente com porções ricas em sericita, sendo bem selecionada

e com feições sedimentares primárias, como acamamento e estratificações cruzadas acanaladas; (c) rochas metabásicas – constituem a unidade mais peculiar da área, e que provavelmente fornece os melhores resultados para interpretações geofísicas, relacionando-se à Suíte Intrusiva Pedro Lessa (Fogaça, 1997). Afloram principalmente ao longo do vale do Rio Pinheiros, intercalando-se aos quartzitos descritos anteriormente. Entretanto, a maior parte de expressão desta subunidade é dominada por um solo vermelho característico, que na área parecem compor inúmeros *sills* intrusivos na Formação Sopa Brumadinho.

### Área de Quartéis

Essa área, também situada a noroeste de Diamantina, e a leste de São João da Chapada (Figura 2), foi escolhida para investigação de feições geofísicas aparentemente semelhantes (lineares e “massivas”) às observadas nas duas áreas anteriores. No reconhecimento notou-se a presença dominante de rochas metabásicas também nessa área, porém extremamente alteradas e transformadas em solo argiloso, de coloração avermelhada. Na área de demarcação de vários pontos de campo, foi definido como

alvo uma grande ocorrência do solo deste tipo, rico em cupinzeiros, que auxiliariam na identificação do litotipo dominante e que representava as anomalias ditas “massivas”. No local do mapa onde se encontra a anomalia magnetométrica linear de maior interesse, junto a outras anomalias positivas secundárias, também ocorrem tais metabasitos relacionados à Suíte Pedro Lessa que confirmam os dados do mapa geológico de Fogaça (1997).

#### **Área do Trevo de Datas**

O acesso à cidade de Datas é feito pela BR-259 que inicia em Curvelo, ao sul, e passa pela cidade de Gouveia (Figura 2) seguindo em direção a Serro. O “trevo de Datas” define o entroncamento entre as BR-367 com a outra citada. Reconhecimento geológico dessa região foi feito a partir de Datas, retornando em direção à Diamantina, onde foi possível observar a princípio a presença de quartzitos do Supergrupo Espinhaço e, também, muitas plantações sobre solo bastante vermelho. Tal área foi escolhida devido à presença de anomalias magnetométricas na porção sudoeste dos mapas temáticos gerados. Nos pontos levantados foram encontrados vestígios de rochas metabásicas, evidenciados pela

ocorrência de materiais ferruginosos superficiais, seja pelo solo muito vermelho nas regiões de plantio, como também nas carapaças lateríticas que ocorrem em parte da área, principalmente nas imediações da estrada de terra que retorna a BR-367 em direção à Diamantina.

O solo dessa área apresenta conteúdo de óxidos de ferro bastante peculiar, sendo que um litotipo em particular se destaca dos demais descritos durante os trabalhos de campo. Este litotipo trata-se de um metaconglomerado clasto suportado, de matriz extremamente ferruginosa composta basicamente de quartzo e óxidos de ferro, com seixos de quartzo e quartzito. Essa rocha foi encontrada aflorante fresca como também em afloramentos bastante alterados, capeados por um solo avermelhado rico em material silicoso; ela foi relacionada à Formação Sopa Brumadinho (Membro Caldeirões), e evidencia a presença de material ferruginoso não só nos sedimentos atuais como também originalmente na Bacia Espinhaço à época de sua deposição. As anomalias verificadas nos mapas, assim, marcam uma mistura entre a subunidade metaconglomerática e as rochas metabásicas da Suíte Pedro Lessa.

### **MAPAS MAGNETOMÉTRICOS OBTIDOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

O procedimento básico realizado nesse trabalho passa pela geração de *grids* e mapas a partir da extensão \*.gdb (banco de dados) do mapa de Campo Magnético Anômalo, utilizando-se o *software* OASIS MONTAJ. Para que os mapas fossem gerados foi realizada a rotina designada MAGMAP, onde os dados são interpolados pelo método de mínima curvatura, estabelecendo-se o tamanho das células de interpolação de 300 m, e constituindo arquivos de extensão \*.grd. Na magnetometria é essencial a aplicação de filtros, tendo como base os *grids* de Campo Anômalo e Amplitude do Sinal Analítico (ASA), sendo gerados diversos mapas temáticos: Campo Total, Campo Anômalo, ASA, Primeira Derivada Horizontal X e Y (DX e DY), e de Primeira e Segunda Derivada Vertical (DZ e DZ2) (Figura 3).

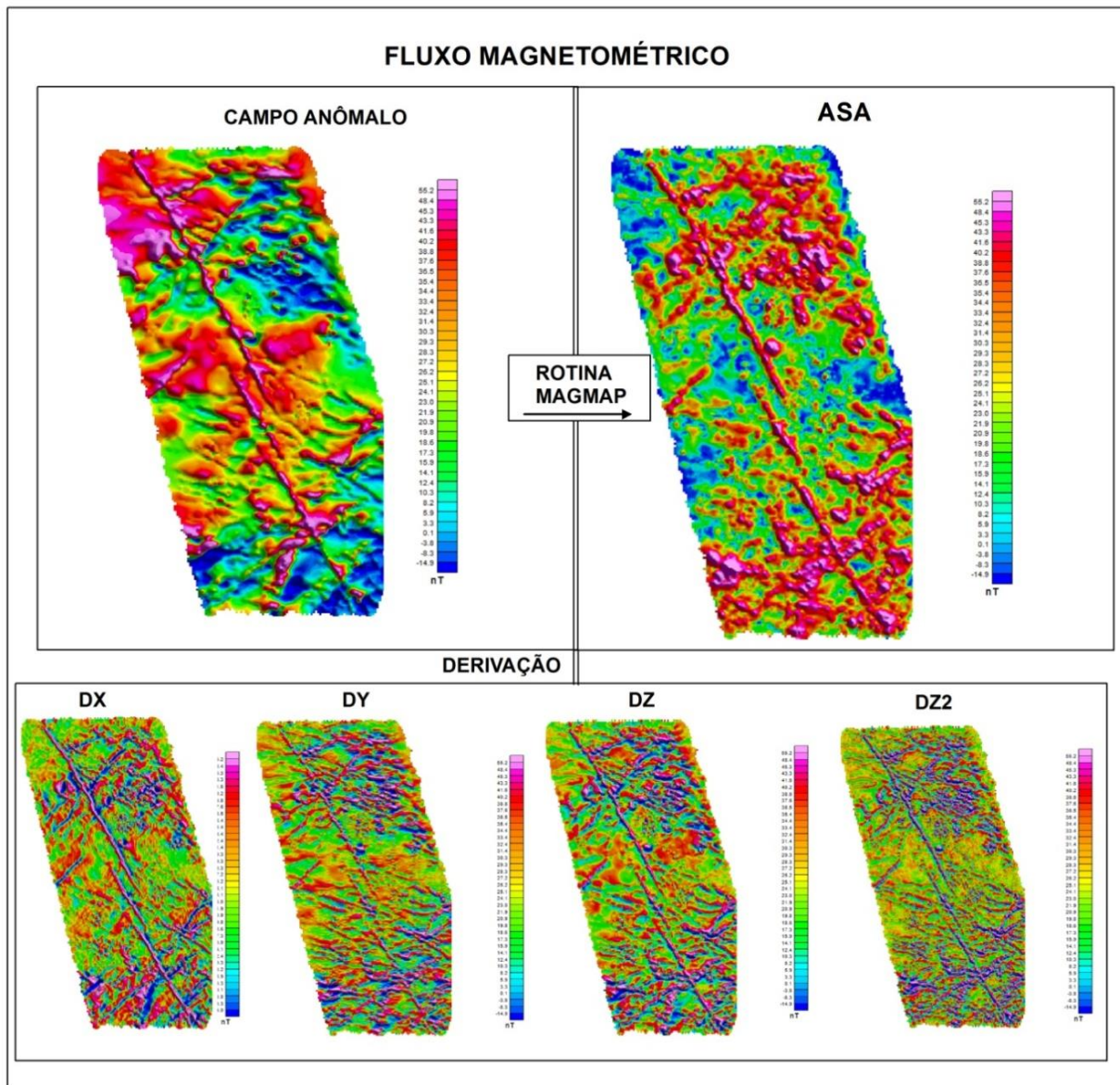
#### **Mapa de Amplitude do Sinal Analítico**

