



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA

GEO213 – TRABALHO DE GRADUAÇÃO

ESTUDO MAGNÉTICO E
GAMAESPECTROMÉTRICO DA
MAGNESITA E FORMAÇÕES
FERRÍFERAS DA SERRA DAS ÉGUAS,
BRUMADO - BA

MARIANA NAIR ROSA MIRANDA

SALVADOR – BAHIA
AGOSTO – 2019

**Estudo magnético e gamaespectrométrico da magnesita e formações ferríferas
da Serra das Éguas, Brumado - BA**

por

MARIANA NAIR ROSA MIRANDA

Orientador: Prof. Dr. Marcos Alberto Rodrigues Vasconcelos

Co-orientador: MSc. Florivaldo Oliveira Sena

GEO213 – TRABALHO DE GRADUAÇÃO

DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA

DO

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DA

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

COMISSÃO EXAMINADORA

Dr. Marcos Alberto Rodrigues Vasconcelos

Dr. Alexandre Barreto Costa

Dr. Joelson da Conceição Batista

DATA DA APROVAÇÃO: 16/08/2019

Dedico este trabalho a minha mãe,
meu maior exemplo de força,
dedicação e perseverança.

Resumo

Neste trabalho, objetivou-se estudar a assinatura magnética e gamaespectrométrica da Serra das Éguas, além de observar as possíveis relações entre o minério de interesse (magnesita), as rochas máficas e as formações ferríferas. A Serra das Éguas situa-se em Brumado, no sudoeste do Estado da Bahia, inserida regionalmente num contexto geológico caracterizado como Complexo de Brumado, formado por quartzitos, xistos, filitos, calcários, dolomitos, magnesitas, itabiritos, anfibolitos e gnaisses. O embasamento da região é caracterizado pela presença de gnaisses e migmatitos de idade arqueana. A partir de dados de levantamentos aerogeofísicos e medidas de susceptibilidade magnética e gamaespectrometria em testemunhos de furos de sondagem foram geradas perfis e modelos da subsuperfície que representam a variação espacial das propriedades físicas na região de estudo, utilizando técnicas de modelagem geofísica. Nesse processo, estimou-se um ou mais parâmetros da fonte a partir do campo magnético observado, incorporando as informações geológicas e geofísicas sobre a área de estudo. Com os dados coletados nos testemunhos de sondagem e suas respectivas descrições litológicas, foram confeccionados perfis a fim de verificar de maneira visual a relação entre a variação das propriedades físicas medidas entre as litologias. Dessa forma foi possível relacionar os altos valores de susceptibilidade magnética, à presença de magnetita, rochas metamáficas e metaultramáficas entre as litologias. A modelagem direta foi realizada utilizando o módulo GM-SYS da Geosoft, que envolveu a criação de um modelo geológico e o cálculo da resposta geofísica a esse modelo, o qual foi relativamente concordante com os resultados obtidos através da inversão. Os resultados indicaram que as formações ferríferas e as rochas máficas são as unidades magnéticas principais e estão localizadas na base das camadas de carbonatos.

Abstract

In this work, it was aimed to study the magnetic and gamma-spectrometric signature of the Serra das Éguas, in addition to observe the possible relation between the target ore of interest (magnetite), the mafic rocks and the banded iron formations. The Serra das Éguas is located in Brumado, in the southwestern of the State of Bahia, regionally located in a geological context characterized as Brumado Complex, formed by quartzites, shales, phyllites, limestone, dolomites, magnesites, itabirite, amphibolites and gneisses. The basement of the region is characterized by the presence of gneisses and migmatites of Archean age. From data of aerogeophysical surveys and measurements of physical properties in borehole drilling probe, profiles and subsurface models were generated that represent the spatial variation of the physical properties in the region of study, using forward and inverse geophysical modeling techniques. In this process, one or more parameters of the source were estimated from the observed magnetic field, by including the geological and geophysical information about the study area. With the data collected in the drillhole probe and their respective lithological descriptions, profiles were made to verify the relationship between the variation of measured physical properties among the lithologies. It was thus possible to relate high values of magnetic susceptibility to the presence of magnetite, metamafic and metaultramafic rocks among the lithologies. Forward modeling was performed using Geosoft's GM-SYS module, which involved the creation of a geological model and the calculation of the geophysical response to this earth model, which was relatively corroborated by the results obtained with the inversion of the data. The results show that the banded iron formations and the mafic rocks are the main magnetic units and are located at the base of the layers of carbonates.

Sumário

Resumo	3
Abstract	4
Introdução	10
1 Fundamentação teórica	12
1.1 Método radiométrico	12
1.1.1 Tipos de decaimento	12
1.1.2 Interações da radiação com a matéria	13
1.1.3 Fontes de radiação gama natural	14
1.1.4 Concentração de tório, urânio e potássio nas rochas	15
1.1.5 Mapas radiométricos	16
1.2 Método magnetométrico	17
1.2.1 O campo geomagnético	17
1.2.2 Indução magnética e permeabilidade magnética	17
1.2.3 Lei de Gauss	18
1.2.4 Momento dipolo magnético e susceptibilidade magnética	19
1.2.5 Tipos de magnetização dos materiais	19
1.2.6 Minerais e rochas magnéticos	20
1.2.7 Processamento de dados magnéticos	20
1.2.8 Interpretação de anomalias magnéticas	23
1.3 Modelagem geofísica	23
1.3.1 Modelagem direta	24
1.3.2 Modelagem inversa	26
2 Caracterização da área estudada	28
2.1 Localização e acesso	28
2.2 Contexto geológico	28

2.2.1	Geologia local	29
3	Aquisição e processamento de dados	32
3.1	Dados radiométricos	32
3.1.1	Aquisição dos dados em testemunhos de sondagem	32
3.1.2	Levantamento aéreo	33
3.2	Dados magnéticos	34
3.2.1	Aquisição dos dados em testemunhos de sondagem	34
3.2.2	Levantamento aéreo	35
3.3	Processamento dos dados de testemunhos de sondagem	35
3.4	Processamento dos dados de levantamento aéreo	36
4	Resultados e discussões	37
4.1	Perfis radiométricos e de susceptibilidade magnética	37
4.2	Mapas radiométricos e magnetométricos	40
4.3	Modelagem direta de dados magnetométricos	42
4.4	Modelagem inversa de dados magnetométricos	44
5	Conclusões	72
A	Banco de dados dos testemunhos de sondagem	74
	Referências	78
I	Guia para usuários do MAG2DATA	81
I.1	Organização de dados	81
I.2	Rodando o programa	81
I.3	<i>Show Profile</i>	82
I.4	<i>Filtering Data</i>	82
I.5	<i>Kernel</i>	83
I.6	<i>Forward Modelling</i>	83
I.7	<i>2D-Inversion</i>	84
I.8	<i>Synthetic Data</i>	85

Lista de Figuras

1.1	Tipos de interação dos raios gama com as rochas, modificada de Minty (1997).	14
1.2	Elementos do campo geomagnético (Blakely, 1995).	18
1.3	A componente normal do campo magnético tem integral igual a zero sobre qualquer superfície fechada. Portanto, o fluxo magnético sobre qualquer região fechada é zero (Blakely, 1995).	19
1.4	Aproximação de um corpo tridimensional por uma pilha de lâminas (Blakely, 1995).	25
1.5	Cada lâmina aproximada por um polígono (Blakely, 1995).	25
2.1	Localização e acesso ao município de Brumado - BA, onde se situa a área de estudo.	29
2.2	Coluna estratigráfica da Serra das Éguas modificada de Oliveira et al. (1997).	30
2.3	Mapa geológico mostrando a localização dos perfis AB e CD ao longo dos quais os modelos direto e inverso deste trabalho foram construídos, modificado de Paim et al. (2018).	31
3.1	Aquisição de dados gamaespectrométricos em testemunhos de furos de sondagem com o espectrômetro RS-125.	33
3.2	Susceptibilímetro KT-10 (Terraplus Inc., 2013).	34
3.3	Configuração do magnetômetro utilizado para a aquisição de dados geofísicos a bordo do helicóptero (Gazolla e Zanon, 2008).	35
4.1	Perfil de susceptibilidade magnética e gamaespectrometria realizadas ao longo do testemunho de sondagem do furo BA 04, alvo Barroca dos Veados.	39
4.2	Perfil de susceptibilidade magnética e gamaespectrometria realizadas ao longo do testemunho de sondagem do furo FG 02, alvo Gravatá.	46
4.3	Perfil de susceptibilidade magnética e gamaespectrometria realizadas ao longo do testemunho de sondagem do furo FSP 04, alvo Pomba.	47

4.4	Perfil de susceptibilidade magnética e gamaespectrometria realizadas ao longo do testemunho de sondagem do furo FSP 05, alvo Pomba.	48
4.5	Perfil de susceptibilidade magnética e gamaespectrometria realizadas ao longo do testemunho de sondagem do furo SPO 141, alvo Pomba.	49
4.6	Perfil de susceptibilidade magnética e gamaespectrometria realizadas ao longo do testemunho de sondagem do furo SPO 141, alvo Pomba.	50
4.7	Perfil de susceptibilidade magnética e gamaespectrometria realizadas ao longo do testemunho de sondagem do furo SPO 146, alvo Pomba.	51
4.8	Perfil de susceptibilidade magnética e gamaespectrometria realizadas ao longo do testemunho de sondagem do furo SPF FM 01, alvo Pedra de Ferro.	52
4.9	Perfil de susceptibilidade magnética e gamaespectrometria realizadas ao longo do testemunho de sondagem do furo SPF FM 01, alvo Pedra de Ferro.	53
4.10	Perfil de susceptibilidade magnética e gamaespectrometria realizadas ao longo do testemunho de sondagem do furo SPF FM 02, alvo Pedra de Ferro.	54
4.11	Perfil de susceptibilidade magnética e gamaespectrometria realizadas ao longo do testemunho de sondagem do furo SPF FM 02, alvo Pedra de Ferro.	55
4.12	Perfil de susceptibilidade magnética e gamaespectrometria realizadas ao longo do testemunho de sondagem do furo SPP 049, alvo Pedra Preta.	56
4.13	Perfil de susceptibilidade magnética e gamaespectrometria realizadas ao longo do testemunho de sondagem do furo SPP 203, alvo Pedra Preta.	57
4.14	Mapa radiométrico de Tório superposto pelo contorno do mapa geológico apresentado na Figura 2.3.	58
4.15	Mapa radiométrico de Urânio superposto pelo contorno do mapa geológico apresentado na Figura 2.3.	59
4.16	Mapa radiométrico de Potássio superposto pelo contorno do mapa geológico apresentado na Figura 2.3.	60
4.17	Mapa radiométrico ternário superposto pelo contorno do mapa geológico apresentado na Figura 2.3.	61
4.18	Mapa do campo magnético total superposto pelo contorno do mapa geológico apresentado na Figura 2.3.	62
4.19	Mapa do campo magnético residual superposto pelo contorno do mapa geológico apresentado na Figura 2.3.	63
4.20	Mapa do sinal analítico superposto pelo contorno do mapa geológico apresentado na Figura 2.3.	64
4.21	Mapa do <i>tilt angle</i> superposto pelo contorno do mapa geológico apresentado na Figura 2.3.	65

4.22	Mapa do sinal analítico do <i>tilt angle</i> (ASTA) superposto pelo contorno do mapa geológico apresentado na Figura 2.3.	66
4.23	Mapa de unidades litofísicas confeccionado a partir dos mapas de sinal analítico, tório, urânio e potássio.	67
4.24	Resultado da modelagem direta realizada ao longo da linha AB, apresentada na Figura 2.3.	68
4.25	Resultado da modelagem direta realizada ao longo da linha CD, apresentada na Figura 2.3.	69
4.26	Modelagem inversa da linha AB, apresentada na Figura 2.3.	70
4.27	Modelagem inversa da linha CD, apresentada na Figura 2.3.	71
A.1	Planilha de dados coletados no testemunhos de sondagem com susceptímetro e gamaespectrômetro.	75
A.2	Planilha de dados coletados no testemunhos de sondagem com susceptímetro e gamaespectrômetro.	76
A.3	Planilha de dados coletados no testemunhos de sondagem com susceptímetro e gamaespectrômetro.	77

Introdução

Através da utilização dos métodos geofísicos, dados de propriedades físicas da Terra são medidos e, com isso, são criados modelos que refletem essas propriedades e ajudam no melhor entendimento da sua formação, ampliando o conhecimento sobre a evolução desta. Muitas vezes estes métodos são utilizados em conjunto, possibilitando a construção de um modelo melhor e mais completo do objeto de estudo.

A aquisição dos dados geofísicos ocorre com equipamentos específicos para cada método, podendo ser feita de modo terrestre ou aéreo. No levantamento terrestre são utilizados instrumentos como magnetômetros e gamaespectrômetros, onde os dados são coletados diretamente das amostras ou dos afloramentos. Já no aerolevanteamento faz-se o uso de aeronaves que carregam a bordo os equipamentos responsáveis pela aquisição dos dados.

Neste trabalho são utilizados tanto dados terrestres como dados aerolevanteados na Serra das Éguas. Seus 22 km de comprimento e 10 km de largura destacam-se por conter depósitos de magnesita e talco, bem como ocorrências de ferro, vermiculita, ouro, cobre, chumbo, zinco e níquel. A maior ênfase será para o depósito de magnesita, inserida em um contexto geológico associado a unidades metassedimentares, pois se trata de uma das maiores reservas deste mineral no país.

Os dados terrestres são oriundos do projeto Atualização do Mapa Geológico da Serra das Éguas - Brumado, BA, resultado do convênio UFBA/RHI Magnesita/FAPEX e consistem em medidas gamaespectrométricas e de susceptibilidade magnética em testemunhos de furos de sondagem. Com essas medidas foram produzidos perfis que correlacionam as propriedades físicas e litologias.

Os dados de aerogamaespectrométricos pertencem ao Projeto Aerogeofísico Barra da Estiva/Tremedal. Estes dados são de grande aplicabilidade, pois facilitam a delimitação de unidades geológicas, além de auxiliarem na identificação de zonas de alteração hidrotermal.

Os dados aeromagnetométricos vieram do Projeto Serra das Éguas. A partir destes dados foram produzidos mapas que possibilitam a identificação de prováveis zonas de falha, tais como amplitude do sinal analítico, *tilt angle* e ASTA. Estes mapas são bastante utilizados para a demarcação de contatos entre litotipos, demarcação de lineamentos, além de revelar

informações de rochas em subsuperfície devido ao campo anômalo produzido por estas. Além dos mapas magnéticos, os dados também foram utilizados nas modelagens geofísicas direta e inversa de duas seções transversais à estruturação geral da serra.

Dessa forma os principais objetivos do trabalho são: estudar as anomalias magnética e gamaespectrométrica da Serra das Éguas, a fim de correlacioná-las com a magnesita, as rochas máficas e as formações ferríferas. Para isso, o trabalho foi dividido em sete capítulos. No primeiro e no segundo capítulo são expostos os aspectos teóricos dos métodos geofísicos que fundamentam esta pesquisa. No terceiro capítulo é apresentado o processo de inversão geofísica dos dados. No quarto capítulo é descrita a geologia da região. O quinto capítulo trata da aquisição, tratamento e processamento dos dados. O sexto capítulo dedica-se à apresentação dos resultados e discussões sobre estes. Na conclusão foram ratificados os principais resultados do trabalho.

Capítulo 1

Fundamentação teórica

1.1 Método radiométrico

A radioatividade é a propriedade física dos átomos que assumem um estado excitado e emitem espontaneamente, parte de seus componentes nucleares. Na rocha, está relacionada à sua quantidade de radionuclídeos, e à desintegração dos núcleos de isótopos instáveis que podem produzir partículas alfa, beta, radiação gama e ainda gerar calor (Lima, 2014).

O levantamento radiométrico é utilizado na pesquisa de depósitos não radioativos associados a elementos radioativos. Além disso, são úteis também para o mapeamento geológico, visto que rochas distintas possuem diferentes assinaturas radioativas. Os elementos de maior interesse radiométrico são o urânio (^{238}U), o tório (^{232}Th), e o potássio (^{40}K) (Kearey et al., 2009).

1.1.1 Tipos de decaimento

O átomo é formado por um núcleo com prótons e nêutrons, cercado de elétrons. A quantidade de prótons do núcleo é chamada de número atômico, e a soma de prótons e nêutrons é a massa do átomo. Átomos com mesmo número atômico e diferentes números de nêutrons são denominados isótopos e possuem propriedades químicas iguais, porém propriedades físicas distintas. O núcleo de um isótopo pode perder energia através de emissão de partículas. Esse processo se chama decaimento nuclear, e é característico dos radionuclídeos. O tempo para metade da massa de um radionuclídeo decair é chamado de meia vida.

Decaimento alfa

Consiste em dois prótons e dois nêutrons, ou seja, um núcleo do Hélio. As partículas alfa têm carga e massa, por isso são altamente ionizantes e podem ser desviadas tanto por campos

elétricos quanto por campos magnéticos. Estas partículas podem ser retidas por uma folha de papel (Lima, 2014).

Decaimento beta

É realizado de três formas distintas. No decaimento β^- um nêutron se transforma em um próton com emissão de um elétron e um antineutrino. No decaimento β^+ um próton se transforma em um nêutron com emissão de um pósitron e um neutrino. Já no processo de captura de elétron não existe emissão beta, há apenas a formação de um nêutron e a emissão de um neutrino, através da entrada de um elétron da camada K do núcleo. Nesse caso, há emissão de raios-X. As partículas beta são menos ionizantes que as partículas alfa, elas podem ser retidas por alguns milímetros de alumínio.

Radiação gama

A emissão das partículas alfa e beta podem deixar o núcleo em estado excitado de energia, esta energia excedente é emitida como Radiação Gama. Os raios gama são radiações eletromagnéticas, não possuem carga ou massa, e possuem baixo poder de ionização, penetrando mais na matéria que as emissões alfa e beta. A radiação gama pode ser absorvida por alguns centímetros de chumbo. Dessa forma, a energia dos fótons dos raios gama é a base da gamaespectrometria, onde as energias de interesse geológico estão entre 0,2 e 3,0 MeV (Gilmore, 2011).

1.1.2 Interações da radiação com a matéria

Efeito fotoelétrico

Um fóton de radiação gama colide com um elétron e transfere para ele toda sua energia. Se o fóton possuir energia suficiente, um elétron é ejetado do átomo, e outro elétron que esteja mais fracamente ligado o substitui, liberando energia em forma de raios-X (Lima, 2014). Este processo de absorção ocorre predominantemente na faixa de mais baixa energia da radiação gama e depende do número atômico do átomo.

Espalhamento Compton

Um fóton resvala em um elétron transferindo parte de sua energia para ele, com isso, a radiação é amortecida e dispersada de forma que o fóton muda sua direção e o elétron é ejetado, porém dessa vez não há emissão de raios-X. O espalhamento Compton é o processo predominante na escala de energia das radiações gama naturais das rochas, como vemos

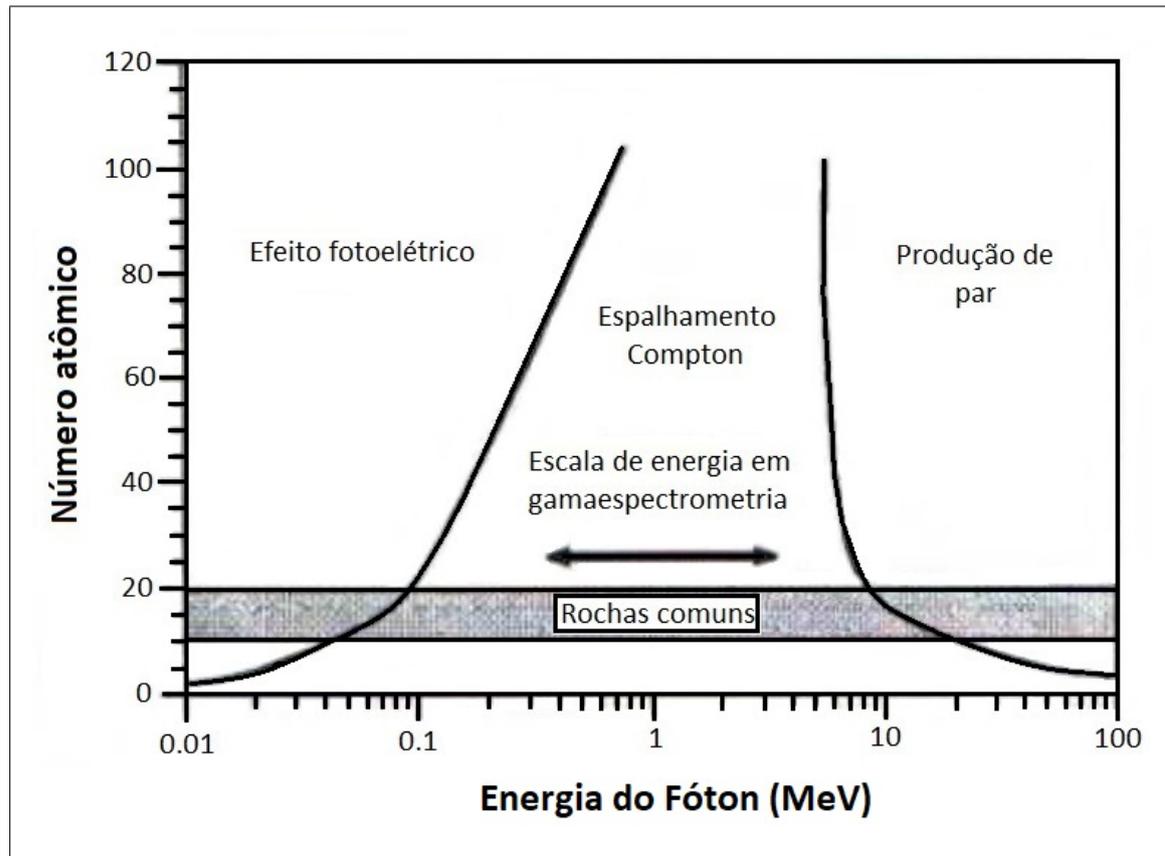


Figura 1.1: Tipos de interação dos raios gama com as rochas, modificada de Minty (1997).

na Figura 1.1. Portanto, os raios gama medidos em levantamentos radiométricos sofrem o espalhamento Compton.

Produção de par

Um fóton com energia superior a 1,022MeV interage com o campo elétrico do núcleo e produz um par elétron-pósitron. Essas duas partículas são ejetadas e convertidas em fótons rapidamente após a ejeção, se propagando em sentidos opostos (Lima, 2014).

1.1.3 Fontes de radiação gama natural

Apenas poucos isótopos de elementos naturais emitem raios gama. Grasty e Minty (1990) os dividiram em três grupos de acordo com sua origem:

- Grupo 1: radionuclídeos ^{40}K , ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th , que possuem meias-vidas da ordem de grandeza da idade da Terra e podem ser encontrados nas rochas;

- Grupo 2: composto de isótopos radioativos filhos, membros das séries do ^{238}U , ^{235}U e ^{232}Th . Suas meias-vidas alcançam desde pequenas frações de segundo até 10^5 anos;
- Grupo 3: engloba os chamados radioisótopos cosmogênicos, formados pela interação de raios cósmicos com os átomos de gases na alta atmosfera terrestre.

O primeiro e o segundo grupo são os alvos da gamaespectrometria, pois englobam os radioelementos mais comuns nas rochas. O terceiro grupo constitui ruídos de fundo, e deve ser removido dos dados medidos. O fluxo de raios gama próximo à superfície terrestre vem quase todo do decaimento do ^{40}K e dos membros das séries do ^{238}U e ^{232}Th . Dentre esses últimos, os mais importantes são o ^{214}Bi e o ^{208}Tl das séries do ^{238}U e ^{232}Th .

1.1.4 Concentração de tório, urânio e potássio nas rochas

O urânio é um metal que participa nas rochas como elemento traço. Mais abundante em rochas de composição ácida, como os granitos e riolitos, com teores de 2 a 8 ppm. Os basaltos contêm cerca de 0,1 ppm e as rochas ultra básicas contêm alguns centésimos de ppm. Contudo, o urânio geralmente não é um indicador útil de alteração hidrotermal.

O tório também aparece como elemento traço na crosta terrestre. É encontrado em quantidades pequenas na maioria das rochas e solos, sendo aproximadamente três vezes mais abundante que o urânio. Ele pode ser mobilizado durante processos de mineralização, por exemplo, sendo parcialmente reduzido em áreas de alteração potássica ou intensa silicificação.

O potássio pode ser definido como um dos principais componentes da crosta terrestre, com concentração média de 2,5 % na crosta continental e 0,4 % na crosta oceânica. Os principais minerais à base de potássio são: os feldspatos potássicos, principalmente o ortoclásio e a microclina, as micas, biotita e moscovita. As rochas ácidas, como os granitos, sienitos, sienogranitos e leucogranitos apresentam altos teores de potássio, ao contrário das rochas básicas como gabros e peridotitos. O potássio é comumente adicionado às rochas hospedeiras pela mineralização de soluções hidrotermais.

Devido à grande dispersão dentro de cada classe de rochas mostrada na Tabela 1.1, nenhuma classificação global de tipo de rocha por concentração de radioelementos é possível. No entanto, dentro de pequenas regiões, tipos diferentes de rochas podem ser identificados com base na concentração relativa de radioelementos.

Para rochas ígneas há uma tendência para o aumento do conteúdo de radioelementos com o aumento do conteúdo de silício em relação às rochas ultrabásicas e máficas. Dados disponíveis para rochas metamórficas, por exemplo, gnaisses derivados de granitos e anfibolitos derivados de doleritos, sugerem que o metamorfismo não afeta o conteúdo de radioelementos. As rochas sedimentares geralmente possuem conteúdo de radioelementos que reflete a rocha

fonte. Assim, espera-se que os sedimentos imaturos derivados de fontes graníticas tenham um conteúdo de radioelementos bastante alto, enquanto que os sedimentos mais maduros, compostos principalmente de quartzo, devem ter valores muito baixos (Dickson e Scott, 1997).

Tabela 1.1: Concentração de radioelementos nas rochas. Modificada de Dickson e Scott (1997).

Tipo de rocha	K(%)	U (ppm)	Th (ppm)
Granitoides	0.3-4.5	0.4-7.8	2.3-45
Gnaisses	2.4-3.8	2.1-3.6	18-55
Intrusivas intermediárias	0.7-5.6	0.1-1.2	0.8-6.1
Máficas intrusivas	0.1-0.8	0-1.1	0-3.1
Félsicas vulcânicas	2.0-4.4	1.4-13	13-28
Máficas vulcânicas	0.3-1.3	0.3-1.3	2.0-5.0
Ultramáficas vulcânicas	0.2-0.9	0.3-0.9	0-4.0
Carbonatos	0-0.5	0.4-2.9	0-2.9

1.1.5 Mapas radiométricos

Os mapas ternários assimilam uma cor para cada elemento, geralmente vermelho para K, verde para Th e azul para U. A taxa de contagem total é usada para definir uma escala de intensidade e suas cores resultantes. As diferentes cores no mapa correspondem aproximadamente aos diferentes tipos de rochas, quando comparadas a amostras coletadas no terreno. As regiões com cores mais esbranquiçadas são indicativas de intensidades mais altas dos três radioelementos, enquanto que as cores mais escuras indicam uma baixa concentração.

Os mapas das razões U/Th, U/K e Th/K são usadas para diagnosticar mudanças nos tipos de rochas e alterações nas rochas ou em ambientes deposicionais. Em áreas contendo baixa umidade do solo os mapas das razões são uteis para ajudar no mapeamento da superfície geológica.

A interpretação detalhada dos mapas de aerolevantamentos gamaespectrométricos requer um processo em que as anomalias sejam agrupadas em unidades geológicas principais, para que depois sejam observadas as sutis variações dentro das unidades mais prospectivas, com o auxílio de outros dados como aeromagnetometria e imagens de satélite (Dickson e Scott, 1997).

1.2 Método magnetométrico

O método magnetométrico investiga a geologia da subsuperfície através das anomalias do campo magnético da Terra, advindas das propriedades magnéticas das rochas. A técnica é amplamente empregada e a velocidade de operação dos levantamentos aerotransportados torna o método muito atraente na busca por tipos de depósitos que contenham minerais magnéticos.

Os minerais formadores de rocha mais comuns exibem uma susceptibilidade magnética muito baixa, e as rochas devem seu caráter magnético à proporção dos minerais magnéticos que contêm. O mineral magnético mais comum é a magnetita, que dependendo do tamanho, forma e dispersão dos grãos magnéticos torna possível classificar o comportamento das rochas de acordo com seu conteúdo deste mineral (Kearey et al., 2009).

1.2.1 O campo geomagnético

A Terra possui um campo magnético muito fraco, representado como o campo de um dipolo magnético que fica no centro da Terra, cujo eixo está inclinado de $11,5^\circ$ em relação ao eixo de rotação terrestre. Suas fontes são de origem interna e externa. A fonte interna está relacionada aos movimentos de convecção no núcleo externo da Terra. As fontes de origem externa são: o vento solar, a rotação da Terra, o movimento das marés, os efeitos térmicos e a ionosfera (Blakely, 1995).

1.2.2 Indução magnética e permeabilidade magnética

A ação de um campo magnético pode ser representada tanto pelo valor do campo magnético \mathbf{H} , quanto pelo valor da indução magnética \mathbf{B} , criada nos materiais pela presença de \mathbf{H} . Sendo μ a permeabilidade magnética, definida como a facilidade com que o campo magnético \mathbf{H} magnetiza um material, e o meio isotrópico, temos que:

$$\mathbf{B} = \mu\mathbf{H} \quad (1.1)$$

e

$$\mu = \frac{\mathbf{B}}{\mathbf{H}}. \quad (1.2)$$

No SI \mathbf{H} é medido em ampere por metro (A/m), \mathbf{B} em ($Weber/m^2$) mais conhecido como Tesla (T) e μ em volt segundo por ampere ($Henry/m$). A permeabilidade magnética no vácuo é denotada como μ_0 e tem valor igual a $4\pi \times 10^{-7}(Henry/m)$.

