



UFRJ

**Fernanda Oliveira Senra**

**Magnetometria Aplicada ao Estudo do Embasamento da Borda  
Sudoeste da Bacia do Parnaíba**

**Trabalho Final de Curso  
(Geologia)**

UFRJ  
Rio de Janeiro  
2020

**Fernanda Oliveira Senra**

**Magnetometria Aplicada ao Estudo do Embasamento da Borda  
Sudoeste da Bacia do Parnaíba**

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geóloga.

Orientador: Prof. Dr. Marco Antonio Braga

Coorientador: Maria Filipa Perez da Gama

Coorientador: André Pereira de Assis

Rio de Janeiro  
2020

SENRA, Fernanda Oliveira **Magnetometria Aplicada ao Estudo do Embasamento da Borda Sudoeste da Bacia do Parnaíba**/ Fernanda Oliveira Senra - Rio de Janeiro: UFRJ/ IGeo, 2020.

Trabalho Final de Curso (Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2020.

Orientadores: Marco Antonio Braga; Coorientadores: Maria Filipa Perez da Gama, André Pereira de Assis.

1. Geologia. 2. IGEO – Trabalho de Conclusão de curso. I. Braga, Marco Antonio. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. III. Título.

Fernanda Oliveira Senra

**Magnetometria Aplicada ao Estudo do Embasamento da Borda  
Sudoeste da Bacia do Parnaíba**

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geóloga.

Orientador: Prof. Dr. Marco Antonio Braga

Coorientador: Maria Filipa Perez da Gama

Coorientador: André Pereira de Assis

Aprovada em: 14/08/2020, Por:

---

Orientador: Prof. Dr. Marco Antonio Braga (UFRJ)

---

Prof. Roberto Albuquerque e Silva (UFRJ)

---

Dr. Alan de Souza Cunha (CPGA - UFRJ)

## Agradecimentos

Agradeço, primeiramente a toda minha família, em especial meus pais, Neila e Carlos, por serem o norte da minha vida e por todo seu amor e carinho, até nos puxões de orelha. Ao meu irmão, Felipe, que apesar de tudo é um dos meus maiores companheiros na vida.

Um agradecimento especial à minha avó Cléa, que sempre esteve por trás da minha educação e foi meu maior exemplo de alegria e amor à vida, além de um dos meus maiores amores. Hoje é minha estrela preferida de todo o céu.

Aos meus orientadores, Prof. Marco Braga e Fillipa Gama, pela oportunidade de trabalhar com geofísica na graduação e por toda a troca de conhecimento, dentro e fora do centro de pesquisa nesses dois anos e meio. E por toda a paciência durante o caminho. Ao meu orientador André Assis, o músico mais legal da geologia e melhor colega de campo, obrigada por toda a ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

A todos os colegas do CPGA, que se tornaram grandes amigos, especialmente a Thalita Bezerra, por dividir todos os bons e maus momentos do dia a dia, sempre com um cafézinho e um chocolate do lado.

A todos os meus amigos da graduação, sem vocês nada seria igual. Desde o BCMT até a geologia. Em especial Amanda Mustafa, Matheus Teixeira, Mariana Meirelles, Luiza Tinoco, Pedro Delforge, Julyanna Wermellinger, Leonardo Ribeiro, Anna Peres, Giovanna Hamad e Victor Lima: as Vazias, meu grupo favorito. Vocês tornaram todos esses anos mais fáceis, o dia a dia mais leve e todos os campos mais divertidos. Amo vocês.

Agradeço também ao Projeto Alagoas, um esforço de pesquisa cooperativa entre Shell, a ANP e a UFRJ, pela oportunidade de adquirir tantos conhecimentos na minha iniciação científica e poder desenvolver este trabalho.

Por fim, ao departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro e a todos os professores e colaboradores por contribuírem com a minha formação. A gente nunca esquece a nossa casa.

## Resumo

OLIVEIRA SENRA, Fernanda. **Magnetometria Aplicada ao Estudo do Embasamento da Borda Sudoeste da Bacia do Parnaíba**. 2020. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

A Bacia do Parnaíba é uma bacia intracratônica, localizada na região nordeste do Brasil e possui cerca de 600.000 km<sup>2</sup> de área. Sua origem e evolução estão relacionadas aos eventos do final do Ciclo Brasileiro-Panafricano, onde diversas estruturas foram formadas por eventos extensionais e deformacionais. O escopo do presente trabalho é identificar e interpretar os principais lineamentos magnéticos e estruturas de escala crustal no embasamento que influenciaram na evolução da Bacia do Parnaíba, tais como o Lineamento Transbrasiliano e a Faixa de Dobramentos Araguaia. Este trabalho tem como objetivo a utilização de dados de magnetometria, disponibilizados pela CPRM e pela ANP, submetidos a diversos filtros e métodos de realce das anomalias magnéticas. Para o cálculo da estimativa de profundidade das fontes dessas anomalias foi aplicado o método de Deconvolução de Euler. Os filtros e mapas que melhor realçaram as estruturas – como a amplitude do sinal analítico (ASA), o Gradiente Horizontal Total da Inclinação do Sinal Analítico (GHT-ISA) e o mapa composto da Inclinação do Sinal Analítico do Gradiente Horizontal Total com a Inclinação do Sinal Analítico (ISA-GHT + ISA) – foram utilizados para marcar lineamentos e outras estruturas, como dois grabens já conhecidos na literatura, que estão relacionados à evolução tectônica da bacia. Nos lineamentos marcados foi possível determinar duas direções principais, uma N-S, na porção oeste da área estudada, que corresponde às estruturas influenciadas pela Faixa Araguaia e outra NE-SW, na porção sudeste e leste da área de estudo, próximo a áreas de influência do Lineamento Transbrasiliano. Os resultados da estimativa de profundidade das fontes das anomalias indicam soluções variando entre 100 e 300 metros de profundidade na porção aflorante do embasamento cristalino, no entorno da bacia, e entre 300 e 600 metros nos derrames de basalto da Formação Mosquito, com soluções de menos de 100 metros próximo da região aflorante. Na região mais profunda da área de estudo, as soluções variam principalmente entre 1250 e 2250 metros. Os filtros de realce utilizados permitiram mapear e interpretar lineamentos magnéticos, onde suas direções e as profundidades estimadas pelo método de Deconvolução de Euler condizem com outros trabalhos já realizados na bacia e que propõem modelos para sua evolução.