As principais variáveis geofísicas magnetométricas são a amplitude e o comprimento de onda das anomalias e apresentam como base o mapa de Amplitude do Sinal Analítico (ASA), uma vez que nesse tipo de mapa as anomalias têm caráter monopolar, que

evita possíveis erros de interpretação como poderia ocorrer em mapas como o de Campo Anômalo Total. Dessa forma, tal mapa é prioritariamente utilizado na identificação de lineamentos geofísicos e correlações com a geologia. No intuito de facilitar o entendimento de estruturas geofísicas semelhantes, o conceito de “magnetofácies” foi proposto por Madeira & Barbosa (2011) para caracterização das mesmas (Tabela 1). A delimitação das magnetofácies foi realizada juntamente com o reconhecimento dos lineamentos geofísicos identificados nos mapas de ASA e outros de magnetometria. Apresenta-se assim a distribuição das magnetofácies estipuladas e distribuídas nesse mapa, bem como os lineamentos principais e suas direções preferenciais (Figura 4).

Conforme mostrado, foram traçados 157 lineamentos ao todo, sendo possível observar pela roseta resultante as tendências dos mesmos. Como é bem nítido nesse mapa, existe um grande lineamento principal de direção NW-SE, tendendo para NNW-SSE (N32°W), que representa a mais importante anomalia linear estudada no trabalho. Alguns outros diversos

lineamentos também foram identificados, provavelmente deslocados a partir daquele principal, o que lhes conferiu uma tendência geral perpendicular, em torno de NE-SW.



**Figura 3-** Fluxograma apresentando os mapas magnetométricos gerados a partir dos mapas de Campo Anômalo e de Amplitude do Sinal Analítico (ASA) pela rotina MAGMAP do *software* OASIS MONTAJ. Dx - Primeira Derivada Horizontal (E-W); Dy - Primeira Derivada Horizontal (N-S); Dz - Primeira Derivada Vertical; Dz2 - Segunda Derivada Vertical.

**Tabela 1-** Magnetofácies identificadas e descritas no estudo, a partir da intensidade de resposta magnetométrica em mapas temáticos com escalas de cores.

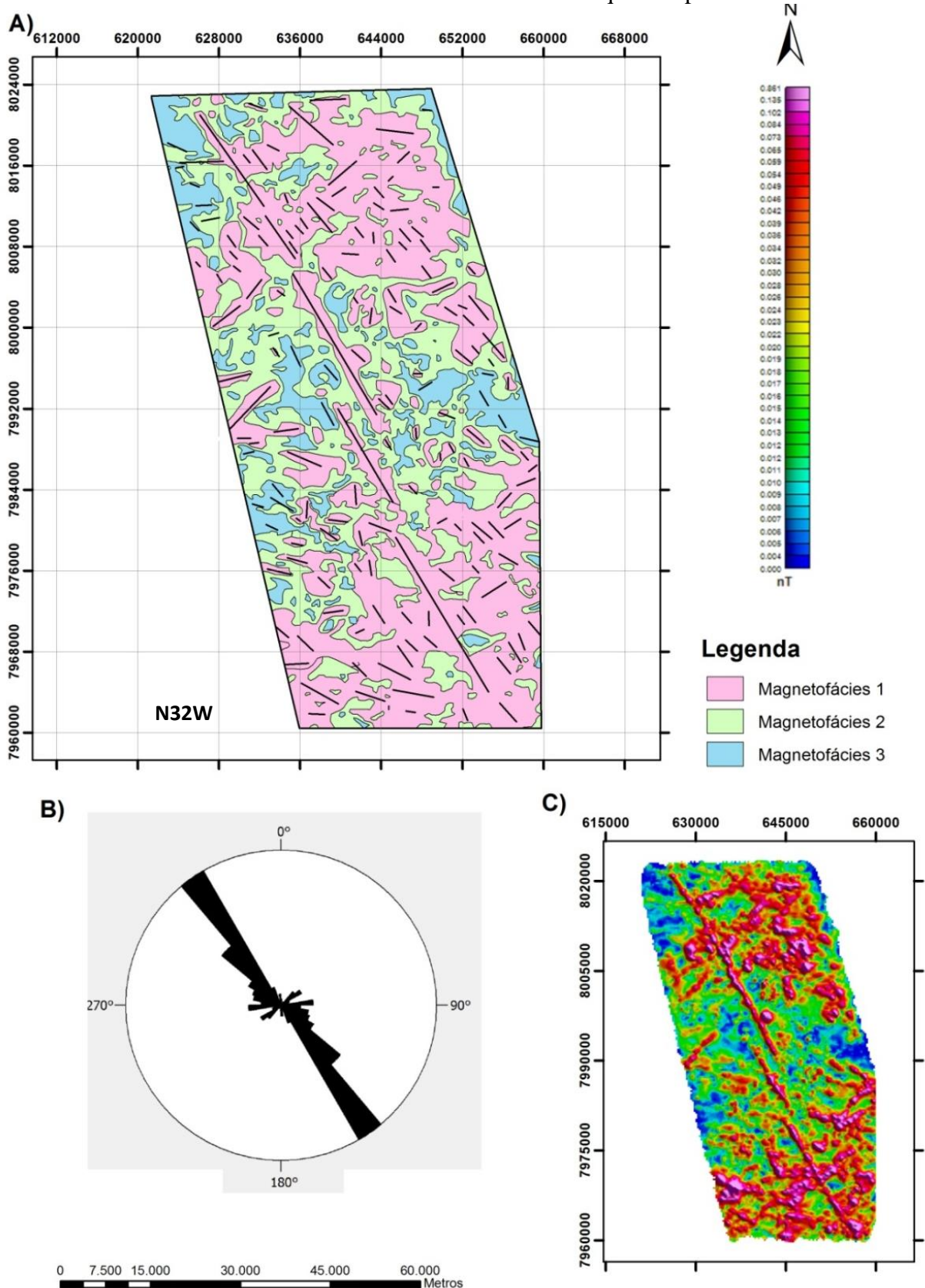
MAGNETOFÁCIES	DESCRIÇÃO
MAGNETOFÁCIES 1	Estruturas com forte resposta magnetométrica, com anomalias de altas amplitudes e baixos comprimentos de onda, com valores superiores a 0,04 nT/m (áreas que possuem grande quantidade de rochas com alta susceptibilidade magnética).
MAGNETOFÁCIES 2	São associadas com estruturas de resposta magnética intermediária, com valores entre 0,04 nT/m e 0,015 nT/m.
MAGNETOFÁCIES 3	Estruturas com respostas magnetométricas negativas, sendo de baixas amplitudes e altos comprimentos de onda, com valores inferiores a 0,015 nT/m (áreas de rochas com menor quantidade de material magnético).

