

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO ESCOLA DE MINAS DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



# TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ANÁLISE GEOFÍSICA DA REGIÃO DE ABAETÉ - MG

Clarisse Barbosa de Oliveira

Ouro Preto, janeiro de 2018

ANÁLISE GEOFÍSICA DA REGIÃO DE ABAETÉ - MG



# FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

### Reitora

Prof.ª Dr.ª Cláudia Aparecida Marliére de Lima

### Vice-Reitor

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

## Pró-Reitora de Graduação

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Tânia Rossi Garbin

### **ESCOLA DE MINAS**

Diretor

Prof. Dr. Issamu Endo

Vice-Diretor

Prof. Dr. José Geraldo Arantes de Azevedo Brito

## DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Chefe

Prof. Dr. Luís Antônio Rosa Seixas

## MONOGRAFIA

## Nº 261

# ANÁLISE GEOFÍSICA DA REGIÃO DE ABAETÉ - MG

Clarisse Barbosa de Oliveira

Orientadora

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Silvia Carvalho Barbosa

Monografia do Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso – TCC 402, ano 2017/2.

OURO PRETO

2018

Universidade Federal de Ouro Preto – http://www.ufop.br Escola de Minas - http://www.em.ufop.br Departamento de Geologia - http://www.degeo.ufop.br/ Campus Morro do Cruzeiro s/n - Bauxita 35.400-000 Ouro Preto, Minas Gerais Tel. (31) 3559-1600, Fax: (31) 3559-1606

Direitos de tradução e reprodução reservados.

Nenhuma parte desta publicação poderá ser gravada, armazenada em sistemas eletrônicos, fotocopiada ou reproduzida por meios mecânicos ou eletrônicos ou utilizada sem a observância das normas de direito autoral.

Revisão geral: Clarisse Barbosa de Oliveira

Catalogação elaborada pela Biblioteca Prof. Luciano Jacques de Moraes do Sistema de Bibliotecas e Informação - SISBIN - Universidade Federal de Ouro Preto

Oliveira, Clarisse Barbosa

Análise Geofísica da Região de Abaeté - MG / Clarisse Barbosa de Oliveira - 2018.

Orientadora: Prof.ª Dr.ª Maria Sílvia Carvalho Barbosa.

Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Geologia.

1. Geofísica. 2. Magnetometria. 3. Radiometria. 4. Diamante. I. Barbosa, Maria Silvia Carvalho. II. Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Geologia. III. Análise Geofísica da Região de Abaeté – MG.

http://www.sisbin.ufop.br

## Fieha de Aprovação

#### TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: Análise Geofísica da Região de Abaeté - MG.

AUTORA: CLARISSE BARBOSA DE OLIVEIRA

ORIENTADORA: Profa. Dra. Maria Silvia C. Barbosa

Aprovada em: 02 de fevereiro de 2018

#### BANCA EXAMINADORA:

Profa. Dra. Maria Silvia C. Barbosa

Prof. MSc. Edison Tazava

DEGEO/UFOP

Janler

DEGEO/UFOP

Prof. MSc. Luiz Henrique Cardoso

DEGEO/UFOP

Ouro Preto, 02/02/2018

# Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a Deus, por ter me guiado em toda essa etapa de minha vida. Agradeço aos meus amados pais, Valtensil e Terezinha, que nunca mediram esforços para me proporcionar a melhor educação, por todo apoio do mundo. Ao Fábio, pelo carinho e incentivo. Aos meus irmãos, Sávio, Danilo e Pedro. Agradeço a toda minha família, pelas orações e motivação. A todos os professores do Degeo e da Escola de Minas, especialmente à Prof.<sup>a</sup> Maria Sílvia, pela paciência e ensinamentos. Meu muito obrigada a todos, sem vocês nada disso seria possível!

# SUMÁRIO

INTRODUÇÃO		1
1.1 APRESENTA	ÇÃO	1
1.2 LOCALIZAÇA	ÃO	1
1.3 OBJETIVOS		2
1.4 JUSTIFICATI	VAS	2
1.5 MATERIAIS	E MÉTODOS	3
1.5.1	Revisão bibliográfica	3
1.5.2	Levantamento de banco de dados	3
1.5.3	Análise qualitativa	3
1.5.4	Integração geofísica-geológica	3
1.5.5	Análise quantitativa	4
2 CONTEXTO G	EOLÓGICO REGIONAL	5
2.1 CONTEXTO	GEOTECTÔNICO	5
2.1.1	O Cráton São Francisco	5
2.2 QUADRO ES	TRATIGRÁFICO	6
2.2.1	Grupo Bambuí	7
2.2.2	Grupo Aerado	9
2.2.3	Grupo Mata da Corda	9
2.3 ARCABOUÇO	DESTRUTURAL	10
2.4 EVOLUÇÃO	GEOLÓGICA	12
3 MÉTODOS GE	OFÍSICOS	15
3.1 INTRODUÇÃ	O	15
3.2 MAGNETOM	ETRIA	15
3.2.1	Introdução	15
3.2.2	O campo magnético terrestre	15
3.2.3	Magnetismo das Rochas e Minerais	16
3.2.4	Tratamento e Filtragem dos Dados	18
3.2.5	Deconvolução de Euler	19
3.3 RADIOMETR	IA	20
3.3.1	Introdução	20

3.3.2	Radioatividade das Rochas	.21
4 O CLÃ KIMBE	RLÍTICO	.25
4.1 KIMBERLITO	DS E ROCHAS PARENTAIS	.25
4.1.1	Breve Histórico	.25
4.1.2	Classificação dos Kimberlitos e Lamproítos	.26
4.1.3	Morfologia dos Pipes	.28
4.2 MAGNETOM	ETRIA E GAMAESPECTROSCOPIA PARA KIMBERLITOS	.30
4.3 HISTÓRICO	DO CLÃ KIMBERLÍTICO DO CENTRO OESTE DE MINAS GERAIS	.32
5 ANÁLISE QUA	ANTITATIVA	.35
5.1 BANCO DE D	DADOS	.35
5.2 METODOLO	GIA	.36
5.3 ANÁLISE MA	AGNETOMÉTRICA	.37
5.4 ANÁLISE RA	DIOMÉTRICA	.43
5.5 INTEGRAÇÃ	O GEOLÓGICA GEOFÍSICA	.46
5.5.1	Magnetometria	.46
5.5.2	Radiometria	.49
6 ANÁLISE QUA	ANTITATIVA	.53
6.1 INTRODUÇÃ	O	.53
6.2 METODOLO	GIA	.53
6.3 APRESENTA	ÇÃO DOS RESULTADOS	.55
6.4 VIZUALIZAÇ	ÇÃO EM 3D	.63
7 CONCLUSÕES	۱	. 65
<b>REFERENCIAS B</b>	IBLIOGRAFICAS	.67

# INDÍCE DE FIGURAS

Figura 1.1	- Acesso ao Município de São Gonçalo do Abaeté, a partir de Ouro Preto2
Figura 2.	<ul> <li>Mapa Geológico do Cráton São Francisco e coberturas sedimentares proterozoicas</li></ul>
Figura 2.2	2 - Mapa Geológico do Distrito Diamantífero de Abaeté na Bacia San Franciscana
Figura 2.3	- Coluna estratigráfica das unidades aflorantes na área de estudo (adaptação de Read <i>et al.</i> 2004)
Figura 2.4	- Arcabouço estrutural da Sub-Bacia Abaeté (adaptação de Hasui & Haralyi 1991)11
Figura 2.5	- Bloco diagrama da Sub-bacia Abaeté (adaptação de Campos & Dardenne 1997b)12
Figura 2.6	- Soerguimento do Arco do Alto Paranaíba (adaptação de Hasui & Haralyi 1991)
Figura 3.1	- Representação esquemática de um elemento em que os dipolos elementares se alinham na direção de um campo externo B
Figura 3.2	- Abundâncias relativas de elementos radioativos em diferentes tipos de rochas (modificado de Kearey <i>et al.</i> 2009)21
Figura 4.1	- Modelo kimberlítico sul-africano (adaptação de Mitchell 1991)28
Figura 4.2	2 - As descobertas de novas fontes primárias diamantíferas tem mostrado diferentes geometrias para o clã kimberlítico
Figura 4.3	- Aplicação da aeromagnetometria na identificação de chaminés lamproíticas (adaptação de Macnae 1995)
Figura 4.4	- A) Mapa de Amplitude de Sinal Analítico com as magnetofácies sobrepostas, os lineamentos existentes
Figura 5.1	- Mapa Geológico da Área 9. Adaptado de CODEMIG (2005)
Figura 5.2	<ul> <li>Fluxograma do processamento dos mapas magnetométricos temáticos campo anômalo, dx, dy, dz, d<sup>2</sup>z e amplitude do sinal analítico</li></ul>
Figura 5.3	- A) Mapa magnetométrico, da área de estudo; e B) Magnetofácies sobreposta ao mapa magnetométrico, Amplitude do Sinal Analítico
Figura 5.4	<ul> <li>A) Mapa magnetométrico, Amplitude do Sinal Analítico, da área de estudo; e</li> <li>B) Roseta dos lineamentos</li></ul>
Figura 5.5	- Mapa Amplitude Sinal Analítico dos Estados de Minas Gerais e Mato Grosso do Sul
Figura 5.6	- Mapas temáticos radiométricos e imagem Ternária gerados com o software OASIS MONTAJ 7.0.1
Figura 5.7	- A) Mapa de radiofácies sobreposto ao mapa ternário; e B) Mapa Ternário44

Figura 5.8 - A) Roseta dos lineamentos radiométricos e B) Imagem Ternária com os
lineamentos radiométricos
Figura 5.9 - Mapa magnetométrico Amplitude do Sinal Analítico sobreposto ao mapa geológico (CODEMIG 2012)
Figura 5.10 - A) Mapa de lineamentos magnetométricos sobreposto ao mapa de Amplitude do Sinal Analítico da área de estudo
Figura 5.11 - Mapa Amplitude Sinal Analítico dos Estados de Minas Gerais e Mato Grosso
do Sul49
Figura 5.12 - Mapa geológico sobreposto ao mapa radiométrico ternário
Figura 6.1 - Mapa magnetométrico de Amplitude do Sinal Analítico, com os 30 perfis traçados na direção WE
<b>Figura 6.2 -</b> (A) Deconvolução de Euler no Perfil 9 realizado no <i>software</i> Euler 1.0; (B) Feições e anomalias encontradas
<b>Figura 6.3</b> -(A) Deconvolução de Euler no Perfil 9 realizado no <i>software</i> Euler 1.0; (B) Feições e anomalias encontradas
Figura 6.4 - Mapa de Amplitude do Sinal Analítico com destaque para as anomalias magnéticas, que podem constituir-se de possíveis kimberlitos
Figura 6.5 - Perfis traçados sobre as anomalias selecionadas
<b>Figura 6.6</b> - Deconvolução de Euler no Perfil K1 realizado no <i>software</i> Euler 1.0; (A) Dado magnetométrico, Amplitude do Sinal Analítico
Figura 6.7 - Kimberlitos e estruturas de falhas encontrados no perfil K1
<b>Figura 6.8</b> - Deconvolução de Euler no Perfil K2 realizado no <i>software</i> Euler 1.0; (A) Dado magnetométrico, Amplitude do Sinal Analítico60
Figura 6.9 - Kimberlitos e estruturas de falhas encontrados no perfil K261
<b>Figura 6.10 -</b> Deconvolução de Euler no Perfil K3 realizado no <i>software</i> Euler 1.0; (A) Dado magnetométrico, Amplitude do Sinal Analítico
Figura 6.11 - Kimberlitos e estruturas de falhas encontrados no perfil K362
Figura 6.12 - Modelo 3D da área gerado no <i>software</i> ArcScene 9.3, com destaque para as rochas alcalinas efusivas (tufos lapilíticos do Grupo Mata da Corda)63
<b>Figura 6.13 -</b> Modelo 3D da área gerado no <i>software</i> ArcScene 9.3, com destaque para o lineamento Az 125°

# ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 - Susceptibilidade de rochas (Fonte: Telford et al. 1990)	
Tabela 3.2 - Filtros de Fourier e suas finalidades geofísicas	19
Tabela 3.3 - Relação do índice estrutural com os modelos físico e geológico	
Tabela 3.4 - Minerais radioativos (modificado de Telford et al. 1990)	
Tabela 4.1 -Diferenças mineralógicas das intrusões magmáticas passíveisdiamantes: kimberlitos dos Grupos I e II e lamproítos.	de conter 27
Tabela 4.2 - Faixa radioativa dos elementos gamaespectrométricos	
Tabela 5.1 - Descrição das Magnetofácies.	
Tabela 5.2 - Concentrações relativas de Th, U e K das radiofácies interpretadas estudo	da área de 45
Tabela 5.3 - Correlação das radiofácies com a estratigrafia	

## Resumo

A área deste estudo caracteriza-se por ser uma região de grande importância econômica no que diz respeito à produção de minerais gemológicos, com destaque para os diamantes. A localidade delimitada está inserida na região centro-oeste do estado de Minas Gerais, próxima ao município de Abaeté, Província Diamantífera Oeste do São Francisco. Ela é famosa por seus diamantes de grande porte e coloridos, sendo que um dos maiores diamantes do mundo, conhecido também como Brilhante do Rei de Portugal, foi achado nesta região, pesando 120 quilates. Esse trabalho teve como principal objetivo a análise geofísica da região de Abaeté e a descoberta de possíveis fontes primárias dos corpos diamantíferos e a geometria em profundidade destas fontes, a partir da análise magnetométrica e radiométrica da área, tendose como base os dados aerolevantados da CODEMIG (Área 9). Realizaram-se vários mapas geofísicos temáticos, os quais foram interpretados e integrados á geologia. A análise quantitativa, baseada na Deconvolução de Euler, permitiu a visualização em profundidade dos corpos que geraram as anomalias geofísicas. Deste modo, a realização desse estudo geofísico foi de grande importância para uma melhor compreensão da origem diamantífera no local, bem como a delimitação e interpretação de áreas potenciais à sua prospecção gerando, portanto, um impacto econômico positivo. Além disso, essa análise torna-se importante para um acréscimo no conhecimento geológico acerca da região e mostrar a eficácia da geofísica e seus métodos no auxílio de questões geológicas, bem como na identificação dos corpos diamantíferos.

