

CARACTERIZAÇÃO MAGNETOMÉTRICA DO SILL DE LIMEIRA – SP

Adriano da Rosa SEIXAS¹; Antonio José Ranalli NARDY²; César Augusto MOREIRA³;
Alice Marques PEREIRA⁴

(1) Pós-graduação em Geologia Regional, Instituto de Geociências e Ciências Exatas /IGCE, Universidade Estadual Paulista – UNESP / Campus de Rio Claro. Avenida 24–A, n° 1515, Bela Vista. Caixa Postal 178. CEP 13506-900. Rio Claro, SP. Endereço eletrônico: adriano.seixas83@gmail.com.

(2) Departamento de Petrologia e Metalogenia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas/IGCE, Universidade Estadual Paulista – UNESP / Campus de Rio Claro. Avenida 24–A, n° 1515, Bela Vista. Caixa Postal 178. CEP 13506-900. Rio Claro, SP. Endereço eletrônico: nardy@rc.unesp.br.

(3) Departamento de Geologia Aplicada, Instituto de Geociências e Ciências Exatas/IGCE, Universidade Estadual Paulista – UNESP / Campus de Rio Claro. Avenida 24–A, n° 1515, Bela Vista. Caixa Postal 178. CEP 13506-900. Rio Claro, SP. Endereço eletrônico: moreirac@rc.unesp.br.

(4) Pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente, Instituto de Geociências e Ciências Exatas /IGCE, Universidade Estadual Paulista – UNESP / Campus de Rio Claro. Avenida 24–A, n° 1515, Bela Vista. Caixa Postal 178. CEP 13506-900. Rio Claro, SP. Endereço eletrônico: alicegeofisica@gmail.com.

Introdução

Geologia

Bacia do Paraná

Província Magmática do Paraná

Geologia local

Grupo Itararé

Formação Serra Geral

Materiais e métodos

Geofísica

Processamento dos dados

Resultados e discussão

Apresentação dos resultados

Processamento Semiquantitativo – Espectro de Potência

Filtro Passa Banda

Amplitude do Sinal Analítico

Redução ao Polo Magnético

Separação Regional – Residual

Perfis magnetométricos comparativos

Discussões dos resultados

Considerações finais

Referências

RESUMO – O propósito do presente trabalho é a caracterização do jazimento em subsuperfície da soleira de diabásio associada à Província Magmática do Paraná intrudida em meio aos arenitos do Grupo Itararé, localizada próximo da cidade de Limeira, na região centro-leste do estado de São Paulo. O método magnetométrico serviu como uma importante ferramenta na delimitação do corpo ígneo, tendo em vista o grande contraste de propriedades físicas entre o diabásio da soleira e os arenitos hospedeiros. Dados cartográficos prévios assinalavam uma possível continuidade lateral, em subsuperfície, das várias soleiras que ocorrem na região. Porém, os dados magnetométricos ora obtidos, indicam que a área de ocorrência desse corpo é bastante restrita e independente das demais. A análise do espectro de potência radial médio obtido permitiu determinar o intervalo de número de ondas adequado para a separação das fontes em rasas e profundas, e assim, concluir que a soleira da região de Limeira está situada abaixo de 100m de profundidade.

Palavras-chave: soleiras de diabásio, geofísica, magnetometria, Província Magmática do Paraná.

ABSTRACT – The purpose of this study is to characterize the geological subsurface structure of the diabase sill of the Paraná Magmatic Province intruded in the Itararé Group, located near the city of Limeira, in the east-central region of São Paulo state. The magnetometric method served as an important tool defining the igneous body in view of the great contrast between the physical properties of the diabase sill and the host sandstones. Previous cartographic data signaled in region a possible lateral continuity in subsurface, of the various sills that occur in the region. However, the magnetic data obtained herein indicate that the area of occurrence of this body is very restricted and independent of the others observed in the region. The analysis of the radial average power spectrum obtained allowed determine the interval of number of waves adequate for the separation of shallow and deep sources, and thus conclude that the sill of the Limeira region is located more than 100 m deep.

Keywords: sill of diabase, geophysics, magnetometry, Paraná Magmatic Province

INTRODUÇÃO

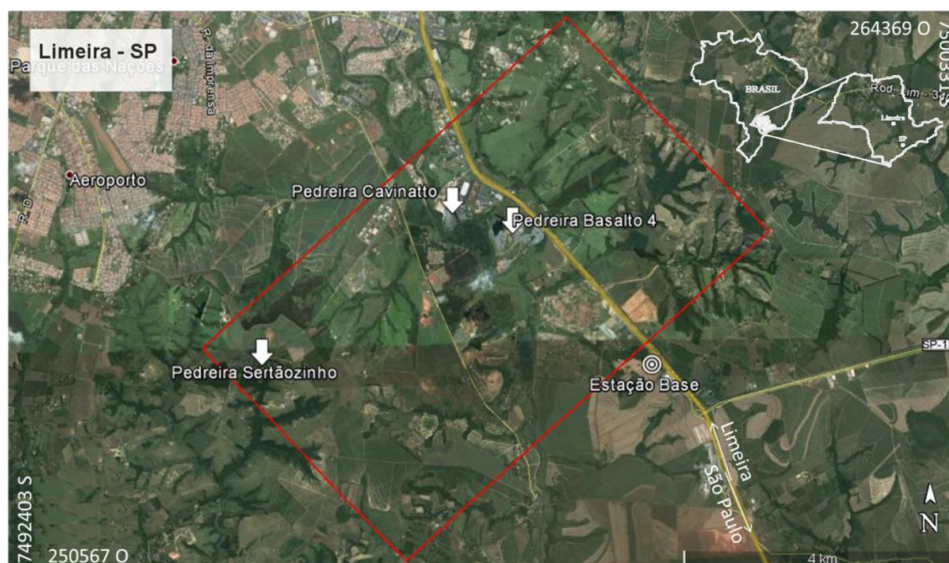
Os principais corpos intrusivos da Bacia do Paraná, que ocorrem sob a forma de soleiras, estão concentrados no flanco centro-leste e nordeste do estado do Paraná e no centro-leste e nordeste do estado de São Paulo (Soares, 1985).

Na região de Limeira há diversos corpos de diabásio na forma de soleiras e de lacólitos, não havendo informações se esses corpos apresentam em subsuperfície continuidade lateral, e assim constituindo uma única soleira ou se são corpos distintos. Há dados na literatura de perfurações de poços tubulares para águas subterrâneas que indicam uma possível continuidade lateral dessas soleiras em subsuperfície, caracterizando um corpo único denominado de *Sill* de Limeira-Cosmópolis (Soares et al., 1985). A extensão linear deste

corpo atingiria em torno de 60 km e espessuras variáveis que vão de 180 a 280 metros, e se encontraria intrudido em diversos níveis estratigráficos nas rochas sedimentares do Grupo Itararé.

O presente trabalho propõe o uso da magnetometria terrestre para entender o comportamento das soleiras de diabásio em subsuperfície procurando estabelecer sua profundidade, forma e extensão lateral.

A área de estudos está localizada a sul do município de Limeira (SP), na região centro-leste do estado de São Paulo, distante 7 km do trevo de acesso principal da cidade, situada na altura do Km 140 da Rodovia Anhanguera, SP-330, compreendendo as Pedreiras Cavinatto, Basalto 4 e Sertãozinho. (Figura 1).



Fonte: Modificado do Google Earth, 2013.

Figura 1. Trecho de imagem de satélite mostrando a localização espacial da área estudada com aproximadamente 29 Km² (retângulo vermelho) e as cavas das pedreiras presentes na área de estudo (setas brancas).

A magnetometria é uma das ferramentas geofísicas mais utilizadas atualmente em exploração mineral, tanto em escala de detalhe como de reconhecimento regional. Consiste na medição da variação do campo magnético terrestre devido à distribuição de corpos heterogêneos magnetizados. Na crosta terrestre isto possibilita delimitar lineamentos ou rochas aflorantes/subsuperficiais que contenham minerais magnéticos, gerando um contraste de susceptibilidade magnética (Kearey et al., 2002).

A escolha do método geofísico para caracterizar a estrutura geológica da área é justificada, devido aos corpos intrusivos básicos conterem minerais ferromagnéticos (magnetita) que distorcem as linhas de força do campo magnético terrestre local. Em virtude das soleiras estarem intrudidas nas rochas sedimentares siliciclásticas do Grupo Itararé, há um forte contraste de susceptibilidade magnética entre a rocha ígnea e sua encaixante de natureza sedimentar, que praticamente não contém minerais magnéticos, o que facilita a

obtenção de informações importantes sobre a distribuição das soleiras em subsuperfície.

GEOLOGIA

Bacia do Paraná

A Bacia do Paraná é uma extensa bacia intracratônica situada na parte centro-leste do continente sul-americano, desenvolvida completamente sobre crosta continental, e preenchida por rochas sedimentares e vulcânicas, de idades variando entre o Siluriano e o Cretáceo. Dois terços da porção brasileira apresentam derrames basálticos, que podem atingir até 1.700m de espessura. A espessura máxima de rochas sedimentares e vulcânicas chega a atingir 8.000m no depocentro da bacia (Zalan et al., 1990).