### Outros Mapas e Correlações

Como resultado das interpretações, sugere-se que o lineamento principal NW-SE constitui em profundidade uma grande falha normal reativada. Possivelmente tal falha originalmente foi a

precursora que deu origem a abertura da Bacia Espinhaço. Os demais lineamentos estão relacionados com feições estruturais de reativações menores dessa falha principal, sejam falhas ou eixos de dobras. Os lineamentos

mostram-se em duas tendências principais, (grábens e *horsts*) ocasionadas pelo processo de caracterizando estruturas de blocos falhados rifteamento que compartimentou a bacia.



**Figura 4** - A) Mapa de magnetofácies, que são delimitadas sobre o mapa de ASA com os lineamentos geofísicos identificados. B) Roseta dos lineamentos, apresentando direções preferenciais, destacando a mais importante direção em N32°W. C) Mapa temático ASA original.

Os fraturamentos e outros espaços abertos por preenchimentos com rochas de alta susceptibilidade estruturais foram propícios para seus fatores bilidade magnética, sejam elas relacionadas a



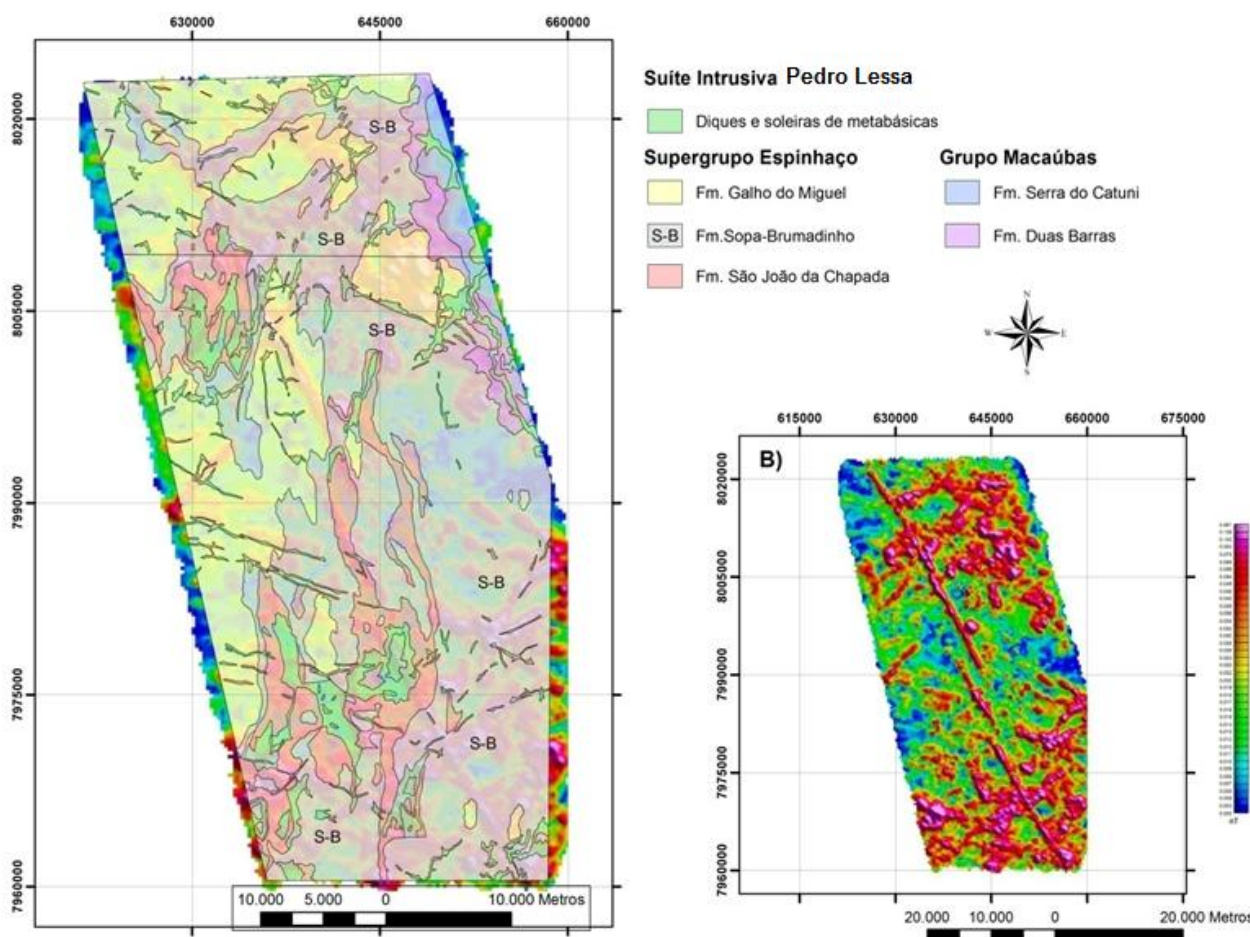
eventos de magmatismo na própria bacia ou então a intrusões posteriores.