**Palavras-chave:** Magnetometria, Métodos de Realce, Deconvolução de Euler, Bacia do Parnaíba, Evolução Tectônica.

## Abstract

OLIVEIRA SENRA, Fernanda. **Magnetometria Aplicada ao Estudo do Embasamento da Borda Sudoeste da Bacia do Parnaíba**. 2020. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

The Parnaíba Basin is an intracratonic basin located in the northeastern region of Brazil and occupies an area of about 600.000 km<sup>2</sup>. It's origin and evolution are related to the events of the end of the Brazilian-Panafrican Cycle, where several structures were originated from extensional and deformational events. The main scope of this study is to identify and to interpret the main magnetic lineaments and other structures of crustal scale in its basement that have influenced the Parnaíba Basin evolution, such as the Transbrasiliano Lineament and the Araguaia Fold Belt. This work has the objective to utilize magnetometry data, provided by ANP and CPRM, subjected to different filters and methods to enhance the magnetic anomalies. To calculate the depth estimates of the sources of these anomalies, the Euler Deconvolution method was applied. The filters and maps that best enhanced the structures – as the Amplitude of the Analytic Signal (ASA), the Total Horizontal Gradient of the Analytic Signal Inclination (GHT-ISA) and the composite map of the Total Horizontal Gradient and the Analytic Signal Inclination (ISA-GHT + ISA) – were used to map magnetic lineaments and other structures, such as two grabens related to the tectonic evolution of the basin. In the mapped lineaments it was possible to identify two main directions, one N-S, in the west portion of the study area, which corresponds to structures that were influenced by the Araguaia Fold Belt, and another one NE-SW, in the southern and east portions of the study area, close to the areas influenced by the Transbrasiliano Lineament. The estimated depths solutions of the anomalies indicate a variation between 100 and 300 meters in the outcropping portion of the basement, around the basin, and 300 and 600 meters in the volcanic rocks of the Mosquito Formation, with solutions shallower than 100 meters, close to the outcropping portion. In the deepest area, the solutions vary between 1250 and 2250 meters. The filtered maps allowed to map and interpret magnetic lineaments, and its directions and estimated depths by the Euler Deconvolution method are in line with other studies already carried out in the basin and which propose models for its evolution.

**Key-Words:** Magnetometry, Enhancement Methods, Euler Deconvolution, Parnaíba Basin, Tectonic Evolution.

## Lista de figuras

<b>Figura 1:</b> Mapa de localização da Bacia do Parnaíba, em amarelo, com destaque para a área de estudo em vermelho. LTB-Lineamento Transbrasiliano; FA-Faixa Araguaia .....	2
<b>Figura 2:</b> Carta Estratigráfica da Bacia do Parnaíba (Vaz <i>et. al</i> , 2007) .....	5
<b>Figura 3:</b> Modelo geodinâmico da evolução tectônica da Bacia do Parnaíba. Crátons: AM – Amazônico, SL – São Luís, SF – São Francisco; PR – Bloco Parnaíba; BB – Província Borborema; TO – Província Tocantins; GU – Faixa Gurupi; Grabens do Neoproterozóico-Eopaleozóico (áreas hachuradas); Grabens Cambrianos (áreas em cinza) e exposições vulcânicas (em preto); As setas indicam esforços tectônicos (DE CASTRO <i>et al.</i> , 2014) .....	7
<b>Figura 4:</b> Mapa litoestrutural da Faixa Araguaia (SPISILA, 2014) .....	8
<b>Figura 5:</b> Mapa de localização dos Grabens em relação à bacia e outras estruturas. GA – Gráben Araguaína; GM – Gráben Muricizal (modificado de SOUZA <i>et al.</i> , 2017) .....	9
<b>Figura 6:</b> Modelo proposto de evolução das estruturas grabeniformes da borda oeste da Bacia do Parnaíba. (SOUZA <i>et al.</i> , 2017) .....	11
<b>Figura 7:</b> Representação das linhas do campo geomagnético (DENTITH & MUDGE, 2014) .....	12
<b>Figura 8:</b> Esquema de um levantamento aerogeofísico (RIBEIRO, <i>et al.</i> , 2014) ....	16
<b>Figura 9:</b> Área dos projetos aerogeofísicos utilizados .....	17
<b>Figura 10:</b> Campo magnético anômalo da área de estudo .....	24
<b>Figura 11:</b> Amplitude do sinal analítico do campo magnético anômalo. A seta verde indica anomalias de intensidade magnética intermediária, enquanto a seta azul indica anomalias de baixa intensidade magnética. A linha preta pontilhada indica os derrames de basalto interpretados .....	26
<b>Figura 12:</b> Região dos Grabens Araguaína (AR), no interior da bacia, e Muricizal (MZ) no entorno .....	27
<b>Figura 13:</b> Sobreposição dos mapas de ISA-GHT e ISA. A seta vermelha indica os lineamentos na região de mais baixa intensidade magnética .....	28
<b>Figura 14:</b> Mapa composto ternário das derivadas verticais de grau 0.75, 1.0 e 1.25 .....	29

<b>Figura 15:</b> Soluções mais rasas com o índice estrutural de diques. A linha pontilhada em preto indica os derrames de basalto interpretados, enquanto a linha vermelha contínua indica suas regiões aflorantes. GM –Graben Muricizal; GA – Graben Araguaína .....	31
<b>Figura 16:</b> Soluções mais profundas com o índice estrutural de diques. GM – Graben Muricizal; GA – Graben Araguaína .....	32
<b>Figura 17:</b> Domínio A – relacionado a estruturas de alta intensidade magnética na região externa da bacia; Domínio B – relacionado com região de baixa intensidade magnética .....	34
<b>Figura 18:</b> Domínios C e D – Região de mais baixa intensidade magnética, dentro e fora da bacia, relacionada com a área da Bacia do Espigão Mestre; Domínio E – Região de alta intensidade magnética relacionada aos derrames de basalto da Fm. Mosquito .....	35
<b>Figura 19:</b> Domínios F e G – Região de intensidade magnética intermediária sobre a região do Lineamento Transbrasiliano .....	36
<b>Figura 20:</b> Domínios H, I e J – Diferentes intensidades magnéticas na região do Graben Araguaína e seu entorno. A linha preta pontilhada indica os derrames de basalto interpretados. GM – Graben Muricizal; GA – Graben Araguaína .....	37
<b>Figura 21:</b> Lineamentos externos à bacia delimitados com base nos produtos de magnetometria. GM – Graben Muricizal; GA – Graben Araguaína .....	39
<b>Figura 22:</b> Lineamentos internos à bacia delimitados através dos produtos de magnetometria. GM – Graben Muricizal; GA – Graben Araguaína .....	40
<b>Figura 23:</b> Relação entre lineamentos e intensidades magnéticas no entorno da bacia. GM – Graben Muricizal; GA – Graben Araguaína .....	41
<b>Figura 24:</b> Relação entre lineamentos e intensidades magnéticas no interior da bacia. GM – Graben Muricizal; GA – Graben Araguaína .....	42
<b>Figura 25:</b> Relação entre as soluções de Euler e lineamentos mapeados dentro e fora da bacia. A linha preta pontilhada indica os derrames de basalto interpretados e a linha vermelha contínua indica suas regiões aflorantes. GM – Graben Muricizal; GA – Graben Araguaína .....	43
<b>Figura 26:</b> Relação entre as soluções de Euler e os lineamentos internos mais profundos. GM – Graben Muricizal; GA – Graben Araguaína .....	44

