



UFOP

Universidade Federal
Ouro Preto

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

ESCOLA DE MINAS

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



GABRIEL FERREIRA DO COUTO

**INTERPRETAÇÃO GEOFÍSICA DA FOLHA 23-Z-C-IV: MAGNETOMETRIA
APLICADA À GEOLOGIA LOCAL DE PARÁ DE MINAS**

OURO PRETO

Junho 2026

Gabriel Ferreira do Couto

INTERPRETAÇÃO GEOFÍSICA DA FOLHA 23-Z-C-IV: MAGNETOMETRIA
APLICADA À GEOLOGIA LOCAL DE PARÁ DE MINAS

Monografia apresentada ao Curso de
Engenharia Geológica da
Universidade Federal de Ouro Preto
como requisito parcial para obtenção
do título de Engenheiro Geólogo.

Orientador: Dr. Joney Justo da Silva

OURO PRETO

2026

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

C871i Couto, Gabriel Ferreira do.
Interpretação geofísica da Folha 23-Z-C-IV [manuscrito]:
magnetometria aplicada à geologia local de Pará de Minas. / Gabriel
Ferreira do Couto. - 2026.
90 f.: il.: color., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Joney Justo da Silva.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.
Escola de Minas. Graduação em Engenharia Geológica .

1. Geofísica. 2. Magnetometria. 3. Pará de Minas (MG). I. Silva, Joney
Justo da. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 550.38(815.1)

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



FOLHA DE APROVAÇÃO

Gabriel Ferreira do Couto

Interpretação geofísica da Folha 23-Z-C-IV: magnetometria aplicada à geologia local de Pará de Minas

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Geológica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Geólogo

Aprovada em 22 de setembro de 2026

Membros da banca

Dr. Joney Justo da Silva - Orientador - Universidade Federal do Ouro Preto
Dr. Filipe Altoe Temporim - Universidade Federal do Ouro Preto
Dr. Luiz Fernandes Dutra - Universidade Federal do Ouro Preto

Joney Justo da Silva, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 05/08/2026



Documento assinado eletronicamente por **Joney Justo da Silva, CHEFE DO DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**, em 05/08/2026, às 11:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1152930** e o código CRC **02687C2F**.

RESUMO

O presente trabalho executou processamento análise e interpretação dados geofísicos para a região da cidade de Pará de Minas – MG, utilizando o método da magnetometria. Utilizando um banco de dados pré-existent de caráter público, uma série de procedimentos matemáticos utilizando computação foram desenvolvidos promovendo geração de uma gama de mapas temáticos, os quais expressam variadas informações acerca da área em questão no que tange a susceptibilidade magnética dos pontos aerolevantados e suas implicações (relacionadas ao contexto litológico e/ou estrutural), fornecendo subsídio para variadas finalidades que demandam investigação geológica. Foram realizados tratamentos matemáticos, gerando mapas magnetométricos e aplicação de filtros, que expressam determinadas características sobre o contexto geral, através do mapa de amplitude do sinal analítico, foram locados perfis equiespaçados. Os perfis definidos forneceram informações de anomalias magnetométricas que foram processadas através de deconvolução de Euler com o objetivo de identificar as fontes magnetométricas responsáveis pelas respostas avaliadas, tal procedimento proporcionou estimativas em subsuperfície de elementos estruturais, suas profundidades e comportamento espacial. Posteriormente os resultados obtidos pela deconvolução de Euler foram agrupados e passaram por interpolação pelo método de krigagem, a fim de, estimar valores de profundidade das fontes anômalas em pontos não amostrados. O procedimento permite realizar modelamento em três dimensões para estruturas em profundidade. A interpretação dos produtos gerados pela dinâmica de trabalho permitiu conclusões sobre o contexto da região (principalmente relacionado à geologia estrutural) como tendências direcionais e associação com contexto geotectônico da região.

Palavras-chave: Pará de Minas, geofísica, magnetometria, susceptibilidade magnética, estrutural, amplitude do sinal analítico, deconvolução de Euler

ABSTRACT

This work aims to carry out the processing, analysis, and interpretation of geophysical data for the region of the city of Pará de Minas, Minas Gerais, using the magnetometric method. Drawing on a pre-existing public database, a series of computational mathematical procedures was developed, yielding a range of thematic maps that convey varied information about the study area with respect to the magnetic susceptibility of the airborne-surveyed points and its implications (related to the lithological and/or structural context), thereby providing support for the diverse purposes that require geological investigation. Mathematical treatments were performed, generating magnetometric maps and applying filters that express particular characteristics of the overall setting; based on the analytic signal amplitude map, equally spaced profiles were positioned. The defined profiles provided information on magnetometric anomalies, which were processed through Euler deconvolution in order to identify the magnetic sources responsible for the evaluated responses. This procedure yielded subsurface estimates of structural elements, their depths, and their spatial behavior. Subsequently, the results obtained from the Euler deconvolution were grouped and interpolated using the kriging method, so as to estimate depth values of the anomalous sources at unsampled points. This procedure enables three-dimensional modeling of structures at depth. The interpretation of the products generated by this workflow supported conclusions about the regional context (chiefly related to structural geology), such as directional trends and their association with the geotectonic setting of the region.

Keywords: Pará de Minas, geophysics, magnetometry, magnetic susceptibility, structural geology, analytic signal amplitude, Euler deconvolution

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Posição da folha Pará de Minas em relação ao estado de Minas Gerais .	10
Figura 2 - Localização da Folha Pará de Minas e demais Folhas do contrato CPRM 059/PR/05–UFMG	10
Figura 3 - Contexto geotectônico - Cráton São Francisco.....	19
Figura 4 - Limite da porção sul do Cráton São Francisco, compilado e adaptado de Alkmin e Teixeira (2017).	20
Figura 5 - Lineamento Pitangui.	21
Figura 6 - Equação para deconvolução de Euler	39
Figura 7 - Tela de configuração para geração de grid no software Geosoft.....	42
Figura 8 - Fluxograma descritivo da dinâmica de trabalho na geração de mapas através do aplicativo Oasis Montaj (Geosoft)	46
Figura 9 - Sequência de mapas de continuação para cima de 1.000, 2.500, 5.000 e 10.000 metros evidenciando anomalias em profundidade	48
Figura 10 - Mapa de amplitude do sinal analítico da área de estudo e delimitação de domínios conforme magnitudes	49
Figura 11 - Sobreposição do mapeamento estrutural e mapa de amplitude do sinal analítico com delimitação dos domínios de magnitude	50
Figura 12 Sobreposição do mapa de amplitude do sinal analítico com modelo do Lineamento Pitangui proposto por Romano	51
Figura 13 - Diagrama de roseta com representação estatísticas das direções dos lineamentos	54
Figura 14 - Lineamento evidenciados pelo mapa de amplitude do sinal analítico.....	54
Figura 15 - Locação dos perfis para deconvolução cobrindo a anomalia mais significativa da área estudada.....	55
Figura 16 - Janela de configuração de banco de dados para deconvolução de Euler no software Euler Deconvolution.....	56
Figura 17 - Janela de parâmetros para deconvolução de Euler Software Euler Deconvolution.....	57
Figura 18 - Resultados de deconvolução de Euler, gradiente vertical, gradiente horizontal e amplitude do sinal analítico (Perfil 1)	58
Figura 19 - Interpretação dos resultados (Perfil 1)	59

Figura 20 - Resultados de deconvolução de Euler, gradiente vertical, gradiente horizontal e amplitude do sinal analítico (Perfil 2)	60
Figura 21 - Interpretação dos resultados (Perfil 2)	60
Figura 22 - Resultados de deconvolução de Euler, gradiente vertical, gradiente horizontal e amplitude do sinal analítico (Perfil 3)	62
Figura 23 - Interpretação dos resultados (Perfil 3)	63
Figura 24 - Resultados de deconvolução de Euler, gradiente vertical, gradiente horizontal e amplitude do sinal analítico (Perfil 4)	64
Figura 25 - Interpretação dos resultados (Perfil 4)	64
Figura 26 - Resultados de deconvolução de Euler, gradiente vertical, gradiente horizontal e amplitude do sinal analítico (Perfil 5)	66
Figura 27 - Interpretação dos resultados (Perfil 5)	67
Figura 28 - Resultados de deconvolução de Euler, gradiente vertical, gradiente horizontal e amplitude do sinal analítico (Perfil 6)	68
Figura 29 - Interpretação dos resultados (Perfil 6)	69
Figura 30 - Visualização dos perfis agrupados e valores de profundidade pós interpolação por krigagem.....	71
Figura 31 - Visualização 3D dos perfis com as fontes anômalas identificadas por deconvolução de Euler	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela de propriedade física por método geofísico.....	17
Tabela 2 - Coluna Litoestratigráfica Folha Pará de Minas (CPRM/UFMG).	23
Tabela 3 - Filtros de Fourier com respectivas finalidades geofísicas (modificado de Kearey et al.).....	39
Tabela 4 - Índices estruturais para deconvolução de Euler de diferentes geometrias de elementos estruturais	40

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Apresentação	9
1.2	Justificativa.....	9
1.3	Objetivos	13
1.4	Justificativa.....	13
1.5	Materiais E Métodos.....	14
1.6	Materiais.....	15
1.7	Geofísica	15
2	Geologia	18
2.1	Geologia Regional.....	18
2.1.1	Contexto Geotectônico.....	18
2.2	Geologia Local	21
2.2.1	Embasamento Cristalino	24
2.2.2	Supergrupo Rio das Velhas	24
2.2.3	Granitóides sin a tardi tectônicos	28
2.2.4	Granitóides tardi tectônicos.....	28
2.2.5	Diques básicos.....	29
2.2.6	Grupo Bambuí.....	29
2.2.7	Neógeno	31
3	FUNDAMENTOS DE MAGNETOMETRIA: PRINCÍPIOS, AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS.....	32
3.1	Campo Magnético Terrestre.....	32
3.2	Anomalias Magnetométricas	36
3.3	Correções.....	37
3.3.1	Correção da Variação Diurna.....	37

3.3.2	Correção geomagnética.....	38
3.3.3	Correção Topográfica	38
3.4	Filtros.....	38
3.5	Banco de Dados.....	41
3.6	Geosoft.....	41
3.6.1	Principais Plataformas e Funcionalidades do Geosoft	43
3.7	Análise em Profundidade	44
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
4.1	Geração de Mapas	45
4.2	Avaliação e interpretação de mapas	47
4.2.1	Interpretação geotectônica.....	50
4.2.2	Lineamentos.....	52
4.3	Deconvolução de Euler	55
4.3.1	Perfil 1.....	58
4.3.2	Perfil 2.....	60
4.3.3	Perfil 3.....	62
4.3.4	Perfil 4.....	64
4.3.5	Perfil 5.....	66
4.3.6	Perfil 6.....	68
4.4	Modelagem 3D	70
5	CONCLUSÕES	72
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
7	ANEXOS	76

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

A geofísica enquanto ferramenta essencial para o estudo e compreensão da estrutura e dinâmica do planeta Terra, através da medição de parâmetros físicos de determinados pontos, possibilita caracterização dos pacotes rochosos em subsuperfície e permite aplicações relevantes para ciências da Terra em áreas como prospecção mineral, hidrogeologia, geotecnia, geotectônica e estratigrafia.

Dentre os diversos métodos geofísicos, a magnetometria, baseada na medição da susceptibilidade magnética da crosta, possui uma grande relevância para elucidar determinadas características geológicas em áreas como geologia estrutural, hidrogeologia e metalogenia. O aprofundamento do conhecimento geológico por meio desse método contribui significativamente para resolução de problemas em pesquisa mineral, geotecnia, recursos hídricos e construção civil.

O presente trabalho propõe a utilização de dados aeromagnetométricos da CODEMIG (levantamentos realizados nos anos de 2000 e 2001) para geração de mapas magnetométricos na região da cidade de Pará de Minas – MG (FOLHA 23-Z-C-IV). Por meio desses produtos cartográficos busca-se identificar possíveis correspondências geológicas e posteriormente propor interpretações.

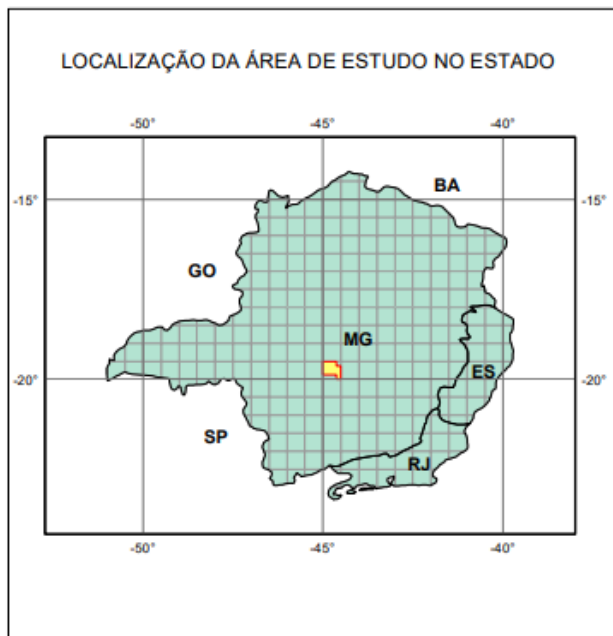
1.2 Justificativa

A cidade de Pará de Minas situa-se na região centro-oeste do estado de Minas Gerais e dá nome à FOLHA 23-Z-C-IV, publicada em 2007 e se trata do trabalho mais completo de mapeamento geológico para a região. A poligonal estabelecida como área de estudo para este estudo corresponde à poligonal da FOLHA PARÁ DE MINAS delimitada conforme a disponibilidade de dados magnetométricos. O mapa geológico citado é apresentado ao final deste trabalho como anexo, a fim de fornecer informações necessárias para correlações e análises propostas pelo projeto.

A Poligonal em questão possui seguintes coordenadas geográficas e seu posicionamento regional é representado nas *Figuras 1 e 2*:

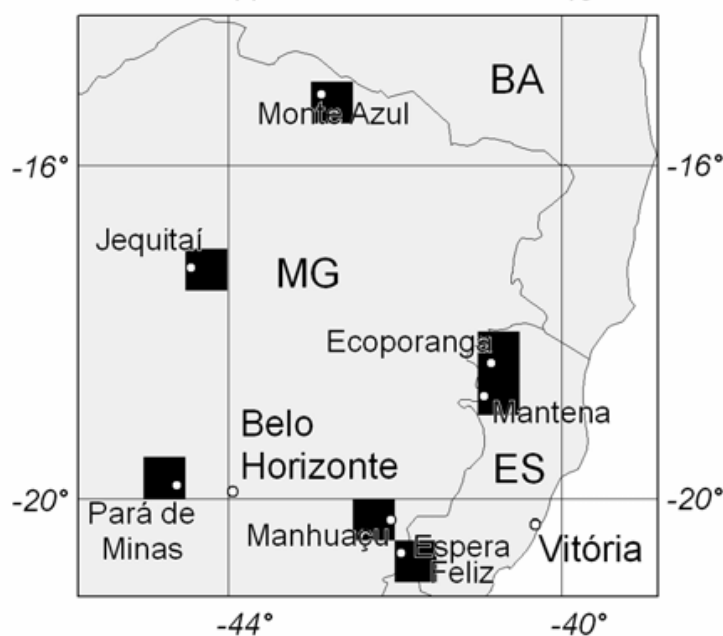
- Latitude: 19°30'– 20°00'
- Longitude: 44°30'– 45°00'

Figura 1 - Posição da folha Pará de Minas em relação ao estado de Minas Gerais



Fonte: Geologia da Folha Pará de Minas - CPRM

Figura 2 - Localização da Folha Pará de Minas e demais Folhas do contrato CPRM 059/PR/05–UFMG.

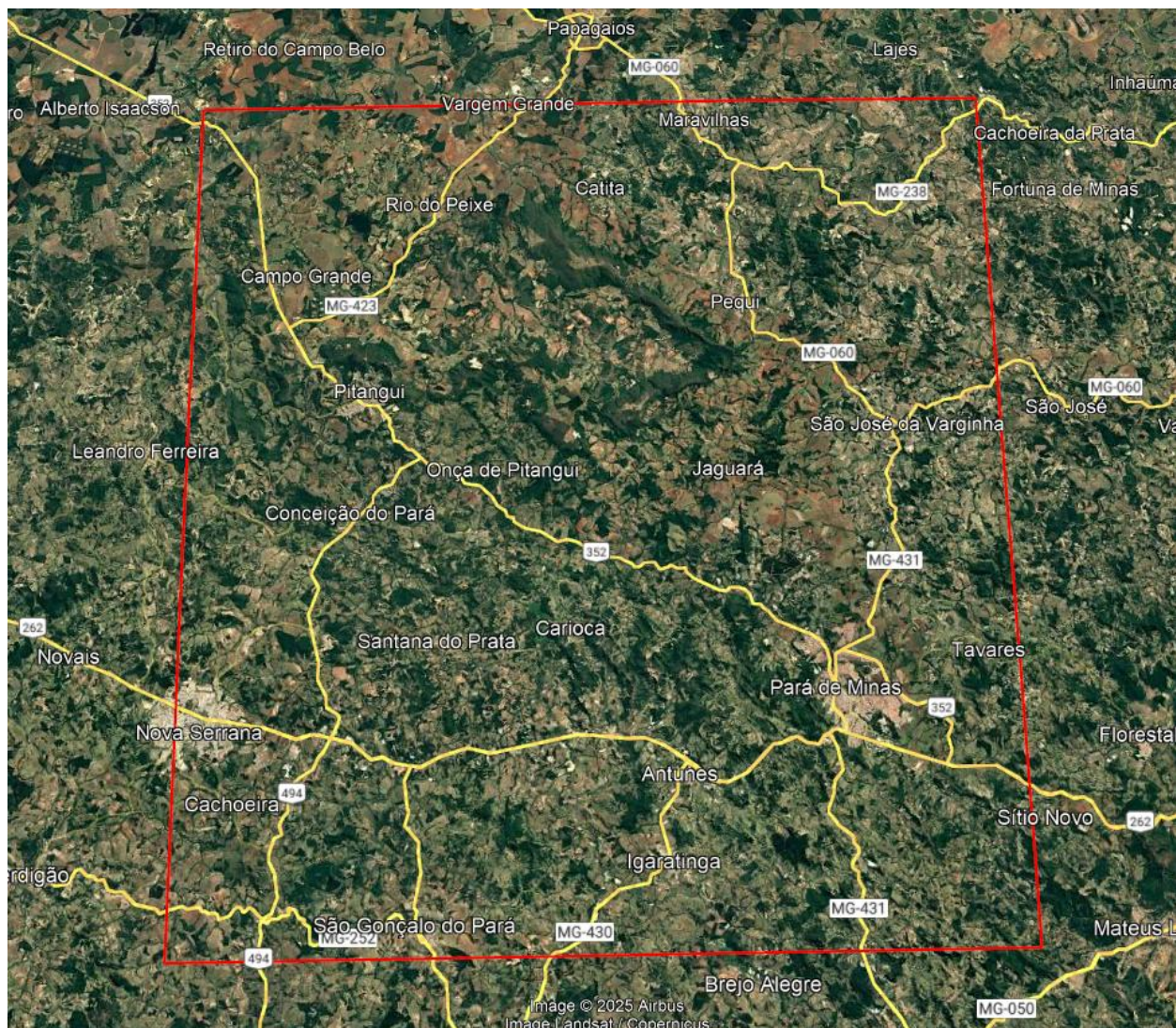


Fonte: Geologia da Folha Pará de Minas - CPRM

A cidade de Pará de Minas a oeste de Belo Horizonte, aproximadamente a 80 km da capital, na área de influência direta da mesma. Neste sentido este Trabalho de Conclusão de Curso pode desenvolver conteúdo importante para uma região de grande relevância para o estado que naturalmente demanda conhecimento que a geofísica e magnetometria podem gerar. Os municípios, cujas sedes localizam-se na folha são:

- Pará de Minas;
- Pitangui;
- Onça do Pitangui;
- Conceição do Pará;
- São Gonçalo do Pará;
- Nova Serrana;
- Igaratinga;
- Maravilhas;
- Pequi e;
- São José da Varginha.

Figura 3 - Imagem de satélite (área de estudo, cidades, distritos e vias de acesso)



Fonte: Google Earth

Conforme a Figura 3, os acessos são variados contando com diversas estradas pavimentadas e de grande circulação humana e de carga, pois a região está situada na rota que faz o acesso de Belo Horizonte com a região oeste de Minas Gerais e do Brasil central. O principal eixo rodoviário é a BR 262 que conecta Vitória, ES a Corumbá, MS e atravessa toda a porção centro sul folha em direção Leste-Oeste, ligando diretamente a capital com a cidade de Pará de Minas em rodovia duplicada.

A cidade de Pará de Minas por seu porte médio, torna-se uma cidade de influência local onde prevalecem pequenas cidades, e por isso, um polo rodoviário de importância secundária, com boas ligações para os outros eixos rodoviários da região

sudeste através de diversos trechos pavimentados descritos abaixo:

- BR 352 faz a ligação Pará de Minas a Abaeté, passando por Pitangui;
- MG 431, desde a BR 381 (Belo Horizonte - São Paulo) até a cidade de Maravilhas; desta última cidade existe uma outra ligação, a MG 238, que faz a ligação com Sete Lagoas, e atravessa a parte ocidental da folha;
- A MG 423 liga a cidade de Pitangui com a BR 262 e com a MG 050.

Além das vias citadas, diversas outras estradas de menor relevância, pavimentadas ou não, compõem a malha rodoviária interna à área de estudo, conectando os municípios entre si e localidades rurais.

1.3 Objetivos

O principal objetivo deste estudo é o processamento, análise e interpretação de dados magnetométricos da área contemplada pela FOLHA SE-23-Z-C-IV. Esse resultado será alcançado por meio da aplicação de ferramentas de processamento computacional ao banco de dados visando representar com fidelidade as características magnéticas da região.

De maneira secundária o trabalho visa:

- Produzir mapas magnetométricos com aplicação de filtros determinados para diferentes finalidades. Gerar um modelo tridimensional da área estudada e aplicar deconvolução de Euler para identificar fontes de anomalias.
- Realizar a análise e interpretação dos produtos gerados, podendo desencadear novos questionamentos e possíveis repostas para anomalias e padrões cartografados

1.4 Justificativa

A própria produção de material científico na área da geologia e geofísica representa motivação relevante para estudo do território brasileiro e em especial a região central de Minas Gerais. Esta área apresenta uma complexidade geológica e uma essência mineradora que demanda continuamente de avanços e aprofundamentos no conhecimento nas mais diversos ramos de geologia.

De forma mais específica, o presente trabalho se justifica pela capacidade de gerar material que poderá subsidiar estudos geológicos. Em particular a magnetometria demonstra ser uma ferramenta de comprovada eficácia para investigar questões relativas à subsuperfície, e este estudo contribuirá para tal entendimento na área de Pará de Minas.

1.5 Materiais E Métodos

Para atingir os objetivos estabelecidos anteriormente, um conjunto de atividades em complementação mútua e em sequência deverão ser realizadas. Neste tópico, serão devidamente detalhas todas as execuções, fases de trabalho e fundamentação científica que sustenta o projeto proposto. Pode-se de maneira simplificada resumir a sequência dos trabalhos em cinco fases principais, as quais são desenvolvidas tanto em ordem sequencial quanto concomitantemente conforme a necessidade:

- Revisão bibliográfica: conjunto de pesquisas acerca de vários aspectos relevantes ao estudo como geologia regional e local, obtenção do banco de dados a ser trabalhado e embasamento teórico do trabalho;
- Processamento de dados: Aplicação de ferramentas computacionais para processar o banco de dados em questão, em que são aplicados filtros específicos para exprimir informações desejadas;
- Confecção de produtos cartográficos: Como consequência do processamento de dados, serão produzidos mapas magnetométricos diversos, os quais serão devidamente editados a fim de fornecer conteúdo gráfico para as análises e interpretações
- Interpretação e discussão acerca dos resultados: Etapa em que os produtos cartográficos gerados serão minuciosamente interpretados e discutidas possíveis inferências provenientes da análise;
- Escrita do presente relatório: Ao longo de todo período de desenvolvimento do trabalho, todas as ações, resultados e discussões vão sendo devidamente descritos e registrados no presente documento.

A seguir cada uma das etapas descritas são pormenorizadas.

1.6 Materiais

O projeto demanda essencialmente de banco de dados de magnetometria público e *softwares* relacionados à geociência no que se refere ao processamento de dados (Geosoft) e confecção de mapas (QGIS).

1.7 Geofísica

A geofísica é uma área da geociência que utiliza de medição de parâmetros físicos como campo gravitacional e susceptibilidade magnética, para estudar a estrutura e as propriedades da Terra, sua subsuperfície e, em alguns casos, também objetos no espaço. Os métodos geofísicos visam compreender a distribuição das rochas em subsuperfície, e são escolhidos de acordo com as propriedades físicas dos minerais, bem como das rochas no seu entorno (Telford et al. 1990).

Basicamente, a geofísica tenta entender a dinâmica do interior da Terra e caracterizá-lo a partir da análise de como as ondas ou os campos físicos (como a gravidade, o magnetismo, o som, as ondas eletromagnéticas) se comportam quando interagem com as rochas e materiais abaixo da superfície.

A geofísica se apresenta como ferramenta de amplamente aplicada em vários setores, suas principais áreas de atuação são:

- ***Geofísica de Exploração***

Utilizada principalmente para prospecção mineral, petróleo e gás, e recursos hídricos. Combina vários métodos geofísicos (gravimetria, magnetometria, sísmica, EM) para mapear recursos naturais e avaliar a viabilidade de sua extração.

A geofísica de exploração pode ajudar a identificar depósitos minerais, reservas de petróleo e gás, fontes de água subterrânea e estruturas geológicas favoráveis à mineração.

- ***Geofísica Ambiental***

Envolve o uso de métodos geofísicos para estudar e monitorar o meio ambiente, como a detecção de contaminação do solo e da água, a análise de situações de risco geotécnico (como deslizamentos de terra), a identificação de terrenos instáveis e a recuperação de áreas contaminadas.

Ferramentas geofísicas como resistividade, polarização induzida, e métodos sísmicos são comumente aplicadas.

- ***Geofísica Aplicada à Engenharia***

É usada em estudos de fundações, análise de solo e para planejamento de obras de infraestrutura.

A geofísica aplicada à engenharia pode ajudar a determinar as características do solo, como resistividade, compacidade, profundidade do lençol freático, e a localização de estruturas subterrâneas (por exemplo, antigas minas ou cavidades).

- ***Geofísica de Sismologia***

Estudo de ondas sísmicas (causadas por terremotos ou fontes artificiais) para mapear a estrutura interna da Terra, monitoramento sísmico de atividades tectônicas, análise de terremotos e modelagem de risco sísmico.

Os métodos de investigação geofísica são vários e se diferenciam essencialmente pelo parâmetro medido. Cada método possui suas vantagens e desvantagens e as respostas registradas em levantamento geofísico correspondem a características específicas que variam conforme o objetivo do trabalho, ou seja, cada situação pode ser melhor mapeada um método mais adequado.

As propriedades físicas estudadas e seu respectivo método são relacionados na tabela a seguir:

Tabela 1 - Tabela de propriedade física por método geofísico

PROPRIEDADE FÍSICA MEDIDA	MÉTODO GEOFÍSICO
Densidade	Método Gravimétrico ou Gravimetria
Susceptibilidade magnética	Método Magnético ou Magnetometria
Condutividade elétrica	Métodos Elétricos e Eletromagnéticos
Radioatividade	Métodos Radiométricos ou Radiometria
Elasticidade	Método Sísmico ou Sísmica
Condutividade Térmica	Método Térmico ou Termometria

2 GEOLOGIA

2.1 Geologia Regional

A área de estudo, está situada na folha SE.23-Z-C-IV, de Pará de Minas. Esta folha foi mapeada pela CPRM em 2007 na escala 1:100.000 no programa Geologia do Brasil Levantamentos Geológicos Básicos, em parceria com a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Este capítulo apresentará o contexto geológico da região de interesse, detalhando os aspectos mais relevantes que subsidiam os estudos geológicos subsequentes."

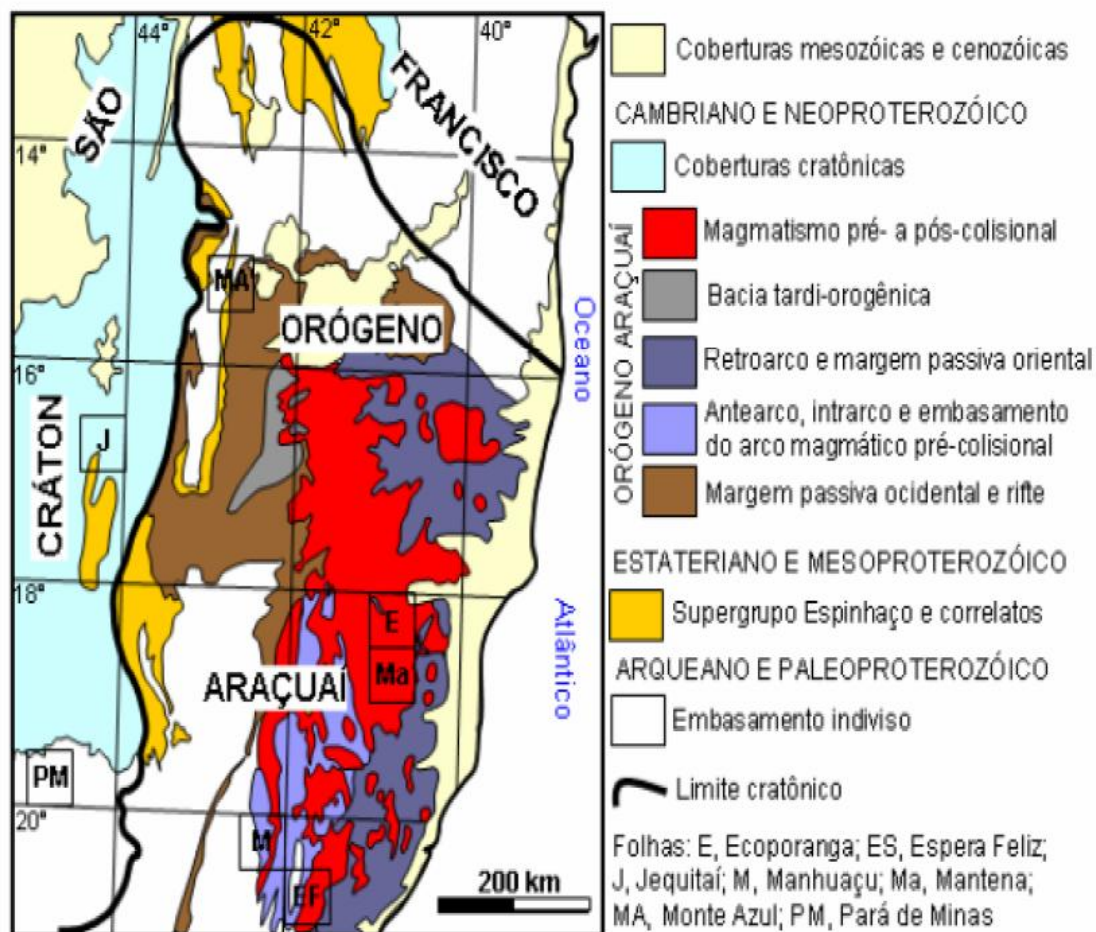
2.1.1 Contexto Geotectônico

A área em estudo está situada em pleno domínio do embasamento meridional do Cráton do São Francisco (Almeida 1977) importando apenas em terrenos gnáissicos migmatíticos meso a neorqueanos e a seqüência greenstone belt neoarqueana do Supergrupo Rio das Velhas. O principal acidente tectônico da região é o denominado Lineamento Pitangui (figura 2), inicialmente citado por Romano & Noce (1995) como Lineamento Pitangui-Congonhas e redefinido por Romano & Paiva (1997), como uma zona colisional entre dois núcleos crustais arqueanos. Prova disso é que os granitos tarditectônicos posicionados ao longo do lineamento têm uma típica assinatura geoquímica de ambientes colisionais continentais (Romano et al. 1995). A direção do lineamento é francamente noroeste-sudeste, tem uma largura máxima de mais de 20 km e materializa pelo menos três zonas principais de cisalhamento.