Província Magmática do Paraná

A Província Magmática do Paraná (PMP), do Cretáceo Inferior, é observada principalmente na forma de derrames basálticos que cobriram uma área de cerca de 1.200.000 km², abrangendo a porção meridional do Brasil e também parte do Uruguai, Paraguai e Argentina. As rochas vulcânicas da PMP ocorrem como uma sucessão de derrames, formando pacotes com espessura média de 650m e são representadas principalmente por basaltos toleíticos e andesi-basaltos toleíticos, com dois piroxênios (augita e pigeonita), que constituem aproximadamente 90% do volume total de material extrusivo. De modo subordinado ocorrem andesitos toleíticos e rochas ácidas, representadas por riódacitos e riólitos (Marques & Ernesto, 2004).

Associado ao vulcanismo ocorreu expressivo magmatismo de natureza intrusiva, representado por soleiras, que afloram principalmente na parte nordeste da Bacia do Paraná e pelos enxames de diques do Arco de Ponta Grossa, da Serra do Mar e de Florianópolis. Enquanto os derrames basálticos recobriram e em parte se intercalaram na Formação Botucatu, as soleiras se introduziram nas camadas paleozóicas, principalmente na Formação Irati. Além dessas, há várias ocorrências nas rochas sedimentares do Grupo Itararé. Nas regiões de Piracicaba, Limeira, Pirassununga e Franca (Estado de São Paulo) há um grande número de soleiras, mas a escassez de afloramentos tem dificultado a

determinação das extensões laterais de cada corpo.

As informações obtidas por várias investigações geoquímicas nas soleiras da Província Magmática do Paraná mostraram que estas rochas são principalmente de caráter básico, com características geoquímicas muito similares às das rochas vulcânicas associadas (Marques & Ernesto, 2004).

Geologia local

O *Sill* de Limeira exibe uma grande variação composicional (basalto-diabásio-monozodiorito-riólito), que favorece a investigação de processos de fracionamento magmático de magmas toleíticos. Segundo Faria (2008) nesta ocorrência são observadas diversas feições estruturais peculiares, raramente reportadas em outras ocorrências semelhantes, como: monzodioritos extremamente grossos, com expressivas manchas granofíricas; feições oclares em diabásios da porção superior da soleira; veios centimétricos a decimétricos de rocha ácida, frequentemente associadas à microvenulações de natureza pós-magmática e intensa transformação da mineralogia primária.

Grupo Itararé

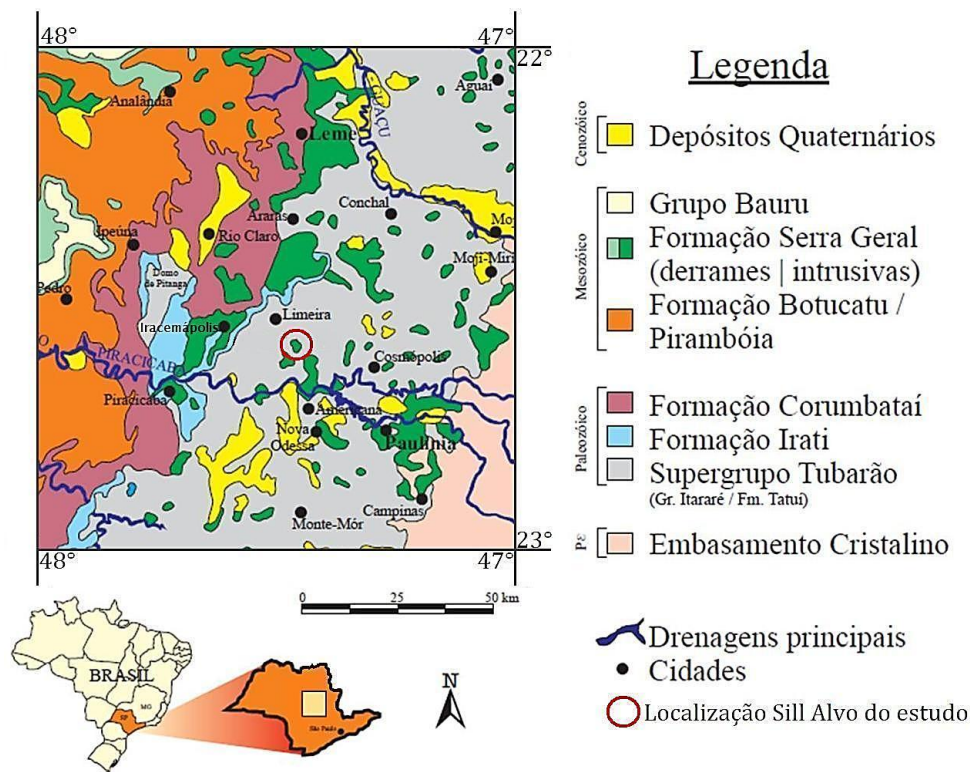
O grupo Itararé apresenta uma grande diversidade de ambientes de deposição, ocasionando uma grande variação faciológica. Entre esses ambientes são refletidas influências glaciais, representados assim por depósitos periglaciais e pós-glaciais. Os sedimentos são de idade permocarbonífera, bastante expressivos na Bacia do Paraná, com espessura máxima de até 1200 m. Seus depósitos são constituídos por arenitos, diamictitos, siltitos e argilitos, ritmitos e folhelhos; subordinadamente possui camadas de carvão ou sedimentos carbonáticos em locais isolados. Os arenitos normalmente têm granulação heterogênea, variando de muita fina a conglomerática. Essa variação é evidência de ambientes lacustres-flúvio glaciais, continentais, deltáicos e marinhos. (Sousa, 1997).

Formação Serra Geral

A Formação Serra Geral é caracterizada pela sequência de lavas basálticas, de caráter toleítico, com intercalações de lentes e camadas arenosas da Formação Botucatu, sobre a qual está depositada. Na região estudada, próximo à borda oriental da bacia, oriental da bacia, o

magmatismo está associado à presença de frequentes corpos intrusivos (soleiras e diques), que ocorrem intrudidos nas unidades sedimentares da Bacia do Paraná.

O mapa geológico (Figura 2) ilustra a distribuição das unidades litoestratigráficas na área estudada.



Fonte: Modificado de Machado 2005.

Figura 2. Mapa Geológico da região de Limeira, SP, com principais Unidades aflorantes, localização da soleira alvo do presente estudo e principais cidades.

MATERIAIS E MÉTODOS

Geofísica

No levantamento de dados magnetométricos terrestres realizados neste trabalho foram empregados magnetômetros de precessão de prótons da GEM SYSTEMS modelo GSM-8. Adotou-se também uma base onde um equipamento permaneceu fixo durante toda a etapa de aquisição para correções e tratamentos posteriores dos dados obtidos pelo equipamento móvel.

Foram estabelecidos para os equipamentos (magnetômetro móvel e base) o mesmo valor do campo magnético total local 23000 nT (Noaa, 2013).

A estação base foi posicionada próxima à Rodovia Anhanguera km 137, dentro de uma

fazenda na região de Limeira – SP, distante dos alvos de estudos e de interferências antrópicas. O intervalo de aquisição de dados no magnetômetro de base foi de 60 segundos entre as medidas sucessivas.

O georreferenciamento das estações magnetométricas, contou com um receptor de posicionamento por satélite (Global Positioning System - GPS), modelo GPS III Plus com antena externa GARMIN.

As estações magnetométricas foram posicionadas na rede rodoviária principal e secundária da região, com espaçamento médio de 15 metros, totalizando 913.

Foi realizado um adensamento na coleta de dados das estações magnetométricas realizadas

nas bancadas da cava da pedraira Cavinatto (Figura 3).

Os sensores dos magnetômetros foram sempre posicionados no sentido E-W para

obtenção da medida, ficando deste modo perpendicular ao campo magnético principal, para melhor eficiência da leitura do equipamento (GEM Systems, 2008).

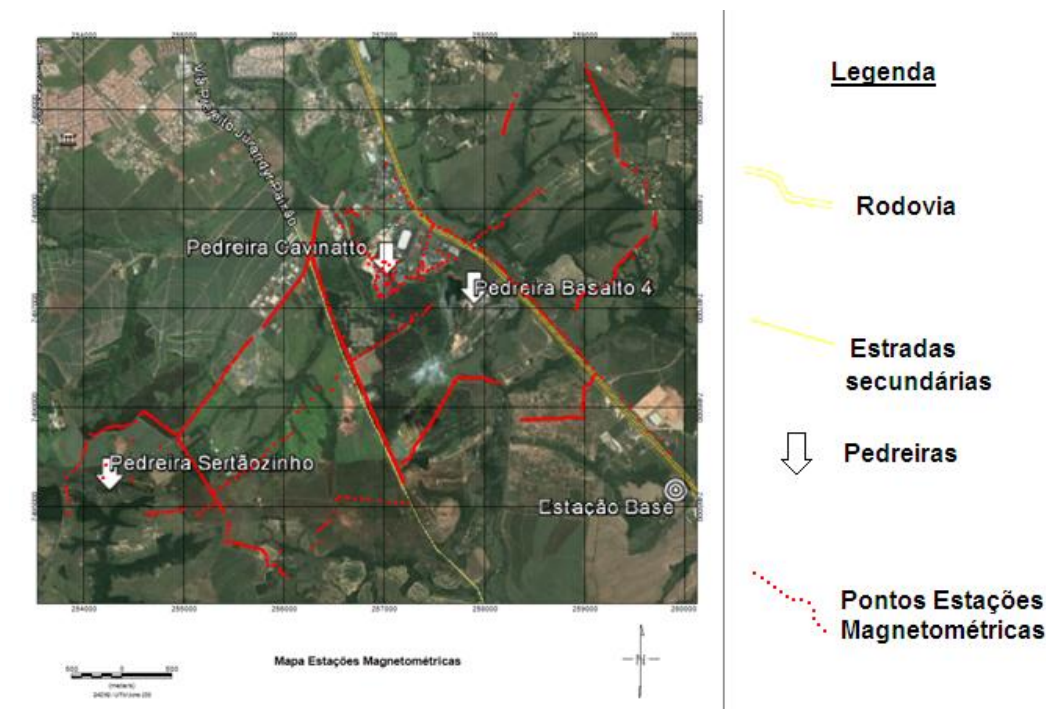


Figura 3. Mapa de estações magnetométricas (pontos vermelhos), posicionadas sobre imagem do Google Earth (2013), com localização da estação base e das pedreiras Cavinatto, Basalto 4 e Sertãozinho.

