UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARACTERIZAÇÃO MAGNETOMÉTRICA DO
KIMBERLITO JANJÃO, DOMO DE LAGES,
SANTA CATARINA**

DANIEL CUNHA COELHO

Dissertação apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Geociências.

Área de concentração: Recursos Minerais e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Rômulo Machado

São Paulo

2019

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Serviço de Biblioteca e Documentação do IGc/USP

Ficha catalográfica gerada automaticamente com dados fornecidos pelo(a) autor(a)
via programa desenvolvido pela Seção Técnica de Informática do ICMC/USP

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de catalogação da publicação:

Sonia Regina Yole Guerra - CRB-8/4208 | Anderson de Santana - CRB-8/6658

Cunha Coelho, Daniel

CARACTERIZAÇÃO MAGNETOMÉTRICA DO KIMBERLITO
JANJÃO, DOMO DE LAGES, SANTA CATARINA / Daniel
Cunha Coelho; orientador Rômulo Machado. -- São
Paulo, 2019.

75 p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação
em Recursos Minerais e Hidrogeologia) -- Instituto
de Geociências, Universidade de São Paulo, 2019.

1. Magnetometria. 2. Kimberlito. 3. Geofísica
Aplicada. 4. Domo de Lages. 5. Inversão. I.
Machado, Rômulo, orient. II. Título.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARACTERIZAÇÃO MAGNETOMÉTRICA DO
KIMBERLITO JANJÃO, DOMO DE LAGES,
SANTA CATARINA**

DANIEL CUNHA COELHO

Orientador: Prof. Dr. Rômulo Machado

Dissertação de Mestrado

Nº 827

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. Rômulo Machado

Prof. Dr. Carlos Alberto Mendonça

Prof^a. Dr^a. Alanna Costa Dutra

São Paulo

2019

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus pais, Débora e João Bosco, por permitir e apoiar os meus estudos tão longe de casa e aos meus irmãos, Marcelo, Maurício e Sandra, por todo amor e carinho.

À Julia, minha namorada, por todo amor, dedicação, paciência e companheirismo. Assim como para seus familiares Débora, Rogério, Marília e Luiz.

Ao Prof. Dr. Assis Cavallaro por ter me apresentado a oportunidade para ingressar no mestrado da geologia e pelo apoio durante os trabalhos de campo.

Ao meu orientador Prof. Dr. Rômulo Machado, por ter me confiado este trabalho e pela paciência para atender às minhas dúvidas e questionamentos.

Ao Prof. Dr. Excelso Ruberti que, por meio do projeto temático da FAPESP de nº 2012/06082-6, viabilizou suporte financeiro para adquirir os dados de campo.

Aos colegas da Sala 15, Fernando, Matheus, Eduardo e José Alberto, assim como a Dona Neusa e outros funcionários da limpeza.

Aos professores das disciplinas de pós-graduação, Prof. Dr. Francisco Ferreira, Prof. Dr. Antônio Paranhos, Prof. Dr. Carlos Mendonça e Prof. Dr. Jorge Kazuo. Àqueles que avaliaram minha qualificação, Prof. Dr. Eder Molina e Prof. Dr. André Negrão e aos professores que me apresentaram oportunidades de ensino durante o tempo de mestrado, Professora Dra. Ana Carolina Chieregati e Prof. Dr. Luigi Jovane.

Ao Roberto Zanon, Denise Moura, Raphael Prieto, Divanir Cônego e Marco Couto por todas as discussões e aprendizado acerca de geofísica e métodos potenciais.

Ao Serviço Geológico do Brasil (CPRM), por fornecer os dados do Projeto Diamante Brasil.

E por fim, à CAPES e ao CNPQ pela concessão da bolsa de estudos durante os últimos dois anos e a estrutura da Universidade de São Paulo para a realização deste trabalho.

...to remove all barriers in the way of science

RESUMO

Coelho, D. C., 2019, Caracterização magnetométrica do kimberlito Janjão, Domo de Lages, SC. [Diss. de Mestrado], São Paulo, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 75p.

Neste trabalho apresenta-se uma revisão da técnica de magnetometria terrestre, com informações detalhadas a respeito do planejamento, aquisição e processamento dos dados. A técnica foi aplicada em uma área de 0,7 km² no Planalto Catarinense, na região do Domo de Lages, o qual diferencia-se em relação aos demais domos da Bacia do Paraná pela presença de rochas alcalinas com idade de aproximadamente 75 Ma. Estas rochas, já foram alvo de investigações principalmente mineralógica e petrológica. A investigação magnetométrica de detalhe apresentada neste trabalho teve como objetivo inferir a geometria de um corpo kimberlítico, denominado “Janjão”. Trabalhos geofísicos, anteriormente realizados nessa região, tiveram baixa resolução e pouca representatividade da área de estudo. Este trabalho permitiu gerar um mapa de campo magnético anômalo que apresentou duas anomalias dipolares. Essas anomalias apresentaram polarização reversa àquelas esperadas para anomalias induzidas na latitude e inclinação do campo da região do levantamento, o que indica forte magnetização remanescente das rochas estudadas. A técnica de Amplitude do Sinal Analítico forneceu informações a respeito dos limites laterais dos corpos magnéticos geradores das anomalias. Foi realizada também uma estimativa da profundidade do topo desses corpos a partir da técnica da Meia Largura e da Deconvolução de Euler 3D. Os resultados obtidos entre as duas técnicas se mostraram compatíveis. As informações obtidas por meio do processamento dos dados magnéticos serviram de base para avaliar o modelo gerado pela Inversão do Vetor de Magnetização. A inversão apresentou um modelo de distribuição de susceptibilidade magnética em subsuperfície e dois corpos magnéticos sub-verticalizados, com vetor de magnetização oposto à direção principal do campo magnético terrestre, associados às posições do corpo kimberlítico. Os valores de susceptibilidade magnética variaram de 8 até 20×10^{-3} (SI). Para a susceptibilidade de 8×10^{-3} (SI), os corpos magnéticos referentes às duas anomalias são conectados entre si em profundidades de aproximadamente 180 m. O vetor de magnetização indicou fraca susceptibilidade magnética e magnetização primariamente induzida em regiões onde se estima a presença de rochas sedimentares encaixantes à Diatrema Janjão, cujas características físicas são compatíveis com aquelas sugeridas pelo modelo da inversão. Por fim, com a hipótese de campo magnético reverso no momento da formação da diatrema e com as idades estimadas para essas rochas kimberlíticas, foi possível reduzir a incerteza da idade de formação da Diatrema Janjão. Para trabalhos futuros foram mencionadas a localização de outras 16 ocorrências kimberlíticas na região do domo, também foi proposto, além da magnetometria terrestre, o emprego de gravimetria e técnicas eletromagnéticas que possam auxiliar na identificação e caracterização dessas ocorrências, e assim, contribuir com o conhecimento sobre a Província Kimberlítica de Lages, em Santa Catarina.

Palavras-chave: Magnetometria, Kimberlito, Geofísica Aplicada, Domo de Lages.

ABSTRACT

Coelho, D. C., 2019, Magnetometric characterization of kimberlite Janjão, Dome of Lages, Santa Catarina [Master Dissertation], São Paulo, Institute of Geosciences, University of São Paulo, 75p.

This work presents a review of the ground magnetometry technique, with detailed information regarding its planning, acquisition and data processing. The technique was applied in an area of 0.7 km² in the Planalto Catarinense, in the Dome of Lages. The Dome of Lages differs from the other domes of the Paraná Basin by the presence of alkaline rocks with an age of approximately 75 Ma. These rocks, in the 70s and 80s of the last century, were the subject of investigations mainly mineralogical and petrological. The detailed magnetic survey presented in this work had the goal of inferring the geometry of a kimberlite body, named "Janjão" (in homage to its discoverer). Geophysical work, previously performed in this region, had low resolution and low representativity of the study area. This work allowed to generate an anomalous magnetic field map that presented two dipole anomalies. These anomalies presented reverse bias to those expected for induced anomalies in the latitude and inclination of the magnetic field of the survey region, indicating strong remanent magnetization in the rocks studied. The Analytical Signal Amplitude technique provided information about the lateral limits of the magnetic bodies that generate the anomalies. An estimation of the depth of the top of these bodies was also made from the Half-Width technique and the 3D Euler Deconvolution. The results obtained between the two techniques were compatible. The information obtained through the processing of the magnetic data served as a basis to evaluate the model generated by the Inversion of the Magnetization Vector. The inversion presented a model of magnetic susceptibility distribution in subsurface and two sub verticalized magnetic bodies, with magnetization vector opposite the main direction of the geomagnetic field, associated to the positions of the kimberlite body. The values of magnetic susceptibility ranged from 8 to 20×10^{-3} (SI). For the susceptibility of 8×10^{-3} (SI), the magnetic bodies relating to the two anomalies are connected to each other at depths of approximately 180 meters. The magnetization vector indicated weak magnetic susceptibility and magnetization primarily induced in regions where it is estimated the presence of sedimentary rocks nesting to Janjão diatreme, whose physical characteristics are compatible with those suggested by the inversion model. Finally, with the hypothesis of reverse magnetic field at the time of diatreme formation and with the estimated ages for these kimberlite rocks, it was possible to reduce the age uncertainty of the Janjão diatreme formation. For future work, was mentioned the location of 16 other kimberlite occurrences in the dome region and also proposed the use of gravimetry and electromagnetic techniques that may help in the identification and characterization of these occurrences, and thus, contribute to the knowledge about the Lages Kimberly Province in Santa Catarina.

Keywords: Magnetometry, Kimberlite, Applied Geophysics, Dome of Lages.

ÍNDICE

RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.1 Introdução	1
1.2 Localização e acessos	3
1.3 Objetivos	5
2 GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO	7
2.1 Geologia Regional	7
2.2 Domo de Lages	8
2.3 Distrito Alcalino de Lages	10
2.4 Rochas Kimberlíticas	11
2.4.1 Diamantes	11
2.4.2 Fácies Kimberlíticas	12
2.4.3 Províncias Kimberlíticas no Brasil	14
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
3.1 Métodos Geofísicos	17
3.2 Magnetometria Terrestre	18
3.2.1 Magnetização induzida	19
3.2.2 Magnetização remanescente	23
4 MATERIAIS E MÉTODOS	25
4.1 Equipamentos	26
4.2 Planejamento da aquisição	27
4.3 Aquisição dos dados	27
4.4 Preparação dos dados magnetométricos	28
4.4.1 Verificação dos dados e eliminação de dados espúrios	28
4.4.2 Variação diurna do campo geomagnético	29
4.4.3 Correção de posicionamento	30
4.4.4 Interpolação de dados	30
4.4.5 Separação regional-residual	31
4.5 Técnicas de realce de anomalias magnéticas	31
4.5.1 Filtros de continuação	32
4.5.2 Amplitude do sinal analítico	34
4.6 Delimitação de limites laterais e profundidade das fontes magnéticas	35
4.7 Modelagem e inversão de dados magnéticos	37

5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.1	Aquisição e pré-processamento dos dados	39
5.2	Mapas com técnicas de realce	43
5.3	Estimativa de limites laterais e profundidades das fontes magnéticas	47
5.4	Inversão do Vetor de Magnetização	51
5.5	Correlação entre o modelo proposto e a geologia	57
6	CONCLUSÕES	61
7	RECOMENDAÇÕES	63
	REFERENCIAS	68
	ANEXOS	69
	APÊNDICES	71

Lista de Tabelas

2.1	Idades das rochas alcalinas de Lages.	10
2.2	Produção Brasileira de Diamantes entre 2013 e 2017.	11
5.1	Períodos de campo geomagnético normal e reverso.	58
Ap.1	Dados magnetométricos da área de estudo. Dados espúrios, <i>spikes</i> e fora da área de interesse foram removidos. Os dados foram corrigidos da variação magnética diurna.	71

Lista de Figuras

1.1	a) Mapa do trabalho de Svisero et al. b) Mapa digitalizado. Fonte: Adaptado de Svisero et al. (1985).	2
1.2	Mapa de localização da área de estudo.	3
1.3	Localização da área de estudo. Versão digital de terreno baseada nas fotos obtidas por satélite, gerada no mesmo mês dos trabalhos de campo (08/2017). Exagero vertical de 3x. Fonte: Google Earth, <acessado em 15/02/2019>. . . .	4
2.1	Geologia regional da área de estudo. Fonte: Adaptado de Jacques et al. (2012).	7
2.2	Geologia do Domo de Lages. Fonte: Adaptado de Beckhauser et al. (2015) e Scheibe (1986).	9
2.3	Modelo de Fácies kimberlíticas. Fonte: Costa et al. (1996), adaptado de Mitchell (1991).	13
2.4	Principais campos kimberlíticos (polígonos vermelhos) e regiões com ocorrências comprovadas de diamantes secundários (polígonos amarelos). Os polígonos estão fora de escala para melhor visualização. Fonte: Adaptado de Cunha et al. (2017).	15
2.5	Localização dos processos de autorização de pesquisa da ANM para a substância “Diamante” e “Diamante Industrial”, assim como a localização de corpos kimberlíticos identificados pela CPRM no projeto Diamante Brasil. Fonte: Adaptado de Scheibe (1986); Cabral Neto et al. (2017).	16
3.1	Resposta comparativa da eficiência de métodos geofísicos para identificação de rochas kimberlíticas. Fonte: Adaptada de Ford et al. (2007).	18
3.2	Intensidade Total do Campo Magnético. Intervalos de contorno de 1000 nT. Projeção de Mercator. Fonte: Adaptado de NOAA/NCEI (2019).	20
3.3	Comparação entre anomalias magnéticas induzidas por um mesmo corpo sintético localizado no Brasil, Canadá e Austrália. Parâmetros: (Campo, I, D); Brasil = (23000, -20, -20); Canadá (60000, 80, 0); Austrália (60000, -60, 5). Fonte: Adaptado de Cordani and Shukowsky (2009).	21
3.4	Resposta da magnetização induzida por um mesmo corpo magnético para diferentes latitudes. Fonte: Adaptado de Dentith and Mudge (2014).	22
4.1	Diagrama da aquisição e preparação dos dados magnéticos assim como os produtos gerados pelas técnicas de realce e as técnicas interpretativas utilizadas neste trabalho.	25
4.2	Operador em campo com magnetômetro móvel.	26
4.3	Área do planejamento da aquisição dos dados (retângulo azul).	27
4.4	Detalhes do painel registrador de dados. Fonte: GEM-Systems (2008).	29

4.5	a) Variação magnética diurna. b) Tempestade magnética. Fonte: Adaptado de Dentith and Mudge (2014).	29
4.6	Exemplos de uso do filtro <i>upward</i> para diferentes distâncias.	33
4.7	Exemplo da aplicação da Técnica de Amplitude do Sinal Analítico. As anomalias dipolares, inclusive aquelas com magnetização remanescente, recuperaram valores de máximo com anomalias centradas sobre as fontes magnéticas.	35
4.8	Representação da forma de cálculo do modelo de Meia Largura.	36
4.9	Base vetorial do vetor de magnetização $\vec{M}$	38
5.1	Pontos de aquisição de dados. Pontos azuis se referem às posições de cada dado adquirido e validado. O triângulo vermelho se refere a posição da base magnética.	39
5.2	Variação diurna do campo geomagnético nos dias de aquisição de dados.	40
5.3	Mapas de CMT. Interpolação pela técnica de Mínima Curvatura (esquerda) e pela técnica do Inverso da Distância Ponderada (direita).	41
5.4	Perfis com as técnicas de separação regional-residual e o CMT.	41
5.5	Mapa de Campo Magnético Residual. Foi aplicada a ferramenta <i>FILL</i> do <i>Oasis Montaj</i> para preencher os espaços vazios.	42
5.6	Mapa de Continuação para Cima (10 m) do Campo Magnético Residual.	43
5.7	Mapa de Continuação para Cima (200 m) do Campo Magnético Residual.	44
5.8	Mapa de Campo Magnético Anômalo.	45
5.9	Mapa de Amplitude do Sinal Analítico.	46
5.10	Localização dos perfis de 1 a 10 e delimitação dos limites laterais das anomalias J1 e J2.	47
5.11	Perfis S-N da anomalia J2, plotados de 1 a 5 respectivamente.	48
5.12	Perfis S-N da anomalia J1, plotados de 6 a 10 respectivamente.	49
5.13	Resultado das soluções da Deconvolução de Euler.	50
5.14	Recorte dos dados selecionados para a Inversão (retângulo azul). Perfis 11 e 12 para análise dos resultados.	51
5.15	Vetor Eproj. a) Seção transversal do perfil 11 que intercepta J1 (vista de E-W). b) Seção transversal do perfil 12 que intercepta J2 (vista de W-E).	52
5.16	Vetor Eperp. a) Seção transversal do perfil 11 que intercepta J1. b) Seção transversal do perfil 12 que intercepta J2. c) Valores de Eperp em 3D menores que $0,7 \times 10^{-3}(\text{SI})$	53
5.17	Vetor de Magnetização representado pelos cones, variando em amplitude pela escala de cor e tamanho. a) Visada do perfil 11. b) Visada do perfil 12.	54
5.18	Modelo de susceptibilidade magnética gerada pela inversão MVI.	55
5.19	a) Soluções da Deconvolução de Euler são plotadas com a isosuperfície de $10 \times 10^{-3}(\text{SI})$. b) Corte horizontal intercepta as fontes das anomalias J1 e J2, as quais são vistas por cima através do grid de ASA.	56

5.20	<i>Blow</i> da Diatrema, baseada na Figura 2.3.	57
5.21	Detalhes da Tabela Cronoestratigráfica Internacional. A tabela completa consta no Anx 1.	58
7.1	Mapa da indicação de ocorrências kimberlíticas baseadas na Figura 2.5. Fonte: Adaptado de Scheibe (1986); Cabral Neto et al. (2017).	63
An.1	Tabela Cronoestratigráfica Internacional (últimos 250 Ma) v. 5.0. Fonte: Walker et al. (2013).	69
An.2	Inclinação do Campo Magnético (acima). Declinação do Campo Magnético (abaixo). Intervalo de contorno de dois graus, em vermelho indica-se valores positivos, em azul negativos e o verde representa o zero. Projeção de Mercator. Fonte: Adaptado de NOAA/NCEI (2019).	70

Capítulo 1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1 Introdução

No estado de Santa Catarina encontra-se um alto estrutural denominado Domo de Lages, localizado na borda leste da Bacia do Paraná no Planalto Catarinense. É uma estrutura alongada na direção noroeste (aproximadamente 35 km × 25 km), cuja estruturação associa-se à intrusão de rochas alcalinas com idades de aproximadamente 75 Ma (Scheibe, 1986; Machado and Teixeira, 2008).

Essas rochas alcalinas foram alvos de investigações petrológicas e mineralógicas desde a década de 1970 (Scheibe, 1986; Scheibe and Formoso, 2018; Traversa et al., 1994), e foram divididas em 5 grupos: rochas alcalinas leucocráticas, rochas ultrabásicas, carbonatitos, brechas de chaminé e kimberlitos.

Em 1978, Scheibe fez a primeira referência sobre a ocorrência de rochas kimberlíticas na região do Domo de Lages. Magmas kimberlíticos, por sofrerem ascensão a partir de grandes profundidades (>150 km) até a crosta muito rapidamente, trazem fragmentos de diversas porções do manto, o que os tornam importantes na compreensão dos processos de evolução mantélica (Mitchell, 1986; Sparks, 2013).

Segundo Scheibe (1978) as primeiras referências de ocorrência de rochas kimberlíticas no Domo de Lages, deveu-se ao trabalho do garimpeiro João Lemos da Silva, o "Janjão", razão pela qual um dos corpos kimberlíticos foi batizado com seu nome. Na mesma região destacam-se ainda as ocorrências kimberlíticas nomeadas Pandolfo, Lambedor, entre outras, sendo o Janjão objeto de estudo desta dissertação.