**Palavras chave:** geofísica, kimberlitos, magnetometria, radiometria, deconvolução de Euler, diamante, Abaeté.

# **CAPITULO 1**

## **INTRODUÇÃO**

## 1.1 APRESENTAÇÃO

O diamante é um mineral caracterizado por possuir alto brilho e dureza e é formado sob condições elevadas de temperatura e pressão. Ele possui alto valor econômico agregado, sendo amplamente utilizado na indústria de joias (Barbosa 1991). Esse mineral pode ser encontrado em rochas ultrabásicas denominadas kimberlitos, as quais podem ser aflorantes ou não. Quando aflorante, o diamante presente nesse tipo de rocha pode não estar mais *in situ*, devido aos processos erosivos atuantes no local. Esse tipo é denominado "diamante de aluvião" e são encontrados em fontes secundárias, como, por exemplo, rochas sedimentares. Para os kimberlitos não aflorantes, o diamante encontra-se *in situ* e a geofísica, por meio da magnetometria e radiometria, é uma grande aliada na sua descoberta, pois a partir das técnicas utilizadas é possível determinar a sua exata localização e fatores como morfologia e profundidade do corpo (Sgarbi *et al.* 2001, Costa & Luz 2005, Svisero 2006, Pereira 2007).

A área estudada encontra-se na região Centro-Oeste de Minas Gerais, onde está inserido o município de Abaeté, que é caracterizado por ser uma Província Diamantífera Oeste do São Francisco, o que confere a esse lugar alto potencial econômico, devido a presença de rochas satélite (kimberlitos ou lamproítos) para a prospecção de diamantes.

O projeto teve início com a análise da área de estudos no banco de dados da CODEMIG (Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais), da qual foram utilizados e extraídos dados aerolevantados de magnetometria e radiometria, para realização de mapas temáticos.

#### 1.2 LOCALIZAÇÃO

A área de estudo localiza-se na região Centro Oeste do estado de Minas Gerais, englobando o município de São Gonçalo do Abaeté, possuindo uma área de cerca de 5000km<sup>2</sup>. Além disso, é delimitada pelas seguintes coordenadas em UTM (*Universal Transversa de Mercator*) em metros: 394000E / 7898000S a 447000E / 7986000S. A cidade de Ouro Preto encontra-se a 465km da cidade

Para se acessar o município a partir de Ouro Preto, deve-se seguir até a BR-356, tomando o trajeto para a cidade de Belo Horizonte. Em seguida, deve-se seguir pela BR-040 até a saída em direção a São Paulo, por aproximadamente 29km, onde se toma a BR-262. Adiante, deve-se



acessar a BR-365, a qual dará acesso à localidade (Figura 1.1).

**Figura 1.1** - Acesso ao Município de São Gonçalo do Abaeté, a partir de Ouro Preto. (Fonte: <u>www.googlemaps.com</u>, acesso em 06/10/2017).

#### **1.3 OBJETIVOS**

O objetivo principal deste trabalho consiste em identificar as possíveis fontes primárias dos corpos diamantíferos e a geometria em profundidade destas fontes, por meio da magnetometria, assim como da análise radiométrica, contribuir para a cartografia geológica da área. Além disso, como objetivos específicos, tem-se a confecção de mapas temáticos para a localidade, a delimitação e o comportamento em profundidade dos corpos ígneos.

#### **1.4 JUSTIFICATIVAS**

De acordo com Barbosa (1991), as primeiras descobertas de diamantes no Brasil datam de 1714 e foram feitas por Francisco Machado da Silva em um garimpo onde hoje se encontra a cidade de Diamantina, Minas Gerais. Por serem largamente distribuídos em território nacional (Svisero 1995), os grandes investimentos e pesquisa do país ainda são para diamantes de fontes secundárias, enquanto as pesquisas para fontes diamantíferas primárias, se comparadas as de outros países, ainda são muito escassas.

O Distrito Diamantífero Abaeté caracteriza-se por ser uma região com grande potencial econômico para a prospecção de diamantes, por ser uma região de alta probabilidade de se encontrar rochas kimberlíticas e lamproíticas. Para tanto, a realização de um estudo geofísico é de grande

importância para uma melhor compreensão da origem diamantífera no local, bem como o descobrimento e delimitação de áreas potenciais à sua prospecção, podendo gerar, portanto, um impacto econômico positivo.

#### **1.5 MATERIAIS E MÉTODOS**

O trabalho foi realizado conforme os itens descritos a seguir.

#### 1.5.1 Revisão bibliográfica

A realização do trabalho foi iniciada por uma pesquisa bibliográfica acerca da geologia e geofísica da região, bem como seu potencial econômico e mineral. Este teve como principal base de consulta a tese de mestrado Análise Geofísica do Distrito Diamantífero de Abaeté (MG) e de Suas Possíveis Fontes Primárias (Silva 2015), pelo fato de possuir estudos mais abrangentes sobre a geologia da região.

#### **1.5.2** Levantamento de banco de dados

Nessa etapa foram obtidos dados geofísicos (magnetométricos e radiométricos) da área de estudo, os quais foram retirados do banco de dados da CODEMIG (Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais), que são disponibilizados gratuitamente em seu endereço eletrônico na internet. A base de dados aerolevantados consultada é correspondente à Área 9, os quais correspondem ao levantamento realizado entre os anos de 2005 e 2006.

#### 1.5.3 Análise qualitativa

De posse dos dados geofísicos, foi iniciada a etapa de processamento dos mapas temáticos e, para isso, foi empregado o programa Oasis Montaj 7.0.1 e, a partir dele, foram gerados mapas para cada método geofísico. De posse dos mapas processados nesse programa, foi empregado o software Arc Gis (versão 9.3), com o qual foi possível uma integração dos mapas gerados e georreferenciados com os mapas geológicos da região.

#### 1.5.4 Integração geofísica-geológica

Nesta etapa foi executada uma análise e integração dos dados obtidos anteriormente, a fim de se caracterizar e interpretar as anomalias presentes na área.

#### 1.5.5 Análise quantitativa

De posse dos perfis Magnetométricos, foi realizada a Deconvolução de Euler 2D, por meio do software Euler (versão 1.00). Os resultados obtidos foram importantes para uma análise quantitativa do local, na qual foi possível analisar, juntamente com os dados geológicos, a profundidade das anomalias magnetométricas encontradas anteriormente. Os dados obtidos nesse programa foram utilizados, também, na execução de um método denominado krigagem, no qual foram criados modelos em 3D para melhor visualização em profundidade das anomalias.

# **CAPÍTULO 2**

# CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

## 2.1 CONTEXTO GEOTECTÔNICO

A área estudada, pertencente ao Distrito Diamantífero de Abaeté, encontra-se inserida no Cráton São Francisco, mais precisamente na sua borda sudoeste, próxima à Faixa de Dobramentos Brasília.

#### 2.1.1 O Cráton São Francisco

Almeida (1977) delimita o Cráton São Francisco pela Faixa Brasília (a oeste) e pelo Orógeno Araçuaí/Ribeira (a sul e a leste), ocupando uma grande porção do estado de Minas Gerais. (Figura 2.1).



**Figura 2.1 -** Mapa Geológico do Cráton São Francisco e coberturas sedimentares proterozoicas (adaptado de Alkmim & Martins-Neto 2012)

Alkmim (2004) define o cráton como sendo um segmento crustal estabilizado no fim do ciclo Transamazônico e que ele é margeado por regiões reestruturadas no ciclo Brasiliano. Ele é circundado pelos cinturões orogênicos neoproterozoicos brasilianos: Brasília, Ribeira, Riacho do Pontal, Rio Preto, Araçuaí e Sergipana. (Almeida *et al.* 1981).

Almeida (1977) define o embasamento como sendo constituído de rochas e feições mais antigas que 1,8Ga. O embasamento arqueano e paleoproteroz*oi*co compõe-se de litotipos metamórficos de médio e alto grau e de associações de granito-greenstone, aflorantes nas regiões sul e norte do cráton (Teixeira *et al.* 2000). A cobertura é definida por rochas mais jovens que esta idade, as quais são constituídas por rochas pré-cambrianas e fanerozoicas.

Bordeando a porção ocidental do cráton encontra-se a Faixa Brasília, que compreende um cinturão de dobramentos de idade neoproterozoica e possui aproximadamente 1200km de comprimento por 300 km de largura (Uhlein *et al.* 2012). Ela representa o mais completo e bem preservado orógeno do brasiliano e é definida como um conjunto de terrenos e escamas de empurrão de escala crustal que convergiram contra o Cráton São Francisco (Dardenne 2000). Acredita-se que abaixo dessas escamas, parte do núcleo arqueano foi preservada e possibilitou, no Cretáceo, a ascensão kimberlítica diamantífera (Pereira 2007).

### 2.2 QUADRO ESTRATIGRÁFICO

O Distrito Diamantífero de Abaeté está inserido na Bacia Sanfranciscana, mais precisamente na Sub Bacia Abaeté, na porção centro oeste do estado de Minas Gerais (Sgarbi *et al* 2001) (Figura 2.2):

A área de estudo é constituída por três grupos aflorantes, a saber: Bambuí, Areado e Mata da Corda (Sgarbi *et al.* 2001 e Heineck *et al.* 2003), os quais podem ser observados e localizados na coluna estratigráfica a seguir:



**Figura 2.2** - Mapa Geológico do Distrito Diamantífero de Abaeté na Bacia San Franciscana (adaptado de Sgarbi *et al.* 2001).

#### 2.2.1 Grupo Bambuí

O Grupo Bambuí constitui-se numa unidade estratigráfica formada por litofácies siliciclásticas e carbonáticas (químicas, bioquímicas e de retrabalhamento), depositadas sobre uma plataforma marinha epicontinental, no final do neoproterozoico (700 - 600Ma). (Lima *et al.* 2007).

Dardenne (1978) subdivide o Grupo Bambuí em seis formações: Fm. Jequitaí, Fm. Sete Lagoas, Fm. Serra de Santa Helena, Fm. Lagoa do Jacaré, Fm. Serra da Saudade e Fm. Três Marias.

Lima (1997) elucida que a Fm. Jequitaí, caracterizada como unidade basal do Grupo Bambuí é constituída por diamictitos e por arenitos e pelitos. A Fm. Sete Lagoas representa uma unidade carbonática, formada por calcários laminados, calcários e dolomitos estromatolíticos, doloarenitos e brechas dolomíticas, depositados em ambientes de intermaré, inframaré e plataforma carbonática (Lima 1997). A Fm. Serra de Santa Helena representa uma espessa unidade dominada por siliciclásticos finos, principalmente siltitos, folhelhos e arenitos muito finos e impuros, depositados em plataforma dominada pela ação de ondas normais e de tempestades (Guimarães 1997).



Figura 2.3 - Coluna estratigráfica das unidades aflorantes na área de estudo (adaptação de Read et al. 2004).

A Fm. Lagoa do Jacaré é caracterizada por uma sequência carbonática intensamente deformada (espessura da ordem de 250m) e é composta principalmente por calcarenito, podendo ocorrer calcissilitio, biolitito, marga e siltito (Fragoso *et al.* 2011).

A Formação Serra da Saudade é representada por conjunto predominantemente pelítico. Ela é constituída por uma sucessão de siltitos, argilitos e folhelhos de cor esverdeada (amarelos, quanto intemperizados) finamente laminados (Borges 2013). Assentando-se sobre a Fm. Serra da Saudade, a Formação Três Marias é composta principalmente de arenitos e argilitos (Dardenne 1978).

#### 2.2.2 Grupo Aerado

O Grupo Areado é a unidade da Bacia Sanfranciscana com maior variação lateral de litofácies. As mudanças laterais são função da atuação simultânea de diversos ambientes deposicionais, entre os quais leques aluviais, fluviais entrelaçados, fluvio-deltáicos, lacustres, campo de dunas e interdunas (Campos & Dardenne 1997a). As rochas deste grupo são subdivididas nas formações Abaeté, Quiricó e Três Barras (Sgarbi *et al.* 2001).

A Formação Abaeté, unidade basal do Grupo Aerado, é constituída de arenitos calcíferos e conglomeráticos, siltitos, argilitos e folhelhos. Ela foi depositada por leques aluviais na porção sul da bacia e por sistemas fluviais entrelaçados nas demais regiões da bacia. As pequenas ocorrências de conglomerados e arenitos conglomeráticos da borda leste da bacia (região de São Gonçalo do Abaeté - Canoeiros) representam leques aluviais (Borges 2013).

A Formação Quiricó ocorre interdigitada com a Formação Abaeté e em alguns locais ela possui uma discordância angular e erosiva com o Grupo Bambuí. É composta principalmente por rochas pelíticas, e, subordinadamente areníticas (Fragoso *et al.* 2011).

Campos & Dardenne (1997a) descrevem a Formação Três Barras como sendo formação do Grupo Aerado de maior volume e mais ampla área de ocorrência, apresentando, também, as maiores variações laterais de fácies. É composta por arenitos.

#### 2.2.3 Grupo Mata da Corda

O Grupo Mata da Corda caracteriza-se pela presença de rochas vulcânicas alcalinas efusivas e piroclásticas, plutônicas alcalinas e sedimentares epiclásticas (Campos & Dardenne 1997a). Ele é subdividido nas formações Patos e Capacete.

A Formação Patos é composta por rochas alcalinas máficas a ultramáficas de natureza efusiva e piro-clástica, com amplo predomínio dos tipos piroclásticos (Campos & Dardenne 1997a).

A Formação Capacete é representada por sedimentos epiclásticos distais depositados a partir de fontes vulcânicas, com importante contribuição de areias eólicas. É constituída de arenitos cineríticos, localmente conglomeráticos, com cimento carbonático, que de maneira geral podem ser interpretados como depósitos de leques aluviais gerados nas encostas das centenas de edifícios vulcânicos (Borges 2013).