Processamento dos dados

O objetivo do processamento dos dados magnetométricos foi o de obter mapas que pudessem ser interpretados conjuntamente com os dados geológicos levantados no campo.

Para geração de malha amostral, foi utilizado à rotina MAGMAP da plataforma Oásis Montaj, por meio do algoritmo da mínima curvatura de forma a obter uma superfície de tendência suavizada. Esta é uma rotina usual para gerar células específicas de acordo com uma amostragem, que interpola dados XYZ espaçados aleatoriamente tornando-as uma malha regular, facilitando a confecção dos mapas (Geosoft, 2007). Porém, o mapa de anomalias do campo magnético contém ruídos e valores espúrios, com a identificação condicionada ao uso de transformada rápida de Fourier (FFT 2D).

A correção da variação magnética diurna foi realizada a partir da correlação entre os dados da estação base e móvel em função do tempo, ou seja, em relação ao momento em que cada medida foi realizada. Depois de realizado a subtração dos dados magnéticos, da base de dados da estação móvel e a da estação base, foi somado o valor do *datum* da área de estudo.

A remoção do campo geomagnético internacional de referência (IGRF) foi realizada a partir da subtração entre o valor final da filtragem da variação magnética diurna, pelo valor do IGRF.

Para a etapa da filtragem dos dados foi utilizado à rotina MAGMAP, com a aplicação dos seguintes filtros no domínio da frequência: passa banda, redução ao polo magnético, sinal analítico e separação regional/residual.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentação dos resultados

A partir das leituras dos valores de campo magnético obtido nas estações magnetométricas

levantadas, foi primeiramente gerado o mapa dos valores de campo magnético anômalo total, com os perfis realizados (Figura 4).

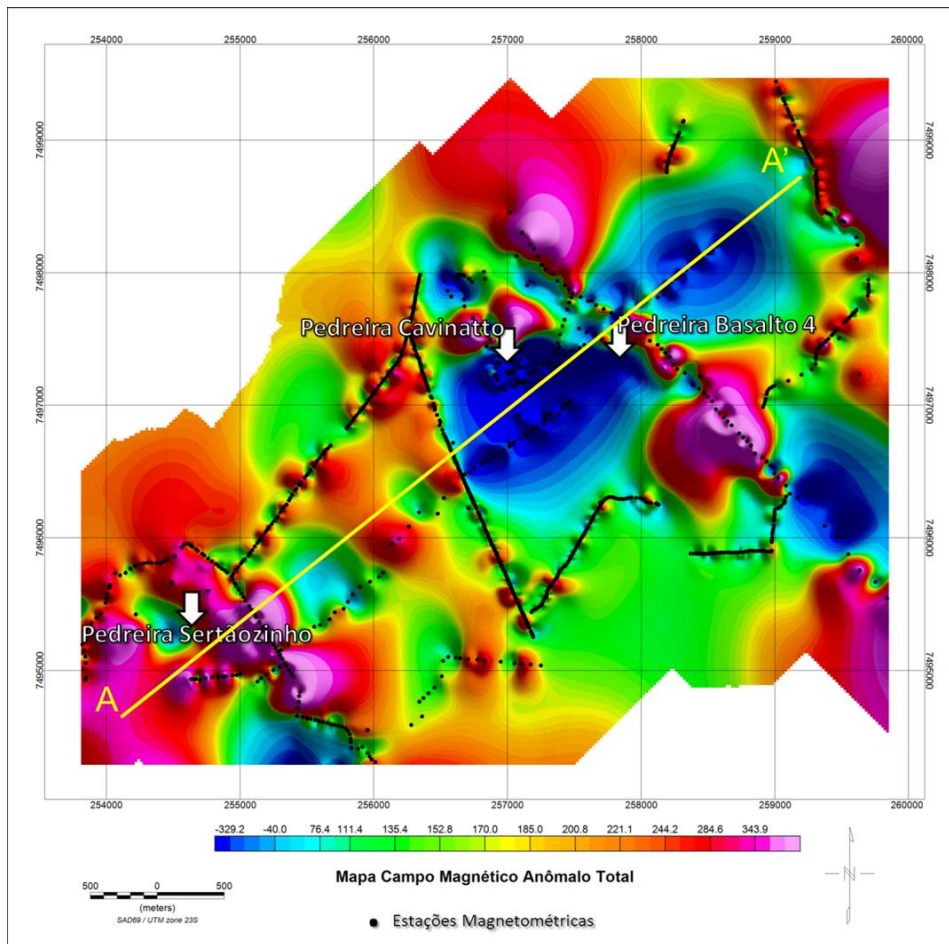


Figura 4. Mapa do campo magnético anômalo total, com posição das estações magnetométricas, localização das pedreiras presentes na área de estudo (setas brancas) e localização do perfil A – A’.

O mapa de campo magnético total apresenta valores que são amplamente variáveis ao longo dos perfis realizados, com presença de três zonas com maior intensidade magnética (tons avermelhados). As zonas presentes na parte norte e centro-leste do mapa encontram-se ao longo da Rodovia SP-330. A feição presente no quadrante SW do mapa apresenta formato arredondado e está localizada próxima à pedreira Sertãozinho.

São constatadas também três zonas com menor intensidade magnética (tons azulados), localizados na porção central, no quadrante NE e centro leste do mapa de campo magnético total. A feição central apresenta forma oval e homogênea, e está localizada na região das Pedreiras Cavinatto e Basalto 4.

A feição NE, de baixo valor magnetométrico, também apresenta formato oval e está localizada em uma estrada secundária que fornece acesso às fazendas da região. A feição centro-leste do mapa está situada ao longo da Rodovia SP-330.

Processamento Semiquantitativo – Espectro de Potência

Como os mapas magnetométricos são compostos pela soma de fontes rasas e profundas. Para observar apenas um conjunto dessas fontes é necessário à aplicação de técnicas que separem as anomalias locais e rasas das anomalias profundas e de caráter regional (Oliveira, 2008).

Antes da filtragem passa banda e separação regional/residual, os dados geofísicos são transformados para o domínio do número de ondas por meio da Transformada de Fourier.

Foi verificada a forma do espectro gerado, a fim de determinar o intervalo do número de ondas (comprimentos de ondas), para a aplicação do filtro gaussiano de separação regional-residual e passa banda. O espectro de potência apresenta também as estimativas das profundidades dos topos das fontes.

A Figura 5 corresponde ao espectro de potência radial médio e a profundidade média

estimada para as rochas da região do *Sill* de Limeira.

De acordo com o espectro de potência radial, as fontes profundas apresentam comprimento de onda maior que 0,333 km e, portanto mais profundas do que 100 m, correspondentes às estruturas dos corpos intrusivos de diabásio. As fontes rasas exibem comprimento de onda menor que 0,333 km e profundidades mais

rasas do que 100m, relacionadas às rochas sedimentares do Grupo Itararé.

Filtro Passa Banda

A partir dos valores de campo magnético total foi gerado um mapa com filtro passa banda adotando valores de fontes profundas (Figura 6).