Estudos geofísicos anteriores evidenciaram alto contraste magnético no Janjão em relação às rochas do entorno, conforme pode ser visto na Figura 1.1:a) no trabalho de Svisero et al. (1985). A Figura 1.1:b) apresenta uma versão digitalizada do mapa magnético do Janjão de 1985.

Figura 1.1: a) Mapa do trabalho de Svisero et al. b) Mapa digitalizado. Fonte: Adaptado de Svisero et al. (1985).

Na época do levantamento terrestre as anomalias magnéticas não foram devidamente contornadas e não existiam vários recursos computacionais para modelar de forma tridimensional o corpo kimberlítico.

Baseando-se nisso, o principal objetivo deste trabalho foi realizar um novo mapeamento (mais detalhado) de magnetometria terrestre, visando caracterizar a geometria do corpo kimberlítico Janjão.

1.2 Localização e acessos

A área de estudo se localiza na porção NE da área urbana da cidade de Lages, em Santa Catarina (Figura 1.2).

Figura 1.2: Mapa de localização da área de estudo.

Os acessos são feitos por meio das rodovias federais BR-116 e BR-282 e pela Ferrovia Tronco Sul de Santa Catarina. A cidade conta também com o acesso pelo Aeroporto Antônio Correia Pinto de Macedo. Entre São Paulo e Lages a distância de aproximadamente 760 km é percorrida de carro em aproximadamente 12 horas. A capital mais próxima é Florianópolis (230 km). Lages é uma cidade com 158 mil habitantes e possui boa estrutura de hotéis e restaurantes.

Em relação ao Domo de Lages, o kimberlito Janjão localiza-se ao sul da estrutura conforme pode ser visto na figura anterior (Figura 1.2). Para o levantamento geofísico foi abrangida uma área com dimensões de aproximadamente 700×900 m, na direção norte e direção leste, respectivamente, ocupando uma área de aproximadamente $0,7 \text{ km}^2$. Dentro dessa área (retângulo azul da Figura 1.3) foi realizado o levantamento magnetométrico terrestre de detalhe.

Figura 1.3: Localização da área de estudo. Versão digital de terreno baseada nas fotos obtidas por satélite, gerada no mesmo mês dos trabalhos de campo (08/2017). Exagero vertical de 3x. Fonte: Google Earth, <acessado em 15/02/2019>.

A área de estudo localiza-se próxima ao Aeroporto da cidade e é atravessada pela rua Aníbal Afonso de Ataíde no bairro do Tributo, onde foi marcada uma coordenada geográfica (Figura 1.3) de longitude oeste $50,284776^\circ$ e latitude sul $27,768449^\circ$ na curva com uma estrada que dá acesso às propriedades.

1.3 Objetivos

A partir da técnica de magnetometria terrestre, o principal objetivo deste trabalho foi investigar de forma detalhada as anomalias magnéticas associadas ao kimberlito Janjão, e, com isso, inferir modelos para avaliar a extensão, posição e geometria do corpo e sua relação com as rochas encaixantes do entorno. Para tanto, foram determinados quatro objetivos específicos para essa dissertação que envolviam:

- Gerar os mapas de Campo Magnético Total, Campo Magnético Anômalo e Amplitude do Sinal Analítico a partir dos dados adquiridos;
- Estimar os limites laterais e profundidades das fontes magnéticas com técnicas analíticas (Técnica da Meia Largura e Deconvolução de Euler);
- Inferir um modelo para as fontes magnéticas a partir da Inversão do Vetor de Magnetização (*Geosoft MVI*);
- Correlacionar o modelo gerado com a geologia do corpo kimberlítico Janjão.

Por fim, objetiva-se ainda, para servir de base para trabalhos futuros, gerar um mapa da localização estimada de outras rochas kimberlíticas do Complexo Alcalino de Lages baseado no levantamento bibliográfico desta dissertação.

Capítulo 2 GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 Geologia Regional

A área de estudo deste trabalho se localiza na porção centro sul do estado de Santa Catarina. No contexto tectônico do estado, destacam-se dois domínios geológicos, o Escudo Catarinense e a Bacia do Paraná.

No domínio do Escudo Catarinense destacam-se duas maiores estruturas NE-SW de importância regional (Figura 2.1), as zonas de cisalhamento Major Gercino e Itajaí-Perimbó (Bitencourt et al., 1989; Silva, 1991). Estas estruturas foram sujeitas à deformação dúctil num sistema transcorrente destrai (Philipp et al., 2016).

Figura 2.1: Geologia regional da área de estudo. Fonte: Adaptado de Jacques et al. (2012).

A estrutura da bacia é caracterizada por altos estruturais como arcos e domos. Há uma tendência em ocorrer rochas alcalinas nas margens da Bacia do Paraná, particularmente em sua borda leste, onde o embasamento pré-siluriano se acha exposto (Almeida, 1981).

Estudos de lineamentos estruturais realizados por Jacques et al. (2010; 2012) na borda leste da bacia e seu embasamento, na porção centro sul do estado de Santa Catarina, com base em imagens SRTM e LANDSAT, destacam as principais direções estruturais:

- N-S e NNE-SSW no embasamento;
- NW-SE e N-S na Sequência Gondwânica;
- NE-SW e NW-SE na Formação Serra Geral.

Estudos de lineamentos magnéticos no Escudo Catarinense e na borda leste da Bacia do Paraná evidenciam o prolongamento das estruturas pré-cambrianas NE-SW, particularmente das zonas de cisalhamento dúcteis Major Gercino e Itajaí-Perimbó, pelo substrato da mesma até pelo menos a região do Domo de Lages, mostrando que este padrão estrutural é o resultado da reativação de descontinuidade presente no embasamento da bacia (Almeida, 1981; Jacques et al., 2014).

2.2 Domo de Lages

O Domo de Lages está localizado ao norte da cidade de Lages no estado de Santa Catarina, a 230 km de Florianópolis-SC. Em termos geológicos, o Domo de Lages situa-se na borda leste da Bacia do Paraná. Os primeiros estudos sobre o domo remontam ao início do século XX (Paiva, 1933), quando a estrutura foi então caracterizada como um domo de núcleo vulcânico com sua parte central sendo constituída por rochas intrusivas alcalinas circundada por rochas sedimentares mais antigas (Machado et al., 2012). Desde então o Domo de Lages foi objeto de estudos, considerando tanto a petrologia de rochas ígneas, por exemplo: fonolitos, nefelina-sienitos, kimberlitos, carbonatitos, etc, como as concentrações minerais economicamente importantes (bauxita, nefelina e terras raras) que ocorrem associadas à estrutura (Beckhauser et al., 2015).

Scheibe (1986) caracterizou o domo como uma estrutura concêntrica, levemente alongada na direção NW-SE (Figura 2.2), que corresponde a uma das janelas estratigráficas presentes na Bacia do Paraná.

Figura 2.2: Geologia do Domo de Lages. Fonte: Adaptado de Beckhauser et al. (2015) e Scheibe (1986).

A principal fase de domeamento com intrusões de rochas alcalinas associadas foi datada em 73 Ma (Scheibe, 1986), sendo, portanto, posterior aos derrames da Formação Serra Geral (aproximadamente 130 Ma), os quais quase foram completamente erodidos na região do Domo de Lages. Esta fase de domeamento foi ocasionada provavelmente pela intrusão de magmas (Beckhauser et al., 2015), dos quais apenas uma pequena fração encontra-se atualmente aflorante, aproximadamente 50 km² (Oliveira, 1985), tanto de rochas subvulcânicas (fonolitos e sienitos), como de rochas intrusivas (diques e brechas alcalinas).

A distribuição das unidades geológicas da área é condicionada pela estrutura dômica, de forma que na parte central da janela estratigráfica expõem-se unidades mais antigas da Bacia do Paraná (Grupos Itararé e Guatá e Formação Irati) e corpos alcalinos, aparecendo sucessivamente em direção à periferia da estrutura unidades estratigraficamente mais novas (Formações Serra Alta, Teresina e Rio do Rasto) da bacia (Roldan, 2007). A quantidade de rochas alcalinas associadas ao Domo de Lages levou Scheibe (1986) a propor o termo “Distrito Alcalino de Lages”.

2.3 Distrito Alcalino de Lages

O Distrito Alcalino de Lages compreende um expressivo número de corpos intrusivos ao nível das camadas sedimentares gondwânicas, expostas num grande domo em que afloram desde o Grupo Itararé até a Formação Botucatu (Scheibe, 1986).

As rochas alcalinas associadas ao domo são diferenciadas devido aos seus aspectos mineralógicos, geoquímicos e petrológicos e por conta disso são objeto de pesquisa (Scheibe, 1980, 1986; Furtado et al., 1989; Traversa et al., 1994; Comin-Chiaramonti et al., 2002; Barabino et al., 2007). Segundo Scheibe (1986) as rochas descritas na região são separadas nos seguintes grupos de rochas:

- Alcalinas leucocráticas: fonolitos, analcima traquitos e nefelina sienitos;
- Ultrabásicas: olivina melilitos e lamprófiros, geralmente na forma de diques;
- Carbonatitos: Carbonatito da Fazenda Varela;
- Brechas de Chaminé;
- Kimberlitos: Lambedor, Pandolfo, Janjão, entre outros.

Dados geocronológicos obtidos pelo método K/Ar (Tabela 2.1) forneceram idades mínimas de 57,6 Ma e máximas de 78,3 Ma (Scheibe et al., 1985; Scheibe, 1986).

Tabela 2.1: Idades das rochas alcalinas de Lages.

Litologia	Idade (Ma)
Nefelina Sienitos Porfiríticos	74.6–78.3
Brechas de Chaminé	69.4–74.3
Fonolitos	65.7–74.2
Olivina Melititito	60.2–66.8
Kimberlito Janjão	57.6–68.2

Fonte: Adaptado de Scheibe (1986).

A datação das rochas alcalinas de Lages realizada por Scheibe (1986) as posiciona entre o final do Cretáceo Superior e o início do Paleógeno, de acordo com a Tabela Cronoestratigráfica Internacional (últimos 250 Ma) no Anexo 1.

2.4 Rochas Kimberlíticas

Os kimberlitos são um grupo de rochas ígneas, ultrabásicas, potássicas, ricas em voláteis e comumente exibem uma textura inequigranular distinta resultante da presença de macrocristais (e em alguns casos megacristais) dispostos em uma matriz de granulação fina. Magmas kimberlíticos são originados em profundidades superiores a 150 km e devido a sua rápida ascensão até a crosta terrestre são capazes de trazer fragmentos de diversas porções do manto, sendo importantes na compreensão dos processos de evolução mantélica (Mitchell, 1986; Sparks, 2013).

Além disso, as rochas kimberlíticas também são conhecidas como rochas que podem conter diamantes. Por conta da rápida ascensão entre o manto e a crosta, os magmas kimberlíticos eventualmente atravessam zonas com temperaturas ($>1100^{\circ}\text{C}$) e pressões ($>47\text{ kbar}$) favoráveis para a gênese de diamantes (Kennedy and Kennedy, 1976), servindo dessa forma de transporte para este mineral sem desestabilizar sua estrutura cristalina. Ressalta-se, portanto, que o magma que forma as rochas kimberlíticas não formam o diamante, são apenas um meio de transporte.

2.4.1 Diamantes

O diamante é um mineral composto por carbono arranjado em uma estrutura cristalina densa (sistema cúbico). É o mineral com maior dureza encontrado na natureza e, devido suas propriedades cristalinas únicas, tem valor comercial como gema ou material industrial (DNPM/MME, 2018).

Os diamantes podem ser de origem primária ou secundária. Quando o diamante é encontrado incrustado nas rochas (principalmente nas rochas kimberlíticas) é denominado diamante primário, quando essas rochas sofrem processos de intemperismo e erosão os diamantes são transportados para outras áreas, sendo então denominados diamantes secundários (Luiz, 2013).

A produção brasileira de diamantes no Brasil, em 2017, teve um aumento considerável (Tabela 2.2), por conta da primeira produção de diamantes primários no kimberlito Braúna em Nordestina-BA. Até 2016, toda produção de diamantes brasileiros era de origem secundária (DNPM/MME, 2018).

Tabela 2.2: Produção Brasileira de Diamantes entre 2013 e 2017.

Ano base	2013	2014	2015	2016	2017
Diamantes (ct, Kimberly)	48.600	53.000	32.000	183.515	254.896

Fonte: Adaptado de DNPM/MME (2018).

Apesar da relação com os kimberlitos, o diamante é um xenocristal do manto e pode ser ausente ou ocorrer em pequenas quantidades. Estima-se que apenas 1% dos kimberlitos do mundo são economicamente viáveis (Field et al., 2008). No kimberlito Janjão, apesar das histórias de garimpeiros, nunca foi confirmada a presença de diamantes (Scheibe, 1986).

2.4.2 Fácies Kimberlíticas

Três classificações de fácies são utilizadas em kimberlitos (Figura 2.3), baseadas nas definições de Mitchell (1986; 1989; 1991), a saber:

- **Fácies Cratera:** A morfologia da superfície de kimberlitos intemperizados são caracterizadas por uma cratera de até dois quilômetros de diâmetro, cuja parte inferior pode estar a centenas de metros abaixo da superfície. Apresenta normalmente rochas kimberlíticas (piroclásticas) associadas a sedimentos (epiclásticos). A cratera é geralmente mais profunda na parte central. No entorno dela há um anel de tufa relativamente pequeno (em geral com menos de 30 metros), quando comparado com o diâmetro da mesma. Fácies cratera não são preservadas em todos os casos.
- **Fácies Diatrema:** Localiza-se abaixo da fácies cratera, possui de 1 a 2 quilômetros de profundidade e apresenta-se geralmente como corpo cônico, que é circular ou elíptico na superfície e afina com a profundidade. É fragmentada e contém xenólitos das rochas encaixantes e de origem mantélica. As rochas de fácies diatrema são classificadas texturalmente como kimberlitos tufáceos e brechas kimberlíticas tufáceas. A diferença entre as duas está no conteúdo de clastos, onde um limite volumétrico arbitrário (> de 15% do volume da rocha contendo clastos maiores que 4 mm) marca a transição de tufos para a variedade brechada.
- **Fácies Hipoabissal:** Formam-se na zona de raiz da diatrema e são caracterizados por *sills* e diques complexos. Fácies Hipoabissal pode ser dividida entre kimberlitos e kimberlitos brechados. A diferença entre os dois litotipos é marcada por um limite volumétrico arbitrário, conforme a presença ou ausência de macrocristais, sendo macrocristalino aquele que apresenta mais de 5% do volume da rocha em macrocristais e afanítico o que apresenta menos de 5% do volume da rocha em macrocristais.

Figura 2.3: Modelo de Fácies kimberlíticas. Fonte: Costa et al. (1996), adaptado de Mitchell (1991).

A primeira referência ao kimberlito Janjão foi feita por Scheibe (1978). Posteriormente o kimberlito Janjão foi citado em outros trabalhos, dentre eles Svisero et al. (1985) e Scheibe (1986), os quais o classificaram como uma brecha kimberlítica de fácies diatrema, referindo-se a ele como Diatrema Janjão.

2.4.3 Províncias Kimberlíticas no Brasil

Com a finalidade de agrupar e facilitar a análise das centenas de corpos de afinidade kimberlítica, Mitchell (1986) propôs um método de hierarquização, o qual consiste em agrupar as intrusões em três níveis distintos: Província, Campo e Cluster.

- **Província Kimberlítica:** O termo é atribuído a extensas regiões da litosfera onde ocorreram magmatismo kimberlítico. As províncias kimberlíticas consistem de um ou mais campo(s) kimberlítico(s) e podem ser de três tipos:
 - Com um único campo kimberlítico;
 - Com vários campos kimberlíticos de idades semelhantes;
 - Com vários campos kimberlíticos de idades e características petrológicas diferentes.
- **Campo Kimberlítico:** É definido como um grupo de kimberlitos genética e geograficamente relacionados com idades semelhantes. Um campo kimberlítico apresenta extensão da ordem de 50 km e pode conter centenas de intrusões kimberlíticas, as quais podem ocorrer isoladas ou agrupadas em clusters.
- **Cluster:** É composto de 1 a 20 intrusões próximas entre si e distantes por aproximadamente 1 km de outros clusters semelhantes.

O projeto Diamante Brasil da CPRM identificou 1365 ocorrências de rochas kimberlíticas no território brasileiro, sendo representadas em 42 campos. Na Figura 2.4 é exibido um mapa simplificado de regiões kimberlíticas e de campos de ocorrências confirmadas de diamantes secundários (Cunha et al., 2017).

Figura 2.4: Principais campos kimberlíticos (polígonos vermelhos) e regiões com ocorrências comprovadas de diamantes secundários (polígonos amarelos). Os polígonos estão fora de escala para melhor visualização. Fonte: Adaptado de Cunha et al. (2017).

O estado de Santa Catarina, apesar de não ser produtor apresenta o registro de 19 processos de autorização de pesquisa na ANM (Agência Nacional de Mineração) para diamantes, todas elas na região do Domo de Lages, sendo o processo 815033/2007 coincidente com a posição da Diatrema Janjão (consultado em 2019). Além disso, no estado existem 17 ocorrências de corpos kimberlíticos listados pelo projeto Diamante Brasil da CPRM (Cunha et al., 2017), conforme mostrado na Figura 2.5.

Figura 2.5: Localização dos processos de autorização de pesquisa da ANM para a substância “Diamante” e “Diamante Industrial”, assim como a localização de corpos kimberlíticos identificados pela CPRM no projeto Diamante Brasil. Fonte: Adaptado de Scheibe (1986); Cabral Neto et al. (2017).

De acordo com a CPRM, a ocorrência Lages_001 corresponde ao kimberlito Janjão pois a incerteza de posicionamento é de até 500 metros em relação às coordenadas adquiridas. As ocorrências Lages_011 e 012 correspondem ao kimberlito Pandolfo (Scheibe, 1986).

Segundo a hierarquização de Mitchell (1986), a região de Lages configura uma única Província Kimberlítica com um único campo kimberlítico de 7 clusters.

Capítulo 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Métodos Geofísicos

Métodos geofísicos são utilizados na exploração mineral para mapeamento geológico e identificação de ambientes geológicos favoráveis à mineralização. A geofísica como ferramenta para a exploração mineral tem por objetivo identificar contraste de propriedades físicas (densidade, magnetização, resistividade, etc) em um meio geológico. Na maioria das vezes essas propriedades estão diretamente associada ao tipo de rocha ou solo. Alguns materiais geológicos não são sensíveis a determinadas grandezas físicas, gerando ambiguidades na interpretação, razão pela qual é importante empregar dois ou mais métodos geofísicos.

As técnicas geofísicas são classificadas como passivas ou ativas sendo que as passivas usam fontes naturais de energia. A aquisição de dados é realizada com algum detector, sensor ou receptor que mede a resposta física da geologia local a partir de uma energia natural. As técnicas ativas envolvem a introdução de um transmissor ou fonte de energia no solo, por exemplo ondas sísmicas, correntes elétricas, campo magnético induzido, etc. A resposta do solo a essa energia é medida com algum detector ou receptor.