## Lista de tabelas

<b>Tabela 1:</b> Susceptibilidade magnética de diversos minerais. (Editado de: Telford, <i>et al.</i> , 1990) .....	14
<b>Tabela 2:</b> Especificações dos projetos utilizados na elaboração do trabalho .....	17
<b>Tabela 3:</b> Valores de índice estrutural atribuídos por Reid (1990) .....	22
<b>Tabela 4:</b> Parâmetros utilizados na deconvolução de Euler .....	23

## Sumário

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>II</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>III</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>IV</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>V</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>VII</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1. APRESENTAÇÃO E OBJETIVO.....	1
1.2. LOCALIZAÇÃO.....	2
<b>2. CONTEXTO GEOLÓGICO</b> .....	<b>3</b>
2.1. BACIA DO PARNAÍBA.....	3
2.2. EVOLUÇÃO TECTÔNICA.....	6
2.1. BORDA OESTE DA BACIA DO PARNAÍBA - FAIXA ARAGUAIA.....	7
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>12</b>
3.1. CONCEITOS BÁSICOS.....	12
3.1.1. Campo Magnético.....	12
3.1.2. Susceptibilidade Magnética.....	13
3.1.3. Magnetização das Rochas.....	13
3.2. MAGNETOMETRIA.....	15
3.3. DADOS UTILIZADOS.....	16
3.4. FILTROS E MÉTODOS DE REALCE.....	18
3.5. DECONVOLUÇÃO DE EULER.....	21
<b>4. RESULTADOS</b> .....	<b>24</b>
4.1. MÉTODOS E FERRAMENTAS DE REALCE.....	24
4.1.1. Campo Magnético Anômalo.....	24
4.1.2. Amplitude do Sinal Analítico – ASA.....	25
4.1.3. Gradiente Horizontal Total da Inclinação do Sinal Analítico – GHT- ISA.....	27
4.1.4. Mapa composto da Inclinação do Sinal Analítico do Gradiente Horizontal Total e da Inclinação do Sinal Analítico - ISA-GHT e ISA.....	28
4.1.5. Mapa Composto das Derivadas Verticais.....	29
4.2. DECONVOLUÇÃO DE EULER – ESTIMATIVAS DE PROFUNDIDADE.....	30
4.3. DOMÍNIOS MAGNÉTICOS.....	33
<b>5. DISCUSSÕES</b> .....	<b>38</b>
5.1. LINEAMENTOS E ESTRUTURAS.....	38
5.2. LINEAMENTOS X DOMÍNIOS MAGNÉTICOS.....	40

5.3. ESTIMATIVA DE PROFUNDIDADE E ESTRUTURAS .....	42
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>45</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>46</b>

## 1. Introdução

### 1.1. Apresentação e Objetivo

A Bacia do Parnaíba faz parte do grupo de Sinéclises Paleozóicas brasileiras e, junto com as bacias do Amazonas, Solimões e Paraná, formam uma extensa área de sedimentação paleozoica que se estendeu por toda a plataforma Sul-Americana. Apesar do esforço que vem sendo empregado na exploração de hidrocarbonetos e em estudos tectônicos nas últimas duas décadas, a Bacia do Parnaíba ainda é considerada pouco conhecida, sobretudo sob a ótica de estudos que envolvem métodos geofísicos potenciais. Apesar disso, há um consenso de que sua origem e evolução estão relacionadas ao final do Ciclo Brasileiro-,no qual gerou diversas estruturas regionais geradas majoritariamente por esforços compressivos relacionados à aglutinação do Gondwana (CAPUTO *et al.*, 2006). No final deste ciclo, estruturas deformacionais atuaram como linhas de fraqueza posteriormente reativadas rúptilmente, culminando no basculamento de blocos gerando grabens que controlaram os primeiros depósitos sedimentares pré-sag da Bacia do Parnaíba no início do Paleozoico (ASSIS *et al.*, 2019; PORTO *et al.*, 2018; DE CASTRO *et al.*, 2016; CAPUTO *et al.*, 2006).

Uma fase de subsidência flexural (*sag*) se instalou nesta região a partir do Siluriano, no proporcional uma extensa área de sedimentação que perdurou até o Cretáceo. No entanto estruturas de escala crustal herdadas do embasamento, tais como o Lineamento Transbrasiliano e a Faixa de Dobramentos Araguaia (Figura 1) sofreram reativações que influenciaram a evolução tectôno-sedimentar da bacia durante todo o Fanerozoico (CUNHA, 1986).