O Cráton São Francisco faz parte da plataforma pré-cambriana (Almeida 1977, Alkmim et al. 1993), que engloba grande parte dos estados de Minas Gerais e Bahia. A sua porção meridional é um segmento crustal de evolução policíclica, tectonicamente estável em relação aos cinturões móveis do ciclo Brasileiro (Alkmim et al. 1993) e apresenta significativa exposição de terrenos granito- greenstone neoarqueanos com evolução tectônica iniciada no Mesoarqueano (Teixeira et al. 1996a, 1998a, b, 2000, Carneiro et al. 1998a).

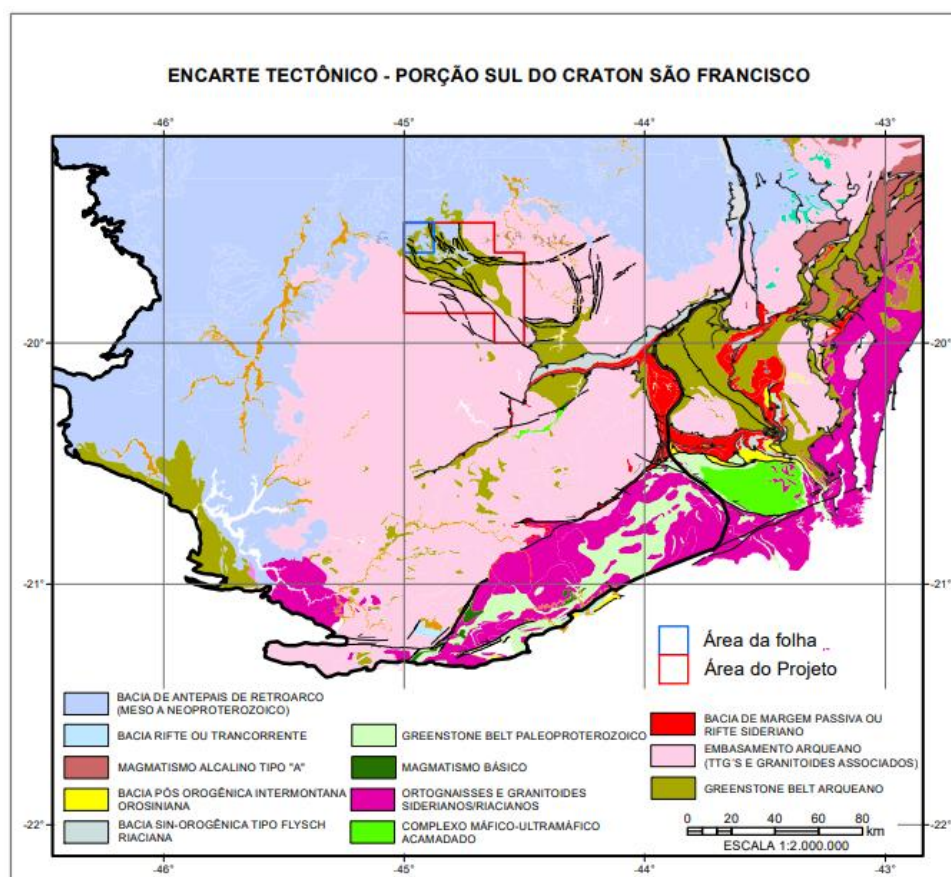
O Complexo Metamórfico Campo Belo corresponde à crosta siálica que aflora a oeste do Quadrilátero Ferrífero e do Complexo Metamórfico Bonfim, englobando os antigos complexos Divinópolis e Barbacena (Teixeira et al. 1996, Fernandes 2001). É constituído por rochas gnáissicas, anfibolíticas e metaultramáficas, intrudidas por gabronoritos, granitoides e gabros. Localmente são encontrados relictos supracrustais (Teixeira et al. 2000), que podem corresponder às sequências supracrustais arqueanas e/ou proterozoicas do Quadrilátero Ferrífero.

Figura 3 - Contexto geotectônico - Cráton São Francisco.



Fonte: Geologia da Folha Pará de Minas – CPRM - SILVA, L. C.(2007)

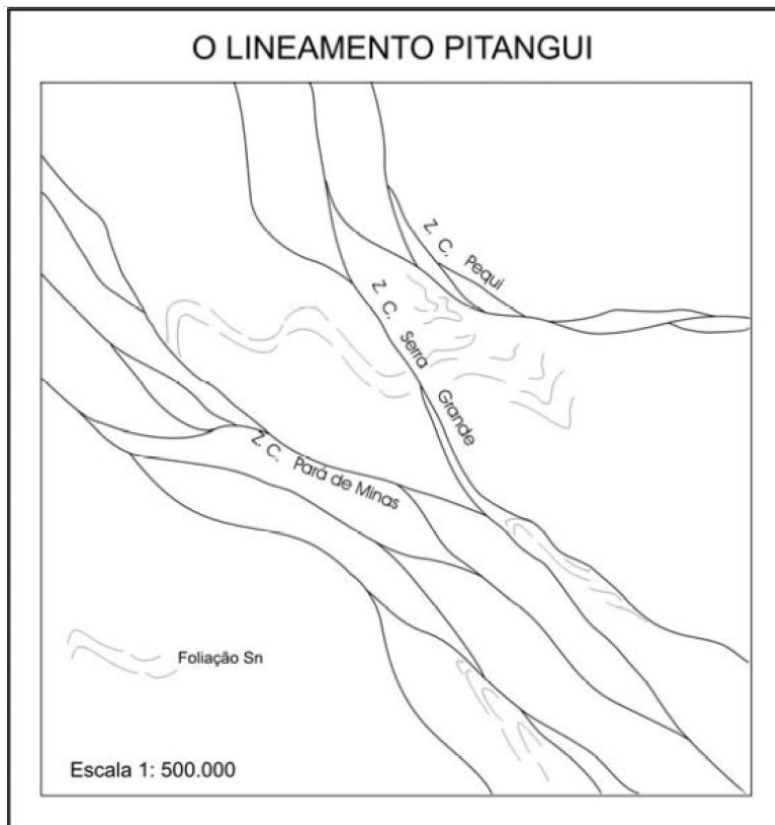
Figura 4 - Limite da porção sul do Cráton São Francisco, compilado e adaptado de Alkmin e Teixeira (2017).



Fonte: Geologia da Folha Pará de Minas – CPRM - SILVA, L. C.(2007)

O greenstone belt Rio das Velhas é uma bacia oceânica desenvolvida na zona de colisão entre os dois blocos crustais, ao longo do lineamento. A idade desta colisão, nitidamente oblíqua, e sinistral segundo os indicadores cinemáticos mais antigos, é seguramente mesoarqueana. Esta idade é corroborada através de idades da granitogênese regional mais antiga, em torno de 2.755 M.a., para o granitóide de Mateus Leme, estendendo-se até o Neoarqueano conforme idades do granitóide tardicolisional de Florestal, em torno de 2.593 M.a. (Romano 1989).

Figura 5 - Lineamento Pitangui.



Fonte: Geologia da Folha Pará de Minas - CPRM

2.2 Geologia Local

Uma primeira constatação ao se deparar com a geologia da Folha Pará de Minas é que a diversidade de tipos litológicos é muito expressiva, mas alguns deles são totalmente inusitados e dificilmente ocorrentes em outras regiões, tais como as rochas peraluminosas conhecidas como agalmatolitos.

A folha pode ser separada em três grandes domínios litológicos precambrianos:

- embasamento cratônico meso a neo arqueano englobando gnaisses e migmatitos e correspondendo a cerca de 35-40% da folha;
- seqüência greenstone belt neoarqueana do Supergrupo Rio das Velhas ocupando aproximadamente a 30-35% do terreno mapeado;

- intrusões de granitóides ocupando cerca de 20-25% da folha.

O enxame de diques básicos meso a neoproterozóico apesar de expressivo ocupa, no máximo, 2% da superfície mapeada. Além destes, ocorrem a cobertura neoproterozóica de plataforma carbonática e as coberturas neógenas quaternárias e terciárias. Ambas devem corresponder a mais ou menos 15% do terreno mapeado. Como estas coberturas são relativamente finas, o cálculo da sua área aflorante está sobreposto ao de seu embasamento (Romano, 2007).

A coluna estratigráfica para a área da Folha Pará de Minas proposta após o projeto executado pela UFMG e CPRM é apresentada a seguir. Posteriormente será feita descrição das principais unidades ocorrentes.

Tabela 2 - Coluna Litoestratigráfica Folha Pará de Minas (CPRM/UFMG).

COLUNA LITOESTRATIGRÁFICA			
FANEROZÓICO	NEÓGENO	<u>Quaternário</u> Aluviões e terraços aluvionares Terciário-Quaternário Leques coluvionares limoníticos e eluviões detrítico-lateríticos	
		<u>Formação Serra de Santa Helena</u> Siltito ardoso cinzento, margas calcíticas Arenito subarcosiano <u>Formação Sete Lagoas</u> Dololuto cinza claro com níveis silicosos e calcíticos Dololuto e calciluto brancos, cinza e róseo com nódulos de chert e filito clorítico Calcário e margas indiferenciados <u>Formação Carrancas</u> Varvito, diamictito Arenito grauvaquiano, arenito com concreções ferruginosas Arcócio e subarcócio de matriz clorítica	
PROTEROZÓICO	NEOPROTEROZÓICO	GRUPO BAMBUÍ	Enxames de diques básicos do Meso ao Neoproterozóico (900 e 2000 Ma)
			Maciço Granitóide tarditectônico de Florestal U-Pb 2.593 (+18 -19 Ma) Maciço Granitóide sin a tardi-tectônico de Maravilhas-Cachoeira da Prata (U-Pb 2.714±2 Ma) Suite Granitóide Intrusiva sin a tardi-tectônica de Mato Dentro U-Pb 2.755 (+14 -13 Ma)
ARQUEANO	NEOARQUEANO	SUPERGRUPO RIO DAS VELHAS	GRUPO MAQUINÉ
			Quartzitos, quartzito micáceo, micaxisto, níveis filíticos e de conglomerados oligomíticos a polimíticos
		GRUPO NOVA LIMA	SEQUÊNCIA METAVULCANO-SEDIMENTAR E METASSEDIMENTAR <u>Unidade metassedimentar:</u> filito muscovítico e clorítico, metaturbiditos, quartzitos, metachert puro a ferruginoso, filito carbonoso, níveis vulcanoclasticos <u>Unidade de rochas hidrotermalmente alteradas:</u> rochas peraluminosas (agalmatolito) com quartzo, pirofilita, diásporo, coríndon, polimorfos Al ₂ SiO ₅ , cloritóide, muscovita, caulinita, derivadas de metassedimentos e metavulcânicas <u>Unidade metavulcano-sedimentar:</u> rochas metapiroclásticas e metatufos re-sedimentados, metarritmito e metagrauvaca e metassedimentos associados SEQUÊNCIA METAÍGNEA E METASSEDIMENTAR <u>Unidade metamáfica e metaintermediária:</u> rochas metavulcânicas básica e intermediária <u>Unidade metassedimentar:</u> metachert puro e ferruginoso, filito muscovítico, filito carbonoso, magnetitito, camadas carbonáticas, silicificadas e sulfetadas <u>Unidade metaultramáfica e metamáfica:</u> serpentinito, clorita, anfibólio e talcoxistos
			EMBASAMENTO CRATÔNICO <u>Complexo Divinópolis</u> – ortognaisses miloníticos a protomiloníticos diversos e migmatitos <u>Complexo Belo Horizonte</u> – ortognaisses e migmatitos
		ROCHAS DE POSICIONAMENTO INDETERMINADO DO ARQUEANO AO NEOPROTEROZÓICO anfibolito, metagabro, metamáfica, serpentinito, gabro e gabro porfirítico, episienito, quartzo hidrotermal, kimberlito	

Fonte: Geologia da Folha Pará de Minas – CPRM - SILVA, L. C. (2007)

2.2.1 Embasamento Cristalino

Pode-se separar as rochas do embasamento cristalino em dois grandes domínios separados pelo Lineamento Pitangui, estando um a Norte e outro domínio a Sul do lineamento.

Com exceção de uma pequena faixa situada em torno da cidade de São José da Varginha, a totalidade das rochas mapeadas como embasamento cratônico está situada ao sul do Lineamento Pitangui partindo do sudeste de Pará de Minas estendendo-se até o noroeste de Conceição do Pará. Essa rochas delimitam precisamete o contato do Supergrupo Rio das Velhas.

Ao sul estão as rochas pertencentes ao domínio do Complexo Divinópolis, denominação mais usual para esta parte do cráton. Ao norte ocorrem as rochas correlacionadas ao Complexo Belo Horizonte, denominação já consagrada na literatura. Este conjunto de rochas representadas pelos dois complexos representa aproximadamente 35% da folha mapeada e inclui uma grande diversidade litológica majoritariamente constituída de termos gnáissicos e migmatíticos, além de corpos granitóides intrusivos (Romano, 2007).

2.2.2 Supergrupo Rio das Velhas

As rochas do Supergrupo Rio das Velhas que cobrem aproximadamente um terço da poligonal da Folha Pará de Minas se concentram na porção central da mesma e são representadas principalmente por unidades que compõem o Grupo Nova Lima e secundariamente por uma unidade pertencente. ao Grupo Maquiné.

As unidades deste supergrupo, representadas no mapa, são divisões propostas com base nos trabalhos de campo arranjadas sob um caráter litoestratigráfico formal. A intenção foi adotar a divisão proposta inicialmente por Ladeira (1980, in Ladeira et al. 1993), em parte também adotada também pela CPRM (1994) no mapa do Supergrupo Rio das Velhas da região do Quadrilátero Ferrífero. Uma divisão semelhante foi proposta por Romano (1989, 1993 a) para a região entre Pitangui e Pará de Minas.

2.2.2.1 Grupo Nova Lima

- SEQUÊNCIA METAÍGNEA E METASSEDIMENTAR

Esta sequência é subdividida de acordo com o índice de cor das rochas ígneas/vulcânicas em três seqüências. Este critério foi utilizado por Frizzo et al. (1991), A seqüência ocupa uma posição nitidamente basal no contexto do Supergrupo Rio das Velhas e se distribui ao longo de faixas alongadas com direções mais ou menos constantes, que são as seguintes:

- na porção sul da folha, entre Conceição do Pará e Pará de Minas ela tem direção preferencial noroeste – sudeste;
- ao norte a faixa começa com direção norte –sul e, a partir da cidade de Pequi, ela assume uma direção francamente oeste – leste;
- uma posição nitidamente norte sul ao norte de Pará de Minas.

Estas direções são fortemente influenciadas pela tectônica (Romano, 2007).

- a. Unidade Metaultramáfica e metamáfica

As rochas características são todas de mineralogia secundária e englobam tipos litológicos tais como serpentina-talco-carbonato-xisto, talco-xisto, talco-clorita-xisto, serpentinito, clorita-anfibólio xistos, clorita-biotita-xisto algumas vezes granatífero (o que dificilmente é visto nos afloramentos, porém, é bem visível em testemunhos de sondagem), e raros níveis anfibolíticos, o que sugere um metamorfismo baixo (Romano, 2007).

- b. Unidade Metassedimentar

Ocorre em estreitas linhas de rochas metassedimentares, apresentando aspecto dobrado a muito deformado, com indícios de milonitização e ultramilonitização. Não existe uma posição bem definida entre a seqüência metaultramáfica - metamáfica e a metamáfica - meta-intermediária, porém pode-se identifica-las em posições semelhantes ao longo das faixas de ocorrência.

Ocorrem principalmente xistos com muscovita, filito carbonoso, *metacherts* ferruginosos ou não, FFB (Formação Ferrífera Bandada) e lentes finas de magnetitos na faixa da Serra do Andaime – Serra Grande. Enquanto a faixa metassedimentar de Conceição do Pará, passou por uma maior alteração hidrotermal propiciando uma

mineralização aurífera mais intensa, diversificando os tipos litológicos, incluindo, rochas carbonáticas, sulfetadas e por vezes portadoras de cloritóide.

c. Unidade Metamáfica e metaintermediária

Grande parte das rochas está intemperizada, encontrando-se a maior quantidade de litologias preservadas na região de Conceição do Pará. Há grau de deformação é muito forte, promovendo a condição das rochas a milonitos e ultramilonitos com alteração hidrotermal. Dificultando muito a identificação dos protólitos vulcânicos.

Engloba uma quantidade grande de litotipos de natureza máfica, intermediária e ácida (mais raros), tais como, clorita-anfibólio-xisto, metandesitos propilitizados (rochas com proporções variáveis de biotita, epidoto, clorita, carbonato, plagioclásio e quartzo) (Romano, 2007).

- SEQUÊNCIA METAVULCANO-SEDIMENTAR E METASSEDIMENTAR

Esta sequência tem a segunda maior área de distribuição mapeável do Grupo Nova Lima, porém é de difícil definição por vários fatores: - alto grau de alteração intempérica; forte alteração hidrotermal e intensa deformação dúctil (Romano).

Divide-se em duas unidades: uma mais antiga de maior contribuição vulcano-sedimentar e uma mais recente de maior contribuição metassedimentar. A alteração hidrotermal peraluminosa ocorre por completo nesta sequência, e preferencialmente na unidade metavulcano-sedimentar apesar de envolver por vezes os metassedimentos. Em função do metamorfismo e deformação, identificar os protólitos é uma tarefa muito difícil podendo ser impossível conforme as condições das rochas.

a. Unidade Metavulcano-sedimentar

As rochas identificadas apresentam aspecto rítmico relacionado ao bandamento, presença de pintas brancas (restos de feldspatos) e grande variação de granulometria, o que leva à uma primeira identificação como sendo grauvacas ou mesmo um conglomerado fino.

Estas rochas geralmente são interpretadas como sendo *lapilli* tufos, ou seja, de fragmentos de granulação grosseira, geralmente maiores que 1 mm. Geralmente os

fragmentos, a despeito da deformação continuam mostrando uma forma angulosa e muito baixo grau de arredondamento, o que supõe uma rocha verdadeiramente piroclástica (Romano, 2007).

Quase sempre as rochas identificadas estão intemperizadas, que resulta em colorações amareladas, róseas a violáceas e com uma certa resistência mecânica.

b. Unidade Metassedimentar

Rochas metassedimentares diversas, geralmente metapelíticas tais como: - filito muscovítico e filito clorítico; algumas rochas de origem duvidosa do tipo, Fe-cloritoidito e Fe-cloritito ocorrem nesta unidade e, são supostos serem derivados de paleo-solos arqueanos.

Quartzitos, quartzito micáceo, *metacherts* puros e ferruginosos, Formação Ferrífera Bandada e magnetititos, que delimitam a transição da sequência sedimentar superior, para os quartzitos membros do Grupo maquiné.

c. Unidade de rochas hidrotermalmente alteradas

Há muita relevância para análise da geologia na região as rochas provenientes de alteração hidrotermal que afetaram, não só a base do Supergrupo Rio das Velhas, mas todas as rochas regionais, gerando produtos de alto teor em alumínio, conhecidos como rochas peraluminosas ou agalmatolitos.

Os tipos litológicos mais importantes entre os termos peraluminosos, segundo Romano (1989, 1993a), são rochas que possuem teores variados de coríndon, muscovita e polimorfos Al_2SiO_5 (principalmente andaluzita e cianita) como mineralogia metamórfica primária, e diásporo, pirofilita e caulinita como mineralogia retrometamórfica. Rochas tais como coríndon-diásporo-pirofilita xisto, cianita-pirofilita-diásporo-xisto, diásporo-pirofilita xisto, diasporitos, cianititos, pirofilititos, são comuns.

2.2.2.2 Grupo Maquiné

Nos locais da folha onde ocorre, o Grupo Maquiné é representado por quartzitos diversos, desde puros a micáceos, lentes de conglomerados oligo a polimíticos e filito sendo constatadas estruturas sedimentares primárias em alguns locais. A rocha quartzítica típica é um quartzito mal selecionado com grãos arredondados, bandamento composicional freqüente (areia-silte-argila), níveis conglomeráticos. Observa-se com frequência aleitamento gradacional invertido

denotando um caráter molássico (Romano, 2007).

2.2.3 Granitóides sin a tardi tectônicos

2.2.3.1 Suite intrusiva Maquiné

Trata-se de uma unidade com granitóides biotíticos de grão grosso, estudados geoquimicamente por Heineck (1997) e datados por Romano (1989) em 2.755 (+14,-13) Ma, pelo método U-Pb em zircões, nas imediações da cidade de Mateus Leme.

Os corpos granitóides se alinham na direção sudeste – noroeste e são formados através do alojamento em gnaisses encaixantes. Pode-se citar as seguintes. Dentre os elementos pode-se citar, granito Pará de Minas, Granito de Casquilho, Granito de Meireles e Granito de Conceição do Pará.

Outros diversos corpos resultantes de fusão parcial dos gnaisses regionais e alojados ao longo das zonas de transcorrência no sistema colisional do Lineamento Pitangui podem ser identificados.

2.2.3.2 Maciço granitóide de Maravilhas a Cachoeira da Prata

Esse corpo granitóide possui forma elipsoidal, estendendo-se por 50 km de eixo maior na direção aproximadamente leste-oeste. Ele se estende desde o contato com as rochas do Supergrupo Rio das Velhas a oeste, até a cidade de Cachoeira da Prata. É dividido em dois corpos:

Corpo I, de composição granítica, teores de SiO₂ entre 73,03 e 75,4%, K₂O>Na₂O e composição peraluminosa;

Corpo II, é foliado, composição granodiorítica a tonalítica.

2.2.4 Granitóides tardi tectônicos

De acordo com os trabalhos de Romano *et al.* (1995) e Perillo (1998), o maciço é dividido em 5 *fácies* petrogáficas, que são as seguintes: Caio Martins, Padre João, Lagoinha e Serra dos Tavares. A seguir serão definidas apenas as *fácies* ocorrentes na área de estudo.

- **Fácies Serra dos Tavares:** leucocrático a duas micas, grão médio e foliado;

- **Fácies Lagoinha:** granito leuco a mesocrático a duas micas, grão fino e não foliado;
- **Granito de Jaguará:** semelhante ao granito da Serra dos Tavares, porém não foliado, mostrando apenas uma orientação de fluxo magmático incipiente.

2.2.5 Diques básicos

Os diques básicos ocorrem com grande frequência e atravessam todas as unidades pré-cambrianas exceto o Grupo Bambuí. Chaves (1996) estabeleceu duas gerações de diques básicos, respectivamente a 2.000 Ma e 900 Ma, sendo que a geração mais antiga é metamórfica, transformada em anfibolito, e a mais nova está com a mineralogia original preservada, ou quase (geralmente alterações deutéricas em maior ou menor intensidade, com uralitização dos piroxênios e saussuritização dos plagioclásios) (Romano, 2007).

Pode-se inferir que idades mais antigas devem refletir os primeiros pulsos da abertura do *rift* Espinhaço pois há datação das rochas em questão. Há ocorrências de diques básicos ao longo de toda Folha Pará de Minas e na região de Maravilhas há maior densidade.

2.2.6 Grupo Bambuí

Rochas do Grupo Bambuí recobrem cerca de 10% da área da folha em espessura reduzida, de no máximo 100 metros. As ocorrências prevalecem na Serra do Ferreiras, Serra dos Peixes e ao norte da área no vale do Rio Pará. Há três unidades do grupo ocorrentes na Folha Pará de Minas:

- Formação Serra de Santa Helena
- Formação Sete Lagoas
- Formação Carrancas

2.2.6.1 FORMAÇÃO CARRANCAS

São identificados na área três membros dessa formação. Trata-se de rochas livres de metamorfismo, ou, no máximo, anquimetamórficas. Os membros mapeados e identificados são:

- **NP1bcv:** Rochas de origem glacial depositadas em ambiente lacustrino, varvito, com todas suas estruturas sedimentares preservadas e, caracterizado pela alternância rítmica de níveis caulínicos decimétricos brancos e, níveis centimétricos ferruginosos vermelhos onde ocorrem nódulos de jaspe.
- **NP1bcad:** Arenito rítmico subarcosiano, arenito com concreções ferruginosas e diamictito; Trata-se de uma seqüência de arenitos grauvaquianos finamente bandados de cor cinza esverdeado e matriz micácea ferruginosa.
- **NP1bcar:** arcósio e subarcósio; rochas geralmente de cor vermelha quando intemperizada e verde quando fresca e é totalmente livre de deformação

2.2.6.2 FORMAÇÃO SETE LAGOAS

Trata-se de uma unidade essencialmente carbonática com termos clásticos bem definidos, utilizando-se a classificação de Folk (1959). Não há grande ocorrência na área em questão e os afloramentos são escassos.

A sedimentação carbonática inicia-se com uma sequência de dolomitos tipo cap carbonates de fim de glaciação e de margas calcíticas e dolomíticas intercaladas com finos leitos de metapelitos (Romano, 2007).

Em geral as margas são de difícil reconhecimento em função de intemperismo. Lentes de calcário cinzento, em parte dolomítico são comuns, principalmente na região da cidade de Pitangui.

2.2.6.3 FORMAÇÃO SERRA DE SANTA HELENA

A Formação Serra de Santa Helena foi mapeada nas regiões de relevo tabulares, que encaixam exatamente acima do embasamento xistoso do Grupo Nova Lima no norte da folha, onde não há indícios de ocorrência de calcário. As unidades pertencentes à essa *Formação* que foram identificadas no mapeamento geológico da área são:

- **NP2bsha:** siltito com bancos de arenito subarcosiano fino, muito impuro, de cor verde acinzentada clara; os bancos de arenito têm em média 1 metro de espessura e vários metros de comprimento.
- **NP2bshp:** pelitos cinzentos em parte com clivagem ardosiana. geralmente intemperizadas apresentando-se como um saprólito de cores claras em tons de

vermelho que se destacam em placas finas à semelhança das ardósias e com mergulho sempre horizontal a sub-horizontal.

2.2.7 Neógeno

Os depósitos sedimentares do cenozóico são todos referidos ao neógeno e configuram uma série de ambientes com sedimentos em variados graus de coesão e possuem bastante expressão na área em questão. Destacam-se as seguintes unidades:

- **Nco:** Depósitos coluvionares com blocos e matacões, muito comuns nas encostas mais abruptas das serras quartzíticas e geralmente constituídos por blocos das litologias locais cimentados ou não por laterita.
- **Ndel:** Coberturas eluvionares detrítico-lateríticas consolidadas ricas em fragmentos de quartzo e com cobertura parcial de carapaças limoníticas; ocorrem principalmente nos altos das serras quartzíticas.
- **N34al:** São os depósitos aluvionares das calhas dos cursos de drenagem e ocorrem indiscriminadamente em toda a região.

3 FUNDAMENTOS DE MAGNETOMETRIA: PRINCÍPIOS, AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS

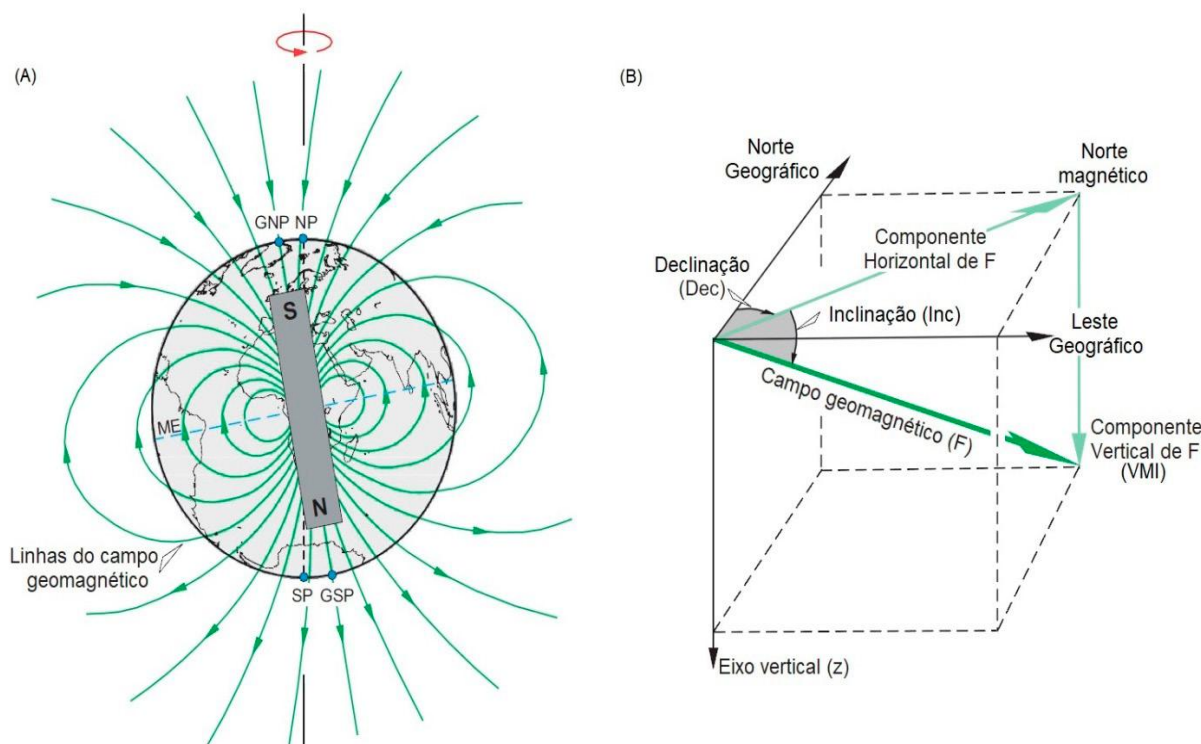
A magnetometria mede as pequenas variações na intensidade do campo magnético terrestre, que ocorrem por consequência da distribuição irregular das rochas magnetizadas em subsuperfície, isto é, o levantamento magnetométrico baseia-se na variação da amplitude magnética, que se encontra diretamente associada a suscetibilidade magnética dos minerais (Kearey et al. 2009).

A magnetização de cada tipo de rocha é dada pela sua susceptibilidade magnética, ou seja, depende da quantidade e do modo de distribuição dos minerais magnéticos - magnetita, ilmenita, pirrotita, etc. - presentes nela. A concentração desses minerais produz distorções locais no campo magnético da Terra, sendo o estudo dessas distorções a base da Magnetometria (Telford et al. 1990, Kearey et al. 2009).

3.1 Campo Magnético Terrestre

O campo magnético terrestre (F) é produzido por um momento de dipolo localizado no centro da Terra, apontando para o sul e formando um ângulo em relação ao eixo de rotação, nomeado de declinação magnética. Os pontos em que o eixo do dipolo intercepta a superfície da Terra são denominados polos geomagnéticos (como mostra a figura a seguir). As linhas do campo magnético atravessam a esfera terrestre e são paralelas com a superfície nas proximidades do equador e perpendiculares nos polos magnéticos. Sendo composto por três partes, o campo principal que tem origem no núcleo externo da Terra, o campo externo produzido por correntes elétricas que circulam a ionosfera e variam rapidamente e, variações do campo principal que são causadas por anomalias magnéticas locais geradas por rochas e minerais magnéticos próximos da superfície da Terra (TELFORD et al., 1990).