Com relação às unidades litológicas identificadas em campo, foi possível estabelecer também algumas correlações entre geologia e geofísica (Figura 5), interpretando-se as principais sequências responsáveis pelas anomalias positivas a Formação Sopa Brumadinho e as rochas metabásicas da Suíte Intrusiva Pedro Lessa.

A Formação Sopa Brumadinho foi associada às grandes zonas positivamente anômalas no mapa de Amplitude do Sinal Analítico, em suas porções sul e nordeste, fato esse atestado em campo na região de Datas quando foram encontrados metaconglomerados extremamente ferruginosos, e também na região de Pinheiros,

onde haviam extensos afloramentos de filito hematítico intercalados àquela formação.

A Formação Sopa Brumadinho apresenta intervalos tectono-deposicionais típicos, sendo relacionada à fase principal do rifte (Martins Neto, 1998, 2000), de modo que as anomalias devem estar associadas ao processo de desenvolvimento da bacia, quando ocorria deposição dessa unidade junto com intensa atividade magmática (Figura 6). De tal maneira, essa unidade aparece localmente com sua fácies lacustre em associação ao lineamento principal e também em outras fácies, com contribuições de conteúdo ferruginoso e de alta susceptibilidade magnética (matriz de metaconglomerados e filitos hematíticos), conteúdo que é provavelmente oriundo do magmatismo sin-sedimentar.



**Figura 5-** A) Mapa geológico das folhas Diamantina e Curimataí (Fogaça, 1997) sobrepostos ao mapa de ASA. B) Mapa de ASA original para comparações.

A Suíte Intrusiva Pedro Lessa, caracterizada por constituir um magmatismo básico posterior à evolução da Bacia Espinhaço, também é identificada como responsável por preencher as estruturas fraturadas e causar algumas anomalias pontuais (Figura 6).

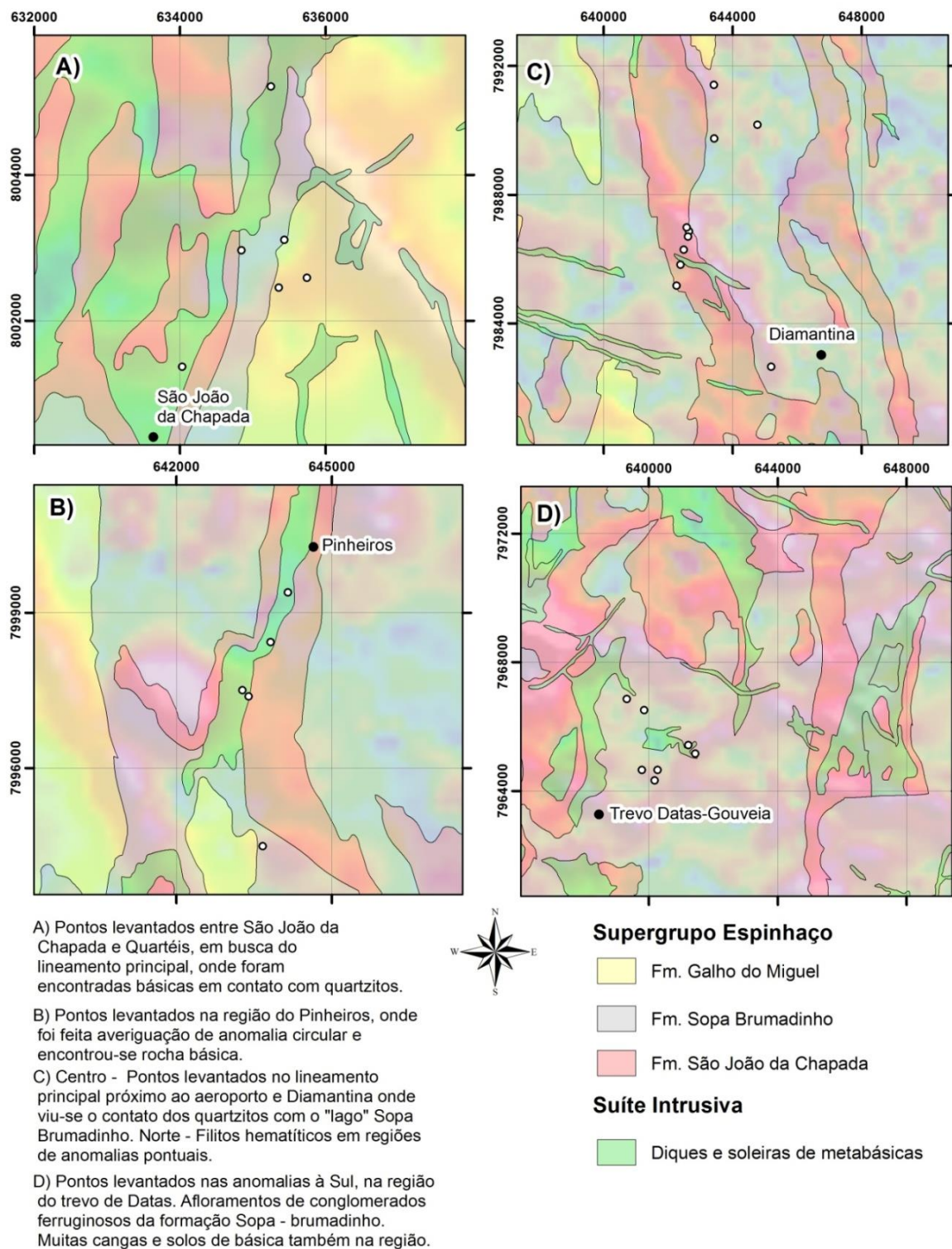
Existem diversas ocorrências de corpos

intrusivos, vários deles confirmados em campo. Durante o trabalho, foram mapeados locais onde era sabido da existência de anomalias magnetométricas, cujo resultado relaciona os pontos levantados com o mapa geológico do Projeto Espinhaço (Fogaça, 1997) e o mapa de Amplitude do Sinal Analítico.