#### 2.3 ARCABOUÇO ESTRUTURAL

A área em estudo é caracterizada como um dos distritos gemológicos mais importantes da Província Diamantífera Oeste do São Francisco, no centro-oeste de Minas Gerais. Logo, o estudo e compreensão do controle estrutural da região é de suma importância para melhor entender os depósitos diamantíferos e onde se localizam, bem como suas fontes primárias e secundárias (Benitez 2009).

Sawasato (1995) propõe que o histórico tectônico da área é quase sempre discutido em termos de reativações mecânicas do embasamento cristalino. A Figura 2.4 apresenta as principais feições estruturais que ocorrem na região. As falhas mestras (1 – Rio das Velhas, 2 – Santo Antônio, 3 – Santa Rosa e 4 – João Pinheiro) e transcorrente (5 – Estrela) são lineamentos gerados pela tectônica Brasiliana (790 a 600Ma). As descontinuidades 12, 13 e 14 (Figura 2.4) acomodam as mais importantes drenagens diamantíferas do distrito – rios Abaeté, Borrachudo e Indaiá, respectivamente (Hassui & Haralyi 1991). Segundo Silva (2015), praticamente todos os depósitos diamantíferos conhecidos relacionam-se de alguma forma com descontinuidades geológicas.

Campos & Dardenne (1997b) propuseram um diagrama tridimensional (Figura 2.5) para a área na qual o estudo foi realizado, a partir do qual nota-se a presença de rochas que possuem alta susceptibilidade magnética, localizadas abaixo do grupo Bambuí. Eles classificam estas rochas como sendo o embasamento cristalino.

Arco do Alto Paranaíba faz parte destes litotipos de alta densidade e magnetismo que foram soerguidos no Cretáceo. Durante o soerguimento do embasamento cristalino, originaram e/ou reativaram fissuras que possibilitaram a intrusão de *pipes* kimberlíticos. O arco tem outro importante papel no cenário geológico do Distrito Diamantífero do Abaeté, ele é a principal fonte dos sedimentos da Sub-bacia Abaeté (Sgarbi *et al.* 2001).



Figura 2.4 - Arcabouço estrutural da Sub-Bacia Abaeté (adaptação de Hasui & Haralyi 1991).



Figura 2.5 - Bloco diagrama da Sub-bacia Abaeté (adaptação de Campos & Dardenne 1997b).

### 2.4 EVOLUÇÃO GEOLÓGICA

O grupo Bambuí, unidade mais antiga aflorante na região de Abaeté, foi formado no final do neoproterozoico em ambiente marinho do tipo epicontinental. O regime tectônico mais aceito indica que uma bacia do tipo antepaís foi gerada por dobramentos e sobrecarga tectônica durante a orogênese que deu origem a Faixa de Dobramentos Brasília. Nesta bacia de antepaís, intercalaram-se rochas terrígenas de regiões proximais e carbonáticas típicas de mar raso (Alkmim & Martins Neto 2001).

Desde o mesoproterozoico, a estrutura denominada atualmente de Arco do Alto Paranaíba atua como um alto do embasamento cristalino (Campos & Dardenne 1997b). Contudo, foi no cretáceo que o arco sofreu a reativação que proporcionou a forma e importância atual. (Silva 2015)

No cretáceo os derrames basálticos da Bacia do Paraná e a abertura do Oceano Atlântico Sul alteraram o equilíbrio crustal da região e, por compensação isostática, induziram o soerguimento do Arco do Alto Paranaíba (Figura 2.6) (Hasui & Haralyi 1991).



Figura 2.6 - Soerguimento do Arco do Alto Paranaíba (adaptação de Hasui & Haralyi 1991).

Ao leste do alto estrutural desenvolveu-se a Depressão do Abaeté (Figura 2.8B, C, D), o primeiro registro subsidência mecânica da Bacia Sanfranciscana (Campos & Dardenne 1997b, Sgarbi *et al.* 2001, Read *et.al* 2004). Segundo Hasui & Haralyi (1991) e Sawasato (1995), a origem da depressão do Abaeté é consequência da reativação de lineamentos proterozoicos presentes no embasamento cristalino.

Estudos realizados com a química mineral e termobarometria de clinopiroxênios sugerem que as intrusões kimberlíticas/lamproíticas ocorreram por meio da reativação de falhas transcontinentais de direção NW-SE. A ascensão foi em um rápido evento geológico na transição do Cretáceo Inferior para o Superior. Na sequência, uma reativação tectônica deu origem ao Grupo Mata da Corda (Figura 2.6 C e D) (Read *et al.* 2004).

Oliveira, C. B. 2018, Análise Geofísica da Região de Abaeté - MG

# **CAPÍTULO 3**

# MÉTODOS GEOFÍSICOS

## 3.1 INTRODUÇÃO

O presente capítulo tem por objetivo apresentar os princípios básicos dos métodos geofísicos utilizados e suas principais aplicações. Existem diversos tipos de levantamentos geofísicos e cada um deles é aplicado de acordo com a propriedade física a qual este é mais sensível. No presente trabalho foram utilizados os métodos magnetométrico e radiométrico, os quais foram aplicados para o estudo das estruturas, rochas e ocorrências minerais da região em questão. Uma correta aplicação de levantamentos geofísicos pode aperfeiçoar os programas de exploração mineral, devido à maximização da taxa de cobertura da área e à minimização de perfurações. No entanto, é importante ressaltar que os métodos geofísicos são passíveis de ambiguidades e incertezas, sendo necessária a utilização de algumas medidas que possam minimizar estes problemas (Kearey *et al.* 2009).

#### 3.2 MAGNETOMETRIA

#### 3.2.1 Introdução

A magnetometria mede as pequenas variações na intensidade do campo magnético terrestre, que ocorrem por consequência da distribuição irregular das rochas magnetizadas em subsuperfície, isto é, o levantamento magnetométrico baseia-se na variação da amplitude magnética, que se encontra diretamente associada à suscetibilidade magnética dos minerais (Kearey *et al.* 2009). Esses minerais magnéticos são muito importantes, pois nos fornecem informações que são utilizadas para a investigação e detecção de depósitos minerais de interesse econômico e, além disso, são muito utilizados para investigações em escala regional de feições crustais de grande escala. Os métodos magnetométricos tem ampla utilização nos dias de hoje (podendo estar presente em levantamentos aéreos, terrestres e marinhos), em virtude de seu baixo custo e rapidez no levantamento e aquisição de dados. (Kearey *et al.* 2009)

#### **3.2.2 O campo magnético terrestre**

O Método Magnético fundamenta-se num campo potencial da Terra, onde as rochas se magnetizam de acordo com a sua susceptibilidade magnética, que depende da quantidade e do modo de distribuição dos minerais magnéticos presentes. O campo magnético possui um caráter dipolar. Os polos magnéticos são normalmente visualizados como excessos de carga magnética que se desenvolvem nas extremidades dos imãs (carga positiva na extremidade norte e negativa na extremidade sul) (Luiz & Silva 1995). Ele pode ser estudado por meio de três diferentes componentes: um campo principal, o qual varia lentamente; um campo menor, que possui uma rápida variação; e as variações espaciais do campo principal, que são usualmente menores que as do campo principal, relativamente constantes no tempo e espaço e são causadas pelas anomalias magnéticas locais presentes na crosta terrestre. Os últimos são os alvos durantes a prospecção geofísica pelos métodos magnéticos, os quais são ocasionados principalmente pela magnetita, pirrotita e ilmenita (Telford *et al.* 1990).

#### 3.2.3 Magnetismo das Rochas e Minerais

A compreensão das propriedades magnéticas dos minerais é muito importante na utilização da magnetometria. Quando um material é exposto a um campo magnético ele pode adquirir uma magnetização na direção do campo que é perdida quando o material é removido do campo. Esse fenômeno é conhecido como magnetização induzida ou polarização magnética, que resultam no alinhamento dos dipolos elementares dentro do material na direção do campo. Como decorrência do alinhamento, o material adquire polos magnéticos distribuídos por toda a sua superfície que correspondem às extremidades dos dipolos, como mostra a Figura 3.1 (Kearey *et al.* 2009).



**Figura 3.1** - Representação esquemática de um elemento em que os dipolos elementares se alinham na direção de um campo externo B, produzindo uma magnetização induzida (modificado de Kearey *et al.* 2009).

É possível considerar a existência de três tipos diferentes de materiais, de acordo com seu comportamento na presença de campos magnéticos externos. As substâncias repelidas são denominadas de diamagnéticas, enquanto as que são atraídas recebem a denominação de paramagnéticas. Estas últimas, quando submetidas a certas condições, apresentam magnetização espontânea e estão associadas aos maiores valores de susceptibilidade, sendo então denominadas de substâncias ferromagnéticas (Telford *et al.* 1990). Na natureza, o mineral ferromagnético mais comum e abundante é a magnetita.

A intensidade induzida de magnetização é proporcional à sua susceptibilidade magnética e a estimulação magnética externa do material. O modo como a magnetização responde a um campo

externo aplicado é conhecido como susceptibilidade magnética, sendo esta o principal parâmetro magnético usado na interpretação geofísica. Esta propriedade varia imensamente para um mesmo tipo de rocha e é intrínseca ao material, assim, depende principalmente do seu processo de formação e da mineralogia magnética, podendo considerar proporcional ao conteúdo mineralógico em sua composição, principalmente de magnetita (Telford *et al.* 1990). Na Tabela 3.1 são apresentadas algumas susceptibilidades magnéticas de rochas.

rochas	Variação	Média	
rocnas	x10 <sup>6</sup> emu	x10 <sup>6</sup> emu	
Sedimentares:	(d)		
Dolomita	0-75	10	
Calcário	2-280	25	
Arenito	0-1660	30	
Folhelho	5-1480	50	
Metamórficas:	- 5%		
Anfibolito	17 <del>4</del> -	60	
Xisto	25-240	120	
Filito	-	130	
Gnaisse	out/00	-	
Quartzito		350	
Ardósia	0-3000	500	
Ígneas:			
Granito	0-4000	200	
Riolito	20-3000	-	
Dolerito	100-3000	1400	
Diabásio	80-13000	4500	
Gabro	80-7200	6000	
Basalto	20-14500	6000	
Diorito	50-10000	7000	
Piroxenito	-	10500	
Peridotito	7600-15600	13000	
Andesito	-	13500	

Tabela 3.1 - Susceptibilidade de rochas (Telford et al. 1990).

Em decorrência da alta concentração de magnetita, as rochas ígneas básicas, em geral, são muito magnéticas (Tabela 3.1). Com o aumento da acidez a concentração de magnetita tende a diminuir. Por isso, quanto mais ácidas as rochas ígneas, menor sua magnetização. As rochas metamórficas variam muito o caráter magnético em função do grau de metamorfismo. As rochas sedimentares apresentam baixíssima susceptibilidade magnética decorrente, na maioria das vezes, da baixíssima concentração de magnetita. Mesmo se os sedimentos das rochas sedimentares proverem de

litotipos com alta concentração de magnetita, estes minerais perdem a orientação coletiva no processo de sedimentação e, geralmente, não geram magnetização resultante (Telford *et al.* 1990).

#### 3.2.4 Tratamento e Filtragem dos Dados

Após a coleta de dados magnéticos, estes são submetidos a operações conhecidas como tratamento, redução ou processamento dos dados com o fim de torná-los mais apropriados para a interpretação. As medidas de campo são, comumente, referidas como dados de entrada (*input*) e o resultado do processamento, como dados de saída (*output*). Dentre as operações de tratamento estão a discretização e a transformação de domínios, que modificam a apresentação das medidas de campo, facilitando a sua manipulação bem como as operações de correção, filtragem e empilhamento, que melhoram a qualidade dos dados (Luiz & Silva 1995).

A correção da variação diurna e remoção do campo geomagnético de referência (IGRF-International Geomagnetic Reference) são praticamente as duas únicas correções realizadas nos levantamentos magnetométricos. Remover o IGRF significa remover a influência do campo geomagnético de referência do levantamento magnetométrico, ou seja, remover a contribuição constante ao campo magnético total. (Silva 2015). A sua remoção possibilita identificar as anomalias locais. Já a variação diurna é gerada a partir da interação da ionosfera com os ventos solares, sua correção é feita com intuito de verificar a variações ocorridas durante o levantamento de dados.

As filtragens são técnicas matemáticas com a finalidade de realçar ou atenuar feições lineares ou planares, separando o sinal produzido pelas fontes de interesse do produzido pelas fontes indesejáveis (ruídos), como os produzidos por heterogeneidades próximas da superfície ou a interferência entre fontes rasas e profundas, permitindo um melhor reconhecimento das anomalias. A filtragem é realizada utilizando-se a Transformada de Fourier, que manipula os dados no domínio da frequência (Silva 2015). Na tabela 3.2, são apresentados os principais filtros utilizados e suas finalidades. Observa-se que, quanto menor a frequência observada, maior é a profundidade do alvo.

18
Tipo	Filtro	Finalidade	
	Passa Baixa	Retira altas frequências obtendo informações de fontes profundas	
Frequência	Passa Alta	Retira baixas frequências obtendo informações de fontes rasas	
	Passa Banda	Evidencia as anomalias do intervalo de frequência desejado	
Continuação	Para Baixo	Elabora respostas de anomalias rasas (filtro altamente instável, geralmente não utilizado	
continuação	Para Cima	Filtra as altas frequências, retirando as anomalias mais superficiais	
	Gradiente Vertical	Evidencia as fontes rasas	
Derivada	Gradiente Horizontal em X	Evidencia as estruturas N-S	
	Graddiente Horizontal em Y	Evidencia as estruturas E-W	
	Residual	Remove as anomalias regionais	

Tabela 3.2 - Filtros de Fourier e suas finalidades geofísicas (Silva 2015).