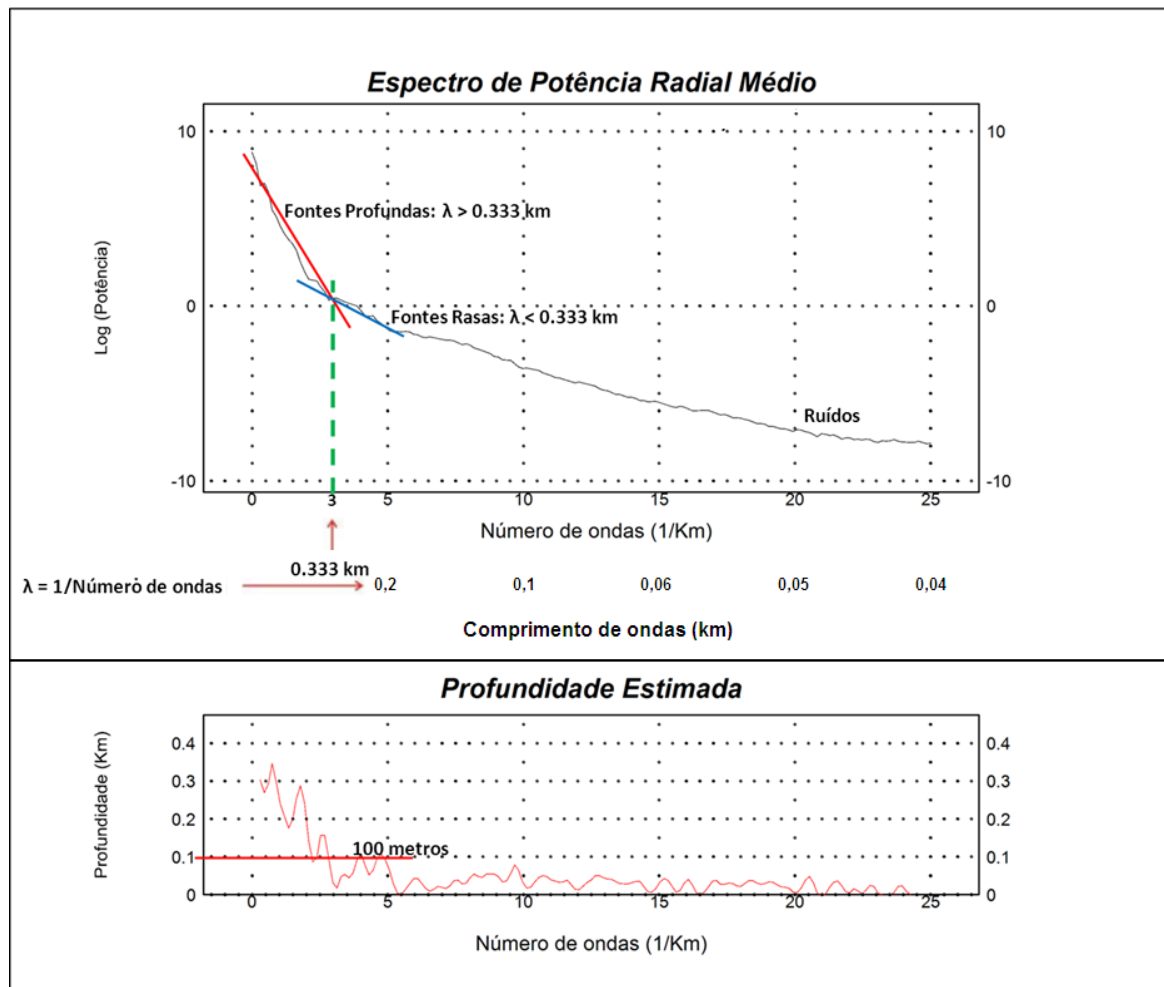


Figura 5. Espectro de potência radial médio do campo anômalo para a região do *Sill* de Limeira, com a interpretação do intervalo do número de ondas (comprimentos de ondas), utilizado para a aplicação do filtro gaussiano de separação regional-residual e passa banda. O espectro de potência apresenta também as estimativas das profundidades dos topos das fontes.

A observação do espectro de potência permitiu a seleção dos valores de corte adotado para a aplicação do filtro passa-banda profundo, que no caso são de 0,25 a 3 (número de ondas por unidade de medida) para as frequências baixas.

A realização da filtragem passa banda procurou caracterizar as principais unidades magnéticas mais profundas do que 100m. Os

contrastes negativos observados no mapa da Figura 6 estão localizados principalmente nas regiões das pedreiras presentes na área de estudo, não condizendo com a resposta magnética esperada para estas áreas. As anomalias positivas estão localizadas principalmente nas rodovias e vias secundárias e foram provavelmente originadas por ruídos antrópicos.

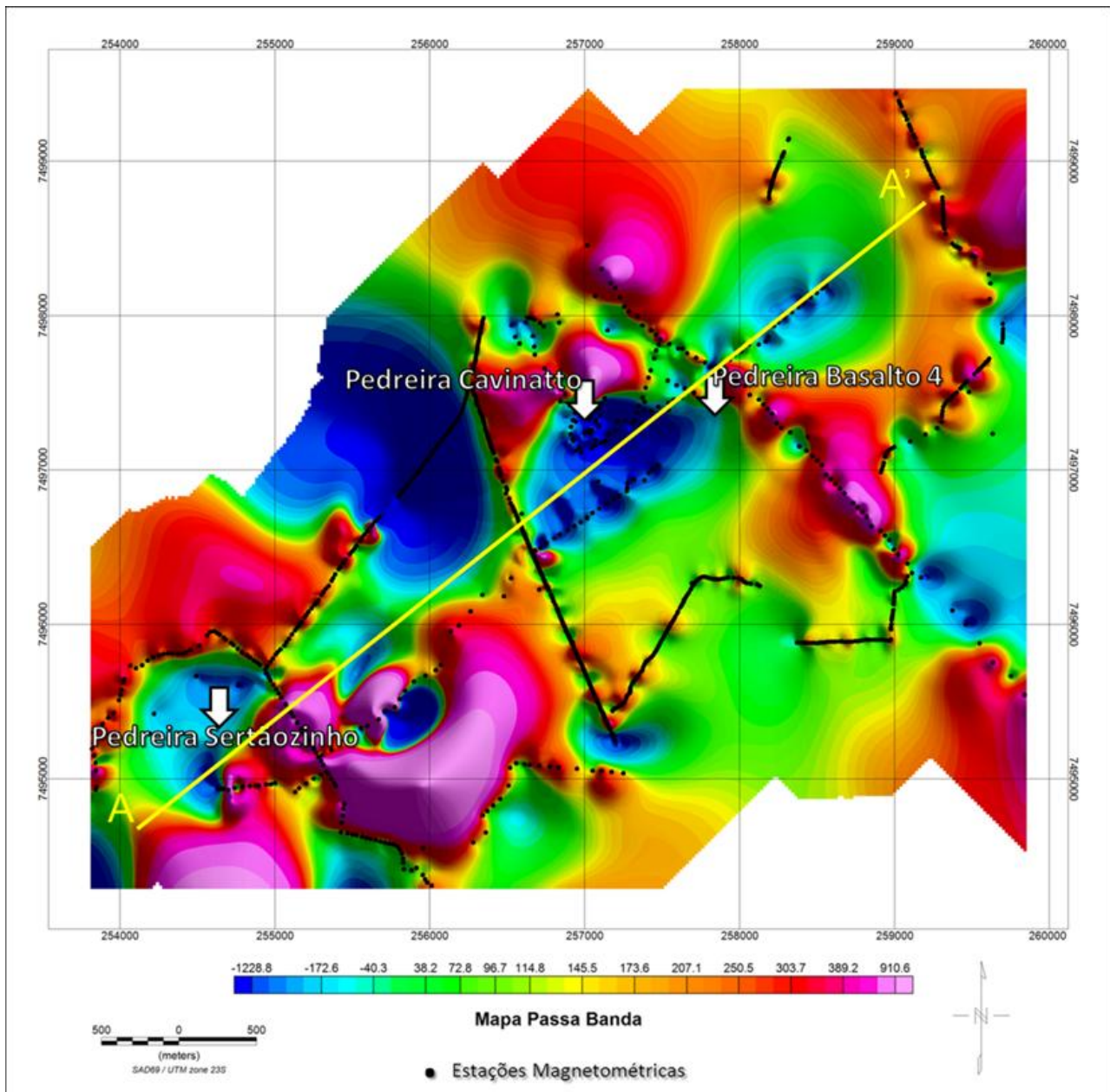


Figura 6. Mapa filtro passa banda, com posição das estações magnetométricas, localização das pedreiras presentes na área de estudo (setas brancas) e localização do perfil A – A’.

Amplitude do Sinal Analítico

A partir dos valores de campo magnético total foi gerado um mapa de amplitude do sinal analítico para a área estudada (Figura 7).

Este mapa possui anomalias de maior intensidade magnetométrica localizadas na parte central, centro-leste e SW do mapa, estas zonas apresentam formatos alongados.

A zona central e SW estão localizadas nas áreas das pedreiras presentes na área de estudo. Já a feição centro-leste está localizada ao longo da Rodovia Anhanguera SP-330.

Em virtude dos valores de sinal analítico salientarem os corpos com alto contraste lateral de suscetibilidade magnética (soleiras de diabásio), os valores com baixa intensidade

magnetométrica presentes no mapa de campo magnético total foram suavizados.

De acordo com o embasamento teórico do sinal analítico, o máximo gerado por uma anomalia está localizada sobre as bordas/limites da fonte causadora. Assim uma possível interpretação indica que estes valores de maior intensidade magnetométrica representam as soleiras presentes na área estudada.

Redução ao Polo Magnético

O mapa de redução ao polo magnético foi elaborado a partir do *grid* inicial dos valores de campo magnético total (Figura 8).

Este mapa apresenta anomalias de maior intensidade magnetométrica (tons

avermelhados), localizadas principalmente nas pedreiras presentes na área do trabalho, nas

porções central, SW e SE do mapa.