Segundo Lima (2014), em qualquer ponto interno ou externo da Terra, o campo geomagnético pode ser decomposto em vetores, assim como mostra a Figura 1.2. Sendo \mathbf{H}

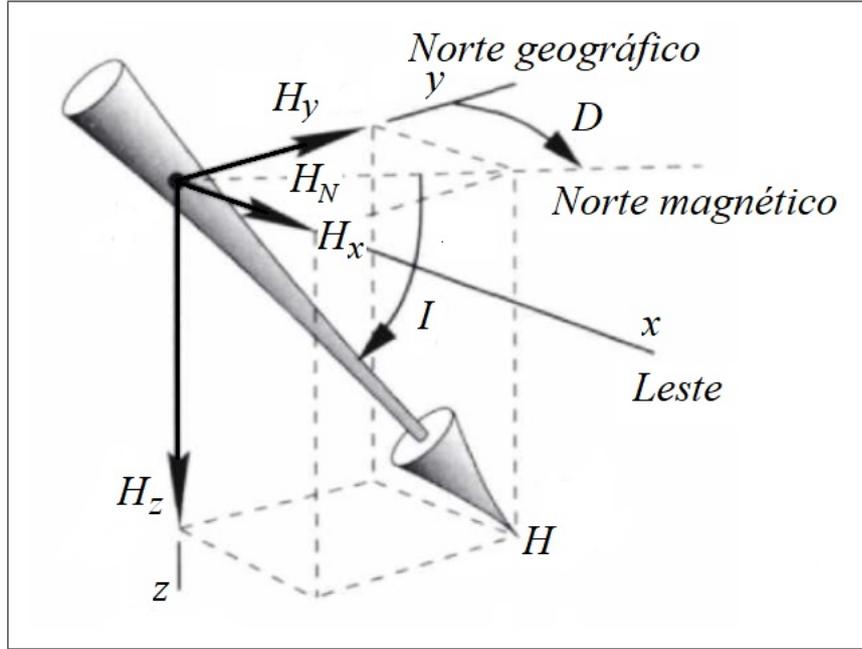


Figura 1.2: Elementos do campo geomagnético (Blakely, 1995).

a magnitude do campo total e I a inclinação de \mathbf{H} com relação ao plano horizontal que passa pelo ponto escolhido, o componente vertical é definido como $H_z = H \sin I$, componente horizontal é definido por $H_H = H \cos I$, e pode ser decomposto em $H_x = H \cos I \cos D$ e $H_y = H \cos I \sin D$, onde D é a declinação magnética, ângulo entre o norte geográfico e o componente horizontal H_H . A intensidade do campo total é dada então por

$$H = \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2}. \quad (1.3)$$

1.2.3 Lei de Gauss

De acordo com as equações de Maxwell, o campo magnético \mathbf{B} é solenoidal, ou seja, não tem divergente,

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0. \quad (1.4)$$

Integrando a equação sobre uma região R e aplicando o teorema da divergência temos:

$$\int_R \nabla \cdot \mathbf{B} dv = \int_S \mathbf{B} \cdot \hat{\mathbf{n}} ds = 0. \quad (1.5)$$

A equação 1.5 é conhecida como Lei de Gauss para campos magnéticos, e mostra que a componente normal de todo fluxo que entra numa região qualquer é igual a componente normal do fluxo que sai desta mesma região, ilustrada pela Figura 1.3 (Blakely, 1995).

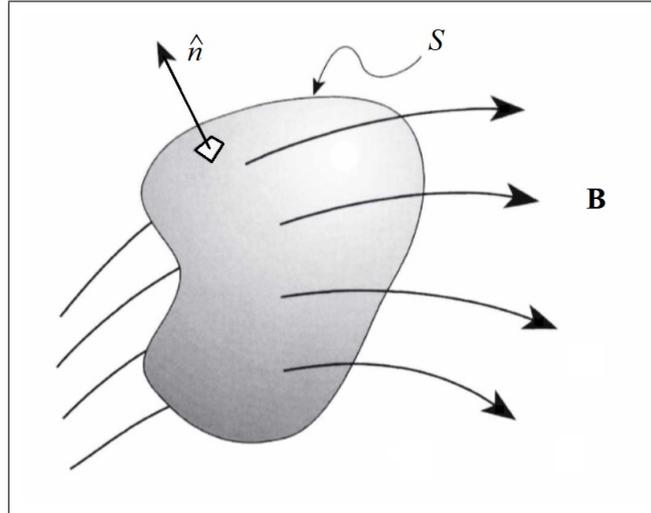


Figura 1.3: A componente normal do campo magnético tem integral igual a zero sobre qualquer superfície fechada. Portanto, o fluxo magnético sobre qualquer região fechada é zero (Blakely, 1995).

1.2.4 Momento dipolo magnético e susceptibilidade magnética

Quando um condutor é exposto a um campo magnético externo, ele será magnetizado por indução, que ocorrerá através da reorientação dos átomos por conta do alinhamento dos seus spins. Esse efeito é medido pela polarização magnética \mathbf{M} , ou momento de dipolo magnético por unidade de volume, e sua unidade de medida no SI é o ampere por metro (A/m).

Para meios isotrópicos e campos magnéticos de pequena magnitude, \mathbf{M} é proporcional à intensidade e direção de \mathbf{H} . A constante que define a magnetização de um corpo é a susceptibilidade magnética χ , definida por:

$$\mathbf{M} = \chi \mathbf{H}. \quad (1.6)$$

A susceptibilidade magnética é um parâmetro fundamental em prospecção magnética pois a resposta magnética das rochas é determinada pela susceptibilidade magnética do material (Lima, 2014).

1.2.5 Tipos de magnetização dos materiais

- Diamagnetismo

Correspondente às substâncias com susceptibilidade magnética negativa. É característico de materiais cujos átomos possuem orbitais completos. Um grande número de minerais siliciclásticos, bem como líquidos e gases dos poros das formações, são dia-

magnéticos, portanto exercem pouca influência sobre as propriedades magnéticas das rochas. Exemplos: calcita, quartzo, grafita, gipsita.

- Paramagnetismo

Corresponde às substâncias com susceptibilidade magnética positiva. É característico de materiais cujos átomos têm orbitais incompletos. Exemplos: olivinas e piroxênios.

- Ferromagnetismo

Em certos materiais os momentos atômicos vizinhos interagem fortemente entre si, alinhando-se paralelamente e causando uma magnetização espontânea. Exemplos: ferro e níquel. Dentro dos materiais ferromagnéticos ainda existem os antiferromagnéticos, cujos momentos alinham-se antiparalelamente. Exemplo: ilmenita e hematita. Existe ainda os ferrimagnéticos, cujos momentos alinham-se parcialmente de forma antiparalela. Exemplos: magnetita, titanomagnetita, óxidos de ferro e pirrotita. Materiais ferromagnéticos possuem a habilidade de reter a magnetização na ausência do campo externo, a essa propriedade dá-se o nome de magnetização remanescente (Blakely, 1995).

1.2.6 Minerais e rochas magnéticos

A magnetita (Fe_3O_4), mineral ferrimagnético, e suas soluções sólidas com o ulvoespínélio (Fe_2TiO_4) são os minerais mais importantes para o estudo geofísico das rochas em subsuperfície. Outros minerais como a hematita, pirrotita e ligas de ferro e níquel, são importantes, mas o volume, tamanho e a forma dos grãos de magnetita ainda são os fatores mais importantes na maioria das explorações geomagnéticas. De forma geral, as rochas máficas são mais magnéticas que as rochas com altos teores de sílica. As rochas extrusivas apresentam maior magnetização remanescente e menor susceptibilidade magnética que as rochas intrusivas de mesma composição. As rochas sedimentares e metamórficas geralmente possuem baixa magnetização remanescente e susceptibilidade magnética (Blakely, 1995).

1.2.7 Processamento de dados magnéticos

- Correção do IGRF

Como o campo geomagnético varia com o tempo, e devido à dificuldade em se estabelecer uma descrição duradoura, a IAGA (Associação Internacional de Geomagnetismo e Aeronomia) adota um novo IGRF (International Geomagnetic Reference Field) a cada cinco anos. A longo prazo, utilizando os dados até hoje coletados, a IAGA adota modelos para épocas passadas (Hinze et al., 2013).

- Correção das variações diurnas

Existem variações temporais no campo magnético que ocorrem aleatoriamente, com períodos de 1 segundo a mais de 2 minutos, e amplitude de até 0.1 nT. Para corrigir o efeito dessas variações pode-se utilizar um magnetômetro base, em posição fixa, para realizar medidas do campo magnético em certos intervalos de tempo ao longo da aquisição dos dados. Após a aquisição, faz-se a sincronização dos dados dos dois magnetômetros.

- Separação regional-residual

A anomalia de campo magnético total é resultado de fontes em todas as profundidades existentes na crosta terrestre. Para separar as anomalias de fontes rasas, com curto comprimento de onda e alta frequência, das anomalias de fontes profundas, com longo comprimento de onda e baixa frequência, é preciso realizar esse processamento, que pode ser feito de três formas: ajuste polinomial por mínimos quadrados; ajuste por polinômio robusto ou por continuação para cima.

- Continuação para cima

Transforma o campo potencial medido em uma superfície em um campo medido em outra superfície (Blakely, 1995). A continuação para cima tende a atenuar as anomalias de curto comprimento de onda, com alta frequência, e manter aquelas de maior comprimento de onda, com baixa frequência. Portanto, é possível utilizar esta transformação para estimar a componente regional no processo de separação das anomalias com diferentes profundidades de origem.

- Redução ao polo

Utilizada para corrigir o efeito de distorção na anomalia, causado quando o campo magnético é medido em locais em que a magnetização e o campo magnético não são verticais. Este processo transforma a anomalia dipolar em monopolar, tornando-o mais eficaz na delimitação das fontes. Entretanto, este processo não funciona bem em regiões de baixa latitude, visto que tanto a componente vertical do campo quanto os ruídos do dado são extremamente amplificados, dificultando a interpretação (Blakely, 1995).

- Amplitude do sinal analítico

Utilizada para localizar as bordas das fontes magnéticas rasas, pois ressalta as altas frequências. Segundo Blakely (1995), o sinal analítico, representado pela equação 1.7, é

formado pela combinação dos gradientes horizontais e verticais da anomalia magnética, não dependendo da direção de magnetização do corpo para casos bidimensionais.

$$A(x, y, z) = \sqrt{\left(\frac{\partial \Delta T}{\partial X}\right)^2 + \left(\frac{\partial \Delta T}{\partial Y}\right)^2 + \left(\frac{\partial \Delta T}{\partial Z}\right)^2} \quad (1.7)$$

- Inclinação do sinal analítico ou *tilt angle*

Transformação de fase utilizada para detectar fontes magnéticas ou gravimétricas, fornecendo informações sobre suas extensões horizontais. É dada pela razão entre a primeira derivada vertical e o gradiente horizontal total da intensidade do campo magnético total:

$$\text{tilt} = \tan^{-1} \left(\frac{\frac{\partial F}{\partial Z}}{\frac{\partial F}{\partial H}} \right), \quad (1.8)$$

onde

$$\frac{\partial F}{\partial H} = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial X}\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial Y}\right)^2}. \quad (1.9)$$

O *tilt angle* consegue detectar anomalias de diferentes amplitudes, tendo seu pico positivo sobre a fonte, pico zero sobre ou próximo às bordas e pico negativo fora da fonte. Assim, esta transformação funciona melhor para detectar a posição do centro das fontes do que a posição das suas bordas (Salem et al., 2007).

- Amplitude do sinal analítico do *tilt angle*

O filtro *tilt angle* não é aplicável a fontes profundas, porque as bordas dos corpos ficam desfocadas. Para superar este problema, o sinal analítico e o *tilt angle* foram combinados para produzir um novo filtro denominado ASTA, o qual produz resultados mais precisos do que os dois filtros originais. A ideia de produzir este novo filtro é que um zero no *tilt angle* determina as bordas do corpo, enquanto o valor máximo do sinal analítico fica sobre as bordas do corpo. Aplicando o ASTA, produzimos um novo filtro que tem seu valor máximo sobre as bordas do corpo, aumentando assim drasticamente a anomalia sem as complicações do sinal analítico e *tilt angle* que foram mencionados anteriormente (Ansari e Alamdar, 2011).

1.2.8 Interpretação de anomalias magnéticas

A anomalia magnética de um corpo finito contém elementos positivos e negativos, gerados pela natureza dipolar do magnetismo. As características das anomalias variam significativamente com a localização e orientação da fonte no campo geomagnético e podem ser ainda mais complicadas pelos efeitos da magnetização remanente. Desta forma, corpos de mesmo formato podem gerar anomalias magnéticas diferentes (Hinze et al., 2013).

A interpretação direta de anomalias magnéticas é feita utilizando-se a profundidade limite, deduzida de anomalias magnéticas pela propriedade de rápido decaimento com o aumento da distância da fonte. Já a interpretação indireta é feita por tentativa de igualar a anomalia observada à calculada por um modelo, através de ajustes iterativos (Kearey et al., 2009).

A amplitude e o caráter das assinaturas de anomalia de fontes magnéticas em subsuperfície variam com a geometria da fonte, incluindo volume, forma, e profundidade da fonte. A amplitude da anomalia magnética é uma função do contraste da propriedade magnética da fonte em relação às formações rochosas encaixantes, podendo variar de uma maneira complexa, devido à combinação de magnetização induzida pelo campo geomagnético e a intensidade e direção da magnetização remanescente. Assim, na avaliação de assinaturas de anomalias magnéticas típicas, deve-se considerar a orientação relativa da fonte no campo geomagnético, os atributos direcionais e de intensidade do campo geomagnético, e a magnetização total da fonte e da rocha circundante, dada pela soma da magnetização induzida com a magnetização remanescente (Hinze et al., 2013).

1.3 Modelagem geofísica

A modelagem geofísica é utilizada na tentativa de se criar uma representação da configuração das rochas em subsuperfície através da variação espacial das propriedades físicas na região de estudo. Neste processo, estima-se um ou mais parâmetros da fonte a partir do campo magnético observado, incorporando todas as informações geológicas e geofísicas sobre a área de estudo.

A técnica de modelagem geofísica pode ser dividida em dois métodos. Ambos possuem o mesmo objetivo, descrever a distribuição espacial de fontes magnéticas ou gravitacionais, apesar de utilizarem processos lógicos bastante diferentes. No método direto, um modelo inicial para o corpo fonte é construído com base na intuição geológica e geofísica. A anomalia do modelo é calculada e comparada com a anomalia observada, e os parâmetros do modelo são modificados para melhorar o ajuste entre as duas anomalias. Este processo de três etapas de ajuste do corpo, cálculo de anomalias e comparação de anomalias é repetido até que as

anomalias calculadas e observadas sejam consideradas suficientemente semelhantes. Já no método inverso, um ou mais parâmetros do corpo são calculados diretamente a partir da anomalia observada (Blakely, 1995).

1.3.1 Modelagem direta

A modelagem direta foi realizada utilizando o GM-SYS, um módulo incluso no programa Oasis Montaj - Geosoft que permite a manipulação intuitiva e interativa de polígonos que representam o meio geológico e o cálculo em tempo real dos respectivos campos magnéticos gerados a partir das informações atribuídas aos polígonos. Ou seja, a modelagem direta envolve a criação de um modelo geológico hipotético e o cálculo da resposta geofísica proveniente deste modelo.

Modelos geofísicos não possuem unicidade, isto é, vários modelos da Terra podem produzir a mesma resposta magnética. Além disso, muitas soluções podem não ser geologicamente realistas. Devido a essa ambiguidade e a não linearidade do processo, o resultado final ou a solução dependem do modelo inicial. Quanto melhor for o modelo inicial, melhor será o resultado (NGA Inc., 2004).

O GM-SYS usa um modelo bidimensional e plano para os cálculos magnéticos, ou seja, cada unidade estrutural ou bloco se estende para mais e menos infinito na direção perpendicular ao perfil. Presume-se que a terra tenha topografia, mas não possui curvatura. O modelo também se estende mais e menos 30.000 quilômetros ao longo do perfil para eliminar os efeitos de borda. Os métodos utilizados para calcular a resposta do modelo magnético são descritos por Talwani et al. (1959) e Talwani (1964), e fazem uso dos algoritmos descritos por Won e Bevis (1987).

Modelo magnético tridimensional de lâminas empilhadas

Com o intuito de calcular o campo magnético devido a corpos de formato arbitrário, Talwani (1965) usou a integral de volume da equação 1.10 para a formulação de um algoritmo. Esta equação descreve o campo magnético gerado por um volume de material magnético, onde \mathbf{M} é a magnetização, e r é a distância entre o ponto de observação P ao elemento dv do corpo. O valor da constante C_m depende do sistema de unidades utilizado,

$$\mathbf{B} = -C_m \nabla_P \int_R \mathbf{M} \cdot \nabla_Q \frac{1}{r} dv. \quad (1.10)$$

A maioria dos levantamentos magnéticos medem a anomalia de campo total ou uma única componente de \mathbf{B} . A anomalia de campo total é dada aproximadamente pela expressão 1.11, onde $\hat{\mathbf{F}}$ é um vetor unitário na direção do campo regional,

$$\Delta T = -C_m \hat{\mathbf{F}} \cdot \nabla_P \int_R \mathbf{M} \cdot \nabla_Q \frac{1}{r} dv. \quad (1.11)$$

O corpo magnético é aproximado por uma pilha de lâminas, e cada lâmina é aproximada por um polígono, os limites poligonais das lâminas individuais são facilmente obtidos de mapas de contorno topográfico. Por isso, a integral de volume da equação 1.10 é resolvida analiticamente nas direções x e y e numericamente na direção z . Plouff (1975) e Plouff (1976) estenderam o método de Talwani (1965) substituindo as lâminas infinitamente finas por camadas de espessura finita, proporcionando assim uma representação mais precisa do corpo modelado. A expressão teórica para o campo magnético de uma camada poligonal individual foi derivada Plouff (1975) por integração em relação à profundidade do campo causada por uma lâmina.

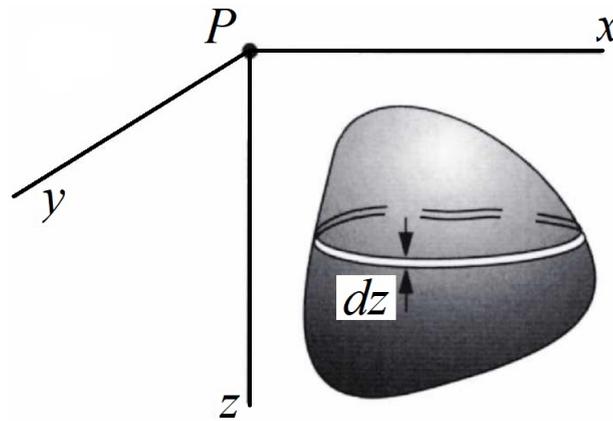


Figura 1.4: Aproximação de um corpo tridimensional por uma pilha de lâminas (Blakely, 1995).

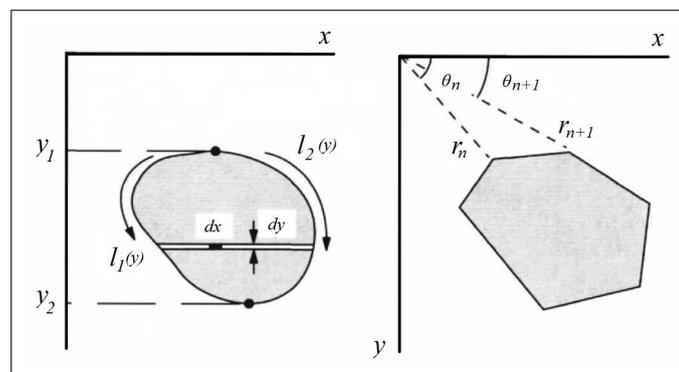


Figura 1.5: Cada lâmina aproximada por um polígono (Blakely, 1995).

1.3.2 Modelagem inversa

O programa utilizado para estimar de forma rápida as fontes magnéticas da área de estudo através da inversão geofísica de dados de campo magnético total é um código operado no ambiente Matlab, denominado MAG2DATA (Stocco et al., 2009). Uma interface gráfica interativa permite que a susceptibilidade magnética seja atribuída a cada prisma de uma seção vertical. Os parâmetros a serem escolhidos são a intensidade de indução magnética do campo terrestre, inclinação magnética, ângulo entre a direção do perfil e o norte magnético.

A ferramenta de inversão permite selecionar o número de iterações, o parâmetro de amortecimento e o contraste de susceptibilidade magnética esperado no alvo. Outros parâmetros estatísticos são introduzidos para guiar o melhor ajuste entre o dados calculados e observados.

O processo de inversão considera o perfil de dados observados, e através de um procedimento de otimização, estima a distribuição da susceptibilidade magnética, formato e volume do corpo magnético enterrado. Este passo é geralmente afetado por algumas ambiguidades devido a má representação do problema, o mau condicionamento dos sistemas lineares ou linearizados e pelas dificuldades envolvidas na propagação de incertezas da solução.

O princípio da inversão compacta de Last e Kubik (1983) busca minimizar a área do corpo fonte, que é o mesmo que maximizar sua compactidade, através de um processo iterativo, no qual matrizes de ponderação mudam a cada iteração até que uma convergência de solução satisfatória seja obtida. Como na maioria dos casos, lidamos com problemas ligeiramente subdeterminados, precisamos resolver o problema inverso usando o método dos mínimos quadrados amortecidos ponderados. Essa solução é dada pela equação 1.12. Dados m prismas de susceptibilidade desconhecida e n dados medidos:

- v é o vetor de susceptibilidades desconhecidas com dimensões $m \times 1$;
- d é o conjunto de dados magnéticos observados com dimensões $n \times 1$;
- W_v é a matriz de ponderação de susceptibilidade, diagonal, com dimensões $m \times m$;
- W_e é a matriz de ponderação do ruído, diagonal, com dimensões $n \times n$;
- G é o kernel com dimensões $n \times m$;

A matriz de ponderação de susceptibilidade está representada na equação 1.13, onde k é a iteração e ε o número de perturbação, cujo valor está entre 10^{-13} e 10^{-10} ,

$$v = W_v^{-1} G^T (G W_v^{-1} G^T + W_e^{-1})^{-1} d, \quad (1.12)$$

$$[W_v^{(k-1)}]_{ii}^{-1} = [v_i^{(k-1)}]^2 + \varepsilon. \quad (1.13)$$

A matriz de ponderação de ruído é uma matriz de covariância que depende, a posteriori, da matriz de ponderação de suscetibilidade, do kernel, e de um parâmetro que indica a estimativa da razão ruído/sinal (R/S). Esta matriz tem a forma dada pela equação 1.14,

$$W_e^{-1} = (R/S)diag(GW_v^{-1}G^T). \quad (1.14)$$

A fim de assegurar a qualidade do melhor ajuste e a confiabilidade dos parâmetros do modelo, a matriz de resolução do modelo e o valor singular de decomposição da matriz de kernel são calculadas. A matriz de resolução do modelo indica se os parâmetros do modelo podem ser previstos ou resolvidos independentemente (Menke, 2018). Seleccionando um limite na matriz de resolução do modelo, é possível avaliar a melhor malha da subsuperfície e determinar a profundidade máxima para a qual a seção vertical do modelo pode ser estendida. Este procedimento permite reduzir o número dos parâmetros do problema. É possível também controlar como a resolução do modelo é modificada no procedimento de inversão por avaliá-lo em cada iteração. As mudanças na resolução são relacionadas às mudanças nas matrizes de ponderação e, portanto, a inversa generalizada, durante o processo iterativo. A resolução do modelo é muito afetada pela escolha do parâmetro ruído/sinal.

Valores altos significam que o resultado da inversão é realmente compacto, mesmo que o ajuste com os dados experimentais não seja otimizado. Essa abordagem também é útil para interpretação de dados muito ruidosos. Por outro lado, com baixos valores de ruído/sinal, o procedimento de inversão melhor se ajusta aos dados, entretanto, a compacidade da solução pode não ser obtida.

Capítulo 2

Caracterização da área estudada

2.1 Localização e acesso

A Serra das Éguas situa-se no município de Brumado, na região sudoeste do estado da Bahia, limitando-se por outros onze municípios. Em sua porção norte, Brumado faz limite com os municípios de Livramento de Nossa Senhora e Dom Basílio. Em sua porção nordeste, faz limite com os municípios de Rio de Contas, Tanhaçu e Ituaçu. Em sua porção leste, faz limite com Aracatu. A oeste, faz limite com Rio do Antônio e Lagoa Real. A sudoeste faz limite com Malhada de Pedras. Em sua porção sul, faz limite com os município de Presidente Jânio Quadros e Maetinga.

O acesso a área de estudo, a partir de Salvador, é feito pelas vias BR - 324, BR - 116, BA-026 e BR-030, representadas pela linha vermelha no mapa da figura 2.1, percorrendo 543 km até o município de Brumado.

2.2 Contexto geológico

A Serra das Éguas está inserida regionalmente num contexto geológico caracterizado por Pedreira et al. (1975) como Complexo de Brumado, formado por quartzitos, xistos, filitos, calcários, dolomitos, mármore magnésicos, itabiritos, anfibolitos e gnaisses. O embasamento desta região é caracterizado pela presença de gnaisses de médio grau e migmatitos de idade arqueana (Cordani et al., 1985).

Cunha et al. (2012) caracterizaram a Serra das Éguas como a faixa mais expressiva do *Greenstone Belt* Brumado, dividindo-o em três sequências:

- Sequência inferior: composta por rochas metavulcânicas ultramáficas de afinidade komatiítica e metavulcânicas máficas toleíticas, com intercalações de sedimentos químicos e terrígenos;

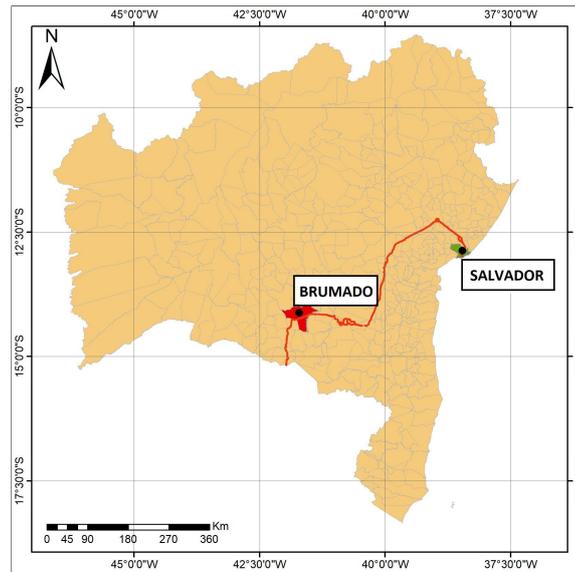


Figura 2.1: Localização e acesso ao município de Brumado - BA, onde se situa a área de estudo.

- Sequência intermediária: constituída por rochas xistosas félsicas ricas em biotita e granada, além de rochas calcissilicáticas;
- Sequência superior: formada por metassedimentos carbonáticos, quartzitos e formações ferríferas.

Entretanto, os estudos de Cruz et al. (2012) referem-se a esta região não mais como um *Greenstone Belt*, mas como parte integrante do Orógeno Araçuaí, fazendo contato oriental com as rochas neoarqueanas alcalinas e anorogênicas da Suite Caraguataí, e ocidental com as rochas paleoarqueanas do Complexo Gavião.

2.2.1 Geologia local

Segundo Cunha et al. (2012), a estrutura braquissinformal suspensa possui um formato semielíptico, com extensão de 22 x 10 km e orientação geral NE-SW, preservada do corte erosivo pela sua própria estruturação e pelo capeamento de litologias mais resistentes ao intemperismo, como quartzitos e formações ferríferas.

A Serra das Éguas possui sobre seu embasamento três unidades bem distintas segundo Oliveira et al. (1997), ilustradas na coluna estratigráfica da Figura 2.2 e descritas a seguir:

- Embasamento: composto por biotita gnaises com anfíbolitos, migmatitos e metatextos e granitos.

- Unidade base: constituída por anfibolitos, mármore dolomíticos e actinolita-tremolita-mármore. Esta unidade é marcada por seu caráter vulcanogênico, determinado por pelo menos duas fases de vulcanismo básico-ultrabásico.
- Unidade intermediária: formada por mármore magnésíticos, actinolita-mármore e rochas cálciosilicáticas, rochas de natureza químico-sedimentar.
- Unidade topo: composto por sericita quartzitos, dolomita-quartzitos, quartzitos ferruginosos e silexites ferruginosos gradando para itabiritos, de uma contribuição epiclástica.

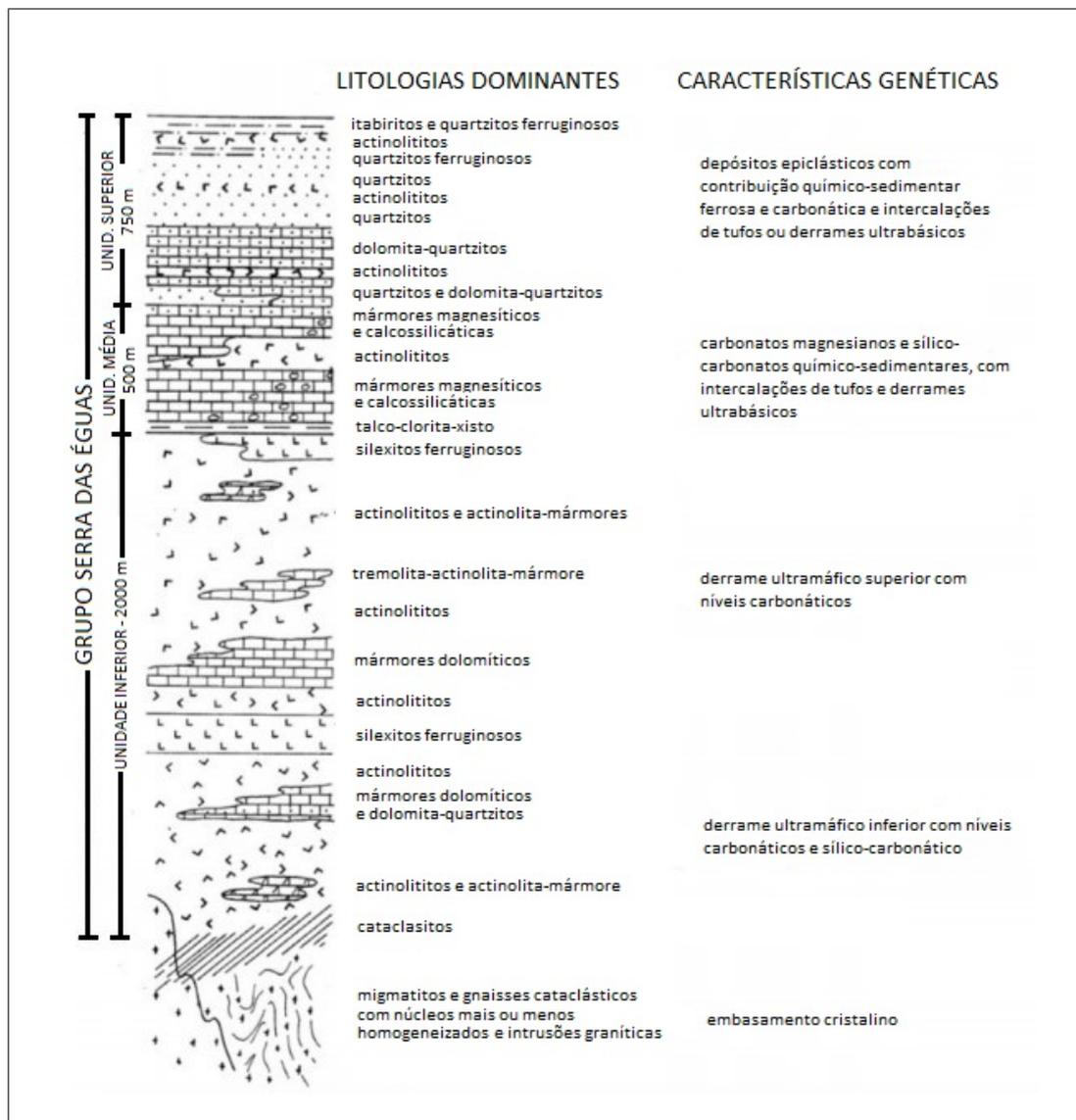


Figura 2.2: Coluna estratigráfica da Serra das Éguas modificada de Oliveira et al. (1997).