### 3.2.5 Deconvolução de Euler

A forma das anomalias magnéticas é fortemente afetada pelo campo magnético e seu caráter dipolar, fazendo com que a análise se torne mais difícil. A fim de melhorar e simplificar interpretação, aplicou-se, no presente trabalho, a Amplitude do Sinal Analítico (ASA), que centraliza a anomalia dipolar simetricamente em relação à fonte (Cordani & Shukowsky 2009). A ASA é importante, pois fornece informações acerca da profundidade das anomalias observadas. Também foi utilizada a Derivada da Amplitude do Sinal Analítico (DASA), para se observar se os corpos se apresentavam aflorantes ou subaflorantes, levando em consideração que anomalias de alta amplitude circundadas por anomalias mais baixas decorrem de corpos nesta situação.

Para se realizar uma análise das fontes das anomalias magnéticas em profundidade foi utilizada técnica conhecida como Deconvolução de Euler, que é uma técnica para inversão de dados de campos potenciais, seja magnético ou gravimétrico. Ela foi desenvolvida por Thompsom (1982) e é baseada na equação homogênea de Euler (Eq. 1).

$$(x - x_0)\frac{\partial T}{\partial x} + (y - y_0)\frac{\partial T}{\partial z} + (z - z_0)\frac{\partial T}{\partial z} = N(B - T)$$
 Equação 1

Onde  $(x_0, y_0, z_0)$  é a localização da fonte magnética, (x, y, z) é o ponto de levantamento, T é a anomalia de campo total, B é o campo regional e N é uma medida de taxa de variação que depende da fonte magnética (Kearey *et al.* 2009).

A aplicação do método se baseia na utilização de um *software*, *o* ArcScene 9.3, que fornece o perfil de profundidade da área escolhida. Ao se abrir o programa, são inseridos os

seguintes dados: valores das anomalias do perfil, índice estrutural (representa a geometria dos corpos – Tabela 3.3), profundidade máxima e tamanho da janela (define a área de influência – quanto maior o seu valor, menos pontos serão registrados para a representação do perfil). O processamento dos dados será realizado por meio da inversão dos mínimos quadrados, que são calculados a partir de equações de Euler.

Índice Estrutural	Modelo Físico	Modelo Geológico
1,0	Monopolo	Contato
1,5	Dipolo	Dique Fino
2,0	Prisma	Dique
2,5	Cilindro	Pipe
3,0	Esfera	Diápiro

Tabela 3.3 - Relação do índice estrutural com os modelos físico e geológico (modificado de Reid et al. 1990).

#### 3.3 RADIOMETRIA

#### 3.3.1 Introdução

A radiometria, ou gamaespectometria, é um método que consiste em detectar as emissões nucleares emitidas por minerais radioativos contidos nas rochas. Ela é normalmente utilizada para auxiliar os trabalhos de mapeamento geológico regional e prospecção mineral, considerando que as variações litológicas podem ser caracterizadas por suas distintas assinaturas radioativas (Kearey *et al.* 2009). Por ser um método que apresenta baixa penetrabilidade, as informações por ele obtidas são de rochas aflorantes a subaflorantes. Além disso, é um levantamento muito eficiente na identificação de áreas com alteração hidrotermal, permitindo uma melhor compreensão da área com os processos de mineralização nela atuantes. A interpretação dos dados radiométricos é principalmente qualitativa.

O potássio (<sup>40</sup>K), o urânio (<sup>238</sup>U) e o tório (<sup>232</sup>Th) são os principais radioelementos contribuintes da radioatividade natural das rochas. Todos eles são litófilos e estão concentrados preferencialmente nas rochas ígneas ácidas, em relação às intermediárias, básicas e ultrabásicas (Vasconcellos *et al.* 1994) (Figura 3.2).



Figura 3.2 - Abundâncias relativas de elementos radioativos em diferentes tipos de rochas (modificado de Kearey *et al.* 2009).

Os elementos citados anteriormente (K, U e Th) são isótopos instáveis e sofrem decaimento radioativo, emitindo partículas alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) e os raios gama ( $\gamma$ ). As partículas  $\alpha$  são núcleos de hélio que são emitidos do núcleo do átomo durante as desintegrações dos isótopos. As partículas  $\beta$  são elétrons emitidos quando ocorre a separação do nêutron em um próton e um elétron durante determinadas desintgrações. Os raios  $\gamma$  são puras radiações eletromagnéticas liberadas por núcleos excitados pela emissão de uma partícula  $\alpha$  ou  $\beta$ . Essas emissões radioativas possuem propriedades penetrativas muito diferentes, das quais as partículas  $\alpha$  não podem ser detectadas em nenhum levantamento radiométrico e as partículas  $\beta$ , somente em levantamentos de solo. Dessa forma, os raios  $\gamma$ , por possuírem frequências mais altas que 1016 Hz dentro do espectro e serem mais penetrativos, são os mais utilizados nos levantamentos radiométricos aerotransportados (Kearey *et al.* 2009).

### 3.3.2 Radioatividade das Rochas

Na grande maioria das vezes, as rochas sedimentares são aquelas que apresentam os maiores índices de radiação emitidos, se comparadas às rochas metamórficas e ígneas (com exceção são as rochas ígneas ácidas ricas em potássio). A Tabela 3.4 apresenta os principais minerais e ocorrências de potássio, urânio e tório.

Tabela 3.4: Minerais radioativos (Telford et al. 1990).

Potássio	
Mineral	<ul><li>(i) Ortoclásio e microclína [KA1Si<sub>3</sub>O<sub>8</sub>]</li></ul>
	(ii) Moscovita [H <sub>2</sub> KAl(SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ]
	(iii) Alunita [K2Al5(OH)12SiO4]
	(iv) Sylvita, camalita [KCl, MgC12.6H2O]
Ocorrência	(i) Principais constituintes em rochas ígneas ácidas e pegmatitos
	(ii) Principais constituintes em rochas ígneas ácidas e pegmatitos
	(iii) Alteração em vulcânicas ácidas
	(iv) Depósitos de salinas em sedimentos
Tório	
Mineral	(i) Monazita [ThO <sub>2</sub> + raro fosfato terrígeno]
	(ii) Torianita [(Th, U)O <sub>2</sub> ]
	(iii) Torita, uranotorita [ThSiO <sub>4</sub> + U]
Ocorrência	(i) Granitos, pegmatitos, gnaisses
	(ii), (iii) Granitos, pegmatitos, pláceres
Urânio	
Mineral	(i) Uraninita [óxido de U, Pb, Ra + Th, terras raras]
	(ii) Carnotita [K2O.UO3.V2O5.2H2O]
	(iii) Gummita [alteração da uraninita]
Ocorrência	(i) Granitos, pegmatitos e/com depósitos em veios de Ag, Pb, Cu, etc.
	(ii) Arenitos
	(iii) Associado à uraninita

As ocorrências minerais de potássio mais significativas são encontradas em rochas ígneas ácidas, como granitos e corpos pegmatíticos, onde se constata ortoclásio/microclina (aproximadamente, com 13% de potássio) e moscovita (aproximadamente, 8% de potássio), e em depósitos salinos marinhos, cujos principais minerais de potássio são silvita e carnalita. aparecimento de potássio também pode ser um indicativo de alteração hidrotermal (Telford *et al.* 1990).

O urânio primário pode ocorrer em minerais à base de óxido e em silicatos, já aquele proveniente de processo intempérico, concentra-se em óxidos de ferro autigênicos e argilominerais. Os principais minerais e ocorrências de urânio são: uraninita, encontradas em granitos, pegmatitos e veios hidrotermais; carnotoíta, que pode ocorrer em arenitos; gummita, produto de alteração da uraninita; folhelhos negros carbonosos; rochas sedimentares carbonáticas (Telford *et al.* 1990).

Os principais minerais de tório são: monazita e zircão, encontrados em granito, gnaisses e pegmatitos; torianita, torita e uranotorita, presentes em granito, gnaisses e pláceres. O tório é liberado pela quebra de minerais durante o processo intempérico, podendo concentrar-se em minerais hidratados ou oxidados, à base de ferro ou titânio, e em argilominerais (Telford *et al.* 1990).

Oliveira, C. B. 2018, Análise Geofísica da Região de Abaeté - MG

# **CAPÍTULO 4**

# O CLÃ KIMBERLÍTICO

Os kimberlitos são rochas mantélicas de origem intrusiva, que possuem forte importância econômica, pois são as principais fontes diamantíferas. Apesar de menos de 1% das intrusões kimberlíticas serem portadoras desse mineral de grande valor econômico agregado, elas retêm cerca de 85% da produção mundial do mineral (Sgarbi *et al.* 2001, Costa & Luz 2005, Svisero 2006, Pereira 2007).

O presente capítulo tem como objetivo a descrição geológica e geofísica do clã kimberlítico. Nele, serão abordados os principais tópicos acerca do conhecimento geocientífico que se tem sobre essas rochas e suas rochas parentais.

## 4.1 KIMBERLITOS E ROCHAS PARENTAIS

Os kimberlitos e rochas parentais ocorrem em todos os continentes e são provenientes de plumas mantélicas sob a crosta continental. Devido ao grande interesse econômico, estão sendo estudadas desde sua descoberta na África do Sul. Entretanto, sua natureza híbrida os torna de difícil definição. Diferem-se em função de diversos fatores tais como a profundidade, composição do magma, velocidade de ascensão e localização continental (Silva 2015). Eles são um grupo de rochas ultrabásicas ricas em voláteis (principalmente dióxido de carbono) e óxido de magnésio (MgO) e apresentam, normalmente, uma textura inequigranular característica, resultando na presença de macrocristais inseridos em uma matriz de grãos finos (Mitchell 1991).

### 4.1.1 Breve Histórico

Os kimberlitos foram descobertos ao acaso na África do Sul, no final do século XVIII (Costa & Luz 2005, Pereira 2007). Relatos afirmam que as primeiras chaminés kimberlíticas foram encontradas a partir de drenagens diamantíferas e que os extratores encontraram os *pipes* Koffiefontein e Jagersfontein guiados pelos diamantes e minerais indicadores de cursos d'água. Porém, outros afirmam que o primeiro kimberlito foi descoberto na fazenda Bultfonein. A descoberta do *pipe* mudou o cenário extrativista. Afinal, desvinculou o mineral das drenagens. Os primeiros diamantes do *pipe* Bultfonein foram encontrados retirando o barro para construção de casas, em novembro de 1869. Com esta descoberta, os trabalhadores começaram a procurar jazidas fora de cursos d'água, as quais foram denominadas "garimpos secos". Aproximadamente meio quilômetro ao

norte do *pipe* Bultfonein foi encontrado outro importante "garimpo seco", o kimberlito Dutoitspan. Outros garimpos similares foram descobertos, mas o rumo da exploração diamantífera só mudou com a descoberta de dois grandes "garimpos secos" na fazenda dos irmãos De Beers. Nos vinte anos que sucederam, o descobrimento do primeiro *pipe*, cerca de 15 chaminés kimberlíticas foram encontradas na região da cidade Kimberly, sendo a maior parte delas estéril (Marini *et al.* 2002).

Quando a pesquisa de fontes primárias em crátons arqueanos parecia consolidada, mais de um século depois da descoberta do primeiro kimberlito, uma nova rocha ígnea diamantífera foi descoberta, localizada no norte da Austrália. Essas rochas, os lamproítos diamantíferos Ellendale e Argyle, foram descobertos no final da década de 70. Os *pipes* revolucionaram as pesquisas sobre as fontes primárias, pois, estas intrusões não são kimberlitos e não se localizam em crátons e sim em cinturões dobrados (Marini *et al.* 2002).

Na década de 70, mais de um século posterior a descoberta do primeiro kimberlito, quando a pesquisa de fontes primárias em crátons arqueanos parecia definida, uma nova rocha ígnea diamantífera foi descoberta no norte da Austrália, os lamproítos diamantíferos de Ellendale e Argyle. Essa descoberta revolucionou as pesquisas sobre as fontes primárias, pois estas intrusões não são kimberlitos e não se localizam em crátons e sim em cinturões de dobramentos (Marini *et al.* 2002).

Os excelentes resultados econômicos advindos da extração diamantífera em *pipes* impulsionaram os avanços tecnológicos e científicos para a descoberta das fontes primárias diamantíferas, fazendo com que o número de pesquisas relacionadas ao assunto aumentassem em grande número. Atualmente já se tem estudos em praticamente todos os crátons e adjacências no mundo, mas ainda há muito a se explorar.

### 4.1.2 Classificação dos Kimberlitos e Lamproítos

Identificar corretamente o clã kimberlítico diamantífero não é algo trivial, pois kimberlitos e lamproítos pertencem a grupos petrográficos similares, mas a grupos petrológicos distintos. Basicamente, o clã apresenta teores de Mg, Cr, Ni e Co compatíveis com as outras rochas ultramáficas provenientes do magmatismo alcalino intraplaca. Contudo, tem teores mais elevados de elementos incompatíveis às ultramáficas (P, O, Zr, Nb, Sr, Ba, Rb e terras raras). Uma distinção simplificada entre kimberlitos e lamproítos consiste em dizer que nos lamproítos a concentração dos elementos incompatíveis é ainda mais alta do que nos kimberlitos e a concentração dos elementos compatíveis é mais baixa (Mitchell 1991).

A natureza ultrabásica dos kimberlitos é indicada pela concentração de  $SiO_2$ . Eles são pobres em sódio (Na) e a característica alcalina decorre dos altos níveis de potássio (K<sub>2</sub>O) na flogopita. Dentre os voláteis, o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e a água (H<sub>2</sub>O) predominam com cerca de 10 e 5% (em peso), respectivamente (Mitchell 1986, 1989, 1991). As principais características mineralógicas dos *pipes* passíveis de portar diamantes são descritas na Tabela 4.1.