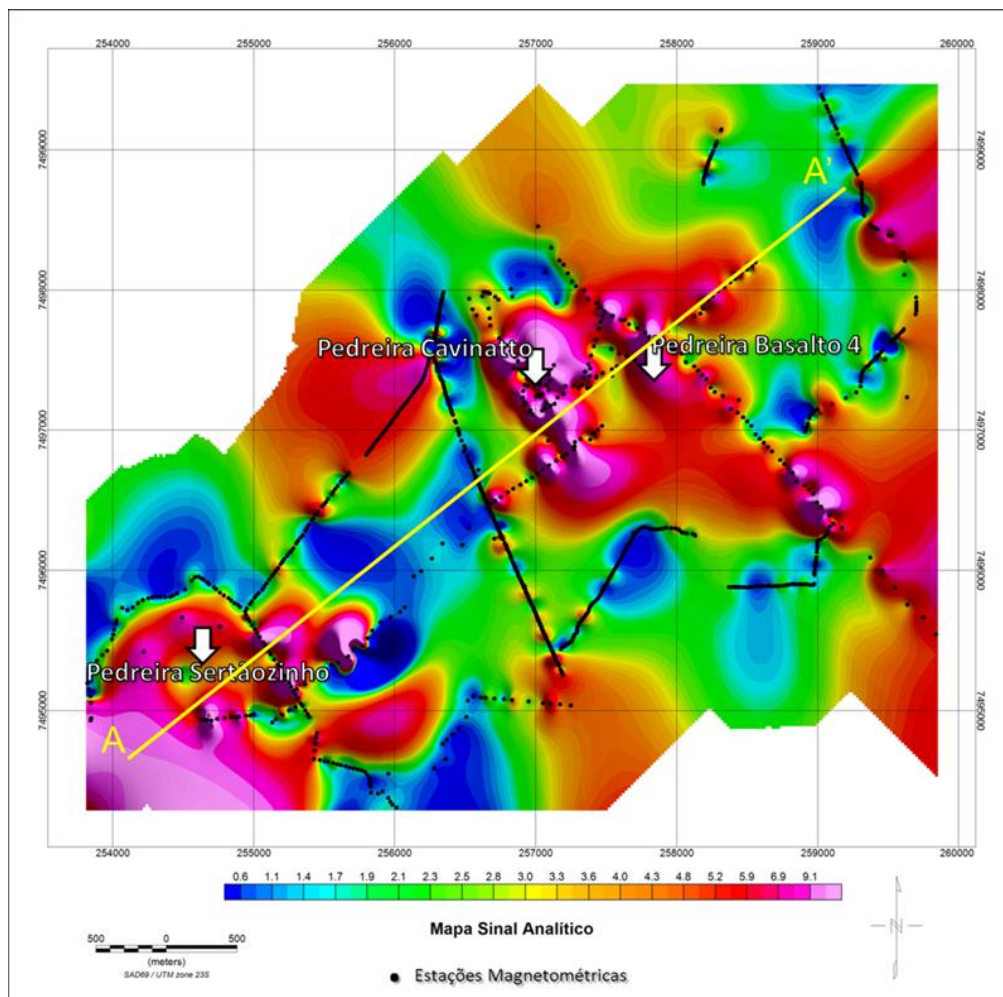


Figura 7. Mapa de amplitude do sinal analítico, com posição das estações magnetométricas, localização das pedreiras presentes na área de estudo (setas brancas) e localização do perfil A – A’.

Na parte central do mapa, é notada uma anomalia positiva com formato alongado, que se estende desde a porção sul até a parte norte do mapa. Esta anomalia positiva está localizada ao longo de uma via de acesso secundário da região até próximo à pedreira Cavinatto. A feição SE do mapa também apresenta formato alongado, que se estende desde a parte norte até o SE, passando pela pedreira Basalto 4 e está situada ao longo da rodovia SP-330. A feição SW apresenta formato arredondado e está localizada nos arredores da pedreira Sertãozinho.

O mapa de redução ao polo magnético apresenta também quatro zonas com menor intensidade magnética (tons azulados), localizadas na porção central, centro-oeste, Sul e NE.

A anomalia negativa correspondente à parte central do mapa apresenta formato oval e está

localizada próximo às pedreiras Cavinatto e Basalto 4. As anomalias negativas da parte centro-oeste e NE também apresentam formatos ovais, já à anomalia da região sul do mapa apresenta formato retangular e estão localizadas ao longo de vias de acesso às fazendas da região estudada.

O intuito da aplicação da redução ao polo é o posicionamento correto da anomalia positiva sobre a sua fonte, o que facilita a interpretação, fazendo com que o centro da anomalia fique localizado no centro do corpo eliminando o caráter dipolar da mesma. No entanto, é observada a existência de contrastes negativos, que podem estar associados aos arenitos do Grupo Itararé, que possivelmente recobrem grande parte da soleira, atenuando a intensidade da anomalia magnética. As anomalias positivas, localizadas principalmente nas rodovias e vias secundárias, foram provavelmente originadas

por ruídos antrópicos. Já as anomalias localizadas sobre as pedreiras indicam a

localização das fontes magnéticas.

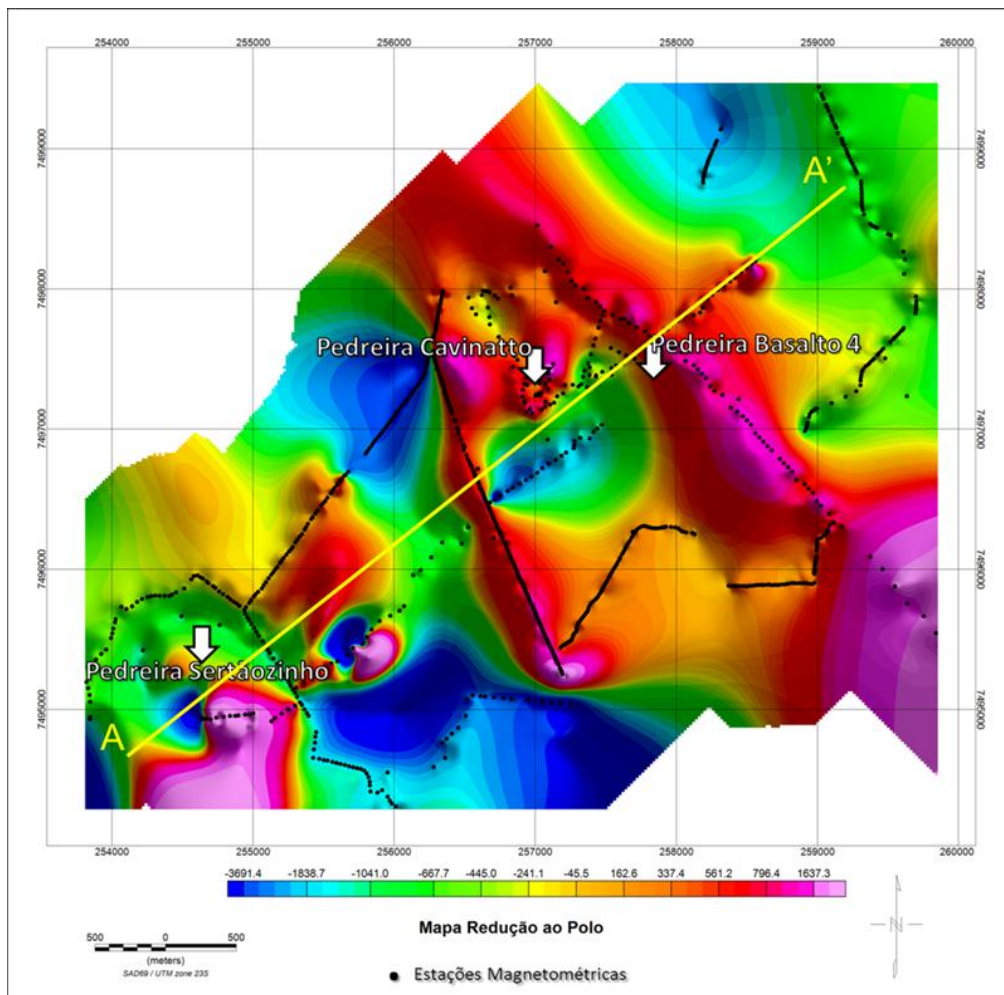


Figura 8. Mapa de redução ao polo magnético, com posição das estações magnetométricas, localização das pedreiras presentes na área de estudo (setas brancas) e localização do perfil A – A’.

Separação Regional – Residual

A partir dos dados reduzidos ao polo magnético foi gerado um mapa com filtro de separação nas componentes residual e regional (Figuras 9 e 10).

Para aplicação do filtro de separação nas componentes regional e residual, foram estabelecidos os parâmetros a serem aplicados no processo de filtragem e evidenciados os intervalos de número de ondas adequados para separação das componentes de fontes profundas e fontes rasas. O ponto de corte escolhido para separar as fontes profundas (regional) das fontes rasas (residual) foi o número de onda 3 que corresponde ao comprimento de onda 0,333 km (Figura 5).

É observado no mapa magnético residual, anomalias de maior intensidade (tons avermelhados), localizadas principalmente nas

pedreiras presentes na área do trabalho, na porção SW e SE do mapa.

Na parte SE do mapa, é observado uma anomalia positiva com formato alongado, que se estende desde a parte norte até o SE, passando pela pedreira Basalto 4 e está situada ao longo da rodovia SP-330. A feição SW do mapa apresenta formato arredondado e está localizada nas vias de acesso e arredores da pedreira Sertãozinho.