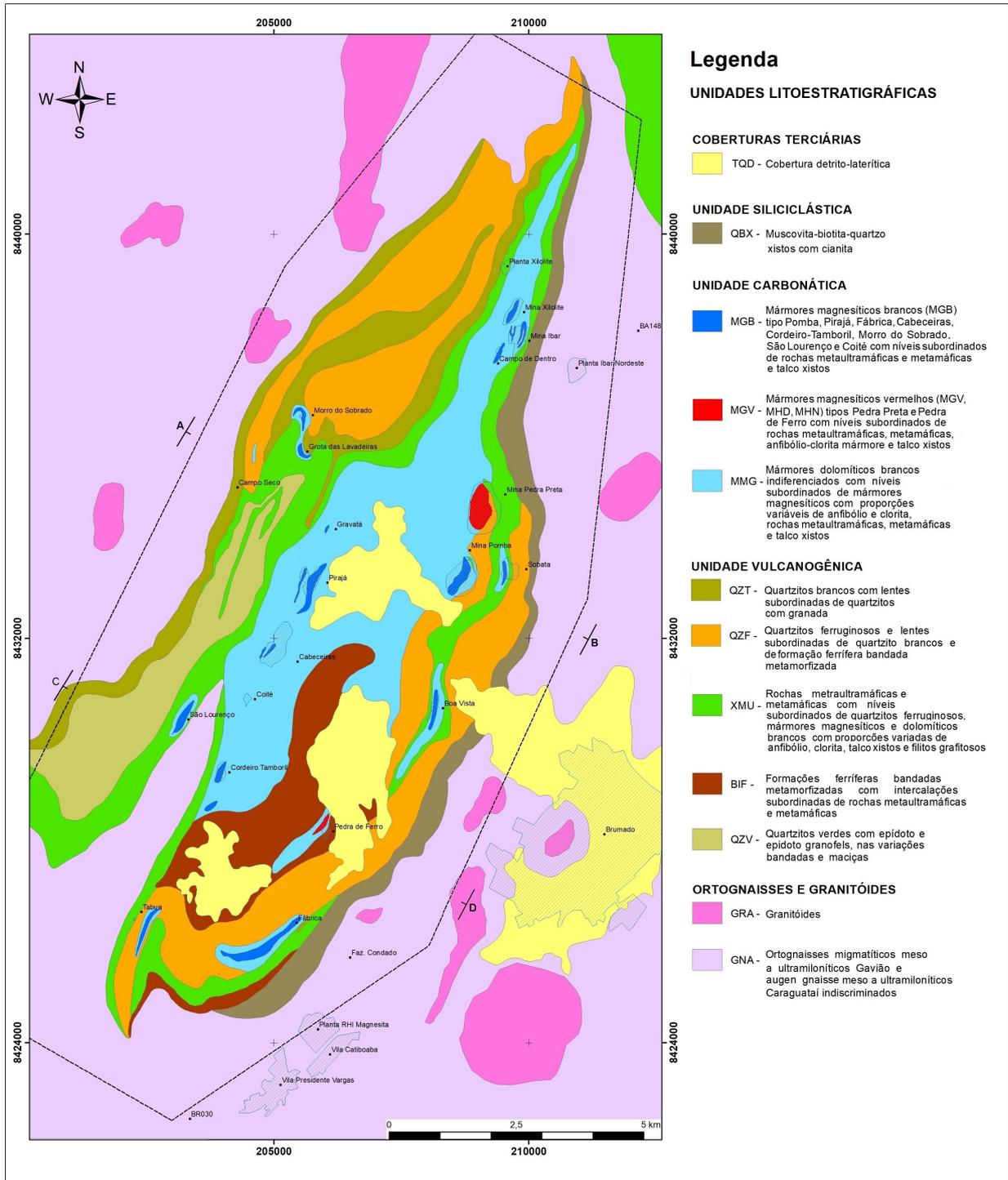


Figura 2.3: Mapa geológico mostrando a localização dos perfis AB e CD ao longo dos quais os modelos direto e inverso deste trabalho foram construídos, modificado de Paim et al. (2018).

Capítulo 3

Aquisição e processamento de dados

3.1 Dados radiométricos

3.1.1 Aquisição dos dados em testemunhos de sondagem

Esta etapa foi realizada no galpão de testemunhos de furos de sondagem da RHI Magnesita, localizado na Serra das Éguas. As medições ocorreram em duas campanhas, a primeira foi realizada em 5 dias consecutivos e a segunda em 6 dias consecutivos nos meses de setembro e novembro de 2018.

Durante o trabalho de campo foram selecionados dez furos de sondagem para a realização de medidas de gamaespectrometria ao longo de toda a extensão dos testemunhos. Os furos selecionados foram BA 04 (alvo Barroca dos Veados), FG 02, FG 04 (alvo Gravatá), FSP 04, FSP 05, SPO 141, SPO 146 (alvo Pomba), SGL 17 (alvo Grota das Lavadeiras), SLO DD 08 (Alvo São Lourenço), SPF FM 01, SPF FM 02 (alvo Pedra de Ferro), SPP 049 e SPP 203 (alvo Pedra Preta), e foram estrategicamente escolhidos por apresentarem ao longo de sua extensão exposições tanto de magnesita como das rochas que frequentemente ocorrem associadas à mineralização.

As medidas foram realizadas de três em três metros devido à existência de variações significativas nos dados dentro deste intervalo. As amostras foram removidas de suas respectivas caixas e medidas no ar com a duração de trinta segundos para cada amostra conforme mostrado na Figura 3.1.

O equipamento utilizado para medir a radiação gama foi o RS-125 Super Espectrômetro de Raios Gamma produzido pela Radiation Solutions Inc. e pertencente ao CPGG-UFBA (Figura 3.1). Este equipamento é um espectrômetro portátil, formado por um cintilômetro de iodeto de sódio com tálio e um analisador de amplitude de 125 canais. Quando colocado sobre uma superfície emissora de radiação gama, a interação da energia com o cristal de NaI(Tl) libera elétrons e íons positivos e as válvulas multiplicadoras convertem estas cintilações em



Figura 3.1: Aquisição de dados gamaespectrométricos em testemunhos de furos de sondagem com o espectrômetro RS-125.

impulsos elétricos que são convertidos em contagem total.

3.1.2 Levantamento aéreo

Neste trabalho também foram utilizados os dados aerogamaespectrométricos coletados pela Companhia Baiana de Pesquisa Mineral - CBPM no Projeto Aerogeofísico Barra da Estiva/Tremedal, e adquiridos pela RHI MAGNESITA visando relacionar as mineralizações e as unidades litológicas com os teores de urânio, tório e potássio.

Nesta etapa de aquisição de dados foi utilizado um gamaespectrômetro da EXPLORANIUM, modelo GR-820, de 256 canais espectrais, onde o espectro de cada um dos cristais detectores é analisado individualmente para a determinação precisa dos fotopicos de potássio, urânio e tório, a bordo da aeronave Piper Navajo Chieftain PA31-350, prefixo PR-PRS. As leituras do gamaespectrômetro foram realizadas a cada segundo, representando medições com intervalos de amostragem de cerca de 75 metros. As linhas de vôo e controle foram espaçadas de 0,5 km e 5 km, respectivamente, e orientadas nas direções Leste-Oeste e Norte-Sul. Para a cobertura da área relativa ao projeto, foram realizadas 555 linhas de vôo e 33 linhas de controle, totalizando 35.503,84 km de perfis geofísicos. A altura de vôo foi fixada

em 100 metros acima do terreno, podendo ter variações de até 15 metros (CBPM, 2008).

3.2 Dados magnéticos

3.2.1 Aquisição dos dados em testemunhos de sondagem

Da mesma forma que foram coletados os dados de gamaespectrometria nos testemunhos de sondagem, foram feitas as medições de susceptibilidade magnética, utilizando os mesmos testemunhos de sondagem. O principal intuito desta metodologia consiste em observar se há contraste de susceptibilidade magnética entre os diversos litotipos e se é possível caracterizá-los por tal propriedade.

As medidas foram realizadas de três em três metros com as amostras no ar. Foi registrada a média de três medidas de suscetibilidade magnética para cada amostra, de maneira que cada medida durava cerca de sete segundos.

O equipamento utilizado para medir a susceptibilidade magnética foi o susceptibilímetro portátil KT-10 da Terraplus (Figura 3.2) pertencente ao CPGG-UFBA. Este equipamento mede a susceptibilidade magnética utilizando um oscilador LC (circuito com um indutor e um capacitor) de 10 kHz com uma bobina indutiva, a partir da diferença de frequência entre duas medições em ar livre e uma medição numa amostra. Além disso, ele também leva em conta as correções geométricas para determinar a verdadeira susceptibilidade.



Figura 3.2: Susceptibilímetro KT-10 (Terraplus Inc., 2013).

3.2.2 Levantamento aéreo

Neste trabalho também foram utilizados dados aeromagnetométricos coletados pela Geotech Airbone Limited & Microsurvey Aerogeofísica e Consultoria Científica LTDA no Projeto Serra das Éguas para a Minerco Mineração S.A., e adquiridos pela RHI MAGNESITA.

Nesta etapa de aquisição de dados foram utilizados dois magnetômetros bombeados opticamente por vapor de césio da Geometrics, um a bordo do helicóptero AS 350 B2, como demonstrado na Figura 3.3, e o outro fixo numa base. As leituras do magnetômetro a bordo foram realizadas a uma taxa de 10 amostras por segundo, com resolução de leitura de 0,02 nT, enquanto que as leituras do magnetômetro base foram realizadas a uma taxa de 1 amostra por segundo, com resolução de 0,001 nT.

As linhas de vôo e controle foram espaçadas de 0,25 km e 2,5 km, respectivamente, e orientadas nas direções $120^\circ - 300^\circ$ e $30^\circ - 210^\circ$. Para a cobertura da área relativa ao projeto, foram realizadas 88 linhas de vôo e 3 linhas de controle. A altura de vôo foi fixada a 85 metros acima do terreno, podendo ter variações devido às condições de terreno acidentado da área (Gazolla e Zanon, 2008).

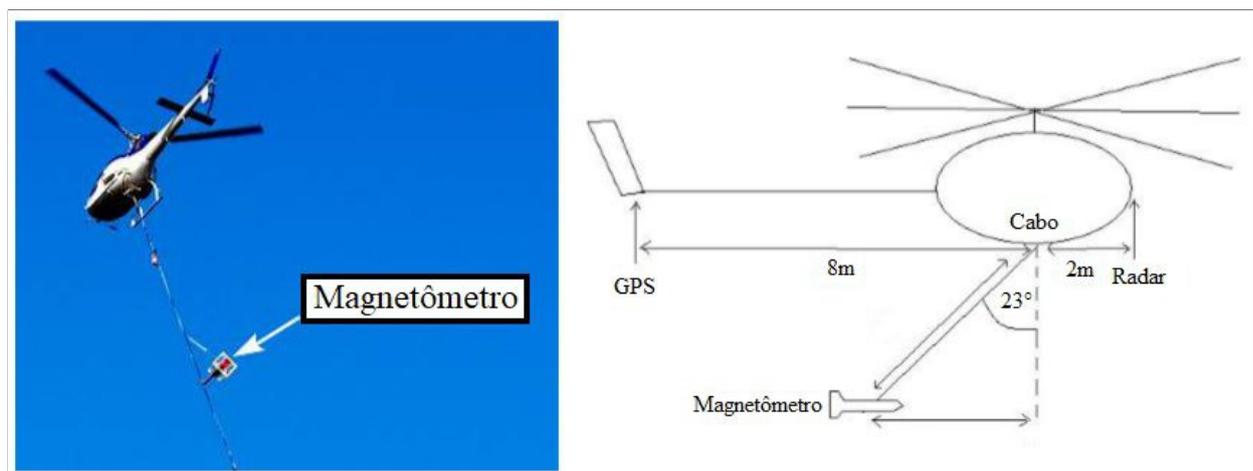


Figura 3.3: Configuração do magnetômetro utilizado para a aquisição de dados geofísicos a bordo do helicóptero (Gazolla e Zanon, 2008).

3.3 Processamento dos dados de testemunhos de sondagem

Os dados coletados nos testemunhos com o susceptibilímetro e o gamaespectrômetro foram transcritos manualmente e organizados em planilhas que estão apresentadas no Apêndice A.

Utilizando o software Oasis Montaj da Geosoft, foi aplicado um filtro passa banda nos dados com a finalidade de suavizar as curvas obtidas que apresentavam mudanças bruscas de valor.

Com base nos dados coletados nos testemunhos de sondagem e suas respectivas descrições litológicas, foram confeccionados perfis utilizando o software LogPlot 7 da RockWare, com o objetivo de verificar de maneira visual a relação entre a variação das propriedades medidas e as litologias.

3.4 Processamento dos dados de levantamento aéreo

Os dados cedidos pela RHI Magnesita utilizados neste trabalho foram disponibilizados em arquivos de banco de dados da Geosoft (GDB). Estes dados foram interpolados através do método de mínima curvatura, que ajusta superfícies suavizadas de curvatura mínima em toda a malha de dados. O tamanho utilizado para as células de interpolação foi de 62 m, este valor refere-se a 1/4 da distância de separação entre as linhas do levantamento aéreo. Utilizando o método descrito foi gerada a malha da anomalia de campo total. A partir da malha da anomalia de campo total foi gerada a malha da anomalia de campo residual, utilizando o filtro Butterworth. Também foram produzidas as malhas de amplitude do sinal analítico, *tilt angle* e sinal analítico do *tilt angle* (ASTA). Nestes três últimos mapas foi necessário aplicar uma continuação para cima de 50 metros, com a finalidade de eliminar falsas anomalias geralmente geradas ao longo das linhas de vôo.

A partir do mapa magnético de sinal analítico e canais de potássio, urânio e tório foi confeccionado um mapa litogeofísico, utilizando o esquema de interpretação de unidades geofísicas descrito por Sena (2016), no qual são dados valores de 1 a 3 à intensidade das anomalias de cada mapa, onde 1 significa um valor baixo, 2 um valor intermediário e 3 um valor alto. O primeiro dígito refere-se à magnetização medida pelo mapa de amplitude do sinal analítico, o próximos dígitos referem-se respectivamente à concentração em potássio, tório e urânio. Então agrupou-se as anomalias que coincidem espacialmente.

Os dados utilizados na modelagem inversa foram extraídos diretamente da malha de campo magnético residual, e exportados para um arquivo de texto, onde foram reamostrados utilizando a ferramenta de filtragem de dados do programa MAG2DATA.

Capítulo 4

Resultados e discussões

4.1 Perfis radiométricos e de susceptibilidade magnética

Os resultados apresentados nesta seção dizem respeito à aquisição de dados gamaespectrométricos e de susceptibilidade magnética adquiridos nos dez testemunhos de furo de sondagem. Além dos canais gamaespectrométricos de potássio, urânio e tório, utilizou-se também para a análise a razão U/Th. Para os testemunhos de sondagem SPO 141, SPO 146, SPP 049 e SPP 203 foram exibidos também os perfis de concentração em MgO e Fe_2O_3 obtidos através de análise química.

- Furo BA 04: O perfil deste testemunho (Figura 4.1) não apresenta mudanças significativas de litologia ao longo de toda sua extensão. É composto em sua totalidade por magnesita branca com intercalações de talco. O canal do Tório neste perfil apresentou dois picos, um na profundidade de 15 metros e outro na profundidade de 55 metros. Nestas duas profundidades as litologias apresentaram algum tipo de alteração. Os outros canais gamaespectrométricos não apresentaram um padrão de anomalias.
- Furo FG 02: Similarmente ao perfil anterior, o perfil deste testemunho (Figura 4.2) também não apresenta mudanças significativas de litologias, nem padrões de anomalias, diferenciando-se do anterior pela presença de clorita e anfibólios disseminados.
- Furo FSP 04: Este testemunho é formado por magnesita branca, talco e rochas máficas. No seu perfil (Figura 4.3) foi possível identificar um pico na curva de susceptibilidade magnética nas profundidades de 50 a 75 metros, onde se encontra magnesita associada a níveis esverdeados e um nível máfico esverdeado e porfirítico. Este testemunho não apresenta mudanças litológicas nos canais gamaespectrométricos.
- Furo FSP 05: Similarmente ao anterior, este testemunho é composto por magnesita

branca e vermelha, talco e rochas máficas. O perfil deste testemunho (Figura 4.4) apresenta um contraste na curva de susceptibilidade magnética a partir da profundidade de 150 metros. Nestas profundidades encontram-se rochas ricas em biotita, biotita-xisto, biotita com quartzo, rochas máficas e ultramáficas, anfibólios, stockworks sulfetados e sulfetos disseminados.

- Furo SPO 141: Este testemunho é basicamente composto por magnesita e talco. No seu perfil (Figura 4.6) não foi possível relacionar a litologia com os dois picos de susceptibilidade magnética nos primeiros 30 metros de profundidade. Os canais radiométricos também não apresentaram um padrão de anomalias. O canal Fe_2O_3 apresentou dois picos nas profundidades entre 145 e 165 metros, podendo estar relacionados à presença de hematita disseminada na litologia. O perfil de MgO apresentou dois picos negativos nas profundidades próximas a 198 e 220 metros, podendo estar relacionados a presença de talco mármore.
- Furo SPO 146: Este testemunho é formado por clorita mármore, magnesita branca e talco clorita mármore. Neste perfil (Figura 4.7) não foi possível estabelecer nenhuma relação entre as curvas e as litologias.
- Furo SPF FM 01: O perfil do testemunho SPF FM 01 (Figura 4.9) mostra um valor de background para a susceptibilidade magnética da ordem de 253×10^{-3} , mas com uma frequência maior de picos ao longo dos seus 270 metros. Os picos mais significativos ocorrem nas profundidades em torno de 40, 80, 100, 140, 150, 180, e 200 metros, com valores que alcançam 5395×10^{-3} . Grande parte destes valores anômalos está associada às rochas máficas e fortemente foliadas, com clara presença de magnetita. Este testemunho não apresenta clara distinção dos litotipos nos canais gamaespectrométricos.
- Furo SPF FM 02: O perfil do testemunho de sondagem SPF FM 02 (Figura 4.11) apresenta na curva de susceptibilidade magnética, picos nas profundidades de 40 metros, 60 metros, 195 a 250 metros e 265 metros. Todos esses valores altos se relacionam com a litologia descrita, caracterizada pela presença de magnetita.
- Furo SPP 049: Para o testemunho SPP 049 (Figura 4.12), com cerca de 170 metros de extensão, observa-se um comportamento homogêneo para a maioria das rochas até a profundidade de aproximadamente 140 metros, onde as medidas de susceptibilidade passam de $0,0023 \times 10^{-3}$ para $2,27 \times 10^{-3}$, esta última, correspondente a um intervalo que contém magnesita, talco xisto e rochas máficas. Nesta mesma profundidade pode-se observar um valor alto para o canal de Fe_2O_3 e um baixo valor para o canal de MgO , bem como nas profundidades entre 40 e 80 metros, relacionando essas curvas

com a presença de magnetita. Os valores gamaespectrométricos apresentam variações suaves entre as litologias, com comportamento similar para os quatro canais, além de não mostrarem nenhum padrão específico neste testemunho.

- Furo SPP 203: O testemunho de sondagem SPP 203 (Figura 4.13) é composto em sua integridade por magnesitas, variando apenas nas proporções entre magnesitas vermelhas e brancas. O perfil de susceptibilidade magnética deste testemunho apresenta dois picos, porém estes valores não refletem mudanças litológicas. Os picos de Fe_2O_3 nas profundidades entre 15 e 30 metros podem estar relacionados à presença de magnetita disseminada na litologia. Todos os outros canais não apresentaram padrões em suas curvas.

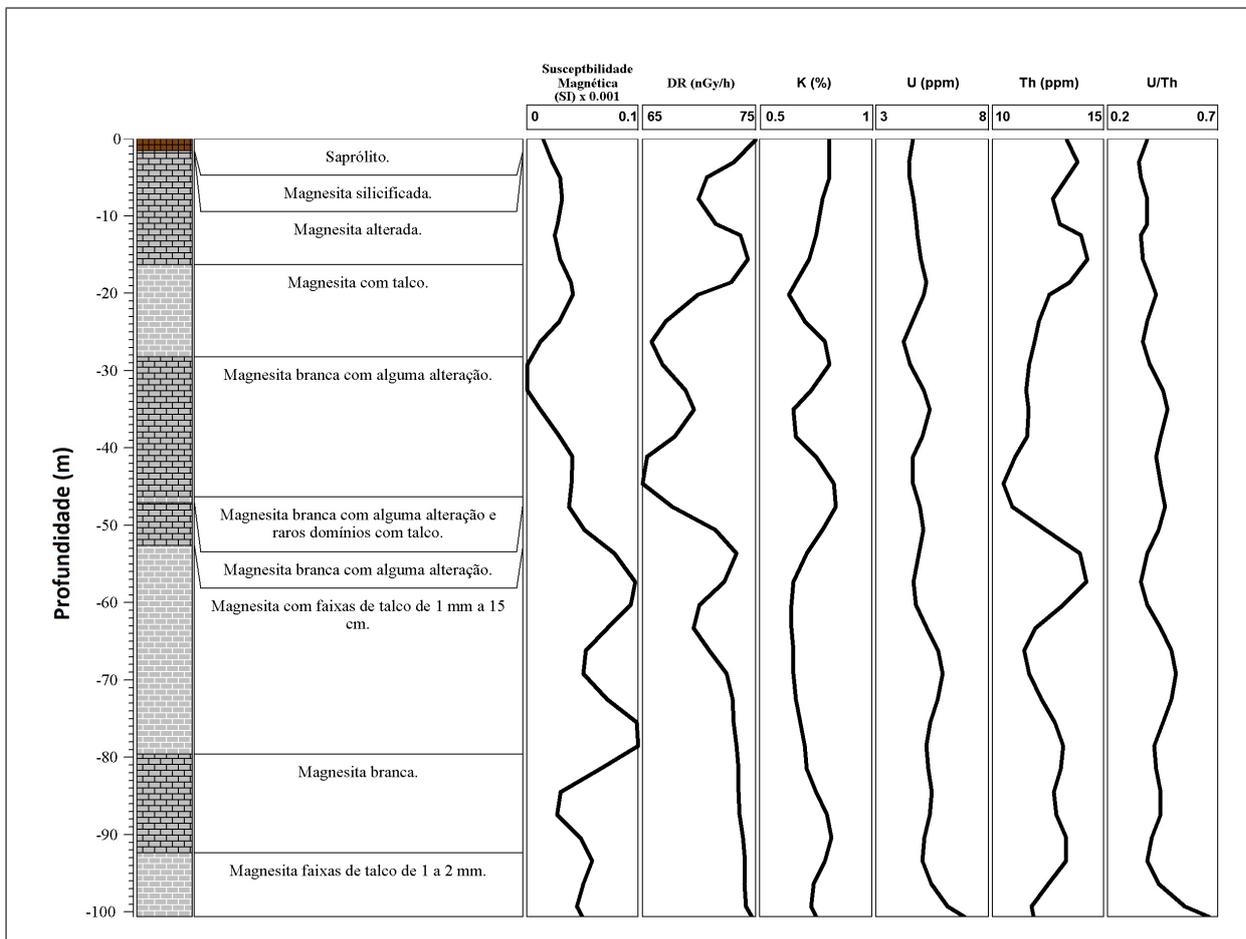


Figura 4.1: Perfil de susceptibilidade magnética e gamaespectrometria realizadas ao longo do testemunho de sondagem do furo BA 04, alvo Barroca dos Veados.

4.2 Mapas radiométricos e magnetométricos

Como produtos dos levantamentos radiométrico e magnetométrico na Serra das Éguas, foram gerados os mapas de concentração em tório (Figura 4.14), urânio (Figura 4.15), potássio (Figura 4.16), mapa ternário (Figura 4.17), anomalia de campo magnético total (Figura 4.18), anomalia de campo magnético residual (Figura 4.19), sinal analítico (Figura 4.20). Além destes, foram confeccionados os mapas de *tilt angle* (Figura 4.21), ASTA (Figura 4.22). Todos estes mapas foram superpostos pelo contorno do mapa geológico apresentado na Figura 2.3.

As imagens dos registros gamaespectrométricos relativas a tório, urânio e potássio mostram uma contribuição menos intensa desses elementos na porção central da Serra das Éguas, sendo mais intensa fora do domínio do orógeno, a noroeste, sudeste e extremo centro norte, com excessão apenas para uma unidade a sudoeste dentro dos limites da serra. Esse padrão mais intenso de conteúdo radiométrico está relacionado à presença de corpos de granito à biotita cinza, granito rosado e ao embasamento cristalino com ortognaisses migmatíticos meso a ultramiloníticos Gavião e augen gnaisses meso a ultramiloníticos Caraguataí. Este mesmo comportamento dos radioelementos foi observado por Silva e Sampaio (2017) para o granito de Campo Formoso.

Na porção centro norte da serra observou-se uma ótima correlação entre as anomalias de baixo valor de urânio e tório e algumas litologias como quartzitos brancos com lentes subordinadas de quartzitos com granada, quartzitos ferruginosos, lentes subordinadas de quartzito branco e de formação ferrífera bandada metamorfozada. No quadrante sudoeste também foi possível observar a coincidência entre a baixa anomalia nos três mapas e a litologia composta por quartzitos ferruginosos, lentes subordinadas de quartzito branco e de formação ferrífera bandada metamorfozada e cobertura detrito-laterítica.

O mapa gamaespectrométrico ternário (Figura 4.17) mostra uma semelhança entre o nordeste e o sudoeste da Serra das Éguas, onde há uma contribuição maior de urânio, bem como nas proximidades da mina de Boa Vista, onde esse elemento delimita perfeitamente uma unidade geológica composta por muscovita-biotita-quartzo xistos com cianita.

Na parte central da serra é possível identificar uma contribuição mais predominante do tório, nesta unidade geológica encontram-se os mármores dolomíticos brancos indiferenciados com níveis subordinados de mármores magnésíticos com proporções variáveis de anfíbólio e clorita, rochas metaultramáficas, metamáficas e talco xistos, além de coberturas detrito-lateríticas. Esta última unidade foi perfeitamente mapeada por duas anomalias de valor intermediário no mapa de concentração em tório. Silva e Sampaio (2017) descreveram o mesmo comportamento para as anomalias radiométricas das rochas gnáissicas com corpos de metacherts, mármores, anfíbolitos e diopsiditos encontrados no Complexo Medrado-Ipueira-

Pedra do Dórea.

Como pode-se notar no mapa de anomalia de campo magnético total (Figura 4.18), existem duas zonas muito magnéticas que definem dois domínios magnéticos claros, um menor situado no limite noroeste da área e outro, situado na porção centro-sul da serra. Estas zonas mais magnetizadas, dois grandes dipolos, com altos e baixos, podem estar associadas às formações ferríferas bandadas metamorizadas com intercalações subordinadas de rochas metamáficas e metaultramáficas presentes na porção central ao sul, e aos quartizitos ferruginosos e lentes subordinadas de quartzito branco e de formação ferrífera bandada metamorizada presentes no limite da serra a noroeste. Este mesmo tipo de assinatura magnética foi descrito por Silva e Sampaio (2017) na caracterização geofísica das formações ferríferas bandadas do Complexo Ibicuí-Ipiaú, as quais estão associadas a processos vulcanossedimentares ou químico-sedimentares.

No mapa de anomalia de campo magnético total ainda é possível observar uma direção de tendência estrutural da serra a N30E. Essa tendência fica ainda mais evidenciada nos mapas de campo magnético residual, *tilt angle* e ASTA, que mostram um padrão evidente sob a forma de feições lineares concordantes com as feições geológicas mapeadas na Figura 2.3.

No mapa de sinal analítico (Figura 4.20) as anomalias antes dipolares tornaram-se centralizadas, coincidindo exatamente com os domínios geológicos citados anteriormente, formações ferríferas bandadas metamorizadas com intercalações subordinadas de rochas metamáficas e metaultramáficas presentes na porção central ao sul, e quartizitos ferruginosos e lentes subordinadas de quartzito branco e de formação ferrífera bandada metamorizada presentes no limite da serra a noroeste.