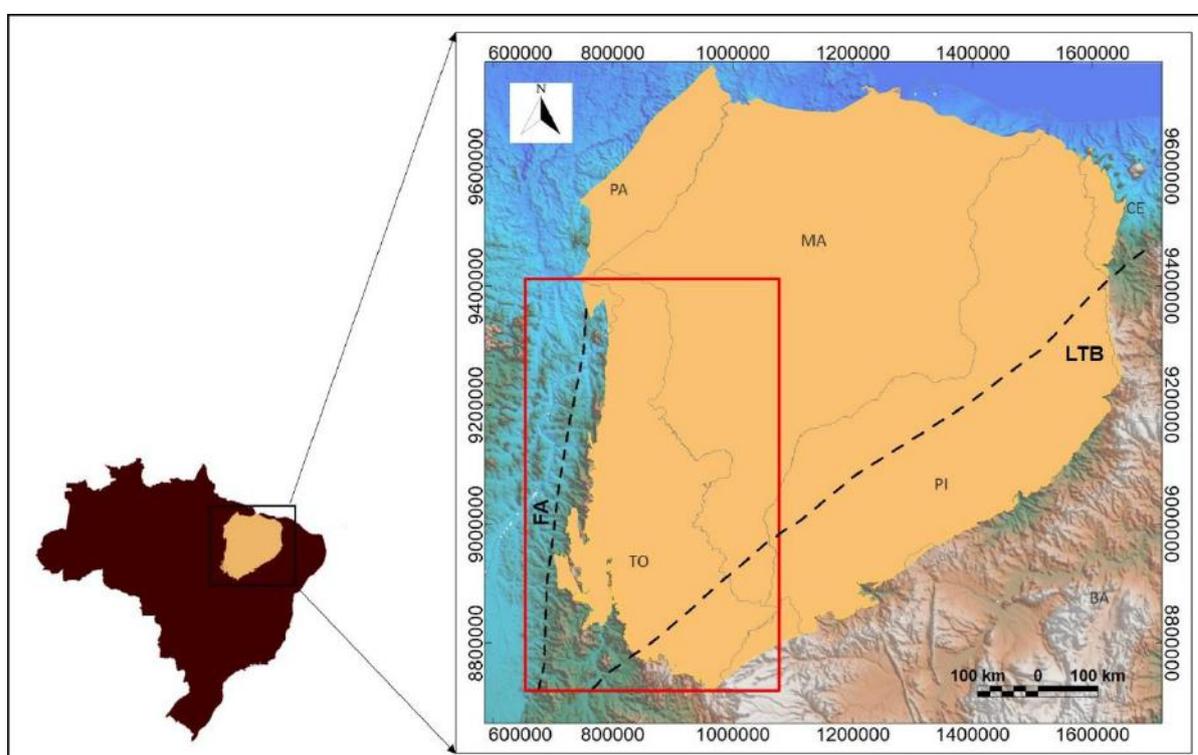
Estudos utilizando métodos potenciais vêm sendo realizados com o objetivo de compreender melhor a origem e evolução desta bacia. Métodos geofísicos de gravimetria e magnetometria são imprescindíveis para auxiliar a confecção de modelos tectônicos de bacias intracratônicas, tanto regionalmente como em escala global. Neste sentido, este trabalho traz luz às características e propriedades geofísicas da trama estrutural de uma área selecionada na porção Sudoeste da Bacia do Parnaíba, uma região no qual dados publicamente disponíveis ainda são

muito escassos. O objetivo é utilizar dados de magnetometria para identificação e interpretação dos principais lineamentos magnéticos e estruturas que influenciaram na origem e evolução tectono-sedimentar da Bacia do Parnaíba. Através de filtros de realce dos dados e aplicação de estimativas de profundidade, é esperado auxiliar no entendimento da trama estrutural e no contexto tectônico no qual a Bacia do Parnaíba está inserida.

O presente trabalho está inserido no âmbito do Projeto Alagoas, um esforço de pesquisa cooperativa entre a Shell Brasil Petróleo, a ANP e a UFRJ, com foco no estudo do Andar Alagoas (Aptiano) nas bacias do Parnaíba e Araripe.

## 1.2. Localização

A Bacia do Parnaíba está localizada na região Nordeste do Brasil. Possui uma área de cerca de 600.000 km<sup>2</sup> (GÓES & FEIJÓ, 1994) e abrange parte dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí, Ceará e Pará. A área de estudo se localiza na região sudoeste da bacia e contempla também uma porção da Faixa de Dobramentos Araguaia (Figura 1).



**Figura 1:** Mapa de localização da Bacia do Parnaíba, em amarelo, com destaque para a área de estudo em vermelho. LTB-Lineamento Transbrasiliiano; FA-Faixa Araguaia.

## 2. Contexto Geológico

### 2.1. Bacia do Parnaíba

A Bacia do Parnaíba é uma bacia do tipo intracratônica, cercada na porção oeste pelo cráton Amazônico e bordejada pela Faixa de Dobramentos Araguaia. A sudeste a bacia é limitada pelo cráton São Francisco e a norte pelo cráton São Luís, bordejada pela Faixa de Dobramentos Gurupi (MOCITAIBA *et al.*, 2017). Possui formato de elipsóide, com eixo de maior alongação com orientação NE-SW. Em seu depocentro, possui cerca de 3.500 m de espessura sedimentar (MILANI & ZALAN, 1999; VAZ *et al.*, 2007). A Bacia do Parnaíba é uma bacia policíclica no qual seu registro sedimentar é reflexo de eventos climáticos e tectônicos de escala global. Ela pode ser dividida em pelo menos cinco supersequências delimitadas por discordâncias regionais (VAZ *et al.*, 2007. Sendo: Sequência Siluriana, Mesodevoniana-Eocarbonífera, Neocarbonífera-Eotriássica, Jurássica e Cretácea (Figura 2).

A **Sequência Siluriana** corresponde ao Grupo Serra Grande, composto pela Formação Ipu, que compreende arenitos com seixos e conglomerados de matriz areno-argilosa; Formação Tinguá, composta de folhelhos cinzas; e Formação Jaicós, composta majoritariamente por arenitos cinza. Seus ambientes de deposição são interpretados como flúvio-glacial e glacial, passando a transicionais e retornando às condições continentais.

A **Sequência Mesodevoniana-Eocarbonífera** é composta pelo Grupo Canindé, dividido em quatro formações: Itaim, Pimenteiras, Cabeças e Longá. A primeira consiste em arenitos e folhelhos de ambiente de plataforma rasa. A segunda consiste em arenitos com níveis de folhelhos, referentes a ambientes dominados por marés. A Fm. Cabeças é composta de corpos de arenitos com geometria sigmoidal, enquanto a Fm. Longá consiste em arenitos finos e siltitos de depósitos plataformais (SILVA *et al.*, 2003).

A **Sequência Carbonífera-Triássica** é composta pelas formações Piauí, Pedra-de-Fogo, Motuca e Sambaíba, que compõem o Grupo Balsas. Consistem em arenitos depositados em ambientes de dunas eólicas e interdunas, com exceção da

Fm. Sambaíba, que consiste em folhelhos vermelhos com níveis de siltito, de ambiente lacustre ou lagunar. Essas três super sequências compõem as Seção Paleozoica da Bacia do Parnaíba.