		Kimberlitos (Grupo I)	Kimberlitos (Grupo II)	Lamproítos
B	Macrocristais	x	Х	Х
Olivin	Fenocristais	x	x	x
ca	MacrocrFenocr.	x, flogopita	x, flogopita	x, flogopita a Ti-flogopita
Ï	Matriz	x, flogopita kinoshilita	x, tetraferriflogopita	x, Ti-tetraferriflogopita
	Espinélio	Abundante, Mg-ulvospinélio	raro, Mg-cromita a Ti- magnetita	raro, Mg-cromita a Ti- magnetita
	Monticelita	x		
	Diopsídio		x, Al- + Ti-pobre	x, Al- + Ti-pobre
	Perovskita	x, Sr-+ETR-pobre	raro, Sr-+ETR-rico	raro, Sr-+ETR-rico
	Apatita	x, Sr- + ETR-pobre	x, abundante, Sr- + ETR-rico	x, Sr-+ETR-rico
	Calcita	Abundante, Mg-ulvospinélio	Х	
	Sanidina		Raro, na matriz	x, fenocristais + matriz
	K-richterita		Raro, na matriz	x, fenocristais + matriz
	K-Ba-titanatos	muito raro	Х	Х
	Zr-silicatos	muito raro	X	х
	Mn-ilmenita	raro	х	muito raro
	Leucita		raro peseudomorfos	fenocristais

**Tabela 4.1-** Diferenças mineralógicas das intrusões magmáticas passíveis de conter diamantes: kimberlitos dos Grupos I e II e lamproítos (adaptação de Mitchell 1995).

Os lamproítos são rochas híbridas constituídos de uma mistura de produtos de cristalização magmática com xenólitos e xenocristais do manto. Ambos são pobres em sílica, ricos em MgO, FeO, K<sub>2</sub>O e voláteis. Entretanto, ao contrário dos kimberlitos, o CO<sub>2</sub> é praticamente ausente. Eles são peralcalinos e tipicamente ultrapotássicos (contendo 6% a 8% de K<sub>2</sub>O contra 0,6-2% nos kimberlitos do Grupo I e 5% nos kimberlitos do Grupo II). Possuem a razão K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O cerca de cinco vezes maior que os kimberlitos. As ultrabásicas têm altas concentrações de Cr e Ni e concentrações mais elevadas ainda de Zr, Nb, Sr, Ba e Rb que os kimberlitos. Os lamproítos têm matriz vítrea e a fração relativamente alta de CaCO<sub>4</sub> (Mitchell 1991, Pereira 2007).

Kimberlitos e lamproítos exibem muitos minerais comuns, dentre eles são citados: olivina, diopsídio, flogopita, apatita, perovskita, ilmenita e espinélio. Entretanto, a presença de anfibólio, leucita, sanidina, wadeita, priderita e a ausência de monticelita, carbonato e serpentina primários nos lamproítos, constituem as mais importantes diferenças entre eles e os kimberlitos (Mitchell 1991, Pereira 2007).

### 4.1.3 Morfologia dos Pipes

Cada tipo *pipe* irá refletir uma distinta morfologia no manto superior. Os kimberlitos não micáceos (Grupo I), possivelmente, provêm de fontes mais profundas, próximo a astenosfera. Já os micáceos (Grupo II), possivelmente, provêm de áreas mais próximas à base da litosfera, altamente enriquecidas com elementos incompatíveis. (Marini *et al.* 2002)

Mitchell (1991) e Marini *et al.* (2002) propõem que os *pipes* são divididos em três partes: cratera, diatrema e zona de raiz. Os kimberlitos sul-africanos foram os primeiros a serem analisados em subsuperfície e é deles o modelo morfológico mais conhecido (Figura 4.1).



Figura 4.1- Modelo kimberlítico sul-africano (adaptação de Mitchell 1991).

A cratera, parte mais superficial da intrusão, é composta de material piroclástico geralmente retrabalhado pela água e pode chegar a alguns quilômetros de diâmetro e algumas centenas de metros de profundidade. O contato com a rocha encaixante não ultrapassa o ângulo de 50°. Logo após a cratera tem-se a diatrema, que é a maior e a mais importante parte das intrusões kimberlíticas. Elas são circulares ou elípticas e estreitam com a profundidade, de acordo com o modelo sul africano (Figura 4.1). Tem contatos regulares com as rochas encaixantes de 75 a 85°. O comprimento axial depende da profundidade da sua origem, mas geralmente tem entre 300 e 2000m (Mitchell 1991). Devido ao arranjo interno relativamente mais simples que as demais zonas, a diatrema é a região do *pipe* com

menor flutuação do teor diamantífero (Pereira 2007). Após a diatrema vem a zona de raiz, a qual apresenta formato mais irregular, por vezes complexo. Ela é composta por apófises, diques e soleiras.

Por muito tempo, o bem-sucedido modelo sul africano para os kimberlitos foi amplamente usado por geocientistas, mas novas descobertas de fontes primárias diamantíferas, revelaram *pipes* de formas diferentes (Figura 4.2) (Costa & Luz 2005).



**Figura 4.2-** As descobertas de novas fontes primárias diamantíferas tem mostrado diferentes geometrias para o clã kimberlítico. (A) Modelo clássico de *pipes* lamproíticos; (B) diversos formatos e fácies de kimberlitos canadenses; (C) paleosuperfície e feições atuais dos anômalos *pipes* diamantíferos do Canadá; (D) intrusões múltiplas de kimberlitos siberianos (adaptação de Costa & Luz 2005).

Os lamproítos são as fontes primárias que mais se diferenciam do modelo sul africano. Eles não possuem fácies de diatrema ou zona de raiz e seu canal magmático é localizado na fácies de cratera por várias centenas de metros, tendo um formato semelhante a uma taça (Costa & Luz 2005) (Figura 4.3A).

Segundo Fipke *et al.* (1995), kimberlitos normalmente ocorrem associados a outras intrusões/*pipes*, denominando-se este agrupamento de *clusters*. Cada *cluster* é composto de 1 a 20 intrusões próximas entre si e separadas em 2 km ou mais de outros *clusters* semelhantes (Mitchell, 1986). Não necessariamente todos os corpos apresentarão diamantes em sua assembleia mineral, como

por exemplo, o caso em Kimberley em que dos 15 *pipes* incluídos num único *cluster*, cinco são mineralizados com diamantes (Fipke *et al.* 1995).

Os estudos sobre o comportamento de intrusões kimberlíticas em subsuperfície têm mostrado que a morfologia tem implicações fundamentais nas estratégias de pesquisa dos corpos. Sob este aspecto, ressalta-se que tais características não são bem conhecidas nas intrusões brasileiras (Costa & Luz 2005).

## 4.2 MAGNETOMETRIA E GAMAESPECTROSCOPIA PARA KIMBERLITOS

Não há nenhum método geofísico atualmente que permita que os diamantes sejam localizados diretamente, pois eles são apenas fenocristais encontrados nas rochas do clã kimberlítico. Os métodos geofísicos, então, são utilizados com a finalidade de localizar os *pipes* e fornecer informações geológicas em profundidade, auxiliando na locação de furos de sondagem/trincheiras e reduzindo os custos de pesquisa/exploração. Os métodos geofísicos também colaboram na compreensão das estruturas regionais que permitiram a ascensão kimberlítica (Macnae 1995, Pereira & Fuck 2005).

No que se diz respeito às propriedades físicas, tais como susceptibilidade magnética, condutividade elétrica e densidade, as rochas kimberliticas e as rochas encaixantes apresentam diferenças entre si. Existem diversos métodos utilizados na identificação dos *pipes*, mas a magnetometria e a radiometria, em geral, são os mais utilizados, pois apresentam uma relação custo/benefício bem menor que os demais, além da maior facilidade de aquisição.

Macnae (1995) apresentou um dos primeiros trabalhos sobre a contribuição dos levantamentos aeromagnetométricos para a determinação de estruturas profundas relacionadas ao kimberlitos. Este trabalho trata da importância da magnetometria na descoberta de fontes primárias diamantíferas e na compreensão do contexto geotectônico em que as mesmas se encontram

Macnae (1995) elucida que todos os *clusters* economicamente diamantíferos foram levantamentos com magnetometria. Essa técnica permite que todas, ou quase todas, as chaminés kimberlíticas/lamproíticas sejam localizadas. Primeiramente, são realizados levantamentos regionais acerca da área e, logo em seguida, parte-se para os levantamentos de detalhe terrestres ou aéreos. Os aerolevantamentos de detalhes utilizam helicópteros voando a baixas altitudes (~ 50 a 100m do solo). A Figura 4.3 é um exemplo de utilização da técnica da aeromagnetometria, realizada no *cluster* Ellendale, Austrália, para localização das dos *pipes*. Ele foi descoberto em 1976, com auxílio da magnetometria.



Figura 4.3- Aplicação da aeromagnetometria na identificação de chaminés lamproíticas (adaptação de Macnae 1995).

Os levantamentos gamaespectrométicos na maioria das vezes são utilizados juntamente com os Magnetométricos. As medidas da radiação gama de potássio (K), urânio (U) e tório (Th) são coletados individualmente e por meio da contagem espectral total. As faixas de energia de cada elemento radioativo estão descritas na Tabela 4.2.

Canal Radiométrico	Faixa de Energia (MeV)	
Contagem Total	0,41-2,81	
Potássio	1,37-1,57	
Urânio	1,66- 1,86	
Tório	2,41-2,81	

Tabela 4.2- Faixa radioativa dos elementos gamaespectrométricos (adaptação de CODEMIG 2005-2006).

Por ser de natureza alcalina ultrabásica, as rochas kimberlíticas/lamproíticas apresentam, em geral, mais tório e urânio que as demais rochas ultramáficas logo, as razões Th/K e U/K são maiores. Em kimberlitos do Grupo I estas razões são maiores devido a menor concentração de potássio do que nos kimberlitos do Grupo II e lamproítos (Haralyi & Svisero 1984). Segundo Macnae (1995), nos lamproítos da província de Ellenadele (Austrália) os fotopicos urânio, tório e potássio foram muito

bem marcados com aerogamaespectrometria. O contraste entre as intrusivas ígneas e as rochas encaixantes carbonáticas permitiram a identificação de praticamente todos os lamproítos da área.

# 4.3 HISTÓRICO DO CLÃ KIMBERLÍTICO DO CENTRO OESTE DE MINAS GERAIS

As primeiras pesquisas oficiais sobre os kimberlitos e rochas correlatas do centro-oeste mineiro são da década de 60. A metodologia para localizá-los baseava-se na coleta de minerais indicadores ao longo das drenagens diamantíferas. Com o tempo, fotografias aéreas, imagens de satélite, estudos petrográficos, geoquímicos e geofísicos estão sendo utilizados para facilitar a localização das fontes dispersoras dos minerais indicadores (Pereira 2007). Segundo Haralyi & Svisero (1984), as primeiras contribuições geofísicas referentes às intrusões kimberlíticas/lamproíticas no centro-oeste mineiro são de 1973 e dizem respeito às magnetofácies do kimberlito Santa Rosa, em Coromandel. Em 1974, o grupo De Beers iniciou oficialmente as buscas de fontes primárias economicamente viáveis no Brasil. O aumento do interesse empresarial impulsionou a utilização de técnicas geofísicas. Aliado ao Convênio Geofísico Brasil-Alemanha centenas de kimberlitos e rochas parentais foram descobertas e estudadas. Contudo, a grande maioria dos dados está em relatórios empresariais inacessíveis à academia (e g. Haralyi *et al.* 1984, Svisero 2006).

Pereira (2007) acredita que os lineamentos associados ao soerguimento do Arco do Alto Paranaíba romperam terrenos onde o embasamento arqueano está preservado. Segundo ele, esta análise é muito incentivadora para as pesquisas kimberlíticas/lamproíticas do centro-oeste mineiro, pois, apesar de pouquíssimos kimberlitos serem mineralizados, sua distribuição não é aleatória e segue um padrão estrutural relativamente rígido. Neste padrão, os *pipes* diamantíferos concentram-se, predominantemente, ao longo de megafraturas continentais que romperam áreas arqueanas (*e g.* Svisero 2006, Pereira 2007). Atualmente, a técnica geofísica mais utilizada na análise estrutural das megafraturas continentais é a magnetometria.

A Figura 4.4 mostra um importante trabalho do sul do Cráton São Francisco (Pereira & Fuck 2005). Neste estudo, as magnetofácies das falhas e fraturas são correlacionadas a intrusões do clã kimberlítico. Os dados do Convênio Geofísico Brasil-Alemanha foram utilizados na confecção do mapa de campo magnético total do sul do Cráton São Francisco e adjacências (Figura 4.4A). A Figura 4.4B é referente à interpretação geofísica das principais magnetofácies referentes ao estudo dos *pipes*. Pereira & Fuck (2005) reforçam que os levantamentos magnetométricos (aéreos e terrestres) foram responsáveis pela detecção direta de centenas de rochas do clã kimberlítico em todo o Cráton São Francisco e adjacências, especialmente no parte sul-sudoeste.



**Figura 4.4-** (A) Mapa de campo magnético total; (B) interpretação das principais magnetofácies correlacionadas aos *pipes* kimberlíticos do sul do Cratón Francisco e adjacência (adaptação de Pereira & Fuck 2005).

No centro-oeste mineiro, os kimberlitos e rochas parentais datam de 75 a 120Ma (Pereira & Fuck 2005). Bizzi *et al.* (1991) sugerem uma única fonte mantélica para os kimberlitos da margem sudoeste do cráton a partir de razões isotópicas de U/Pb e Pb/Pb. Chaves *et al.* (2008) sugerem que o contraste entre a abundante ocorrência de diamantes coloridos no Distrito Diamantífero do Abaeté e a inexistência dos mesmos, mas a presença de gemas incolores, em São Roque de Minas, indica que as fontes primárias dessas áreas são de distintos sítios do manto.

A teoria mais aceita sobre a origem dos *pipes* diamantíferos do centro-oeste mineiro está intrinsicamente ligada às zonas de fraqueza ocasionadas pelo soerguimento do Arco do Alto Paranaíba. Na transição do Cretáceo Inferior e Superior o magmatismo que percolou as fraturas geradas pelo soerguimento do arco deram origem aos *pipes*, principalmente kimberlitos do Grupo I (120- 89Ma) (Read *et al.* 2004).