Métodos de exploração em geofísica são separados em seis grandes grupos, segundo Dentith and Mudge (2014), às definições de cada metodologia geofísica são:

- **Gravimetria e a Magnetometria:** Também conhecidos como Métodos Potenciais, são métodos que detectam diferenças de densidade e magnetização, respectivamente, medindo variações na aceleração da gravidade da Terra e do seu campo magnético terrestre.
- **Métodos Elétricos e Eletromagnéticos:** Baseiam-se nas propriedades elétricas de rochas e minerais. A condutividade elétrica e/ou resistividade em um meio pode ser obtida por meio da medição das diferenças de potencial apresentadas pelas rochas. Com os métodos eletromagnéticos, as propriedades elétricas também podem ser investigadas usando correntes elétricas criadas e medidas através do fenômeno da indução eletromagnética.
- **Radiometria:** Detecta variações na radioatividade natural, onde o radioelemento contido nas rochas pode ser estimado. É um método eficiente para auxiliar no mapeamento geológico. Entretanto ele tem a menor penetrabilidade nas rochas e no solo (30 cm).
- **Sísmica:** Detecta variações nas propriedades elásticas das rochas, que se manifestam como variações no comportamento das ondas passando por elas. São altamente eficazes para investigação de camadas estratigráficas, sendo muito utilizada na indústria do petróleo.

A Figura 3.1, adaptada de Ford et al. (2007), compara a eficácia de cada método geofísico na prospecção de rochas kimberlíticas.

Figura 3.1: Resposta comparativa da eficiência de métodos geofísicos para identificação de rochas kimberlíticas. Fonte: Adaptada de Ford et al. (2007).

Conforme os dados da Figura 3.1, as melhores metodologias para prospecção geofísica de kimberlitos são a gravimetria, magnetometria e os métodos eletromagnéticos. A magnetometria representa um dos métodos geofísicos mais amplamente empregados em termos de extensão de linhas levantadas por ser uma técnica rápida e pouco dispendiosa (Paterson and Reeves, 1985). Devido aos recursos disponíveis para este trabalho, para a investigação do kimberlito Janjão foi empregada apenas a magnetometria terrestre.

3.2 Magnetometria Terrestre

A magnetometria é um método geofísico passivo que usa as informações do campo magnético terrestre para a investigação das rochas e estruturas geológicas em subsuperfície. O campo magnético terrestre induz nos materiais geológicos um campo magnético secundário, que se soma ao campo principal e causa variações que podem ser medidas. A maioria das rochas existentes na crosta terrestre possui minerais magnéticos capazes de produzir anomalias magnéticas. De maneira similar, alguns objetos feitos pelo homem a partir de materiais ferrosos também geram essas anomalias. Dessa forma, o levantamento magnético tem uma ampla variedade de aplicações, desde a engenharia e arqueologia, até levantamentos de grande escala para a prospecção de recursos minerais e investigação de estruturas crustais (Kearey et al., 2009).

Levantamentos de magnetometria terrestre são executados normalmente em projetos que totalizam de 1 até 100 km de perfis magnéticos, com produção diária média entre 3 e 6 km para um operador a pé. Alguns magnetômetros podem ser programados para adquirir dados de forma contínua (1 dado por segundo por exemplo), em outros casos os dados são obtidos na forma de “estações magnéticas” onde os espaçamentos entre as medidas geralmente são da ordem de 10 a 100 metros, entretanto para alguns levantamentos específicos como por exemplo aqueles com o propósito de identificar munição militar não explodida, artefatos arqueológicos ou até mesmo busca por veículos soterrados, espaçamentos menores podem ser empregados.

3.2.1 Magnetização induzida

Os principais tipos de magnetização das rochas são a magnetização induzida e a magnetização remanente (ou remanescente). A magnetização induzida é dada pela Equação 3.1:

$$\mathbf{M} = k\mathbf{H} \quad (3.1)$$

Onde $\mathbf{M}$ é o vetor magnetização induzida, $\mathbf{H}$ é a intensidade magnética da Terra naquele ponto e k é a susceptibilidade magnética (adimensional) do material.

A susceptibilidade magnética é a medida da capacidade de um determinado material em ficar magnetizado sob a ação de um campo magnético. Esta propriedade das rochas depende de seus minerais constituintes e as suas características são proporcionais à quantidade e o modo de distribuição desses minerais na rocha como um todo. Em prospecção mineral, os minerais que possuem susceptibilidade magnética suficientemente forte para produzirem anomalias detectáveis e que mais contribuem para as características magnéticas das rochas são a magnetita, pirrotita e ilmenita, as quais, na maioria das vezes, estão presentes como minerais acessórios na maioria das rochas, principalmente nas rochas ígneas (Santos, 2014).

Em regiões distintas da Terra, o campo geomagnético apresenta diferentes valores de intensidade magnética, como exemplo na Figura 3.2, no Brasil ocorre a variação entre 23000 e 28000 nT. Na figura é exibido um mapa da distribuição de intensidade magnética global, gerado pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) e *National Centers for Environmental Information* (NCEI).

Figura 3.2: Intensidade Total do Campo Magnético. Intervalos de contorno de 1000 nT. Projeção de Mercator. Fonte: Adaptado de NOAA/NCEI (2019).

O Brasil coincide geograficamente com a anomalia de campo magnético do Atlântico Sul (Hartmann, 2005) e por conta disso fica sob a influência mais fraca do campo geomagnético do planeta. Para a magnetometria, isso significa dizer que as anomalias magnéticas provocadas por corpos com magnetização induzida apresentam resposta de menor amplitude, quando comparadas com as anomalias que os mesmos corpos magnéticos poderiam gerar situados em outras localidades de campo geomagnético mais intenso, conforme a Equação 3.1.

Também são apresentados os mapas de Inclinação e Declinação do campo geomagnético no Anexo 2.

Por conta das diferenças de intensidade, inclinação e declinação do campo geomagnético ao longo do globo, um mesmo corpo magnético apresenta diferentes respostas de acordo com a localização em que ele se encontra na Terra.

No trabalho de Cordani and Shukowsky (2009) é feita uma simulação para efeitos comparativos da resposta de magnetização induzida observada no Brasil, Canadá e Austrália para uma mesma fonte magnética (Figura 3.3).

Figura 3.3: Comparação entre anomalias magnéticas induzidas por um mesmo corpo sintético localizado no Brasil, Canadá e Austrália. Parâmetros: (Campo, I, D); Brasil = (23000, -20, -20); Canadá (60000, 80, 0); Austrália (60000, -60, 5). Fonte: Adaptado de Cordani and Shukowsky (2009).

Além da intensidade, a forma do sinal também muda devido a variação da inclinação e declinação magnética. No Brasil (latitudes médias no hemisfério sul) para anomalias magnéticas induzidas é esperado um alto magnético ao norte e um baixo magnético ao sul. Os diversos “formatos” para as anomalias magnéticas (induzidas) em diferentes latitudes são observados na Figura 3.4.

Figura 3.4: Resposta da magnetização induzida por um mesmo corpo magnético para diferentes latitudes. Fonte: Adaptado de Dentith and Mudge (2014).

A resposta magnética no polo Sul é a mesma do polo Norte, baseado na Figura 3.4, ressaltando que para gerar os perfis com anomalias magnéticas a direção não importa, apenas o módulo do vetor campo magnético.

3.2.2 Magnetização remanescente

Para alguns materiais, um campo magnético externo pode causar mudanças irreversíveis nas propriedades magnéticas do mesmo, e, então, quando o campo externo é removido o material mantém uma magnetização remanescente. Nas rochas, a intensidade e orientação do magnetismo remanescente está relacionada com o campo magnético externo no momento da formação e pelo conteúdo de minerais magnéticos. Existem outros processos que podem ocorrer naturalmente e que afetam o magnetismo remanescente. Em diferentes momentos, durante a existência de uma rocha, ela pode ser completamente ou parcialmente remagnetizada.

A magnetização total de uma rocha é dada pela Equação 3.2

$$\vec{J}_t = \vec{J}_i + \vec{J}_r \quad (3.2)$$

Onde $\vec{J}_t$ é a magnetização total da rocha, $\vec{J}_i$ é a componente induzida e $\vec{J}_r$ a componente remanescente.

Rochas com magnetização remanescente alta ou com a mesma ordem de grandeza que a magnetização induzida, podem gerar anomalias magnéticas de polarização inesperada para a posição na superfície terrestre, se comparadas com as anomalias de magnetização induzida da Figura 3.4. Apesar disso, a magnetização remanescente pode fornecer informações para a interpretação geológica.

O magnetismo remanescente é alinhado ao campo magnético da Terra no momento de formação da rocha. Como o campo magnético da Terra muda de polaridade e direção com o tempo e localização, sendo ainda possível que uma unidade geológica tenha sido rotacionada por processos tectônicos como falhas e a própria deriva continental, as rochas mais recentes que adquiriram magnetização remanescente têm maior probabilidade de apresentarem orientação magnética alinhada ao campo magnético terrestre da atualidade (Dentith and Mudge, 2014).

Capítulo 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Detalhes sobre os equipamentos e *softwares* utilizados para a aquisição, controle de qualidade, processamento, interpretação e inversão dos dados magnéticos serão apresentados nesta seção.

A Figura 4.1 apresenta um diagrama da aquisição (azul) e preparação (laranja) dos dados magnéticos assim como os produtos gerados pelas técnicas de realce (verde) e as principais técnicas interpretativas (cinza).

Figura 4.1: Diagrama da aquisição e preparação dos dados magnéticos assim como os produtos gerados pelas técnicas de realce e as técnicas interpretativas utilizadas neste trabalho.

Os itens apresentados na Figura 4.1 são detalhados nas seções seguintes.

4.1 Equipamentos

O levantamento magnetométrico foi executado utilizando-se três magnetômetros overhauser (um tipo especial de magnetômetro de precessão de prótons) da marca Gem Systems, modelo GSM-19, conforme a Figura 4.2.

Figura 4.2: Operador em campo com magnetômetro móvel.

Tal magnetômetro apresenta resolução 100 vezes melhor (GEM-Systems, 2008) se comparado ao equipamento utilizado no levantamento magnetométrico de Svisero et al. (1985).

Dois destes equipamentos pertencem ao Instituto de Geociências (IGc) da Universidade de São Paulo (USP) e um ao Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da USP. Dentre os três equipamentos, um foi utilizado como base magnética e os outros dois, como magnetômetros móveis. O magnetômetro móvel do IGc tem GPS embutido (Figura 4.2) e o magnetômetro do IAG não, necessitando de um GPS portátil para auxiliar no georreferenciamento dos dados.

4.2 Planejamento da aquisição

A aquisição foi planejada (Figura 4.3) baseada no mapa digitalizado de Svisero (1985), com o objetivo de contornar as anomalias magnéticas já conhecidas, mapeando assim a anomalia e o campo magnético regional da área. O retângulo azul mede 915 m na direção E-W e 765 m na direção N-S.

Figura 4.3: Área do planejamento da aquisição dos dados (retângulo azul).

Não foi possível planejar uma aquisição de dados regular seguindo perfis paralelos devido à declividade da área, drenagens, a presença de um lago, de casas, cercas, linhas de alta tensão e até mesmo a falta de permissão para acessar uma das propriedades.

4.3 Aquisição dos dados

A aquisição de dados ocorreu onde o acesso foi concedido e facilitado (estradas de terra, pastos, etc). A aquisição foi feita no modo de estações magnéticas, onde o operador do magnetômetro fez uma aquisição de dados a cada 10 metros de caminhada, aproximadamente. O magnetômetro base foi posicionado dentro de uma propriedade com autorização concedida e foi programado para adquirir dados de forma contínua a cada 10 segundos.

4.4 Preparação dos dados magnetométricos

Depois de uma aquisição de dados magnetométricos é preciso trabalhar o dado bruto antes de começar o processamento para realçar as anomalias magnéticas. O *software* utilizado foi o *Oasis Montaj* da *Geosoft*. Os processos e técnicas descritos a seguir são específicos para a magnetometria terrestre desenvolvida neste trabalho, sendo eles:

- Verificação dos dados e eliminação de dados espúrios;
- Correção da variação diurna do campo magnético terrestre;
- Correção de posicionamento;
- Interpolação dos dados;
- Separação regional-residual.

A magnetometria, aérea, marinha e alguns outros casos de magnetometria terrestre, costumam apresentar essas e outras etapas de pré-processamento como por exemplo: correção do erro de paralaxe, nivelamento, micronivelamento, correção de heading, entre outros.

4.4.1 Verificação dos dados e eliminação de dados espúrios

Um exemplo de dado indesejado para o processamento de dados é conhecido como *spike*. Os *spikes* são mudanças abruptas no valor das medidas em um curto intervalo de tempo, raramente acontecendo em duas amostras consecutivas. Sua principal causa são problemas eletrônicos. Geralmente os *spikes* podem ser removidos por edição manual, sendo extremamente recomendado que essa edição seja feita em uma coluna específica na tabela de dados de forma que os dados originais sejam preservados. Caso ocorram *spikes* o suficiente para tornar a edição manual uma tarefa dispendiosa, sugere-se buscar manutenção do equipamento. Alguns dados espúrios, diferente dos *spikes*, podem aparecer em amostras de dados consecutivos, e eles podem ocorrer por diversos fatores desde o mal posicionamento do sensor magnetômetro na hora da medida até ruído cultural como torres de alta tensão, cercas, veículos e outras interferências magnéticas nas proximidades do equipamento. Para o melhor controle dos dados espúrios é importante o registro durante a aquisição de campo de momentos onde suspeita-se do registro de ruído cultural nos dados. É importante que a remoção de *spikes* e dados espúrios ocorra no começo do controle de qualidade para que estes ruídos não gerem artefatos matemáticos nas próximas etapas do processamento o que dificulta sua posterior identificação.

Os dados adquiridos durante o campo foram verificados em todos os magnetômetros. O GSM-19 tem uma forma automática de detectar ruídos da rede elétrica e outras fontes antrópicas, conforme a Figura 4.4.

Figura 4.4: Detalhes do painel registrador de dados. Fonte: GEM-Systems (2008).

O número 99, que consta no canto superior direito do visor do equipamento, indica a qualidade do sinal, signal noise (sq), que é gravada como informação junto aos dados adquiridos. Dados que não atingiram o valor 99 foram desconsideradas no restante do processamento.

4.4.2 Variação diurna do campo geomagnético

O campo geomagnético apresenta variações temporais de longos e curtos períodos. A variação diurna está associada à atividade solar e influencia diretamente nas medidas do campo magnético terrestre para uma mesma posição ao longo do dia (Telford et al., 1990).

Para o controle da variação diurna utiliza-se um magnetômetro base, que é posicionado próximo à região do levantamento e que faz a leitura contínua, registrando assim as variações temporais do campo magnético terrestre. É necessário que os relógios dos dois magnetômetros (base e móvel) estejam sincronizados no mesmo horário, para que não haja problemas no alinhamento de dados para essa correção durante o processamento.

Durante o dia a variação magnética é da ordem de 50 nT, apresentando seu pico máximo por volta do meio dia e seus mínimos durante à noite. Segundo Dentith and Mudge (2014), uma variação de 50 nT em um intervalo de 1 hora é classificado como tempestade magnética (Figura 4.5). Neste caso é recomendado descartar os dados obtidos com o magnetômetro móvel durante intervalos de tempo de maior perturbação do campo magnético.

Figura 4.5: a) Variação magnética diurna. b) Tempestade magnética. Fonte: Adaptado de Dentith and Mudge (2014).

Para a remoção dos dados referentes à variação magnética diurna, os dados brutos adquiridos pelo magnetômetro móvel e aqueles obtidos pelo magnetômetro base são “amarrados”, baseando-se no dia e hora da aquisição. As medidas de magnetização corrigidas pela variação diurna são dadas pela Equação 4.1:

$$M_C = M_M - M_B + D \quad (4.1)$$

Onde M_C é o valor da magnetização corrigida, M_M é a medida adquirida pelo magnetômetro móvel, M_B é a medida do magnetômetro base e D é a média de todos os dados obtidos pelo magnetômetro base (Datum magnético).

Quando for possível, do ponto de vista da logística de campo, é extremamente importante que o magnetômetro base seja posicionado no mesmo local durante os dias da aquisição de dados de um mesmo projeto. Dessa forma os dados da base não sofrem influência magnética da diferença de geologia local para computar no Datum magnético.

Como critério de controle de qualidade (QC) foi determinada uma tolerância de variação na base magnética de até 10 nT em 5 minutos de aquisição contínua para este trabalho.

4.4.3 Correção de posicionamento

Alguns magnetômetros não possuem GPS embarcado, por essa razão os dados são georreferenciados a partir de um GPS móvel. Os dados são sincronizados com as informações do dia e hora da aquisição. Outros magnetômetros possuem GPS próprio e as medidas de posicionamento e campo magnético são sincronizadas automaticamente. Todos os sistemas GPS podem diminuir sua acurácia de posicionamento quando detectam poucos satélites, e isso pode ocorrer em dias nublados e/ou quando as medidas são obtidas dentro de mata fechada.

É importante após um levantamento magnético terrestre plotar os dados de posicionamento para verificar se o percurso de aquisição realizada foi coerente com o trajeto planejado. Uma aquisição de dados sem a devida correção de posicionamento pode ocasionar distorções nas dimensões das anomalias magnéticas processadas e na geometria dos corpos recuperados pela inversão.

4.4.4 Interpolação de dados

Após a aquisição dos dados magnetométricos, para se aplicar as técnicas de processamento 2D, é necessário que os dados estejam distribuídos em uma malha regular (Magalhães et al., 2016). Algumas técnicas de interpolação utilizadas frequentemente para dados de magnetometria são: Interpolação por Mínima Curvatura (Briggs, 1974), Interpolação pelo Inverso da Distância Ponderada e Interpolação Bi-direcional.

É importante, durante o processamento dos dados, comparar mais de um método de interpolação alterando seus parâmetros. Esses parâmetros precisam ser compatíveis com parâmetros

dos dados que foram adquiridos em campo, como, por exemplo: espaçamento entre cada amostra de dado obtida e espaçamento entre as linhas de dados. A interpolação para a geração da malha de dados regular (grid) é feita pelo método do *gridding* ou “gridagem”, como tem sido utilizado em português.

Como a amostragem dos dados se baseia em um grid aleatório apenas os métodos de interpolação por mínima curvatura e inverso da distância podem ser comparados (entre os métodos de interpolação já citados). O método bidirecional tende a realçar as feições perpendiculares às linhas do levantamento, razão pela qual é indicado para interpolar dados cuja aquisição foi realizada em linhas aproximadamente paralelas (Parro, 1998).

4.4.5 Separação regional-residual

A separação regional-residual separa anomalias de fontes mais rasas, retirando a influência de estruturas geológicas mais profundas e de grande comprimento de onda. Essa separação pode ser realizada a partir da remoção do *International Geomagnetic Reference Field* (IGRF), remoção de superfícies polinomiais de diferentes graus, por meio da diferença de filtros de continuação ou até mesmo, para levantamentos em áreas muito pequenas, com a subtração de uma média do valor de intensidade do campo magnético local (Dentith and Mudge, 2014).

O produto da separação regional-residual são dados que representam anomalias magnéticas mais rasas e de interesse de estudo. Com base na interpolação desses dados tem-se o campo magnético anômalo.

Foram testadas e comparadas as técnicas de separação regional-residual pela subtração de superfície polinomial, remoção do IGRF e subtração de grid continuado para cima.

O *Oasis Montaj* tem um recurso para preenchimento de células sem dados, onde ele aplica uma interpolação suave baseada nos valores das células da periferia dos “vazios”. A ocorrência desses vazios se deve a aquisição de dados aleatórios.

4.5 Técnicas de realce de anomalias magnéticas

Após as etapas de controle de qualidade e pré-processamento, os dados são considerados adequados para continuar no processamento com aplicação de técnicas de realce das anomalias magnéticas. Existem dezenas de técnicas de realce para a magnetometria, Ferreira et al. (2010) elabora um compilado de fórmulas matemáticas de algumas técnicas de realce difundidas na comunidade científica.

Na sequência dos materiais e métodos são explicadas apenas as técnicas de realce que foram utilizadas neste trabalho, são elas:

- Filtros de continuação;
- Amplitude do sinal analítico.

Para servir de exemplo prático foram utilizados dados reais de magnetometria de uma outra área (sem correlação com este trabalho), para uma melhor compreensão do funcionamento das técnicas.