A **Sequência Jurássica** é composta pelas formações Pastos Bons e Corda, e são limitadas na base e no topo por rochas vulcânicas intrusivas e extrusivas das formações Mosquito (Jurássico Inferior) e Sardinha (Cretáceo). A Fm. Mosquito é composta por basaltos com eventuais intercalações de arenito, correlacionável com o Magmatismo Penatecaua, documentado na Bacia do Amazonas e possui relação com a abertura do Oceano Atlântico. A Fm. Sardinha possui basaltos correlacionáveis com os basaltos da Fm. Serra Geral (VAZ *et al.*, 2001; SILVA *et al.*, 2003).

Por fim, a **Sequência Cretácea**, composta pelas formações Corda, Codó, Grajaú e Itapecuru. Essencialmente composta por sedimentos continentais, lacustres com evaporitos e possivelmente marinhos que são reflexo da abertura do Atlântico (VAZ *et al.*, 2007).

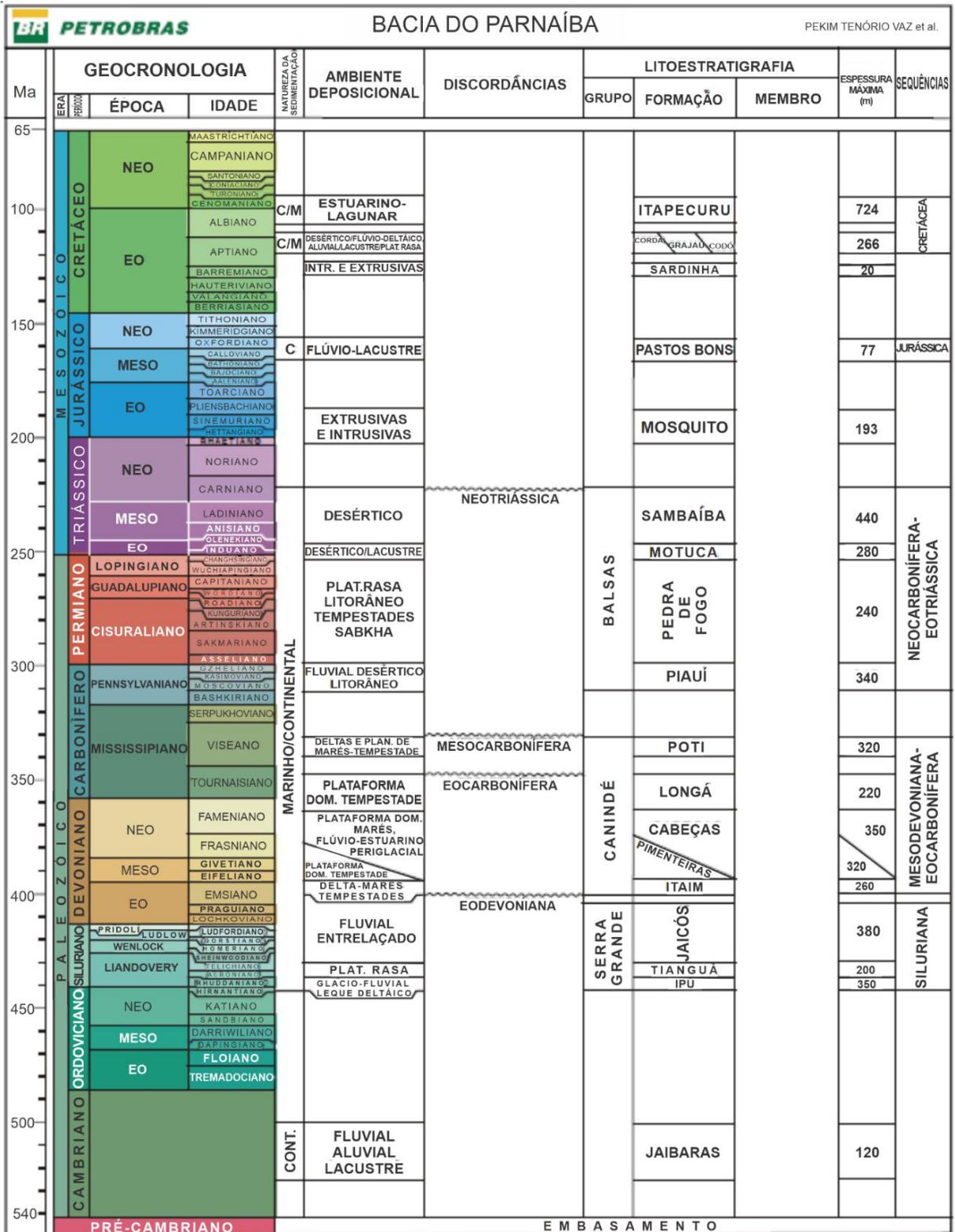
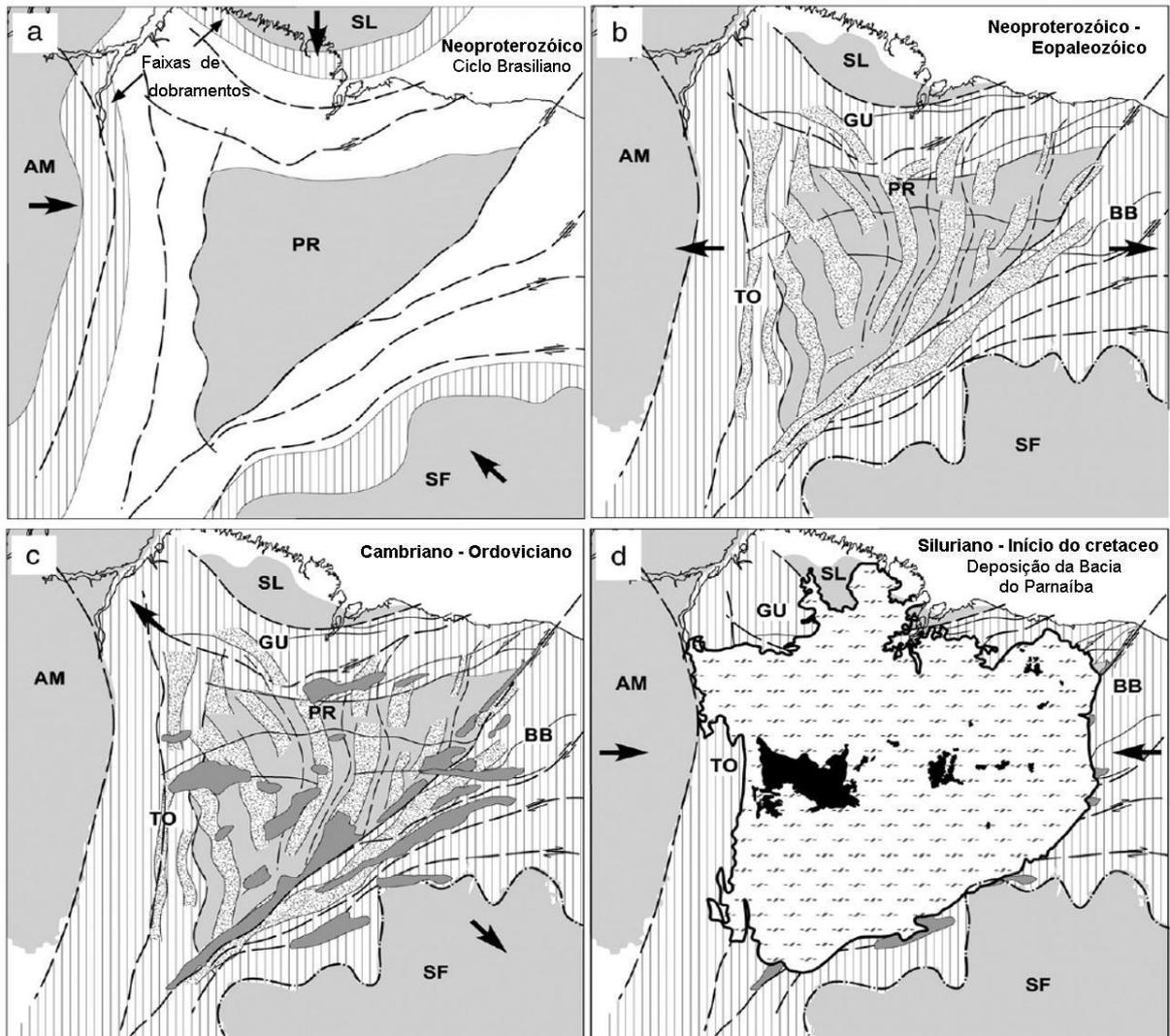