Kimberlitos e rochas correlatas já foram identificadas no centro-oeste de Minas Gerais, mas em todo o Cráton São Francisco e adjacências apenas umas dez intrusões tem caráter diamantíferos (Pereira 2007). Dentre estes está o kimberlito X270 (Patos de Minas), de  $89,5 \pm 3,4$ Ma. A intrusão é um kimberlito do Grupo I que apresenta microdiamantes em fácies de cratera e aflora no Grupo Areado, próximo ao Distrito Diamantífero do Abaeté (Read *et al.* 2004). Situado na cidade São Roque de Minas, centro-oeste de Minas Gerias, o Canastra I é o mais conhecido kimberlito diamantífero brasileiro. Além de apresentar viabilidade econômica, alguns geocientistas chegam a considerá-lo um dos mais ricos de toda Terra no quesito valor/peso (Chaves *et al.* 2008). Ele tem cerca de 120Ma e foi descoberto em 1974. Atualmente, a detentora dos direitos minerários, Brazilian Diamonds, negocia com governo a liberação das atividades de lavra (Chaves *et al.* 2008). Esse *pipe* pode e deve ser considerado importante exemplo ao incentivo científico, tecnológico e econômico das pesquisas em fontes primárias brasileiras.

Um dos maiores diamantes do mundo, conhecido também como Brilhante do Rei de Portugal, foi achado na região a qual se realiza o trabalho, isto é Região de Abaeté. Pesando 120 quilates ele foi encontrado no rio Abaeté, o qual nasce na Serra da Mata da Corda (Lima 1926).

# **CAPÍTULO 5**

# ANÁLISE QUALITATIVA

Neste capítulo, realizou-se uma análise qualitativa da área estudada, por meio da geração e interpretação dos diversos mapas temáticos magnetométricos e radiométricos. Esses mapas foram obtidos a partir do banco de dados disponibilizado pela CODEMIG, o qual foi aerolevantado nos anos de 2005/2006, e posteriormente processados no *software* Geosoft Oasis Montaj (versão 7.0.1), do sistema *GEOSOFT*. Após a confecção desses mapas, foi realizada uma interpretação geológico/geofísica, com auxílio dos *softwares* ArcGIS 9.3 e ArcScene.

### 5.1 BANCO DE DADOS

O banco de dados geofísicos utilizado provém de uma campanha geofísica realizada pela Secretaria de Estado de Minas e Energia do Estado de Minas Gerais (SEME), juntamente com a CODEMIG (Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais), que foi denominada de Programa de Levantamento Aerogeofísico de Minas Gerais. Os bancos de dados são do Programa 2005/2006.

A área estudada corresponde à Área 9 (João Pinheiro- Presidente Olegário- Tiros), que cobre uma superfície de 8.873km<sup>2</sup>, compreendendo 12 municípios, dentre os quais se destaca a região do Distrito Diamantífero de Abaeté. Seu levantamento teve altura média de voo de 100m, com linhas de amostragem espaçadas de 400m na direção norte/sul e linhas de controle espaçadas de 8km na direção leste/oeste. As medidas foram coletadas em intervalos de tempo de 0,1s para o magnetômetro e 1,0s para o espectrômetro.

Os dados geológicos utilizados são referentes ao mapa litológico dos projetos Integração e Correção Cartográfica em SIG, do convênio com a ex-Secretaria de Estado de Minas e Energia – SEME/COMIG e pela UFMG (1994). Por meio dele foi realizado um recorte, no qual foi deixada apenas a área de estudo, com auxílio do *software* ArcGIS 9.3 (Figura 5.1).

Oliveira, C. B. 2018, Análise Geofísica da Região de Abaeté - MG



Figura 5.1 – Mapa Geológico da Área 9, adaptado de CODEMIG (2005).

## 5.2 METODOLOGIA

De posse dos dados mencionados anteriormente, deu-se início ao processamento dos dados, que consistiu na geração dos mapas temáticos, por meio do *software* Geosoft Oasis Montaj 7.0.1, no qual foram inseridos os dados em formato gdb. Por meio da rotina WINXY do programa acima, processaram-se os dados de modo a utilizar apenas os dados da área em estudo. Os dados foram

interpolados pelo método de mínima curvatura para a confecção das imagens, utilizando-se uma malha regular de 300m e deram origem a arquivos do tipo .grd. Logo após foram gerados mapas temáticos magnetométricos (Campo Magnético Anômalo; Gradiente Vertical de Primeira e Segunda Ordem; Gradientes Horizontais em X e Y; Amplitude do Sinal Analítico, Derivada da Amplitude do Sinal Analítico), com a aplicação de derivações e filtragens e os mapas radiométricos (Canais de K, Th, U e Contagem Total; Razões Th/K, U/K, U/TH; Imagem Ternária; Parâmetro F). Os mapas georreferenciados foram integrados a dados geológicos em ambiente SIG, com auxílio *software* ArcGIS (versão 9.3), a fim de se realizar a interpretação qualitativa.

# 5.3 ANÁLISE MAGNETOMÉTRICA

Para que se realize a interpretação dos dados é necessário, primeiramente, a confecção dos mapas temáticos. Para tanto, foi seguida uma sequência de produção na qual teve início com a elaboração do mapa magnético corrigido do *Internacional Geomagnetic Reference Field* (IGRF). Por meio dele foram gerados o mapa de Amplitude do Sinal Analítico (ASA) e os mapas das derivadas por meio da rotina MAGMAP (Figura 5.2). As filtragens exercem um papel muito importante na análise quantitativa, pois são responsáveis por destacar informações de interesse para o estudo. As derivadas dx e dy, também conhecidas como derivações horizontais, e as derivadas verticais, dz e d<sup>2</sup>z, foram empregadas com o objetivo de se ressaltar e identificar estruturas importantes.



**Figura 5.2** - Fluxograma do processamento dos mapas magnetométricos temáticos campo anômalo, dx (gradiente horizontal em X), dy (gradiente horizontal em Y), dz (gradiente vertical de 1<sup>a</sup> ordem), d<sup>2</sup>z (gradiente vertical de 2<sup>a</sup> ordem) e amplitude do sinal analítico; DASA (Derivada da Amplitude do Sinal Analítico).

O mapa de Amplitude do Sinal Analítico foi tomado como base de observação para a análise quantitativa da área, pois apresenta caráter monopolar, isto é, seus resultados não dependem dos parâmetros do campo magnético e da direção da magnetização da fonte (Roest *et al.* 1992). As imagens colorpéticas dos mapas apresentam a intensidade do sinal magnético em uma escala de cor, na qual os tons mais avermelhados ao magenta correspondem a um alto magnético, enquanto os

esverdeados a azuis a um baixo. Dessa forma, para uma melhor interpretação, a área foi dividida em compartimentos que apresentassem fácies magnetométricas semelhantes, ou seja, magnetofácies. Para tal, foi utilizado o mapa da Amplitude do Sinal Analítico, o ASA, pois este apresentou uma melhor visualização. Foram identificadas 4 magnetofácies (Tabela 5.1 e Figura 5.3)

MAGNETOFÁCIES	DESCRIÇÃO	
1	Caracterizada por alta amplitude (0,079 a 0,0354nT/m) e baixo comprimento de onda, coloração em tons de magenta.	
2	Caracterizada por magnetização intermediária (0,035 a 0,013nT/m), comprimento de onda intermediário, coloração em tons de avermelhado a amarelado.	
3	Caracterizada por baixas amplitudes (0,013 a 0,007 nT/m) e altos comprimentos de onda, coloração em tons de verde.	
4	Caracterizada por baixa amplitude (0,007 a 0,002 nT/m) e alto comprimento de onda, coloração em tons de azul.	

Tabela 5.1: Descrição das Magnetofácies



**Figura 5.3** - A) Mapa magnetométrico, Amplitude do Sinal Analítico, da área de estudo; e B) Magnetofácies sobreposta ao mapa magnetométrico, Amplitude do Sinal Analítico.

A Magnetofácies 1 (Figura 5.3) é caracterizada por alta resposta do sinal magnético de altas amplitudes e baixo comprimento de onda e distribui-se predominantemente nas regiões noroeste e sudoeste da área. Ela possui os mais altos valores de magnetização e apresenta-se em tons de magenta a avermelhado. A Magnetofácies 2 representa uma magnetização intermediária e possui tons de vermelho a amarelado, abrangendo maior parte da região. A Magnetofácies 3 possui baixos valores e é marcada por coloração verde. Ela bordeia, na maioria das vezes, a Magnetofácies 2. A Magnetofácies 4 é aquela na qual se encontram os mais baixos valores de magnetização. Ela se encontra bordeando a Magnetofácies 1, na grande maioria das vezes.

Os lineamentos magnéticos também foram delimitados por meio do mapa de Amplitude do Sinal Analítico. Por meio de sua marcação, foram identificados 907 lineamentos (Figura 5.4), com direção preferencial para NW. As rosetas foram elaboradas no *software* Open Stereo 0.1.2.

Na análise da roseta (Figura 5.4B), observou-se uma grande dispersão das direções dos lineamentos. Desta forma, verificou-se que a área total de estudo possui três compartimentos com diferentes direções preferenciais de lineamentos. Assim, compartimentou-se em 3 domínios de comportamentos de lineamentos distintos, sendo um com direção preferencial para NW (Domínio 1), outro para EW (Domínio 2) e outra para NS (Domínio 3), os quais podem caracterizar eventos tectônicos distintos (Figuras 5.5). No domínio 1 foram assinalados 633 lineamentos e é possível notar um grande lineamento para NW, o qual influencia as outras feições magnéticas, (Figura 5.5), com uma direção preferencial para NW (Figura 5.5A). No Domínio 2 foram assinalados 208 lineamentos (Figura 5.5A), com uma direção preferencial para EW. No Domínio 3 foram observados 88 lineamentos (Figura 5.5A), com uma direção preferencial para NS. As rosetas foram elaboradas no *software* Open Stereo 0.1.2.



Figura 5.4 - A) Mapa magnetométrico, Amplitude do Sinal Analítico, da área de estudo; e B) Roseta dos lineamentos.



**Figura 5.5** – A) Mapa magnetométrico Amplitude de sinal Analítico com os lineamentos e as compartimentações em domínios; e B) Roseta dos lineamentos dos Domínios.

# 5.4 ANÁLISE RADIOMÉTRICA

Esta análise objetiva a delimitação de áreas com diferentes níveis de radioatividade do Tório (<sup>232</sup>Th), Urânio (<sup>238</sup>U), Potássio (<sup>40</sup>K) e Contagem Total, por meio dos mapas de unidades radiométricas, os quais indicam a distribuição dos três radioelementos na superfície. Esta técnica é de grande aplicabilidade no mapeamento geológico, pois a permite uma visualização mais superficial da área, o que facilita a comparação dos mapas radiométricos gerados com o mapa geológico, facilitando a integração dos mesmos. Por meio do *software* OASIS MONTAJ, foram elaborados os mapas radiométricos, utilizando-se os elementos Tório, Urânio e Potássio. Foram confeccionados os mapas de canal do U, Th e K e os mapas de Contagem Total, Imagem Ternária, Parâmetro F, razão U/Th, razão U/K e razão Th/K por meio da associação dos três elementos (Figura 5.6).



Figura 5.6 - Mapas temáticos radiométricos e imagem Ternária gerados com o software OASIS MONTAJ 7.0.1.

Para se realizar a interpretação qualitativa dos dados foi utilizado principalmente o mapa Ternário, com auxílio dos demais mapas gerados e, por meio deles, foram delimitadas 9 radiofácies (Figura 5.7 e Tabela 5.2). Cada radioelemento foi classificado qualitativamente em função da sua concentração relativa em muito baixo, baixo, intermediário, alto e muito alto (Tabela 5.2).



Figura 5.7 - A) Mapa de radiofácies sobreposto ao mapa ternário; e B) Mapa Ternário.

Radiofácies	Teor de Th	Teor de U	Teor de K
1	Muito Alto	Muito Alto	Muito Baixo
2	Baixo	Intermediário	Baixo
3	Muito Alto	Muito Alto	Muito Baixo
4	Intermediário a Alto	Intermediário a Alto	Alto a Muito Alto
5	Baixo	Intermediário	Baixo
6	Baixo	Alto	Intermediário a Baixo
7	Intermediário a Baixo	Intermediário a Baixo	Intermediário a Alto
8	Baixo a Muito Baixo	Baixo a Muito Baixo	Intermediário a Baixo
9	Muito Baixo	Muito Baixo	Muito Baixo

Tabela 5.2 - Concentrações relativas de Th, U e K das radiofácies interpretadas da área de estudo.

A partir da interpretação dos lineamentos radiométricos foram assinalados 891 lineamentos (Figura 5.8), com uma direção preferencial para NW. As rosetas foram elaboradas no *software* Open Stereo 0.1.2.



Figura 5.8 – A) Roseta dos lineamentos radiométricos e B) Imagem Ternária com os lineamentos radiométricos.

# 5.5 INTEGRAÇÃO GEOLÓGICA GEOFÍSICA

Esse tópico consiste na correlação dos dados geológicos aos geofísicos já processados e interpretados, referentes à região de estudo. Para tal, foi utilizado o programa Arc Gis 9.3, juntamente com a sua extensão o ArcScene. A integração foi feita sobrepondo-se os mapas geolísicos ao mapa geológico da Área 9, possibilitando, assim, análise e comparação da litologia dos corpos aflorantes e subaflorantes e também de suas relações estruturais.

### 5.5.1 Magnetometria

Uma vez que os dados magnetométricos são referentes a informações em profundidade, a correlação entre estes com a geologia aflorante na grande maioria das vezes não é possível de ser feita. A Figura 5.9 mostra o mapa magnetométrico de Amplitude do Sinal Analítico sobreposto ao mapa geológico da área. No entanto, a Magnetofácies 1 tem uma resposta bem definida com as efusivas aflorantes na área. Este tipo de resposta pode auxiliar na prospecção destas efusivas.