O mapa de interpretação litogeofísico (Figura 4.23), construído agrupando-se as anomalias que coincidem espacialmente, foi dividido em 14 unidades litogeofísicas. A unidade 1121 corresponde a uma litologia com baixo magnetismo, baixa concentração em potássio, média concentração em tório e baixa concentração em urânio. Já a unidade 1222 corresponde a uma litologia com baixo magnetismo e média concentração em potássio, tório e urânio. Enquanto unidade 1233 corresponde a uma litologia com baixo magnetismo, média concentração em potássio e alta concentração em tório e urânio. Observando a unidade 1322, percebe-se que representa uma litologia com baixo magnetismo, alta concentração em potássio e média concentração em tório e urânio. Já a unidade 2111 remete a uma litologia com médio magnetismo e baixa concentração em potássio, tório e urânio. A unidade 2222 corresponde a uma litologia com médio magnetismo e média concentração em potássio, tório e urânio. Já a unidade 2233 diz respeito a uma litologia com médio magnetismo, média concentração em potássio e alta concentração em tório e urânio. Enquanto a unidade 2333 adequa-se a uma

litologia com médio magnetismo e alta concentração em potássio, tório e urânio. A unidade 3111 relaciona-se a uma litologia com alto magnetismo e baixa concentração em potássio, tório e urânio. Observando a unidade 3112, percebe-se que representa uma litologia com alto magnetismo, baixa concentração em potássio e tório e média concentração em urânio. Já a unidade 3121 representa uma litologia com alto magnetismo, baixa concentração em potássio, média concentração em tório e baixa concentração em urânio. A unidade 3211 corresponde a uma litologia com alto magnetismo, média concentração em potássio e baixa concentração em tório e urânio. Enquanto que a unidade 3212 remete a uma litologia com alto magnetismo, média concentração em potássio, baixa concentração em tório e média concentração em urânio. Por último, a unidade 3223 adequa-se a uma litologia com alto magnetismo, média concentração em potássio e tório e alta concentração em urânio.

As unidades 3111, 3112, 3121, 3211, 3212, 3223 estão relacionadas às formações ferríferas bandadas metamorizadas com intercalações subordinadas de rochas metamáficas e metaultramáficas, e aos quartizitos ferruginosos e lentes subordinadas de quartzito branco e de formação ferrífera bandada metamorizada.

As unidades 1322 e 2333 estão relacionadas aos corpos de granito à biotita cinza, granito rosado e ao embasamento cristalino com ortognaisses migmatíticos meso a ultramiloníticos Gavião e augen gnaisses meso a ultramiloníticos Caraguataí.

A unidade 2111 está relacionada a mármores magnesíticos brancos com níveis subordinados de rochas metamáficas, metaultramáficas e talco xistos, mármores magnesíticos vermelhos com níveis subordinados de rochas metamáficas, metaultramáficas, anfibólio-clorita mármore e talco xistos e mármores dolomíticos brancos indiferenciados com níveis subordinados de mármores magnesíticos com proporções variáveis de anfibólio e clorita, rochas metamáficas, metaultramáficas e talco xistos.

4.3 Modelagem direta de dados magnetométricos

Para a modelagem direta dos perfis AB e CD, ilustrados na Figura 2.3, as litologias em sub-superfície foram agrupadas em blocos a fim de facilitar o ajuste entre as anomalias observada e calculada. Os valores de susceptibilidade magnética, magnetização remanescente, inclinação e declinação no SI mostrados a seguir foram escolhidos levando em conta as litologias descritas pelo mapeamento geológico feito no projeto de mapeamento da Serra das Éguas, o qual este trabalho faz parte.

Perfil AB

- Magnesita branca (MGB): $S=0,001$
- Mármore dolomítico (MMG): $S=0,001$

- Metaultramáficas e metamáficas (XMU): S=0,005
- Formações ferríferas (BIF): S=0,013
Magnetização remanescente: 2,55
Inclinação: 48°
Declinação: -1°
- Quartzitos ferruginosos (QZF): S=0,035
- Quartzitos brancos (QZT): S=0,003
- Quartzito-biotita xisto (QBX): S=0,023
- Ortognaisses (GNA): S=0,003

Perfil CD

- Magnesita branca (MGB): S=0,001
- Mármore dolomítico (MMG): S=0,001
- Metaultramáficas e metamáficas (XMU): S=0,014
- Formações ferríferas (BIF): S=0,013
Magnetização remanescente: 2,55
Inclinação: 48°
Declinação: -1°
- Quartzitos verdes (QZV): S=0,007
- Quartzitos brancos (QZT): S=0,003
- Quartzitos ferruginosos (QZF): S=0,035
- Quartzito-biotita xisto (QBX): S=0,023
- Ortognaisses (GNA): S=0,004

No perfil AB (Figura 4.24) a litologia que mais influencia na anomalia magnética são as formações ferríferas. Esta camada se estende ao longo da seção, apresentando-se como um corpo alongado, com profundidade que varia de -400 metros a 3600 metros, e espessura variável de até 1600 metros. Sobre esta camada mais magnética, a NW encontram-se rochas máficas e ultramáficas, que apresentam magnetismo, apesar de muito inferior à camada abaixo. Estas mesmas rochas estão presentes a SE, em forma de lentes. No estrato

superior às formações ferríferas, no centro do perfil, encontram-se os mármore dolomíticos e as magnesitas brancas, com espessura de até 3200 metros e nenhum ou pouco magnetismo. Imediatamente abaixo das formações ferríferas, margeando a camada magnética, estão dispostos os quartzitos ferruginosos com magnetismo intermediário. A NW do perfil, sobreposto aos quartzitos ferruginosos encontram-se os quartzitos brancos. A SE observa-se os quartzos-biotita xistos sotopostos aos quartzitos ferruginosos e à lente de formação ferrífera. Predominando na porção inferior do perfil encontra-se o embasamento cristalino formado por ortognaisses migmatíticos.

No perfil CD (Figura 4.25) as formações ferríferas ainda geram as expressões mais fortes de magnetismo, agora aflorando na superfície e apresentando-se como uma grande dobra a SE. Na porção NW do perfil observam-se as litologias metassedimentares terrígenas, apresentando um pequeno baixo na anomalia magnética devido a presença das rochas metaultramáficas e metamáficas. Associado a estas, encontram-se os quartzitos ferruginosos que não apresentam influência na anomalia magnética devido a seu reduzido volume. Novamente os ortognaisses migmatíticos compõem a formação do embasamento cristalino.

4.4 Modelagem inversa de dados magnetométricos

Para realizar as modelagem inversas dos perfis AB e CD, foram utilizados dados de intensidade, inclinação e declinação do campo magnético residual relacionados à data da aquisição dos dados. A intensidade do campo magnético total utilizada foi de 24.232,73 nT, a inclinação do campo magnético foi de $-27,8^\circ$ e a declinação foi de $-22,64^\circ$.

Os parâmetros de entrada utilizados nas inversões foram:

- Número de prismas ao longo do eixo X: 100;
- Número de prismas ao longo do eixo Y: 50;
- Espessura dos prismas ao longo do eixo Y: 40 metros;
- Intensidade do campo magnético total: 24.232,73 nT;
- Inclinação magnética: $-27,8^\circ$
- Declinação magnética: $-22,64^\circ$
- Altura do sensor superior: 87 metros;
- Altura do sensor inferior: 75 metros;
- Número máximo de iterações: 10;

- Razão ruído/sinal: 0,125;
- Contraste de susceptibilidade magnética: 0,01.

O resultado da inversão da linha AB, mostrado na Figura 4.26, apresenta um corpo magnético extenso, de aproximadamente 1,8 km de comprimento e 300 metros de profundidade, que pode ser relacionado com as formações ferríferas bandadas metamorizadas com intercalações subordinadas de rochas metamáficas e metaultramáficas. Ao longo de quase todo o perfil nota-se a distribuição de uma camada superficial, de até 150 metros e muito magnética, nas extremidades do perfil esse magnetismo pode ser relacionado aos quartzitos ferruginosos e lentes subordinadas de quartzito branco e formações ferríferas bandadas, rochas metamáficas e metaultramáficas com níveis subordinados de quartzitos ferruginosos, mármore magnésitico e dolomítico branco com proporções variadas de anfibólio, clorita, talco xistos e filitos grafitosos. No centro do perfil não deveria aparecer unidades magnéticas, pois nessa área há um predomínio de rochas carbonáticas.

Na inversão da linha CD foram imageados corpos muito magnéticos a profundidades maiores. A SW foram delimitados dois grandes corpos com profundidade de cerca de 1000 metros, provavelmente litologias como formações ferríferas bandadas metamorizadas com intercalações subordinadas de rochas metamáficas e metaultramáficas. Também foram mostrados corpos magnéticos mais rasos, com profundidade de até 300 metros, que podem estar relacionados a formações como as rochas metamáficas e metaultramáficas com níveis subordinados de quartzitos ferruginosos.

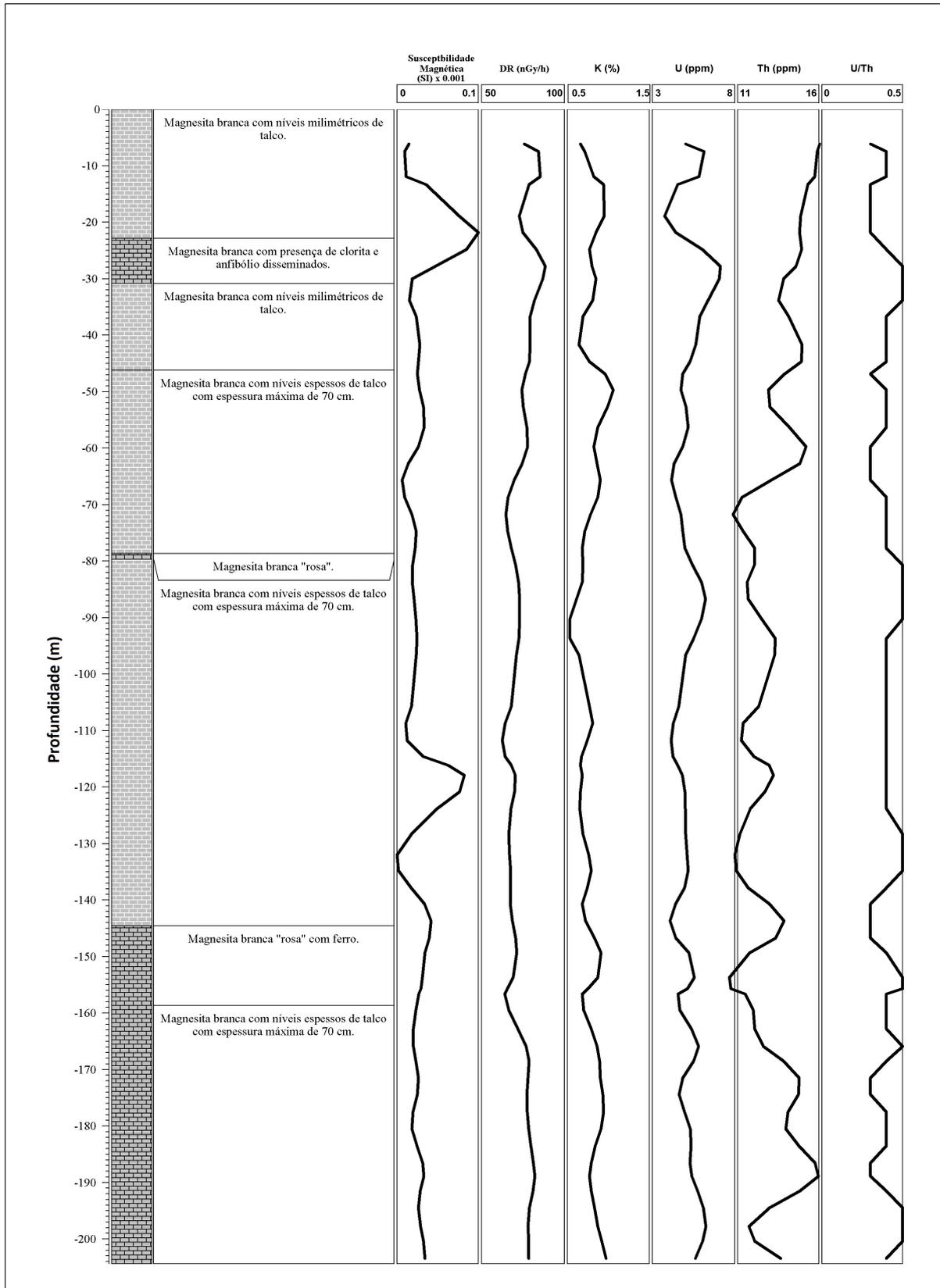


Figura 4.2: Perfil de susceptibilidade magnética e gamaespectrometria realizadas ao longo do testemunho de sondagem do furo FG 02, alvo Gravatá.

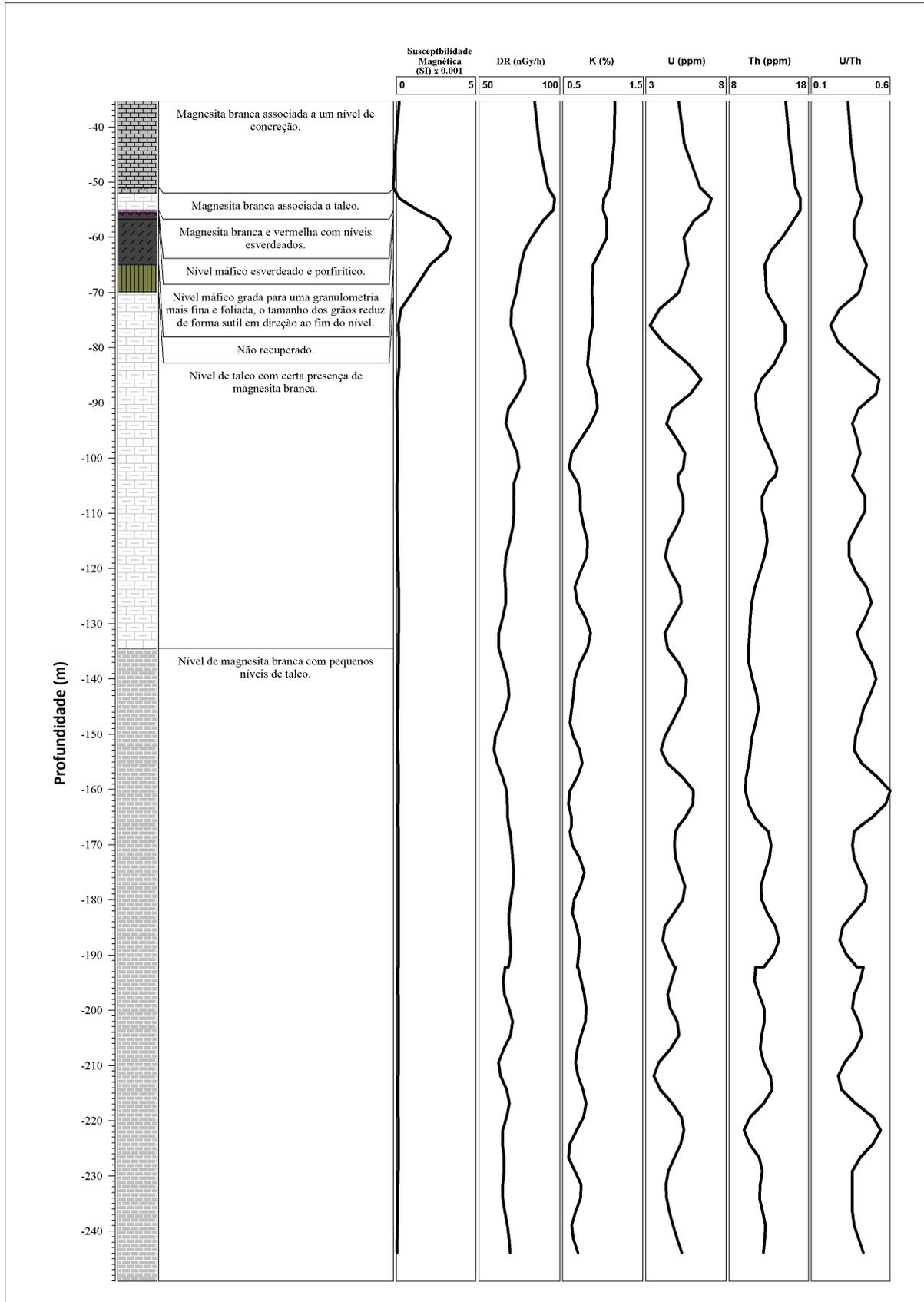


Figura 4.3: Perfil de susceptibilidade magnética e gamaespectrometria realizadas ao longo do testemunho de sondagem do furo FSP 04, alvo Pomba.

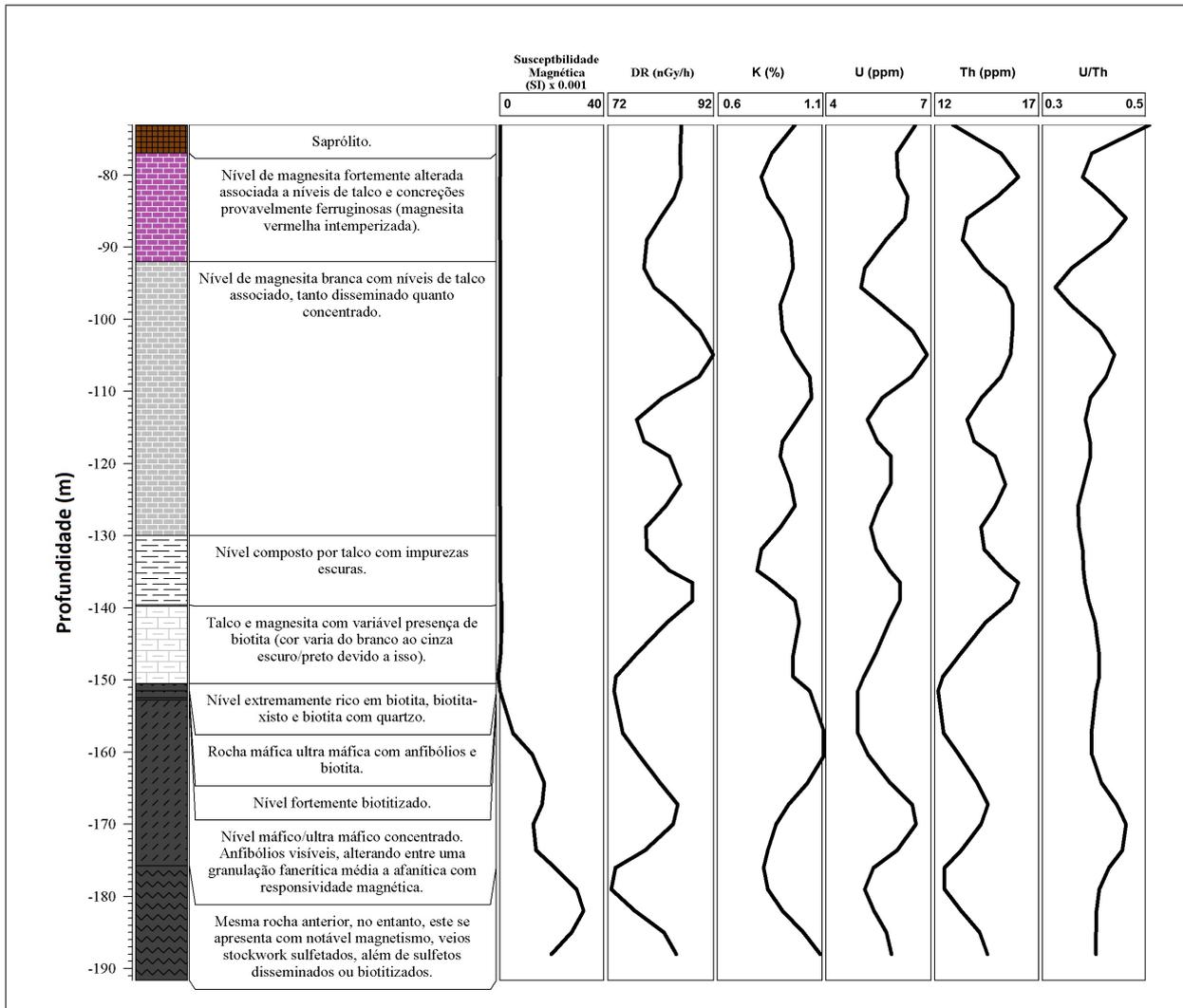


Figura 4.4: Perfil de susceptibilidade magnética e gamaespectrometria realizadas ao longo do testemunho de sondagem do furo FSP 05, alvo Pomba.

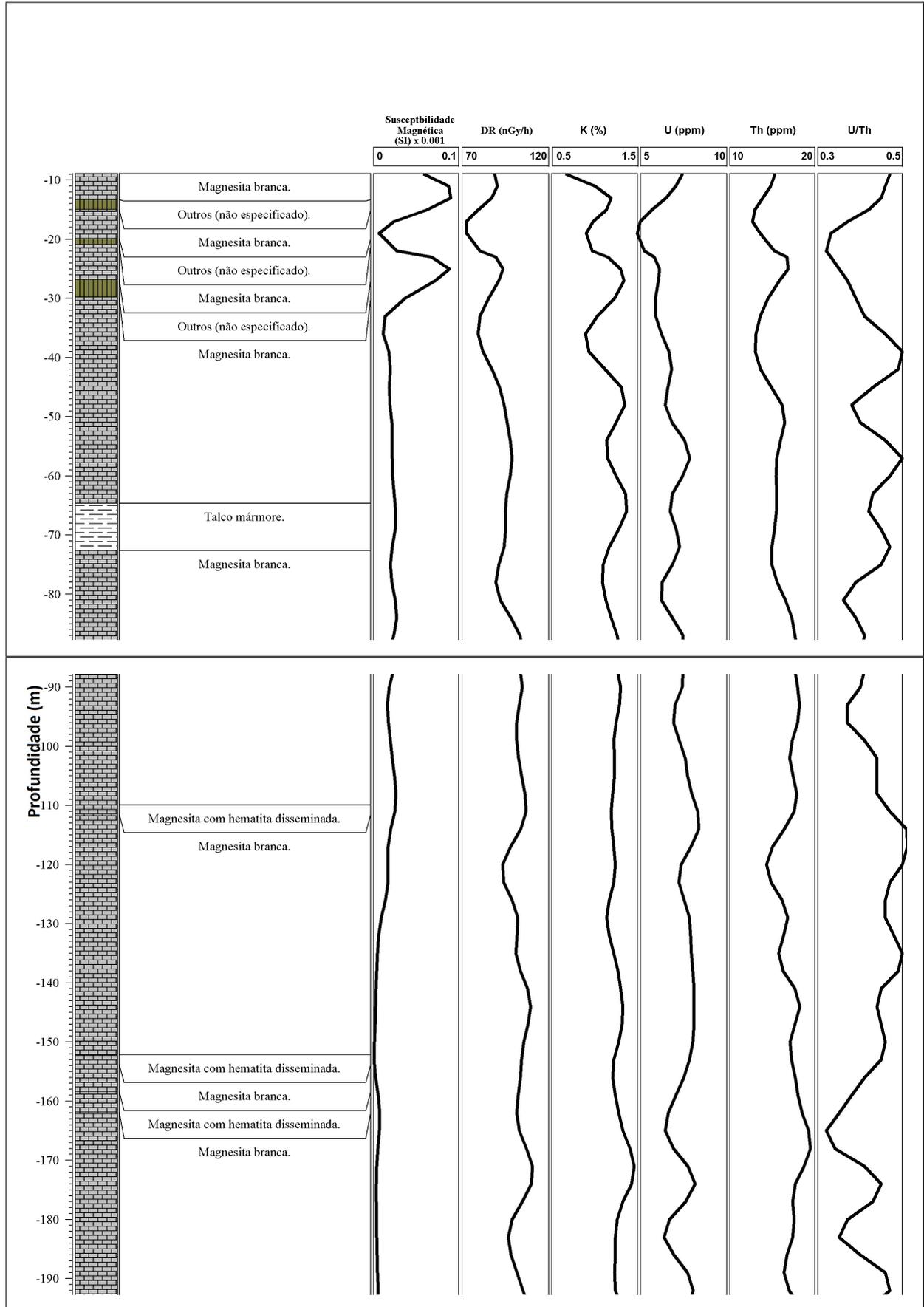


Figura 4.5: Perfil de susceptibilidade magnética e gamaespectrometria realizadas ao longo do testemunho de sondagem do furo SPO 141, alvo Pomba.

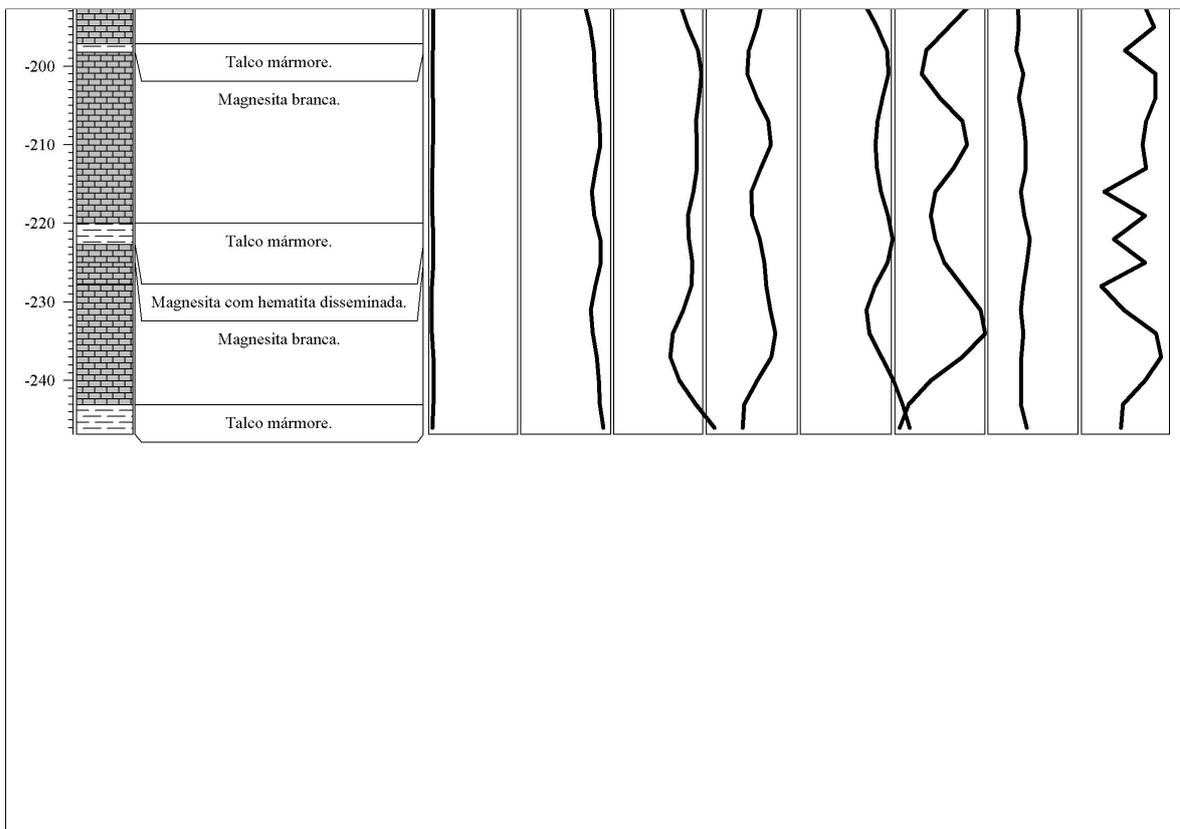


Figura 4.6: Perfil de susceptibilidade magnética e gamaespectrometria realizadas ao longo do testemunho de sondagem do furo SPO 141, alvo Pomba.

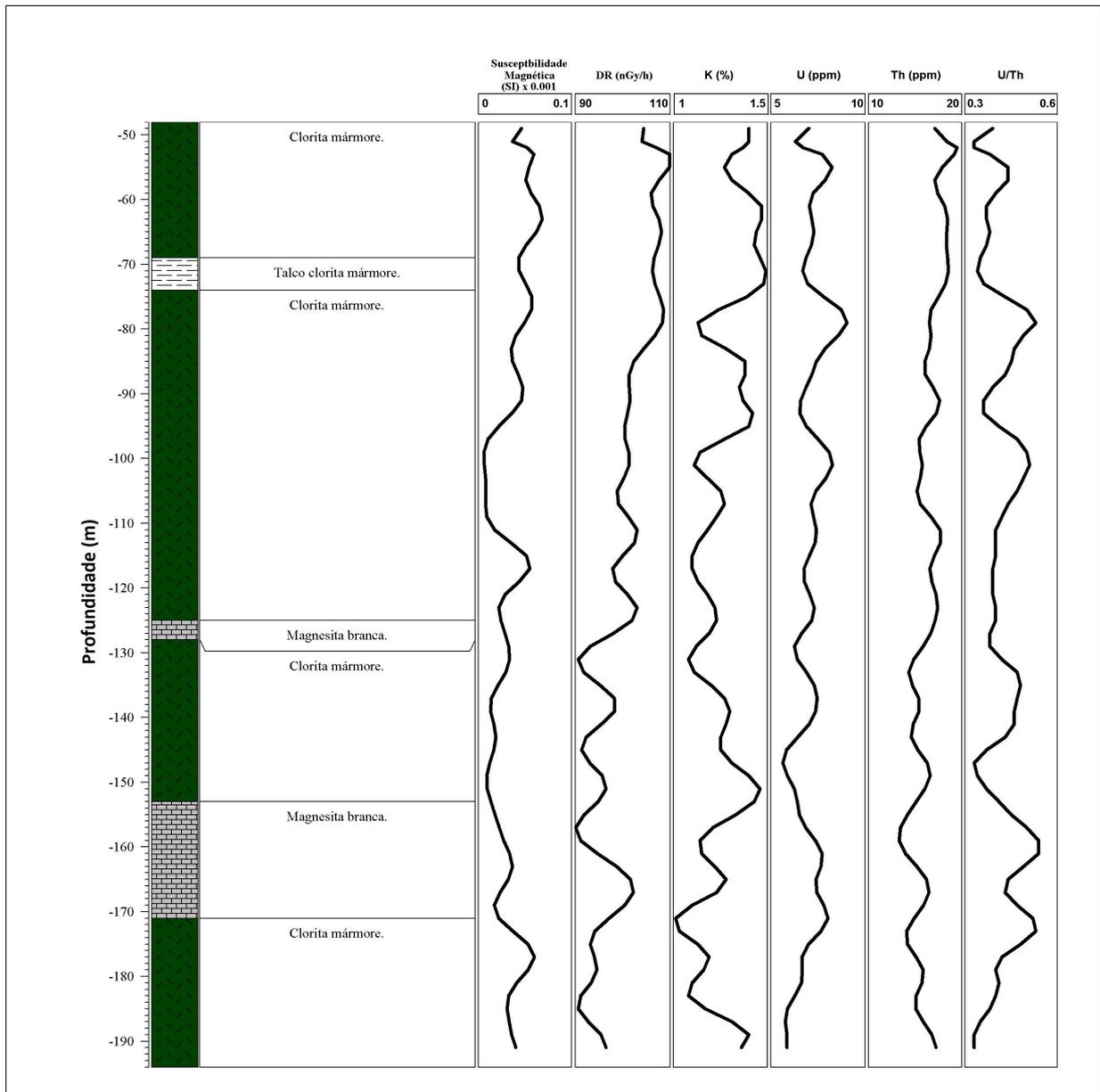


Figura 4.7: Perfil de susceptibilidade magnética e gamaespectrometria realizadas ao longo do testemunho de sondagem do furo SPO 146, alvo Pomba.