Figura 2: Carta Estratigráfica da Bacia do Parnaíba (Vaz et. al, 2007).

## 2.2. Evolução Tectônica

A evolução Tectono-sedimentar da Bacia do Parnaíba é registrada desde o final da consolidação do Gondwana Oeste, até a separação continental entre América do Sul e África e reflete uma série de eventos compressionais e extensionais de escala global. A formação desta grande bacia continental se deu através da fase pós-colisional ao Ciclo Brasileiro (VAZ *et al.*, 2007) no qual, antes da fase sag, que deu origem à sedimentação paleozoica, o embasamento sofreu os últimos esforços tectônicos do Ciclo Brasileiro dando origem a bacias neoproterozoicas e cambro-ordovicianas hoje preservadas e encaixadas em estruturas pré-existentes do embasamento ( PORTO *et al.*, 2018; DE CASTRO *et al.*, 2014 e 2016; DALY *et al.*, 2014).

A origem da Bacia do Parnaíba tem sido debatida até hoje e alguns modelos são propostos. Dentre os modelos mais elaborados, DE CASTRO *et al.*(2014) e DE CASTRO *et al.* (2016) propõem um modelo geodinâmico baseado em mapas gravimétricos e magnetométricos (Figura 3) que demonstra como esses eventos agiram na estruturação do embasamento da bacia, desde a instalação do Bloco Parnaíba, até a deposição sedimentar, no período entre o Siluriano e o início do Cretáceo. Segundo estes autores a origem da Sinéclise Parnaíba está fortemente relacionada a pelo menos duas fases de rifteamento intracontinental, do final e pós Ciclo Brasileiro-Panafricano, que não evoluíram completamente, mas geraram diversas estruturas grabeniformes no embasamento da bacia (Figuras 3b e 3c). Além disso acredita-se que o Lineamento Transbrasileiro tenha sido ativo e reativado rúptilmente durante todo o Paleozoico e foi responsável pela migração dos depocentros da bacia até pelo menos o início do Mesozoico (TOZER *et al.*, 2017).



**Figura 3:** Modelo geodinâmico da evolução tectônica da Bacia do Parnaíba. Crátons: AM – Amazônico, SL – São Luís, SF – São Francisco; PR – Bloco Parnaíba; BB – Província Borborema; TO – Província Tocantins; GU – Faixa Gurupi; Grabens do Neoproterozóico-Eopaleozóico (áreas hachuradas); Grabens Cambrianos (áreas em cinza) e exposições vulcânicas (em preto); As setas indicam esforços tectônicos (DE CASTRO *et al.*, 2014).

## 2.1. Borda Oeste da Bacia do Parnaíba - Faixa Araguaia

O embasamento da porção Oeste da Bacia do Parnaíba é composto pela Faixa de Dobramentos Araguaia (Figura 4), que constitui uma unidade geotectônica situada no Brasil central, nos estados de Tocantins, Pará e Maranhão. Possui 1200 km de extensão e cerca de 100 km de largura, com direção principal N-S, fruto da justaposição das unidades litoestratigráficas. Geologicamente é limitada a leste pela Bacia do Parnaíba, a sul pelo Lineamento Transbrasiliano e a oeste pelo Cráton Amazônico (ALMEIDA & HASUI, 1984).

A origem e evolução da Faixa Araguaia está relacionada aos processos colisionais entre os Crátons Amazônico e São Francisco, correspondente às orogêneses Brasileiro/Pan-Africano de idade neoproterozóica (STRIEDER & SUITA, 1999).

O Supergrupo Baixo Araguaia (Figura 4) representa as rochas metassedimentares da Faixa, além de corpos máficos e ultramáficos e rochas graníticas. As rochas alcalinas podem representar um magmatismo associado a um rifteamento crustal e formação da então Bacia Araguaia, que recebeu os sedimentos que iriam compor o Supergrupo Baixo Araguaia (ALVARENGA *et al.*, 2000). Ele foi dividido em dois Grupos: Estrondo e Tocantins, onde o primeiro ocorre na porção leste da Faixa Araguaia e o segundo na porção oeste.