**Figura 5.9** - Mapa magnetométrico Amplitude do Sinal Analítico sobreposto ao mapa geológico (CODEMIG 2005).

Oliveira, C. B. 2018, Análise Geofísica da Região de Abaeté - MG

A análise dos lineamentos permitiu verificar que o comportamento preferencial dos lineamentos é majoritariamente de direção NW. Isso se deve à grande influência do lineamento regional Az 125° (Bardet 1977), que rompe o estado de Minas Gerais, onde se encontra a região de estudo. (Figura 5.10). Esse lineamento tem expressão e proximidade a importantes regiões de exploração mineral não apenas em Minas Gerais, mas em outros estados como, Goiás e Mato Grosso. Ele está diretamente ligado a regiões como Salitre, Araxá e Tapira (em Minas Gerais) e Catalão (Goiás). Consequentemente, este tem grande influência sobre as rochas efusivas da área de estudo e sobre as rochas kimberlíticas que nela se encontram (Figuras 5.10 e 5.11).



**Figura 5.10** - A) Mapa de lineamentos magnetométricos sobreposto ao mapa de Amplitude do Sinal Analítico da área de estudo, com destaque para o lineamento Az125°; e B) Roseta dos lineamentos magnetométricos.



**Figura 5.11** - Mapa Amplitude Sinal Analítico dos Estados de Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, adaptado da confecção de Antonino Juarez Borges.

### 5.5.2 Radiometria

O método radiométrico é de grande importância para auxiliar os trabalhos de mapeamento geológico, pois ele é caracterizado pela obtenção de informações superficiais do local analisado, por meio da utilização de isótopos litófilos, medindo-se a radiação liberada por estes. Para tanto, realizou-se uma sobreposição e comparação entre o mapa geológico da área de estudo e o mapa radiométrico ternário (Ribeiro *et al* 2013) (Figura 5.12).

Oliveira, C. B. 2018, Análise Geofísica da Região de Abaeté - MG



Figura 5.12 - Mapa geológico sobreposto ao mapa radiométrico ternário.

Comparando- se os mapas das Figuras 5.12 e 5.7, realizou-se uma correlação entre as radiofácies identificadas no mapa ternário e a estratigrafia da área (Tabela 5.3).

As Radiofácies 1 correspondem as coberturas detrítico-lateríticas e encontram-se na porção noroeste da área e são presentes nas radiofácies 2 e 8. As Radiofácies 2 correspondem ao Grupo Aerado e encontram-se na porção mais a leste da região. As Radiofácies 3 são pertencentes ao Grupo Mata da Corda e são referentes às rochas efusivas, isto é, aos tufos lapilíticos. As Radiofácies 4 e 5, 6 e 7 estão ligadas ao Grupo Bambuí. As Radiofácies 9 correspondem novamente às coberturas detrítico-lateriticas e localizam- se na porção sudeste da área.

Radiofácies	Grupo, Formação	Litologias
1	Coberturas detrito-lateríticas com concreções ferruginosas	Areia, Argila, Laterita, Cascalho
2	Aerado, Abaeté	Arenito, Conglomerado, Folheho, Siltito
3	Mata da Corda, Patos	Tufo Lapilítico, Arenito
4	Bambui, Paraopeba	Arcóseo, Argilito, Calcarenito, Dolomito, Folhelho, Marga, Ritmito, Siltito
5	Bambui, Paraopeba	Calcáreo, Marga, Dolomito, Siltito
6	Bambuí, Serra de Santa Helena	Folhelho, Siltito, Calcareo, Marga
7	Bambuí, Serra da Saudade	Arenito, Argilito, Siltito, Pelito
8	Bambui, Três Marias	Arcóseo, Argilito, Siltito
9	Coberturas detrito-lateríticas com concreções ferruginosas	Conglomerado, Areia, Argila, Laterita, Silte

 Tabela 5.3 - Correlação das radiofácies com a estratigrafia.

A análise dos lineamentos radiométricos mostrou que estes apresentam comportamento idêntico aos Magnetométricos, ou seja, direção preferencial para NW, diretamente influenciada pelo lineamento Az 125°.

Oliveira, C. B. 2018, Análise Geofísica da Região de Abaeté - MG

# 6.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo será apresentada a interpretação quantitativa, que teve como principal objetivo estimar e calcular a profundidade dos corpos geradores das anomalias magnéticas, que para o trabalho em questão são os kimberlitos. Essa análise teve auxílio do *software* Euler (*versão 1.00*), da *School of Geosciences – University of the Witwatersrand*, com o qual se realizou a metodologia da Deconvolução de Euler (2D) de perfis magnéticos equidistantes e direção WE, executando operações matemáticas de homogeneização de funções matemáticas em coordenadas cartesianas. Posteriormente partiu-se para o método de *krigagem* no *software* ArcScene, para se criar uma modelagem 3D da área de estudo.

### 6.2 METODOLOGIA

Por meio do *software* Euler 1.00, foram efetuadas as inversões dos dados geofísicos, que se deram pelo processo de inversão de dado pelos mínimos quadrados. Este programa tem como objetivo solucionar as equações de Euler a partir dos valores do campo magnético anômalo e de um índice estrutural escolhido gerando, como resultado, soluções da profundidade e da posição geográfica das diversas fontes magnéticas existentes no local onde foi realizado o levantamento.

Para que se aplicassem os dados geofísicos no *software* de inversão, primeiramente foi analisada e escolhida a melhor direção dos lineamentos, os quais foram utilizados no processamento. Essa análise realizou-se por meio do *software* ArcMap e do mapa de Sinal Analítico. Para o trabalho em questão, a direção preferencial das feições magnéticas é norte sul e, portanto, decidiu-se que os perfis traçados na direção WE. Foram traçados 30 perfis equidistantes em uma área de aproximadamente 52x88km, totalizando uma área de 4576km<sup>2</sup> (Figura 6.1). Logo após esses perfis foram importados para o *software* Oasis Montaj, onde foi executada a rotina *grid profile* para extrair os dados magnetométricos da linha. Nessa rotina é necessário que se selecione o *grid* do qual serão extraídos os valores conforme a linha do perfil escolhida e criar um novo banco de dados, a fim de que se evitem possíveis problemas com o banco de dados original, com o qual se fez a interpolação por mínima curvatura.

Oliveira, C. B. 2018, Análise Geofísica da Região de Abaeté - MG



Figura 6.1 - Mapa magnetométrico de Amplitude do Sinal Analítico, com os 30 perfis traçados na direção WE.

As informações foram extraídas de oeste para leste, no formato .csv e logo após convertidas para a extensão .dta, para ser aberta no *software* Euler. Nele, o arquivo foi aberto com as informações dos perfis e foram selecionadas as opções para trabalho com os dados magnéticos de amplitude do sinal analítico e em seguida é necessário se informar a altura de voo do aerolevantamento realizado. A partir disso, os dados são processados, informando o índice estrutural, o tamanho da janela e a profundidade máxima desejada. Na execução desse trabalho, para a análise regional da área, utilizouse o índice estrutural igual a 1, tamanho da janela igual a 13 e profundidade máxima de 690 metros.

Os dados processados foram importados para o *software* ArcMap, com o qual foram unidos todos os perfis por meio da rotina *merge*, que faz com que várias *shapes* se tornem uma única *shapefile*. Por meio dessa *shapefile* gerada, os dados foram interpolados por meio de uma *krigagem*, gerando, assim, um modelo 3D no *ArcScene*.
### 6.3 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Interpretando-se os 30 perfis gerados, notam-se resultados magnéticos em profundidade expressivos em toda a região de estudo. Como foram gerados muitos perfis, escolheu-se então 2 perfis a fim de se exemplificar e representar os resultados obtidos para a análise regional da área. Para tanto, foram selecionados os perfis 6 e 7 (mostrados na Figura 6.1), pois estes interceptam anomalias de alta susceptibilidade magnética e também favorecem a demonstração das mesmas em profundidade.

Ambos os perfis se localizam na porção mais a sul e apresentam anomalias com altos valores de susceptibilidade magnética, com profundidades de até 800m. Essas anomalias correspondem às rochas do Grupo Mata da Corda existentes na região, isto é, os tufos lapilíticos, que são caracterizados como rochas efusivas Figuras 6.2 e 6.3.



**Figura 6.2** - (A) Deconvolução de Euler no Perfil 6 realizado no *software* Euler 1.0; (B) Feições e anomalias encontradas. (a) Dado magnetométrico, Amplitude do Sinal Analítico; (b) Gradiente vertical e horizontal (vermelho) do dado magnetométrico; (c) Estimativa da profundidade média do corpo que gerou a anomalia.



**Figura 6.3** - (A) Deconvolução de Euler no Perfil 7 realizado no *software* Euler 1.0; (B) Feições e anomalias encontradas; (a) Dado magnetométrico, Amplitude do Sinal Analítico; (b) Gradiente vertical e horizontal (vermelho) do dado magnetométrico; (c) Estimativa da profundidade média do corpo que gerou a anomalia.

Entre os perfis 6 e 7 e 8, representados na Figura 6.1, nota-se anomalias magnéticas com grande chance de serem kimberlitos, devido a sua alta susceptibilidade magnética (valor extremamente alto rodeado de um baixo magnético) e forma circular (Figura 6.4).





Figura 6.4 - Mapa de Amplitude do Sinal Analítico com destaque para as anomalias magnéticas, que podem constituir-se de possíveis kimberlitos.

Essas anomalias foram selecionadas para serem melhor explicitadas. Traçou-se novamente um perfil sobre cada uma e realizou-se novamente a deconvolução no *software* Euler de cada perfil, a fim de se comprovar a geometria kimberlítica por meio das anomalias que tem características de intrusões diamantíferas (Figura 6.5).



Figura 6.5 - Perfis traçados sobre as anomalias selecionadas.

Analisando-se o perfil K1, notam-se duas estruturas de alta susceptibilidade magnética de forma cônica com profundidades de 50-60m, aproximadamente, caracterizando-se, então como duas prováveis rochas kimberlíticas (Figuras 6.6 e 6.7). Nota-se que no mapa de Amplitude do Sinal Analítico estas são vistas apenas como uma anomalia. Isso é devido ao fato de ter ocorrido um somatório dos valores de susceptibilidade de ambas que faz com que em 2D elas sejam vistas como uma só. Além disso, o perfil apresenta estruturas que podem representar falhamentos (Figuras 6.6 e 6.7). Foram adotados índice estrutural igual a 2,50, tamanho da janela igual a 7 e profundidade máxima de 655 metros.



**Figura 6.6** - Deconvolução de Euler no Perfil K1 realizado no *software* Euler 1.0; (A) Dado magnetométrico, Amplitude do Sinal Analítico; (B) Gradiente vertical e horizontal (vermelho) do dado magnetométrico; (C) Estimativa da profundidade média do corpo que gerou a anomalia.



Figura 6.7 - Kimberlitos e estruturas de falhas encontrados no perfil K1.

O perfil K2 apresentou-se semelhante ao K1, pois se caracterizou por apresentar duas anomalias de forma cônica, com profundidades de cerca de 50m de profundidade cada. Nota-se também a presença de estruturas de falhas (Figuras 6.8 e 6.9). Utilizaram-se índice estrutural igual a 2,50, tamanho da janela igual a 7 e profundidade máxima de 530 metros.



**Figura 6.8** - Deconvolução de Euler no Perfil K2 realizado no *software* Euler 1.0; (A) Dado magnetométrico, Amplitude do Sinal Analítico; (B) Gradiente vertical e horizontal (vermelho) do dado magnetométrico; (C) Estimativa da profundidade média do corpo que gerou a anomalia.



Figura 6.9 - Kimberlitos e estruturas de falhas encontrados no perfil K2.

O perfil K3 analisado caracterizou-se por apenas uma anomalia de forma cônica, de 70 a 80m de profundidade, aproximadamente. Próximo a mesma, são encontradas estruturas de falhamentos (Figuras 6.10 e 6.11). Foram tomados índice estrutural igual a 2,50, tamanho da janela igual a 7 e profundidade máxima de 675 metros.

A partir dos resultados obtidos por meio da deconvolução dos perfis K1, K2 e K3, tem-se que esses locais são alvos com grande chance de serem intrusões alcalinas diamantíferas (kimberlitos).



**Figura 6.10** - Deconvolução de Euler no Perfil K3 realizado no *software* Euler 1.0; (A) Dado magnetométrico, Amplitude do Sinal Analítico; (B) Gradiente vertical e horizontal (vermelho) do dado magnetométrico; (C) Estimativa da profundidade média do corpo que gerou a anomalia.



Figura 6.11 - Kimberlitos e estruturas de falhas encontrados no perfil K3.

## 6.4 VISUALIZAÇÃO EM 3D

Após a deconvolução dos 30 perfis gerados, deu-se início ao processo de confecção do modelo 3D da área, que foi feito por meio do método da krigagem no *software* ArcScene 9.3. (Figuras 6.12 e 6.13). Esse modelo permite a visualização espacial em profundidade das anomalias magnéticas observadas no plano bidimensional, permitindo que se faça uma relação entre elas. Anomalias associadas à alta frequência (baixo comprimento de onda) apresentam baixa profundidade.



**Figura 6.12** - Modelo 3D da área gerado no *software* ArcScene 9.3, com destaque para as rochas alcalinas efusivas (tufos lapilíticos do Grupo Mata da Corda).



Figura 6.13 - Modelo 3D da área gerado no software ArcScene 9.3, com destaque para o lineamento Az 125°.

A partir da análise desse modelo, nota-se que as anomalias observadas encontram-se principalmente na parte oeste da área e estas possuem profundidade média de aproximadamente 116m. Elas são caracterizadas, na sua grande maioria, pelos tufos lapilíticos pertencentes ao Grupo Mata da Corda. Quanto às anomalias que apresentaram as deconvoluções típicas de kimberlitos (observadas nos perfis K1, K2 e K3 descritos anteriormente) tem-se um baixo comprimento de onda e altas amplitudes, sendo que a profundidade média destas é de cerca de 60m, isto é, são rochas subsuperficiais.