Os contrastes negativos (tons azulados) são localizados principalmente nas porções central, Sul e NE. A parte central do mapa apresenta duas anomalias negativas ambas com formato oval. A primeira anomalia está localizada próximo as pedreiras Cavinatto e Basalto 4. Outra anomalia representada no mapa na parte central é localizada em uma via de acesso secundário. As anomalias negativas da parte

Sul e NE apresentam formatos alongados e estão localizadas ao longo de vias de acesso às

fazendas da região do trabalho.

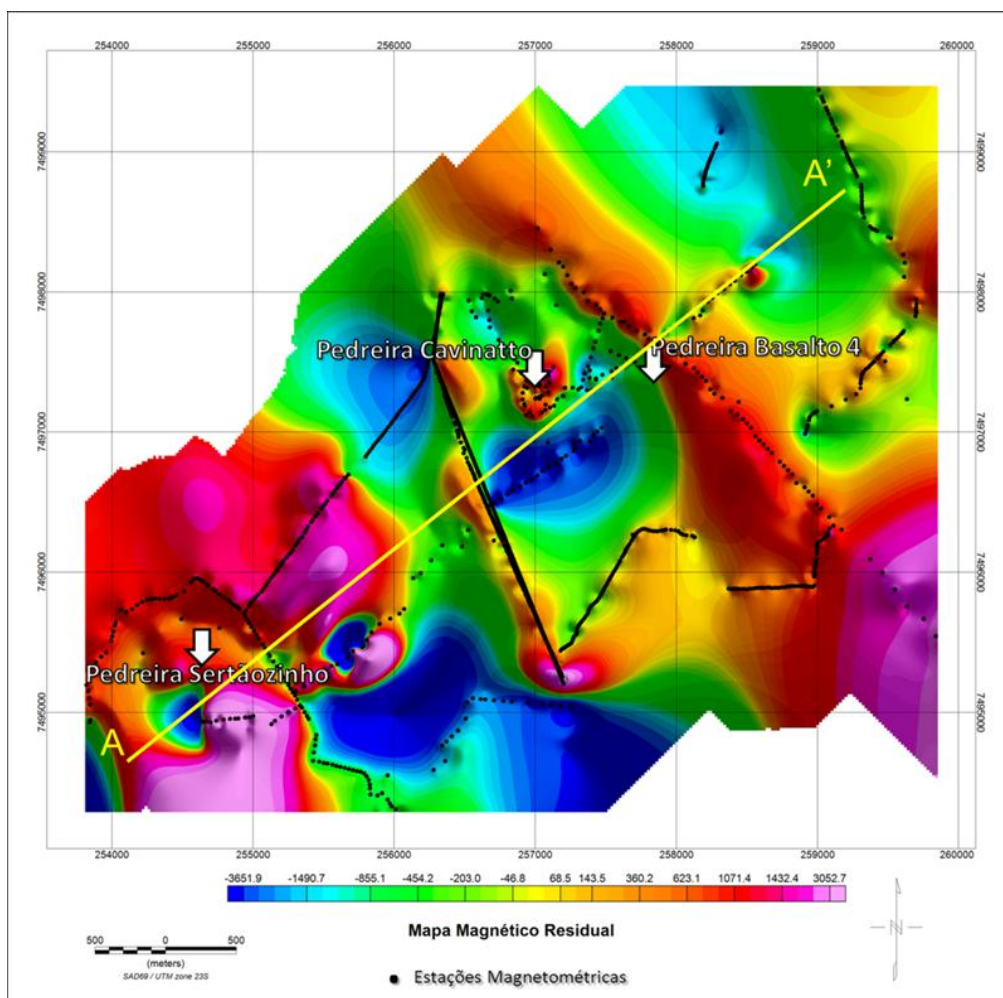


Figura 9. Mapa magnético residual reduzido ao polo magnético com comprimento de onda superior a 0,333 km, com posição das estações magnetométricas, localização das pedreiras presentes na área de estudo (setas brancas) e localização do perfil A – A’.

A aplicação do filtro magnético residual tem como objetivo salientar o sinal magnético das rochas mais rasas do que 100 m.

As anomalias positivas localizadas sobre as pedreiras podem estar associadas aos corpos com alto contraste de suscetibilidade magnética (soleiras de diabásio). As anomalias positivas, localizadas nas rodovias e vias secundárias, foram provavelmente originadas por ruídos antrópicos. Os valores com baixa intensidade magnetométrica podem ser relacionados às estruturas do arenito do Grupo Itararé.

No mapa magnético regional é apresentada anomalias de maior intensidade magnetométrica, localizadas principalmente nas pedreiras presentes na área do trabalho, na porção Sul e SW do mapa (Figura 10).

Na porção sul do mapa é observado uma anomalia positiva com formato oval localizada

em fazendas da região. A feição SW apresenta duas anomalias uma com formato oval, localizada nas vias de acesso às fazendas da região e outra com formato alongado a sul da pedreira Sertãozinho.

Os contrastes negativos (tons azulados) observados no mapa magnético regional estão localizados principalmente nas porções central, centro-oeste, Sul e NE.

A parte central do mapa apresenta uma anomalia negativa com formato oval, localizada próximo as pedreiras Cavinatto e Basalto 4.

A anomalia negativa presente na parte central-oeste do mapa está localizada em uma via de acesso secundário, enquanto que as anomalias negativas da parte Sul e NE estão localizadas ao longo de vias de acesso às fazendas da região.

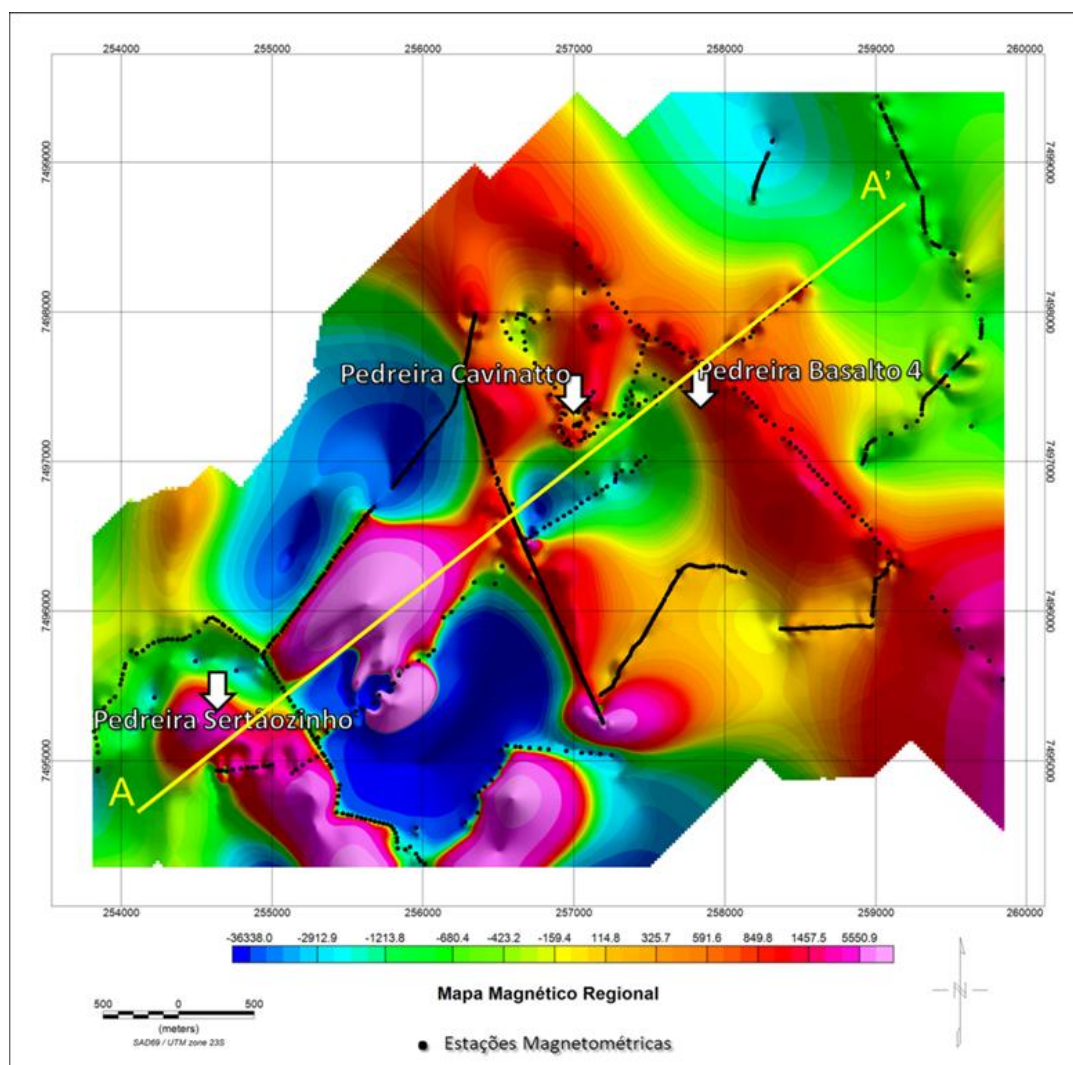


Figura 10. Mapa magnético regional reduzido ao polo magnético com comprimento de onda inferior a 0,333 km, com posição das estações magnetométricas, localização das pedreiras presentes na área de estudo (setas brancas) e localização do perfil A – A’.