Figura 7 - A – Representação esquemática do Campo Magnético da Terra (F), que pode ser comparado com um dipolo de um grande ímã cuja direção forma um ângulo agudo (Dec) com o eixo de rotação, norte geográfico, que pode variar dependendo da região, polo norte geomagnético (GNP), polo sul geomagnético (GSP), equador magnético (ME), polo norte geográfico (NP) e polo sul geográfico (SP). B – A decomposição do campo geomagnético (F) nos componentes horizontal e vertical, o vetor do campo geomagnético é definido pelos ângulos de inclinação (Inc) e declinação (Dec), intensidade do componente vertical do campo magnético (VMI). (modificado de DENTITH & MUDGE, 2014).



Fonte: Atlas geofísico Estado de Minas gerais - CPRM

3.1. Magnetização das Rochas

A susceptibilidade magnética das rochas é condicionada à quantidade de minerais ferromagnéticos presentes e é responsável pela magnetização das mesmas. Devido à pequena quantidade de minerais magnéticos presentes na constituição da maioria das rochas estas possuem baixa susceptibilidade Magnética (Kearey et al. 2009).

A susceptibilidade magnética é um parâmetro adimensional que define a intensidade da magnetização induzida em uma rocha ($H = \mu \cdot B$). Tem relação direta com a quantidade e dimensão dos minerais magnéticos contidos nas rochas, os principais minerais magnéticos são magnetita, ilmenita ($FeTiO_3$) e pirrotita ($Fe(1-x)S$, x variando

entre 0.0 e 0.17). Sendo que a magnetita é o que apresenta os maiores valores de susceptibilidade. Já entre as rochas, os basaltos e peridotitos são as que têm os maiores valores de susceptibilidade magnética (TELFORD et al., 1990).

Para a utilização da magnetometria é importante compreender as propriedades magnéticas dos materiais. Segundo Kearey et al. (2009), os materiais magnéticos podem ser classificados como diamagnético, paramagnético e ferromagnético, havendo diferenças nas intensidades de sua magnetização, condicionadas pelo spin e a trajetória dos elétrons no átomo:

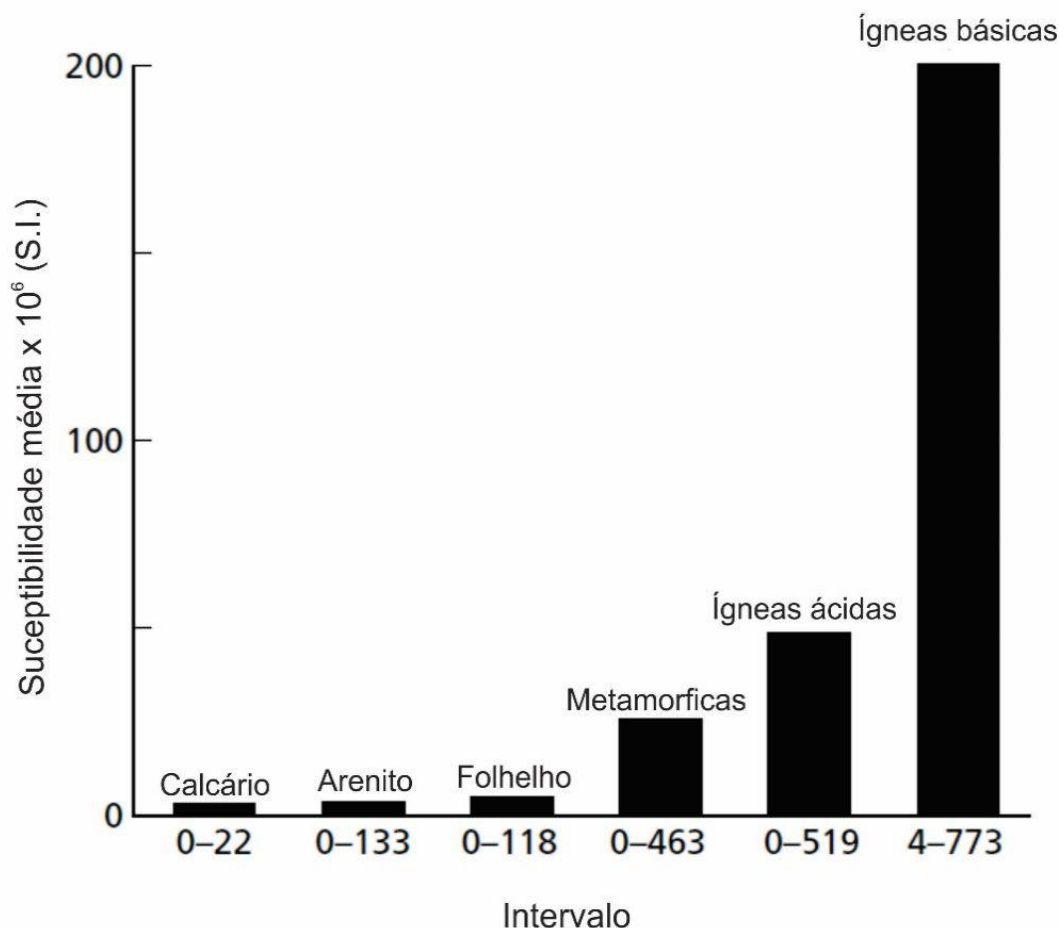
- **Materiais diamagnéticos:** adquirem magnetização de intensidade fraca e sentido contrário ao do campo magnético aplicado. A fraca intensidade da magnetização provém do pequeno valor de susceptibilidade magnética dessas substâncias, ao passo que o sentido contrário ao do campo permite que se atribua um sinal negativo à sua susceptibilidade. Os exemplos de substâncias diamagnéticas são o mármore, o quartzo, a grafita, o feldspato, anidrita, bismuto, cobre, prata, chumbo.
- **Materiais paramagnéticos:** a magnetização ainda é fraca em detrimento de sua baixa susceptibilidade. Quando se aplica um campo magnético externo, seus elétrons sofrem rotação e produzem um campo no mesmo sentido daquele aplicado, causando então uma susceptibilidade positiva. Dentre as substâncias paramagnéticas destacam-se: pirita, biotita, piroxênio, dolomita, sienito, olivina, alumínio, magnésio e sulfato de cobre.
- **Materiais ferromagnéticos:** possuem susceptibilidade magnética elevada (em geral) e positiva, o que lhes confere uma magnetização de alta intensidade no mesmo sentido do campo.

A temperatura de Curie é o ponto limítrofe a partir do qual um material perde a sua característica ferromagnética e passa a se comportar como paramagnética, ou seja, a altas profundidades, as rochas que apresentam minerais com alta susceptibilidade podem perder sua magnetização, devido à alta temperatura. Dentre os minerais ferromagnéticos tem-se: magnetita, pirrotita, titanomagnetita e maghemita. Corpos intrusivos máficos por vezes com minério em sua composição, são causas comuns de anomalias magnéticas (Gomes et al, 2021).

A magnetita é o mineral magnético mais comum, sendo responsável por 99%

das anomalias magnéticas. Embora seu tamanho, forma e dispersão dos grãos em uma rocha afetem seu caráter magnético, pode-se classificar o comportamento magnético das rochas de acordo seu conteúdo global de magnetita, como ilustrado no histograma abaixo (Kearey 2009).

Figura 8 - Histograma de valores médios e os intervalos de susceptibilidade de vários litotipos (modificado de Kearey et al. 2009).



Fonte: Kearey et al. 2009

As rochas ígneas básicas são as que apresentam maior susceptibilidade magnética graças ao seu conteúdo relativamente alto em magnetita. Já as ígneas ácidas apresentam menor proporção de magnetita em sua composição, consequentemente menor susceptibilidade magnética. Rochas sedimentares em geral, exceto formações ferríferas bandadas (as quais possuem teor considerável de magnetita), apresentam baixa susceptibilidade magnética.

As rochas metamórficas são variáveis em seu conteúdo magnético. Se a pressão parcial de oxigênio for relativamente baixa a magnetita é reabsorvida e o ferro e o oxigênio são incorporados em outras fases minerais com o aumento do grau metamórfico. Além do processo de metamorfismo, deve ser levado em consideração a origem das rochas, Kearey et al. (2009).

A magnetita apesar de apresentar baixa solubilidade em ambientes comuns como águas superficiais ou subterrâneas, pode se solubilizar com facilidade em ambientes específicos de alta temperatura, pressão ou acidez, como em sistemas hidrotermais. Desta maneira, há uma alta probabilidade de percolação seguida de precipitação/cristalização de magnetita ao longo de sistemas de descontinuidades de corpos rochosos como falhas, fraturas, juntas ou contatos litológicos. Neste sentido, a magnetometria possui uma forte aplicabilidade para investigações de caráter estrutural, podendo a magnetita elucidar estruturas geológicas em subsuperfície.

3.2 Anomalias Magnetométricas

Variações de intensidade, inclinação e declinação que ocorrem no campo magnético total são denominadas anomalias magnéticas. Essas variações dependem da composição das rochas que podem conter ou não minerais com propriedades magnéticas. Todas as anomalias magnéticas causadas por rochas causam interferência no campo magnético normal da Terra (Neves, 2017).

Os minerais e elementos químicos que compõem a crosta são influenciados de formas diferentes pelo campo magnético terrestre, variando conforme composição, proporção e posição espacial. Segundo Kearey et al. (2009), o campo magnético da Terra provoca um campo secundário induzido nas rochas que contém mineral magnético. Um corpo colocado num campo magnético H adquire uma magnetização induzida M proporcional:

$$M = kH, \text{ sendo } k \text{ a susceptibilidade magnética dos minerais.}$$

Nos levantamentos magnetométricos são realizadas medidas do campo magnético total em determinada posição do espaço, sendo que o campo magnético total é o somatório de toda contribuição magnética do meio, incluindo a rocha sobre investigação, o campo geomagnético, variações magnéticas diurnas ou outras variações magnéticas eventuais de origem externa (Kearey et al. 2009). Para se

delimitar as anomalias magnéticas é necessário fazer correções para eliminar essas contribuições não desejadas.

3.3 Correções

Conforme citado anteriormente, a medição do campo magnético total refere-se à medição de um somatório de fatores que contribuem para o valor medido. Existem correções que devem ser feitas aos dados obtidos em levantamentos magnetométricos a fim de subtrair determinadas contribuições do campo total e obter os dados de verdadeiro interesse. O banco de dados utilizado pelo presente trabalho já é disponibilizado pela CODEMIG com as correções aplicadas e, portanto, as correções não foram aplicadas como parte do trabalho, mas a seguir uma breve definição das correções aplicáveis é apresentada.

3.3.1 Correção da Variação Diurna

A variação diurna é proveniente de fontes externas, e está relacionada aos ventos solares e suas interações com a atmosfera superior, como foi dito anteriormente. Em teoria, um magnetômetro em um ponto fixo deveria medir as mesmas intensidades do campo, porém na prática não é isso que acontece, e essa variação é chamada de variação diurna (Telford et al. 1990, Kearey et al. 2009).

Dessa forma, essa correção pode ser feita de duas maneiras, a primeira consiste em realizar medições em uma mesma estação em momentos diferentes e observar as diferenças entre os valores medidos. Para a segunda maneira, instala-se um magnetômetro fixo, com os horários das medições sincronizados com o magnetômetro móvel (que percorre as linhas do levantamento). Assim, de forma resumida, as diferenças nas medições do magnetômetro fixo devem ser subtraídas dos resultados do levantamento, sendo levados em consideração os horários das medições, para isso os horários dos dois magnetômetros devem estar sincronizados (Kearey et al. 2009).

No caso de ocorrência de tempestades solares, que causariam variações de alta frequência nas medições, os resultados dos levantamentos não devem ser aproveitados, e o levantamento naquele dia deve ser abortado (Kearey et al. 2009).

3.3.2 Correção geomagnética

Essa correção consiste em remover dos dados o valor do campo geomagnético de referência, que consiste no campo normal da terra, sem perturbações (IGRF). Este campo é calculado matematicamente, com base em dados de observatórios ao redor do planeta, portanto, nas áreas distantes desses observatórios, os valores do IGRF podem não estar corretos (Luiz & Silva 1995, Kearey et al. 2009)

3.3.3 Correção Topográfica

A topografia pode influenciar na magnetometria terrestre, entretanto essa correção não é comumente aplicada pois os resultados almejados já são obtidos com qualidade ao se aplicar as correções de variação diurna e geomagnética. Além de que para aplicar a correção topográfica é necessário conhecimento prévio acerca das características magnéticas das feições de relevo.

A partir da aplicação da correção da variação diurna e geomagnética, as variações que restarem provavelmente são provenientes da quantidade e distribuição espacial de materiais magnéticos em subsuperfície, essas são as anomalias almejadas nos estudos magnetométricos (Kearey et al. 2009).

3.4 Filtros

As filtragens são técnicas matemáticas com a finalidade de realçar ou atenuar feições lineares ou planares, separando o sinal produzido pelas fontes de interesse do produzido pelas fontes indesejáveis (ruídos), como os produzidos por heterogeneidades próximas da superfície ou na interferência entre fontes rasas e profundas, permitindo um melhor reconhecimento das anomalias (Neves, 2017).

A filtragem é realizada utilizando-se a Transformada de Fourier, que manipula os dados no domínio da frequência (Kearey et al. 2009). Os principais filtros utilizados são gradiente vertical, gradiente horizontal, passa alta, passa baixa, passa banda, continuação para cima, derivadas em x, y e z. A tabela a seguir relaciona os filtros de Fourier com suas respectivas finalidades dentro do tratamento de dados de magnetometria.

Tabela 3 - Filtros de Fourier com respectivas finalidades geofísicas (modificado de Kearey et al.).

Filtros de Fourier		Finalidade Geofísica
Frequência	Passa Banda	Retirar as anomalias relacionadas a um determinado intervalo de frequência.
	Passa Alta	Retirar baixas frequências e evidenciar informações de fontes mais rasas.
	Passa Baixa	Retirar baixas frequências e evidenciar informações de fontes mais rasas.
Continuação	Continuação para baixo	Fornecer informações acerca de anomalias mais rasas (filtro altamente estável – geralmente não utilizado).
	Continuação para cima	Filtra altas frequências retirando as anomalias mais rasas e evidenciando as anomalias mais profundas.
Derivada	Gradiente residual	Remove anomalias regionais e evidencia as anomalias locais.
	Gradiente horizontal em X	Evidencia as estruturas N-S.
	Gradiente horizontal em Y	Evidencia as estruturas em E-W.
	Gradiente vertical	Evidencia as fontes rasas.
	Amplitude do Sinal Analítico	Projeta, em superfície, as anomalias em profundidade.

- **Deconvolução de Euler**

Deconvolução de Euler é um excelente método para se determinar a profundidade de fontes magnéticas, de acordo com a relação de homogeneidade de Euler (Equação 3.7), em que (x_0, y_0, z_0) é a localização da fonte magnética com anomalia magnética de campo total em (x, y, z) , dada por B , e H é o campo regional. N representa a taxa de variação de um campo magnético em relação a distância da fonte, e pode assumir diferentes valores.

A partir de estudos nos quais Thompson (1982) correlaciona variação de susceptibilidade magnética de fontes geradoras e suas geometrias em profundidade, este método tem sido estudado e desenvolvido até o presente momento (Barbosa & Silva 2005).

Figura 6 - Equação para deconvolução de Euler

$$-nT = (x - x_0) \frac{\partial T}{\partial x} + (y - y_0) \frac{\partial T}{\partial y} + (z - z_0) \frac{\partial T}{\partial z}$$

Sendo η a medida de taxa de variação que depende da fonte magnética, $T(x, y, z)$ a anomalia de campo total produzida pela fonte pontual tridimensional localizada na coordenada x_0, y_0, z_0 de um sistema cartesiano dextral.

A deconvolução de Euler não obedece a um determinado modelo geológico, mas a valores experimentais do índice estrutural. O índice estrutural é usado para interpretar como se dá a homogeneização de um corpo utilizando modelos simplificados, uma vez que as geometrias dos corpos geológicos, que produzem uma anomalia em um campo potencial, são diferentes e complexas, aparecendo em diferentes latitudes, posições espaciais e profundidades e gerando diferentes tipos de anomalia.

Tabela 4 - Índices estruturais para deconvolução de Euler de diferentes geometrias de elementos estruturais

Índice Estrutural (N)	Geometria da Fonte
0	Contato
1	Camada Planar Fina
2	Linhas verticais ou horizontais
3	Esferas

A partir do cálculo da deconvolução, é possível estimar a profundidade da fonte de anomalia magnética detectada em superfície. Ao se determinar o posicionamento geográfico das fontes em múltiplos pontos distintos dentro da área de levantamento, é possível ter um reconhecimento tridimensional da estrutura ou corpo mineralizado responsável pelas anomalias (Reis, 2023).

Uma das vantagens do método é de que não há necessidade de se conhecer a direção do vetor de magnetização, pois o método utiliza apenas as amplitudes do sinal analítico para determinação da posição de um ponto responsável pela anomalia detectada (Barbosa & Silva 2005).

3.5 Banco de Dados

Para subsidiar os trabalhos propostos, foi utilizado banco de dados de levantamentos aerogeofísicos disponíveis publicamente, resultante de campanhas de aquisição de dados magnetométricos (método utilizado pela monografia) e radiométricos ao longo de todo estado de Minas Gerais.

Para área desejada, existem dados disponibilizados pela Companhia de Desenvolvimento Energético de Minas Gerais (CODEMIG). Há cobertura para a região objetivada ao longo da denominada Área 2 – Oeste (a área 2 foi dividida setores Leste e Oeste) em sua porção norte. Os aerolevantamentos em questão estão compreendidos neste projeto (Área 2), que compreende em suas extremidades as cidades de Pitangui, São João Del Rei e Ipatinga.

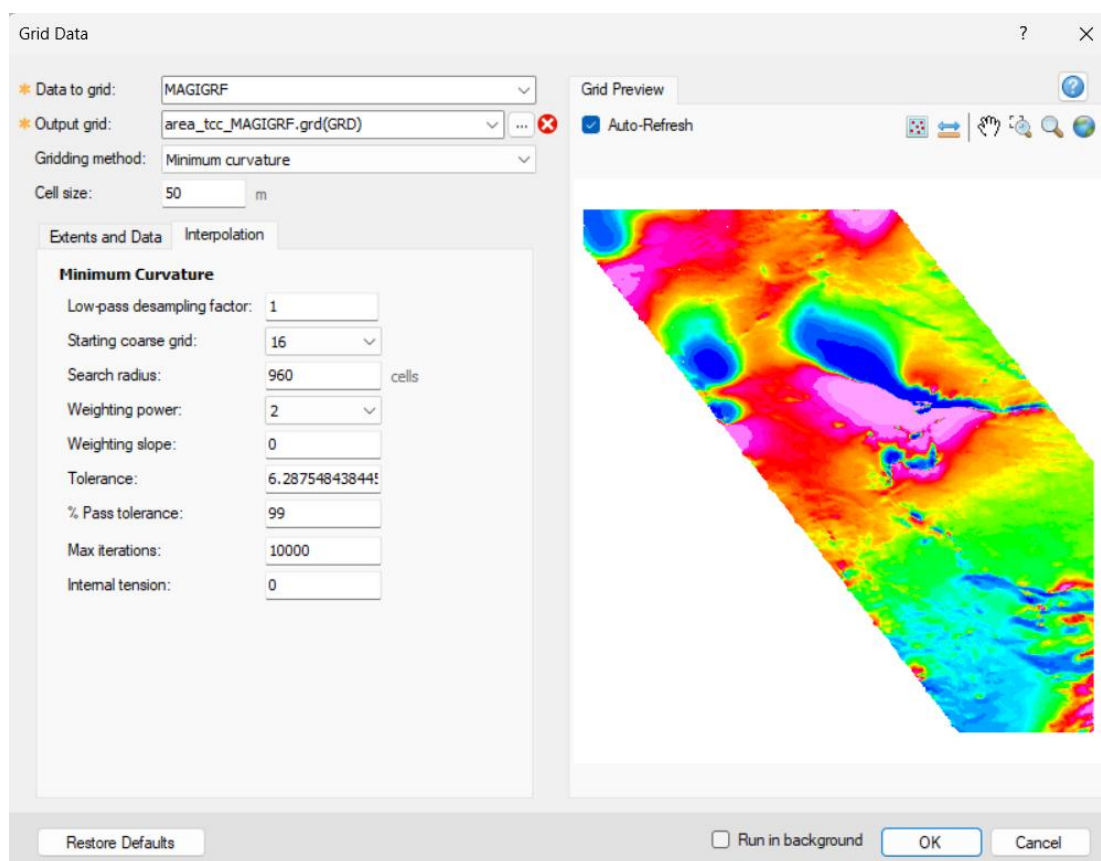
Os aerolevantamentos para a Área 2 – Oeste foram realizados entre as datas de 24/08/2000 e 25/03/2001 pela empresa contratada Lasa Engenharia e Prospeção LTDA em aeronaves tipo *stinger*. Aviões especializados sobrevoaram as áreas selecionadas a 100 m de altitude, com espaçamento de 250 metros entre linhas de produção (LP) e 2.500 metros entre as linhas de controle (LC). Nesses levantamentos foram aplicados métodos magnetométricos e radiométricos ao longo de 86.519,5 km em direção N30E para as linhas de produção e linhas de controle perpendiculares. A velocidade média da aeronave foi de 200 km/h, equipada de um magnetômetro cuja taxa média de amostragem é 0,1 segundo, resultando em 36.000 medições por hora, resultando em medições a cada 5,55 metros, o que dá uma ótima resolução magnetométrica.

3.6 Geosoft

Geosoft é um pacote de *softwares* desenvolvidos pela Seequent cujas áreas de atuação envolvem geociências e geofísica possui recursos que permitem análise, modelagem e visualização do subsolo da Terra em 2D e 3D. A plataforma aplicada no trabalho realizado é Oasis Montaj. Software referência na indústria, atua integrando e processando dados de diversas fontes, como geofísica, geoquímica e perfuração, permitindo que os geocientistas tomem decisões informadas em áreas como exploração mineral, energia e engenharia civil.

Através do processamento do banco de dados com o Oasis Montaj, foram obtido grid de campo anômalo da área utilizando posição geográfica (x,y) e dados de magnetometria corrigido (IGRF). Foi determinado um tamanho de célula de 50 metros. A partir do grid gerado processou-se uma rotina de interpolação de dados utilizando o método de mínima curvatura com os parâmetros apresentados pela figura 9

Figura 7 - Tela de configuração para geração de grid no software Geosoft



A interpolação dos dados gerou o mapa de campo anômalo. Gerado o mapa de campo anômalo, o grid foi submetido a filtros descritos anteriormente, gerando uma série de outros mapas cada qual devidamente processado matematicamente resalta informações específicas. Os mapas gerados foram:

- Modelo digital de terreno (MDT)
- Campo anômalo
- Amplitude do sinal analítico (ASA)
- Gradiente horizontal dx

- Gradiente horizontal dy
- Primeira derivada dz
- Segunda derivada dz'
- Continuação para cima (1.000 m)
- Continuação para cima (2.500 m)
- Continuação para cima (5.000 m)
- Continuação para cima (10.000 m)

3.6.1 Principais Plataformas e Funcionalidades do Geosoft

- **Oasis Montaj:** Software de alto desempenho para visualização, análise e integração de dados geocientíficos. Permite a criação de modelos 3D do subsolo e a análise de grandes conjuntos de dados de geofísica.
- **Target:** Focado em pesquisa mineral, processa e visualiza dados de sondagem e geociências, oferecendo recursos para análise e compartilhamento.
- **Oasis Montaj e Target para ArcGIS:** Extensões que permitem a utilização das ferramentas geocientíficas diretamente no ambiente do ArcGIS, facilitando a integração com outras informações geoespaciais.
- **Geosoft Viewer:** Uma aplicação gratuita para visualizar, partilhar e analisar dados geocientíficos, permitindo a integração de dados em mapas e 3D, além da exportação para formatos como PDF e imagem.
- **Modelamento Geológico VOXI:** Utiliza a nuvem para modelar e visualizar o subsolo profundo com maior velocidade.
- **Software para detecção de UXO (Munições não detonadas):** Ferramentas para localizar munições não detonadas usando dados geofísicos em terra e no mar.

3.7 Análise em Profundidade

Para avaliação de estruturas em profundidade, foram determinados 6 perfis paralelos com direção leste-oeste equiespaçados de 5.000 metros entre si. A região definida para esses perfis foi a região que engloba a Zona de Cisalhamento de Pequi e Zona de Cisalhamento Serra Grande, onde foi identificado uma anomalia alta no mapa de Amplitude do Sinal Analítico.

Os perfis tiveram seus dados de amplitude do sinal analítico processados pelo software Euler Deconvolution, onde foi realizada a deconvolução de Euler. Os arquivos de saída do processamento foram integrados por Krigagem no software ArcScene a fim de gerar um modelo em profundidade das estruturas ocorrentes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O procedimento de trabalho detalhado nos itens anteriores objetiva através de operações matemáticas processadas computacionalmente, gerar produtos cartográficos georreferenciados com informações de magnetometria na região da cidade de Pará de Minas – MG. Sabendo-se das implicações relativas às medições de susceptibilidade magnética e processamentos aplicados aos dados, pode-se fazer interpretações e conclusões relacionadas principalmente ao contexto estrutural da região de estudo, em variadas profundidades.

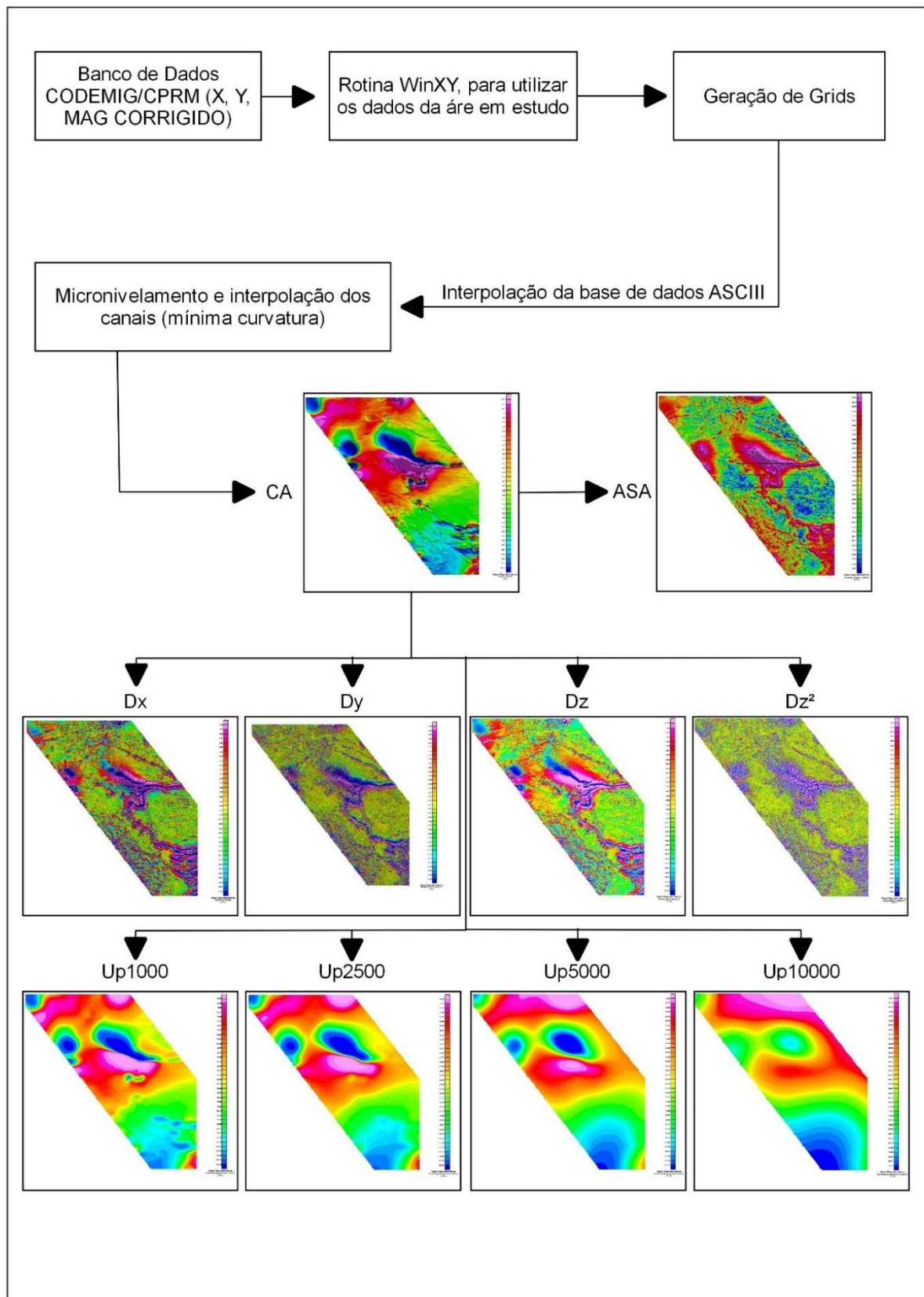
A seguir serão apresentados e detalhados os produtos gerados pelo presente trabalho, o procedimento de obtenção de tais produtos e respectivas análises. Associando os resultados obtidos com estudos e mapeamentos anteriores pretende-se interpretar contextos geológicos que promovem as feições expressas pelo trabalho de processamento de dados magnetométricos. Para tal, foram processados perfis propostos e interpolados os resultados de deconvolução, traçados lineamentos no mapa de Amplitude do Sinal Analítico e avaliação estatísticas das estruturas identificadas, além de interpretações acerca da geologia estrutural regional, principalmente na associação das anomalias mapeadas com relação ao Lineamento Pitangui, que condiciona toda a região estudada.

4.1 Geração de Mapas

A geração dos mapas magnetométricos conforme explicado anteriormente trata-se da etapa mais importante do trabalho, pois nessa etapa os dados magnetométricos em questão são trabalhados matematicamente a fim de gerar matrizes de posição geográfica com atribuição de valores relativos a magnetometria da região. Os mapas produzidos servirão como base para análises e interpretações sobre as inferências representadas e seus possíveis significados geológicos.

A seguir é apresentado um fluxograma representando a dinâmica de trabalho para produção das cartas magnetométricas e respectivas feições de cada mapa produzido.

Figura 8 - Fluxograma descritivo da dinâmica de trabalho na geração de mapas através do aplicativo Oasis Montaj (Geosoft)



O procedimento matemático específico de cada filtro aplicado ao grid gerado evidencia anomalias em diferentes contextos. A interpretação individualizada e conjugada dos produtos oferece informação acerca do contexto geológico em questão. Os resultados específicos para cada mapa gerado são:

- **Campo Anômalo:**

O mapa representa os valores medidos e corrigidos no levantamento magnetométrico (IGRF). A partir dele são aplicados os filtros, que vão realçar determinadas situações.

- **Amplitude do Sinal Analítico:**

Tem como característica projetar em superfície, anomalias que se apresentam em profundidade.

- **Continuação para cima:**

Evidencia anomalias mais profundas filtrando altas frequências e é realizada para diferentes profundidades.

- **Derivada em x:**

Representa o gradiente em x e realça estruturas com direção N-S

- **Derivada em y:**

Representa o gradiente em y e realça estruturas com direção E-W

- **Primeira e segunda derivada em z:**

Representa o gradiente em profundidade, expressa estruturas mais rasas.