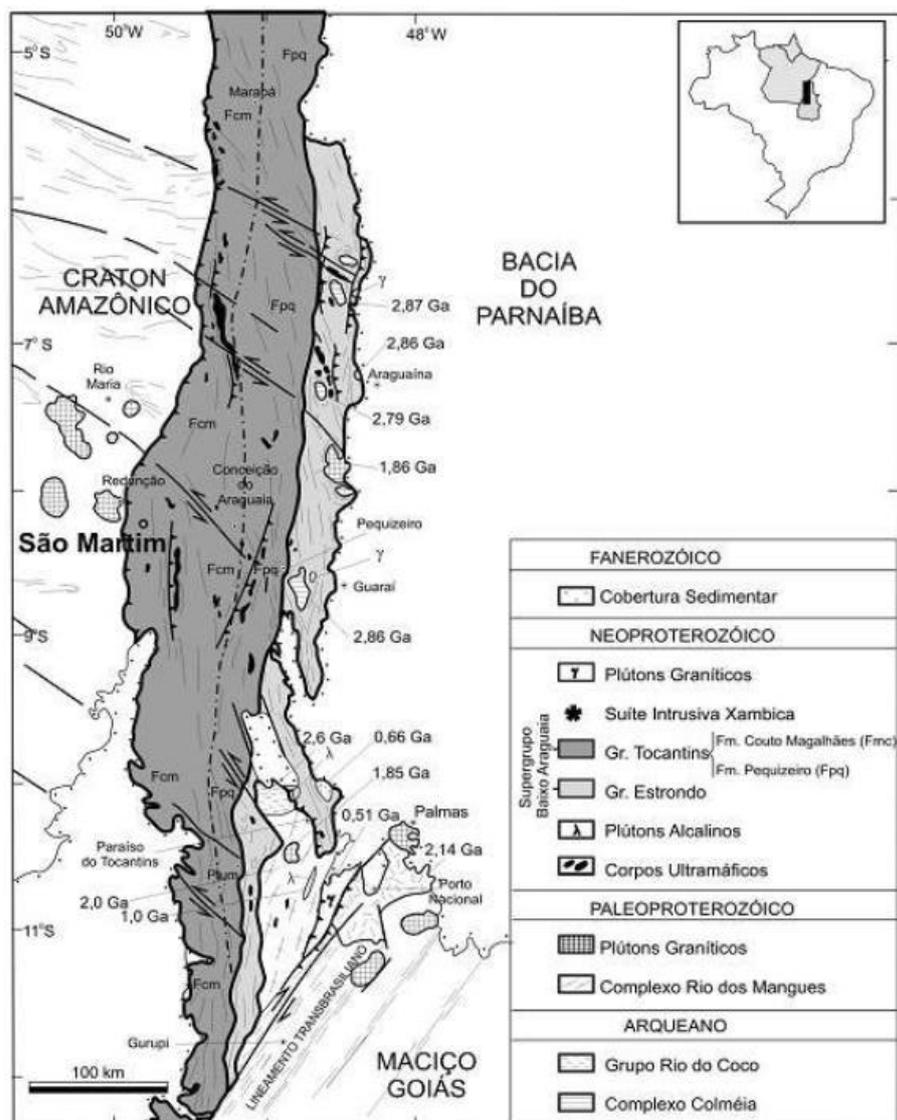
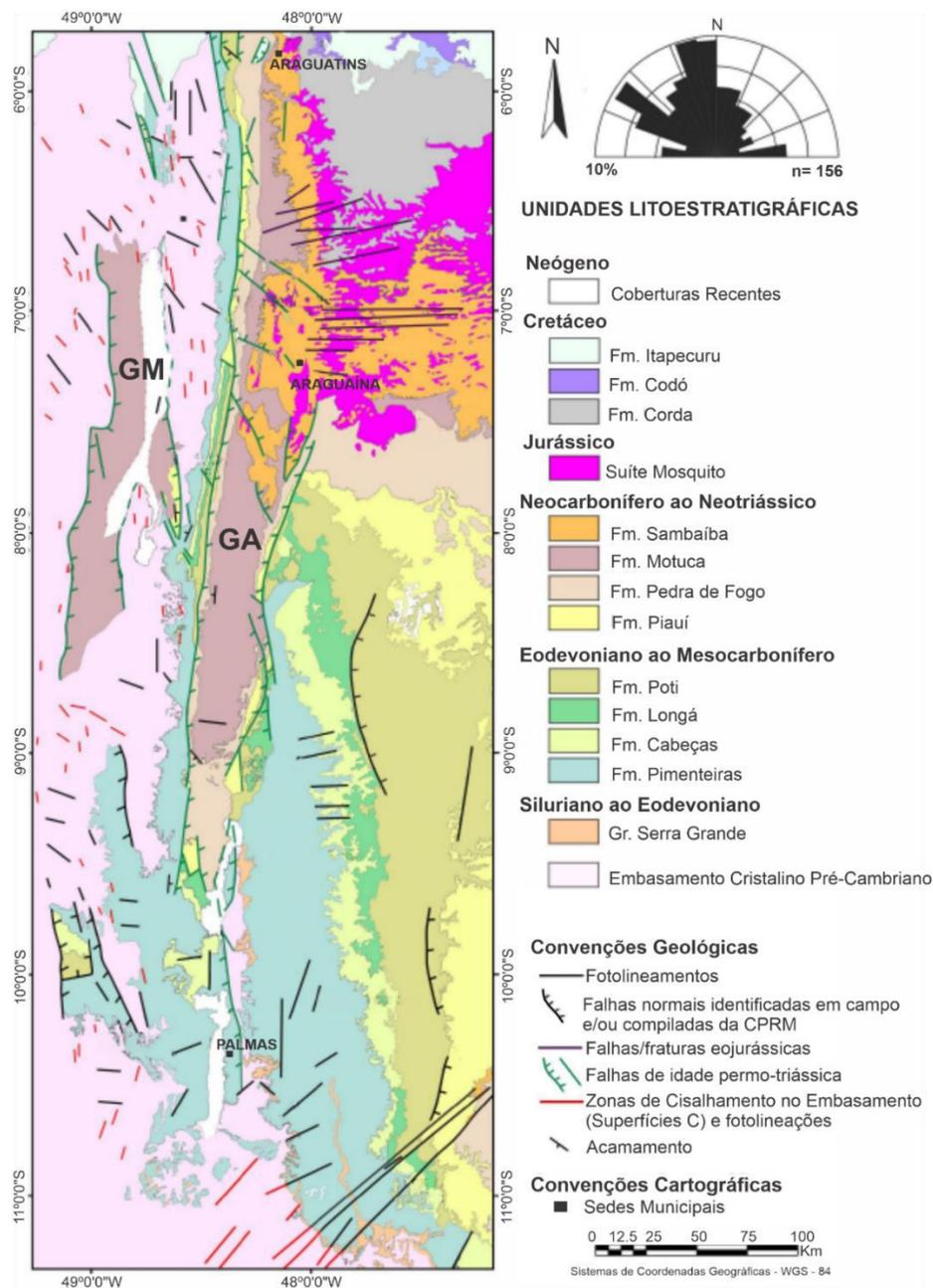


Figura 4: Mapa litoestrutural da Faixa Araguaia (SPISILA, 2014).