## Resultados Quantitativos

Nos procedimentos de Deconvolução de Euler foram realizados 25 perfis equidistantes entre si de 2500 m, traçados sobre o mapa de ASA. Tais perfis, de direção SW-NE, foram obtidos perpendicularmente à anomalia linear principal (NW-SE), abrangendo ainda anomalias massivas posicionadas às margens da primeira. Para a inversão dos dados nos perfis, utilizaram-se os

seguintes parâmetros (Figura 7): índice estrutural igual a 1.0, tamanho da janela igual a 9, e profundidade máxima variando entre 1800 m e 2500 m, visando uma otimização dos resultados (em cima à direita). Nessa imagem, é possível observar (Perfil 9) que a anomalia linear possui baixa amplitude, porém apresenta grande profundidade, uma das mais profundas entre os perfis gerados.



**Figura 6** - Mapa esquemático das quatro localidades com anomalias visitadas em campo com os pontos levantados e as unidades geológicas sobrepostas ao mapa de ASA (geologia conforme Fogaça, 1997).

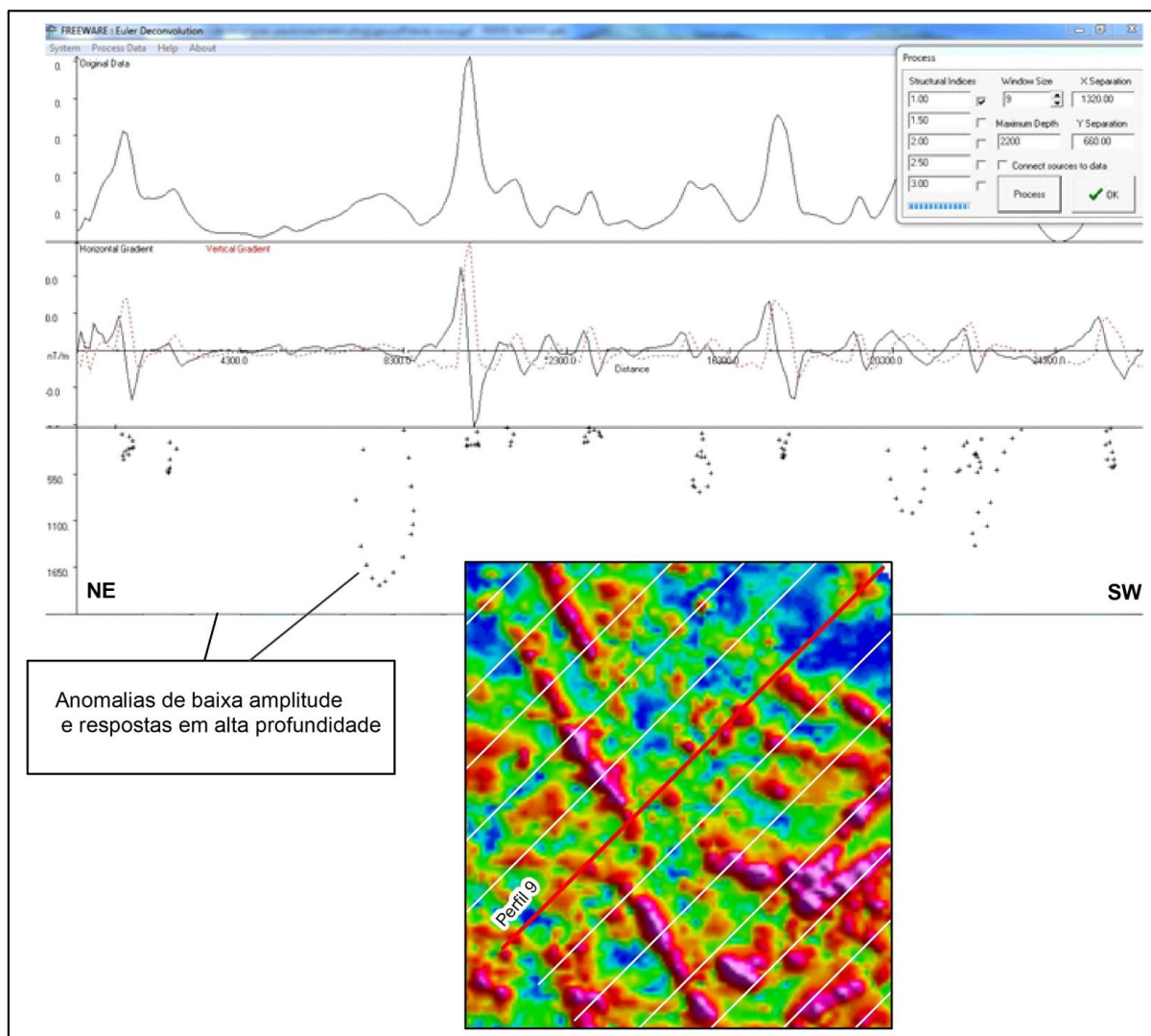
No entanto, a maioria das outras anomalias deconvoluídas não apresentou grande profundidade, fato que pode estar relacionado com estruturas situadas mais próximas da superfície, como pequenas falhas, dobras ou contatos litológicos. A anomalia linear principal se apresentou como uma feição de profundidade razoável, atingindo até 1500 m, entretanto com características que podem também indicar a presença de zona de cisalhamento preenchida por material com conteúdo magnético fornecedores de respostas positivas sob a análise magnetométrica.

As anomalias massivas, mais profundas observadas (acima de 1900 m) provavelmente

estão relacionadas com rochas reconhecidamente intrusivas, sejam elas filitos hematíticos intercalados à Formação Sopa Brumadinho ou a metabasitos da Suíte Pedro Lessa.

Foram ainda selecionados alguns perfis que apresentaram estruturas interessantes mostradas pelas interpretações das deconvoluções (Figura 8).

O primeiro desses perfis (Perfil 14) representa em destaque uma anomalia circular anexa à anomalia linear, comum para corpos intrusivos do tipo *pipe*. No entanto, tal perfil mostrou uma anomalia de altíssima amplitude e pequena profundidade, com o trabalho de campo demonstrando tratar-se de rochas metabásicas da Suíte Pedro Lessa.