A aplicação do filtro magnético regional tem como objetivo salientar o sinal magnético das rochas mais profundas do que 100 m.

As anomalias positivas localizadas sobre as pedreiras podem estar associadas aos corpos com alto contraste de suscetibilidade magnética (intrusivas básicas da Formação Serra Geral). As anomalias localizadas nas rodovias e vias secundárias provavelmente indicam por ruídos antrópicos.

Os valores com baixa intensidade magnetométrica presentes no mapa magnético regional podem ser relacionados às estruturas do arenito do Grupo Itararé.

Perfis magnetométricos comparativos

A partir dos mapas de dados magnetométricos expostos anteriormente, foi

adotado um perfil A – A’ na direção SW – NE de ambos os mapas (Figura 11).

Os perfis magnetométricos realizados servem como abordagem para verificação do comportamento das respostas geofísicas obtidas para ambas as técnicas de filtragem, com intuito de melhor visualização e análise dos dados.

Os perfis foram classificados, segundo a resposta magnetométrica, em quatro patamares.

O patamar um corresponde à distância de 0 a 1700 m e apresenta divergência entre os perfis geofísicos, os quais possuem valores variáveis:

- Campo magnético anômalo total de 100 a 500 nT;
- Passa banda profundo de -500 a 1000 nT;
- Amplitude do sinal analítico de 2 a 11 nT/m;
- Redução ao polo magnético de -3500 a 410 nT;
- Separação residual de -583 a 333 nT;

- Separação regional de -5000 a 2500 nT.

Na distância 700 m do perfil está localizada a pedreira Sertãozinho, onde está associada a pequenas variações anômalas em ambos os perfis analisados, representado principalmente no perfil da amplitude do sinal analítico.

Posteriormente o patamar dois corresponde à distância de 1700 a 3400 m e também apresenta divergência entre os perfis geofísicos, os quais possuem valores variáveis:

- Campo magnético anômalo total de -500 a 250 nT;
- Filtro passa banda profundo de -416 a 125 nT;
- Amplitude do sinal analítico de 0 a 4 nT/m;
- Redução ao polo magnético de -1667 a 667 nT;
- Separação residual de -584 a 3250 nT;
- Separação regional de -5834 a 20834 nT.

O patamar três corresponde à distância de 3400 a 5800 m e apresenta divergência entre os perfis geofísicos, os quais possuem valores variáveis:

- Campo magnético anômalo total de -1917 a 350 nT;
- Passa banda profundo de -1667 a 334 nT;
- Amplitude do sinal analítico de 3 a 15 nT/m;
- Redução ao polo magnético de -1667 a 1834 nT;
- Separação residual de -167 a 417 nT;
- Separação regional de -4167 a 834 nT.

Entre 4000m e 4300 m do perfil estão localizados as Pedreiras Cavinatto e Basalto 4 respectivamente, onde está associada a grande variação anômala em ambos os perfis analisados, representado principalmente no perfil da amplitude do sinal analítico.

O último patamar corresponde à distância de 5800 a 6600 m e apresenta divergência entre os perfis geofísicos, os quais possuem valores variáveis:

- Campo magnético anômalo total de -100 a 100 nT;
- Filtro passa banda profundo de -84 a 167 nT;
- Amplitude do sinal analítico de 0 a 2 nT/m;
- Redução ao polo magnético de -1000 a -833 nT;
- Separação residual de 0 a 84 nT;
- Separação regional de -834 a 800 nT.

A partir da interpretação do perfil da amplitude do sinal analítico, foi possível delimitar os limites geológicos ao longo do perfil A – A’.

As soleiras de diabásio associadas à formação Serra Geral estão representadas nos patamares um e três do perfil geológico, em contrapartida os patamares dois e quatro representam os arenitos do Grupo Itararé. Estes limites geológicos são compatíveis com mapas geológicos da área de estudo e rochas reconhecidas em superfície.

Discussões dos resultados

Os mapas magnetométricos apresentam anomalias positivas localizadas principalmente na porção central e no quadrante SW, coincidentes com as pedreiras presentes na área do trabalho.

De acordo com o espectro de potência radial médio foi possível definir as estimativas das profundidades dos topos das fontes. As fontes profundas apresentaram profundidades que vão de 100m a 350m, correspondentes às estruturas dos corpos de diabásio.

As fontes rasas exibiram profundidades menores que 100 m, podendo ser relacionados aos arenitos do Grupo Itararé. Estas profundidades estão de acordo com o trabalho de Soares (1985), no qual, a partir de perfurações feitas para água subterrânea, afirma que os corpos de diabásio apresentariam espessuras variáveis que vão de 180 a 280 metros, intrudidos em diversos níveis das rochas sedimentares do Grupo Itararé.

O mapa de sinal analítico foi o que melhor definiu a resposta magnética esperada, para os corpos com alta intensidade magnetométrica, o que permitiu delimitar a configuração das soleiras em subsuperfície (Figura 12). A variação positiva do sinal analítico, situada na porção central e no quadrante SW do mapa, (Figura 12), indica que as soleiras de diabásio não apresentam ligação em subsuperfície, ao contrário do afirmado por Soares et al. (1985), (Figura 12).

O mapa da redução ao polo magnético apresentou valores de alta intensidade magnetométrica também coincidente com as pedreiras presentes na área, indicando a localização das fontes magnéticas. Apresentou também a existência de contrastes negativos, que podem estar associados aos arenitos do Grupo Itararé, que possivelmente recobrem grande parte da soleira e atenuam a intensidade da anomalia magnética.

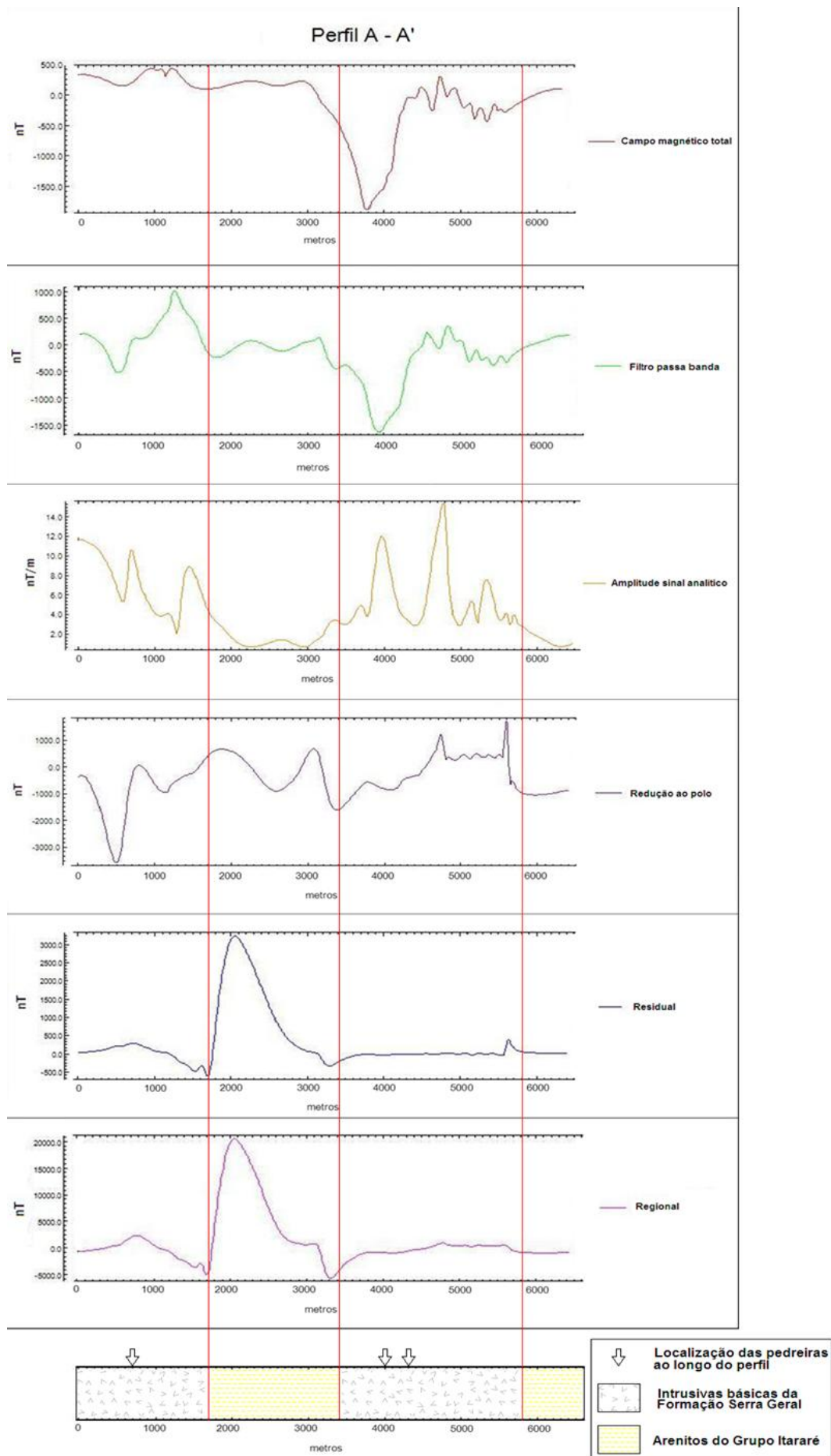


Figura 11. Comparação entre os perfis geofísicos e geológico segundo a direção A - A'.