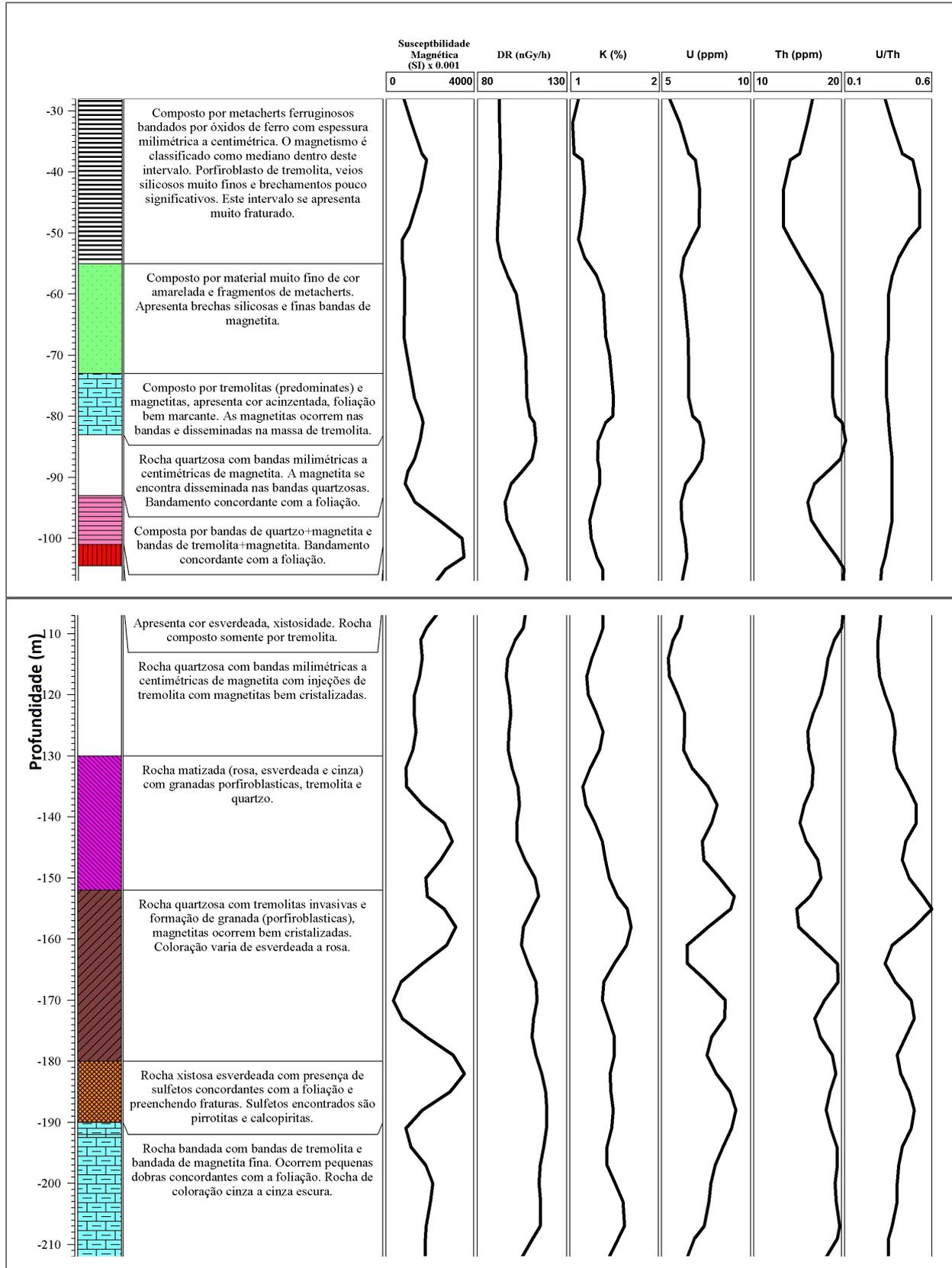


Figura 4.8: Perfil de susceptibilidade magnética e gamaespectrometria realizadas ao longo do testemunho de sondagem do furo SPF FM 01, alvo Pedra de Ferro.

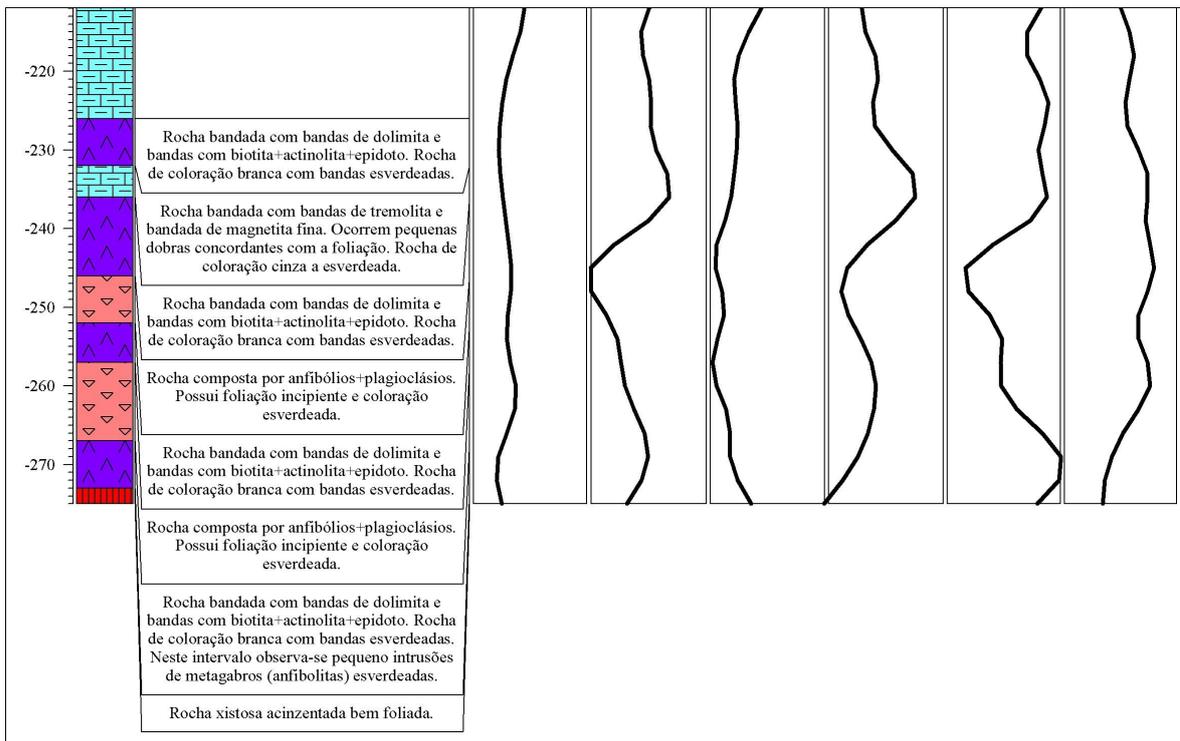


Figura 4.9: Perfil de susceptibilidade magnética e gamaespectrometria realizadas ao longo do testemunho de sondagem do furo SPF FM 01, alvo Pedra de Ferro.

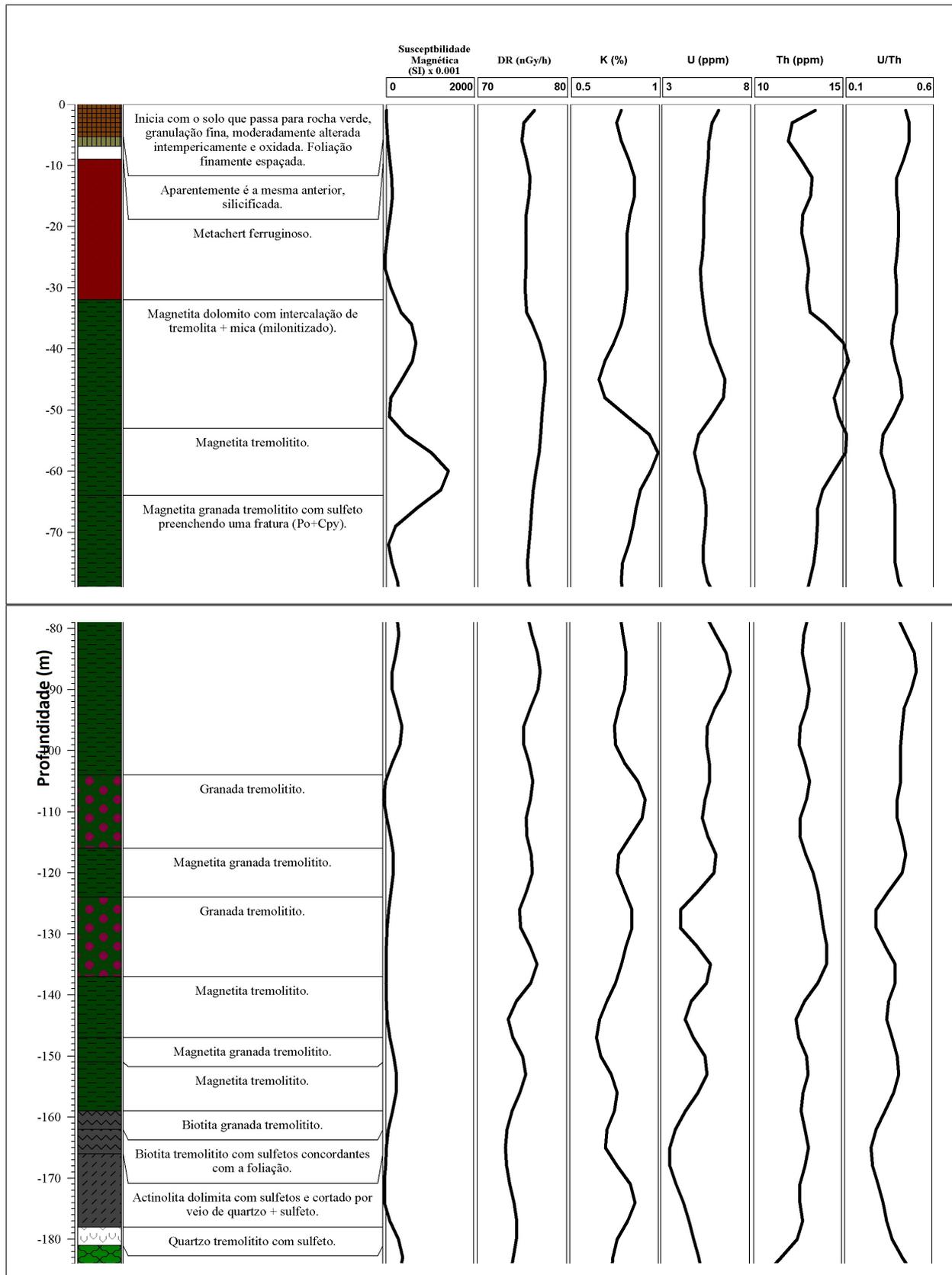


Figura 4.10: Perfil de susceptibilidade magnética e gamaespectrometria realizadas ao longo do testemunho de sondagem do furo SPF FM 02, alvo Pedra de Ferro.

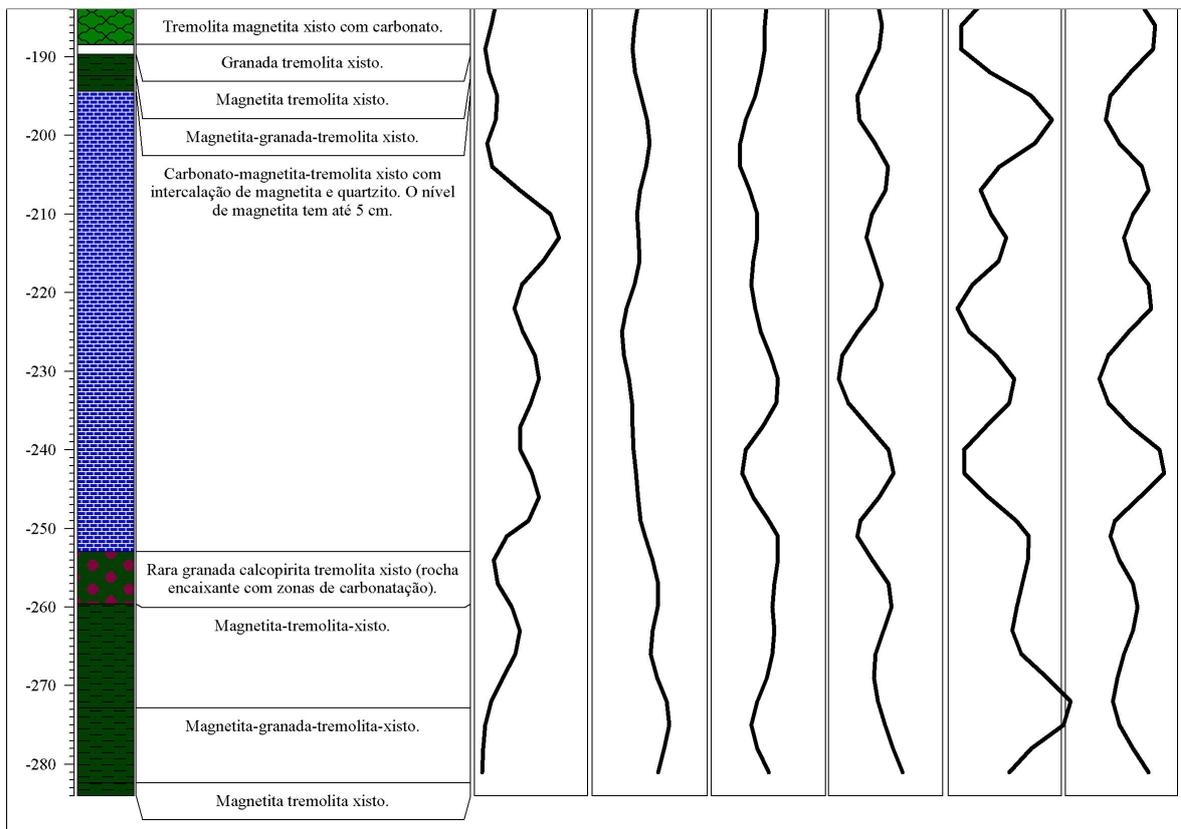


Figura 4.11: Perfil de susceptibilidade magnética e gamaespectrometria realizadas ao longo do testemunho de sondagem do furo SPF FM 02, alvo Pedra de Ferro.

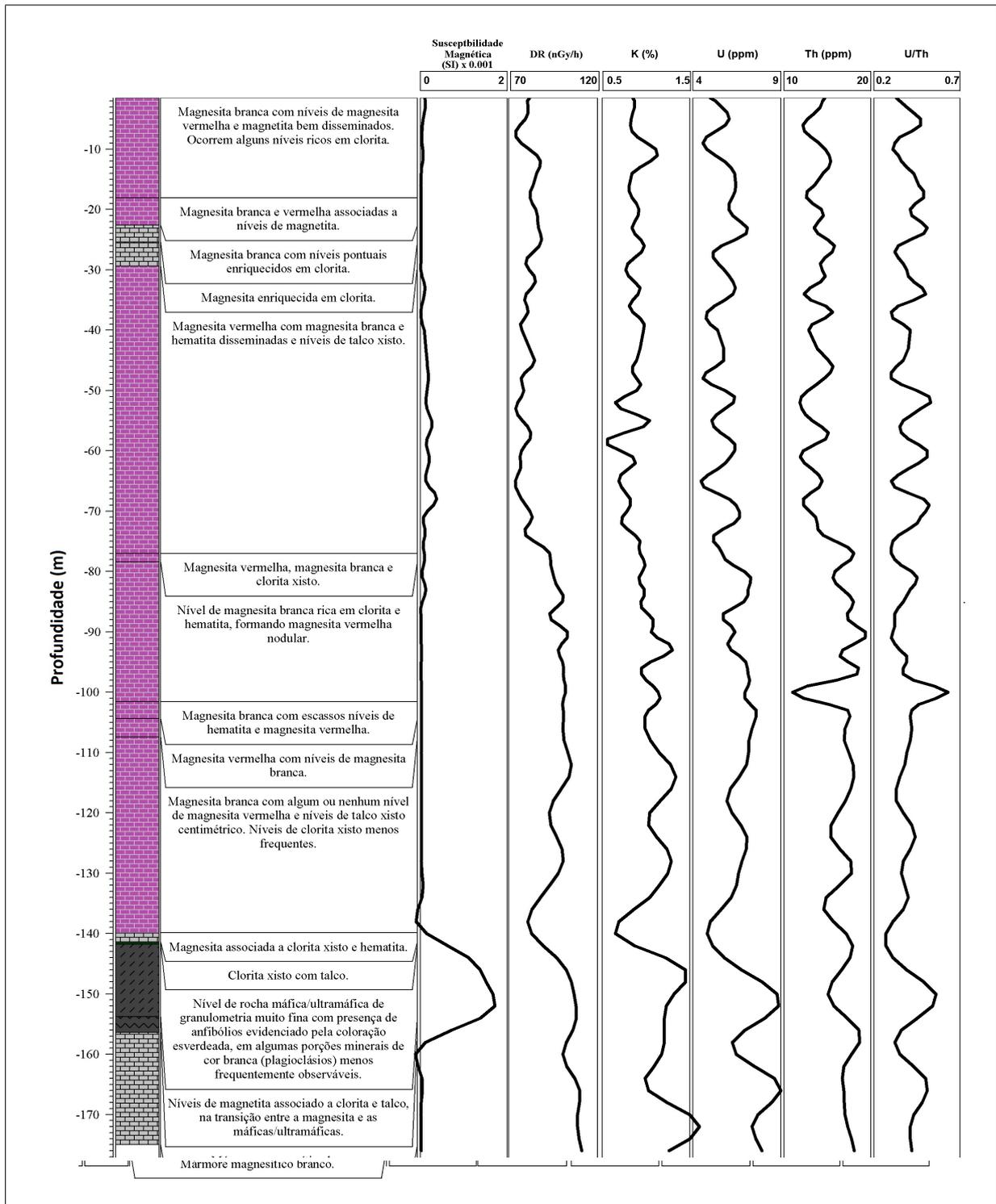


Figura 4.12: Perfil de susceptibilidade magnética e gamaespectrometria realizadas ao longo do testemunho de sondagem do furo SPP 049, alvo Pedra Preta.

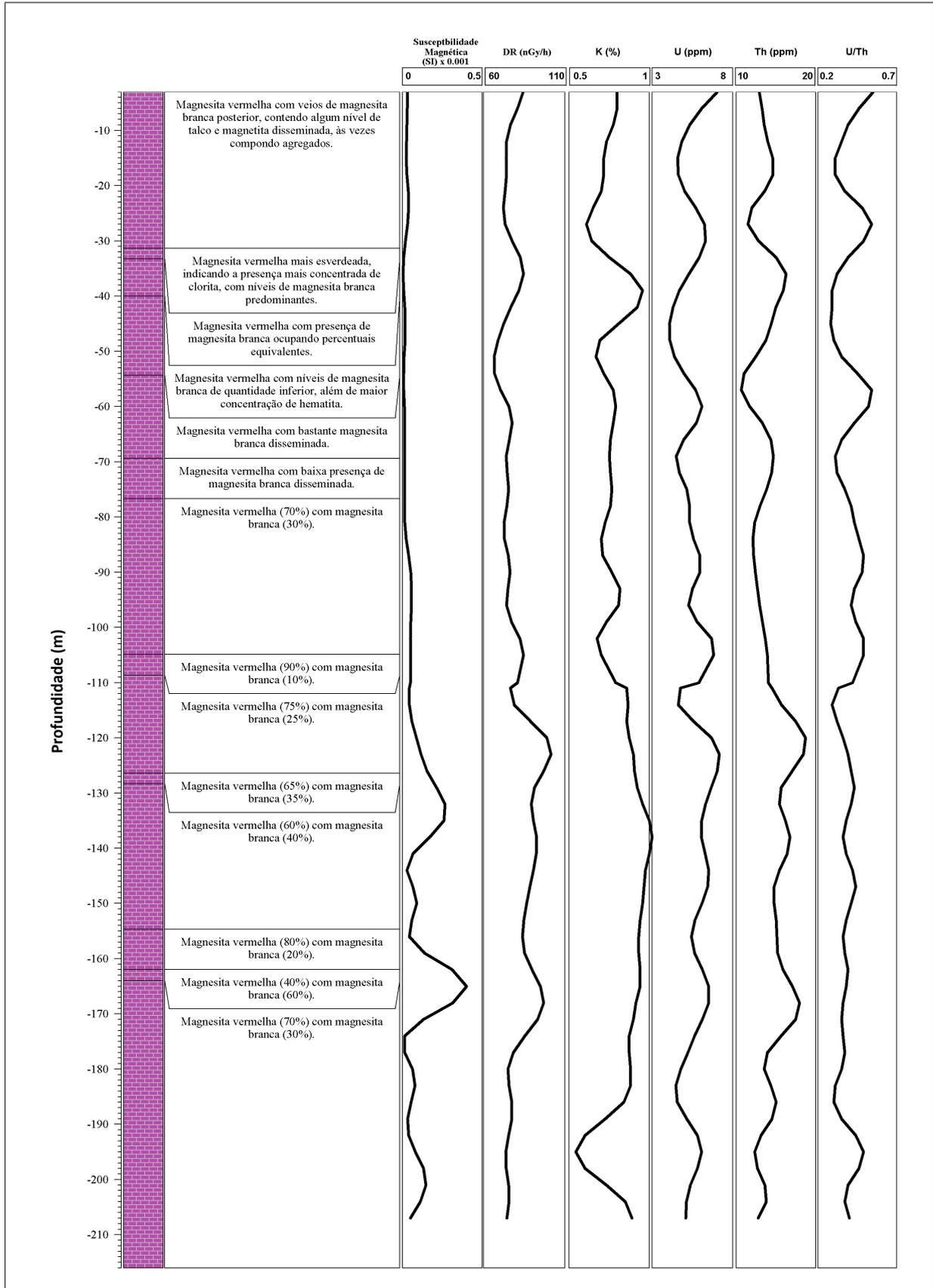


Figura 4.13: Perfil de susceptibilidade magnética e gamaespectrometria realizadas ao longo do testemunho de sondagem do furo SPP 203, alvo Pedra Preta.

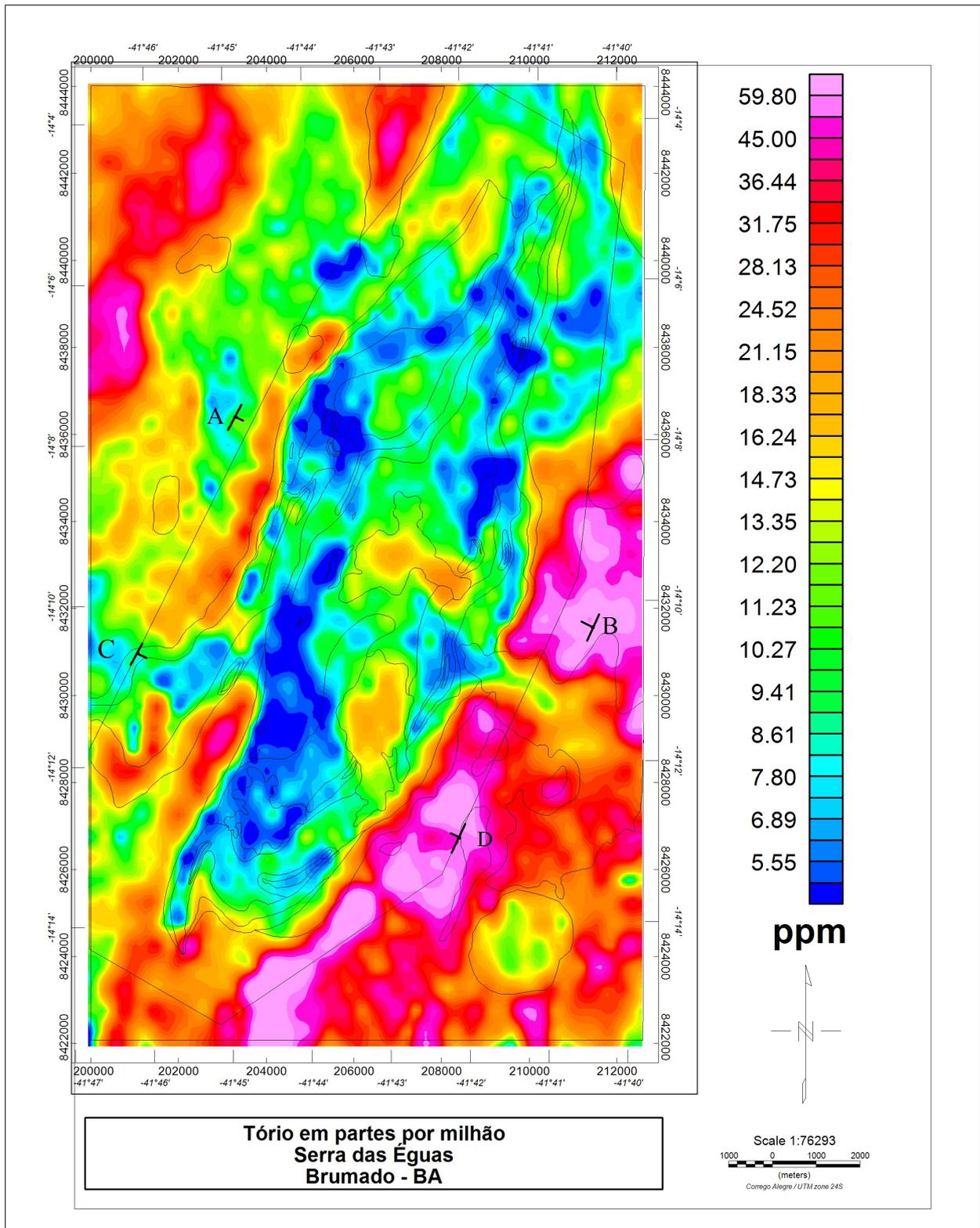


Figura 4.14: Mapa radiométrico de Tório superposto pelo contorno do mapa geológico apresentado na Figura 2.3.

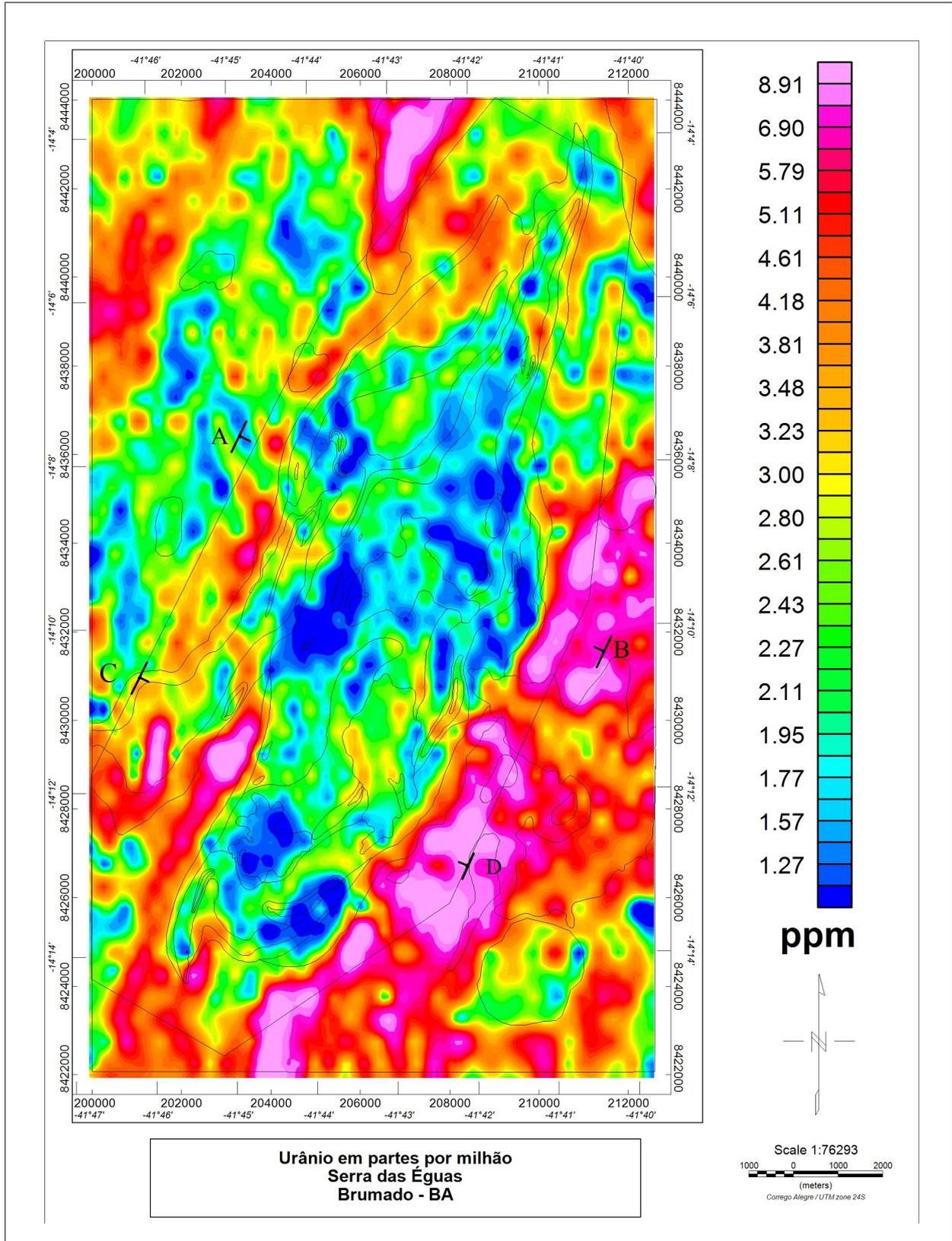


Figura 4.15: Mapa radiométrico de Urânio superposto pelo contorno do mapa geológico apresentado na Figura 2.3.