4.5.1 Filtros de continuação

Os filtros de continuação para cima (*upward*) e para baixo (*downward*) simulam a resposta física dos dados se eles fossem adquiridos a uma distância diferente entre fonte e receptor. No caso do *upward* a uma distância maior e do *downward* a uma distância menor (Reeves, 2005).

O filtro age no domínio do número de onda da seguinte forma (Equação 4.2):

$$L(w) = e^{-hw} \quad (4.2)$$

Onde h é a variação da altura do plano de observação, sendo positivo para cima e negativo para baixo e w é o número de onda.

O *upward* (Figura 4.6) é um tipo de filtro passa-baixa, entretanto com o aumento da distância fonte-receptor as amplitudes das anomalias diminuem.

Figura 4.6: Exemplos de uso do filtro *upward* para diferentes distâncias.

Seguindo o mesmo raciocínio, o *downward* é um tipo de filtro passa-alta, e com a diminuição da distância fonte-receptor as amplitudes das anomalias aumentam.

Dessa forma, anomalias com fontes mais rasas são realçadas. Na prática, a continuação para baixo se torna cada vez mais instável, pois ruídos de origem antrópica e aqueles relacionados a resolução instrumental do magnetômetro são amplificados com a diminuição da distância entre fonte-receptor resultando em interpretações errôneas (Dentith and Mudge, 2014).

Quando o interesse da filtragem é realçar as altas frequências, para evitar a instabilidade do filtro e diminuição da razão sinal/ruído, é recomendável fazer operações entre grids (Equação 4.3), onde:

$$GRID_{AF} = GRID_I - GRID_{UP} \quad (4.3)$$

Sendo $GRID_{AF}$ o grid de alta frequência, $GRID_I$ o grid do campo magnético total e $GRID_{UP}$ a malha de dados continuada para cima.

Escolhendo uma distância adequada para o $GRID_{UP}$ a Equação 4.3 é uma espécie de fórmula para a separação regional-residual.

Diferente da *downward*, a *upward* não é instável, entretanto cada vez que ela é utilizada se perde um pouco de informação proveniente das fontes magnéticas da área de estudo. A continuação para cima é útil para anular os efeitos de anomalias rasas e detalhar anomalias mais profundas.

4.5.2 Amplitude do sinal analítico

A importância da Amplitude do Sinal Analítico (ASA) reside no contexto da interpretação, visto que os valores máximos do Sinal Analítico ocorrem sobre os limites dos corpos ou estruturas geológicas, constituindo assim uma ferramenta útil para delimitar lateralmente fontes magnéticas (Nabighian, 1972). Segundo Blakely (1996), a ASA depende apenas da localização dos corpos causadores das anomalias e é independente da direção de magnetização e da direção do campo magnético da Terra. A aplicação da ASA em anomalias magnéticas brasileiras é uma prática consagrada, sendo inclusive um produto padrão nas licitações do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) (Cordani and Shukowsky, 2009). Apesar disso, alguns autores (Zhang, 2001; Li, 2006), entre outros, provam que o valor absoluto do Sinal Analítico em três dimensões não é necessariamente a resposta de todas as direções possíveis para a direção de magnetização remanescente. Entretanto, para fontes magnéticas de geometria simples, e para algumas estimativas dos limites laterais e da profundidade do topo, pode-se considerar a direção de magnetização como uma baixa (e até mesmo irrelevante) influência nos resultados da ASA.

Na Figura 4.7 é aplicado a técnica de ASA a partir de um grid de campo magnético anômalo.

Figura 4.7: Exemplo da aplicação da Técnica de Amplitude do Sinal Analítico. As anomalias dipolares, inclusive aquelas com magnetização remanescente, recuperaram valores de máximo com anomalias centradas sobre as fontes magnéticas.

A fórmula da ASA é escrita conforme a Equação 4.4:

$$ASA = \sqrt{\left[\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial z}\right)^2\right]} \quad (4.4)$$

Onde $\frac{\partial M}{\partial x}$, $\frac{\partial M}{\partial y}$ e $\frac{\partial M}{\partial z}$ representam, respectivamente, os gradientes horizontais e vertical do campo magnético terrestre (Nabighian, 1972, 1974; Roest et al., 1992).

4.6 Delimitação de limites laterais e profundidade das fontes magnéticas

A ASA centra as anomalias magnéticas sobre as fontes e por conta disso tem a capacidade de delimitar lateralmente a geometria dos corpos magnéticos. As anomalias magnéticas decrescem com o inverso do quadrado da distância, e, em função disso, os corpos mais profundos produzem anomalias de menor amplitude e maior extensão que as anomalias produzidas por corpos mais superficiais. A técnica da Meia Largura (Gunn, 1997) é um método gráfico com capacidade de determinar a profundidade do topo de fontes magnéticas. A meia largura é a distância horizontal entre o máximo principal da anomalia e o ponto de metade desse valor (Nabighian, 1972). A Figura 4.8 mostra um exemplo dessa aplicação sobre a Amplitude do Sinal Analítico.

Figura 4.8: Representação da forma de cálculo do modelo de Meia Largura.

A profundidade pode ser estimada considerando a distância lateral entre a posição de amplitude máxima e uma das posições com metade dessa amplitude ($A/2$), ou obtendo o valor médio da distância entre os dois pontos onde a amplitude vale a metade. A técnica da Meia Largura é válida apenas para formas simples ajustadas como uma esfera ou cilindro. É uma técnica eficiente para uma primeira estimativa da profundidade das fontes magnéticas e tem acurácia de aproximadamente 15% (Gunn, 1997).

Outra forma de estimar a profundidade é através da Deconvolução de Euler (Thompson, 1982). Este processo relaciona o campo magnético e suas derivadas com a localização da fonte de uma anomalia e o grau de homogeneidade, expresso como um "índice estrutural". O índice estrutural é uma medida da taxa de declínio do campo magnético em relação a distância da fonte.

A Deconvolução de Euler 3D é uma técnica de modelamento inverso que utiliza o conteúdo espectral dos dados de campo magnético. Com ela é possível estimar a posição e a profundidade das fontes magnéticas geradoras das anomalias medidas. Reid et al. (1990) implementaram o algoritmo 2D de Thompson (1982) para a interpretação magnética em três dimensões, descrita na Equação 4.5:

$$(x - x_o) \frac{\partial T}{\partial x} + (y - y_o) \frac{\partial T}{\partial y} + (z - z_o) \frac{\partial T}{\partial z} = N(B - T) \quad (4.5)$$

Onde, (x_o, y_o, z_o) é a posição da fonte magnética cujo campo total (T) é detectado em (x, y, z) , B é o campo magnético regional e N é a medida da taxa de declínio do campo magnético (índice estrutural).

O processo de Deconvolução de Euler é aplicado em cada solução. O método envolve definir um valor de índice estrutural apropriado e usar a inversão de mínimos quadrados para resolver a equação de um x_o, y_o, z_o e B ideais.

O *software Oasis Montaj*, possui um pacote para aplicação da Deconvolução de Euler, e para este processamento foi definido um índice estrutural de 2, referente a um modelo equivalente forma de uma diatrema (cilindro vertical).

4.7 Modelagem e inversão de dados magnéticos

Com a modelagem de dados é possível estimar a resposta magnética de um corpo geológico a partir de suas propriedades físicas. As propriedades, ou parâmetros, geralmente mais relevantes para a estimativa da resposta magnética são: tamanho, posição, forma, susceptibilidade magnética, magnetização remanescente, entre outros.

Dado que o campo magnético terrestre apresenta características que variam dependendo da sua localização sobre o globo, é necessário também considerá-las na modelagem. Na Figura 3.3 (exibida anteriormente), adaptado do trabalho de Cordani and Shukowsky (2009), é apresentado um modelo da resposta magnética de um prisma, simulada para diferentes localizações na Terra.

Quando a resposta magnética é calculada a partir das propriedades físicas de um corpo, é denominado modelo direto. Quando as propriedades físicas de um corpo são estimadas a partir da resposta magnética é denominado modelo inverso (ou inversão).

A resposta de uma inversão raramente é única, podendo haver várias combinações entre os parâmetros iniciais, as quais geram soluções de modelos parecidos, resultando em ambiguidades na interpretação. Para a inversão dos dados é importante inserir informações de conhecimento prévio (vínculos) a respeito da geologia do local de estudo. Os vínculos, na maioria das vezes, facilitam a convergência das soluções.

Na maioria dos *softwares* de inversão de dados magnéticos é assumido que a fonte magnética apresenta exclusivamente magnetização induzida (Ellis et al., 2012). Entretanto, nas últimas décadas de estudo, foi percebido que a magnetização remanescente das rochas é uma característica muito presente (McEnroe et al., 2009).

Alguns pesquisadores apresentaram resultados de avanço nas técnicas de inversão com a presença de magnetização remanescente (Shearer and Li, 2004; Kubota and Uchiyama, 2005; Lelièvre and Oldenburg, 2009), e por conta disso, hoje existem *softwares* que permitem realizar a inversão de dados magnéticos computando a magnetização remanescente.

Através do pacote de inversão MVI (*Geosoft VOXI Earth Modelling, Magnetization Vector Inversion*), do *software Oasis Montaj*, foi gerado um modelo de parâmetros físicos para a Diatrema Janjão a partir dos resultados do processamento de dados.

As informações extraídas dos mapas processados como: posição, geometria e dimensões superficiais, estimativa da profundidade do topo dos corpos magnéticos e direção da magnetização remanescente foram utilizados para avaliar a coerência dos modelos gerados pela inversão. Também foram utilizadas informações da literatura a respeito da geometria de diatremas kimberlíticas e valores médios de susceptibilidade magnética dessas rochas.

Na técnica de Inversão do Vetor de Magnetização, além da magnetização induzida, também considera-se, para os cálculos da inversão, a magnetização remanescente, desmagnetização e anisotropia dos materiais magnéticos, e, com isso, calcula-se a amplitude e direção do vetor de magnetização. Por conta disso, é gerado um modelo 3D mais próximo da realidade complexa das estruturas geológicas em subsuperfície (Barbosa and Pereira, 2013).

Não foi utilizado nenhum vínculo para a inversão dos dados, entretanto, foi utilizada a Técnica Iterative Reweighting Inversion (IRI). Essa técnica, utiliza o primeiro resultado de inversão como entrada, o qual é aplicado como um vínculo em uma nova inversão para obter um modelo mais refinado e focado (Barbosa and Pereira, 2013). Na sequência, se realizada mais de 2 iterações, o novo modelo passa a ser usado como vínculo para a próxima inversão. Esse processo de iteração pode ser repetido várias vezes até se obter um resultado final satisfatório.

Para gerar o modelo das fontes magnéticas em subsuperfície, foram testadas múltiplas iterações com a Técnica IRI. As informações sobre as fontes magnéticas extraídas do processamento dos dados foram usadas para validar o modelo gerado.

As fórmulas matemáticas para a convergência da inversão do vetor de magnetização não são divulgadas pela *Geosoft*, por essa razão, até a data da publicação dessa dissertação não foi possível apresentar um formalismo matemático para esta técnica. Apesar disso, desde 2015 essa técnica tem sido amplamente utilizada para pesquisa em universidades e na CPRM e até o momento se mostrou altamente eficaz.

Os produtos gerados pela inversão MVI são modelos tridimensionais de Amplitude, componente projetada (E_{proj}) e componente perpendicular (E_{perp}). O valor da amplitude é normalizado pela intensidade do campo magnético local ($IGRF^1$) se tornando compatível com a unidade de susceptibilidade magnética (SI).

Dado uma base vetorial com os vetores $\vec{u}$, $\vec{v}$ e $\vec{w}$ perpendiculares entre si, E_{proj} ($E_{proj}^{\vec{u}}$) é representado pelo vetor $\vec{u}$, que também é paralelo ao campo magnético local ($IGRF$). E_{perp} ($E_{perp}^{\vec{v}}$) corresponde a soma dos vetores $\vec{v}$ e $\vec{w}$. E_{perp} e E_{proj} são perpendiculares entre si e a soma vetorial entre E_{perp} e E_{proj} é equivalente ao vetor de magnetização $\vec{M}$ da Figura 4.9.

Figura 4.9: Base vetorial do vetor de magnetização $\vec{M}$.

Algumas informações que podem ser inferidas a partir das características do vetor de magnetização são:

- Se a componente E_{perp} é alta a magnetização induzida é pequena, caso contrario corresponde a magnetização primariamente induzida;
- E_{proj} negativo indica magnetização reversa em relação ao campo magnético local.

¹Neste caso, $IGRF$ é a nomenclatura utilizada pela *Geosoft* para indicar o vetor campo magnético terrestre.

Capítulo 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Aquisição e pré-processamento dos dados

A Figura 5.1 exibe os pontos das estações magnéticas onde se tomaram os dados (pontos azuis) e a posição fixada para o magnetômetro base (triângulo vermelho).

Figura 5.1: Pontos de aquisição de dados. Pontos azuis se referem às posições de cada dado adquirido e validado. O triângulo vermelho se refere a posição da base magnética.

Foram realizados três dias de campo para a aquisição de dados totalizando mais de 1500 estações magnéticas percorrendo aproximadamente 12 km lineares. Dados ruidosos ($sq \neq 99$) e *Spikes* foram desconsiderados para as outras etapas do processamento. A Figura 5.1 exibe o conjunto de dados selecionados já filtrado de *spikes* e ruídos.

Os dados da variação diurna das bases magnéticas são exibidas na forma de gráficos para cada dia de aquisição na Figura 5.2. Como todas as bases apresentaram variação inferior a 10 nT no intervalo de 5 minutos, foram então aprovadas pelo QC. Não houve tempestade magnética durante as aquisições de dados e, portanto, nenhum dado precisou ser readquirido.

Todos os dados selecionados para as próximas etapas do processamento (corrigidos da variação magnética diurna) se encontram na Tabela do Apêndice.

Figura 5.2: Variação diurna do campo geomagnético nos dias de aquisição de dados.

O valor médio das bases foi de 22440 nT, o qual foi definido como datum magnético aplicado na Equação 4.1.

Na sequência foi realizada a correção de posicionamento. Mesmo na região oeste da área de estudo onde havia uma floresta de Pinus o GPS não apresentou nenhum problema de posicionamento, mantendo a resolução da ordem de 10 metros.

Para a interpolação dos dados foram utilizadas duas técnicas que geraram dois mapas de Campo Magnético Total: um usando a técnica de Mínima Curvatura e outra usando a técnica do Inverso da Distância Ponderada, visando assim estabelecer uma comparação entre elas (Figura 5.3).

Figura 5.3: Mapas de CMT. Interpolação pela técnica de Mínima Curvatura (esquerda) e pela técnica do Inverso da Distância Ponderada (direita).

A diferença entre as técnicas de interpolação é pequena, sendo as duas boas candidatas para continuar o pré-processamento, entretanto, foi escolhida a técnica de interpolação do Inverso da Distância Ponderada por preservar as anomalias com contornos mais suavizados.

Para a separação regional-residual foram comparados 4 métodos, a saber: remoção do IGRF, remoção polinomial de grau 1, grau 2 e subtração da média (22452 nT). A partir de um perfil N-S que intercepta o centro da área de estudo foram extraídos os dados dos grids resultantes. Os métodos foram comparados na Figura 5.4, onde também foi plotada a curva de Campo Magnético Total.

Figura 5.4: Perfis com as técnicas de separação regional-residual e o CMT.

Devido ao pequeno tamanho da área de estudo ($0,7 \text{ km}^2$), os métodos para separação regional-residual se aproximam de um valor constante. O IGRF foi escolhido apesar de haver uma variação pequena entre os métodos. Será discutida adiante outra forma de separação do regional a partir do filtro de continuação para cima.

Com a separação regional-residual, o grid gerado (Figura 5.5) representa o campo magnético residual (CMR).

Figura 5.5: Mapa de Campo Magnético Residual. Foi aplicada a ferramenta *FILL* do *Oasis Montaj* para preencher os espaços vazios.

No mapa da Figura 5.5 observa-se duas anomalias dipolares bem demarcadas, uma maior, na parte central do mapa denominada de J1 e outra menor, localizada no canto NW da mesma denominada de J2. O valor máximo é registrado em 143 nT e o mínimo em -595 nT (variação de 738 nT). A anomalia J1 foi considerada como a anomalia referente a Diatrema Janjão. Já a anomalia J2 não era conhecida com caráter dipolar nos trabalhos anteriores, tendo sido mapeada apenas como alto magnético.

5.2 Mapas com técnicas de realce

Os dados magnéticos foram adquiridos com o sensor magnético posicionado aproximadamente 2 m de altura em relação ao nível do solo. Essa altura funciona como um filtro natural passa-baixa. Com a técnica de continuação para cima, outras distâncias fonte-receptor foram testadas com o objetivo de selecionar grids com frequências magnéticas de interesse (Figura 5.6), para eliminar o excesso de altas frequências provenientes da proximidade com o solo no nível da aquisição.

Figura 5.6: Mapa de Continuação para Cima (10 m) do Campo Magnético Residual.

A Continuação para Cima de 10 m apresentou anomalias suavizadas com amplitudes variando desde o nível da aquisição de 738 nT para 488 nT com UP10. Dentre outras distâncias testadas o UP10 foi selecionado para continuar o processamento do restante dos dados.

Alturas maiores também foram testadas com o objetivo de selecionar um grid para subtrair de UP10 e gerar um grid de Campo Magnético Anômalo, Figura 5.7.

Figura 5.7: Mapa de Continuação para Cima (200 m) do Campo Magnético Residual.

Na altura de 200 m (UP200), a amplitude da anomalia variou 40 nT. O fato de todos os valores de campo magnético dos mapas da Figura 5.7 serem negativos se deve pela remoção do IGRF. Removendo o regional do campo magnético nessa região do globo, os valores de “fundo”

(região alaranjada do mapa da Figura 5.5), são negativos.

Foi realizada a subtração entre grids de continuação para cima com o objetivo de corrigir o regional das anomalias de interesse para valores mais próximos de zero. A diferença entre UP10 e UP200 apresentou um resultado mais interessante que outras combinações testadas com as anomalias magnéticas mais “fechadas”, por conta disso o Mapa de Campo Magnético Anômalo foi determinado a partir da diferença entre UP10 e UP200 (Figura 5.8).

Figura 5.8: Mapa de Campo Magnético Anômalo.

Em comparação ao mapa de Campo Magnético Residual (Figura 5.5) o mapa de Campo Magnético Anômalo da Figura 5.8 apresenta o fundo alaranjado com valores mais próximos de

zero. Isso é importante para facilitar a convergência da inversão nas etapas posteriores.

Outra informação extraída do mapa de CMA é que as anomalias apresentam polaridade invertida (baixo magnético ao norte e alto magnético ao sul), ou seja, existe magnetização remanescente nas rochas com direção diferente ao Campo Magnético Terrestre na localização da área de estudo.

A Amplitude do Sinal Analítico (Figura 5.9) permite estimar os limites laterais de uma fonte magnética. Essa técnica apresenta pouca dependência da direção de magnetização, podendo ser aplicada para caracterizar anomalias com magnetização remanescente intensa, como no caso das anomalias J1 e J2.

Figura 5.9: Mapa de Amplitude do Sinal Analítico.

5.3 Estimativa de limites laterais e profundidades das fontes magnéticas

Os limites laterais foram delineados nas isolinhas de 3 nT/m a partir do mapa de Amplitude do Sinal Analítico (Figura 5.10). No mesmo mapa foram traçados perfis de sul para norte para uma primeira estimativa da profundidade das fontes magnéticas através da Técnica da Meia Largura.

Figura 5.10: Localização dos perfis de 1 a 10 e delimitação dos limites laterais das anomalias J1 e J2.