•

# **CAPÍTULO 7**

## CONCLUSÕES

O trabalho teve como principal objetivo a análise geofísica da região de Abaeté e a descoberta de possíveis fontes primárias dos corpos diamantíferos e a geometria em profundidade destas fontes, por meio da análise magnetométrica e radiométrica da área, tomando-se como base os dados aerolevantados da CODEMIG (Área 9). A escolha de tal área deveu-se ao fato de ser um local com alto potencial econômico e com poucos estudos geofísicos destinados à busca dessas fontes diamantíferas

A análise radiométrica mostrou-se bastante eficiente na integração geológico/geofísica, pois as respostas dos mapas temáticos gerados, principalmente o mapa ternário, caracterizam bem a litologia e seus contatos. Além disso, por meio da análise dos seus lineamentos, assim como a magnetometria, mostrou a influência do lineamento Az 125° sobre os demais, pois a direção preferencial é em sua direção, isto é, NW.

O estudo magnetométrico possibilitou que se delimitassem as porções com mais alta magnetização e anomalias magnéticas de alta amplitude. As Magnetofácies 1, de alta amplitude e comprimento de onda mostraram-se diretamente ligadas às rochas efusivas presentes na área e próximo a elas, a NW, foram identificadas anomalias de alta amplitude com características de intrusões alcalinas kimberlíticas. Estas foram denominadas K1, K2 e K3. A análise qualitativa permitiu a análise das suas respostas magnéticas e radiométricas, a fim de compará-las com respostas de intrusões já conhecidas e classifica-las geofisicamente como kimberlitos. Através da interpretação e análise dos seus lineamentos, foi verificado que estes estão relacionados ao lineamento Az 125°, o qual exerce grande influência na área e nas rochas efusivas presentes. Este tipo de resposta pode auxiliar na descoberta de novas anomalias, pois esse lineamento se estende não só pelo estado de Minas Gerais, mas também pelos estados de Goiás e Mato Grosso os quais apresentam anomalias de alta amplitude relacionadas ao mesmo, comprovando a sua importância geológica e econômica.

Com o método da deconvolução de Euler, foi possível de se realizar a estimativa de profundidade das anomalias presentes na área e feições estruturais presentes, como estruturas de falhas. Ele foi de grande eficácia na análise em profundidade das anomalias K1, K2 e K3 e falhas próximas, comprovando que se trata de anomalias típicas de rochas kimberlíticas. Estas se caracterizaram por serem bem subsuperficiais, com profundidades que não passaram dos 70 metros. A deconvolução mostrou também que as estruturas de falhas estão diretamente relacionadas aos kimberlitos e que, provavelmente, facilitaram sua ascensão.

A magnetometria, juntamente com a radiometria, é umas das técnicas geofísicas mais utilizadas no estudo e identificação de rochas kimberlíticas, além de possuir, em relação às demais, um baixo custo e eficácia na sua aplicação. A partir desse trabalho, diversos outros podem, portanto, ser realizados na área em questão, como a geofísica terrestre das anomalias kimberlíticas e locação de furos e sondagem nos mesmos. Além disso, novas pesquisas geofísicas deveriam ser realizadas seguindo-se o Az 125°, a fim de se buscar novas anomalias e possíveis mineralizações associadas.

Alkmim F. F. 2004. O que faz de cráton um cráton? O Cráton do São Francisco e as revelações Almeidianas ao delimitá-lo. In: V. Mantesso Neto, A. Bartorelli, C. Dal Ré Carneiro e B. Brito Neves (eds.) Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques Almeida. São Paulo, Beca, 17-35.

Alkmim, F. F., Martins Neto, M., 2001. A Bacia intracratônica do São Francisco: Arcabouço estrutural e cenários evolutivos. In: Pinto, C.P., Martins Neto, M.A. (Eds), *Bacia do São Francisco. Geologia e Recursos Naturais*. SBG/MG, Belo Horizonte, MG, Brasil, p. 9–30.

Alkmim, F. F., Martins Neto, M., 2012. Proterozoic first-order sedimentary sequences of the São Francisco craton, eastern Brazil. *Marine and Petroleum Geology*, v. 33, n.1, p.127-139.

Almeida F.F.M. de, Hasui Y., Brito-Neves B.B de, Fuck R. A. 1981. Brazilian Structural Provinces: an introduction. *Earth-Sci. Rev.*, 17: 1-29.

Almeida, F. F. M., 1977. O cráton do São Francisco. Revista Brasileira de Geociências, 7: 349-364.

Barbosa O. (1991). Diamante no Brasil – Histórico, Ocorrência, Prospecção e Lavra, CPRM, Rio de Janeiro, 136p.

Bardet, M.G. 1977. Géologie du diamante. Memoires du BRG, p. 83.

Benitez L. 2009. Províncias diamantíferas de Minas Gerais: uma proposta para a caracterização de populações de diamantes típicas como subsídio à Certificação Kimberley. Instituto de Geociências, Universidade de Minas Gerais, Belo Horizonte, Tese de Doutoramento, 223p.

Bizzi L. A., Smith C. B., Meyer H. O. A., Armstrong R., De Wit M. J. 1991. Mesozoickimberlites and related rocks in south-western São Francisco craton, Brazil: a case for local mantle reservoirs and their interaction. *In: International Kimberlite Conference*, 5, Araxá, Extended Abstract, 17.

Borges L. A. D. 2013. Geologia e Mineralogia do Diamante da Região do Rio Borrachudo (Tiros, MG). Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 140 p.

Campos J. E. G. & Dardenne M. A. 1997a. Estratigrafia e sedimentação da Bacia Sanfranciscana: uma revisão. *Rev. Bras. Geoc.*, 27(3):269-282.

Campos J. E. G. & Dardenne M. A. 1997b. Origem e evolução tectônica da Bacia Sanfranciscana. *Rev. Bras. Geoc.* 27(3): 283-294.

Chaves M. L. S. C., Andrade K. W., Benitez L., Brandão P. R. G. 2008. Província Diamantífera da Serra da Canastra e o kimberlito Canastra-1: Primeira fonte primária de diamantes economicamente viável do país. *Rev. Bras. Geociências*. 27:299-317.

Cordani R. & Shukowsky W. 2009. Magnetização remanescente: um parâmetro crucial para a interpretação e modelamento de anomalias magnéticas em território brasileiro. *Rev. Bras. Geof.*, 27 (4): 659-667.

Costa M. J. & Luz A. B. 2005. Diamante, Rochas e Minerais Industriais. São Paulo, Centro de Tecnologia Mineral, Ministério da Ciência e Tecnologia/CETEM, 375-397.

Dardenne M. A. 2000. The Brasília fold belt. Cordani, U.G, Milani, E.J., Thomaz filho, A., Campos, D.A. *Tectonic Evolution of South America*, Inter. Congr., 31, Rio de Janeiro, Anais, 231-263.

Dardenne M.A. 1978. Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 30, Recife, Anais, v. 2, p. 597-610.

Fipke, C. E.; Gurney, J. J.; Moore, R. O. Diamond exploration techniques emphasising indicator mineral geochemistry and Canadian examples. *Geological Survey of Canada, Bulletin* 423, 1995.

Fragoso D. G. C., Uhlein A., Sanglard J. C. D., Suckau G. L., Guerzoni H. T. G., Faria P. H. 2011. Geologia dos Grupos Bambuí e Mata da Corda na Folha Presidente Olegário (1:100.000), MG: Registro Deposicional do Neoproterozóico ao Neocretácio da Bacia do São Francisco. *Geonomos*, **19**(1): 28-38.

43.5035777!2d-20.3855743!1m5!1m1!1s0x94ac4ec41499a09d:0xf5f378960025050f!2m2!1d-45.8327526!2d-18.3415231

Guimarães E.M. 1997. Estudos de proveniência e diagênese com ênfase na caracterização dos filossilicatos dos Grupos Paranoá e Bambuí, na região de Bezerra-Cabeceiras (GO). Tese de doutorado, Universidade de Brasília, 270 p.

Haralyi N. L. E & Svisero D. P. 1984. Metodologia geofísica integrada aplicada à prospecção de kimberlitos da região oeste de Minas Gerais. *Rev. Bras. Geoc.*, 14(1):12-22.

Hassui Y., Haralyi N. L. E. 1991. Aspectos lito-estruturais e geofísicos do soerguimento do Alto Paranaíba. *Revista Brasileira de Geociências*, 10:57-77.

Heineck C. A., Leite C. A. S., Silva M. A., Viera V.S. 2003. Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais, 1:1.000.000. Belo Horizonte, Belo Horizonte, Convênio COMIG/CPRM.

Kearey P., Brooks M., Hill I. 2009. Geofísica de exploração. Tradução: Maria Cristina Moreira Coelho, São Paulo, Oficina de Texto, p.438.

Lima O. N. B., Uhlein A., Britto W. 2007. Estratigrafia do Grupo Bambuí na Serra da Saudade e geologia do depósito fosfático de Cedro do Abaeté, Minas Gerais. *Rev. Bras. Geoc.*, 37(4):204-215.

Lima S.A.A. 1997. Fácies, ambiente deposicional e aspectos diagenéticos das rochas carbonáticas da Formação Sete Lagoas na região norte de Minas Gerais, Bacia do São Francisco. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 121 p.

Lima, M. Revista do Arquivo Público Mineiro. 1926. 646p.

Luiz J. G., Silva L. M. C. 1995. Geofísica de Prospecção. Belém, Universidade Federal do Pará/CEJUP. 311p.

Macnae J. 1995. Applications of geophysics for the dectation and exploration of kimberlites and lamproites. *Journal of Geochemical Exploration.*, 53: 213-243.

Marini O. J., Pereira R. S., Ramos B. W., Jost, H. 2002. Curso de aperfeiçoamento em exploração mineral - EXMIN. Brasília, Agência para o Desenvolvimento Tecnológico da Indústria Mineral Brasileira - ADIMB. 508p.

Mitchell R.H. 1986. Kimberlites, Orangeites, and Related rocks. New York, Plenum Press, 442p.

Mitchell R.H. 1989. Aspects of the petrology of kimberlite and lamproite: some definition and distinction. In: Kimberlites and Related Rocks, J. Ross (ed.) *Geological Society of Australia, Special Publications*. 14:7-45.

Mitchell R.H. 1991. Kimberlites and lamproites: primary sources of diamonds. *Rev. Geoscience Canada*, 18:1-16.

Mitchell R.H. 1995. Kimberlites, Orangeites, and Related rocks. New York, Plenum Press, 410p.

Pereira R. S. & Fuck R. A. 2005. Archean Nucleii and the distribution of kimberlite and related rocks in the São Francisco Craton, Brazil. *Rev. Bras. Geoc.*, 35(3): 93-104.

Pereira R. S. 2007. Cráton do São Francisco, kimberlitos e diamantes. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, Tese de doutoramento, 200p.

Pinto, C. P., Martins-Neto, M. A. 2001. Bacia do São Francisco, Geologia e Recursos Naturais, Belo Horizonte: *S.B.G.-MG*, 349 p.9-30.

Read G., Grutter. H., Winter S., Luckman N., Gaunt F., Thomsen F., 2004. Stratigraphic relations, kimberlite emplacement and lithospheric thermal evolution, Quirico Basin, Minas Gerais State, Brazil. Rev. Lithos, 77:803-818

Reid, A. B.; Allsop, J. M., Granser, H., Millet, A. J., Somerton, I. W. 1990. Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution. *Geophysics*, 55: 88-91.

Ribeiro, V. B., Mantovani, M. S. M., Louro, V. H. A., 2013. Aerogamaespectometria e suas aplicações no mapeamento geológico. *Terrae Didática*, 10: 29-51.

Roest, W. R, Verhoef, J. & Pilkington, M. 1992. Magnetic interpretation using the 3D analytic signal. *Geophysics*, 57(1):116-125.

Sawasato E. Y. 1995. Estruturação da porção meridional da Bacia Alto-Sanfranciscana, Cretáceo do Oeste de Minas Gerais. Departamento de Geologia, Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Dissertação de Mestrado, 127p.

Sgarbi G. N. C., Sgarbi P. B. A., Campos J. E. G., Dardenne M. A., Penha U. C. 2001. Bacia Sanfranciscana: Registro fanerozóico da Bacia do São Francisco. In: Pinto C.P. & Martins-Neto, M.A. (eds.), *Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais*. Belo Horizonte, Ed. SBG-MG, 93-138.

Silva G.M. 2015. Análise Geofísica do Distrito Diamantífero Abaeté (MG) e Suas Possíveis Fontes Primárias. MS Dissertaction, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 121p.

Silva, G.M. & Barbosa, M.S.C. 2011. Análise e Modelagem Geofísica de Kimberlitos na parte alta do diamantífero Vale do Rio Abaeté- MG. *Revista Brasileira de Geofísica* (no prelo).

Svisero D. P. 2006. As múltiplas facetas do diamante. Rev. USP., 71:52-69.

Svisero D.P. (1995). Distibuition and origin of diamonds in Brazil: An overview. Journal of Geodinamics.

Teixeira W., Sabate P., Barbosa J. S. F., Noce C. M., Carneiro M. A. 2000. Archean and Paleoproterozoic evolution of the São Francisco Craton, Brazil. In. Cordani, U. G., Milani, E., Thomaz Filho, A., Campos, D. A. (eds.) Tectonic evolution of South America. Rio de Janeiro, *31 st. Inter. Geol. Congr.*, 101-137.

Telford W. M., Geldart L.P., Sheriff R.E. 1990. Applied Geophysics. Cambridge, Cambridge University Press. 770p.

Thompson, D. T. 1982. EULDPH: A new technique for making computer-assisted

Uhlein A., Fonseca M. A., Seer H. J., Dardenne M. A. 2012. Tectônica da Faixa de Dobramentos Brasília – Setores Setentrional e Meridional. *Geonomos*, **20**(2):1-14.

Vasconcelos, R.M.; Metelo, M.J.; Motta, A.C.; Gomes, R.D. - 1994 - Geofísica em Levantamentos Geológicos no Brasil.CPRM, Rio de Janeiro.