**Figura 7** - Exemplo típico de perfil de Deconvolução de Euler (Perfil 9, em vermelho) sobre a anomalia linear principal evidenciada no mapa de ASA. Imagem representativa dos parâmetros utilizados (na parte superior à direita) e das diversas feições deconvoluídas.

Outro perfil de deconvolução (Perfil 17) é destacado por mostrar diversas anomalias em profundidade, ressaltando uma estrutura que pode representar um contato entre diferentes tipos litológicos.

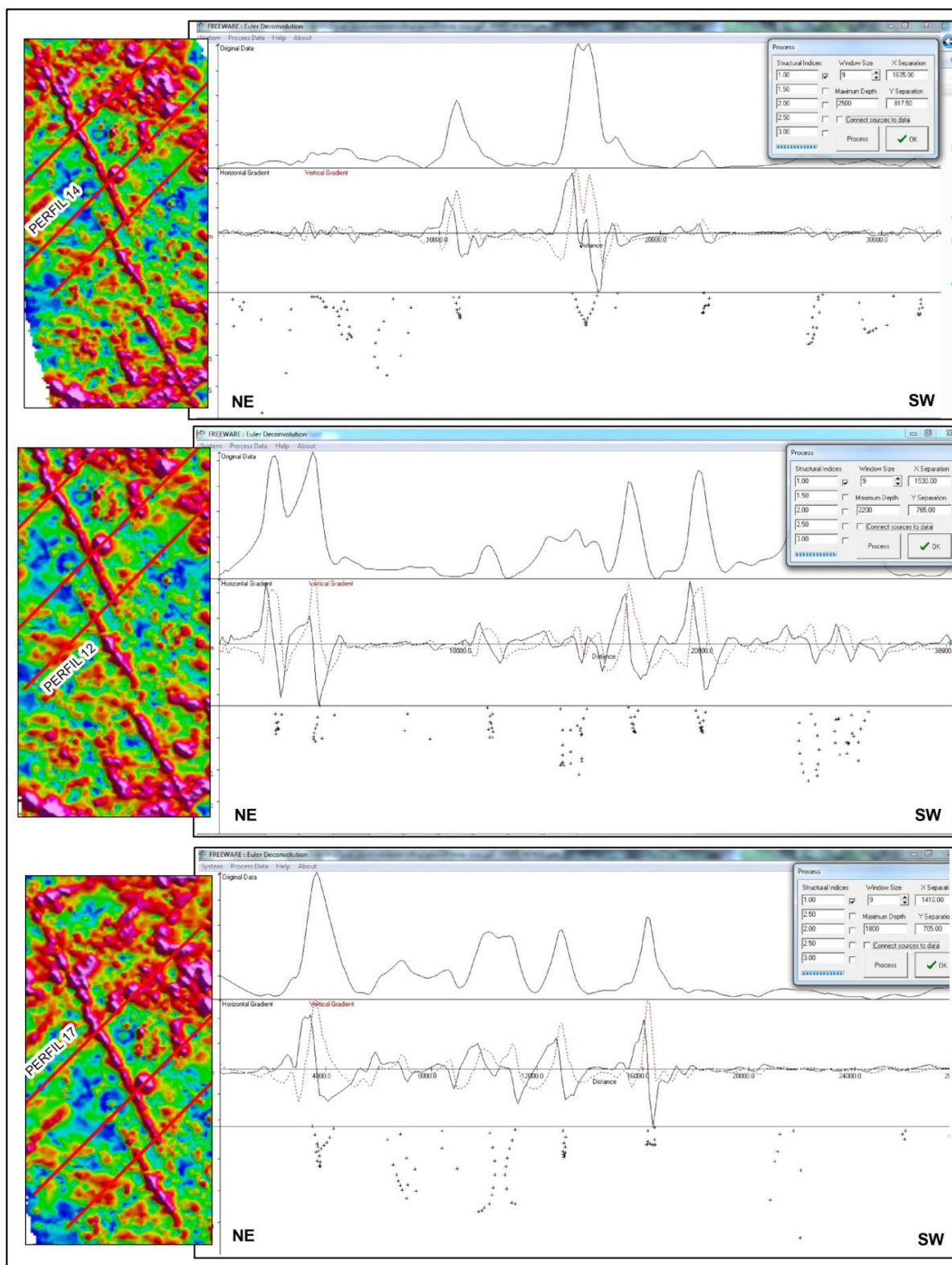
O terceiro perfil (Perfil 12) é destacado pela presença da anomalia linear principal do mapa, que nesse caso encontra-se um pouco deslocada para SW, e que as feições em profundidade comprovam ser falhas ou fraturas preenchidas.