As estimativas de profundidade foram obtidas baseando-se nos dados de Amplitude do Sinal Analítico. Os Perfis de 1 a 5 referentes a anomalia J2 são apresentados na Figura 5.11. As curvas referente ao CMA também foram plotadas para auxiliar na análise.

Figura 5.11: Perfis S-N da anomalia J2, plotados de 1 a 5 respectivamente.

Para a estimativa da profundidade os resultados foram subtraídos de 12 metros referentes a continuação para cima utilizada no grid analisado (10 m) mais a altura de 2 metros do sensor magnético. Foi realizada a média entre as estimativas dos 5 perfis e adicionado a variação de $\pm 15\%$ referente a acurácia da técnica.

O resultado obtido foi 38 ± 6 m de profundidade para o topo da fonte da anomalia J2.

De maneira semelhante, a Figura 5.12 apresenta os perfis da anomalia J1.

Figura 5.12: Perfis S-N da anomalia J1, plotados de 6 a 10 respectivamente.

O resultado obtido foi 51 ± 7 m de profundidade para o topo da fonte da anomalia J1.

A Deconvolução de Euler também foi empregada com o objetivo de gerar soluções para estimativas de profundidades (Figura 5.13). Foi estabelecido o erro de 15% (nos parâmetros do *software*) para essas soluções, e índice estrutural 2, referente a um *pipe* ou diatrema.

Figura 5.13: Resultado das soluções da Deconvolução de Euler.

A média de todas as soluções para J2 foi 42 ± 6 m de estimativa de profundidade e para J1 foi 65 ± 9 m.

Dentro das limitações das técnicas e dos seus limites de variação, a Técnica da Meia Largura e a Deconvolução de Euler apresentaram resultados compatíveis entre si para a estimativa de profundidade do topo das fontes magnéticas.

5.4 Inversão do Vetor de Magnetização

Para a Inversão do Vetor de Magnetização, foi extraída uma área menor dentro da área de estudo contendo as anomalias J1 e J2 (Figura 5.14). Também foram extraídos 2 perfis (11 e 12), cortando essas anomalias para uma melhor exibição dos resultados.

Figura 5.14: Recorte dos dados seleccionados para a Inversão (retângulo azul). Perfis 11 e 12 para análise dos resultados.

A Inversão do Vetor de Magnetização gerou o modelo (Figura 5.15) da coordenada projetada na direção do campo magnético local (Eproj). Os ângulos de visada correspondem ao perfil 11 e 12 da Figura 5.14. A direção Y indica o Norte geográfico.

Figura 5.15: Vetor Eproj. a) Seção transversal do perfil 11 que intercepta J1 (vista de E-W). b) Seção transversal do perfil 12 que intercepta J2 (vista de W-E).

Nos resultados da inversão, valores negativos do vetor Eproj (escala de cor entre verde e azul), indicam que o vetor de magnetização, na direção do campo magnético local é negativo, ou seja, existe magnetização reversa a direção do campo magnético local.

A Figura 5.16 exibe os valores do vetor perpendicular ao campo local (Eperp).

Figura 5.16: Vetor E_{perp} . a) Seção transversal do perfil 11 que intercepta J1. b) Seção transversal do perfil 12 que intercepta J2. c) Valores de E_{perp} em 3D menores que $0,7 \times 10^{-3}$ (SI).

Valores altos para E_{perp} , maiores que $5,5 \times 10^{-3}(\text{SI})$, indicam magnetização induzida fraca. Valores baixos de E_{perp} , menores que $0,7 \times 10^{-3}(\text{SI})$, indicam magnetização primariamente induzida, como no caso da terceira imagem em perspectiva.

O vetor de magnetização foi plotado paralelo aos perfis 11 e 12 em contraste com as seções transversais de E_{perp} . A escala de cor de E_{perp} é a mesma da Figura 5.16 e a escala de magnitude do vetor de magnetização é plotada abaixo na Figura 5.17.

Figura 5.17: Vetor de Magnetização representado pelos cones, variando em amplitude pela escala de cor e tamanho. a) Visada do perfil 11. b) Visada do perfil 12.

O vetor de magnetização apresenta orientação principal de inclinação subvertical (apontado para baixo).

As soluções do modelo gerado pela inversão MVI que indicam amplitude equivalente a susceptibilidade magnética (SI), são exibidas na Figura 5.18.

Figura 5.18: Modelo de susceptibilidade magnética gerada pela inversão MVI.

O modelo de amplitude foi exibido com quatro isosuperfícies com valores de susceptibilidade magnética (SI). As fontes magnéticas responsáveis pelas anomalias J1 e J2 ficaram evidentes.

A isosuperfície de 8×10^{-3} (SI) conecta as fontes magnéticas referentes a J1 e J2 como uma única fonte, em aproximadamente 180 m de profundidade, sugerindo que tais fontes apresentam características físicas similares, podendo até mesmo fazer parte de um mesmo corpo.

A isosuperfície com valor de susceptibilidade magnética de 10×10^{-3} (SI) é exibida na Figura 5.19, juntamente com as soluções da Deconvolução de Euler. Também foi realizado um corte horizontal que intercepta as fontes magnéticas J1 e J2, as quais são exibidas com escala de susceptibilidade magnética sob a sombra do grid de Amplitude do Sinal Analítico.

Figura 5.19: a) Soluções da Deconvolução de Euler são plotadas com a isosuperfície de $10 \times 10^{-3}(\text{SI})$. b) Corte horizontal intercepta as fontes das anomalias J1 e J2, as quais são vistas por cima através do grid de ASA.

As profundidades do topo das fontes magnéticas apresentada no modelo da inversão são coerentes com as estimativas pela técnica da meia largura e da Deconvolução de Euler. Os limites laterais determinados a partir da Amplitude do Sinal Analítico englobam as fontes magnéticas com susceptibilidade de aproximadamente $10 \times 10^{-3}(\text{SI})$.

5.5 Correlação entre o modelo proposto e a geologia

A assinatura da Amplitude do Sinal Analítico apresentou anomalias aproximadamente circulares e elípticas. Segundo Mitchell (1986), este é o padrão para diatremas kimberlíticos.

Os valores de susceptibilidade magnética entre 8 e $20 \times 10^{-3}(\text{SI})$ delimitam a forma 3D de um corpo geológico equivalente a uma diatrema e esses valores são coerentes com a susceptibilidade medida e/ou estimada em outros corpos kimberlíticos (Macnae, 1979; Reed and Witherly, 2007). O corpo magnético correspondente a anomalia J2 apresenta os máximos de susceptibilidade um pouco inferiores a J1 (Figura 5.19.b). Na isosuperfície de $8 \times 10^{-3}(\text{SI})$ de susceptibilidade magnética o modelo é sugerido como uma única fonte magnética conectada em aproximadamente 180 metros de profundidade. Uma hipótese é caracterizar o corpo menor como um *Blow* da Diatrema Janjão (Figura 2.3).

Figura 5.20: *Blow* da Diatrema, baseada na Figura 2.3.

As rochas encaixantes da Formação Rio do Rasto são inferidas pelo modelo gerado onde a magnetização induzida é forte (Figura 5.16.c) e apresentam baixos valores de susceptibilidade magnética. Esses valores, menores que $0,7 \times 10^{-3}(\text{SI})$, são compatíveis para rochas sedimentares.

A análise do vetor Eproj do modelo de inversão sugere a presença de um corpo sob a forma de *pipe* com magnetização remanescente reversa, ou seja, na época da formação da rocha o campo magnético era invertido. Com base na análise do vetor de magnetização foi obtida uma direção de inclinação sub-vertical (para o vetor), em contrapartida ao campo atual de aproximadamente -38° . Essa orientação explica as anomalias reversas observadas nos mapas de Campo Magnético Anômalo, como resultante da componente vetorial entre a magnetização induzida e

a magnetização remanescente.

Considerando a premissa de campo magnético reverso, foi possível inferir idades mais precisas para a Diatrema Janjão, baseando-se na datação de Scheibe et al. (1985); Scheibe (1986), que estimou a idade entre 57,6 e 68,2 Ma. Neste intervalo de tempo, houve 5 reversões do campo geomagnético (observadas na Figura 5.21), demarcadas pelos Chrons 26 a 31 (Cande and Kent, 1995).

Figura 5.21: Detalhes da Tabela Cronoestratigráfica Internacional. A tabela completa consta no Anx 1.

A Tabela 5.1 indica os intervalos de tempo entre C26 e C31.

Tabela 5.1: Períodos de campo geomagnético normal e reverso.

Intervalo (Ma)	Polaridade do campo geomagnético
57,600-57,911	Normal
57,911-60,920	Reverso
60,920-61,276	Normal
61,276-62,499	Reverso
62,499-63,634	Normal
63,634-63,976	Reverso
63,976-64,745	Normal
64,745-65,578	Reverso
65,578-67,610	Normal
67,610-67,735	Reverso
67,735-68,200	Normal

Fonte: Adaptado de Cande and Kent (1995).

Assim sendo, a idade do kimberlito Janjão deve ser limitada apenas para as épocas de campo reverso, reduzindo assim a incerteza da idade de formação do mesmo de 10,6 para 5,5 Ma.

A intrusão da Diatrema Janjão provavelmente é o resultado da reativação de descontinuidade presente no embasamento da Bacia do Paraná, onde o magma kimberlítico intrudiu no Domo de Lages a partir a região de cruzamento das estruturas (fraturas/falhas) de orientação NE-SW e NW-SE que afetaram as rochas da Formação Serra Geral.

Capítulo 6 CONCLUSÕES

Com os dados de magnetometria terrestre adquiridos na área de estudo foi possível gerar os mapas de anomalias magnéticas. O processamento dos dados revelou duas anomalias bem demarcadas e de polarização reversa, sendo que uma das anomalias era prevista como resposta magnética da Diatrema Janjão e a outra não era conhecida com caráter dipolar, conforme apresentado neste trabalho. Com base no mapa de Amplitude do Sinal Analítico foi possível estimar os limites laterais e profundidades das fontes magnéticas.

O modelo gerado pela Técnica da Inversão do Vetor de Magnetização mostrou-se coerente com as informações extraídas dos mapas de anomalias magnéticas e com a geologia de diatremas kimberlíticas. Ainda foi possível estimar a direção de inclinação da magnetização aproximadamente sub-vertical.

Considera-se que os dois corpos magnéticos geradores das anomalias observadas sejam rochas kimberlíticas que se conectam na profundidade de aproximadamente 180 metros, sendo que o menor é um *Blow* da Diatrema Janjão. Os valores de susceptibilidade magnética estimados para as rochas encaixantes são compatíveis com as características físicas das rochas sedimentares da Formação Rio do Rasto. Para o Janjão, os valores de susceptibilidade são compatíveis com os valores encontrados na literatura para zonas intermediárias entre as fácies diatrema e hipoabissais, particularmente para as fácies hipoabissais.

Por fim, estima-se neste trabalho que a idade de formação do kimberlito Janjão se situe em épocas de campo magnético reverso, conforme a Tabela 5.1.

Capítulo 7 RECOMENDAÇÕES

A magnetometria foi uma técnica eficiente para detecção e caracterização geométrica da Diatrema Janjão, apesar disso, o uso de duas ou mais técnicas geofísicas podem melhorar significativamente a sua interpretação.

Para trabalhos futuros, com o objetivo de detectar e caracterizar corpos kimberlíticos por meio da geofísica, recomenda-se o uso adicional da gravimetria e técnicas eletromagnéticas. Trabalhos de prospecção geofísica, muitas vezes encontram dificuldades em acessar algumas áreas devido a presença de vegetação densa ou declividade acentuada do terreno. Por conta disso, o emprego de magnetometria por drone também é uma recomendação válida antes de se utilizar outras técnicas terrestres (Coelho et al., 2018).

Na região de Lages ainda são mencionadas 16 ocorrências kimberlíticas (Figura 7.1), as quais podem ser investigadas em trabalhos futuros, e dessa forma contribuir para um melhor conhecimento sobre as rochas do Distrito Kimberlítico de Lages.

Figura 7.1: Mapa da indicação de ocorrências kimberlíticas baseadas na Figura 2.5. Fonte: Adaptado de Scheibe (1986); Cabral Neto et al. (2017).

REFERÊNCIAS

- Almeida, F. F. M. d. (1981). Síntese sobre a tectônica da Bacia do Paraná. *Simpósio Regional de Geologia*, 3(1981):1–20.
- Barabino, G., Gomes, C. B., and Traversa, G. (2007). The Lages diatremes: mineral composition and petrological implications. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 79(3):473–501.
- Barbosa, R. D. and Pereira, J. G. (2013). Inversão 3D de dados Magnéticos na Região de Mara Rosa-Goiás, Brasil, utilizando Geosoft VOXI. In *13th International Congress of the Brazilian Geophysical Society & EXPOGEF, Rio de Janeiro, Brazil, 26–29 August 2013*, pages 520–525. Society of Exploration Geophysicists and Brazilian Geophysical Society.
- Beckhauser, R. et al. (2015). Estruturas deformacionais nas unidades Gondwânicas da Bacia do Paraná no Domo de Lages-SC. Master's thesis, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Bitencourt, M. d. F., Hackspacher, P. C., and Nardi, L. V. S. (1989). A zona de cisalhamento major gercino-santa catarina. *Simp. Nac. Est. Tect.*, 2:214–215.
- Blakely, R. J. (1996). *Potential theory in gravity and magnetic applications*. Cambridge university press.
- Briggs, I. C. (1974). Machine contouring using minimum curvature. *Geophysics*, 39(1):39–48.
- Cabral Neto, I., Nannini, F., Silveira, F. V., Cunha, L. M., Bezerra, A. K., and Souza, W. S. (2017). *Mapa das áreas kimberlíticas e diamantíferas dos Estados de Roraima, Pará, Piauí, Rio Grande do Norte, Santa Catarina e Rio Grande do Sul*. CPRM.
- Cande, S. C. and Kent, D. V. (1995). Revised calibration of the geomagnetic polarity timescale for the Late Cretaceous and Cenozoic. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 100(B4):6093–6095.
- Coelho, D. C., Prieto, R. F., and Kirklewski, D. B. (2018). *Análise do potencial de aquisição de dados magnetométricos por Veículo Aéreo Não Tripulado*, volume 105, pages 19–21. Boletim SBGf.
- Comin-Chiaramonti, P., Gomes, C. B., Castorina, F., Censi, P. d., Antonini, P., Furtado, S., Ruberti, E., and Scheibe, L. F. (2002). Geochemistry and geodynamic implications of the Anitápolis and Lages alkaline-carbonatite complexes, Santa Catarina State, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 32(1):43–58.
- Cordani, R. and Shukowsky, W. (2009). Magnetização remanescente: um parâmetro crucial para a interpretação e modelamento de anomalias magnéticas em território brasileiro. *Revista Brasileira de Geofísica*, 27(4):659–667.

- Costa, V. S. et al. (1996). Estudos mineralógicos e químicos do kimberlito Batovi 6 (MT) em comparação com as intrusões Três Ranchos 4 (GO) e Limeira 1 (MG). Master's thesis, Universidade de Campinas.
- Cunha, L. M., Cabral Neto, I., Silveira, F. V., and Nannini, F. (2017). *Apresentação dos resultados do Projeto Diamante Brasil*. CPRM.
- Dentith, M. and Mudge, S. T. (2014). *Geophysics for the mineral exploration geoscientist*. Cambridge University Press.
- DNPM/MME (2018). *Anuário Estatístico do setor de transformação de não metálicos*.
- Ellis, R. G., de Wet, B., and Macleod, I. N. (2012). Inversion of magnetic data for remanent and induced sources. *ASEG Extended Abstracts*, 2012(1):1–4.
- Ferreira, F. J. F., de Souza, J., de Barros, A., Bongioiolo, S., de Castro, L. G., and Romeiro, M. A. T. (2010). Realce do gradiente horizontal total de anomalias magnéticas usando a inclinação do sinal analítico. Parte I-Aplicação a dados sintéticos. In *IV Simpósio Brasileiro de Geofísica*.
- Field, M., Stiefenhofer, J., Robey, J., and Kurszlaukis, S. (2008). Kimberlite-hosted diamond deposits of southern Africa: a review. *Ore Geology Reviews*, 34(1-2):33–75.
- Ford, K., Keating, P., and Thomas, M. (2007). Overview of geophysical signatures associated with canadian ore deposits. *Mineral deposits of Canada—a synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication*, 5:939–970.
- Furtado, S. M. A., Scheibe, L. F., et al. (1989). Ocorrência de lamprófiro associados aos distritos alcalinos de Lages e de Anitápolis, SC. *Geochim. Brasil*, 3(2):149–160.
- GEM-Systems (2008). *GSM-19 v7.0 Instruction Manual*.
- Gunn, P. (1997). Application of aeromagnetic surveys to sedimentary basin studies. *Journal of Australian Geology and Geophysics*, 17:133–144.
- Hartmann, G. A. (2005). *A anomalia magnética do Atlântico Sul: causas e efeitos*. PhD thesis, Universidade de São Paulo.
- Jacques, P., Machado, R., and Nummer, A. (2010). Lineamentos estruturais na borda leste da Bacia do Paraná em Santa Catarina: análise multiescala com base em imagens LANDSAT e SRTM. *Pesquisas em Geociências*, 37(2):117–131.
- Jacques, P. D., Machado, R., and Nummer, A. R. (2012). A comparison for a multiscale study of structural lineaments in southern Brazil: LANDSAT-7 ETM+ and shaded relief images from SRTM3-DEM. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 84(4):931–942.

- Jacques, P. D., Machado, R., Oliveira, R. G. d., Ferreira, F. J. F., Castro, L. G. d., and Nummer, A. R. (2014). Correlation of lineaments (magnetic and topographic) and Phanerozoic brittle structures with Precambrian shear zones from the basement of the Paraná Basin, Santa Catarina State, Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, 44(1):39–54.
- Kearey, P., Brooks, M., and Hill, I. (2009). *Geofísica de exploração*. Oficina de textos.
- Kennedy, C. S. and Kennedy, G. C. (1976). The equilibrium boundary between graphite and diamond. *Journal of Geophysical Research*, 81(14):2467–2470.
- Kubota, R. and Uchiyama, A. (2005). Three-dimensional magnetization vector inversion of a seamount. *Earth, planets and space*, 57(8):691–699.
- Lelièvre, P. G. and Oldenburg, D. W. (2009). A 3D total magnetization inversion applicable when significant, complicated remanence is present. *Geophysics*, 74(3):L21–L30.
- Li, X. (2006). Understanding 3D analytic signal amplitude. *Geophysics*, 71(2):L13–L16.
- Luiz, G. S. (2013). *Geofísica na prospecção mineral: Guia para aplicação*, pages 37–48. Rio de Janeiro: SBGf.
- Machado, R., Roldan, L. F., Jacques, P. D., Fassbinder, E., and Nummer, A. R. (2012). *Tectônica transcorrente Mesozoica-Cenozoica no Domo de Lages–Santa Catarina*.
- Machado, R. and Teixeira, W. (2008). Idades ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) do magmatismo alcalino do distrito alcalino de Lages, SC. In *Simpósio sobre Vulcanismo e Ambientes Associados*, Anais. Coluna do Saber.
- Macnae, J. C. (1979). Kimberlites and exploration geophysics. *Geophysics*, 44(8):1395–1416.
- Magalhães, L. A., de Souza Filho, C. R., and Silva, A. M. (2016). Caracterização geológica–geofísica da porção central do Amapá com base em processamento e interpretação de dados aerogeofísicos. *Revista Brasileira de Geociências*, 37(3):464–477.
- McEnroe, S. A., Fabian, K., Robinson, P., Gaina, C., and Brown, L. L. (2009). Crustal magnetism, lamellar magnetism and rocks that remember. *Elements*, 5(4):241–246.
- Mitchell, R. (1986). *Kimberlites: Mineralogy, Geochemistry, and Petrology*. Plenum Press, New York.
- Mitchell, R. H. (1989). Aspects of the petrology of kimberlites and lamproites: some definitions and distinctions. *Kimberlites and related rocks: Their composition, occurrence, origin and emplacement*, 1:7–45.
- Mitchell, R. H. (1991). Kimberlites and lamproites: Primary sources of diamond. *Geoscience Canada*, 18(1).