Todos os mapas gerados são apresentados em escala adequada para análise e interpretação ao final do presente trabalho no item de anexos.

4.2 Avaliação e interpretação de mapas

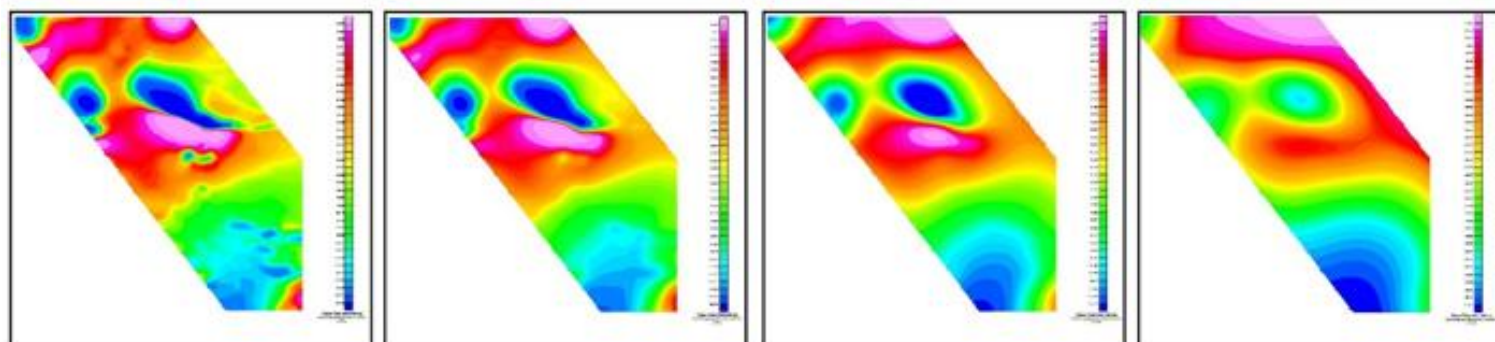
As feições entre os produtos gerados apresentam notável correspondência onde se destacam anomalias no mapa de ASA na porção central da área de estudo onde uma grande anomalia positiva se destaca na área que abrange as cidades de Pequi e São José da Varginha coincidindo com a interseção das zonas de cisalhamento Pequi e Serra Grande, a mesma região no mapa de campo anômalo apresenta uma dualidade em duas porções, com anomalias negativas a norte e positivas a sul. Sabendo-se que as unidades litoestratigráficas da região são

cristalinas (Complexo Belo Horizonte e Complexo Divinópolis) com ausência de minerais ferrimagnéticos. Conclui-se então que as anomalias observadas refletem elementos estruturais como falhas, fraturas, diques e etc. A presença de magnetita transportada por fluidos hidrotermais apresenta anomalias que demarcam tais elementos estruturais. Essa zona foi escolhida para detalhamento em profundidade com a deconvolução de Euler em 6 perfis, que serão descritos a seguir.

É bastante perceptível uma tendência de azimuth SE-NW com diversas feições lineares apresentando tal direção tem em pequena quanto em grande escala, neste sentido, tanto o mapa de derivada em x e derivada em y tem anomalias a destacar já que o ângulo de predominância é diagonal possuindo elemento em direção N-S e E-W. Pode-se perceber que a direção em questão coincide com o azimuth 135, que condiciona a região em termos de geomorfologia, litologia e estruturas. Os resultados obtidos expressam zonas de cisalhamento, que podem condicionar regiões de mineralizações.

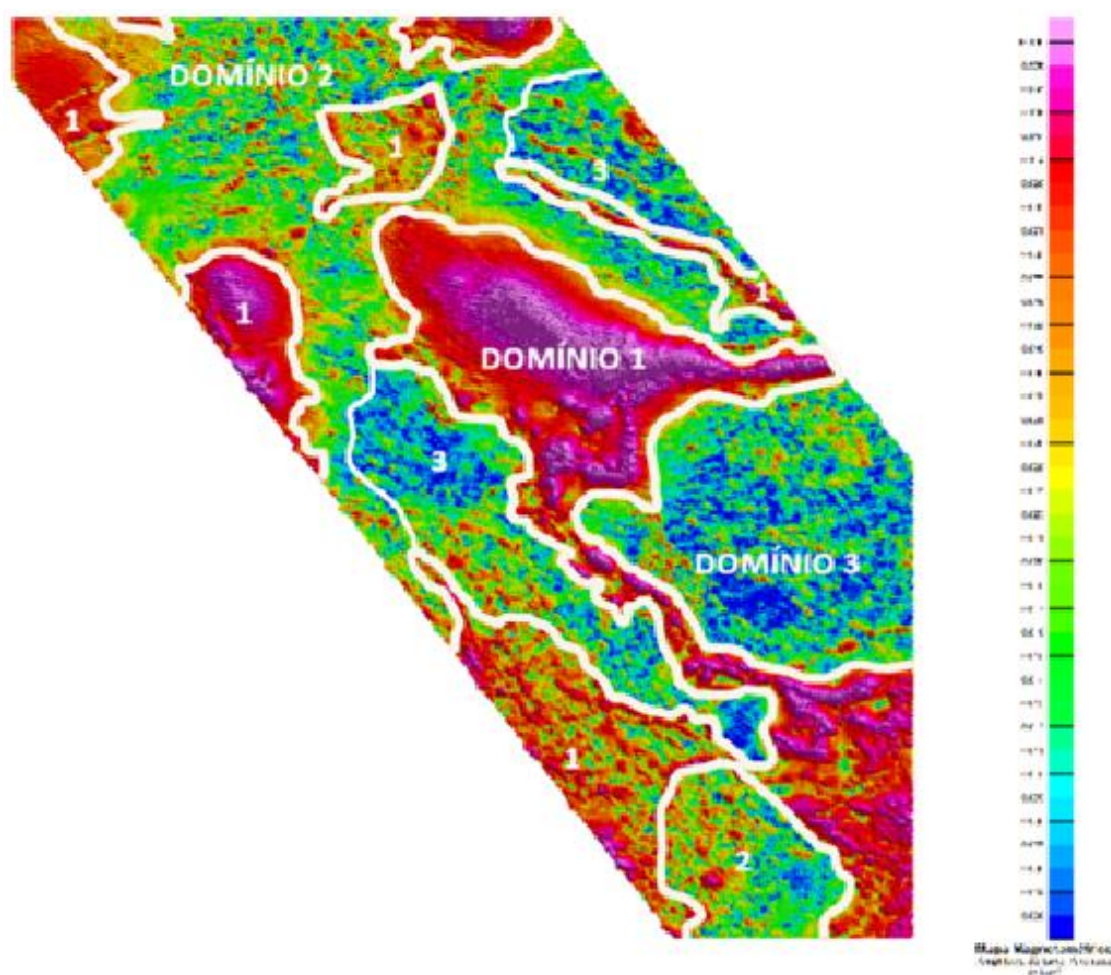
Os mapas de continuação para cima apresentam uma estreita correlação onde percebe-se gradualmente o avanço de anomalia negativa na porção sul da área de trabalho e anomalia positiva na porção norte. Na porção central gradualmente anomalias negativa e positiva lado a lado vão ficando diminutas até desaparecerem no mapa Up 10.000.

Figura 9 - Sequência de mapas de continuação para cima de 1.000, 2.500, 5.000 e 10.000 metros evidenciando anomalias em profundidade



É possível identificar um estreito lineamento de longo comprimento passando pela cidade de Maravilhas acompanhando o trend geral S45E, apresentando valores de amplitude do sinal analítico altos isso pode ser consequência de uma longa e estreita fratura. Foram delimitados 3 diferentes domínios no mapa de ASA onde separam-se zona de altos ($>0,07$ nT) Domínio 1; médios ($<0,07$ e $>0,015$ nT) Domínio 2 e baixos valores ($<0,015$ nT) Domínio 3.

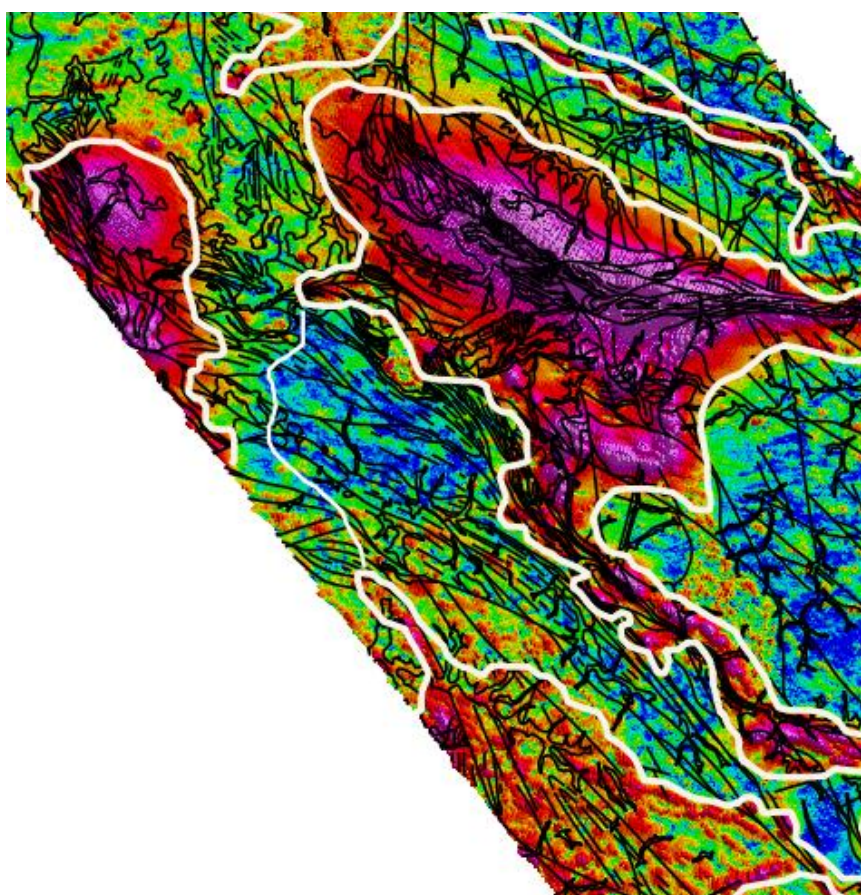
Figura 10 - Mapa de amplitude do sinal analítico da área de estudo e delimitação de domínios conforme magnitudes



Sobrepondo o mapeamento estrutural para a área, percebe-se que as regiões

do domínio 1 possuem uma densidade de falhas bastante intensa. Percebe-se uma correspondência clara entre o mapa estrutural e mapa de amplitude do sinal analítico, como ilustra a imagem a seguir:

Figura 11 - Sobreposição do mapeamento estrutural e mapa de amplitude do sinal analítico com delimitação dos domínios de magnitude



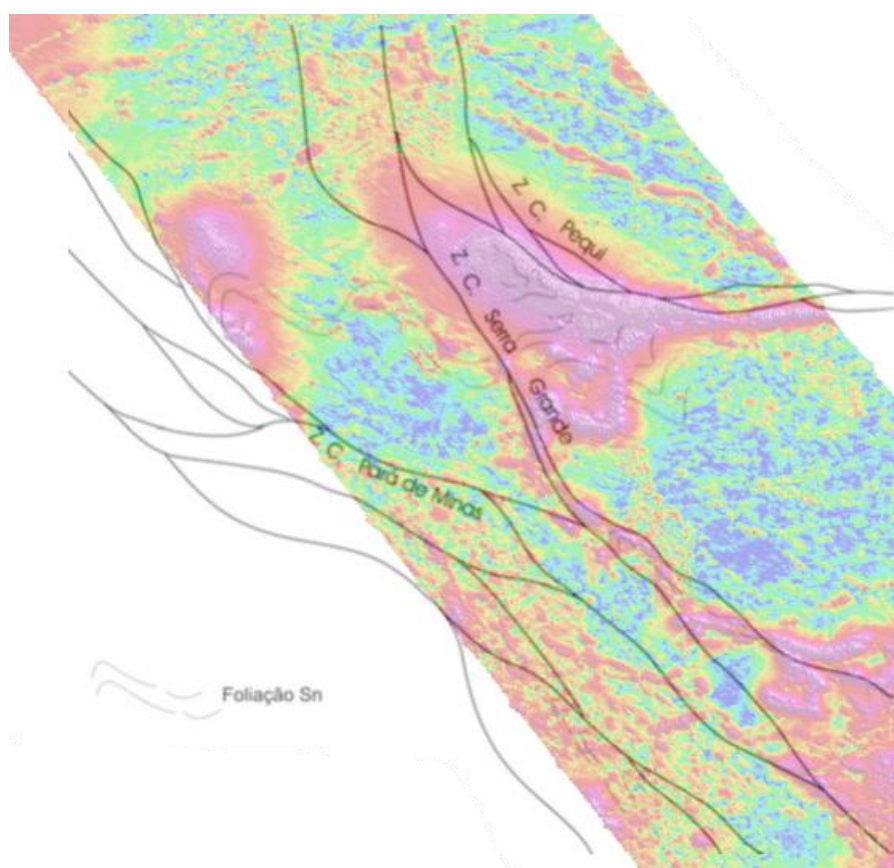
Fonte: <http://www.portatgeologia.com.br/>

4.2.1 Interpretação geotectônica

Lineamento Pitangui, inicialmente citado por Romano & Noce (1995) como Lineamento Pitangui-Congonhas e redefinido por Romano & Paiva (1997), como uma zona colisional entre dois núcleos crustais arqueanos. Prova dito é que os granitos tarditectônicos posicionados ao longo do lineamento têm uma típica assinatura geoquímica de ambientes colisionais continentais (Romano *et al.* 1995). A direção do lineamento é francamente noroeste-sudeste, tem uma largura máxima de mais de

20Km e materializa pelo menos três zonas principais de cisalhamento, Zona de Cisalhamento Pequi, Zona de Cisalhamento Pará de Minas e Zona de Cisalhamento Serra Grande. A seguir um esboço do Lineamento Pitangui proposto por Romano (1995) é sobreposto ao mapa de amplitude do sinal analítico, é possível identificar as zonas de cisalhamento e suas feições magnetométricas, anomalias que expressam relação direta com elementos estruturais decorrentes dos eventos tectônicos que deram origem ao Lineamento Pitangui.

Figura 12 Sobreposição do mapa de amplitude do sinal analítico com modelo do Lineamento Pitangui proposto por Romano



Fonte: Romano *et al.* 1995

O lineamento separa o Complexo Divinópolis, ao sul do Complexo Belo Horizonte, ao norte. Richter & Lacerda (1975) e Menezes Filho *et al* (1975) já haviam esboçado uma separação do embasamento em dois compartimentos, por eles denominados de Complexo Maravilhas e Complexo Carioca, este último notavelmente mais cisalhado que o primeiro. O *greenstone belt* Rio das Velhas é uma bacia oceânica desenvolvida na zona de colisão entre os dois blocos crustais, ao longo do

lineamento. A idade desta colisão, nitidamente oblíqua, e sinistral segundo os indicadores cinemáticos mais antigos, é seguramente mesoarqueana. Esta idade é corroborada através de idades da granitogênese regional mais antiga, em torno de 2.755 Ma, para o granitóide de Mateus Leme, estendendo-se até o Neoarqueano conforme idades do granitóide tardicolisional de Florestal, em torno de 2.593 Ma (Romano 1989).

O Evento Transamazônico atuou sobre as antigas estruturas arqueanas e tem na região um caráter nitidamente transcorrente, porém de menor amplitude e sentido de movimentação dúbio. A atuação da tectônica transamazônica é comprovada por idades U-Pb, Rb-Sr e K-Ar em material granítico, com análises de zircão, rocha total e biotita (Romano et al. 1991).

É notável a expressão dos elementos estruturais no mapa de amplitude do sinal analítico e como o mapeamento do Lineamento Pitangui casa com as anomalias mapeadas. Os componentes morfoestruturais constituintes das Zonas de Cisalhamento Pará de Minas, Serra Grande e Pequi se destacam como anomalias positivas, delimitando o que foi definido anteriormente como Domínio 1. A foliação S_n mapeada no esboço proposto por Romano também condiciona a geometria da anomalia principal do Domínio 1.

4.2.2 Lineamentos

Segundo Filho (2009), os lineamentos morfoestruturais refletem fenômenos de subsuperfície que podem estar associados a movimento diferencial de blocos falhados. A interpretação destes lineamentos pode levar ao reconhecimento de falhas no terreno, visto que estes representam importantes elementos para interpretar o contexto tectônico de uma determinada área.

Os mapas magnetométricos fornecem informações a respeito da susceptibilidade magnética das rochas. A análise da amplitude das anomalias produzidas por corpos geológicos portadores de minerais magnéticos, auxilia na identificação, delimitação e interpretação de feições estruturais em profundidades. A interpretação destes mapas ocorre por meio de reconhecimento de lineamentos, que podem evidenciar estruturas geológicas como falhas, fraturas e dobras, além da identificação e separação de magnetofácies.

Para a interpretação das anomalias magnetométricas utilizou-se o mapa temático de amplitude de sinal analítico (ASA), que devido sua característica monopolar, expõe as anomalias de forma centrada em comparação aos mapas de caráter dipolar (Kearey *et al.* 2009).

Foram traçados 119 lineamentos morfoestruturais cuja direção preferencial é SE-NW, de acordo com o diagrama de rosetas gerado, com destaque para o grande lineamento de direção SE-NW sobre a anomalia principal do Domínio 1 as regiões compreendidas pelo Domínio 1 apresentam maior quantidade e maior magnitude dos lineamentos, com forte . Na zona norte prevalecem pequenos lineamentos, com menor homogeneidade de direção que a região central da área mapeada. A sul, predominam lineamentos de pequena a média dimensão mantendo a tendência de direção sudeste-noroeste.

Dentre todos os lineamentos demarcados (119), 93 têm trend NW-SE, o que representa 78,15% dos elementos analisados, o que comprova a marcante controle estrutural com direções próximas ao azimuth 135°. O comportamento direcional dos lineamentos traçados evidencia o movimento obliquo sinistral entre os diferentes blocos crustais colididos que delimitam o lineamento Pitangui. Segue o mapa de amplitude do sinal analítico com os lineamentos identificados, medidos e analisados estatisticamente. A tendência direcional sob controle do Lineamento Pitangui é perceptível pela configuração visual do mapa. Foi confeccionado diagrama de roseta para representar graficamente a distribuição percentual das direções de lineamentos ocorrentes, que também ilustra com clareza a predominância do trend NW-SE.

Figura 14 - Lineamento evidenciados pelo mapa de amplitude do sinal analítico

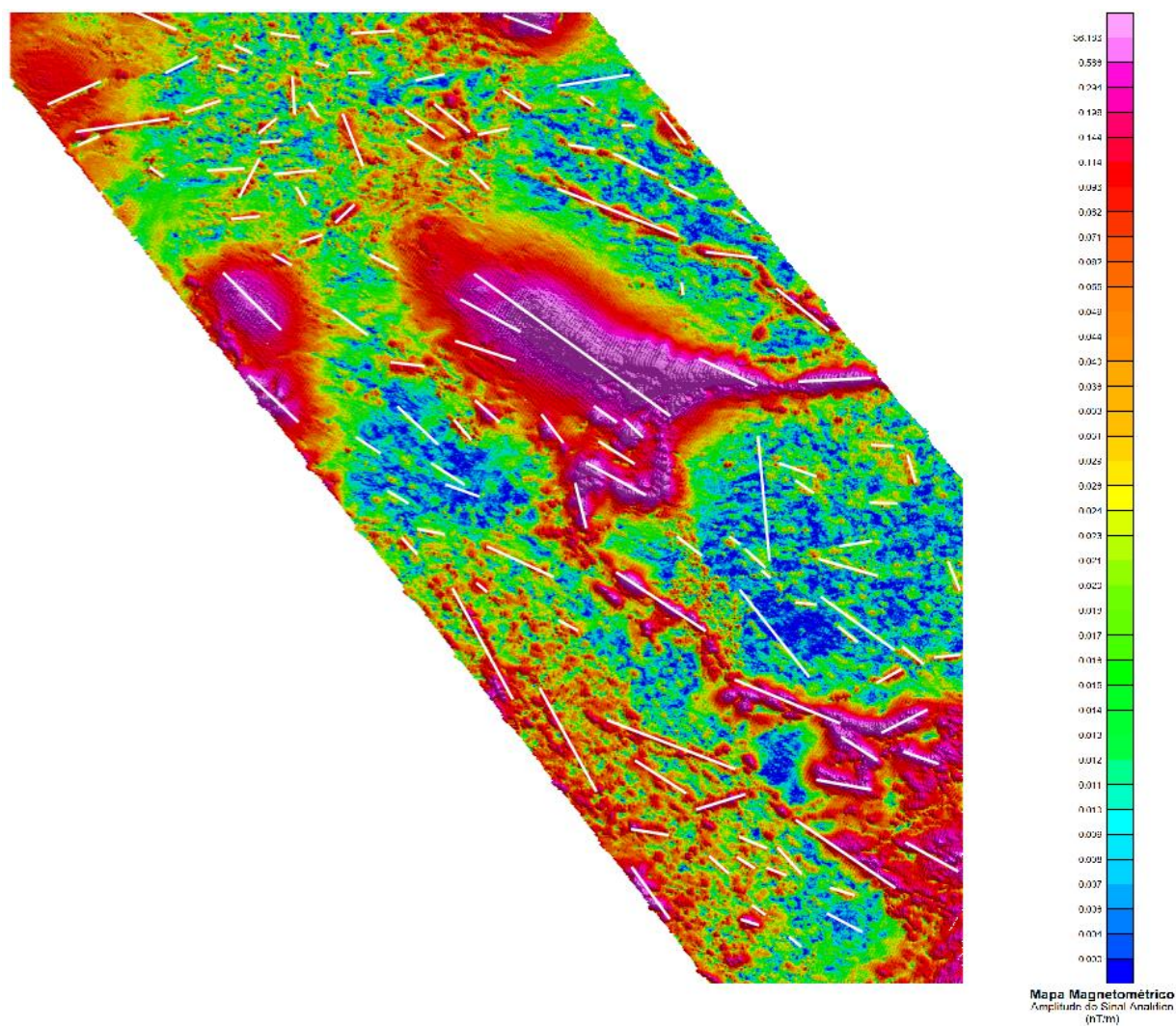
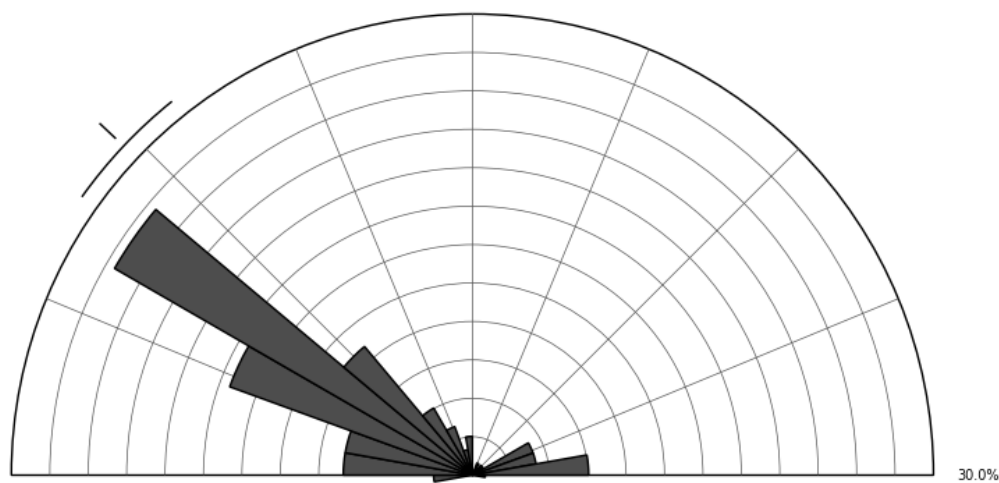


Figura 13 - Diagrama de roseta com representação estatísticas das direções dos lineamentos

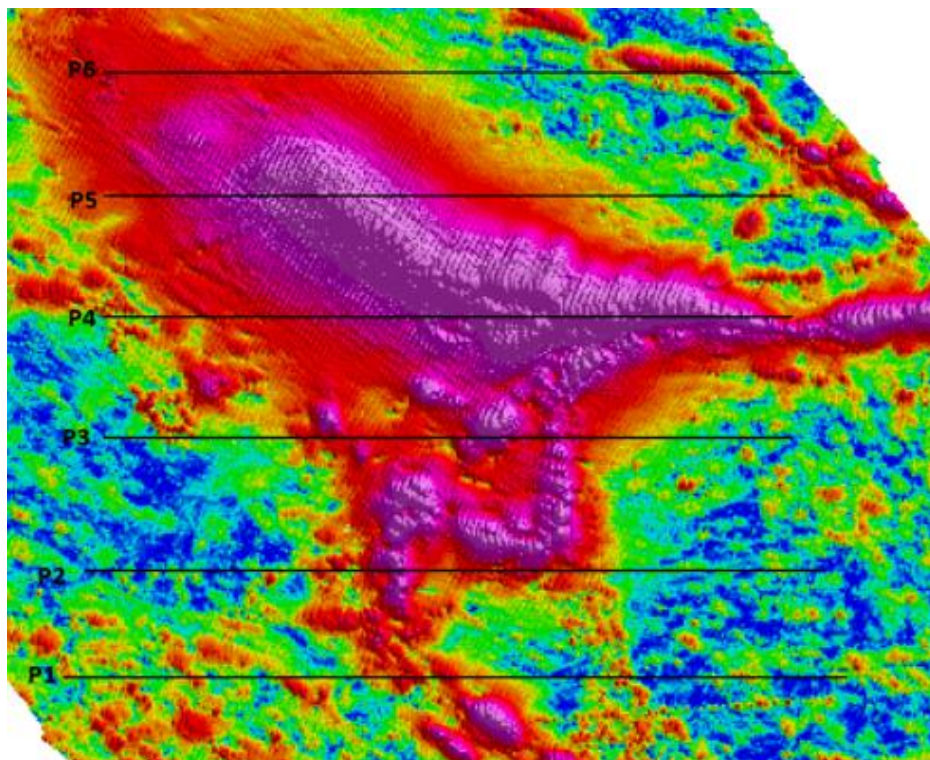


4.3 Deconvolução de Euler

A fim de investigar em profundidade a área estudada foram realizadas estimativas de profundidades médias dos topos das fontes causadoras de anomalias magnéticas, a partir da Deconvolução de Euler, o procedimento aplicado aos dados geofísicos atua na homogeneização de funções matemáticas em coordenadas cartesianas.

Foram alocadas 6 linhas com direção leste-oeste equidistantes 5.000 metros entre si. Apenas variaram as latitudes as longitudes são constantes. Conforme já citado os perfis utilizados para inversão de dados foram estrategicamente posicionados cobrindo a zona de interseção entre os Lineamentos Pequi e Serra Grande onde se observa a maior anomalia do Domínio 1. A extensão longitudinal dos perfis é de aproximadamente 28 km. Os perfis foram traçados da esquerda para direita (direção de sequência dos dados) e enumerados de P1 a P6 iniciando do perfil mais ao sul e em sequência até o P6 sendo o perfil mais a norte.

Figura 15 - Locação dos perfis para deconvolução cobrindo a anomalia mais significativa da área estudada



O arquivo vetorial de linhas previamente criada serviu de base para a geração dos perfis de grid no software Oasis Montaj 7.0.1 (Geosoft), de dados de amplitude de sinal analítico (ASA). Foram gerados e exportados do Geosoft, arquivos com extensão dta para carregamento no software Euler Deconvolution e processamento da deconvolução de Euler a ser aplicada a cada um dos seis perfis. A imagem a seguir apresenta os parâmetros utilizados para realização da deconvolução nos perfis. Os arquivos carregados contêm informação de posição em x e y, sendo o y constante para cada perfil e dado magnetométrico de amplitude do sinal analítico. Foi inserida a altura de voo (100 metros).

Figura 16 - Janela de configuração de banco de dados para deconvolução de Euler no software Euler Deconvolution

	1	2	3
1	521115.1971	0.085683380	
2	521215.1969	0.083305618	
3	521315.1967	0.120052208	
4	521415.1965	0.102860985	
5	521515.1963	0.098681797	
6	521615.1961	0.153401670	
7	521715.1959	0.097411184	
8	521815.1957	0.098404707	
9	521915.1955	0.109472830	
10	522015.1953	0.102519153	
11	522115.1951	0.107105907	
12	522215.1949	0.102239503	
13	522315.1947	0.100031437	
14	522415.1945	0.101968008	
15	522515.1943	0.097091468	
16	522615.1941	0.096870079	
17	522715.1939	0.102667088	
18	522815.1937	0.089667238	

Data Type

☐ Magnetics

☐ Gravity

☒ Analytical Signals

X position column : 1

Y position column : 2

Data column : 2

X and Y data present ☐

Geomagnetic Intensity (nT)

28000.0

Declination

-20.0

Inclination

-60.0

Bearing (degrees + from true North)

0.0

Flight Height

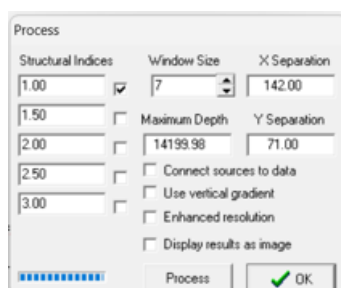
100

Cancel OK

Para a inversão magnetométrica foi necessária a entrada dos seguintes parâmetros: tamanho da janela e índice estrutural, que neste caso foram utilizados o índice estrutural igual a um e o tamanho da janela com valores variando entre sete, nove e onze. O índice estrutural 1 corresponde a estruturas planares, as quais se desejava evidenciar e o tamanho da janela foi variado sistematicamente até a obtenção de resultados com melhor definição probabilística. Esta variação no tamanho da janela fez-se necessário devido a heterogeneidade na geologia da área que é polideformada e não segue um determinado padrão para que fosse admitido um mesmo parâmetro.