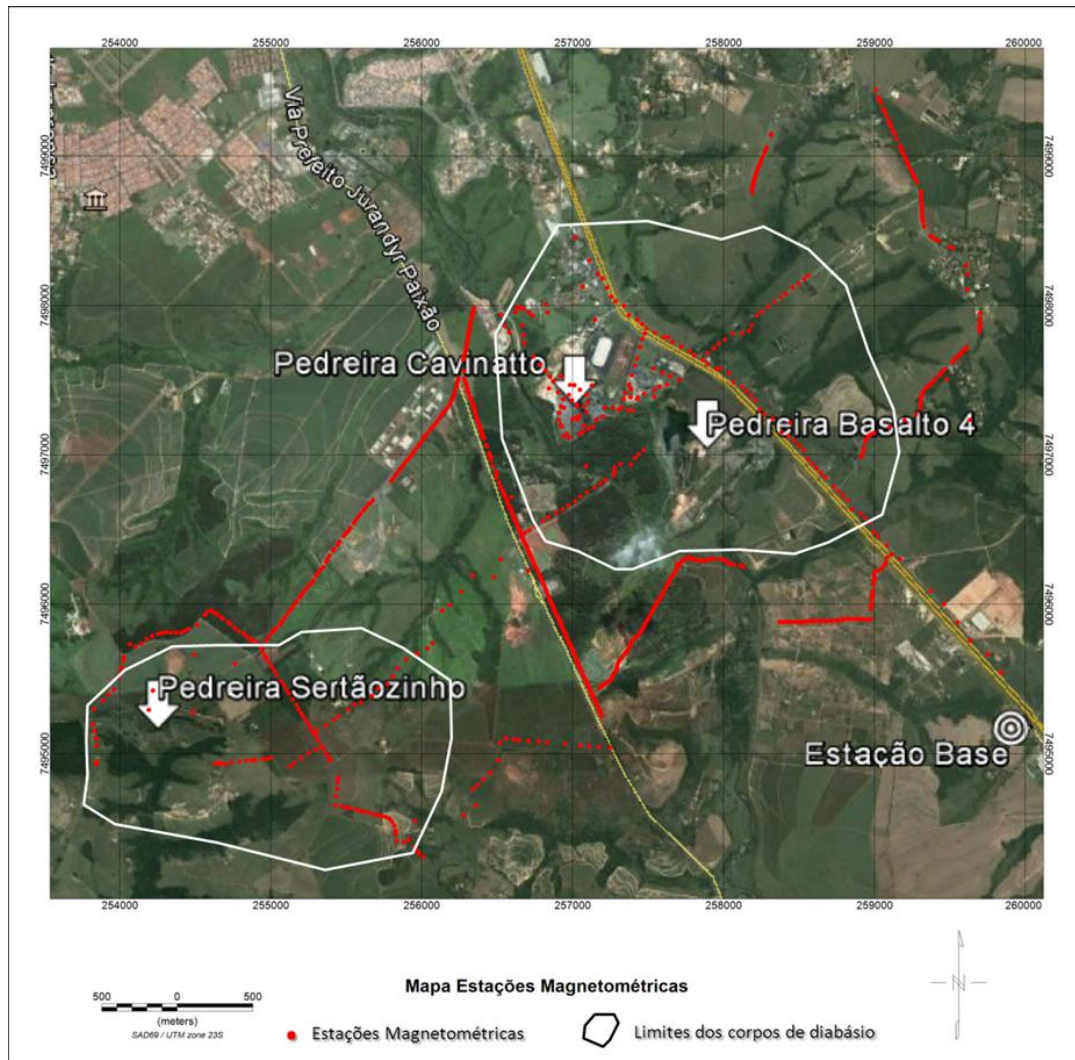


Figura 12. Mapa de estações magnetométricas (pontos vermelhos), posicionadas sobre imagem do Google Earth (2013), com localização da estação base, das pedreiras presentes na área do trabalho (setas brancas) e delimitação dos corpos em subsuperfície.

O mapa de campo magnético total com a filtragem passa banda apresentou muitos ruídos, pois as anomalias positivas estão localizadas principalmente nas rodovias e vias secundárias. O mapa apresenta também valores de baixa intensidade magnética localizadas nas regiões das pedreiras. Porém, a resposta magnética esperada para estas regiões é de alta intensidade.

Os mapas magnéticos com a separação regional/residual reduzido ao polo magnético mostraram anomalias positivas sobre as pedreiras, constituídas por rochas com alto contraste de suscetibilidade magnética. Os valores com baixa intensidade magnetométrica podem estar relacionados aos arenitos do Grupo Itararé.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante a aquisição e processamento dos dados magnetométricos foi verificado que as configurações adotadas (espaçamentos e localização das estações de medida) foram adequadas, apresentando resultados satisfatórios. Nesta etapa foi verificado também a presença de ruídos e possíveis anomalias

inexistentes, principalmente as anomalias localizadas ao longo das rodovias e vias de acesso presentes na área de estudo.

A avaliação e interpretação dos resultados descritos permitem concluir que esta área compreende diversos corpos de diabásio independentes (soleiras), que em subsuperfície

não exibem continuidade lateral. Neste contexto, os resultados deste trabalho discordam da proposta de Soares (1985), a qual afirma que, a partir de perfurações feitas em busca de água subterrânea, há continuidade lateral desses corpos em subsuperfície.

Através da análise dos perfis apresentados na Figura 11, principalmente pelo perfil da amplitude do sinal analítico, foi possível criar um desenho interpretativo (Figura 12) dos dados analisados com os limites das soleiras em subsuperfície.

A análise do espectro de potência radial médio permitiu a escolha do intervalo de

número de ondas adequado para a separação das componentes em rasas e profundas. A análise espectral mostrou que as estruturas com mais profundas do que 100m estão relacionadas às soleiras de diabásio, presentes na área de estudo, e estão de acordo com aqueles descritos em trabalhos anteriores.

Com base na suscetibilidade magnética distinta das rochas presentes na área de estudo, foi possível observar que em subsuperfície não há continuidade lateral entre as diferentes áreas de ocorrência de diabásios, caracterizando portanto, soleiras distintas.

REFERÊNCIAS

1. FARIA, C. A.; Evolução Magmática do *Sill* de Limeira: Petrologia e Geoquímica. 2008. 106p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
2. GEOSOFT INCORPORATED. 2007. Montaj MAGMAP filtering; 2-D frequency domain of potential field data extension for Oasis Montaj v6.4. Toronto, Ontário, Canadá.
3. GEM SYSTEMS. GSM-19 V7.0. Markham: 2008. (Instruction Manual).
4. GEM SYSTEMS. 2008. GSM-8 v7.2 Instruction Manual, Disponível em: <<http://www.gemsys.ca>>.
5. GOOGLE EARTH. Versão 4.3 (beta). Europa Technologies - US Dept. of state Geographer, 2013.
6. KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. An Introduction to Geophysical Exploration. 3rd ed. Blackwell: Blackwell Science Ltd., 2002. 262 p.
7. MACHADO, F.B.; Geologia e Aspectos Petrológicos das Rochas intrusivas e efusivas mesozoicas de parte da borda leste da Bacia do Paraná no estado de São Paulo. 2005. 194p. Dissertação (Mestrado em Geociências), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Rio Claro, 2005.
8. MARQUES, L. S.; ERNESTO, M.. O Magmatismo Toleítico da Bacia do Paraná. In: Mantesso Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, C.R.; Brito Neves, B.B.. (Org.). Geologia do continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca Produções Culturais, 2004, v., p. 245-263.
11. NOAA. Disponível em: <<http://www.ngdc.noaa.gov/geomagweb/#igrfwmm>>. Acesso em: 27 fev. 2013.
12. OLIVEIRA, R.G. Arcabouço geofísico, isostasia e causas do magmatismo cenozóico da Província Borborema e de sua margem continental (nordeste do Brasil). 389 p. Tese (Programa de pós-graduação em geodinâmica e geofísica). Universidade federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.
13. SOARES, P.C., LANDIM, P.M.B., FÚLFARO, V.J., SOBREIRO NETO, A.F. Ensaio de caracterização estratigráfica do Cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru. Revista Brasileira de Geociências, v. 10, n. 3, p. 177-85, 1980.
14. SOARES, P.C. Informações sobre Sills de diabásio da Bacia do Paraná. Curitiba: DOCEGEO, 1985, 20p.
15. SOUSA, M. O. L. Caracterização Estrutural do Domo de Pitanga – SP. 1997. 116f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
16. ZALÁN, P. V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J. C. J.; MARQUES, A.; ASTOLFI, M. A. M.; VIEIRA, I. S.; APPI, V. T.; ZANOTTO, O. A. Bacia do Paraná in: GABAGLIA, G. P. R.; MILANI, E. J. (coord.). Origem e evolução de bacias sedimentares. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, 1990. p. 135 – 168.

*Manuscrito recebido em: 13 de Setembro de 2014
Revisado e Aceito em: 31 de Março de 2015*