- Nabighian, M. N. (1972). The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: its properties and use for automated anomaly interpretation. *Geophysics*, 37(3):507–517.
- Nabighian, M. N. (1974). Additional comments on the analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section. *Geophysics*, 39(1):85–92.
- NOAA/NCEI (2019). *Maps of Magnetic Elements from the WMM2015v2*. Acessado em Fevereiro de 2019 <<https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/image.shtml>>.
- Oliveira, S. M. B. (1985). Gênese da bauxita de Lages-SC. *Boletim IG-USP. Série Científica*, 16:46–81.
- Paiva, G. d. (1933). Geologia do município de Lages, Santa Catarina. *Serv Geol Mineral Agric Bol*, 69:23.
- Parro, P. (1998). Magnetometria e gamaespectrometria aerotransportadas na interpretação geológico-estrutural da região dos rios Juruena e Teles Pires–MT. Master's thesis, Universidade de Brasília.
- Paterson, N. R. and Reeves, C. V. (1985). Applications of gravity and magnetic surveys: The state-of-the-art in 1985. *Geophysics*, 50(12):2558–2594.
- Philipp, R. P., Mallmann, G., Bitencourt, M. d. F., de Souza, E. R., de Souza, M. M., de Liz, J. D., Wild, F., Arendt, S., de Oliveira, A. S., Duarte, L., et al. (2016). Caracterização litológica e evolução metamórfica da porção leste do Complexo Metamórfico Brusque, Santa Catarina. *Revista Brasileira de Geociências*, 34(1):21–34.
- Reed, L. E. and Witherly, K. E. (2007). 50 years of kimberlite geophysics: A review. In *Proceedings of Exploration 07: Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration*, pages 679–689.
- Reid, A. B., Allsop, J. M., Granser, H., Millett, A. J., and Somerton, I. W. (1990). Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution. *Geophysics*, 55(1):80–91.
- Roest, W. R., Verhoef, J., and Pilkington, M. (1992). Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal. *Geophysics*, 57(1):116–125.
- Roldan, L. F. (2007). Tectônica rúptil meso-cenozóica na região do domo de lages, sc. Master's thesis, Universidade de São Paulo.
- Santos, R. P. Z. d. (2014). *Análise multivariada de dados aerogamaespectrométricos, aeromagnéticos e sensoriamento remoto como auxiliar na prospecção de minerais metálicos na região da Bacia do Camaquã-RS*. PhD thesis, Universidade de São Paulo.

- Scheibe, L. F. (1978). O kimberlito "Janjão", Lages, Santa Catarina, Brasil. *Painel de Pesquisas da UFSC*.
- Scheibe, L. F. (1980). Distrito alcalino de Lages-SC. *SBG, Congr. Bras. Geol*, 31:25–31.
- Scheibe, L. F. (1986). *Geologia e petrologia do distrito alcalino de Lages, SC*. PhD thesis, Universidade de São Paulo.
- Scheibe, L. F. and Formoso, M. L. L. (2018). Contribuição da geoquímica das terras raras à caracterização dos carbonatitos da Fazenda Varela, Lages, SC. *Revista Brasileira de Geociências*, 12(4):553–561.
- Scheibe, L. F., Kawashita, K., and Gomes, C. B. (1985). Contribuição à geocronologia do Complexo Alcalino de Lages, SC. In *Anais. Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia*.
- Shearer, S. and Li, Y. (2004). 3D inversion of magnetic total gradient data in the presence of remanent magnetization. In *SEG Technical Program Expanded Abstracts 2004*, pages 774–777. Society of Exploration Geophysicists.
- Silva, L. C. d. (1991). O Cinturão Metavulcanossedimentar Brusque e a evolução policíclica das faixas dobradas Proterozóicas no sul do Brasil: uma revisão. *Revista Brasileira de Geociências*, 21:60–73.
- Sparks, R. S. J. (2013). Kimberlite volcanism. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 41:497–528.
- Svisero, D. P., Haralyi, N. L. E., and Scheibe, L. F. (1985). Magnetometry, radiometry and gamma-spectrometry of the Janjao diatreme, Lages, State of Santa Catarina, Brazil. In *Geology South Brazilian Symposium; Florianopolis, SC (Brazil)*, Anais.
- Telford, W. M., Telford, W., Geldart, L., Sheriff, R. E., and Sheriff, R. E. (1990). *Applied geophysics*, volume 1. Cambridge university press.
- Thompson, D. T. (1982). EULDPH: A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data. *Geophysics*, 47(1):31–37.
- Traversa, G., Scheibe, L., Barbieri, M., Beccaluva, L., Coltorti, M., Conte, A., Garbarino, C., Gomes, C., Macciotta, G., Morbidelli, L., et al. (1994). Petrology and mineral chemistry of the alkaline district of Lages, SC, Brazil. *Geochimica Brasiliensis*, 8:179–214.
- Walker, J. D., Geissman, J. W., Bowring, S. A., and Babcock, L. E. (2013). The Geological Society of America geologic time scale. *Bulletin*, 125(3-4):259–272.
- Zhang, J. (2001). An analysis of the accuracy of magnetic source-body geometry determined from the 3-D analytic signal. *Geophysics*, 66(2):579–581.

ANEXO 1: Tabela Cronoestratigráfica Internacional

Figura An.1: Tabela Cronoestratigráfica Internacional (últimos 250 Ma) v. 5.0. Fonte: Walker et al. (2013).

ANEXO 2: Mapa de Inclinação e Declinação Magnética

Figura An.2: Inclinação do Campo Magnético (acima). Declinação do Campo Magnético (abaixo). Intervalo de contorno de dois graus, em vermelho indica-se valores positivos, em azul negativos e o verde representa o zero. Projeção de Mercator. Fonte: Adaptado de NOAA/NCEI (2019).

APÊNDICE: Dados magnetométricos da área de estudo

Tabela Ap.1: Dados magnetométricos da área de estudo. Dados espúrios, *spikes* e fora da área de interesse foram removidos. Os dados foram corrigidos da variação magnética diurna.

FID	LONG	LAT	CMT	FID	LONG	LAT	CMT	FID	LONG	LAT	CMT
1	-50.2881875	-27.7673100	22498.259	349	-50.2823686	-27.7666437	22479.481	697	-50.2818726	-27.7662748	22488.507
2	-50.2881042	-27.7673480	22499.244	350	-50.2824425	-27.7666261	22477.330	698	-50.2819669	-27.7661818	22487.620
3	-50.2879916	-27.7673856	22499.910	351	-50.2825052	-27.7666257	22475.371	699	-50.2820198	-27.7660716	22486.627
4	-50.2878929	-27.7673753	22499.548	352	-50.2825820	-27.7666347	22474.153	700	-50.2820356	-27.7659342	22486.406
5	-50.2878199	-27.7673749	22500.920	353	-50.2826614	-27.7666402	22472.065	701	-50.2820181	-27.7658005	22487.464
6	-50.2877448	-27.7673766	22501.250	354	-50.2827477	-27.7666261	22467.799	702	-50.2820211	-27.7656712	22487.104
7	-50.2876394	-27.7674180	22501.179	355	-50.2828271	-27.7666078	22464.110	703	-50.2820484	-27.7655312	22487.129
8	-50.2875032	-27.7674539	22501.288	356	-50.2829227	-27.7665886	22459.501	704	-50.2820425	-27.7653912	22488.104
9	-50.2873948	-27.7674552	22501.153	357	-50.2830166	-27.7665771	22454.380	705	-50.2820288	-27.7652674	22487.950
10	-50.2871758	-27.7676227	22501.911	358	-50.2831075	-27.7665715	22449.467	706	-50.2820288	-27.7651325	22487.601
11	-50.2870622	-27.7675777	22502.467	359	-50.2831793	-27.7665173	22446.548	707	-50.2820305	-27.7650048	22489.650
12	-50.2869320	-27.7676592	22503.193	360	-50.2832591	-27.7664742	22443.577	708	-50.2820834	-27.7648874	22489.620
13	-50.2867783	-27.7677002	22496.225	361	-50.2833479	-27.7664387	22439.907	709	-50.2821569	-27.7647777	22489.350
14	-50.2867254	-27.7676404	22491.334	362	-50.2834354	-27.7664046	22436.716	710	-50.2822704	-27.7647116	22489.216
15	-50.2865696	-27.7676724	22486.490	363	-50.2835246	-27.7663798	22433.442	711	-50.2823959	-27.7646492	22488.947
16	-50.2864663	-27.7676891	22479.192	364	-50.2836121	-27.7663529	22430.310	712	-50.2825321	-27.7646292	22488.216
17	-50.2863352	-27.7677454	22469.117	365	-50.2837018	-27.7663286	22427.774	713	-50.2826730	-27.7646147	22487.560
18	-50.2854657	-27.7681638	22646.483	366	-50.2837935	-27.7662992	22425.891	714	-50.2828147	-27.7646458	22486.550
19	-50.2853649	-27.7682129	22695.652	367	-50.2838734	-27.7662684	22424.438	715	-50.2829329	-27.7647218	22484.740
20	-50.2852518	-27.7682692	22699.176	368	-50.2839511	-27.7662458	22422.420	716	-50.2830584	-27.7648127	22483.370
21	-50.2851404	-27.7683538	22674.450	369	-50.2840309	-27.7662146	22422.123	717	-50.2831600	-27.7648853	22481.779
22	-50.2851271	-27.7684225	22654.676	370	-50.2841218	-27.7661882	22420.757	718	-50.2832821	-27.7649609	22479.454
23	-50.2850392	-27.7685155	22644.325	371	-50.2842115	-27.7661638	22419.560	719	-50.2834059	-27.7650351	22477.617
24	-50.2850904	-27.7685288	22648.202	372	-50.2842977	-27.7661378	22418.683	720	-50.2835430	-27.7651039	22475.905
25	-50.2851310	-27.7685339	22655.360	373	-50.2843929	-27.7661203	22417.520	721	-50.2836766	-27.7651645	22473.114
26	-50.2851835	-27.7685442	22664.650	374	-50.2844697	-27.7661045	22417.100	722	-50.2838012	-27.7652277	22469.776
27	-50.2852501	-27.7685561	22673.320	375	-50.2845436	-27.7660878	22416.528	723	-50.2839259	-27.7652972	22466.084
28	-50.2852962	-27.7685809	22682.550	376	-50.2846426	-27.7660678	22415.821	724	-50.2841035	-27.7653562	22461.892
29	-50.2852966	-27.7685540	22659.030	377	-50.2847391	-27.7660447	22415.814	725	-50.2842315	-27.7654458	22457.636
30	-50.2852625	-27.7685202	22680.392	378	-50.2848245	-27.7660140	22417.507	726	-50.2843528	-27.7655320	22453.907
31	-50.2853030	-27.7684408	22701.885	379	-50.2848983	-27.7659854	22418.973	727	-50.2844650	-27.7656012	22449.819
32	-50.2852962	-27.7683320	22696.182	380	-50.2849709	-27.7659653	22420.126	728	-50.2846059	-27.7656490	22446.700
33	-50.2852902	-27.7682684	22685.850	381	-50.2850396	-27.7659512	22421.512	729	-50.2847557	-27.7656985	22442.800
34	-50.2877892	-27.7676421	22498.564	382	-50.2851067	-27.7659372	22421.677	730	-50.2848953	-27.7657327	22440.300
35	-50.2878242	-27.7675952	22498.666	383	-50.2851523	-27.7659013	22422.184	731	-50.2850264	-27.7656712	22443.020
36	-50.2877896	-27.7674142	22498.990	384	-50.2852347	-27.7658855	22426.650	732	-50.2851925	-27.7656157	22446.100
37	-50.2877393	-27.7672648	22507.934	385	-50.2853239	-27.7658723	22428.497	733	-50.2851929	-27.7656161	22446.230
38	-50.2876701	-27.7670816	22518.760	386	-50.2857342	-27.7660533	22424.496	734	-50.2853833	-27.7656038	22446.690
39	-50.2876479	-27.7670223	22531.980	387	-50.2857256	-27.7661250	22424.879	735	-50.2861461	-27.7660968	22442.560
40	-50.2876236	-27.7669476	22552.904	388	-50.2857188	-27.7662082	22416.890	736	-50.2861628	-27.7660964	22443.673
41	-50.2875894	-27.7668558	22590.560	389	-50.2857717	-27.7662791	22411.954	737	-50.2862652	-27.7660977	22448.666
42	-50.2875412	-27.7667943	22633.988	390	-50.2858430	-27.7663192	22408.459	738	-50.2863916	-27.7661160	22449.271
43	-50.2875275	-27.7667196	22719.440	391	-50.2859280	-27.7663491	22410.107	739	-50.2865158	-27.7661442	22453.800
44	-50.2875250	-27.7666582	22826.778	392	-50.2860112	-27.7663892	22415.900	740	-50.2866349	-27.7661156	22452.370
45	-50.2875151	-27.7664554	22313.220	393	-50.2860834	-27.7664259	22423.800	741	-50.2867241	-27.7661220	22445.771
46	-50.2874212	-27.7664311	21703.033	394	-50.2861500	-27.7664588	22428.707	742	-50.2868731	-27.7661412	22427.332
47	-50.2874217	-27.7664311	21703.648	395	-50.2862238	-27.7664874	22440.050	743	-50.2869807	-27.7661762	22388.284
48	-50.2873956	-27.7663862	21330.990	396	-50.2862221	-27.7664874	22439.887	744	-50.2871211	-27.7661963	22167.926
49	-50.2873879	-27.7663470	21253.766	397	-50.2862947	-27.7665143	22467.931	745	-50.2872449	-27.7661941	21692.740
50	-50.2873849	-27.7662970	21273.972	398	-50.2862955	-27.7665143	22467.772	746	-50.2873563	-27.7661941	21438.268
51	-50.2873726	-27.7662454	21362.420	399	-50.2863809	-27.7665416	22480.442	747	-50.2874793	-27.7661839	21760.074
52	-50.2873598	-27.7661937	21599.985	400	-50.2864642	-27.7665613	22478.280	748	-50.2876022	-27.7661664	22229.000
53	-50.2873598	-27.7661937	21601.460	401	-50.2865559	-27.7665771	22493.455	749	-50.2876923	-27.7661643	22306.688
54	-50.2873461	-27.7661519	21834.696	402	-50.2865559	-27.7665766	22493.496	750	-50.2877960	-27.7661617	22386.486
55	-50.2873444	-27.7661468	21832.824	403	-50.2866481	-27.7665835	22506.280	751	-50.2879053	-27.7661331	22434.055
56	-50.2873316	-27.7660921	22039.710	404	-50.2867109	-27.7665728	22509.333	752	-50.2880108	-27.7661036	22454.826
57	-50.2873316	-27.7660921	22036.793	405	-50.2867741	-27.7665826	22529.300	753	-50.2881363	-27.7661007	22473.776
58	-50.2873055	-27.7660289	22182.370	406	-50.2867741	-27.7665830	22528.794	754	-50.2882182	-27.7661361	22487.070
59	-50.2873055	-27.7660289	22183.290	407	-50.2868701	-27.7665911	22583.027	755	-50.2883160	-27.7661515	22467.848
60	-50.2872731	-27.7659632	22268.302	408	-50.2868731	-27.7665907	22582.653	756	-50.2882485	-27.7661625	22475.934
61	-50.2872565	-27.7659060	22319.806	409	-50.2837137	-27.7681553	22633.854	757	-50.2881375	-27.7661122	22468.834
62	-50.2872321	-27.7658454	22357.892	410	-50.2837154	-27.7681557	22633.993	758	-50.2880449	-27.7660443	22456.236
63	-50.2872125	-27.7657907	22382.700	411	-50.2836642	-27.7682428	22615.316	759	-50.2880112	-27.7659683	22445.947
64	-50.2871792	-27.7657442	22397.234	412	-50.2836646	-27.7682428	22615.318	760	-50.2880782	-27.7658851	22465.084
65	-50.2871395	-27.7657984	22386.620	413	-50.2836249	-27.7683713	22589.969	761	-50.2881388	-27.7658232	22469.082
66	-50.2870870	-27.7658582	22376.588	414	-50.2836241	-27.7683691	22589.844	762	-50.2881952	-27.7657604	22471.640
67	-50.2870157	-27.7659150	22373.505	415	-50.2835336	-27.7684865	22570.196	763	-50.2882707	-27.7657604	22474.191
68	-50.2869734	-27.7659675	22370.267	416	-50.2835331	-27.7684865	22570.160	764	-50.2882959	-27.7656682	22475.644