A seguir, os resultados de deconvolução de Euler para cada perfil proposto são apresentados e descritos, e possíveis interpretações e associações aos mapas de magnetometria gerados também serão relatadas. A janela parâmetros para o perfil 2 foi configurada da seguinte maneira:

Figura 17 - Janela de parâmetros para deconvolução de Euler Software Euler Deconvolution

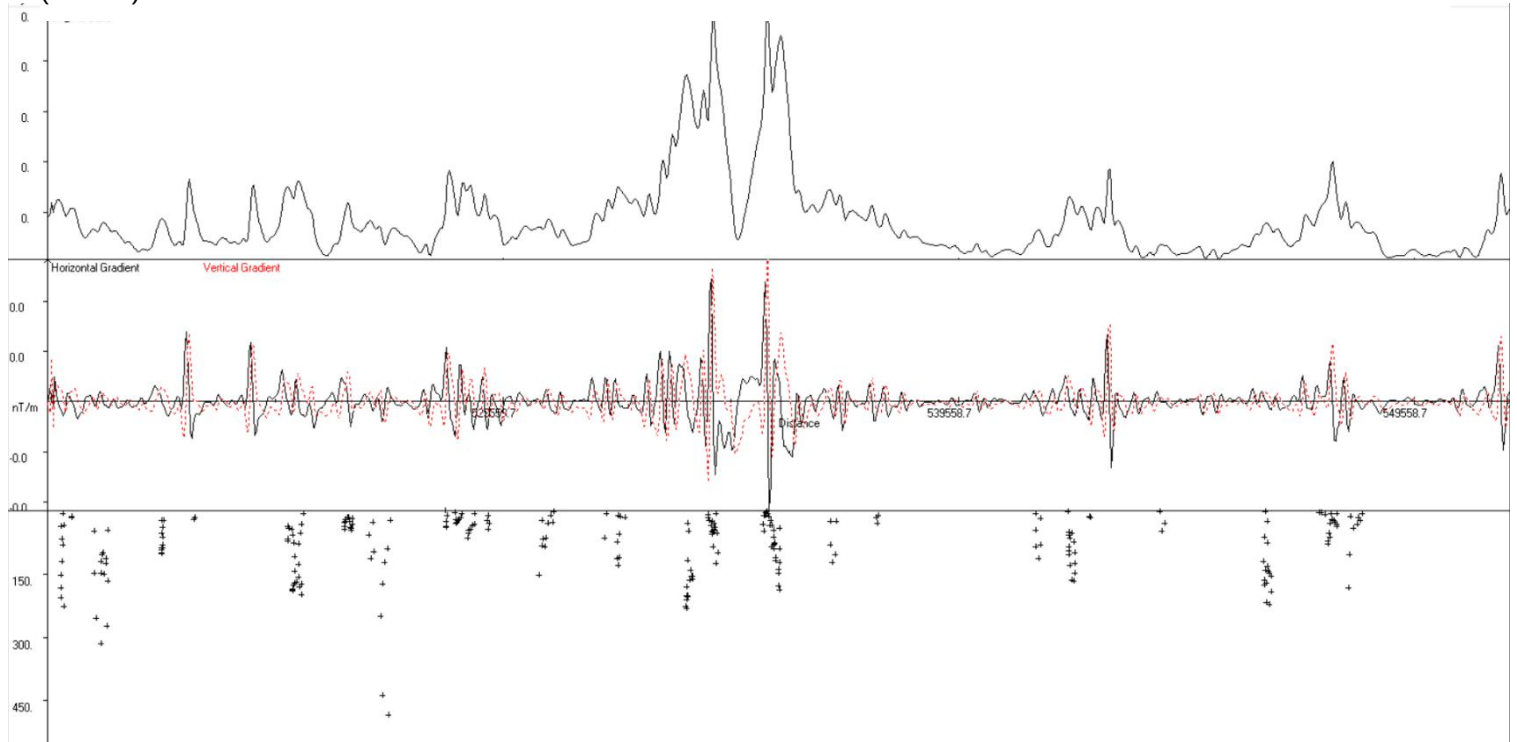


As profundidades máximas foram ajustadas conforme as respostas de cada perfil, conforme as magnitudes de profundidade e configuração espacial das estruturas, a visualização fica mais favorável em escalas variadas no eixo y.

Os resultados gráficos de deconvolução de Euler foram interpretados e possíveis elementos estruturais foram tracejados de maneira a ilustrar a geometria provável para os resultados avaliados.

4.3.1 Perfil 1

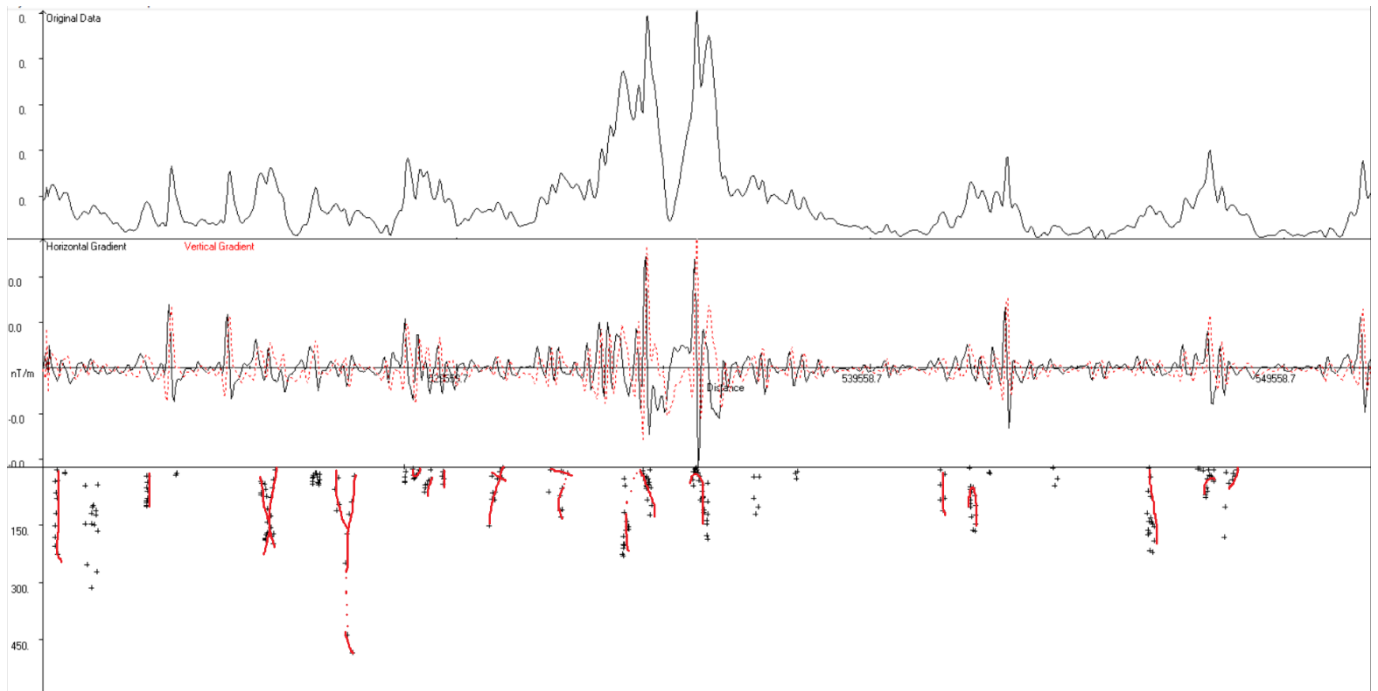
Figura 18 - Resultados de deconvolução de Euler, gradiente vertical, gradiente horizontal e amplitude do sinal analítico (Perfil 1)



O perfil número 1, apresenta anomalias de magnitude baixa, abaixo de 1 nT ao longo de toda sua extensão longitudinal. A faixa central do perfil se destaca com um gradiente mais acentuado com brusca queda tanto para dado de amplitude do sinal analítico quanto no gráfico resultante da deconvolução de Euler.

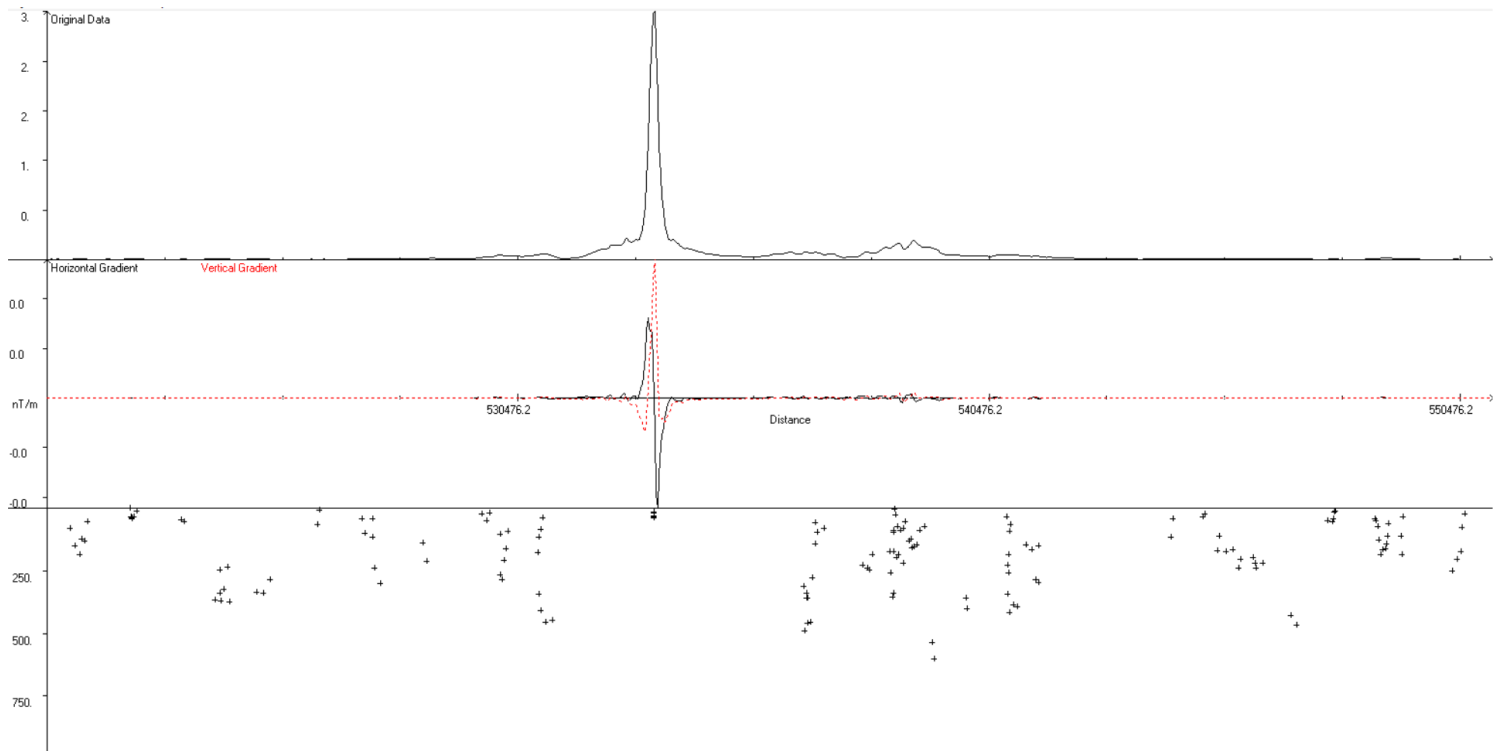
Ao longo do perfil foram identificadas uma série de fontes de anomalias magnetométricas, com profundidade relativamente baixas, chegando a até 250 metros em maior quantidade e algumas anomalias chegando a 300 e 450 metros. Na porção central onde se observam os maiores picos de gradiente vertical e horizontal observa-se uma quantidade alta de fontes de anomalias magnéticas que se conformam espacialmente como uma dobra antiforme. Pode-se interpretar outras feições (com expressão planar) evidenciadas pela deconvolução como falhas, fraturas ou contatos.

Figura 19 - Interpretação dos resultados (Perfil 1)



4.3.2 Perfil 2

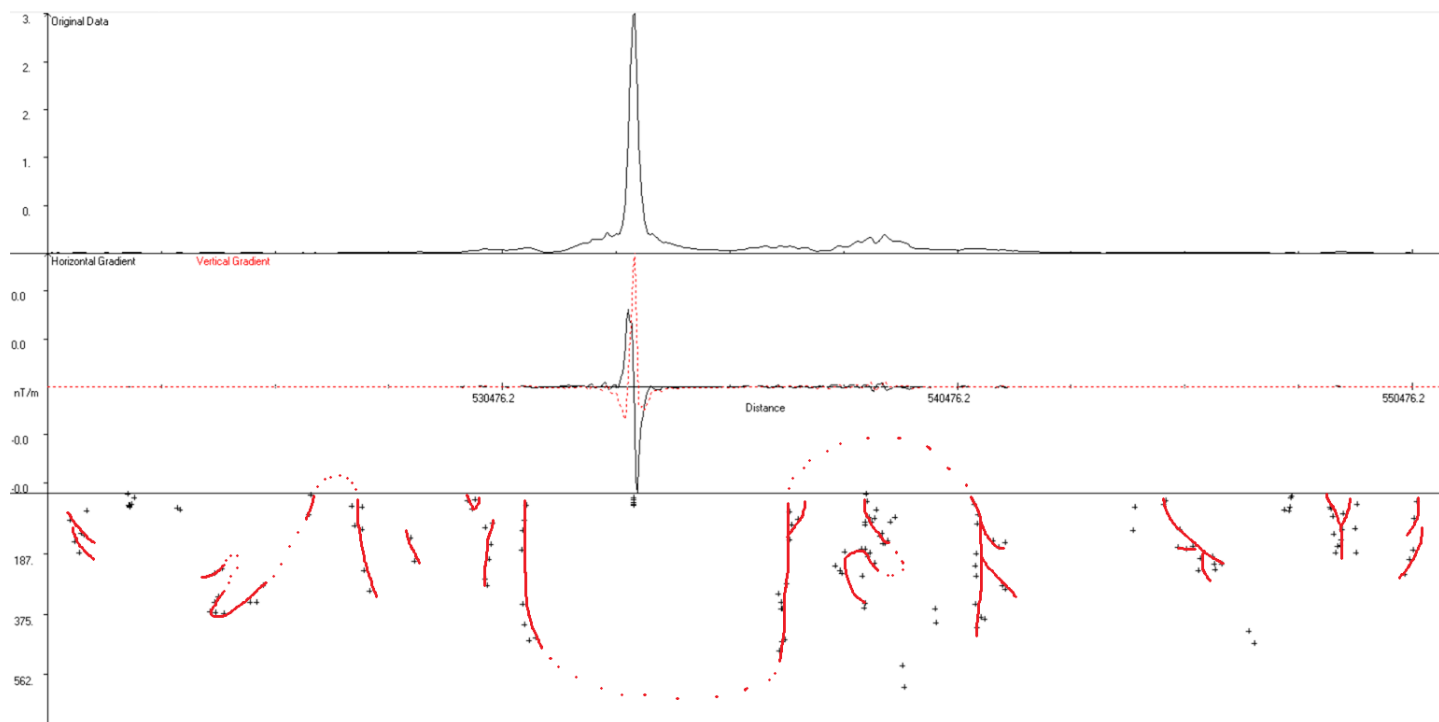
Figura 20 - Resultados de deconvolução de Euler, gradiente vertical, gradiente horizontal e amplitude do sinal analítico (Perfil 2)



Os dados de amplitude do sinal analítico do perfil 2 possuem baixa magnitude (<1 nT) exceto por um estreito trecho na porção central do perfil atingindo valores superiores a 3 nT. Neste ponto os resultados de deconvolução de Euler apontam para fonte de anomalia magnetométrica muito próxima à superfície.

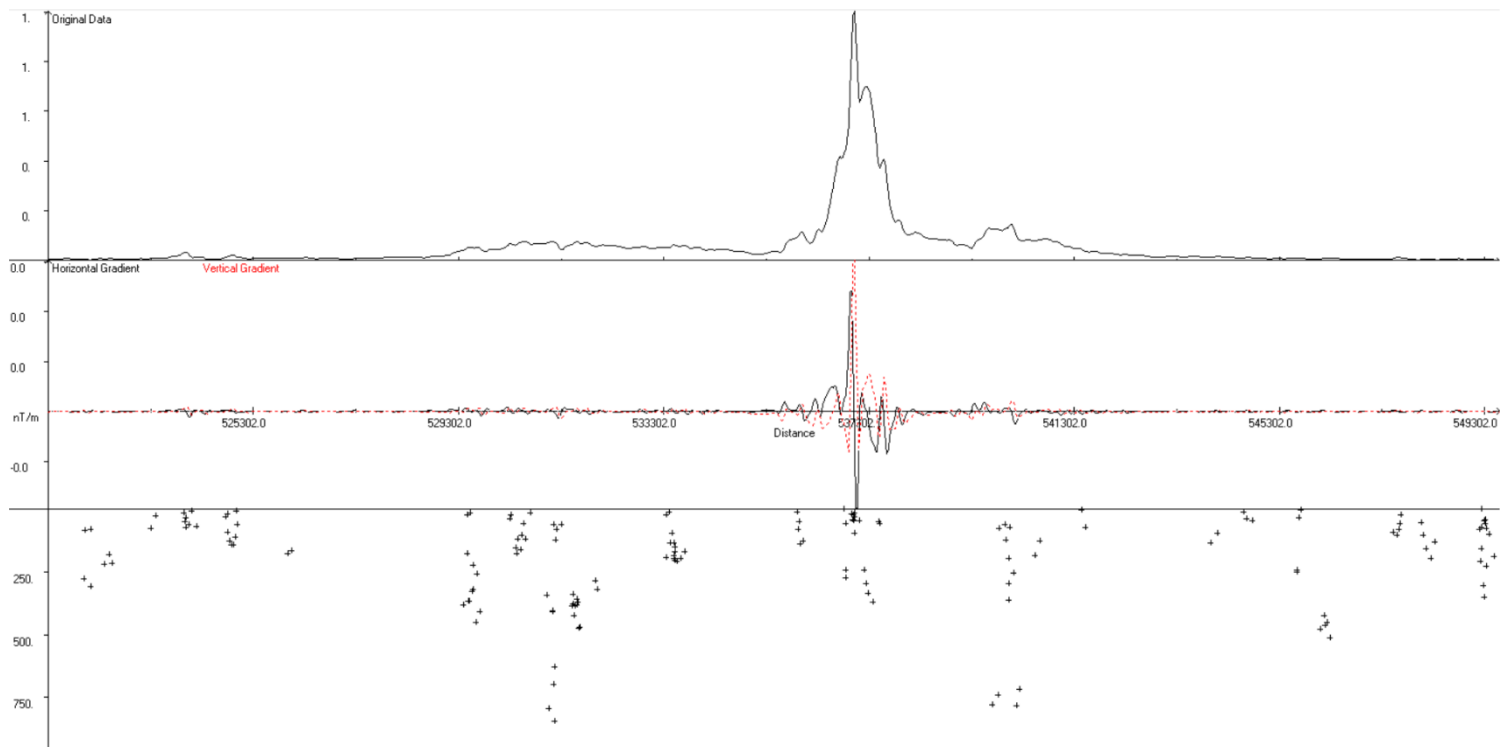
Nas faixas de baixa amplitude de sinal analítico, observa-se uma série de fontes de anomalia que ultrapassam a profundidade de 500 metros e apresentam uma configuração espacial bastante densa e complexa. Em mais da metade da extensão do perfil, não há registro de gradiente horizontal, o que é evidenciado na mapa de amplitude de sinal analítico onde há baixa variação de anomalia magnetométrica ao longo do traçado do perfil 2.

Figura 21 - Interpretação dos resultados (Perfil 2)



4.3.3 Perfil 3

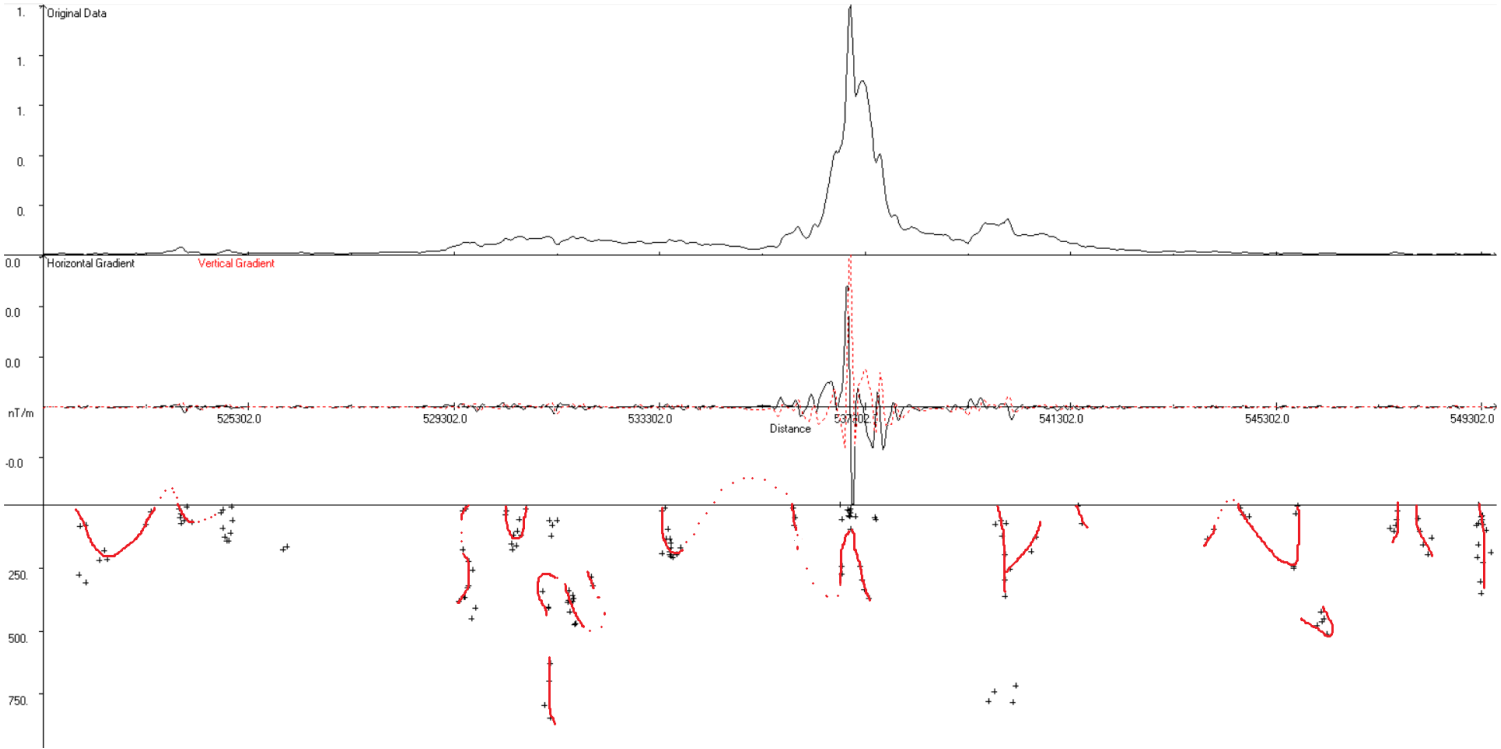
Figura 22 - Resultados de deconvolução de Euler, gradiente vertical, gradiente horizontal e amplitude do sinal analítico (Perfil 3)



O perfil 3 apresenta também apresenta homogeneidade nos dados de amplitude de sinal analítico com baixos valores em predominância ao longo das extremidades e um pico nas mediações da longitude $x = 537.300$, chegando a ultrapassar a magnitude de 1 nT. O padrão observado corresponde ao observado no mapa ASA, onde caminhando-se para norte, os picos se posicionam nas porções a leste, dentro da área investigada.

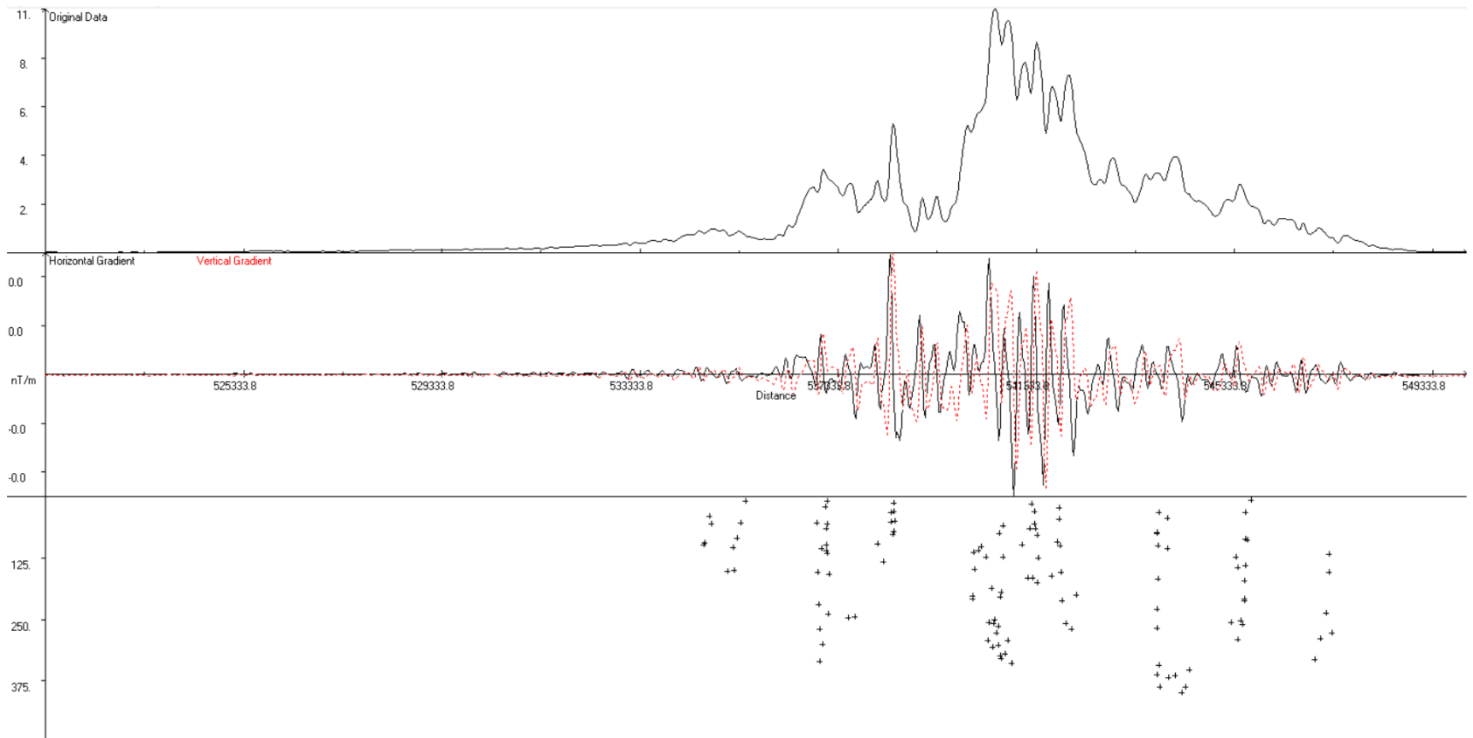
Ao longo do perfil, a deconvolução revelou uma alta quantidade de fontes magnéticas bem distribuídas ao longo de sua extensão. Há uma complexidade na conformação espacial e conseqüentemente nas possibilidades de interpretação das estruturas responsáveis pelas respostas magnetométricas observadas. Grande fração dos elementos estruturais se encontram até 500 metros de profundidade e em dois pontos ocorrem fontes que ultrapassam 750 metros.

Figura 23 - Interpretação dos resultados (Perfil 3)



4.3.4 Perfil 4

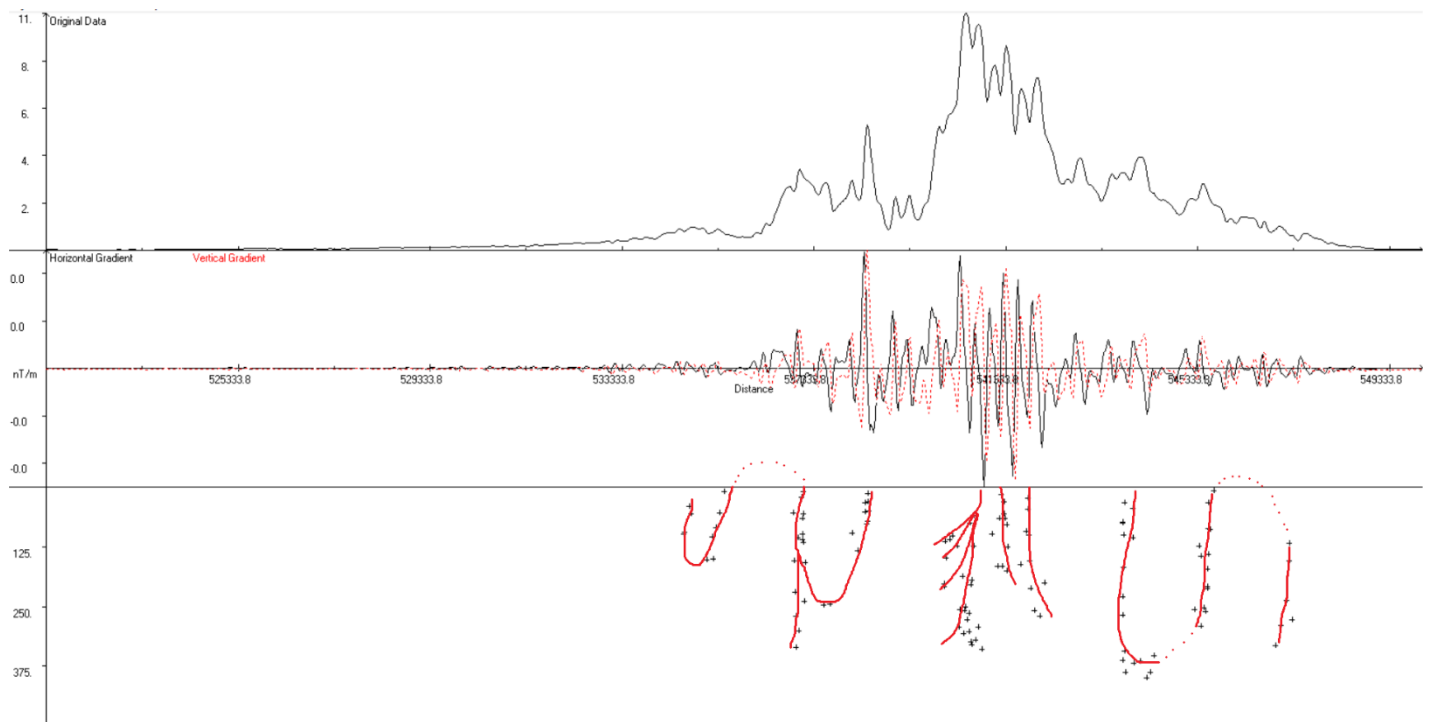
Figura 24 - Resultados de deconvolução de Euler, gradiente vertical, gradiente horizontal e amplitude do sinal analítico (Perfil 4)



Seguindo o padrão observado entre os perfis anteriores, os altos valores de amplitude do sinal analítico ocorrem em zona localizada mais a leste. As magnitudes ultrapassam 11 nT, sendo os valores mais altos observados em todos os perfis. Até a metade do perfil os valores de dados medidos, gradientes vertical e horizontal são mínimos. Nessas regiões não são observados elementos estruturais identificados pelo processamento matemático. As anomalias (com alta taxa de variação), ocorrem na segunda metade do percurso do perfil e atingem seu ápice na posição $x=541.300$, onde também foi revelada a maior densidade de fontes de anomalias magnetométricas.