## Modelo Tridimensional

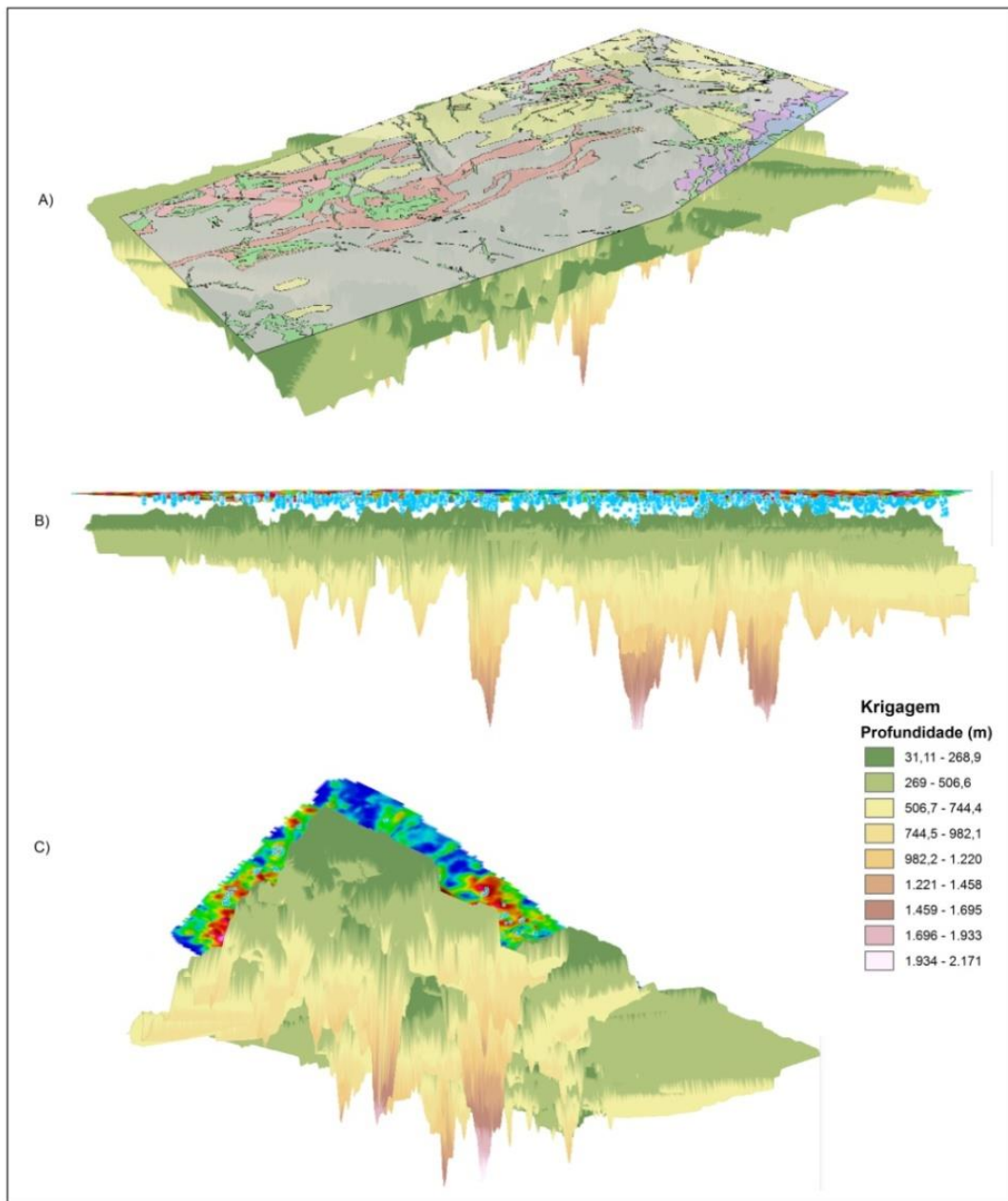
Após os perfis serem deconvoluídos, foi feita a interpolação dos resultados obtidos através do método da krigagem, no *software* Arcscene 10.2.2, a qual gerou um modelo em 3D que permitiu a visualização dos lineamentos e anomalias em profundidade. Este procedimento permitiu correlacionar e diferenciar tais

anomalias das que foram observadas em 2D e também das diferentes unidades geológicas (Figura 9).

A partir da análise do modelo 3D, pode ser confirmado que somente poucas anomalias atingem maiores profundidades (acima de 1500 m), sendo essas associadas à ondas de baixa frequência.



**Figura 8** - Perfis selecionados de Deconvolução de Euler (14 – 12 - 17), representando as principais estruturas em profundidade.



**Figura 9** - Modelos tridimensionais gerados a partir de interpolação por krigagem dos produtos da Deconvolução de Euler. A) Mapa geológico (conforme Fogaça, 1997) sobreposto ao modelo 3D. B) Vista em perfil com os pontos de deconvolução. C) Representação do modelo em profundidade.

Quanto às demais feições observadas, percebe-se a grande quantidade de anomalias em profundidades médias em torno de 1000 m, que representam as de mais alta frequência.

Tal resultado mostra que as respostas magnetométricas na região são predominantemente ligadas a estruturas mais antigas e que já foram soerguidas, reativadas e que hoje não se encontram mais em regiões tão profundas

da crosta. Isso reforça a ideia de que a área estudada possa ser um “retrato” indicando a Bacia Espinhaço na região de Diamantina em sua fase de rifteamento, mostrando a falha mestra principal representada pela anomalia linear NW-SE, com demais falhas e blocos compartimentados adjacentes que foram preenchidos por material magmático contribuinte da bacia e ainda magmatismo pós-tectônico.

### CONCLUSÕES

Pela análise dos diversos mapas temáticos permitiu-se determinar lineamentos e magnetofácies locais, dados por anomalias magnéticas que mostraram as principais feições

estruturais e unidades geológicas da área. Tais anomalias foram associadas com uma das unidades basais do Supergrupo Espinhaço na região de Diamantina, a Formação Sopa

Brumadinho, e diretamente relacionadas com a abertura do rifte e preenchimento inicial da bacia por sedimentos e rochas magmáticas. A anomalia linear (NW-SE) de maior destaque foi supostamente correlacionada à falha mestra onde se deu o rifteamento original, e as demais foram consideradas falhas adjacentes que compartimentaram a bacia durante seu desenvolvimento.

Os dados magnetométricos em subsuperfície analisados através das inversões, mostraram diversas estruturas coincidentes com as interpretações estruturais realizadas nas análises dos mapas, sendo possível identificar corpos presentes em maiores profundidades. Com a interpolação dos perfis magnetométricos, foi também possível elaborar um modelo tridimensional que representou de maneira geral as profundidades das anomalias geofísicas da área, exibindo um padrão de profundidade característico de regiões afetadas por eventos de magmatismo. Estruturas em grande profundidade também foram identificadas e correlacionadas

com a Suíte Intrusiva Pedro Lessa.