Tabela Ap.1 continuação da pagina anterior

FID	LONG	LAT	CMT		FID	LONG	LAT	CMT		FID	LONG	LAT	CMT
69	-50.2870204	-27.7660396	22335.600		417	-50.2834704	-27.7685847	22556.519		765	-50.2883348	-27.7656639	22475.672
70	-50.2870439	-27.7660874	22304.106		418	-50.2834704	-27.7685843	22556.640		766	-50.2883019	-27.7656213	22475.321
71	-50.2870703	-27.7661485	22249.790		419	-50.2833991	-27.7686872	22544.027		767	-50.2882554	-27.7655658	22475.063
72	-50.2870921	-27.7662078	22167.030		420	-50.2833329	-27.7687922	22537.753		768	-50.2882477	-27.7654650	22473.782
73	-50.2871173	-27.7662646	22050.520		421	-50.2832838	-27.7688724	22536.808		769	-50.2882844	-27.7653557	22476.602
74	-50.2871318	-27.7662949	21981.832		422	-50.2831507	-27.7689911	22533.360		770	-50.2883198	-27.7653382	22479.552
75	-50.2873978	-27.7662992	21292.081		423	-50.2830559	-27.7690893	22528.834		771	-50.2883839	-27.7653088	22479.730
76	-50.2874579	-27.7663128	21450.707		424	-50.2829761	-27.7691845	22526.850		772	-50.2883565	-27.7651871	22480.035
77	-50.2874682	-27.7663414	21434.770		425	-50.2830947	-27.7692733	22519.575		773	-50.2883681	-27.7650970	22480.426
78	-50.2874626	-27.7663871	21517.489		426	-50.2830777	-27.7693881	22521.922		774	-50.2883783	-27.7651017	22481.260
79	-50.2874289	-27.7664298	21456.776		427	-50.2830777	-27.7693881	22522.193		775	-50.2883903	-27.7650100	22481.542
80	-50.2876056	-27.7664294	22110.674		428	-50.2830666	-27.7695239	22508.486		776	-50.2883006	-27.7646612	22481.790
81	-50.2876509	-27.7664247	22469.342		429	-50.2830670	-27.7695234	22508.271		777	-50.2881324	-27.7645588	22480.886
82	-50.2876983	-27.7664123	22630.430		430	-50.2829329	-27.7694923	22502.180		778	-50.2879023	-27.7646804	22477.127
83	-50.2878234	-27.7657638	22432.780		431	-50.2827934	-27.7694538	22482.487		779	-50.2878567	-27.7646753	22476.460
84	-50.2876987	-27.7656814	22429.290		432	-50.2827934	-27.7694543	22482.633		780	-50.2877384	-27.7647961	22473.900
85	-50.2875916	-27.765871	22431.600		433	-50.2827285	-27.7693578	22507.743		781	-50.2877393	-27.7648055	22473.760
86	-50.2874276	-27.7654808	22436.813		434	-50.2827289	-27.7693582	22507.473		782	-50.2877662	-27.7648930	22473.490
87	-50.2873068	-27.7654296	22439.964		435	-50.2826491	-27.7692579	22509.766		783	-50.2876868	-27.7649737	22471.520
88	-50.2872530	-27.7653835	22442.954		436	-50.2825236	-27.7691969	22507.352		784	-50.2875617	-27.7649754	22470.198
89	-50.2871988	-27.7653532	22444.423		437	-50.2823460	-27.7691465	22521.363		785	-50.2874473	-27.7649890	22468.223
90	-50.2871954	-27.7652746	22448.646		438	-50.2823460	-27.7691465	22521.540		786	-50.2874477	-27.7649886	22468.423
91	-50.2871702	-27.7651688	22449.206		439	-50.2821923	-27.7691149	22514.103		787	-50.2873179	-27.7649971	22468.170
92	-50.2871506	-27.7650787	22458.347		440	-50.2820049	-27.7690214	22506.165		788	-50.2871864	-27.7650112	22469.500
93	-50.2871506	-27.7650223	22463.618		441	-50.2818687	-27.7689412	22509.438		789	-50.2870434	-27.7650228	22458.090
94	-50.2872488	-27.7650219	22464.750		442	-50.2817594	-27.7689591	22503.041		790	-50.2869111	-27.7650138	22459.602
95	-50.2873909	-27.7650082	22463.328		443	-50.2815289	-27.7689907	22502.074		791	-50.2867540	-27.7650027	22460.430
96	-50.2875544	-27.7650142	22464.454		444	-50.2812975	-27.7690299	22500.910		792	-50.2866294	-27.7650198	22460.570
97	-50.2870951	-27.7649045	22466.444		445	-50.2811507	-27.7690829	22498.253		793	-50.2865196	-27.7650292	22460.840
98	-50.2871087	-27.7649771	22466.468		446	-50.2809731	-27.7691371	22500.400		794	-50.2864180	-27.7650744	22459.936
99	-50.2871254	-27.7651325	22471.945		447	-50.2808143	-27.7692045	22502.009		795	-50.2862742	-27.7650706	22460.370
100	-50.2870498	-27.7652456	22450.350		448	-50.2806811	-27.7692656	22492.517		796	-50.2861256	-27.7650586	22459.140
101	-50.2870093	-27.7653024	22449.097		449	-50.2805518	-27.7692370	22503.520		797	-50.2860718	-27.7649668	22458.490
102	-50.2869760	-27.7653724	22447.009		450	-50.2804527	-27.7692553	22491.633		798	-50.2860919	-27.7648943	22462.884
103	-50.2869602	-27.7654292	22444.961		451	-50.2802884	-27.7692071	22493.479		799	-50.2859976	-27.7648179	22465.530
104	-50.2867502	-27.7655086	22445.653		452	-50.2802235	-27.7690398	22497.045		800	-50.2860061	-27.7647530	22468.740
105	-50.2866012	-27.7655611	22446.410		453	-50.2801467	-27.7688835	22492.162		801	-50.2863455	-27.7645374	22471.700
106	-50.2856296	-27.7657442	22439.530		454	-50.2800549	-27.7686765	22491.184		802	-50.2862797	-27.7644285	22467.160
107	-50.2856253	-27.7657412	22439.550		455	-50.2799319	-27.7685561	22490.894		803	-50.2862789	-27.7644298	22466.190
108	-50.2855126	-27.7657775	22435.921		456	-50.2800604	-27.7684857	22491.020		804	-50.2861308	-27.7644567	22466.678
109	-50.2854225	-27.7658531	22430.312		457	-50.2800600	-27.7684861	22491.083		805	-50.2860266	-27.7643457	22468.197
110	-50.2853192	-27.7659299	22425.108		458	-50.2803067	-27.7683777	22492.215		806	-50.2858938	-27.7642134	22469.560
111	-50.2852403	-27.7659914	22419.256		459	-50.2804869	-27.7682530	22492.070		807	-50.2857730	-27.7640917	22469.238
112	-50.2851570	-27.7660631	22414.110		460	-50.2806209	-27.7681510	22493.194		808	-50.2856607	-27.7640315	22468.489
113	-50.2850725	-27.7661280	22406.505		461	-50.2807605	-27.7680622	22493.584		809	-50.2856006	-27.7639598	22467.170
114	-50.2850332	-27.7662044	22398.854		462	-50.2810888	-27.7678846	22493.805		810	-50.2852731	-27.7638753	22473.680
115	-50.2849794	-27.7662509	22393.249		463	-50.2810867	-27.7678850	22493.883		811	-50.2851711	-27.7639555	22470.438
116	-50.2849047	-27.7663325	22383.490		464	-50.2812587	-27.7678308	22493.937		812	-50.2850691	-27.7639871	22475.138
117	-50.2848753	-27.7663717	22378.594		465	-50.2814901	-27.7677894	22494.000		813	-50.2849530	-27.7640559	22475.212
118	-50.2847771	-27.7664614	22365.630		466	-50.2816689	-27.7677898	22494.529		814	-50.2848044	-27.7639846	22476.894
119	-50.2847003	-27.7665566	22351.870		467	-50.2818401	-27.7677886	22496.914		815	-50.2846652	-27.7639841	22477.190
120	-50.2846251	-27.7666244	22344.154		468	-50.2818580	-27.7676806	22496.350		816	-50.2845380	-27.7640345	22477.460
121	-50.2845210	-27.7666334	22349.921		469	-50.2818388	-27.7674586	22493.643		817	-50.2845547	-27.7641707	22477.580
122	-50.2843617	-27.7665519	22372.054		470	-50.2819789	-27.7672635	22491.892		818	-50.2844236	-27.7641895	22478.550
123	-50.2842657	-27.7666010	22371.375		471	-50.2821842	-27.7673109	22492.426		819	-50.2844155	-27.7642159	22478.780
124	-50.2841269	-27.7666078	22378.082		472	-50.2823665	-27.7672836	22489.828		820	-50.2843092	-27.7642219	22478.850
125	-50.2839780	-27.7666321	22382.510		473	-50.2825628	-27.7672622	22484.743		821	-50.2841914	-27.7642774	22479.750
126	-50.2838559	-27.7667184	22377.934		474	-50.2827404	-27.7672524	22476.408		822	-50.2841423	-27.7642825	22480.940
127	-50.2836655	-27.7666620	22399.321		475	-50.2829107	-27.7672490	22462.047		823	-50.2840877	-27.7642437	22481.499
128	-50.2835267	-27.7666428	22412.029		476	-50.2830691	-27.7672336	22439.816		824	-50.2840006	-27.7642138	22481.350
129	-50.2833965	-27.7666629	22420.380		477	-50.2832326	-27.7672199	22405.512		825	-50.2839272	-27.7642471	22482.330
130	-50.2832497	-27.7666876	22430.969		478	-50.2833564	-27.7672042	22366.847		826	-50.2837649	-27.7642424	22481.350
131	-50.2831327	-27.7667073	22440.340		479	-50.2834764	-27.7671768	22331.826		827	-50.2836945	-27.7641148	22482.420
132	-50.2830085	-27.7667090	22449.416		480	-50.2836283	-27.7671286	22294.339		828	-50.2837193	-27.7640034	22483.970
133	-50.2829142	-27.7667243	22455.131		481	-50.2837598	-27.7670927	22266.176		829	-50.2836727	-27.7639637	22486.330
134	-50.2827925	-27.7666808	22462.312		482	-50.2838772	-27.7670629	22267.076		830	-50.2836168	-27.7639069	22486.776
135	-50.2826905	-27.7666932	22467.344		483	-50.2840207	-27.7670317	22286.426		831	-50.2834499	-27.7638996	22487.252
136	-50.2825342	-27.7670765	22478.558		484	-50.2841812	-27.7670219	22300.239		832	-50.2833568	-27.7639312	22487.914
137	-50.2825492	-27.7671773	22480.629		485	-50.2843447	-27.7670108	22298.519		833	-50.2832160	-27.7639628	22488.587
138	-50.2825803	-27.7672772	22482.512		486	-50.2844732	-27.7669997	22284.518		834	-50.2831413	-27.7640162	22488.610
139	-50.2826512	-27.7673625	22483.250		487	-50.2846426	-27.7669698	22257.011		835	-50.2830405	-27.7641272	22488.559
140	-50.2828527	-27.7673741	22470.804		488	-50.2848236	-27.7669267	22226.836		836	-50.2828412	-27.7642006	22487.432
141	-50.2830000	-27.7674082	22455.430		489	-50.2850068	-27.7668857						

Tabela Ap.1 continuação da pagina anterior

FID	LONG	LAT	CMT		FID	LONG	LAT	CMT		FID	LONG	LAT	CMT
144	-50.2835895	-27.7673023	22231.081		492	-50.2855882	-27.7667952	22349.147		840	-50.2823310	-27.7645101	22489.851
145	-50.2837282	-27.7672703	22171.084		493	-50.2857615	-27.7668003	22363.644		841	-50.2821539	-27.7645592	22490.047
146	-50.2839899	-27.7671875	22196.590		494	-50.2859766	-27.7667504	22403.880		842	-50.2820365	-27.7646104	22490.744
147	-50.2844023	-27.7671047	22272.906		495	-50.2861316	-27.7667465	22428.290		843	-50.2819187	-27.7646680	22491.155
148	-50.2879250	-27.7663538	22511.989		496	-50.2863369	-27.7667273	22459.008		844	-50.2818090	-27.7647329	22490.972
149	-50.2878221	-27.7663730	22519.959		497	-50.2865423	-27.7667111	22527.553		845	-50.2816967	-27.7647940	22491.274
150	-50.2877064	-27.7664025	22562.409		498	-50.2878895	-27.7667508	22552.489		846	-50.2815861	-27.7648567	22491.568
151	-50.2877060	-27.7663982	22562.920		499	-50.2878891	-27.7667521	22552.475		847	-50.2814623	-27.7649058	22492.036
152	-50.2875971	-27.7664332	22580.350		500	-50.2878733	-27.7667542	22562.289		848	-50.2813377	-27.7649472	22492.326
153	-50.2874789	-27.7664635	22399.760		501	-50.2877777	-27.7667653	22577.992		849	-50.2812032	-27.7649899	22492.805
154	-50.2873555	-27.7664942	22674.226		502	-50.2876560	-27.7668101	22582.044		850	-50.2810811	-27.7650475	22493.040
155	-50.2873563	-27.7664942	22674.309		503	-50.2876509	-27.7668340	22583.138		851	-50.2809654	-27.7651022	22493.494
156	-50.2872317	-27.7665177	22875.330		504	-50.2875715	-27.7668550	22579.755		852	-50.2808365	-27.7651713	22493.598
157	-50.2872321	-27.7665177	22878.908		505	-50.2875147	-27.7668592	22572.813		853	-50.2807174	-27.7652383	22493.727
158	-50.2871062	-27.7665429	22858.967		506	-50.2873696	-27.7668729	22559.856		854	-50.2805928	-27.7652964	22494.286
159	-50.2869879	-27.7665728	22667.198		507	-50.2872411	-27.7668550	22545.717		855	-50.2804912	-27.7653758	22494.339
160	-50.2869884	-27.7665724	22666.853		508	-50.2871207	-27.7669378	22532.625		856	-50.2803896	-27.7654825	22494.214
161	-50.2868889	-27.7666005	22595.580		509	-50.2870678	-27.7669519	22520.620		857	-50.2805151	-27.7655231	22494.274
162	-50.2868906	-27.7666010	22595.628		510	-50.2870076	-27.7669604	22512.410		858	-50.2806435	-27.7655700	22493.964
163	-50.2867950	-27.7666368	22548.020		511	-50.2869470	-27.7670296	22502.466		859	-50.2807405	-27.7656200	22493.623
164	-50.2867954	-27.7666368	22548.830		512	-50.2869056	-27.7670159	22493.221		860	-50.2808617	-27.7656844	22493.082
165	-50.2867113	-27.7666693	22521.175		513	-50.2869196	-27.7669736	22485.893		861	-50.2809462	-27.7657489	22492.838
166	-50.2867117	-27.7666693	22521.251		514	-50.2866725	-27.7671115	22478.288		862	-50.2810581	-27.7657579	22492.746
167	-50.2866503	-27.7666983	22511.453		515	-50.2866144	-27.7671307	22471.136		863	-50.2811942	-27.7657412	22492.106
168	-50.2866507	-27.7666983	22511.452		516	-50.2865521	-27.7671265	22463.320		864	-50.2813270	-27.7657382	22491.385
169	-50.2865803	-27.7667401	22499.303		517	-50.2865500	-27.7671273	22463.240		865	-50.2814529	-27.7657416	22491.097
170	-50.2865811	-27.7667406	22499.410		518	-50.2865085	-27.7671610	22453.155		866	-50.2815964	-27.7657468	22489.959
171	-50.2865021	-27.7667756	22485.632		519	-50.2864565	-27.7672443	22442.060		867	-50.2817163	-27.7657297	22489.776
172	-50.2864373	-27.7668187	22472.417		520	-50.2863523	-27.7672584	22434.164		868	-50.2818721	-27.7657177	22488.178
173	-50.2863664	-27.7668592	22461.510		521	-50.2862703	-27.7673002	22420.021		869	-50.2820104	-27.7656738	22486.581
174	-50.2862656	-27.7669181	22449.053		522	-50.2862046	-27.7673288	22406.106		870	-50.2821155	-27.7656059	22485.951
175	-50.2861658	-27.7669523	22447.280		523	-50.2862008	-27.7673288	22406.288		871	-50.2822589	-27.7655051	22485.461
176	-50.2860940	-27.7669937	22425.340		524	-50.2860667	-27.7673928	22382.284		872	-50.2824177	-27.7654006	22483.662
177	-50.2860945	-27.7669937	22425.290		525	-50.2860189	-27.7674347	22360.274		873	-50.2825078	-27.7653425	22483.093
178	-50.2860232	-27.7670360	22401.856		526	-50.2859707	-27.7674530	22319.521		874	-50.2825970	-27.7652588	22482.795
179	-50.2860232	-27.7670364	22401.859		527	-50.2859673	-27.7674569	22319.568		875	-50.2827511	-27.7651820	22482.270
180	-50.2859476	-27.7670812	22382.127		528	-50.2859135	-27.7674996	22282.892		876	-50.2829150	-27.7651884	22480.657
181	-50.2858708	-27.7671277	22359.550		529	-50.2859113	-27.7675000	22283.010		877	-50.2830175	-27.7651884	22479.758
182	-50.2857991	-27.76711760	22337.839		530	-50.2858277	-27.7675265	22232.766		878	-50.2831532	-27.7651807	22477.946
183	-50.2857282	-27.7672217	22297.740		531	-50.2858255	-27.7675265	22232.418		879	-50.2832373	-27.7650958	22478.734
184	-50.2857291	-27.7672217	22298.007		532	-50.2857466	-27.7675674	22136.820		880	-50.2833500	-27.7649600	22479.150
185	-50.2856364	-27.7672712	22256.837		533	-50.2856902	-27.7675918	21995.989		881	-50.2834516	-27.7648806	22478.907
186	-50.2856368	-27.7672707	22256.909		534	-50.2856859	-27.7675926	21995.756		882	-50.2836151	-27.7648264	22477.534
187	-50.2855596	-27.7673117	22210.991		535	-50.2856501	-27.7676195	22055.635		883	-50.2837291	-27.7647999	22477.051
188	-50.2854789	-27.7673587	22088.020		536	-50.2855348	-27.7676135	22112.934		884	-50.2838648	-27.7648238	22475.790
189	-50.2854797	-27.7673583	22088.340		537	-50.2854738	-27.7676887	22217.688		885	-50.2839856	-27.7648674	22474.110
190	-50.2854033	-27.7673963	22005.090		538	-50.2854315	-27.7678338	22380.300		886	-50.2841231	-27.7649109	22472.297
191	-50.2854033	-27.7673963	22005.177		539	-50.2854379	-27.7678338	22381.600		887	-50.2842507	-27.7649545	22471.255
192	-50.2853171	-27.7674368	21741.604		540	-50.2854272	-27.7679008	22578.866		888	-50.2843212	-27.7649681	22469.341
193	-50.2853175	-27.7674368	21732.993		541	-50.2854247	-27.7679030	22578.930		889	-50.2844381	-27.7649933	22467.708
194	-50.2853180	-27.7674368	21736.340		542	-50.2854110	-27.7679286	22801.461		890	-50.2845543	-27.7650112	22466.293
195	-50.2852339	-27.7674718	21815.550		543	-50.2854076	-27.7679324	22799.696		891	-50.2846588	-27.7649886	22466.600
196	-50.2852343	-27.7674714	21814.427		544	-50.2853624	-27.7680012	22765.603		892	-50.2847711	-27.7649570	22466.806
197	-50.2851621	-27.7675115	21957.675		545	-50.2852048	-27.7681215	22738.117		893	-50.2848684	-27.7648836	22466.190
198	-50.2851630	-27.7675115	21958.038		546	-50.2851570	-27.7681928	22716.622		894	-50.2850272	-27.7648704	22466.818
199	-50.2850977	-27.7675726	22118.713		547	-50.2851434	-27.7683226	22705.847		895	-50.2851276	-27.7649293	22464.999
200	-50.2850981	-27.7675721	22118.270		548	-50.2850657	-27.7684157	22666.436		896	-50.2852552	-27.7650232	22462.922
201	-50.2850337	-27.7676315	22066.196		549	-50.2850661	-27.7684161	22666.483		897	-50.2853363	-27.7651039	22461.140
202	-50.2850072	-27.7677057	22187.177		550	-50.2850913	-27.7684823	22646.414		898	-50.2853931	-27.7652465	22457.478
203	-50.2850076	-27.7677057	22188.427		551	-50.2850789	-27.7685839	22627.601		899	-50.2854183	-27.7653352	22456.769
204	-50.2849777	-27.7677813	22304.345		552	-50.2851242	-27.7687128	22603.712		900	-50.2882178	-27.7668964	22504.640
205	-50.2849782	-27.7677813	22303.710		553	-50.2851246	-27.7687162	22603.978		901	-50.2882601	-27.7669792	22501.240
206	-50.2849444	-27.7678620	22328.454		554	-50.2851890	-27.7688195	22585.364		902	-50.2883442	-27.7670658	22498.340
207	-50.2849210	-27.7679363	22751.420		555	-50.2851967	-27.7688673	22579.393		903	-50.2883471	-27.7670710	22498.320
208	-50.2849218	-27.7679341	22753.312		556	-50.2851826	-27.7690240	22568.337		904	-50.2883740	-27.7671555	22495.369
209	-50.2849005	-27.7679990	22953.654		557	-50.2850870	-27.7691123	22554.207		905	-50.2884244	-27.7673066	22493.420
210	-50.2848996	-27.7679994	22953.202		558	-50.2851609	-27.7690948	22543.923		906	-50.2884039	-27.7673476	22492.988
211	-50.2848684	-27.7680818	22793.128		559	-50.2852249	-27.7692391	22535.293		907	-50.2883433	-27.7675166	22492.822
212	-50.2848736	-27.7680818	22793.084		560	-50.2852800	-27.7694176	22529.023		908	-50.2884517	-27.7676302	22492.374
213	-50.2848377	-27.7681412	22739.917		561	-50.2853287	-27.7679999	22616.540		909	-50.2885674	-27.7676639	22491.610
214	-50.2848369	-27.7681407	22740.058		562	-50.2853283	-27.7680362	22598.867		910	-50.2886426	-27.7677493	22491.342
215	-50.2848151	-27.7682154	22704.557		563	-50.2853259	-27.7681134	22580.064		911	-50.2886878	-27.7678445	22491.459
216	-50.2848142	-27.7682146	22704.602		56								