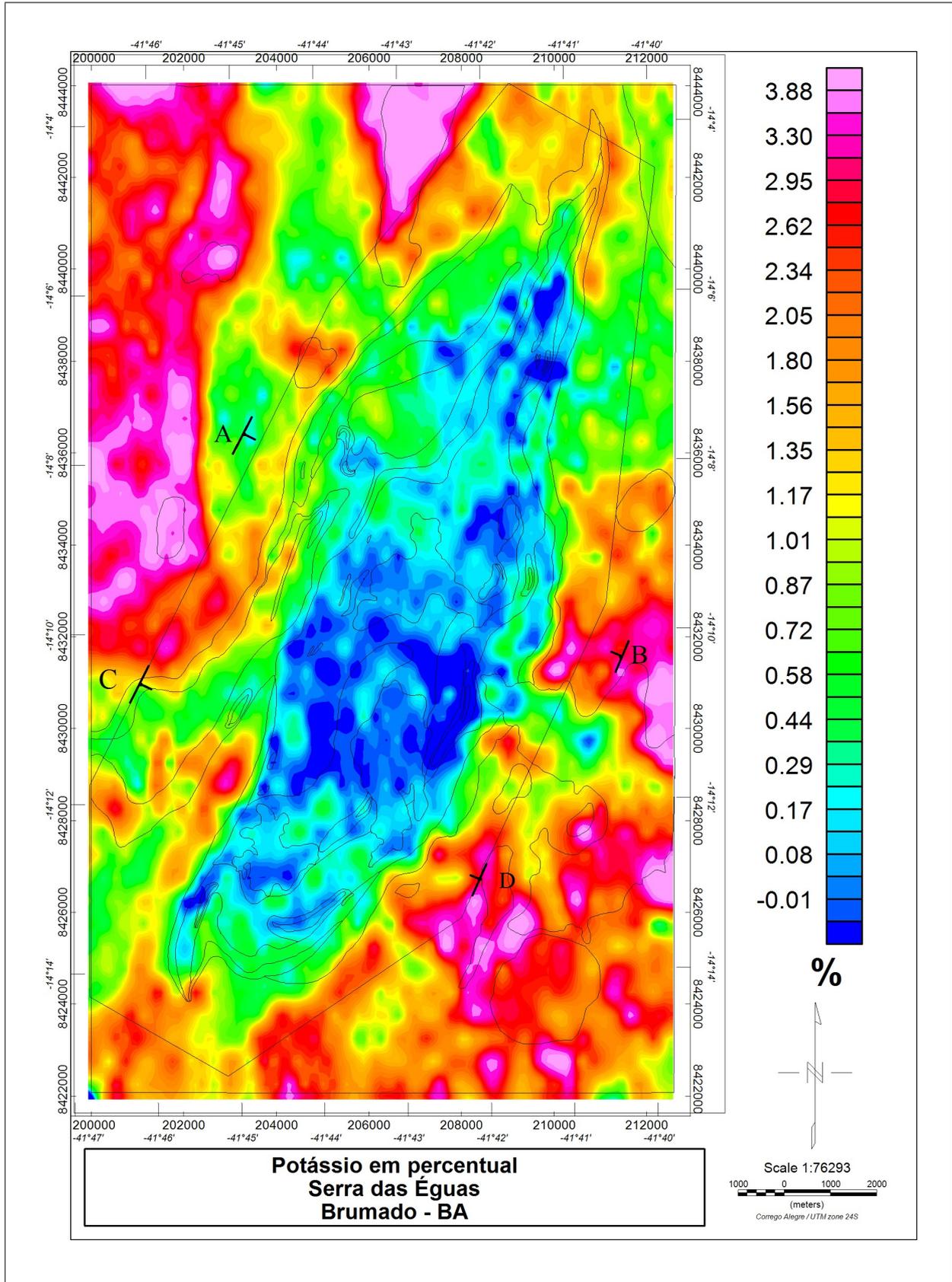


Figura 4.16: Mapa radiométrico de Potássio superposto pelo contorno do mapa geológico apresentado na Figura 2.3.

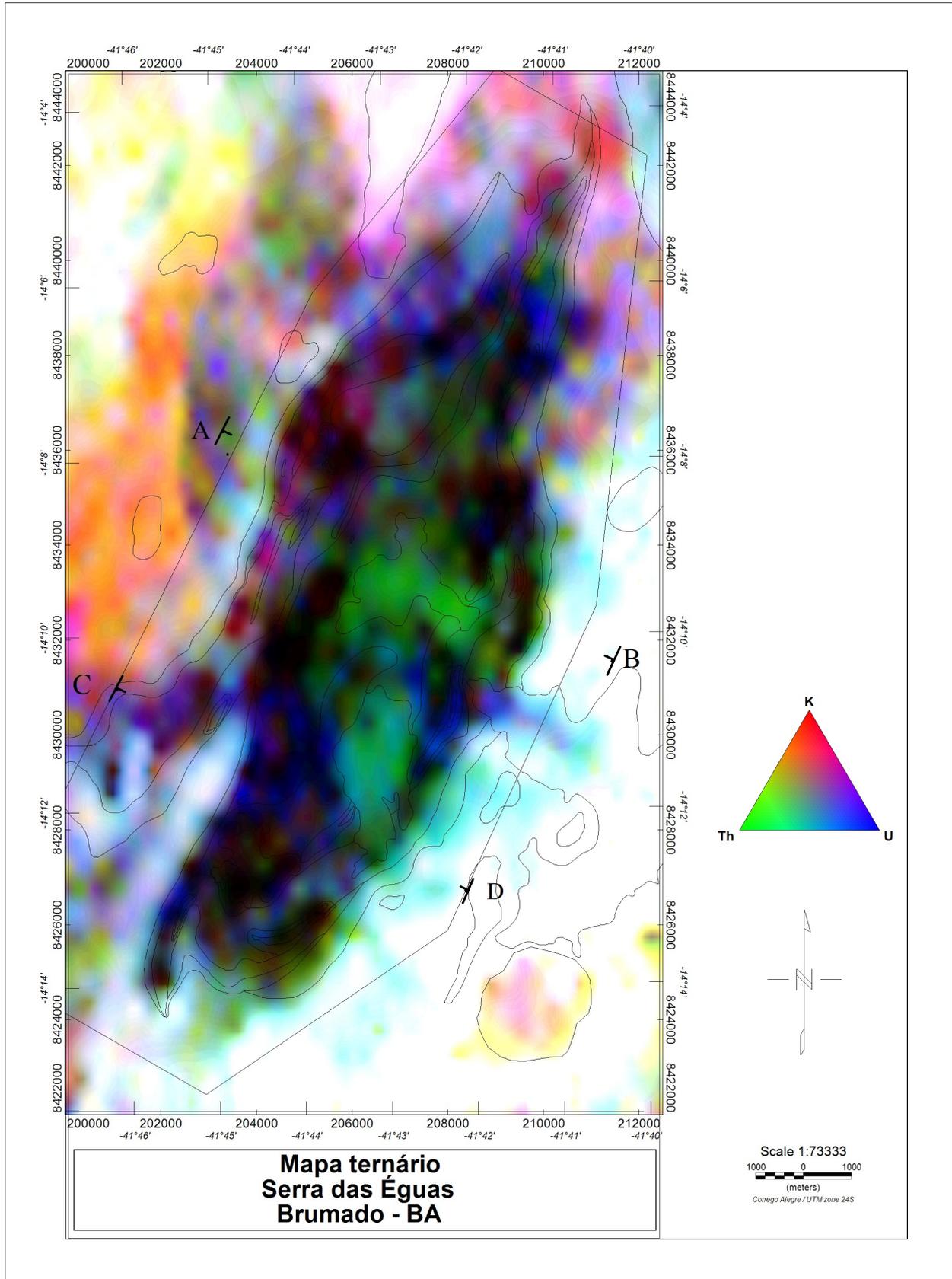


Figura 4.17: Mapa radiométrico ternário superposto pelo contorno do mapa geológico apresentado na Figura 2.3.

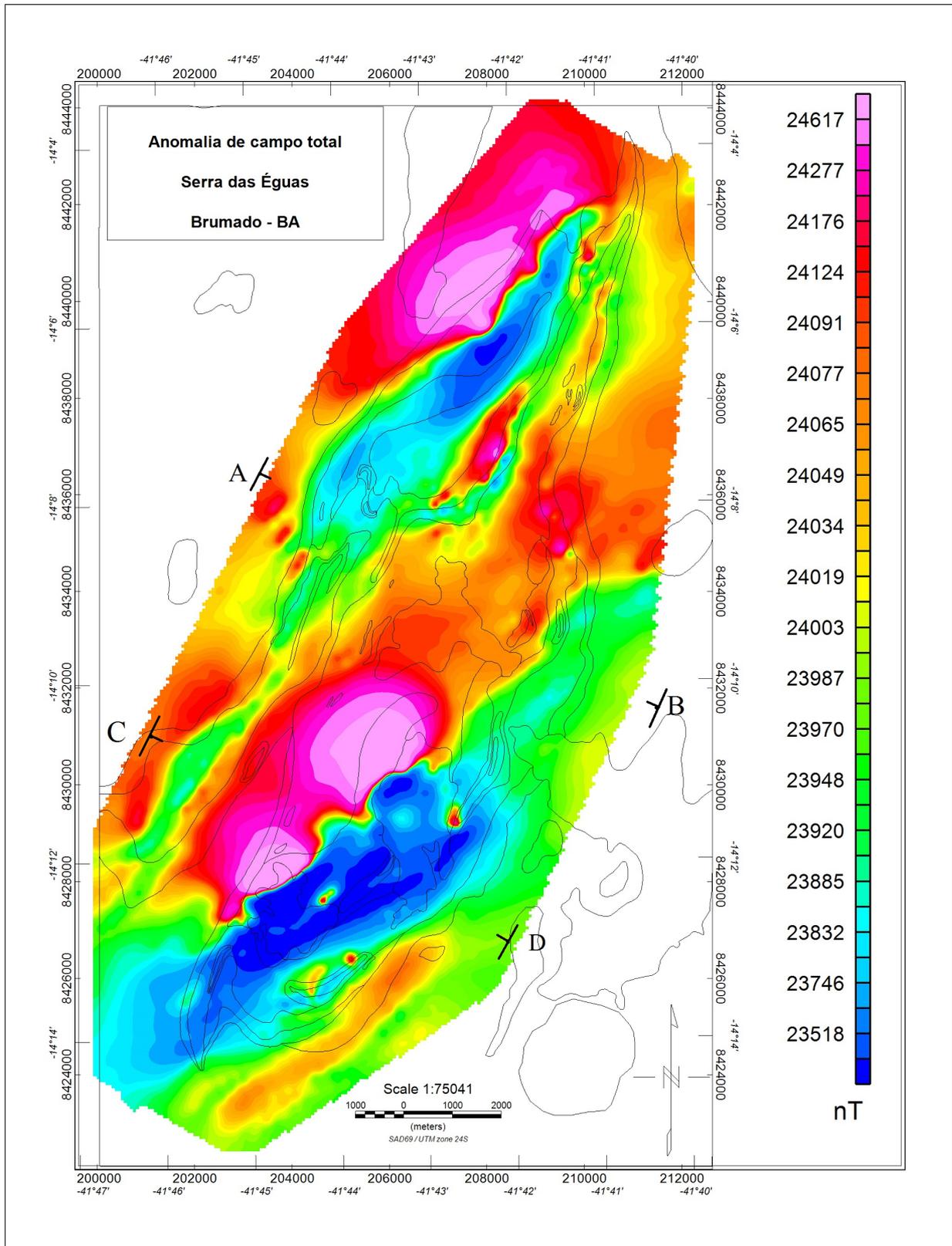


Figura 4.18: Mapa do campo magnético total superposto pelo contorno do mapa geológico apresentado na Figura 2.3.

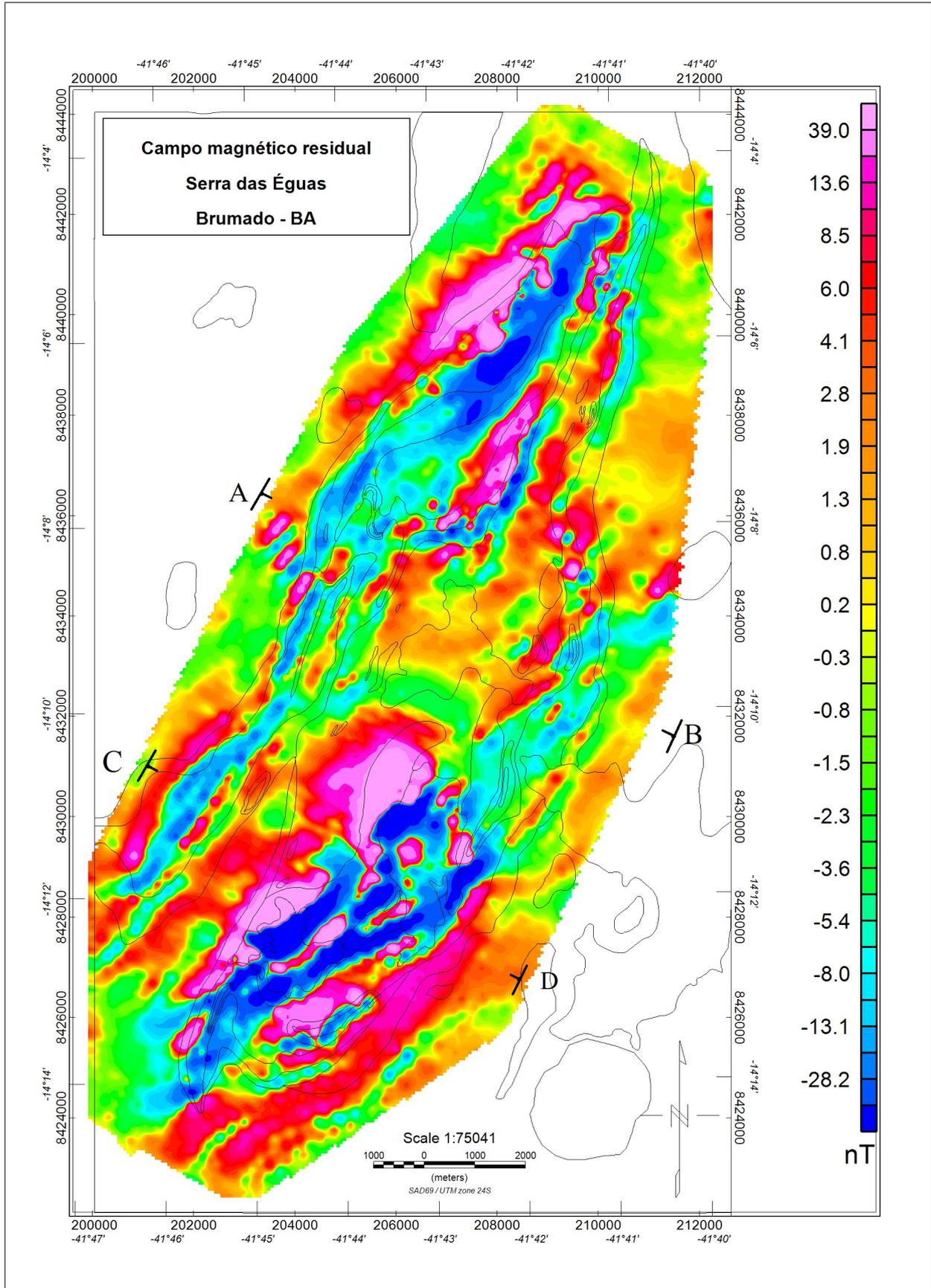


Figura 4.19: Mapa do campo magnético residual superposto pelo contorno do mapa geológico apresentado na Figura 2.3.

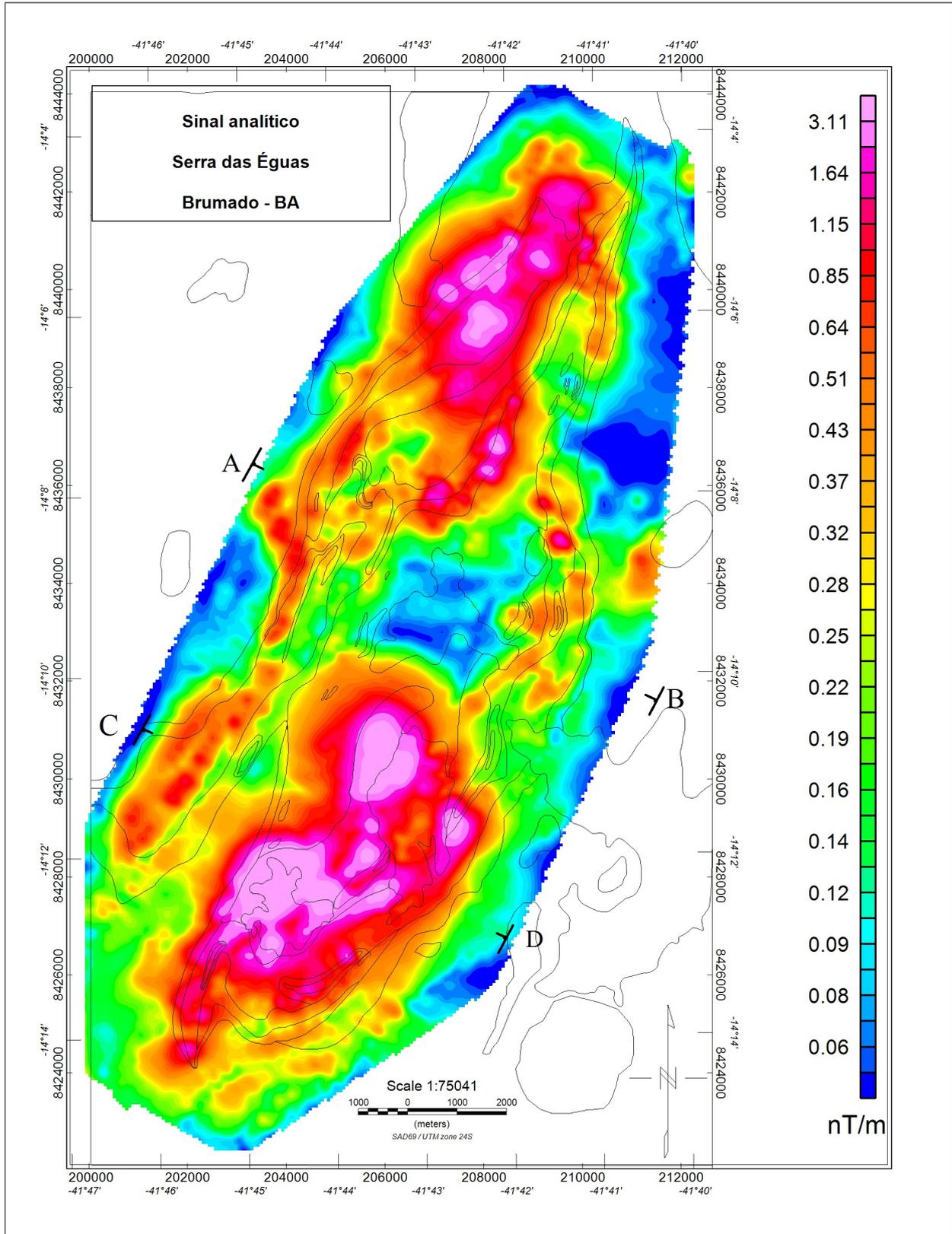


Figura 4.20: Mapa do sinal analítico superposto pelo contorno do mapa geológico apresentado na Figura 2.3.

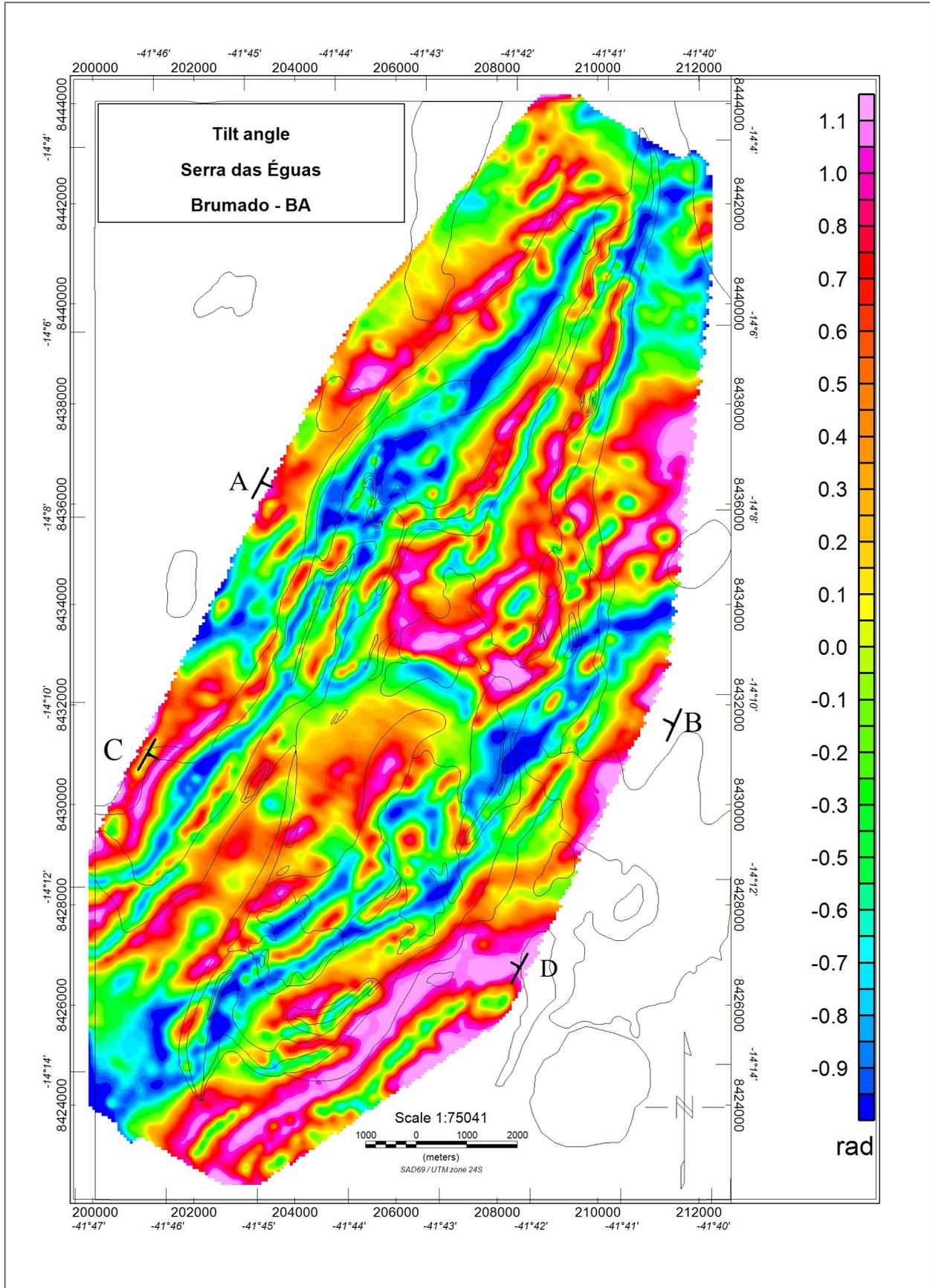


Figura 4.21: Mapa do *tilt angle* superposto pelo contorno do mapa geológico apresentado na Figura 2.3.

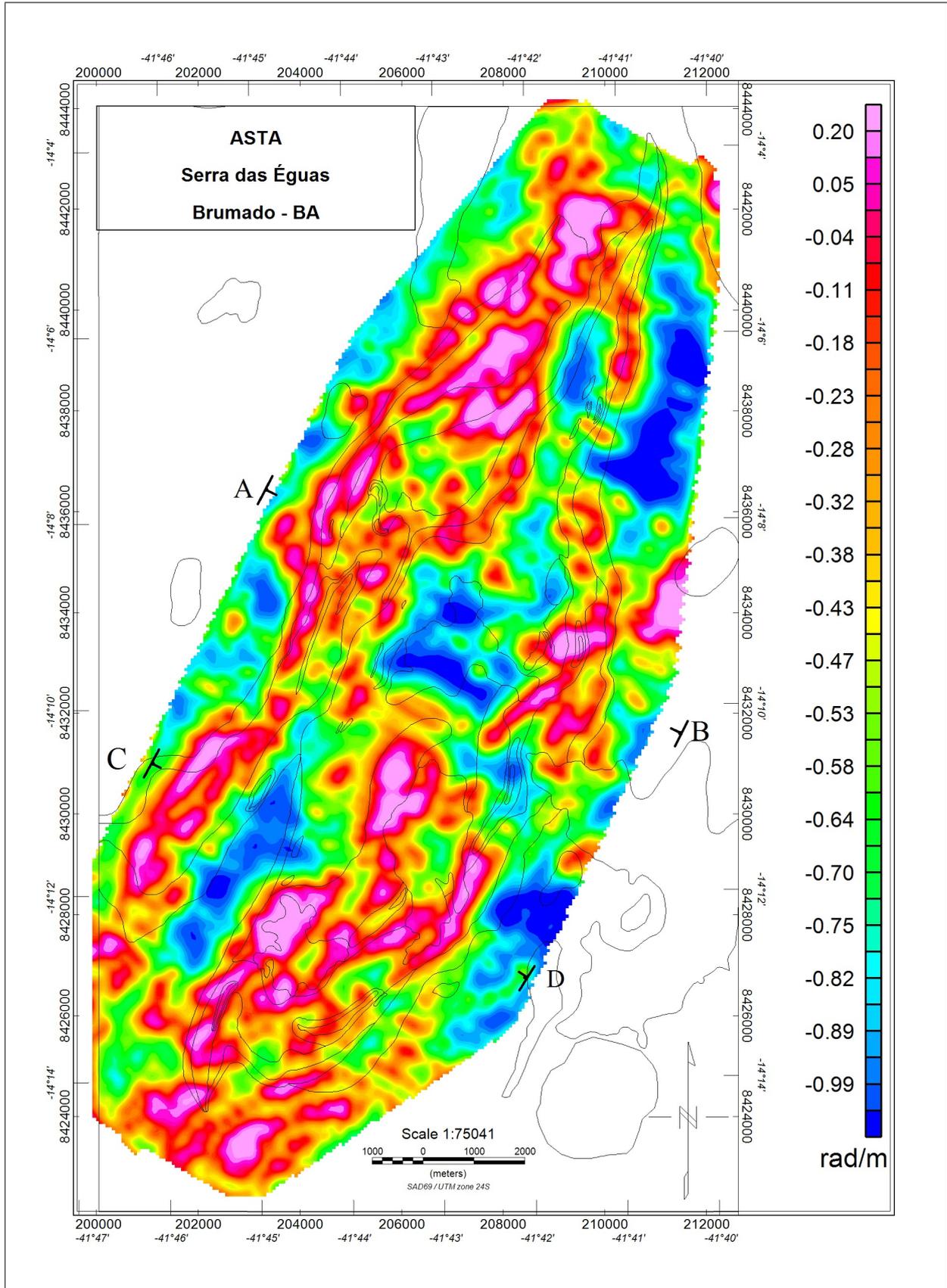


Figura 4.22: Mapa do sinal analítico do *tilt angle* (ASTA) superposto pelo contorno do mapa geológico apresentado na Figura 2.3.

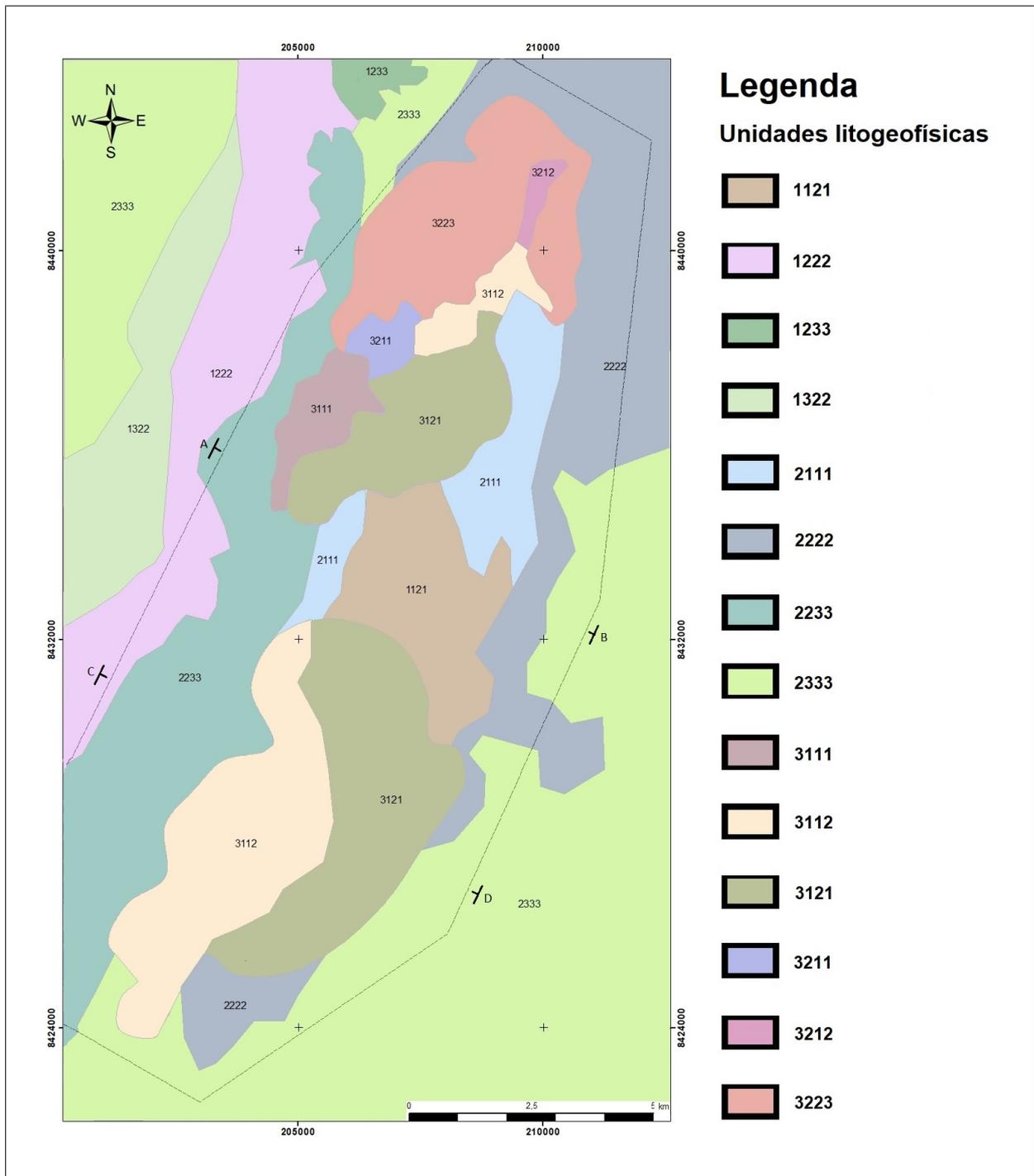


Figura 4.23: Mapa de unidades litogeofísicas confeccionado a partir dos mapas de sinal analítico, tório, urânio e potássio.