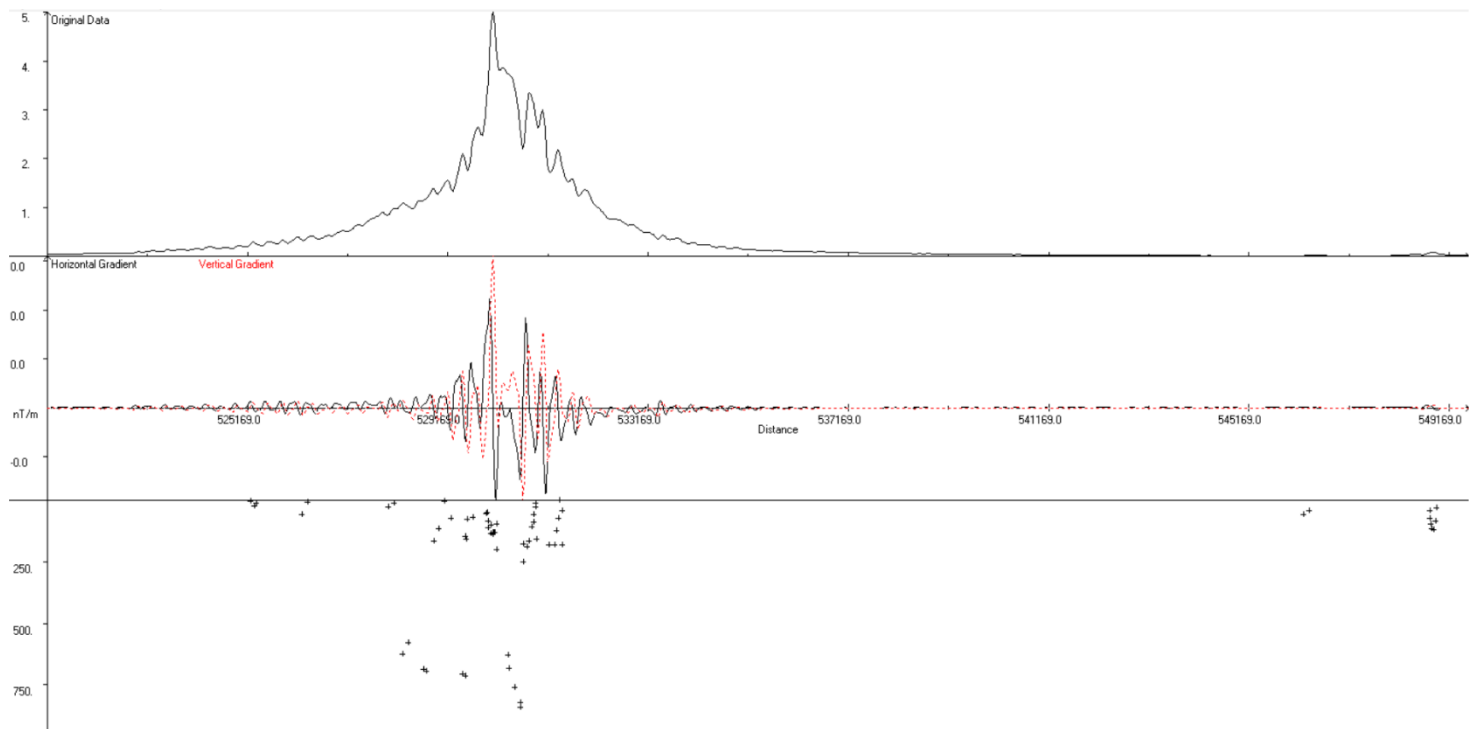
As fontes anômalas mapeadas atingem até 375 metros e se conformam como uma sequência de dobramentos sinformes e antiformes.

Figura 25 - Interpretação dos resultados (Perfil 4)



4.3.5 Perfil 5

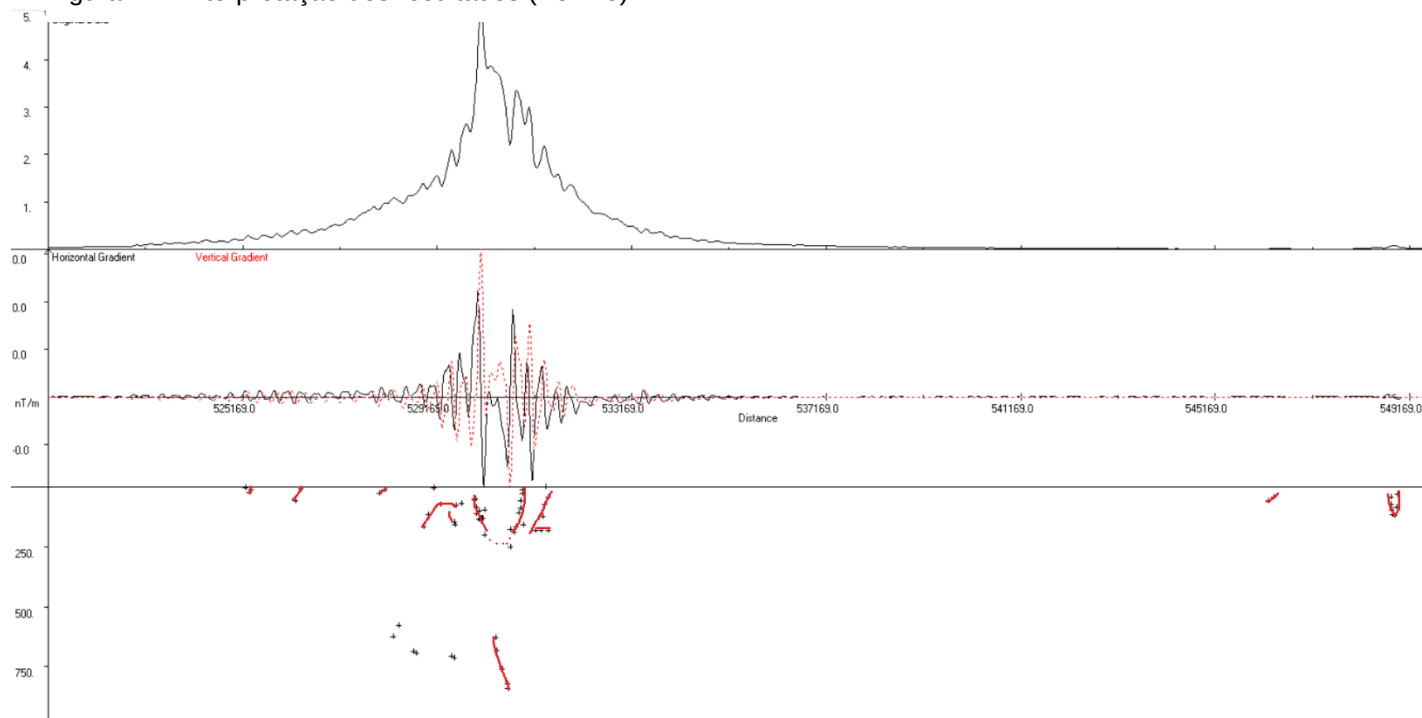
Figura 26 - Resultados de deconvolução de Euler, gradiente vertical, gradiente horizontal e amplitude do sinal analítico (Perfil 5)



Os valores de amplitude do sinal analítico para o perfil 5 chegam a 5 nT aproximadamente no limite do primeiro terço do percurso em questão. Nesta zona os gradientes vertical e horizontal também apresentam maior significância e também há maior ocorrência de fontes de anomalias magnetométricas. Percebe-se no mapa ASA que as máximas anomalias na latitude do perfil 5 encontram-se mais a oeste, em relação aos perfis anteriores, quebrando o padrão observado até então. Com deslocamento dos picos tendendo para leste.

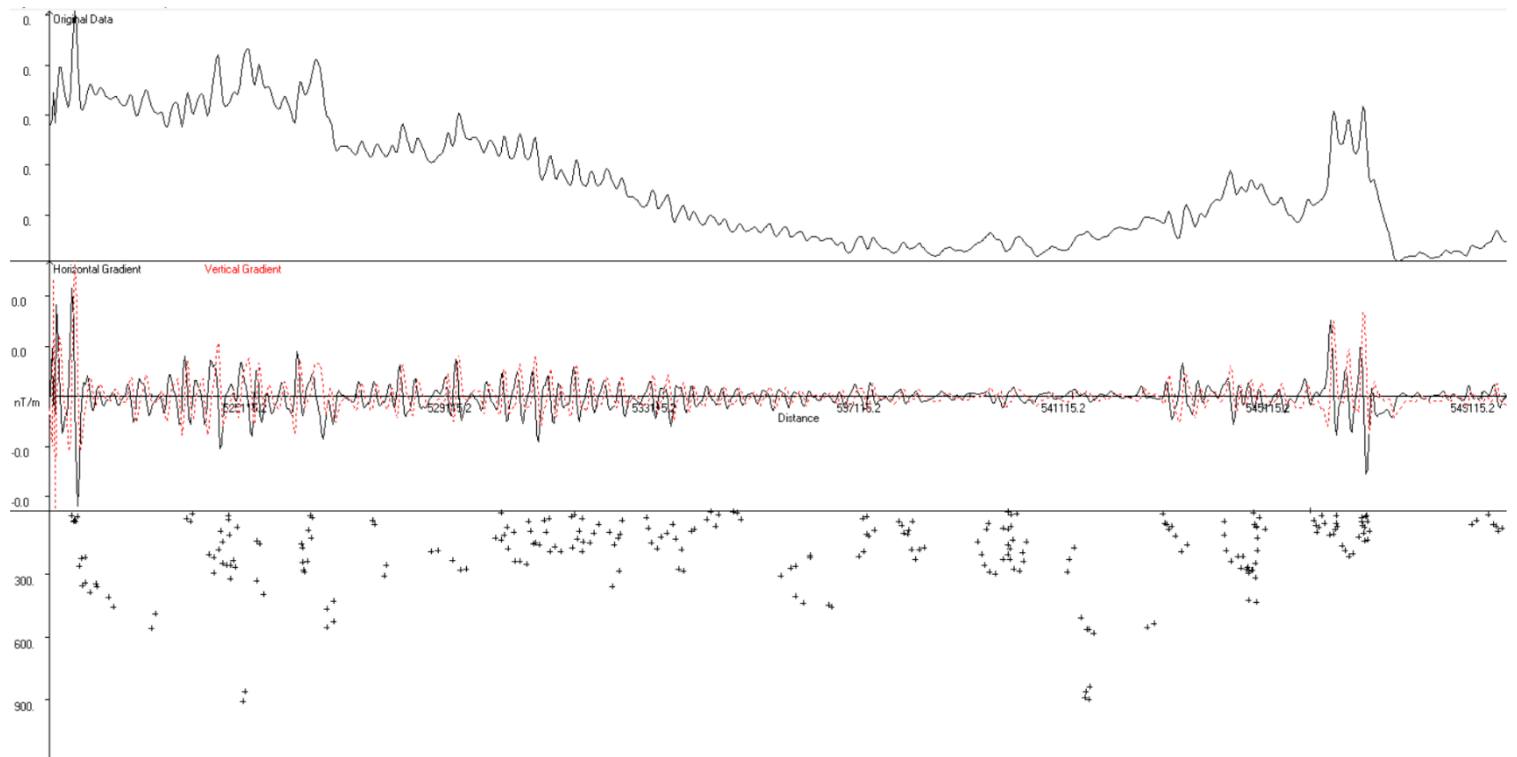
Na extremidade leste do perfil há duas fontes de anomalia de profundidade baixa atingindo no máximo 100 metros, profundidade máxima também da maioria dos elementos estruturais da porção oeste. Em menor proporção, ocorrem anomalias mais profundas, entre 500 e 800 metros de profundidade.

Figura 27 - Interpretação dos resultados (Perfil 5)



4.3.6 Perfil 6

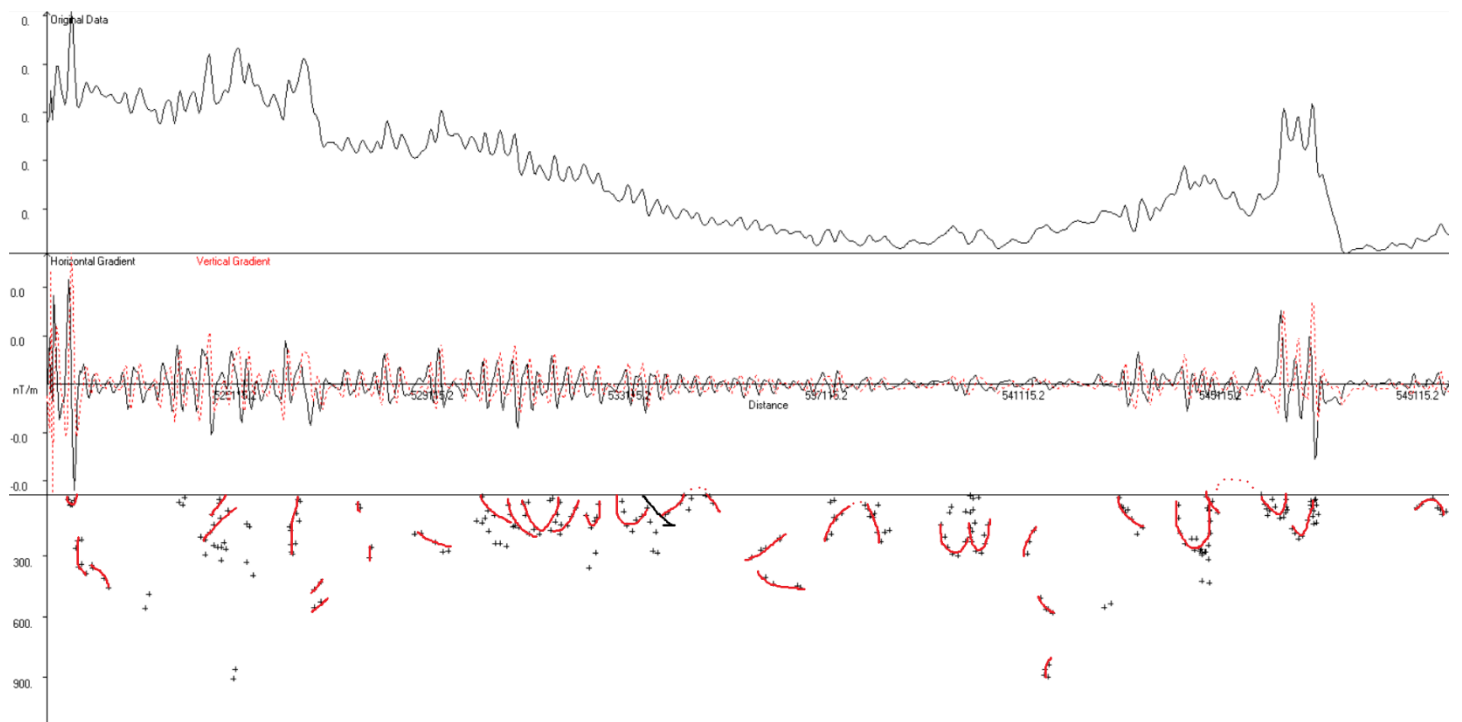
Figura 28 - Resultados de deconvolução de Euler, gradiente vertical, gradiente horizontal e amplitude do sinal analítico (Perfil 6)



O perfil 6 apresentou valores de amplitude do sinal analítico em baixas magnitude variando sempre abaixo de 1 nT, com um caráter de alta variabilidade, ao longo de todo o perfil. Houve elucidação de muitas fontes magnetométricas que se distribuem de forma irregular. A grande densidade de pontos em determinadas regiões dificulta a interpretação por apresentar várias possibilidades de geometrias de elementos estruturais.

O maior percentual de ocorrências está acima de 600 metros de profundidade várias feições se aproximam de dobras tanto sinformes quanto antiformes. Algumas poucas fontes de anomalias mais profundas foram reveladas pelo procedimento de deconvolução, atingindo até 900 metros de profundidade, a maior observada para todos os perfis analisados.

Figura 29 - Interpretação dos resultados (Perfil 6)



4.4 Modelagem 3D

A partir dos perfis descritos anteriormente e com os dados de deconvolução de Euler exportados do programa Euler Deconvolution, foi realizada integração dos dados no ArcMap e para visualização tridimensional foi utilizado o software ArcScene, que também faz parte do pacote de aplicativos do ArcGis.

Os arquivos exportados após o processamento matemático da deconvolução de Euler foram carregados em conjunto no ArcMap, onde foi realizada krigagem dos dados, que consiste em um método geoestatístico que promove interpolação de dados georreferenciados conhecidos para estimar valores em pontos não amostrados através de correlação espacial, gerando semivariogramas ponderados aos dados conhecidos.

Para o trabalho aqui descrito, o resultado obtido teve sua visualização prejudicada pela escala proposta pelo projeto. Em se tratando de estudo em escala regional, os perfis tiveram grande extensão longitudinal (28.000 m), as fontes de anomalias magnetométricas identificadas pelo processo de deconvolução de Euler variaram até no máximo centenas de metros, desta maneira as representações gráficas dos elementos estruturais mapeados se apresentam muito próximas entre si, prejudicando a visualização global da área coberta e três dimensões, podendo modificar a interpretação da geometria das estruturas em questão. Para resultados de maior detalhe e resolução, perfis menos extensos permitiriam uma visualização mais esclarecedora.

Apesar da situação descrita no parágrafo anterior, o procedimento é excelente ferramenta para a finalidade proposta de extrapolar os valores de profundidades para pontos não coincidentes com os perfis, correlacionando e integrando os dados de interesse para determinada finalidade.

A seguir são apresentadas imagens de determinadas perspectivas apresentando os resultados obtidos após o procedimento de krigagem.

Figura 30 - Visualização dos perfis agrupados e valores de profundidade pós interpolação por krigagem

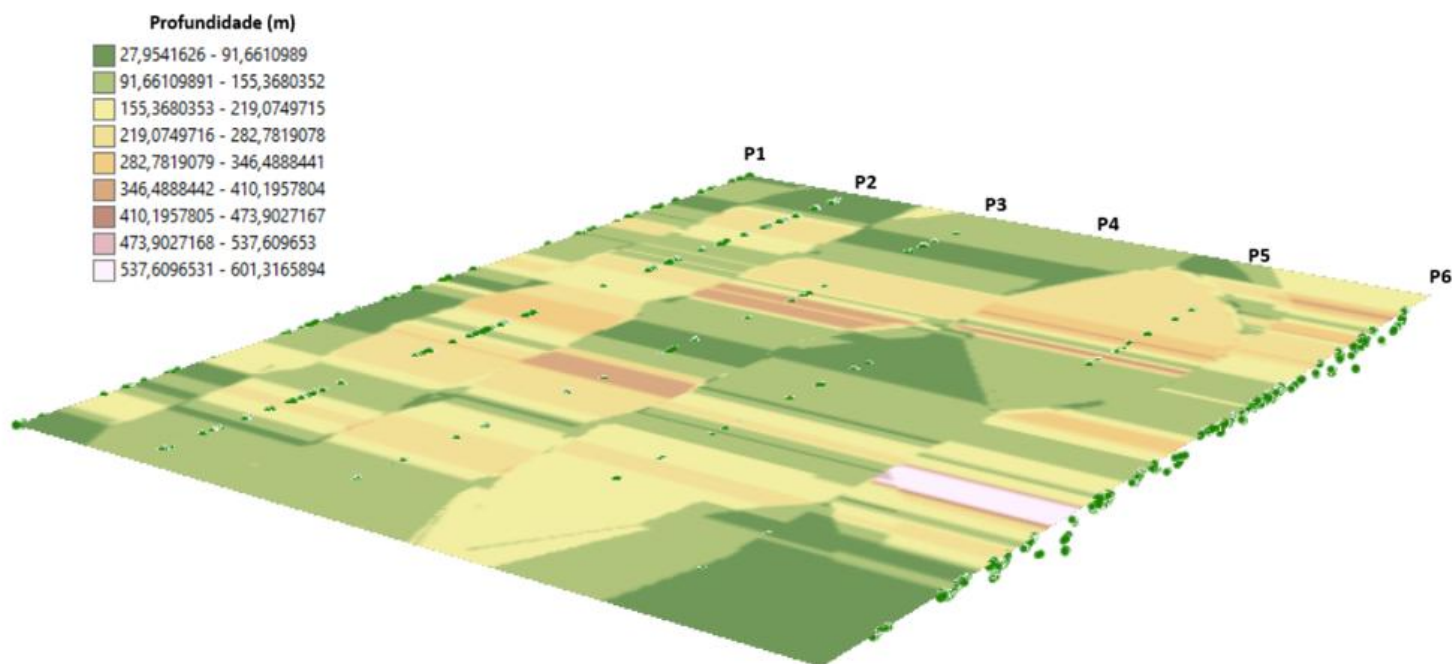
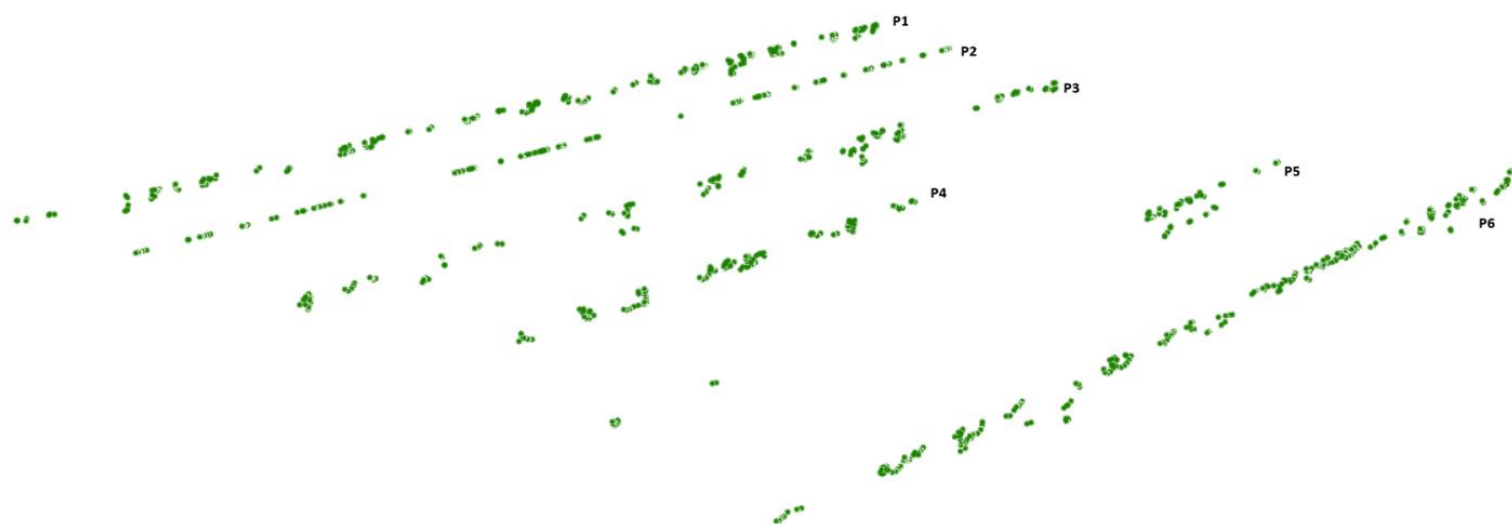


Figura 31 - Visualização 3D dos perfis com as fontes anômalas identificadas por deconvolução de Euler



5 CONCLUSÕES

Primeiramente deve-se registrar que a geofísica como se apresentou como ferramenta de extrema abrangência e aplicabilidade para investigação geológica para variadas finalidades. Os procedimentos desenvolvidos pelo presente trabalho e os produtos gerados foram comprovadamente úteis para análises geológicas em variados aspectos como geologia estrutural, hidrogeologia e prospecção mineral. Neste sentido, a geofísica é um ramo das geociências com capacidade de solução de diversas demandas.

O trabalho aqui apresentado, através da dinâmica proposta, gerou uma série de mapas magnetométricos, com resultados específicos, conforme os processamentos matemáticos aplicados. Neste sentido um dos principais objetivos do trabalho foi atendido, ao promover desenvolvimento de material científico de caráter geofísico para a região da carta Pará de Minas. Conforme esperado, os resultados identificados, principalmente no mapa de amplitude do sinal analítico, apresentaram muita correspondência com o contexto geotectônico da região, relacionado ao Lineamento Pitangui, que impõe forte controle estrutural local e regionalmente. A partir dos mapas gerados foi possível identificar tendências direcionais que exprimem evidências para a interpretação da dinâmica colisional que deu origem ao Lineamento Pitangui, que delimita duas unidades litoestratigráficas de muita relevância para a região: Complexo Belo Horizonte no bloco crustal a norte e Complexo Divinópolis no bloco a sul.

Em termos litológicos, o trabalho desenvolvido não permitiu uma interpretação aprofundada já que predominam ocorrências com ausência de minerais ferrimagnéticos que promovem respostas em termos de susceptibilidade magnética. Em contra partida, por se tratar de uma zona bastante deformada, e por característica do método de magnetometria, pode-se fazer uma avaliação estrutural interessante. Foram traçados 119 lineamentos destacados pelos tratamentos geofísicos que expressam o comportamento preferencial das estruturas existentes. Foi observada prevalência muito marcante de direções NE-SW superando 70% dos lineamentos identificados. O trend observado exprime a íntima relação estrutural da região com o Lineamento Pitangui, assim sendo, pode-se inferir diversas condições de gênese do contexto existente, como direções de movimento pretéritos.

Por meio de deconvolução de Euler, o trabalho se propôs a investigar as fontes

de anomalias magnetométricas em profundidade. Através do procedimento executado pôde-se identificar diversos elementos estruturais ao longo de 6 perfis estrategicamente locados sobre a anomalia mais proeminente da área estudada. A deconvolução evidenciou fontes magnetométricas e suas conformações espaciais em profundidade. O procedimento executado gerou dados e produtos objetivados, entretanto, para estudos de maior detalhe, perfis de escala local se tornam mais interessantes, afinal, as dimensões das fontes anômalas, suas profundidades e da extensão dos perfis estando com magnitudes mais próximas, favorece a visualização e realça com maior detalhe os elementos estruturais e suas respectivas configurações espaciais.

Por fim, pode-se afirmar que o trabalho desenvolvido atendeu os objetivos pretendidos esclarecendo características da área de estudo em diferentes abordagens. Para a escala determinada (regional), os resultados se apresentaram satisfatórios, entretanto ressalta-se que para estudos mais minuciosos, é necessário maior nível de detalhamento. Os mapas produzidos servem como fonte bibliográfica de significativo interesse para desenvolvimento de outras investigações geológicas envolvendo a região pesquisada.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barbosa M. S. C. – Notas de aula Geofísica - GEO122– Universidade Federal de Ouro Preto – Escola de Minas; 2003
- Barbosa V. C. & Silva J. B. C. 2005. Deconvolução de Euler: passado, presente e futuro – um tutorial. *Rev. Bras. Geof.*, 23(3): 243-250.
- Blakely R. J. 1996. *Potential Theory in Gravity & Magnetic Applications*. Cambridge, Cambridge University Press. 441p.
- CODEMIG – Companhia De Desenvolvimento Econômico De Minas Gerais 2001. Levantamento aerogeofísico, magnetometria.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil 2014. Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais, 1:1.000.000.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Universidade Federal de Minas Gerais. Folha SE-23-Z-C-IV – Pará de Minas; 2007.
- Durrhein R.J & Cooper G.R.J., 1998. EULDEP: a program for the Euler deconvolution of magnetic and gravity data. *Elsevier – Computer & Geosciences*. 24(6): 545-550.
- FERNANDES, C.E.M. – 1981 – Fundamentos de Prospecção geofísica. Rio de Janeiro: Interciência, 190p.
- FRESE R. R. B., Oasis Montaj Gravity e Magnetic Exploratinon – School os Earth Sciences, The Ohio State University; 2013.
- Gomes D. G. C. – CPRM – Levantamentos geológicos e integração geológica regional, Atlas aerogeofísico de Minas Gerais, 2021.
- Kearey P., Brooks M., Hill I.. 2009. Geofísica de exploração. Tradução: Maria Cristina Moreira Coelho, São Paulo, Oficina de Texto, p.438;
- Lines, L. R., & Newrick, R. T. (2004). *Fundamentals of Geophysical Interpretation*. Society of Exploration Geophysicists.
- Mângia, A. A. M., Nálise magnetométrica integrada a partir de banco de dados via veículo aéreo tripulado e não na região de Teixeiras -MG, Universidade Federal de Ouro Preto, 2022.
- Neves, M. E. A., Análise geofísica-estrutural da zona limítrofe entre as províncias São Francisco e Mantiqueira no sudeste do Quadrilátero Ferrífero, Universidade Federal do Ouro Preto, 2017.
- Reis, P. L., Análise geofísica à caracterização de risco geotécnico em áreas urbanas associado à Zona de Cisalhamento São Bento, Ouro Preto -MG, Universidade Federal de Ouro Preto, 2023.
- RICHTER, P.& LACERDA, G.M. 1975. Relatório de reconhecimento geológico-geoquímico da região de Pitangui - Papagaios – Pequi, Minas Gerais. CGBA

(DNPM/BGR/CPRM, Belo Horizonte: 96 p, mapa em escala 1:100.000

ROMANO, A.W.; PAIVA, C.T. 1997a. Evolução de eventos tectônicos, metamórficos e de alteração hidrotermal ao longo de uma zona de cisalhamento; exemplo do Lineamento Pitangui, parte meridional do Craton do São Francisco, MG. In SNET 6. Pirenópolis, 1997. Anais... Pirenópolis, SBG: 21-22.

ROMANO, A.W., NOCE, C.M. 1995. Feições Estruturais do Lineamento Pitangui-Congonhas. In SNET 5. Gramado, 1995. Anais..., Gramado, SBG : 76-77.

ROMANO, A W. 1998. Mapa Geológico da Folha SE-23-Z-C-IV Pará de Minas em escala 1:100.000. In CONG. BRAS. GEOL. 40, Belo Horizonte, 1998. Anais... Belo Horizonte, SBG, 1: 63.