Tabela Ap.1 continuação da pagina anterior

FID	LONG	LAT	CMT		FID	LONG	LAT	CMT		FID	LONG	LAT	CMT
219	-50.2848083	-27.7683580	22668.710		567	-50.2826145	-27.7683196	22536.273		915	-50.2886963	-27.7682394	22490.970
220	-50.2848471	-27.7684374	22654.004		568	-50.2825031	-27.7683691	22530.926		916	-50.2887049	-27.7682616	22493.450
221	-50.2848638	-27.7685151	22634.929		569	-50.2824087	-27.7684263	22525.629		917	-50.2886148	-27.7682778	22493.225
222	-50.2848932	-27.7685826	22620.107		570	-50.2823302	-27.7684878	22521.704		918	-50.2885106	-27.7682556	22500.780
223	-50.2849103	-27.7686658	22604.395		571	-50.2822465	-27.7685668	22519.428		919	-50.2884645	-27.7682291	22498.435
224	-50.2849244	-27.7687431	22597.337		572	-50.2821295	-27.7686615	22519.640		920	-50.2883617	-27.7681834	22495.780
225	-50.2849278	-27.7688174	22590.496		573	-50.2820254	-27.7687499	22522.108		921	-50.2883629	-27.7681540	22498.710
226	-50.2849321	-27.7688780	22590.610		574	-50.2819460	-27.7688400	22521.414		922	-50.2880859	-27.7680528	22499.602
227	-50.2849163	-27.7689493	22570.704		575	-50.2818708	-27.7689249	22516.893		923	-50.2880991	-27.7680998	22501.054
228	-50.2849167	-27.7689488	22570.550		576	-50.2817829	-27.7690150	22507.642		924	-50.2880722	-27.7681433	22501.782
229	-50.2849039	-27.7690299	22559.026		577	-50.2817488	-27.7691158	22506.444		925	-50.2878558	-27.7682505	22503.617
230	-50.2848842	-27.7691085	22554.358		578	-50.2818141	-27.7692203	22506.005		926	-50.2878835	-27.7683614	22504.511
231	-50.2848578	-27.7691772	22545.161		579	-50.2818837	-27.7692835	22505.790		927	-50.2851451	-27.7690874	22513.600
232	-50.2848416	-27.7692511	22540.263		580	-50.2819793	-27.7693587	22501.840		928	-50.2851493	-27.7698308	22507.840
233	-50.2848253	-27.7693185	22529.695		581	-50.2820548	-27.7693787	22520.198		929	-50.2851942	-27.7696835	22512.070
234	-50.2848130	-27.7693915	22517.681		582	-50.2821872	-27.7693860	22528.650		930	-50.2851340	-27.7696297	22517.420
235	-50.2848031	-27.7694688	22522.364		583	-50.2822922	-27.7693937	22509.140		931	-50.2851199	-27.7695256	22513.690
236	-50.2847844	-27.7695516	22516.548		584	-50.2824489	-27.7694167	22516.717		932	-50.2850793	-27.7694244	22532.810
237	-50.2847647	-27.7696438	22513.838		585	-50.2825773	-27.7694035	22515.503		933	-50.2850849	-27.7693347	22545.250
238	-50.2847438	-27.7697266	22508.782		586	-50.2826538	-27.7693100	22514.243		934	-50.2850307	-27.7691952	22557.840
239	-50.2847156	-27.7698082	22510.968		587	-50.2827511	-27.7692874	22515.842		935	-50.2850315	-27.7690880	22574.900
240	-50.2846810	-27.7698765	22515.321		588	-50.2828629	-27.7692417	22522.058		936	-50.2850072	-27.7688131	22597.500
241	-50.2846542	-27.7699640	22518.379		589	-50.2830004	-27.7692114	22531.038		937	-50.2850904	-27.7687713	22619.690
242	-50.2846563	-27.7699665	22518.712		590	-50.2831242	-27.7691849	22530.756		938	-50.2851113	-27.7686423	22623.710
243	-50.2846650	-27.7701091	22500.893		591	-50.2831955	-27.7691123	22540.150		939	-50.2851818	-27.7686675	22627.270
244	-50.2844650	-27.7701095	22500.736		592	-50.2833082	-27.7690961	22537.450		940	-50.2852637	-27.7687119	22633.440
245	-50.2843818	-27.7701437	22494.910		593	-50.2833906	-27.7690918	22536.251		941	-50.2852470	-27.7705350	22489.944
246	-50.2842887	-27.7701497	22502.858		594	-50.2835203	-27.7690786	22536.286		942	-50.2852470	-27.7705350	22489.206
247	-50.2841931	-27.7701565	22503.901		595	-50.2836300	-27.7690389	22539.169		943	-50.2853830	-27.7702820	22487.258
248	-50.2840975	-27.7701480	22503.029		596	-50.2837244	-27.7689497	22543.236		944	-50.2855050	-27.7699530	22499.502
249	-50.2840138	-27.7701228	22496.958		597	-50.2838204	-27.7688904	22546.790		945	-50.2856260	-27.7696720	22497.093
250	-50.2839212	-27.7701023	22492.288		598	-50.2839434	-27.7688498	22551.140		946	-50.2857280	-27.7693750	22515.924
251	-50.2838273	-27.7700827	22500.640		599	-50.2840535	-27.7688020	22557.850		947	-50.2856710	-27.7690690	22555.588
252	-50.2837389	-27.7700630	22498.922		600	-50.2841713	-27.7687644	22561.504		948	-50.2856710	-27.7690690	22555.588
253	-50.2836484	-27.7700498	22501.251		601	-50.2842939	-27.7687358	22566.014		949	-50.2858210	-27.7688870	22642.916
254	-50.2835588	-27.7700391	22495.995		602	-50.2844066	-27.7687375	22571.637		950	-50.2858210	-27.7688870	22642.484
255	-50.2834674	-27.7700442	22492.220		603	-50.2845184	-27.7687418	22575.486		951	-50.2860950	-27.7687530	22592.840
256	-50.2833795	-27.7700613	22496.193		604	-50.2846149	-27.7687068	22584.148		952	-50.2860950	-27.7687530	22592.430
257	-50.2832954	-27.7700831	22490.847		605	-50.2846857	-27.7683563	22660.274		953	-50.2864090	-27.7687140	22530.979
258	-50.2832130	-27.7701066	22490.340		606	-50.2846230	-27.7682453	22677.672		954	-50.2864090	-27.7687140	22530.538
259	-50.2831229	-27.7701300	22494.173		607	-50.2845543	-27.7681267	22702.010		955	-50.2867440	-27.7688750	22548.912
260	-50.2830431	-27.7701437	22490.156		608	-50.2844962	-27.7680122	22732.821		956	-50.2867440	-27.7688750	22477.345
261	-50.2829543	-27.7701753	22492.368		609	-50.2844253	-27.7678795	22660.054		957	-50.2872010	-27.7689660	22525.912
262	-50.2828706	-27.7702009	22490.255		610	-50.2843784	-27.7677685	22477.508		958	-50.2872010	-27.7689660	22527.238
263	-50.2827818	-27.7702227	22484.730		611	-50.2843327	-27.7676549	22481.704		959	-50.2873800	-27.7693090	22518.390
264	-50.2827050	-27.7702406	22489.047		612	-50.2842845	-27.7675376	22065.902		960	-50.2877480	-27.7694400	22499.675
265	-50.2826021	-27.7702581	22481.338		613	-50.2842098	-27.7674416	22285.860		961	-50.2881710	-27.7694400	22530.931
266	-50.2825142	-27.7702794	22488.570		614	-50.2841393	-27.7673002	22358.114		962	-50.2881710	-27.7694400	22530.688
267	-50.2824177	-27.7702957	22484.872		615	-50.2840872	-27.7671875	22336.154		963	-50.2884360	-27.7692700	22491.779
268	-50.2823268	-27.7703004	22497.855		616	-50.2840198	-27.7670842	22265.742		964	-50.2884360	-27.7692700	22492.383
269	-50.2822384	-27.7702948	22485.813		617	-50.2839592	-27.7669655	22311.722		965	-50.2882820	-27.7689040	22503.634
270	-50.2821466	-27.7703051	22489.627		618	-50.2839045	-27.7668554	22349.002		966	-50.2881570	-27.7686070	22503.025
271	-50.2820980	-27.7703072	22491.240		619	-50.2838738	-27.7667756	22367.864		967	-50.2884700	-27.7686570	22517.569
272	-50.2820186	-27.7703127	22487.324		620	-50.2837184	-27.7667862	22379.161		968	-50.2884700	-27.7686570	22554.627
273	-50.2819110	-27.7703170	22493.880		621	-50.2835801	-27.7667909	22393.397		969	-50.2886280	-27.7688640	22520.711
274	-50.2818230	-27.7703264	22497.975		622	-50.2835314	-27.7667952	22398.640		970	-50.2886280	-27.7688640	22501.216
275	-50.2817419	-27.7703486	22505.320		623	-50.2833863	-27.7668123	22414.833		971	-50.2886280	-27.7688640	22513.054
276	-50.2816493	-27.7703699	22509.295		624	-50.2832134	-27.7668328	22433.940		972	-50.2866440	-27.7685830	22543.245
277	-50.2815588	-27.7703682	22500.511		625	-50.2830691	-27.7668644	22448.820		973	-50.2867950	-27.7687050	22536.373
278	-50.2814781	-27.7704024	22501.543		626	-50.2829107	-27.7668891	22462.420		974	-50.2869550	-27.7687610	22526.440
279	-50.2813876	-27.7704557	22485.473		627	-50.2827707	-27.7669147	22472.170		975	-50.2871080	-27.7688200	22522.336
280	-50.2848253	-27.7684921	22650.090		628	-50.2826521	-27.7668110	22477.932		976	-50.2872010	-27.7687930	22517.905
281	-50.2848249	-27.7684921	22650.387		629	-50.2826819	-27.7666966	22475.971		977	-50.2873780	-27.7688400	22513.257
282	-50.2847344	-27.7684643	22576.780		630	-50.2828023	-27.7666279	22470.500		978	-50.2875780	-27.7689970	22509.516
283	-50.2847444	-27.7684643	22575.380		631	-50.2829458	-27.7665890	22463.788		979	-50.2877950	-27.7690900	22511.187
284	-50.2846426	-27.7684289	22621.120		632	-50.2830845	-27.7665685	22456.470		980	-50.2876940	-27.7690460	22512.571
285	-50.2846426	-27.7684289	22620.760		633	-50.2832471	-27.7665382	22447.125		981	-50.2876530	-27.7689800	22512.855
286	-50.2845713	-27.7683977	22630.710		634	-50.2833880	-27.7665062	22439.432		982	-50.2876010	-27.7688940	22516.096
287	-50.2844830	-27.7683593	22637.907		635	-50.2835327	-27.7665062	22430.380		983	-50.2875580	-27.7687960	22515.061
288	-50.2843959	-27.7683286	22630.570		636	-50.2836851	-27.7665028	22420.410		984	-50.2875120	-27.7687120	22515.636
289	-50.2843045	-27.7682944	22633.231		637	-50.2838183	-27.7664951	22412.870		985	-50.2874470	-27.7686050	22518.348
290	-50.2842200	-27.7682607	22632.573		638	-50.2839395	-27.7665412	22400.810		986	-50.2873750	-27.7685390	22520.472
291	-50.2841278	-27.7682236	22643.067		639</								

Tabela Ap.1 continuação da pagina anterior

FID	LONG	LAT	CMT		FID	LONG	LAT	CMT		FID	LONG	LAT	CMT
294	-50.2838601	-27.7681207	22635.245		642	-50.2839011	-27.7662283	22429.602		990	-50.2869520	-27.7682130	22523.255
295	-50.2837765	-27.7680874	22637.728		643	-50.2838123	-27.7663593	22424.622		991	-50.2868320	-27.7681290	22518.011
296	-50.2836919	-27.7680519	22636.275		644	-50.2837568	-27.7664763	22417.605		992	-50.2867190	-27.7680100	22505.913
297	-50.2836211	-27.7680105	22618.996		645	-50.2836702	-27.7665877	22412.113		993	-50.2866220	-27.7678830	22490.011
298	-50.2836215	-27.7680105	22619.609		646	-50.2835174	-27.7668221	22397.082		994	-50.2865180	-27.7677630	22473.181
299	-50.2835464	-27.7679802	22609.843		647	-50.2834525	-27.7669331	22390.332		995	-50.2864540	-27.7676530	22458.239
300	-50.2834580	-27.7679469	22616.250		648	-50.2833684	-27.7670535	22388.726		996	-50.2863640	-27.7675620	22443.622
301	-50.2833688	-27.7679128	22604.090		649	-50.2832971	-27.7671828	22390.484		997	-50.2862830	-27.7674700	22428.486
302	-50.2832830	-27.7678803	22588.659		650	-50.2832365	-27.7672972	22400.099		998	-50.2862070	-27.7673830	22404.046
303	-50.2832049	-27.7678475	22567.915		651	-50.2831810	-27.7674146	22420.457		999	-50.2861260	-27.7673100	22395.076
304	-50.2831302	-27.7678150	22545.643		652	-50.2831370	-27.7674654	22442.730		1000	-50.2860410	-27.7672400	22117.728
305	-50.2831306	-27.7678150	22545.358		653	-50.2831144	-27.7675568	22468.090		1001	-50.2860410	-27.7672400	22117.228
306	-50.2830435	-27.7677817	22562.143		654	-50.2830631	-27.7676507	22503.390		1002	-50.2855750	-27.7674740	22113.828
307	-50.2829581	-27.7677476	22586.632		655	-50.2830444	-27.7677198	22538.156		1003	-50.2856050	-27.7675360	22108.892
308	-50.2829586	-27.7677476	22586.334		656	-50.2829014	-27.7676383	22508.640		1004	-50.2856410	-27.7676360	22090.966
309	-50.2828629	-27.7677092	22536.185		657	-50.2827976	-27.7675568	22500.040		1005	-50.2856770	-27.7677110	22276.300
310	-50.2828634	-27.7677096	22535.981		658	-50.2827438	-27.7674304	22490.900		1006	-50.2856790	-27.7677110	22274.974
311	-50.2827844	-27.7676767	22512.699		659	-50.2826738	-27.7673279	22487.462		1007	-50.2857280	-27.7678340	22493.920
312	-50.2827844	-27.7676767	22512.499		660	-50.2825919	-27.7672251	22486.340		1008	-50.2857280	-27.7678340	22496.460
313	-50.2827003	-27.7676460	22505.639		661	-50.2825112	-27.7671299	22486.908		1009	-50.2857310	-27.7679470	22489.199
314	-50.2826072	-27.7676059	22497.596		662	-50.2824314	-27.7670116	22485.688		1010	-50.2856790	-27.7679500	22357.661
315	-50.2825184	-27.7675696	22498.993		663	-50.2823532	-27.7668951	22485.487		1011	-50.2856780	-27.7679500	22356.054
316	-50.2824271	-27.7675320	22500.324		664	-50.2822700	-27.7667995	22485.920		1012	-50.2855430	-27.7678670	22162.927
317	-50.2823524	-27.7674979	22499.366		665	-50.2822089	-27.7666953	22485.984		1013	-50.2855430	-27.7678670	22163.280
318	-50.2822777	-27.7674701	22496.567		666	-50.2810901	-27.7669117	22498.156		1014	-50.2855490	-27.7678090	22083.559
319	-50.2822021	-27.7674398	22492.570		667	-50.2809863	-27.7668123	22494.726		1015	-50.2855490	-27.7678090	22085.043
320	-50.2821342	-27.7674103	22494.135		668	-50.2808728	-27.7667179	22494.536		1016	-50.2855000	-27.7677490	22012.296
321	-50.2820412	-27.7673766	22492.915		669	-50.2807597	-27.7666202	22493.864		1017	-50.2855000	-27.7677490	22011.190
322	-50.2819613	-27.7673455	22499.939		670	-50.2806683	-27.7665156	22493.548		1018	-50.2854230	-27.7676950	21967.081
323	-50.2818679	-27.7673058	22489.660		671	-50.2805808	-27.7664127	22494.345		1019	-50.2854230	-27.7676950	21966.047
324	-50.2817859	-27.7672750	22493.120		672	-50.2804732	-27.7663149	22494.370		1020	-50.2854880	-27.7676300	21983.007
325	-50.2817095	-27.7672447	22493.051		673	-50.2803763	-27.7662232	22493.934		1021	-50.2855630	-27.7675520	21953.104
326	-50.2816301	-27.7672093	22489.592		674	-50.2802833	-27.7661246	22494.482		1022	-50.2855240	-27.7677350	21973.317
327	-50.2815537	-27.7671785	22495.345		675	-50.2801842	-27.7660285	22495.326		1023	-50.2852470	-27.7677350	21976.276
328	-50.2814820	-27.7671495	22489.674		676	-50.2801846	-27.7660285	22495.570		1024	-50.2852960	-27.7677710	22143.612
329	-50.2813910	-27.7671158	22493.283		677	-50.2801851	-27.7660289	22495.528		1025	-50.2852960	-27.7677710	22145.311
330	-50.2813082	-27.7670829	22490.653		678	-50.2800959	-27.7659380	22496.564		1026	-50.2853120	-27.7677910	22246.962
331	-50.2812365	-27.7670535	22490.394		679	-50.2799947	-27.7658526	22495.056		1027	-50.2853120	-27.7677910	22247.893
332	-50.2811537	-27.7670202	22489.103		680	-50.2798845	-27.7657715	22495.686		1028	-50.2853510	-27.7678100	22319.270
333	-50.2810051	-27.7669549	22486.951		681	-50.2797787	-27.7656955	22495.348		1029	-50.2853510	-27.7678100	22319.286
334	-50.2812002	-27.7669899	22493.695		682	-50.2797712	-27.7656925	22495.558		1030	-50.2853880	-27.7678570	22276.503
335	-50.2812002	-27.7669903	22493.673		683	-50.2801304	-27.7657160	22495.454		1031	-50.2853880	-27.7678570	22275.535
336	-50.2812830	-27.7669664	22490.794		684	-50.2802692	-27.7657574	22495.840		1032	-50.2854320	-27.7679090	22296.648
337	-50.2813624	-27.7669403	22490.317		685	-50.2804015	-27.7658172	22494.933		1033	-50.2854320	-27.7679090	22298.773
338	-50.2814359	-27.7669147	22485.714		686	-50.2805074	-27.7658915	22494.254		1034	-50.2855020	-27.7679830	22517.389
339	-50.2815187	-27.7668895	22490.039		687	-50.2806282	-27.7659483	22494.138		1035	-50.2855020	-27.7679830	22518.023
340	-50.2816079	-27.7668635	22490.562		688	-50.2807703	-27.7659965	22494.446		1036	-50.2855610	-27.7680040	22505.119
341	-50.2816954	-27.7668396	22489.274		689	-50.2809185	-27.7660516	22493.896		1037	-50.2855900	-27.7680500	22496.488
342	-50.2817791	-27.7668123	22482.345		690	-50.2810726	-27.7660955	22492.982		1038	-50.2856570	-27.7680990	22389.337
343	-50.2818657	-27.7667969	22489.492		691	-50.2812083	-27.7661361	22492.652		1039	-50.2856570	-27.7680990	22389.173
344	-50.2819306	-27.7667768	22488.231		692	-50.2813048	-27.7662543	22492.582		1040	-50.2856770	-27.7681800	22422.591
345	-50.2820331	-27.7667431	22486.206		693	-50.2814243	-27.7663495	22491.920		1041	-50.2856770	-27.7681800	22424.740
346	-50.2821155	-27.7667124	22484.330		694	-50.2815558	-27.7664025	22491.674		1042	-50.2857040	-27.7682410	22414.734
347	-50.2822030	-27.7666851	22483.040		695	-50.2816941	-27.7664268	22491.031		1043	-50.2857440	-27.7682640	22498.532
348	-50.2822858	-27.7666637	22481.925		696	-50.2818081	-27.7663649	22489.438		1044	-50.2857440	-27.7682640	22498.415