Na busca por identificar em superfície a representação das anomalias vistas em mapa, foram obtidas informações importantes como a presença de contatos, intrusões e unidades sedimentares de ambientes deposicionais e tectônicos que reafirmaram a ideia de estar em foco o processo de abertura do Rifte Espinhaço, identificando-se suas estruturas principais. A correlação entre geologia e geofísica, objetivo principal do estudo, propiciou o entendimento das anomalias da região de Diamantina e seus significados. A região como um todo representa uma bacia do tipo rifte que foi compartimentada em grábens e *horsts*. Tais estruturas de falha permitiram intenso magmatismo ocorrente em grande parte nas formações basais do Supergrupo Espinhaço. As estruturas posteriormente foram reativadas por outros processos tectônicos e, novamente abriram espaços para intrusões ígneas metabásicas que prevaleceram como as melhores respostas ao método magnetométrico.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Geologia do IGC-UFMG, onde o estudo foi conduzido. O orientador do trabalho, Prof. M.L.S. Chaves, agradece também ao CNPq pela concessão de Bolsa de Produtividade em Pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA-ABREU, P.A. **A evolução geodinâmica da Serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais**. Freiburg, 1993, 150 p. Tese (Doutorado), Freiburg Universität.
- CHAVES, M.L.S.C.; SILVA, M.C.R.; CHAVES, A.O.; DUSSIN, T.M. Formações ferríferas bandadas no Grupo Costa Sena (Gouveia- Minas Gerais, Brasil). In: LOPES, F.C.; ANDRADE, A.I.; HENRIQUE, M.H.; BARATA, M.T.; REIS, R.P. (Coords), **Para Conhecer a Terra – Memórias e Notícias de Geociências no Espaço Lusófono**, Coimbra: Universidade de Coimbra, v. 1, p. 251-260, 2012.
- CHEMALE JR., F.; DUSSIN, I.A.; ALKMIM, F.F.; MARTINS, M.S.; QUEIROGA, G.; ARMSTRONG, R.; SANTOS, M.N. Unravelling a Proterozoic basin history through detrital zircon geochronology: the case of the Espinhaço Supergroup, Minas Gerais, Brazil. **Gondwana Research**, v. 22, p. 200-226, 2012.
- CHEMALE JR., F.; DUSSIN, I.A.; MARTINS, M.S.; SANTOS, M.N. Nova abordagem tectono-estratigráfica do Supergrupo Espinhaço em sua porção meridional. **Geonomos**, v. 19, p. 173-179, 2011.
- CODMIG – COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS GERAIS. **Levantamento Aerogeofísico de Minas Gerais, Área 04, Faixa Datas – São João da Chapada. Magnetometria – Mapa de Sinal Analítico**. Belo Horizonte, 2000/2001, em DVD.
- CODMIG – COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS GERAIS. **Levantamento Aerogeofísico de Minas Gerais, Área 10, Faixa Belo Horizonte – Curvelo – Três Marias. Magnetometria – Mapa de Sinal Analítico**. Belo Horizonte, 2008/2009, em DVD.
- DOSSIN, I.A.; DOSSIN, T.M.; CHAVES, M.L.S.C. Compartimentação estratigráfica do Supergrupo Espinhaço em Minas Gerais: os grupos Diamantina e Conselheiro Mata. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 20, p. 178-186, 1990.
- DUSSIN, T.M. **Associations plutono-volcaniques de l’Espinhaço Méridional: un exemple d’évolution de la crête protérozoïque**. Orléans, 1994, 177 p. Thèse (Doctorat), Université d’Orléans.
- FOGAÇA, A.C.C. **Folha Diamantina**. Belo Horizonte: Projeto Espinhaço, Convênio COMIG/IGC-UFMG, 1 mapa, 1997.
- HOFFMANN, C. The Costa Sena Group – an Early Proterozoic supracrustal succession and the evolution off the Southern Serra do Espinhaço, Minas Gerais, Brazil. **Zbl. Geol. Paläont. Teil I**, v. 3-4, p. 446-458, 1983.
- KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. **An Introduction to Geophysical Exploration**. London: Wiley-Blackwell Ed., 272 p., 2002.
- KUCHENBECKER, M.; PEDROSA-SOARES, A.C.; BABINSKI, M.; FANNING, M. Detrital zircon age patterns and provenance assessment for pre-glacial to post-glacial successions of the Neoproterozoic Macaúbas Group, Araçuaí orogen, Brazil. **Precambrian Research**, v. 266, p. 12–26, 2015.
- MACHADO, N.; ABREU F.R.; KNAUER, L.G.; ALMEIDA-ABREU, P.A. Resultados preliminares da geocronologia U/Pb na Serra do Espinhaço Meridional. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 5, 1989, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia, 1989, p. 171-174.
- MADEIRA, T.J.A. & BARBOSA, M.S.C. **Análise qualitativa e quantitativa geológica/geofísica para prospecção de ouro no nordeste do Quadrilátero Ferrífero**. Ouro Preto, Universidade Federal de Ouro Preto, Departamento de Geologia, 101 p., 2011.
- MARTINS NETO, M.A. O Supergrupo Espinhaço em Minas Gerais: registro de uma bacia rift-sag do Paleó/Mesoproterozóico. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 28, p. 151-168, 1998.

- MARTINS NETO, M.A. Tectonics and sedimentation in a paleo/mesoproterozoic rift-sag basin (Espinhaço basin, southeastern Brazil). **Precambrian Research**, v. 103, p. 147-173, 2000.
- MUSSET, A.E. & KHAN, M.A. **Looking into the earth: an introduction to geological geophysics**. Cambridge: Cambridge University Press, 470 p., 2001.
- PEDROSA-SOARES, A.C.; BABINSKI, M.; NOCE, C.; MARTINS, M.; QUEIROGA, G.; VILELA, F. The Neoproterozoic Macaúbas Group, Araçuaí orogen, SE Brazil. **Geological Society, London, Memoirs**, v. 36, p. 523-534, 2012.
- PFLUG, R. Observações sobre a estratigrafia da Série Minas na região de Diamantina. **Notas Preliminares e Estudos DGM/DNPM**, v. 142, p. 1-20, 1968.
- REID, A.B.; ALLSOP, J.M.; GRANSER, H.; MILLET, A.J.; SOMERTON, I.W. Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution. **Geophysics**, v. 55, p. 180-191, 1990.
- SANTOS, M.N.; CHEMALE JR., F.; DUSSIN, I.A.; MARTINS, M.; ASSIS, T.A.R.; JELINEK, A.R.; GUADAGNIN, F.; ARMSTRONG, R. Sedimentological and paleoenvironmental constraints of the Statherian and Stenian Espinhaço rift system, Brazil. **Sedimentary Geology**, v. 290, p. 47-59, 2013.
- SCHÖLL, W.U. & FOGAÇA, A.C.C. Estratigrafia da Serra do Espinhaço na região de Diamantina. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 1, 1979, Diamantina. **Atas...** Diamantina: Sociedade Brasileira de Geologia, 1979, p. 55-73.
- SILVA, G.M.; ENDO, I.; BARBOSA, M.S.C. Magnetic analysis of Abaeté diamondiferous district (Minas Gerais, Brazil) and its possible primary sources. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 34, p. 523-531, 2016.
- TELFORD, W.M.; GELDART, L.P.; SHERIFF, R.E.; KEYS, D.A. **Applied Geophysics**. Cambridge: Cambridge University Press, 770 p., 1990.

*Submetido em 14 de maio de 2019*

*Aceito em 6 de janeiro de 2020*