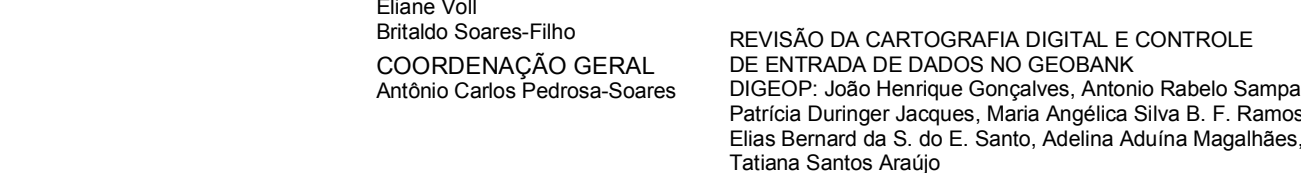
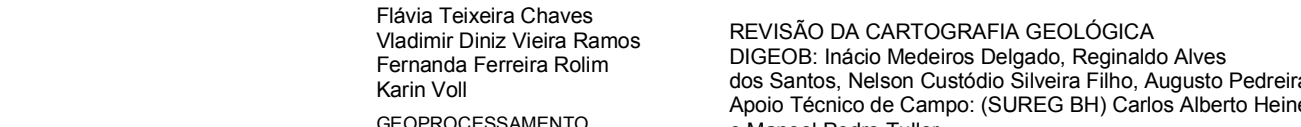
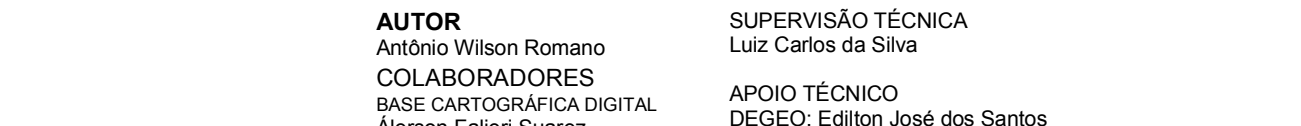
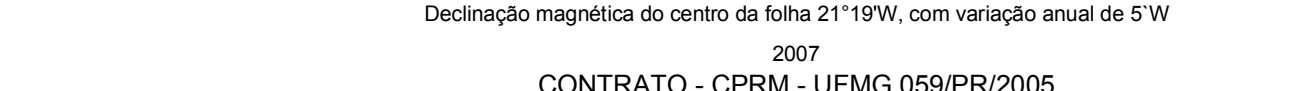
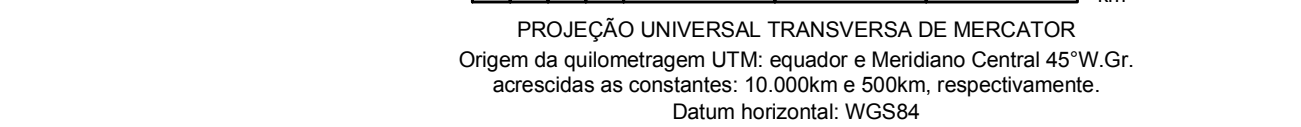
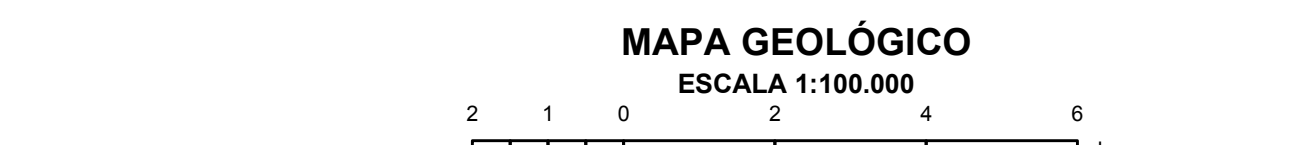
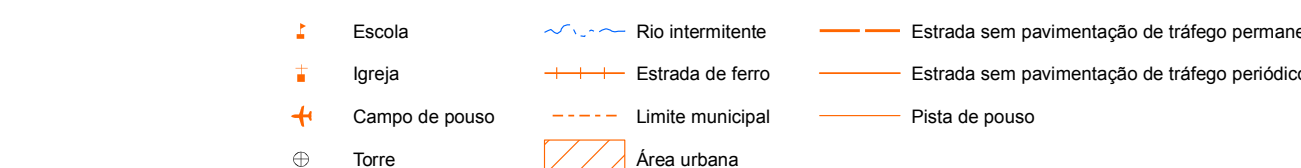
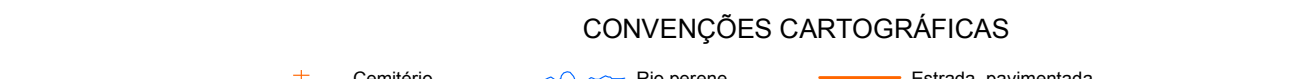
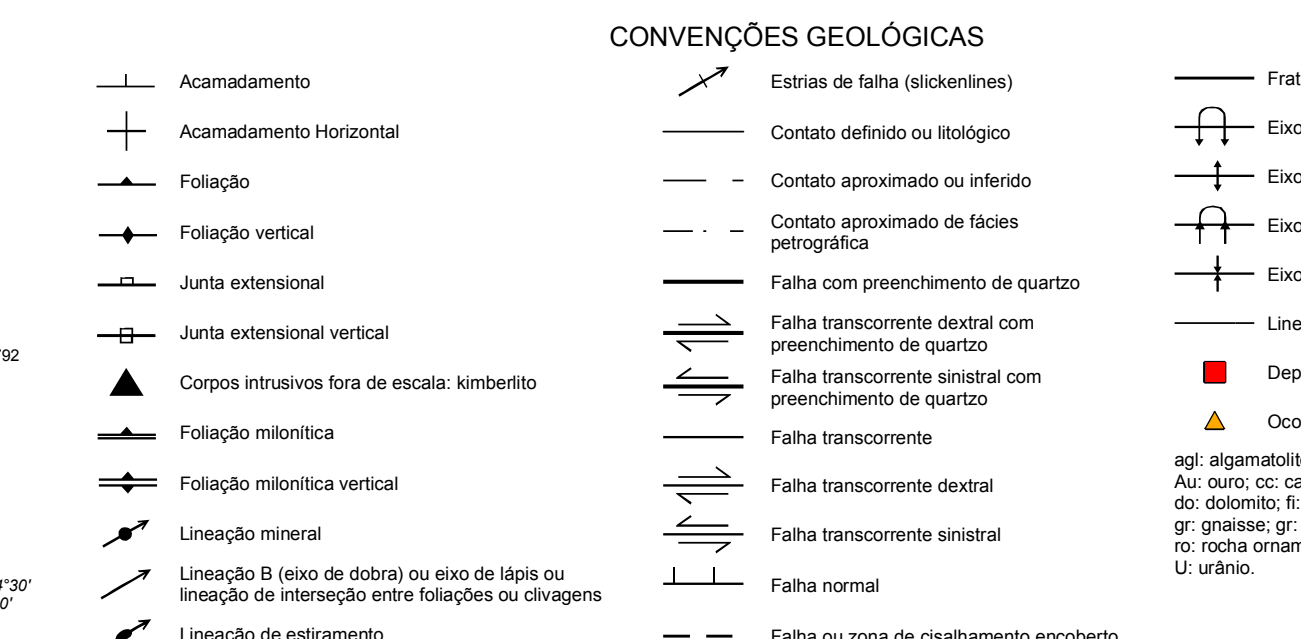
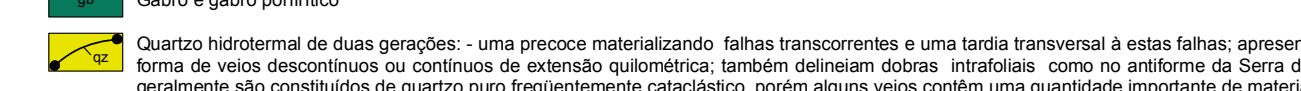
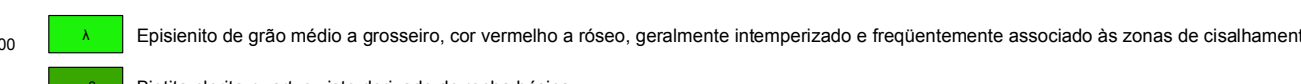
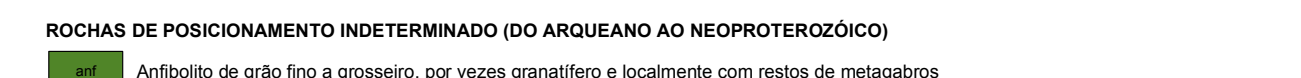
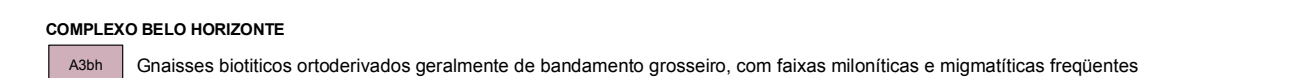
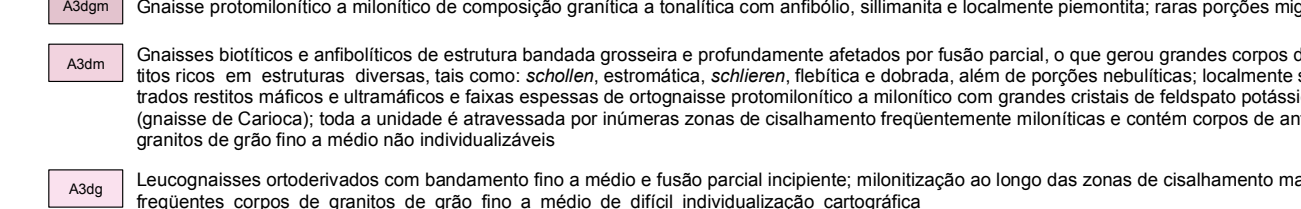
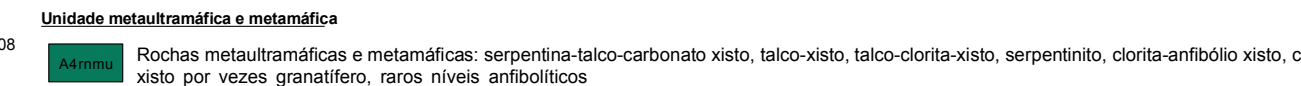
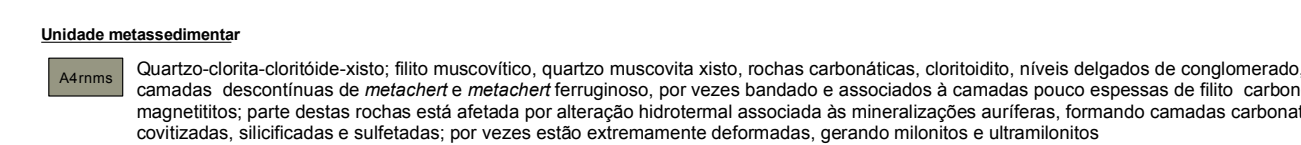
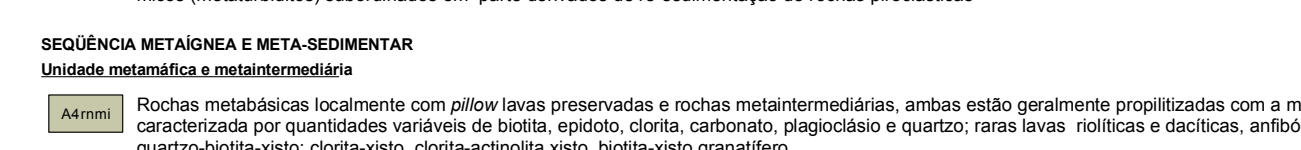
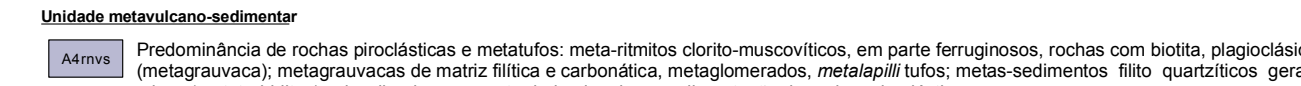
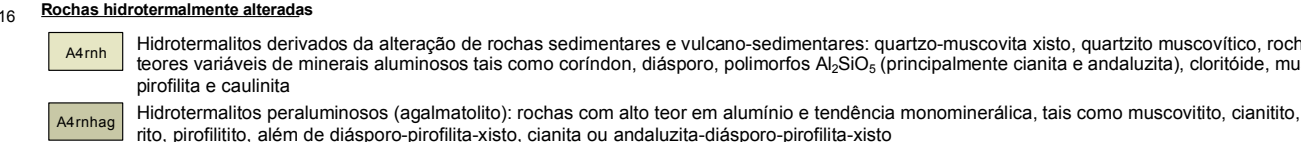
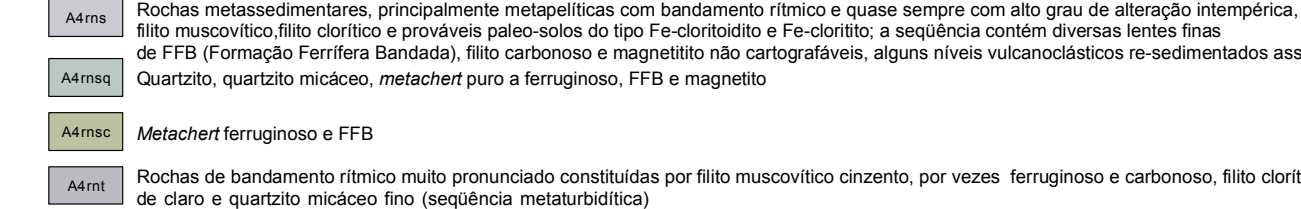
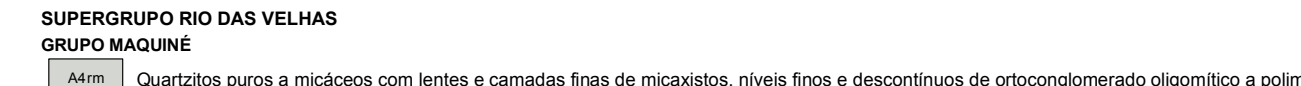
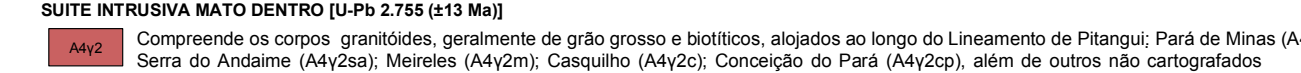
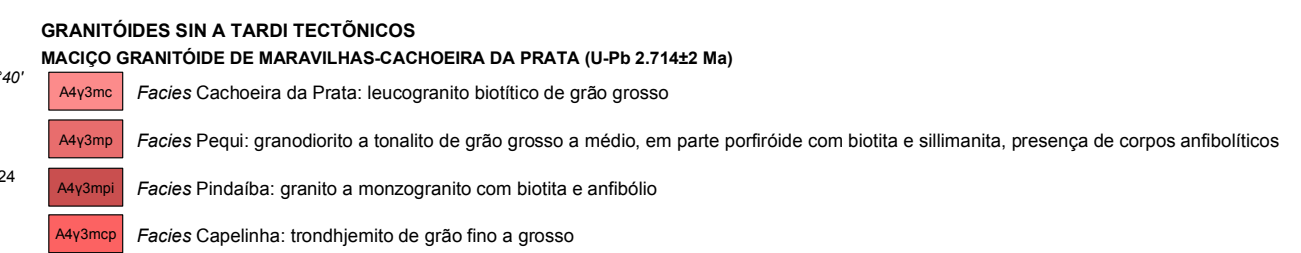
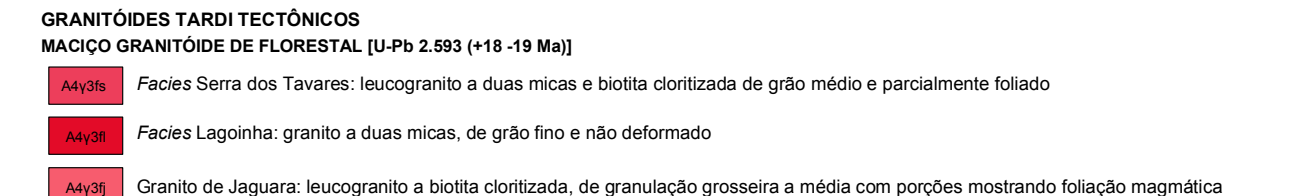
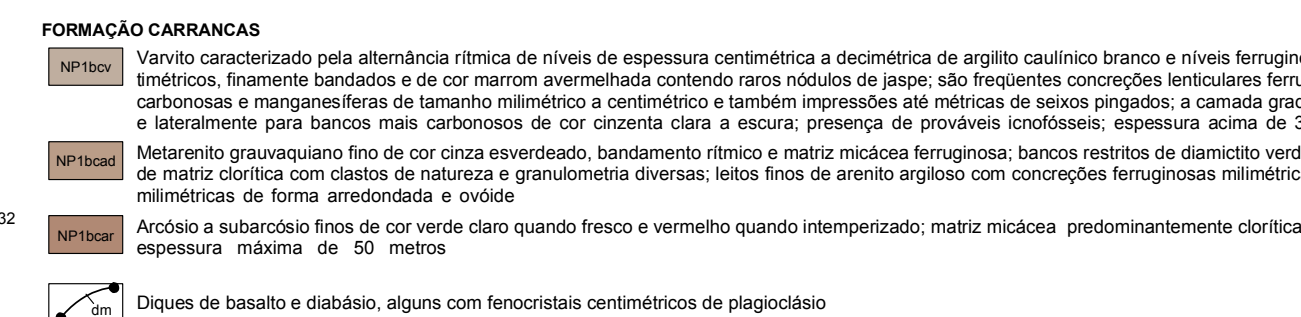
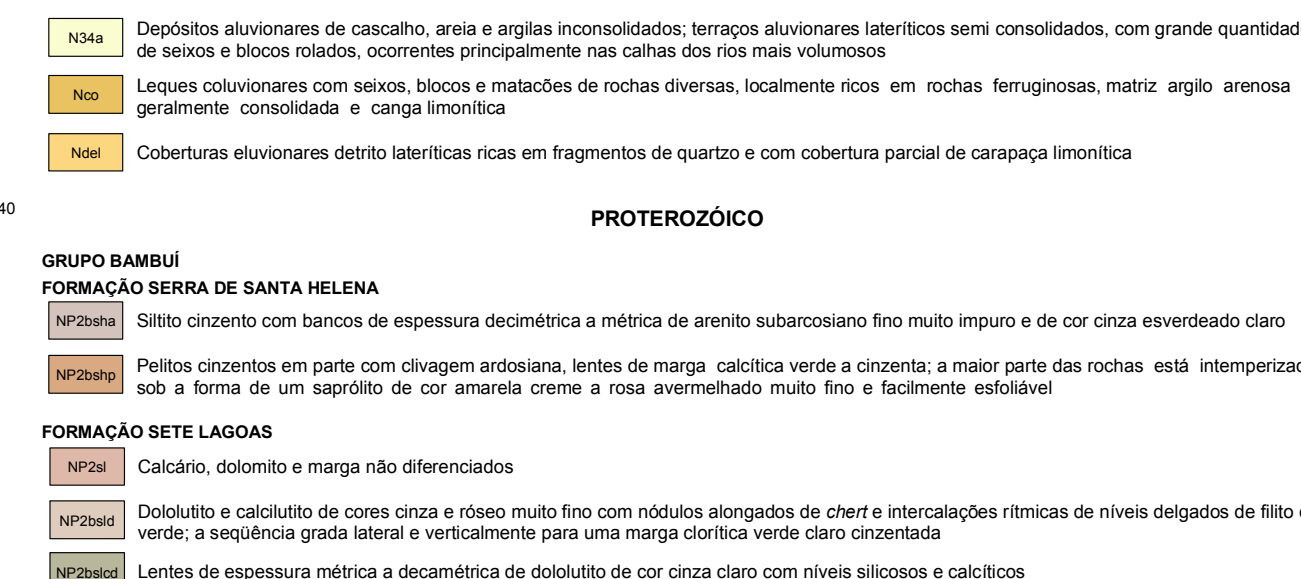
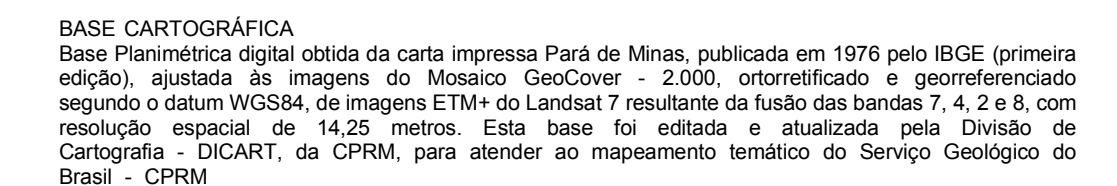
ROMANO, A.W.; Nota Explicativa da Folha Pará de Minas, Programa Geologia do Brasil, Contrato CPRM- UFMG Nº. 059/PR/05; 2007

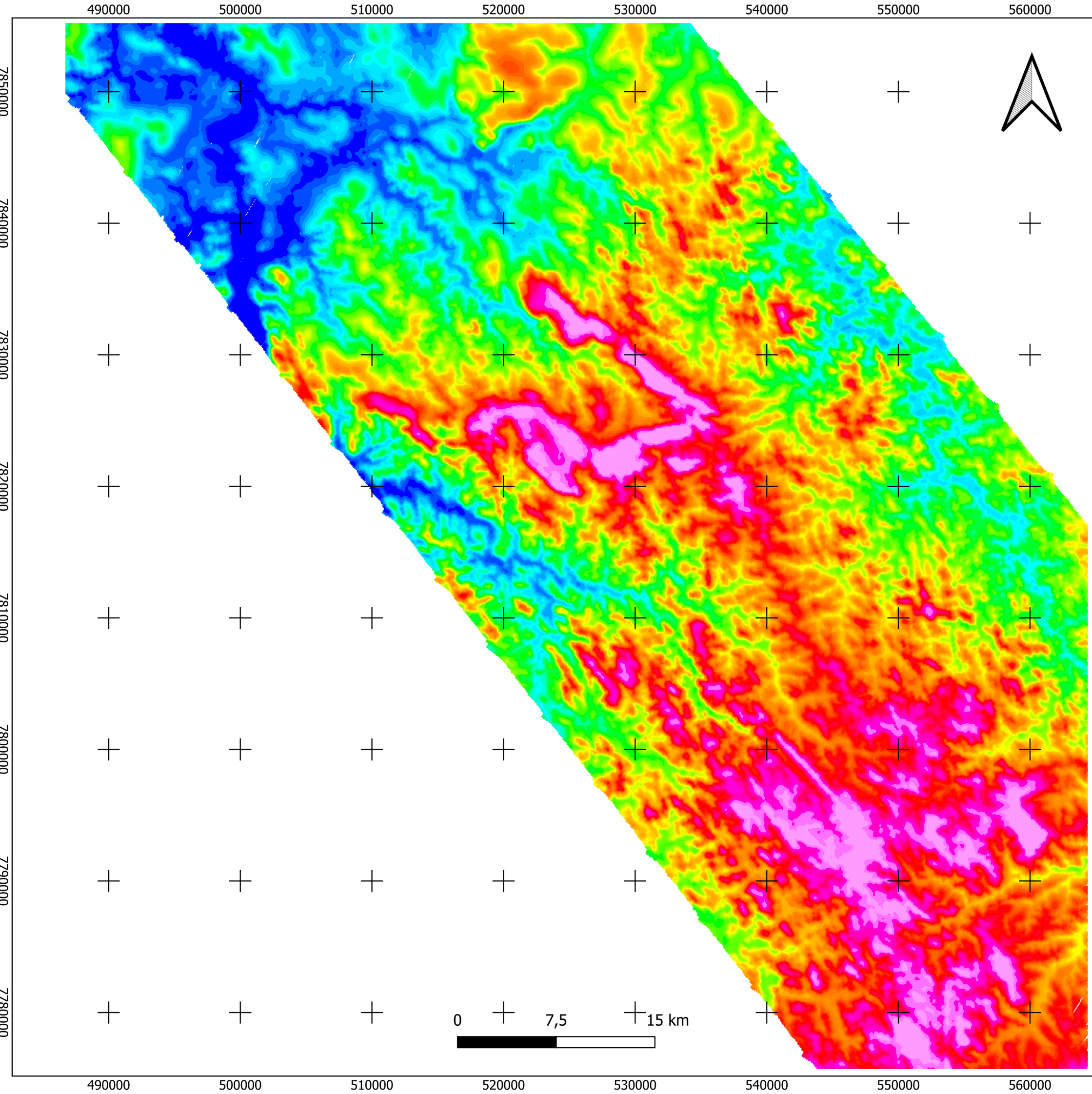
SILVA, L. C. – Geologia da Folha Pará de Minas, SE-23-Z-C-IV; 2007

TELFORD, W.M.; GELDART, L.P.; SHERIFF, R.E. & KEYS, D.A. – 1990 – 2. Ed. Cambridge: Cambridge University, : 770p.

7 ANEXOS

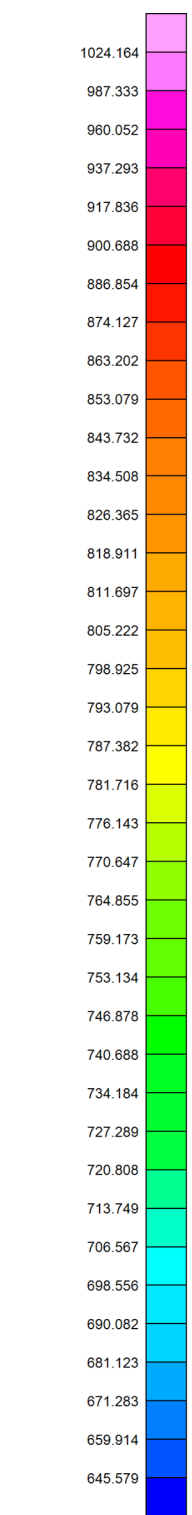
- Mapa Geológico – FOLHA PARÁ DE MINAS
- Mapa Modelo Digital de Terreno
- Mapa Campo Anômalo
- Mapa Amplitude do Sinal Analítico
- Mapa Amplitude do Sinal Analítico com Geologia Estrutural
- Mapa Gradiente Horizontal
- Mapa Gradiente Vertical
- Mapa Primeira Derivada em z
- Mapa Segunda Derivada em z
- Mapa Continuação Para Cima (1.000 m)
- Mapa Continuação Para Cima (2.500 m)
- Mapa Continuação Para Cima (5.000 m)
- Mapa Continuação Para Cima (10.000 m)





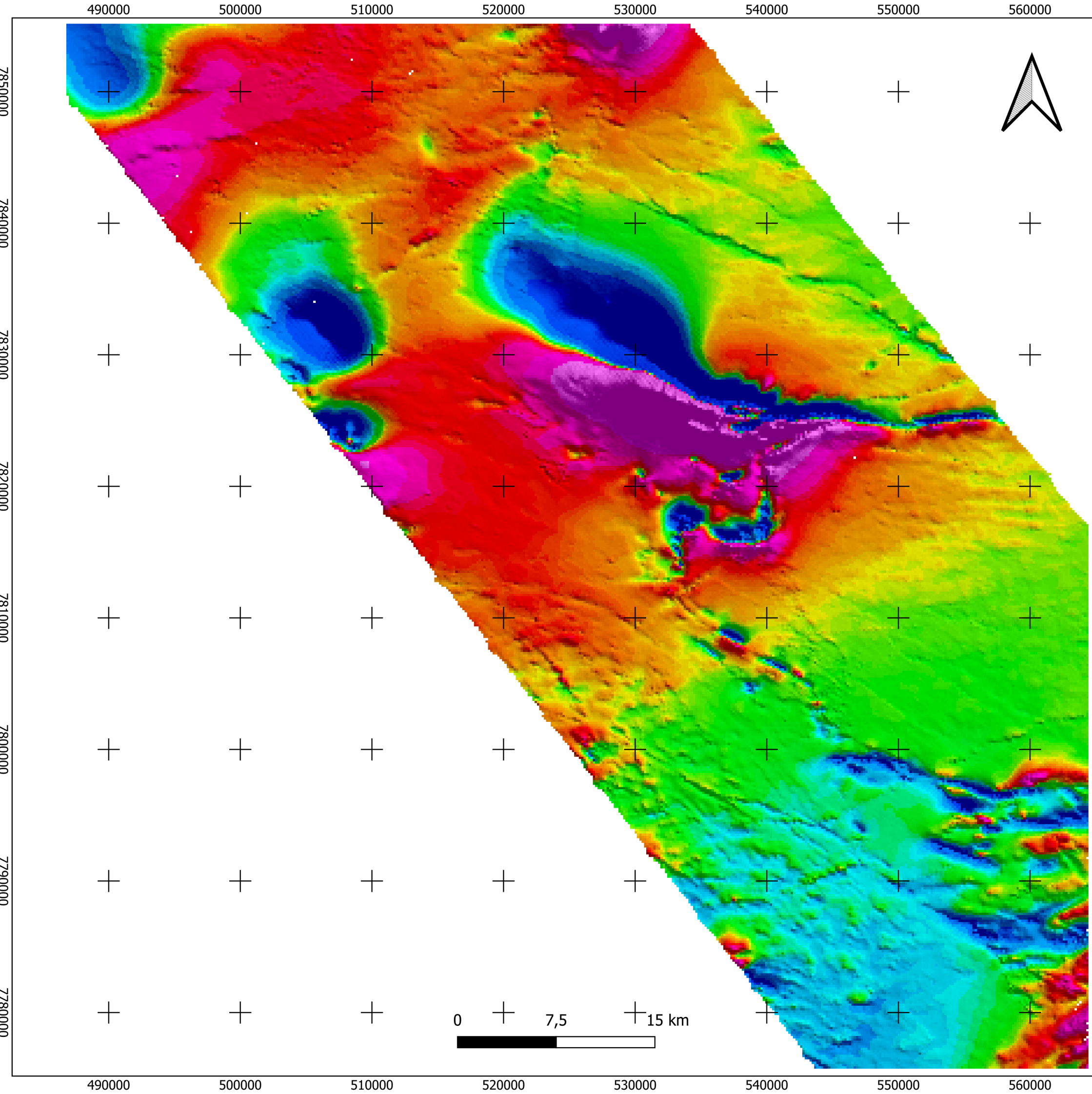
MAPA DE MODELO DIGITAL DE TERRENO

Legenda:



Mapa Magnetométrico
Modelo Digital de Terreno
(m)

ESCALA 1:280.000
DATUM: SAD69/ UTM zone 23S

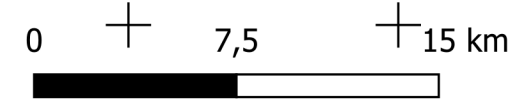


MAPA DE CAMPO ANÔMALO

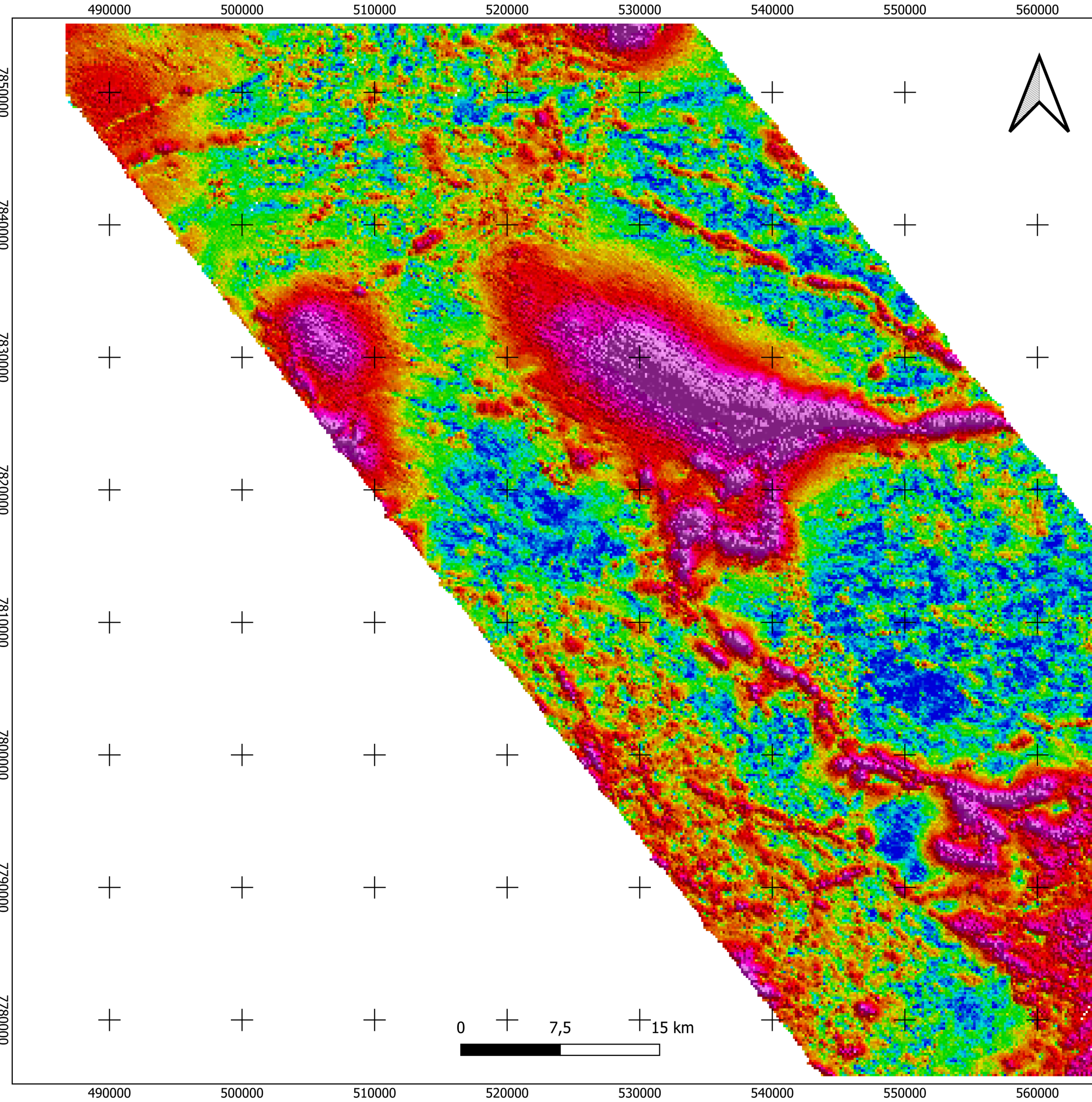
Legenda:



Mapa Magnetométrico
Campo Anômalo
(nT)

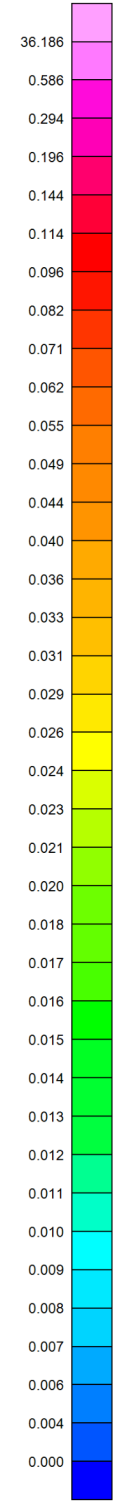


ESCALA 1:280.000
DATUM: SAD69/ UTM zone 23S



MAPA DE AMPLITUDE DE SINAL ANALÍTICO

Legenda:

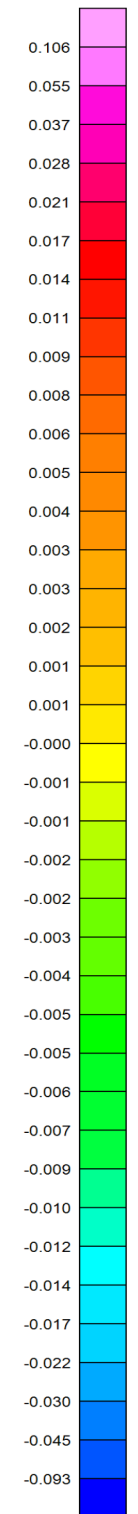


Mapa Magnetométrico
Amplitude do Sinal Analítico
(nT/m)

ESCALA 1:280.000
DATUM: SAD69/ UTM zone 23S

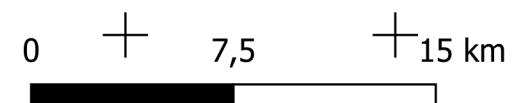
MAPA DE GRADIENTE HORIZONTAL

Legenda:



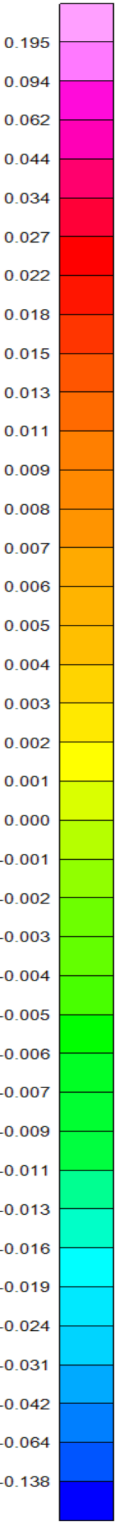
Mapa Magnetométrico
Gradiente Horizontal em Y
(nT/m)

ESCALA 1:280.000
DATUM: SAD69/ UTM zone 23S



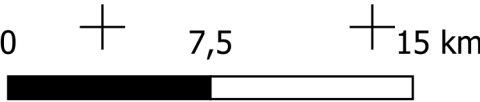
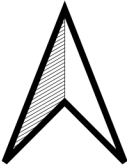
MAPA DE GRADIENTE VERTICAL

Legenda:



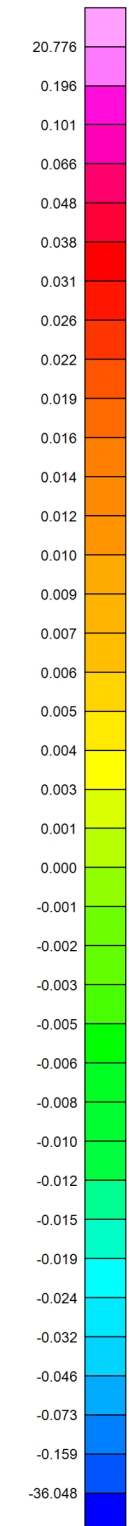
Mapa Magnetométrico
Gradiente Vertical
(nT/m)

ESCALA 1:280.000
DATUM: SAD69/ UTM zone 23S



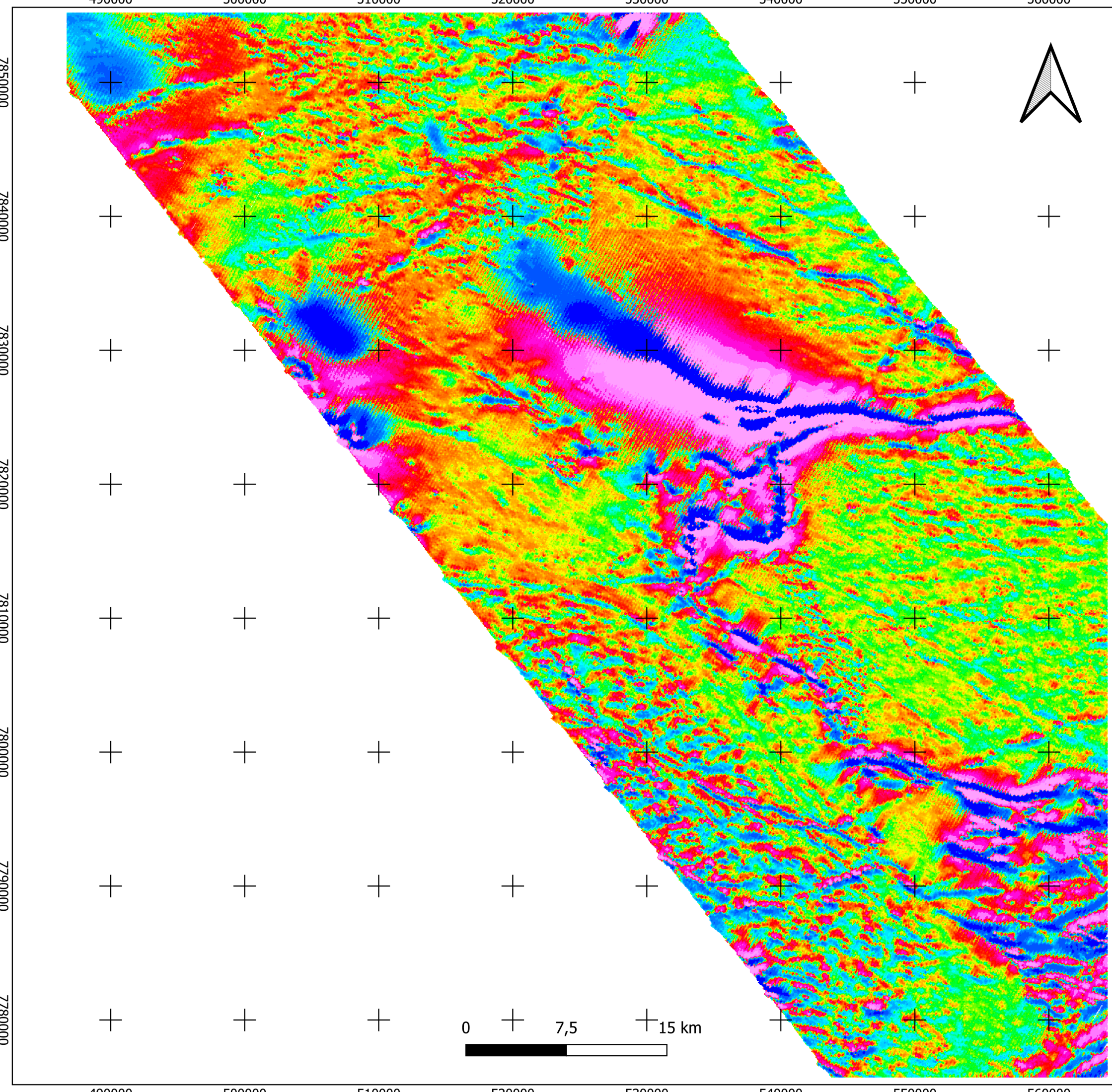
PRIMEIRA DERIVADA EM Z

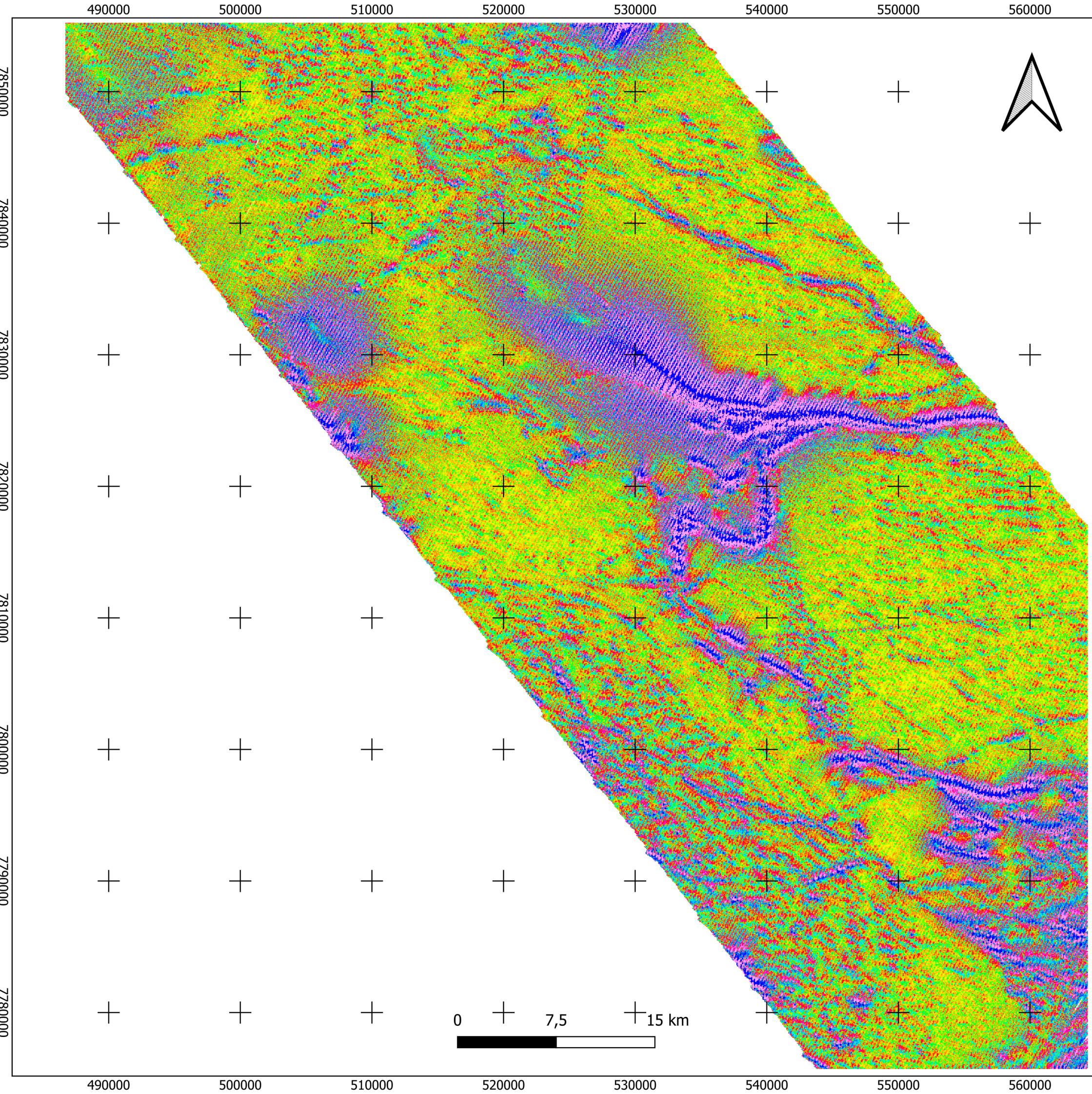
Legenda:



Mapa Magnetométrico
Primeira Derivada em Z
(nT/m)

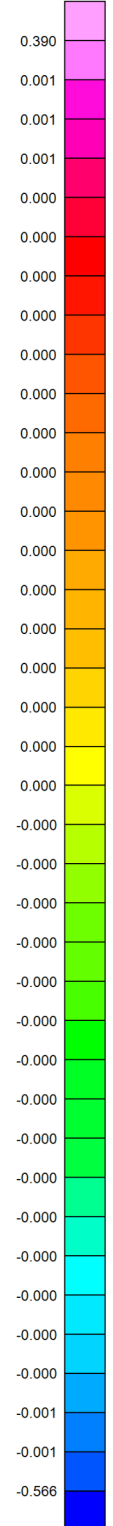
ESCALA 1:280.000
DATUM: SAD69/ UTM zone 23S





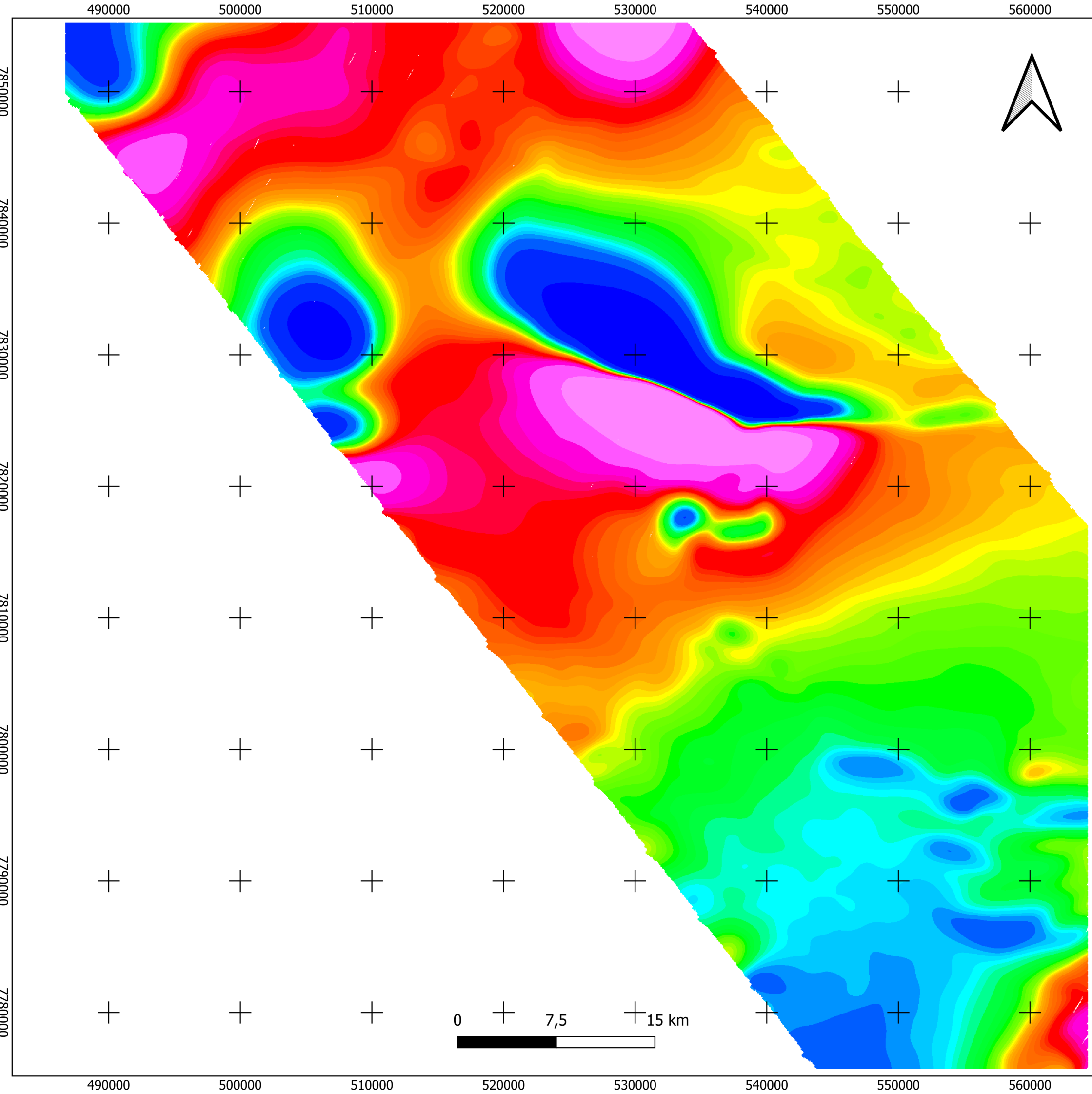
SEGUNDA DERIVADA EM Z

Legenda:



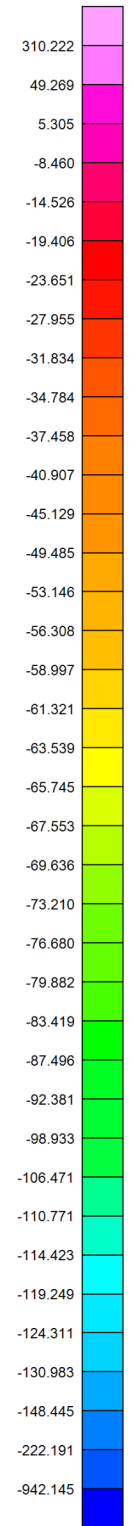
Mapa Magnetométrico
Segunda Derivada em Z
(nT/m)

ESCALA 1:280.000
DATUM: SAD69/ UTM zone 23S



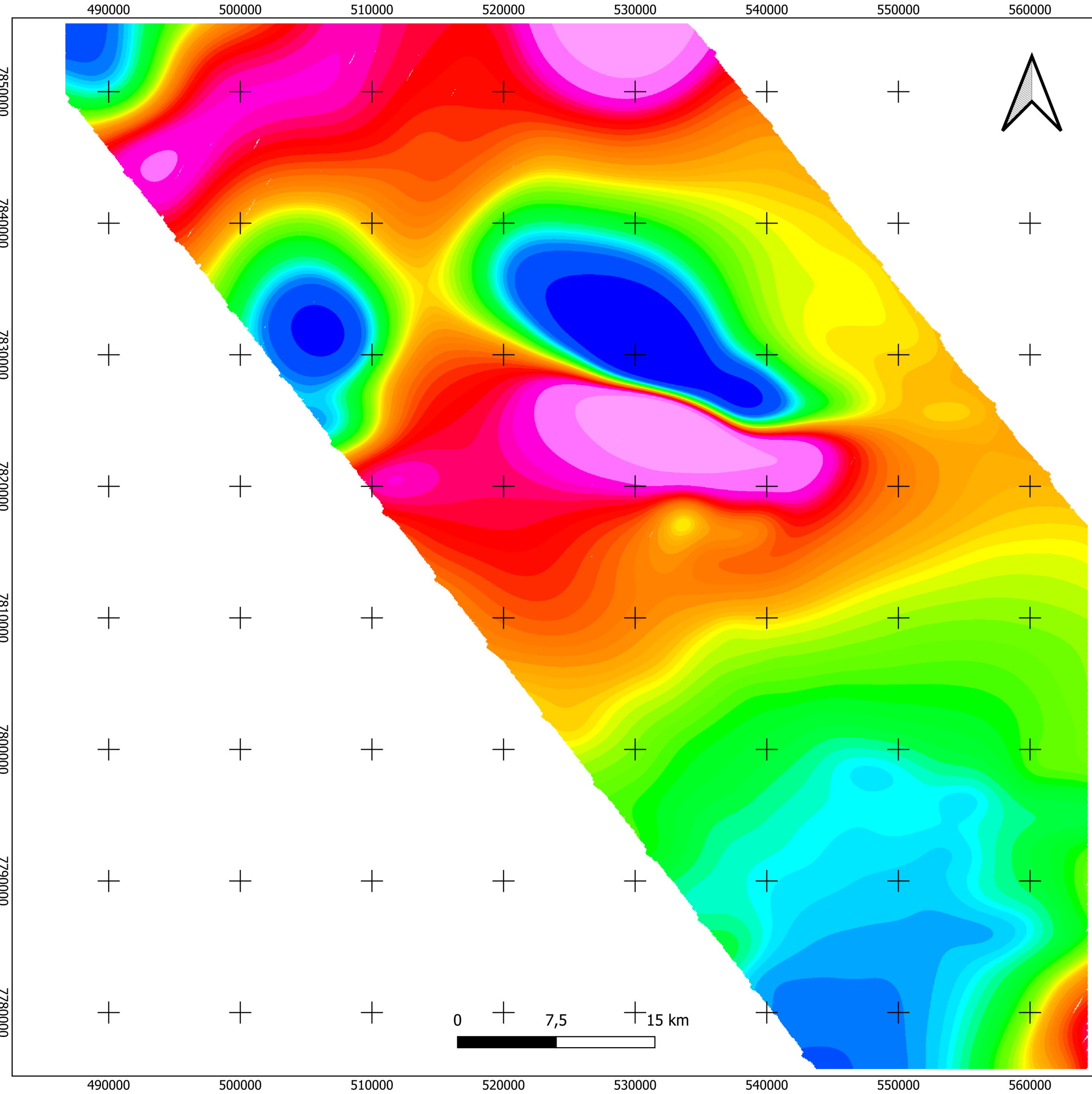
CONTINUAÇÃO PARA CIMA (1000 m)

Legenda:



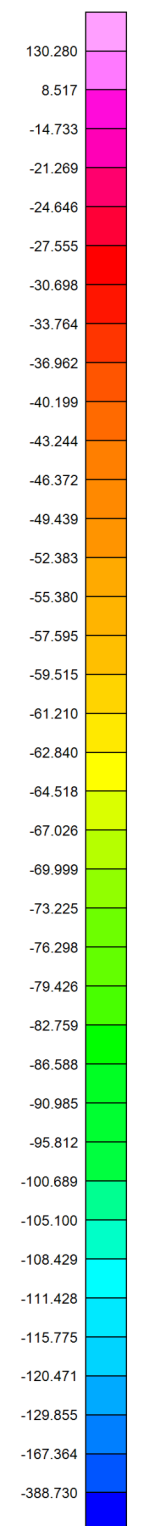
Mapa Magnetométrico
Continuação para cima (1.000m)
(nT/m)

ESCALA 1:280.000
DATUM: SAD69/ UTM zone 23S



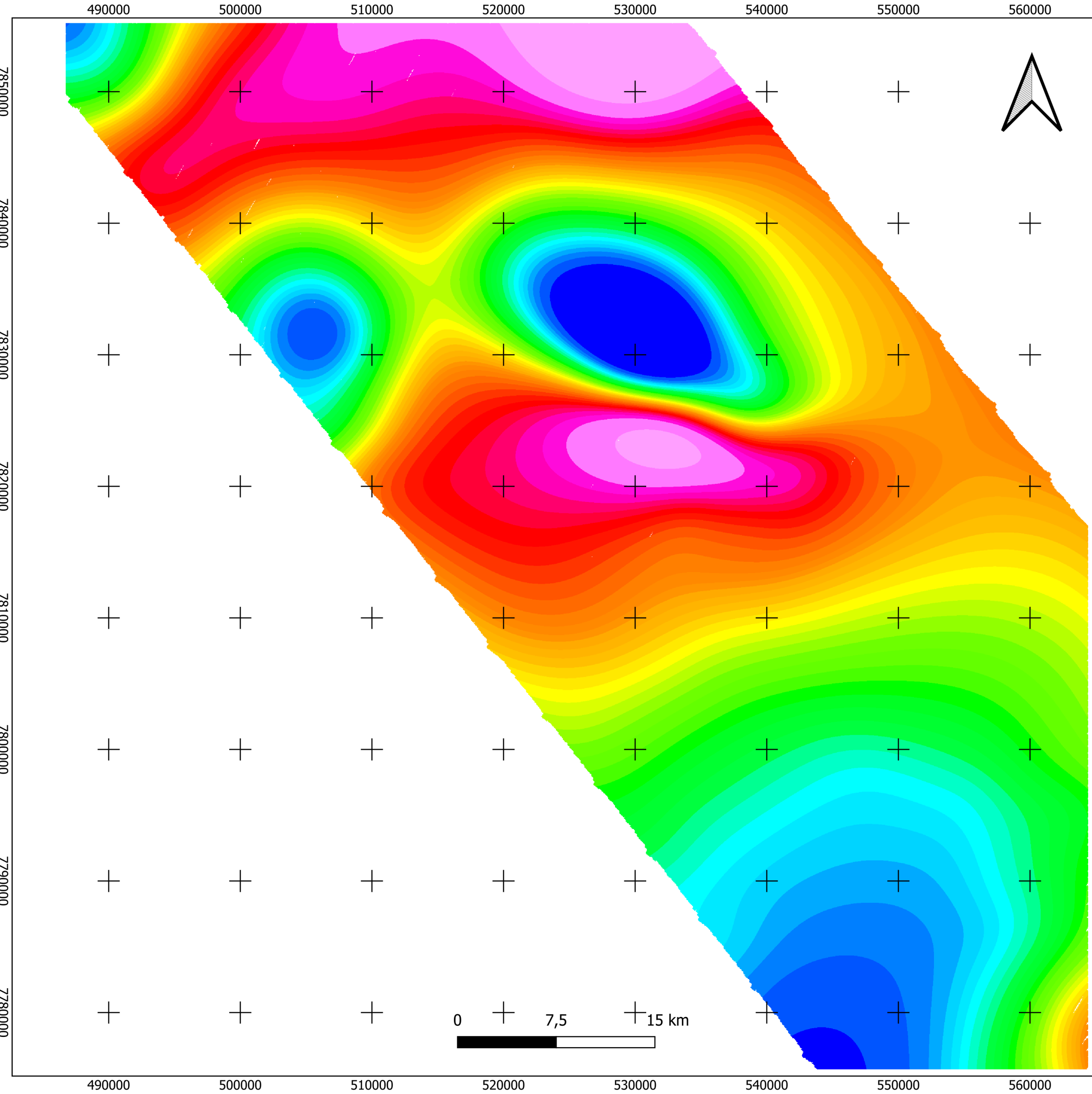
CONTINUAÇÃO PARA CIMA (2500 m)

Legenda:



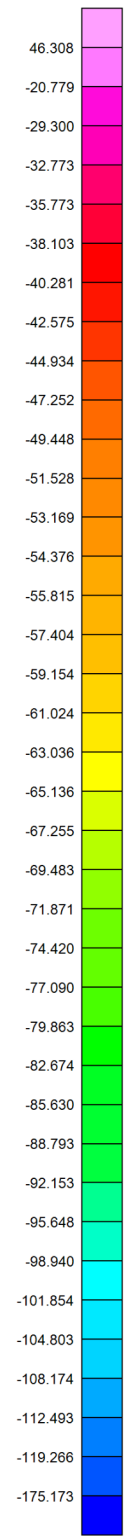
Mapa Magnetométrico
Continuação para cima (2.500m)
(nT/m)

ESCALA 1:280.000
DATUM: SAD69/ UTM zone 23S



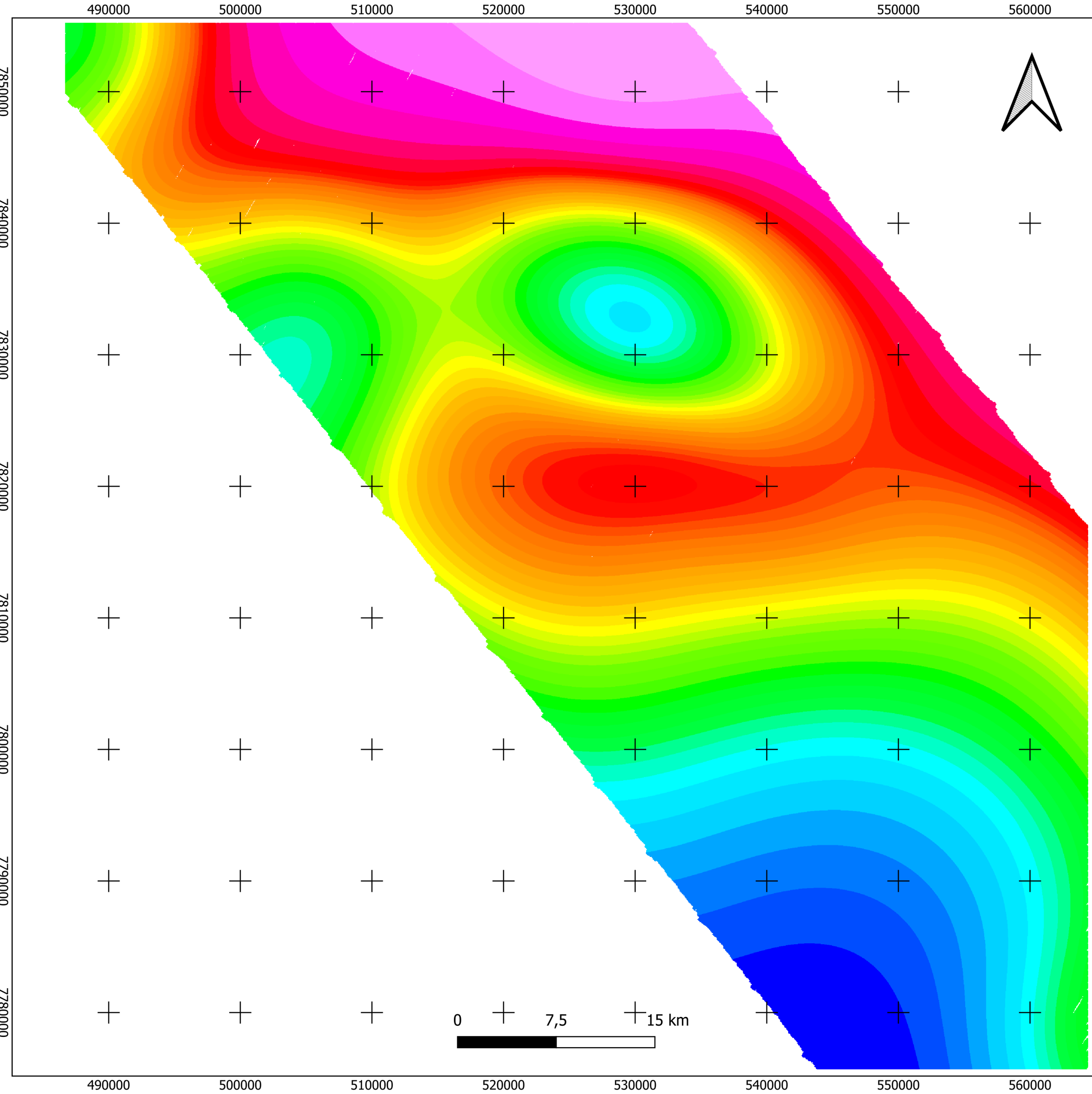
CONTINUAÇÃO PARA CIMA (5000 m)

Legenda:



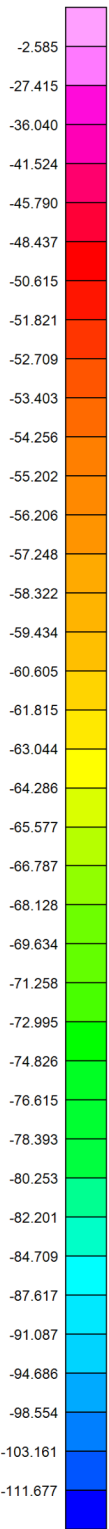
Mapa Magnetométrico
Continuação para cima (5.000m)
(nT/m)

ESCALA 1:280.000
DATUM: SAD69/ UTM zone 23S



CONTINUAÇÃO PARA CIMA (10000 m)

Legenda:



Mapa Magnetométrico
Continuação para cima (10.000m)
(nT/m)

ESCALA 1:280.000
DATUM: SAD69/ UTM zone 23S