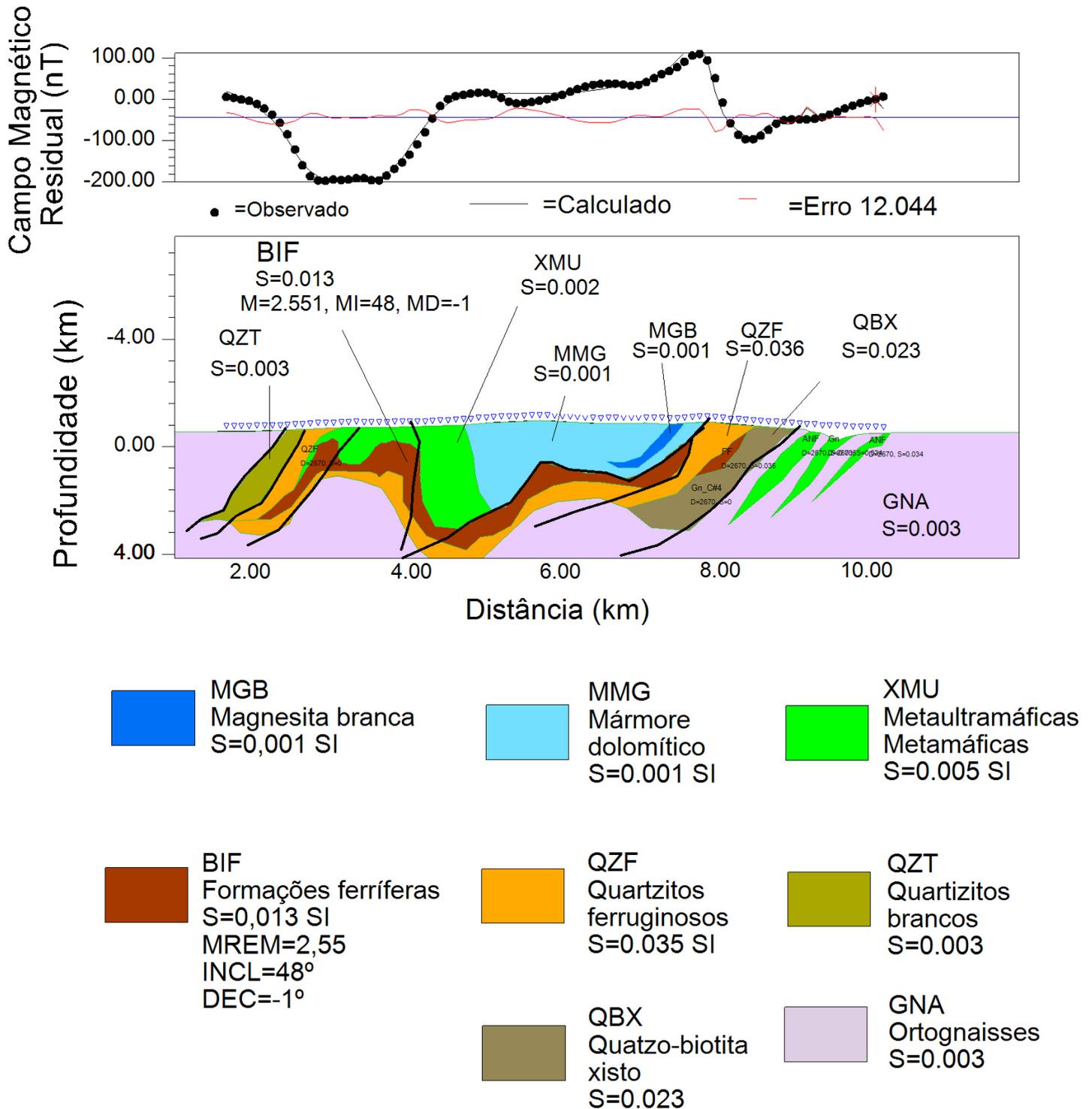


Figura 4.24: Resultado da modelagem direta realizada ao longo da linha AB, apresentada na Figura 2.3.

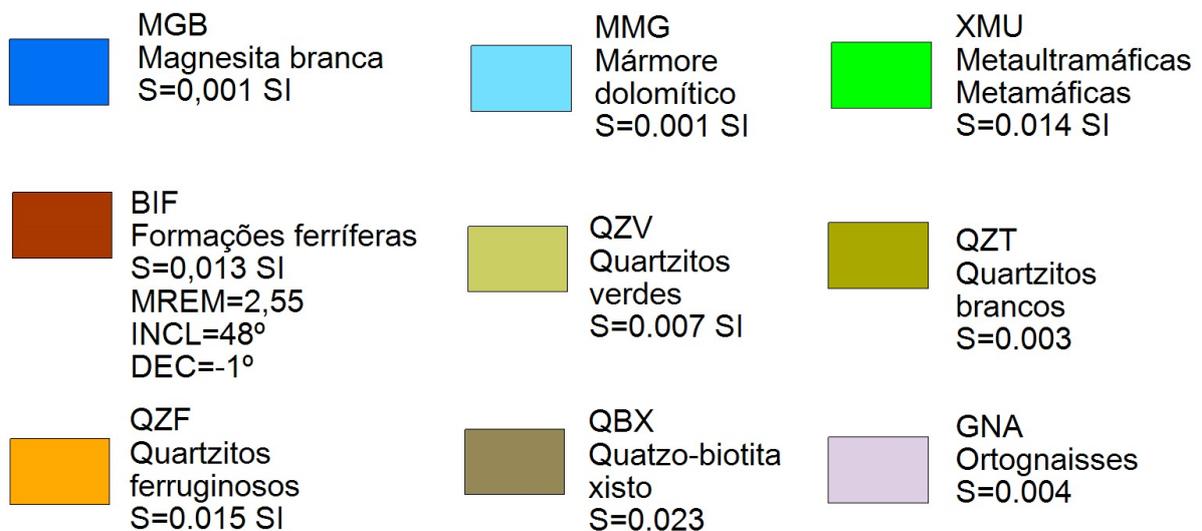
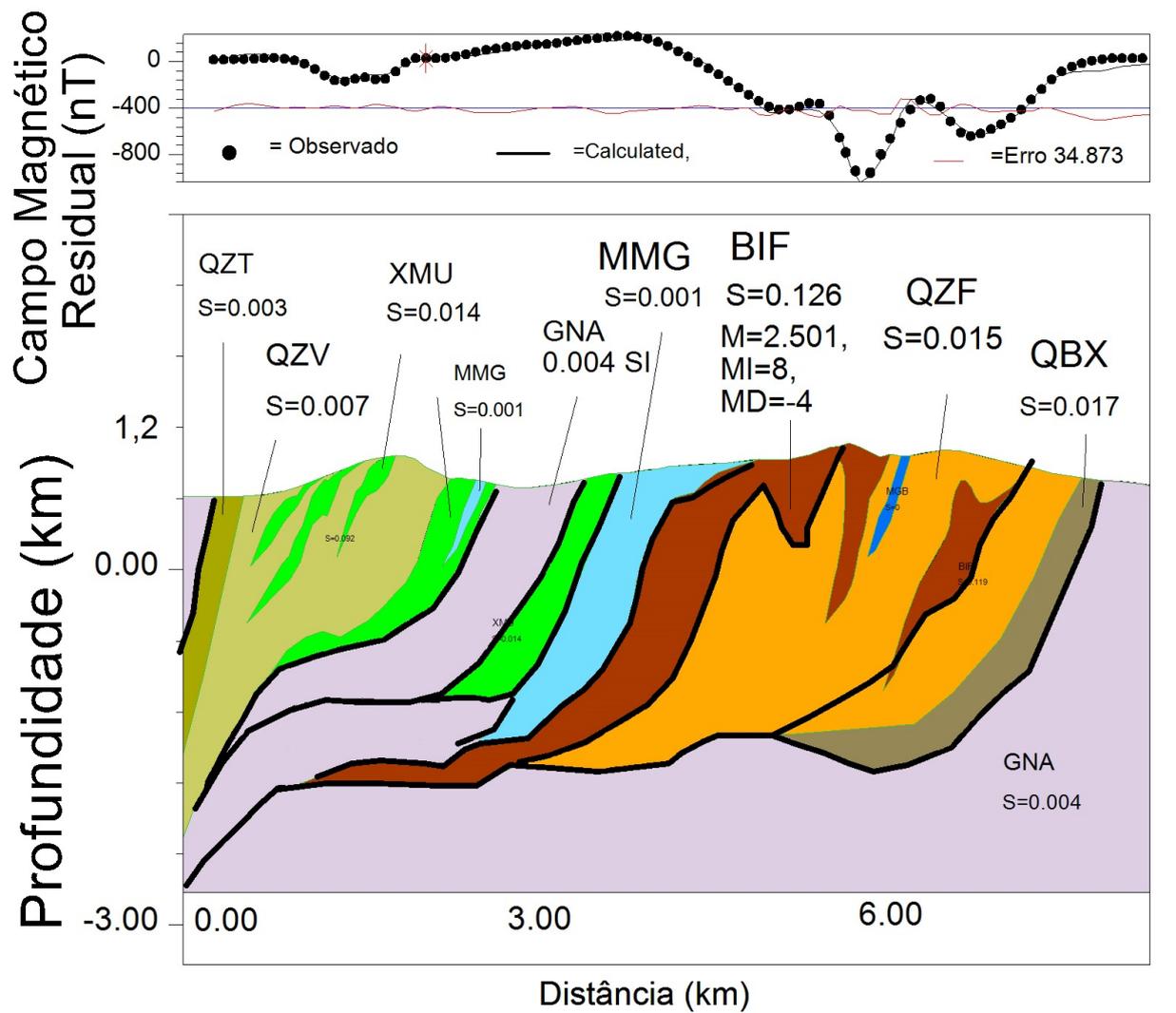


Figura 4.25: Resultado da modelagem direta realizada ao longo da linha CD, apresentada na Figura 2.3.

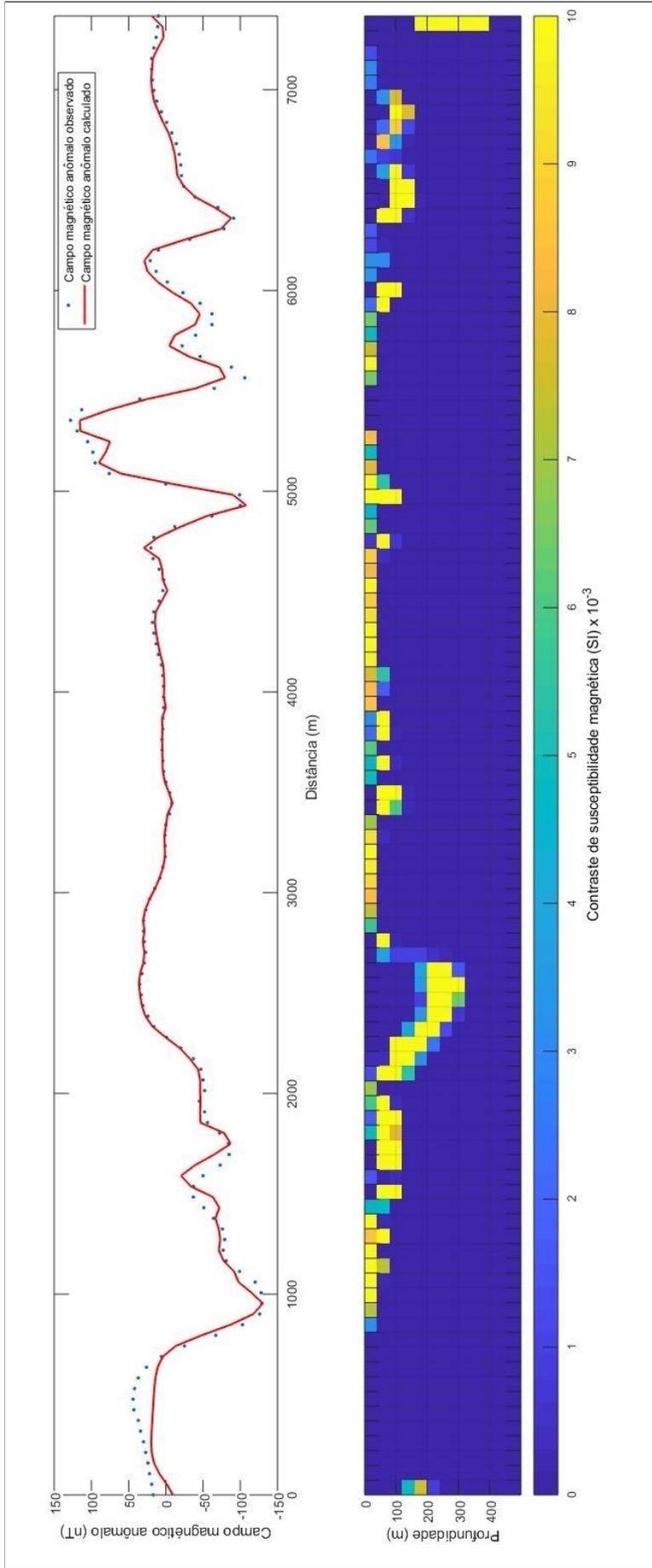


Figura 4.26: Modelagem inversa da linha AB, apresentada na Figura 2.3.

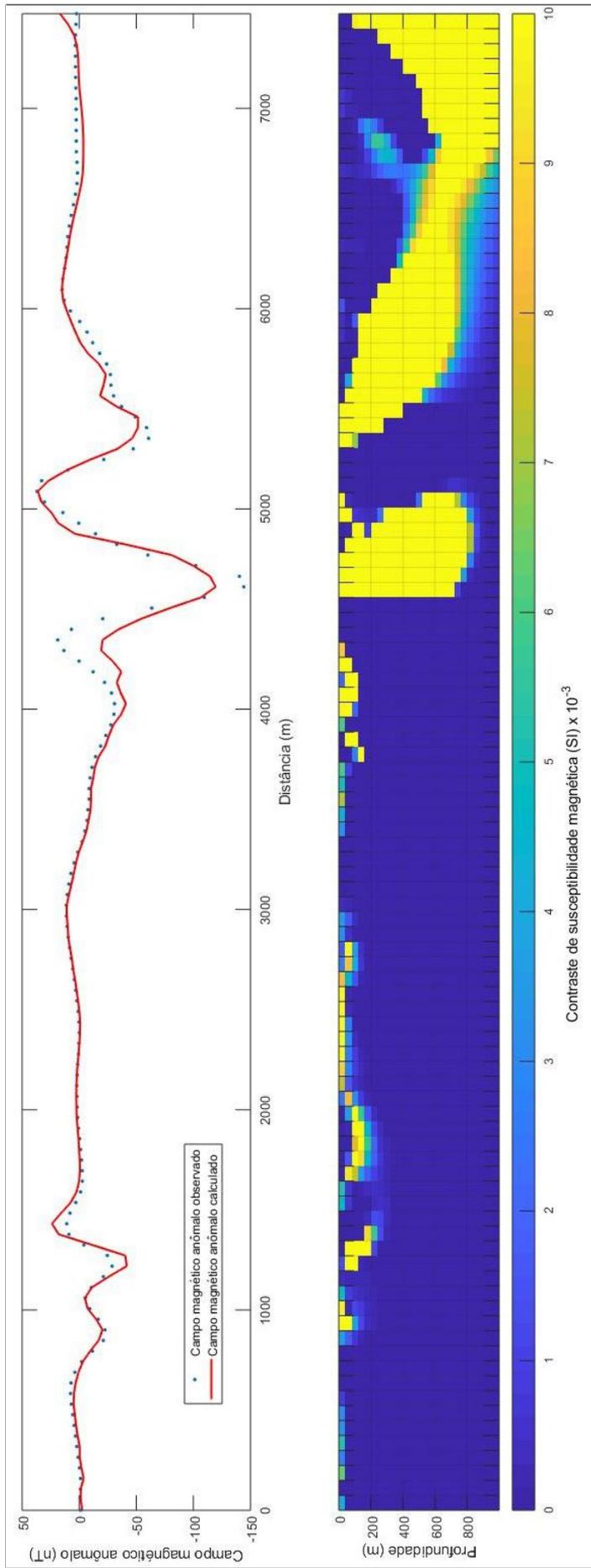


Figura 4.27: Modelagem inversa da linha CD, apresentada na Figura 2.3.

Capítulo 5

Conclusões

Através da análise dos perfis de testemunhos de sondagem confeccionados, foi possível observar picos com susceptibilidade magnética mais alta. Estes picos relacionam-se à presença de magnetita nestes intervalos, bem como à presença de rochas máficas e ultramáficas. Foi possível inferir que essas litologias são as principais unidades magnéticas da área do trabalho. Contudo, os valores dos canais gamaespectrométricos não apresentaram padrões de mudança de comportamento entre os testemunhos observados.

A partir dos mapas gamaespectrométricos foi possível correlacionar os valores altos de anomalias que circundam a Serra das Éguas com a presença de corpos de granito à biotita cinza, granito rosado e do embasamento cristalino com ortognaisses migmatíticos meso a ultramiloníticos Gavião e augen gnaisses meso a ultramiloníticos Caraguataí. Ainda identificou-se um corpo aflorante do embasamento ortognaissico no interior da serra através do valor alto da anomalia nos três mapas de radioisótopos. No sudoeste do orógeno observou-se a correlação entre a baixa anomalia nos três mapas e a litologia composta por quartzitos ferruginosos, lentes subordinadas de quartzito branco e de formação ferrífera bandada metamorfozizada e cobertura detrito-laterítica.

Na porção centro norte da serra houve uma ótima correlação entre as anomalias de baixo valor de urânio e tório e as litologias como quartzitos brancos com lentes subordinadas de quartzitos com granada, quartzitos ferruginosos, lentes subordinadas de quartzito branco e de formação ferrífera bandada metamorfozizada. Observou-se uma semelhança entre as anomalias do nordeste e do sudoeste da Serra das Éguas, onde há uma contribuição mais expressiva de urânio, assim como nas proximidades da mina de Boa Vista, onde esse elemento delimitou a unidade geológica composta por muscovita-biotita-quartzito xistos com cianita. Na parte central da serra identificou-se uma contribuição predominante do potássio, correlacionando-se com os mármores dolomíticos brancos indiferenciados com níveis subordinados de mármores magnésíticos com proporções variáveis de anfibólio e clorita, rochas

metaultramáficas, metamáficas e talco xistos, além de coberturas detrito-lateríticas.

O mapa de campo magnético total mostra a existência de duas zonas magnéticas, com amplitudes na faixa de 24.000 nT, que podem estar relacionadas a dois grandes corpos magnéticos em subsuperfície, de litologias provavelmente intrusivas de alto conteúdo de magnetita, tais como formações ferríferas bandadas metamorizadas com intercalações subordinadas de rochas metamáficas e metaultramáficas, quartzitos ferruginosos e lentes subordinadas de quartzito branco e de formação ferrífera bandada metamorizada. Foi possível ainda correlacionar feições lineares nas anomalias magnéticas concordantes com as feições geológicas mapeadas anteriormente, bem como observar uma direção de tendência estrutural da serra a N30, evidenciada nos mapas de campo magnético residual, *tilt angle* e ASTA.

As modelagens diretas permitiram a localização das principais unidades magnéticas, as formações ferríferas, representadas por corpos de até 1,6 Km de espessura, localizados em profundidades que variam de -0,4 Km a 3,6 Km no perfil AB, e aflorando na superfície no perfil CD, as rochas máficas e ultramáficas, posicionadas na base das camadas de carbonatos, ratificando assim o mapeamento geológico da área proposto pelo projeto ao qual este trabalho faz parte, bem como a nova configuração estratigráfica proposta.

Apesar da modelagem inversa do perfil AB ter imageado um corpo magnético de aproximadamente 1,8 km de comprimento e 300 metros de profundidade, que pode ser relacionado com as formações ferríferas bandadas, ela não atingiu totalmente os objetivos esperados, de modo que mapeou unidades magnéticas junto à superfície. No entanto, a modelagem inversa do perfil CD imageou de forma satisfatória as formações ferríferas, como dois grandes corpos magnéticos aflorantes e com profundidade de cerca de 1000 metros, além de mostrar corpos magnéticos mais rasos a oeste, que podem ser correlacionados com litologias como quartzitos ferruginosos e rochas metaultramáficas e máficas.

Apêndice A

Banco de dados dos testemunhos de sondagem

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V											
	SPP 049											SPF FM 02											SPO 141										
	Prof (m)	Suscep >R (ng/h)	K(%)	U (ppm)	Th (ppm)	Fe2O3(%)	MgO(%)	Prof (m)	Suscep >R (ng/h)	K(%)	U (ppm)	Th (ppm)	Fe2O3(%)	MgO(%)	Prof (m)	Suscep >R (ng/h)	K(%)	U (ppm)	Th (ppm)	Fe2O3(%)	MgO(%)												
1	1,47	0,00006	82,5	0,8	5	16,6	1	1	0	86,4	0,9	6,4	15,1	9	0,000021	89,5	0,6	7,9	14,5														
2	2	0,00138	77,9	0,9	5,6	13,2	1	3	0,00334	65,8	0,7	5	10,8	11	0,000091	86,2	1,1	5,9	14,7														
3	3	0,000142	78,6	0,9	5,3	14	16	6	0,00125	74,6	0,9	5,5	12,3	13	0,0000175	94,8	1,2	7,1	15,1														
4	4	0,000048	86,6	0,8	5,8	16,6	16	9	0,09369	83,7	0,9	6,7	13,4	15	0,000023	76,9	1,2	5,3	12														
5	5	0,000076	78,3	0,8	6,6	11,7	1	12	0,04528	77,6	0,9	4,8	15	17	0,000025	71	0,9	4,7	12,3														
6	6	0,000041	71,8	0,9	5,6	10,8	1	7,5	0,2324	76,9	0,9	5,4	13	19	0,00004	72,1	0,8	3,8	15														
7	7	0,000045	76,5	0,8	4,9	14,7	14	7,5	0,03183	74,5	1	4,9	12,8	22	0,000013	80,4	1,1	5,6	13,5														
8	8	0,000017	74,6	0,9	4,5	13,8	12	7,2	0	71,3	0,8	4,9	12,5	25	0,00002	90,1	1,2	5,1	17,6														
9	9	0,000008	78,3	1,1	4	15,8	12	27	0	78,4	1,1	4,5	14,5	27	0,000033	90,8	1,5	4,9	16,5														
10	10	0,000014	89,7	1,2	5,8	15,9	10	59	0,05022	80,9	0,7	5,9	14,6	30	0,000023	82,2	1,2	5,8	13														
11	11	0,000008	91,6	1	6,8	15,3	10	59	34	0,3719	71,2	0,9	5,3	11,6	33	0,000022	83,4	1	6,4	13,4													
12	12	0,000023	77,1	1	4,1	15,7	13	69	36	0,3901	81,9	0,9	5,2	15,7	36	0,000026	78,7	1	4,9	14,5													
13	13	0,000017	94,2	0,7	7,7	15,9	13	69	39	0,9033	84,3	0,7	6,2	15,3	39	0,000021	81,9	0,7	6,5	13,9													
14	14	0,000017	80,2	0,9	6,5	12,2	13	73	42	0,5909	92,3	0,8	5,6	19	42	0,000017	85	1,3	7,4	10,2													
15	15	0,00001	83,2	0,9	5,8	14,9	11	55	45	0,07514	79,7	0,7	6,5	12,9	45	0,000022	95,5	1,2	6,2	17,1													
16	16	0,000018	81,7	0,7	6,1	12,1	11	55	48	0,2202	92,4	0,7	6,9	17	48	0,00002	96,5	1,5	6,1	16,4													
17	17	0,000019	81,7	0,9	7,1	11,7	15	78	51	0,4926	84,3	0,8	6,1	14,9	51	0,000026	87,9	1,2	5,6	15,7													
18	18	0,000013	87,6	1	5,1	17,4	15	78	54	0,00484	80,8	1,1	4,3	15,7	54	0,000029	103,9	1	8,7	16,4													
19	19	0,000024	86,1	0,9	6,5	14,4	21	77	57	0,2828	90,2	1,2	4,7	18,4	57	0,00002	98	1,3	7,2	15,3													
20	20	0,000014	84,8	0,8	6,8	13,8	21	77	60	2,951	81,7	0,9	5,9	13,9	60	0,000027	96,6	1,2	7,7	14,3													
21	21	0,000019	87,6	0,9	6,9	14,1	23	64	63	0,4832	74,6	1	4,5	14	63	0,000028	100,2	1,3	6,5	18													
22	22	0,000015	87,6	0,8	6,7	15,1	13	73	69	0,1769	72,3	1	3,8	14,6	69	0,000026	95,4	1,2	7,6	14,1													
23	23	0,000021	81,8	1,1	4,3	16,9	28	42	75	0,1033	76,1	0,8	5,2	13,7	72	0,000033	100,9	1,2	7	17,5													
24	24	0,000011	80,5	0,7	6,3	13,7	28	42	78	0	74,6	0,8	4,6	14,5	78	0,000018	85,9	1,2	5,4	14,9													
25	25	0,000016	80,9	0,9	4,8	15,7	22	28	81	0,5511	85,4	0,9	7,1	12,9	81	0,000033	93,4	1,1	6,5	16,1													
26	26	0,000026	88,2	0,7	6,3	16,5	40	87	87	0,199	82	0,6	7,9	11,8	84	0,000036	98,4	1,2	5,3	20													
27	27	0,000021	82,6	0,9	6	14,2	40	87	90	0,00162	85,6	1,1	5,8	14,9	90	0,000013	102,8	1,3	7,5	16,5													
28	28	0,000021	85,5	1	6,1	14,6	50	90	93	0,1726	85	0,8	6,5	14,6	93	0,000021	106,3	1,4	6,1	20,5													
29	29	0,000016	79,2	0,8	7,2	10,9	50	90	96	0,6267	69,6	0,7	5,4	11,8	96	0,000023	96	1,2	6,2	17,1													
30	30	0,000072	75,1	1	4,9	13,3	62	82	99	0,2473	76,2	0,9	5,4	13	99	0,000024	105,3	1,1	7,6	18,2													
31	31	0,000024	82,7	0,7	5,8	15,4	62	82	102	0,0444	81,3	0,8	6	14,1	102	0,00002	103,1	1,3	8	15,7													
32	32	0,000025	81,7	0,8	4,5	17,2	27	63	105	0	79,4	1	5,5	13,5	105	0,000033	104,1	1,4	7,5	17													
33	33	0,000025	79,9	1	4,7	15,5	27	63	108	0	85,1	1	6,1	14,4	108	0,000022	104,3	1	6,9	19,9													
34	34	0,000023	75	1	5,5	12	37	60	111	0,0014	73,2	1	4,9	12,5	111	0,000038	106,3	1,2	8,3	16,7													
35	35	0,000072	76,1	1	4,6	14	37	60	114	0,04494	74,8	0,9	5,4	12,5	114	0,000026	108,8	1,4	9,4	15,4													
36	36	0,000023	76,1	1	4,6	14	37	60	114	0,04494	74,8	0,9	5,4	12,5	114	0,000026	108,8	1,4	9,4	15,4													
37	37	0,000024	82,7	0,7	5,8	15,4	62	82	102	0,0444	81,3	0,8	6	14,1	102	0,00002	103,1	1,3	8	15,7													
38	38	0,000025	81,7	0,8	4,5	17,2	27	63	105	0	79,4	1	5,5	13,5	105	0,000033	104,1	1,4	7,5	17													
39	39	0,000025	79,9	1	4,7	15,5	27	63	108	0	85,1	1	6,1	14,4	108	0,000022	104,3	1	6,9	19,9													
40	40	0,000023	75	1	5,5	12	37	60	111	0,0014	73,2	1	4,9	12,5	111	0,000038	106,3	1,2	8,3	16,7													
41	41	0,000072	76,1	1	4,6	14	37	60	114	0,04494	74,8	0,9	5,4	12,5	114	0,000026	108,8	1,4	9,4	15,4													

Figura A.1: Planilha de dados coletados no testemunhos de sondagem com susceptíbilmetro e gamaespectrômetro.

ID	SPF FM 01										FSP 04										SPO 146										SPP 203									
	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX												
Prof (m)	Suscep R (ng/h)	K(%)	U(ppm)	Th(ppm)	Prof (m)	Suscep R (ng/h)	K(%)	U(ppm)	Th(ppm)	Prof (m)	Suscep R (ng/h)	K(%)	U(ppm)	Th(ppm)	Fe2O3(%)	MgO(%)	Prof (m)	Suscep R (ng/h)	K(%)	U(ppm)	Th(ppm)	Fe2O3(%)	MgO(%)	Prof (m)	Suscep R (ng/h)	K(%)	U(ppm)	Th(ppm)	Fe2O3(%)	MgO(%)										
2	28	0,07339	90,8	1,1	5,6	17,3	35,3	0,000112	86,5	1,1	5,9	14,9	43	0,00042	122,1	1,7	9,5	17,8	45,5	6	0,00036	82,1	0,8	7,6	11,1	91,932	888,547													
3	32	0,1256	83	0,8	5,7	15	43	0,000229	86,1	1,2	4,5	17,2	45	0,000319	117,6	1,4	8,7	19,1	5,73	45,5	6	0,00036	82,1	0,8	7,6	11,1	91,932	888,547												
4	32	0,1256	83	0,8	5,7	15	43	0,000229	86,1	1,2	4,5	17,2	45	0,000319	117,6	1,4	8,7	19,1	5,73	45,5	6	0,00036	82,1	0,8	7,6	11,1	91,932	888,547												
5	37	0,5663	90,9	0,8	7	15,5	51	0,000138	86,8	1,2	6,3	13,9	47	0,000045	120,5	1,6	9,6	17,6	2,04	78,7	9	0,000035	72,2	0,9	5,6	11	23,897	956,947												
6	38	2,46	91,5	1,2	6,4	15,1	53	0,000023	104,3	0,8	8,2	18,3	49	0,000063	101,4	1,2	7,6	16,5	1,83	78,2	12	0,000021	70	0,6	4,5	16,2	20,961	959,952												
7	43	0,451	89,8	1,2	7,3	13,1	55	0,000066	95	1,1	5,8	18,3	51	0,00005	96,5	1,5	4,9	18,9	1,61	65,2	15	0,000024	70,7	0,8	5	12,3	16,713	952,097												
8	49	0,000751	79,9	0,9	7	11,4	57	0	82,8	1,1	7,4	12,8	52	0,000068	109,4	1,4	6,3	20,9	1,61	69,9	18	0,000028	78,3	0,8	5	15,2	185,404	96,454												
9	51	0,00858	95,5	1	7	16,5	60	0	82,8	1,1	3,5	18,2	53	0,000035	125,8	1,3	8,8	22,7	1,51	74,6	21	0,000022	71,9	0,8	3,6	15,8	41,461	844,886												
10	54	0,0111	86,8	1	6,2	14,9	62,3	0	76,7	1	6,2	11,2	55	0,000061	110	1,3	9	16,1	1,37	54,6	24	0,000052	72,8	0,6	6,9	10,2	169,756	844,428												
11	57	0,01819	90,4	1,3	5,7	15,7	65	0	77,4	0,9	5,7	12,7	57	0,000056	95,1	1,1	6,2	17,5	1,37	47,4	30	0,000034	70,2	0,6	5,9	11	166,775	807,059												
12	60	0,04615	101,5	1,5	6,2	18	70	0,000404	75,3	0,6	5,3	14,4	59	0,000036	115,3	1,7	8,2	17,9	1,7	52,6	37	0,000007	80,4	0,8	6,5	12,9	27,397	670,337												
13	67	0,1116	101,8	1,1	6,9	18,5	73	0,00018	69,5	1,1	4,3	11,6	61	0,000083	112,9	1,3	6,6	22,4	1,63	56,4	33	0,000006	80,9	0,7	5,2	16,4	16,758	809,383												
14	70	0,000239	109,8	1,4	6,7	20,4	76	0,000448	67	1	2,3	15,4	63	0,000065	101,2	1,5	7,1	16	1,74	75,1	36	0,000007	83,9	0,9	6,2	14,4	20,877	947,631												
15	77	0,5511	98,5	1,5	6	17,1	79	0,00026	73,8	0,6	3,8	16,7	65	0,000062	115,7	1,5	7,9	19,9	1,22	66,8	39	0,000007	87,7	1,2	4,2	18,4	17,834	94,521												
16	80	0,8893	109,3	1,5	6,3	20,7	83	0,00003	79,6	0,8	6,1	13,7	67	0,00005	107,9	1,3	6,6	20,4	1,1	75,9	42	0,000008	70,9	0,9	4	13,8	31,058	961,827												
17	81	1,739	110,4	1,3	8,1	18,4	85,68	0,000029	77,2	1	7,1	9,5	69	0,000043	107,9	1,6	6,9	18,5	1,04	72,1	45	0,000018	70,8	1	4,7	12,1	23,169	931,363												
18	84	0,2387	114	1,2	7,1	22,3	88,36	0,000045	76,8	0,9	5,4	13	71	0,000043	106,5	1,4	6,9	19	1,01	96,1	48	0,000017	72,2	0,6	3,9	16	24,145	926,762												
19	87	0,52	100,6	1,2	6,4	18,7	91,04	0,000055	69,5	0,8	5	11,6	73	0,000049	112,7	1,5	7,3	19,7	0,99	98,7	51	0,000008	69,5	0,7	4,1	14	21,761	951,608												
20	89	0,5532	111,4	1,4	7,8	19,1	93,72	0,000041	60	0,9	2,9	12,2	75	0,000061	103,9	1,3	6,9	18,5	1,15	86,2	54	0,000003	64,9	0,8	5,5	9,1	17,918	958,325												
21	91	0,5222	92,2	1,2	6,2	16,3	96,4	0,000088	70,9	0,9	5,2	11,3	77	0,000033	114	1,5	8,5	17,9	1,06	84,3	57	0,000007	61,7	0,9	4,8	8,9	13,758	950,957												
22	94	0,2874	89,8	1,2	5,8	15,9	99,08	0,000045	80	0,4	6,9	13,8	79	0,000057	111,9	0,9	10,9	15,2	1,43	84,7	60	0,000012	85,6	0,7	6,9	14,6	11,272	957,006												
23	97	1,005	96,4	1,2	5,7	18,3	101,76	0,000126	73	0,6	5	14	81	0,000033	103,7	1,1	7,4	17,9	1,13	88,7	63	0,000011	77,1	1	5,4	12,8	0,9482	959,447												
24	100	3,644	93,7	1,1	6,9	15,3	103,13	0,000037	70,2	0,7	3,7	15	83	0,000033	109,5	1,4	7,4	19,2	0,99	91,1	66	0,000015	73,5	0,6	5,6	13,2	21,268	966,408												
25	103	5,395	109,3	1,1	7	21,1	104,5	0,000041	68,7	0,7	5,3	11,3	85	0,000043	103,9	1,4	7,7	16	0,98	83,6	69	0,00001	72,5	1	3,5	15,1	25,608	948,284												
26	105	0,7896	101,5	1,7	4,6	20,1	107	0,00004	81,3	0,7	6,4	13,6	87	0,00004	100,3	1,4	7,6	14,8	1,07	94,4	72	0,00001	74,4	0,7	4,7	15	16,101	94,319												
27	109	0,7217	104,4	0,8	7,3	20,1	109,5	0,000044	64	0,7	4,8	10,4	89	0,000046	103	1,2	7,2	18	1,08	93,9	75	0,000017	76,7	0,8	5,6	13,4	21,967	949,985												
28	111	1,276	99,3	1,7	5,1	18,6	112,27	0,000082	70,7	0,8	4	14,3	91	0,000042	100,9	1,5	5,1	20,1	1,08	94	78	0,000009	77,6	0,9	5,9	12,5	35,084	942,586												
29	114	2,104	95,7	0,9	6,1	19	115,04	0,00005	74,1	0,7	5,9	12	93	0,00005	109,3	1,3	7,9	18,2	2,59	91,3	81	0,000023	71,1	0,7	4,6	13,8	29,901	925,127												
30	117	0,5015	85,3	1,2	4,3	17	117,81	0,000065	66,2	0,9	3,4	13,4	95	0,000012	94,1	1,5	6,5	14,4	1,09	92,6	84	0,000013	65,6	0,8	5,1	9,9	37,546	940,895												
31	120	0,02355	101,5	1,2	6,2	19,2	120,58	0,000125	62,3	0,8	4,5	10,4	97	0,000006	107,4	1,3	7,7	17,9	0,95	76,2	87	0,000024	82,2	0,7	6,4	14,1	40,017	851,301												
32	123	0,7085	94	1	6,8	16,3	123,35	0,00012	64,8	0,5	4,9	11,8	99	0,00001	92,1	1,1	6,9	15,1	0,96	80	90	0,000074	78,1	0,8	6,5	12,2	42,765	872,408												
33	126	1,035	95,7	1,5	6	16,1	126,12	0,00016	72	0,7	5,4	12,3	101	0,000009	110,6	1	9,5	16,8	0,98	84,5	93	0,000057	70,5	0,9	5,5	10,8	40,476	824,806												
34	129	0,487	96,5	1,3	6,9	15,8	128,89	0,000138	66,7	0,8	6	8,6	103	0,000006	105,7	1,2	8,7	15,9	0,97	88,7	96	0,000035	76,1	0,9	4,4	15,2	42,934	798,685												
35	132	0,2631	84,2	1,1	5,1	15,7	131,66	0,000134	56,1	0,9	2,8	11	105	0,000001	95,7	1,5	5,3	17,6	1,1	78,4	99	0,000052	77,1	0,8	6,1	12,7	33,843	718,032												
36	135	0,21	111,5	1	8,1	20,1	134,43	0,000126	60,5	0,8	3,4	11,7	107	0,000017	90,5	1	7,9	12,6	1,18	81,6	102	0,000077	79	0,7	6,6	12,4	66,639	927,695												
37	138	0,03843	101,1	1,1	9,5	12,9	137,2	0,000135	75	0,7	6,8	10,7	109	0,000008	113,5	1,3	8,2	19,3	1,36	90,4	110	0,000018	85,4	0,6	7,1	14,5	61,313	912,061												
38	141	3,385	97,9	1,3	6,7	16,6	140	0,000086	59,6	0,6	5,6	8,1	111	0,000016	102,4	1,2	6,5	19,2	1,13	91,3	110	0,000057	90,9	1	6,3	16,1	26,708	922,607												
39	144	2,25	94,6	1,2	7,6	13,8	143	0,000129	70	0,6	4,7	13,5	113	0,000026	100,6	1,2	7,2	17	1,17	91,2	111	0,000053	68,1	0,9	4,5	11,9	34,477	83,032												
40	147	3,383	108,7	1,5	6,7	19,7	145,46	0,000057	68,6	0,8	4,2	13,3	115	0,000051	107,1	1	7,6	19,4	1,22	91,7	114	0,000042	75,5	1	3,8	16,3	78,084	930,996												
41	150	0,0147	110,5	1,2	9,2	16,4	147,97	0,000129	64,6	0,5	6,4	8,5	117	0,000074	95,7	1,1	7	16	1,12	92,1	117	0,000057	90,4	0,8	5,7	18	76,617	885,212												

Figura A.2: Planilha de dados coletados no testemunhos de sondagem com susceptíbilmetro e gamaespectrômetro.

	AY	AZ	BA	BB	BC	BD	BE	BF	BG	BH	BI	BJ	BK	BL	BM	BN	BO	BP			
	FG02			FSP05			BA 004														
	Prof(m)	Suscep.λ(nGy/h)	K(%)	U(ppm)	Th(ppm)	Prof(m)	Suscep.λ(nGy/h)	K(%)	U(ppm)	Th(ppm)	Prof(m)	Suscep.λ(nGy/h)	K(%)	U(ppm)	Th(ppm)	Prof(m)	Suscep.λ(nGy/h)	K(%)	U(ppm)	Th(ppm)	
1																					
2	6,15	0,000034	74,4	0,7	4,7	14,7	73	0,000132	88,7	1,1	7,4	12,6	0,1	0,000036	73,5	0,7	5,6	12,5			
3	7,45	0,000027	85,8	0,7	6,9	14,6	77	0,000035	74,6	0,9	4,1	15	3	0,00001	75,2	0,8	3,7	16,7			
4	11,9	0,000024	90,6	0,7	6,4	17,5	80,3	0,000018	91,3	0,6	7,2	16,7	5	0,000095	73,8	0,9	4,5	13,8			
5	13,3	0,000016	77,3	1	3,6	16,5	83	0,00003	92,2	1	6,4	16,8	7,8	0,000041	63,4	0,8	4,5	10,4			
6	18,9	0,000045	70,2	1,1	4,1	12,4	86	0,000118	70,8	0,9	6	10	11	0,00004	71,7	0,7	5,4	12			
7	21,8	0,00022	70	0,7	3,8	14,8	89	0,000028	84	0,9	5,9	14,9	12,5	0,000078	81,1	0,6	5,2	16,8			
8	24,8	0,000062	90,4	0,9	6,4	16,5	92,9	0,000016	78,3	1	4,8	14,5	15,6	0,000031	68,5	1	3,4	13,9			
9	30	0,000027	94,3	1,1	8,2	13	98	0,00046	83,2	0,9	4,8	16,7	20,18	0,00011	67,6	0,5	5,8	11			
10	33,8	0,000031	73,5	0,9	4,3	14	101,6	0,000053	84,8	1	6,5	13,4	23,59	0,00004	72,7	0,7	4,5	14,5			
11	36,7	0,000025	78,3	0,5	6,8	12,9	104,9	0,000035	98,4	0,8	7,6	17,6	26,25	0,000012	59	0,9	3,3	11			
12	41,7	0,000036	84,4	0,7	5,5	16,8	107,93	0,000029	86,7	1,1	6,4	14,1	29,2	0,000038	66,3	0,8	4,7	11,6			
13	44,7	0,000026	78,5	0,7	5,9	13,9	110,9	0,000038	85	1,2	5,1	15,4	32,53	0,00003	70,6	0,7	5,8	11			
14	46,85	0,000028	75,9	1	4,6	13,8	113,9	0,000046	75,3	0,8	5,4	13,2	35,05	0,000031	70,7	0,7	5	12,5			
15	49,7	0,000043	74,1	1,1	3,9	14,3	116,9	0,000028	75,2	1	5	13	38,5	0,000033	63,7	0,5	5,1	10,8			
16	52,7	0,000016	74	1,1	5,5	11,1	119	0,000017	84,1	0,9	6,4	14,1	41,1	0,000077	69	0,9	4,8	11,8			
17	56,3	0,000063	76,5	0,6	5,7	14,2	122,89	0,000015	95,3	0,8	6,2	19	44,6	0,000097	60,2	0,8	4,3	9,9			
18	59,7	0,000016	82	1	4,6	16,4	125,88	0,000065	76	1,2	4,9	12,3	47,6	0,000039	67,6	0,8	4,6	11,8			
19	62,7	0,000034	72,2	0,8	4	14,8	128,87	0,00005	76,7	0,8	5,2	14	50,6	0,000044	73,6	0,8	6,3	10,7			
20	65,6	-1,1E-05	68,7	0,9	4,2	12,6	131,87	0,000134	83,9	0,8	5,7	15,6	53,6	0,000149	70,2	0,7	4,3	14			
21	68,7	0,000014	66,6	1	4,2	11,4	134,84	0,000145	81,2	0,8	6	14,1	57,3	0,000114	77,6	0,7	4,2	16,9			
22	71,7	0,000022	66,6	0,6	5,8	10	136,5	0,00017	88,1	0,8	5,7	17,1	60,28	0,000133	68,5	0,5	5,7	11,5			
23	74,7	0,000043	61,9	0,8	3,5	12,2	139	0,00015	88,8	1,1	6,3	14,9	63,26	0,0001	61,5	0,8	4,1	10,4			
24	77,7	0,000013	72,9	0,7	6,1	11,5	142	0,000501	84,7	0,9	5,8	15,6	66,22	0,000028	80,9	0,6	6,8	13,6			
25	80,7	0,000016	66,3	0,6	4,6	12,5	146,56	0,000391	77,5	1,1	6	11,5	69,18	0,000173	67,1	0,6	5,6	10,5			
26	83,7	0,000038	75,9	0,7	6,2	12,4	149,52	0,000677	66,6	0,8	3,5	13,6	72,5	0,000045	77,3	0,7	5,5	13,9			
27	86,7	0,000017	69,3	0,7	6,2	9,8	151,49	0,00036	78,4	1	6,4	11,2	75,5	0,000052	67,9	0,7	5,9	9,8			
28	90,2	0,000023	79,2	0,5	7,2	12,6	157,39	0,001229	80,2	1,3	4,7	14,3	78,5	0,000269	77	0,6	5	15,6			
29	93,7	0,000036	64,5	0,5	3,2	14,8	160,35	0,01296	70,3	1	4,9	11,3	81,5	0,000053	72,8	0,9	4,9	12,5			
30	105,7	0,000024	75,1	0,5	6,5	12,4	164,29	0,01733	78,5	1,1	5,2	13,3	84,5	0,000019	77	0,6	5,9	13,7			
31	108,7	0,000018	57,4	0,7	3,6	10,6	170	0,008357	73,3	1	5,6	11,1	90,38	0,000116	77,5	1,1	4,2	15,3			
32	111,7	0,000021	65,6	0,8	3,9	12,4	173,6	0,006634	85,8	0,8	7	14,1	93,37	0,000124	78,6	0,6	6	13,9			
33	114,6	0,000027	65,4	0,6	5,3	10,6	176	0,02911	73,9	0,9	4,5	13,8	96,35	0,000033	68,3	0,8	4,7	11,8			
34	116,1	0,00005	63,8	0,6	3,5	13,8	179	0,02998	65,7	0,7	5,2	10,6	99,3	0,000032	75,4	0,7	6,3	11,9			
35	117,9	0,000152	75	0,8	5,4	13,2	182	0,02521	82,1	1	5,7	13,9	100,6	0,00012	77,6	0,7	7,5	10,2			
36	120,8	0,000065	70,2	0,7	4,7	13	185	0,03974	81,7	1	5,5	14,4									
37	123,8	0,00005	64,5	0,5	5,2	10,8	188	0,007117	88	1,1	6,2	14,9									
38	126,3	0,00003	67,7	0,8	4,8	11,6	191,65	0,02035	79,3	1,1	5,3	13,5									

Figura A.3: Planilha de dados coletados no testemunhos de sondagem com susceptibilímetro e gamaespectrômetro.

Referências

- Ansari, A. e Alamdar, K. (2011) A new edge detection method based on the analytic signal of tilt angle (asta) for magnetic and gravity anomalies, *Iranian Journal of Science and Technology (Sciences)*, **35**(2):81–88.
- Blakely, R. J. (1995) *Potential Theory in Gravity & Magnetic Application*, Cambridge University Press.
- CBPM (2008) Projeto aerogeofísico Barra da Estiva/Tremedal - Relatório final de aquisição e processamento dos dados magnetométricos, Rel. Téc., CBPM - Companhia Baiana de Pesquisa Mineral.
- Cordani, U. G.; Kei, S. e Marinho, M. M. (1985) The geologic evolution of the ancient granite—greenstone terrane of central-southern Bahia, Brazil, *Precambrian research*, **27**(1-3):187–213.
- Cruz, S. C. P.; Peucat, J.-J.; Teixeira, L.; Carneiro, M. A.; Martins, A. A. M.; dos Santos Santana, J.; de Souza, J. S.; Barbosa, J. S. F.; Leal, Â. B. M.; Dantas, E. et al. (2012) The Caraguataí syenitic suite, a ca. 2.7 ga-old alkaline magmatism (petrology, geochemistry and u–pb zircon ages). Southern Gavião block (São Francisco Craton), Brazil, *Journal of South American Earth Sciences*, **37**:95–112.
- Cunha, J. C.; Barbosa, J. S. F. e de F. Mascarenhas, J. (2012) *Geologia da Bahia: pesquisa e atualização*, Companhia Baiana de Pesquisa Mineral.
- Dickson, B. e Scott, K. (1997) Interpretation of aerial gamma-ray surveys-adding the geochemical factors, *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics*, **17**:187–200.
- Gazolla, P. e Zanon, R. (2008) Survey and logistics report on a helicopter borne versatile time domain electromagnetic (VTEM) survey on the Serra das Éguas Project for Minerco Mineração S.A., Rel. Téc..
- Gilmore, G. (2011) *Practical gamma-ray spectroscopy*, John Wiley & Sons.
- Grasty, R. L. e Minty, B. R. S. (1990) *A Guide to the Technical Specifications for Airborne Gamma-ray Surveys*, Citeseer.

-
- Hinze, W. J.; Von Frese, R. R.; Von Frese, R. e Saad, A. H. (2013) Gravity and magnetic exploration: principles, practices, and applications, Cambridge University Press.
- Kearey, P.; Brooks, M. e Hill, I. (2009) Geofísica de exploração, Oficina de Textos.
- Last, B. e Kubik, K. (1983) Compact gravity inversion, *Geophysics*, **48**(6):713–721.
- Lima, O. (2014) Propriedades Físicas das Rochas–bases da geofísica aplicada.
- Menke, W. (2018) Geophysical data analysis: Discrete inverse theory, Academic press.
- Minty, B. R. S. (1997) Fundamentals of airborne gamma-ray spectrometry, *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics*, **17**:39–50.
- NGA Inc. (2004) GM-SYS Gravity/Magnetic Modeling Software User’s Guide, Northwest Geophysical Associates Inc., Western Boulevard, Corvallis, (OR), v.4.9 edic..
- Oliveira, V. d. P.; Fragomeni, L. e Bandeira, C. (1997) Depósitos de magnesita de serra das éguas, brumado, bahia, Principais depósitos minerais do Brasil. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral, **4**:219–234.
- Paim, M. M.; Vasconcelos, M. A. R.; Cruz, S. C. P.; Rangel, E. G.; de Mendonça Freire, M. e Miranda, M. N. R. (2018) Atualização do mapa geológico da Serra das Éguas, Brumado - Nota explicativa, Rel. Téc..
- Pedreira, A.; Oliveira, J.; Silva, B. e Pedrosa, C. (1975) Projeto bahia: Geologia da bacia do rio de contas, Relatório Final. Salvador, Bahia (CPRM, Convênio DNPM/CPEM, 3 volumes.
- Plouff, D. (1975) Derivation of formulas and fortran programs to compute magnetic anomalies of prisms, Final Report, 1973-1974 Geological Survey, Menlo Park, CA.
- Plouff, D. (1976) Gravity and magnetic fields of polygonal prisms and application to magnetic terrain corrections, *Geophysics*, **41**(4):727–741.
- Salem, A.; Williams, S.; Fairhead, D.; Smith, R. e Ravat, D. (2007) Interpretation of magnetic data using tilt-angle derivatives, *Geophysics*, **73**(1):L1–L10.
- Sena, F. O. (2016) Interpretação de dados geofísicos da Serra das Éguas, Relatório Geofísico 03 Área Serra das Éguas, Brumado, Bahia - Relatório interno RHI Magnesita, Rel. Téc..
- Silva, R. W. S. e Sampaio, E. E. S. (2017) Geofísica na Bahia: estudos geológicos e exploração mineral, Companhia Baiana de Pesquisa Mineral.
- Stocco, S.; Godio, A. e Sambuelli, L. (2009) Modelling and compact inversion of magnetic data: A matlab code, *Computers & Geosciences*, **35**(10):2111–2118.
- Talwani, M. (1964) Computation of magnetic anomalies caused by two-dimensional bodies of arbitrary shape, *Computers in the mineral industries*, **1**:464–480.

- Talwani, M. (1965) Computation with the help of a digital computer of magnetic anomalies caused by bodies of arbitrary shape, *Geophysics*, **30**(5):797–817.
- Talwani, M.; Worzel, J. L. e Landisman, M. (1959) Rapid gravity computations for two-dimensional bodies with application to the mendocino submarine fracture zone, *Journal of geophysical research*, **64**(1):49–59.
- Terraplus Inc. (2013) KT-10 V2 Magnetic Susceptibility, Conductivity and Combined Magnetic Susceptibility/Conductivity Meter User's Guide, Terraplus Inc., Richmond Hill, Ontario, L4B 1L9 (CA), v.2.1 edic..
- Won, I. e Bevis, M. (1987) Computing the gravitational and magnetic anomalies due to a polygon: Algorithms and fortran subroutines, *Geophysics*, **52**(2):232–238.

Anexo I

Guia para usuários do MAG2DATA

I.1 Organização de dados

Os dados devem estar em um arquivo .txt organizados em duas colunas separadas por tabulação. A primeira coluna será a coordenada x em metros, que deve estar amostrada em intervalos iguais. A segunda coluna será de dados magnéticos (gradiente ou campo total). A amostragem de dados ocorre uniformemente.

I.2 Rodando o programa

Copie todos os arquivos .m para um novo diretório e se certifique que o *current folder* no Matlab indica o novo diretório que você colocou todos os arquivos .m. Digite MAG2D na *command window* para rodar o programa, então aparecerá uma janela com 6 opções que serão descritas a seguir:

- *Show Profile;*
- *Filtering Data;*
- *Kernel;*
- *Forward Modelling;*
- *2D-Inversion;*
- *Synthetic Data.*

I.3 *Show Profile*

É possível verificar seus dados magnéticos. Essa item apenas plota os dados numa imagem. O dados devem estar organizados como foi especificado na primeira sessão, porém, apenas para mostrar os perfis, podem ser três colunas (x em metros, campo total em nT e gradiente vertical em nT/m).

I.4 *Filtering Data*

Uma rápida e simples ferramenta de filtragem de dados. Primeiro você tem que carregar um arquivo, então você pode:

- Selecionar janelas do sinal

Pressionando a caixa de seleção da janela que você precisa, uma figura mostrará o sinal original (linha azul) e o sinal janelado (linha vermelha). Você pode tentar com quantas janelas quiser. Quando estiver satisfeito, lembre-se de pressionar o botão *OK* para salvar novo sinal.

- Regularizar o intervalo de amostragem ou reamostrar dados

Uma vez representado o intervalo de amostragem desejado, pressione *OK* para salvar o novo sinal.

- *Spatial zero-Padding* no perfil para evitar efeitos de borda

Você pode optar por *zero-Pad* no perfil inicial, final, ou ambos. Você precisa indicar o número de pontos zero. Pressione *OK* para salvar o novo sinal.

- Calcular o espectro do sinal e aplicar um filtro de média móvel ou um filtro *Butterworth*

Para usar o filtro de média móvel, primeiro é necessário digitar o número de pontos do filtro médio na caixa de edição e, em seguida, pressionar o botão *Filtering*. Para o filtro *Butterworth* é preciso inserir 4 parâmetros: *Wp*: número de onda da banda de passagem (número de onda de corte); *Ws*: número de onda da banda de corte; *Rp*: ondulação da banda de passagem (em decibéis); *Rs*: atenuação da banda de corte (em decibéis). Os valores *Wp* e *Ws* não são o número de onda normalizado, mas o próprio número de onda. O programa avaliará o número de onda normalizado usado pelas funções do Matlab. É possível alterar os valores dos parâmetros várias vezes, observando o espectro filtrado e o sinal (linhas vermelhas) sobrepostas ao espectro original e ao sinal (linhas azuis). Quando o sinal filtrado parecer bom, salve pressionando o botão *Save*.

A ajuda do Matlab pode ser utilizada para obter informações sobre os parâmetros, digitando *help buttord function* na *command window*.

I.5 *Kernel*

Antes de iniciar a modelagem direta, deve-se escolher a opção desejada. Se você não fizer isso, o padrão será “Campo total - 2D”. É possível escolher entre três tipos de *kernel*:

- Campo total - 2D;
- Componente vertical do campo total - 2D;
- Campo total - 2-1 / 2D, com a indicação do comprimento da anomalia perpendicular ao núcleo do perfil.

I.6 *Forward Modelling*

Primeiro carrega-se um arquivo e seleciona-se a opção de dados de campo total ou gradiente vertical. No quadro *Profile* é possível ver o número de dados do perfil carregado e seu comprimento. Então pode-se escolher entre interpolar ou não os dados (o valor 1 na caixa de edição *Order of Interpolation* significa que os dados não serão interpolados), os valores dos parâmetros de intensidade do campo magnético total, altura de sensores e discretização do domínio espacial (número de prismas nas direções X e Z e espessura dos prismas).

Pressionando *Model* é possível ver a discretização espacial. Aparece uma janela com uma grade desenhada: cada bloco da grade, ou prisma, corresponde a uma parte discreta do subsolo. Ao pressionar o botão *Select Prisms*, é possível selecionar cada prisma usando o mouse (botão esquerdo). Após selecionar todos os prismas, pressiona-se a tecla *Enter* do teclado. Agora é necessário escolher o valor da suscetibilidade magnética (SI) que deseja dar aos prismas selecionados e depois pressionar o botão *Apply*. O programa dará aos prismas o valor de suscetibilidade escolhido.

Se houver necessidade de selecionar muitos prismas, é melhor apertar o botão *Select area*. Uma vez pressionado, seleciona-se o canto da área (polígono) que deseja-se escolher pressionando o botão esquerdo do mouse. Para fechar a área e selecioná-la, clica-se duas vezes no botão esquerdo do mouse. Assim, cada prisma que o centro estiver dentro da área será selecionado. Novamente, escolhe-se um valor pressionando o botão *Apply*. Também é possível cancelar a seleção de todos os prismas pressionando o botão *Deselect*, que funciona da mesma maneira que *Select prisms*.

Ao terminar, pressionando *OK* retorna-se para a janela anterior. Pressionando novamente *OK* a modelagem direta começará, comparando o resultado (linha vermelha) com os dados carregados (linha azul). É possível alterar o modelo e executar a modelagem progressiva sempre que quiser.

I.7 2D-*Inversion*

O procedimento para entrada de dados e de parâmetros é feito da mesma forma que na modelagem direta. Pressionando *Resolution* é possível ver a matriz de resolução do modelo, a diagonal principal da matriz resolução do modelo, e a matriz de covariância do seu problema.

Na *command window* do matlab você pode encontrar as seguintes informações:

- Tempo de cálculo do *kernel* (núcleo);
- Número de condição do seu problema;
- Número de condição removendo os valores singulares abaixo de uma certa tolerância
- Tamanho do *kernel*;
- Posto da matriz.

Os parâmetros de inversão são:

- Número de iterações;
- Relação ruído/sinal;
- Contraste de susceptibilidade do alvo.

Kernel equalization é uma espécie de função de ponderação de profundidade. Pressionando *OK*, a inversão será iniciada e uma figura aparecerá, mostrando a potência do sinal em execução (em decibéis). Deve-se selecionar um limite para o sinal útil antes que a inversão continue. O resultado do processo de inversão mostra três números:

1. A tendência da norma L2 com as iterações (a norma L2 é avaliada em todo o sinal e apenas nessa parte do sinal acima do limiar previamente selecionado);
2. O resultado da inversão com a norma mínima L2 avaliada em todo o sinal;
3. O resultado da inversão com a norma L2 mínima avaliada no “sinal útil” (a parte dentro do quadrado).

I.8 *Synthetic Data*

É possível criar seu próprio conjunto de dados e invertê-lo, podendo também incluir efeitos remanescentes na magnetização do seu corpo fonte.

Existe dois conjuntos de dados sintéticos no diretório do programa com os seguintes parâmetros:

- Número de dados: 101;
- Comprimento do perfil (m): 100;
- Prismas ao longo de x: 25;
- Prismas ao longo de z: 5;
- Espessura (m): 2;
- Intensidade de campo total (nT): 46000;
- Inclinação magnética (grau): 60;
- Declinação magnética (grau): 0;
- Altura do sensor Inferior (m): 0,3;
- Altura do sensor Superior (m): 1.3;
- Magnetização Remanente: NÃO.