Além dos grabens pré-Silurianos anteriormente descritos, que ocorrem por toda a extensão do embasamento coberto pela Bacia do Parnaíba (DE CASTRO *et al.*, 2014; DE CASTRO *et al.*, 2016), duas estruturas grabeniformes mais recentes foram documentadas por SOUZA *et al.* (2017), na borda oeste da bacia (Figura 5). A primeira, o Graben Araguaína (GA), se localiza no interior da bacia e possui comprimento aflorante de cerca de 400 km e largura entre 40 e 50 km. A segunda, o Graben Muricizal (GM), está implantada sobre o embasamento cristalino, com um comprimento de cerca de 200 km e largura entre 25 e 50 km (Figura 5).

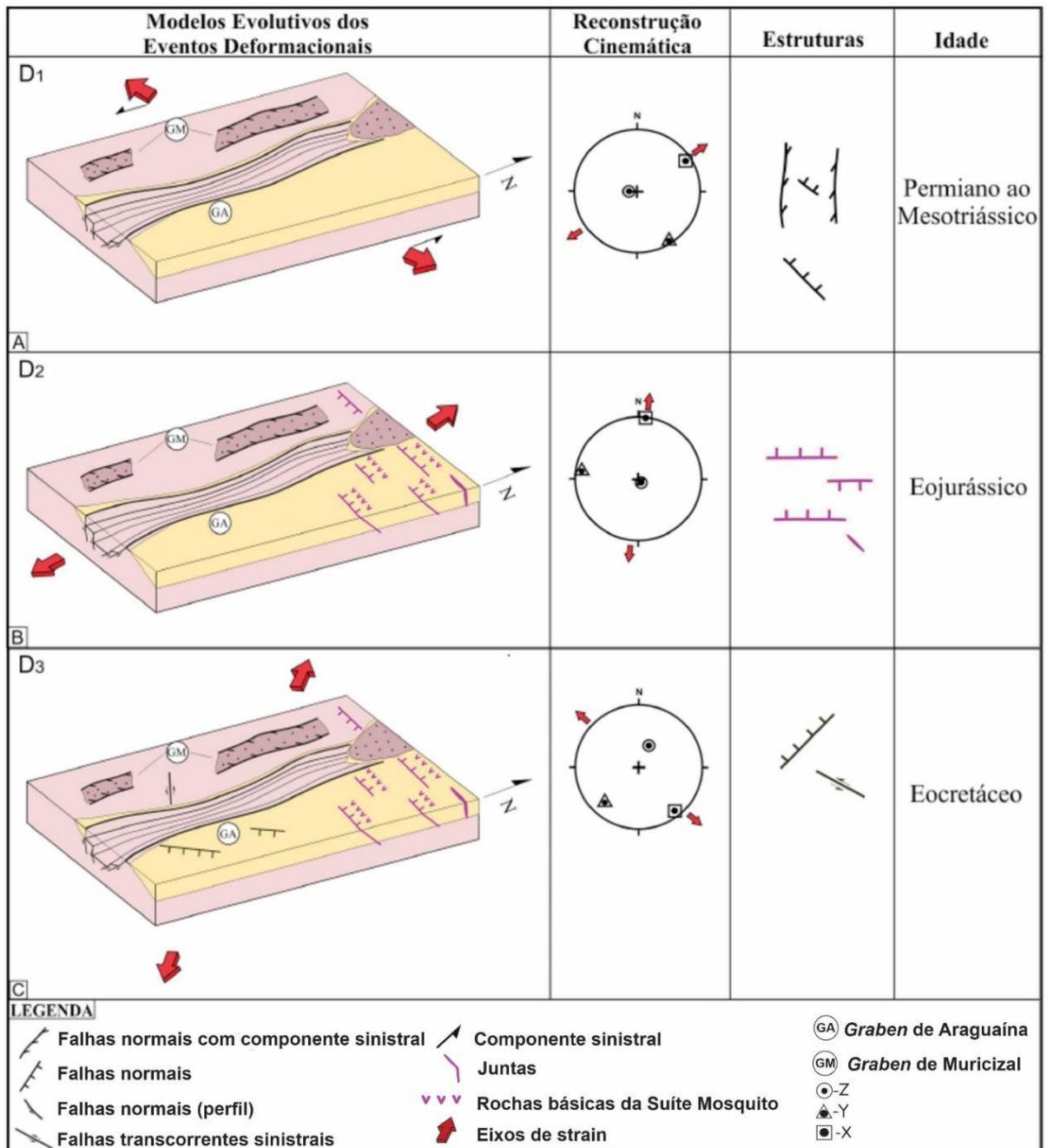


**Figura 5:** Mapa de localização dos Grabens em relação à bacia e outras estruturas. **GA** – Gráben Araguaína; **GM** – Gráben Muricizal (modificado de SOUZA *et al.*, 2017).

Os autores propõem um modelo de evolução dessas estruturas com três momentos de deformação, ocorridos entre o Permiano e Eocretáceo: O primeiro evento deformacional resultou em falhas normais que controlaram a deposição de sedimentos das formações Pedra de Fogo e Motuca, e, como consequência, esse evento é inferido a uma idade Permiana.

O segundo evento deformacional resultou num truncamento de falhas normais de direção N-S por estruturas distensionais E-W. Essas estruturas de trend E-W controlam os corpos de diabásio da Formação Mosquito, fornecendo idade jurássica ao evento.

O último evento pode ser correlacionado ao rifteamento na Província Borborema, durante o Neocomiano-Barremiano, relacionado a abertura do Atlântico Sul (Figura 6).



**Figura 6:** Modelo proposto de evolução das estruturas grabeniformes da borda oeste da Bacia do Parnaíba. (SOUZA *et al.*, 2017)

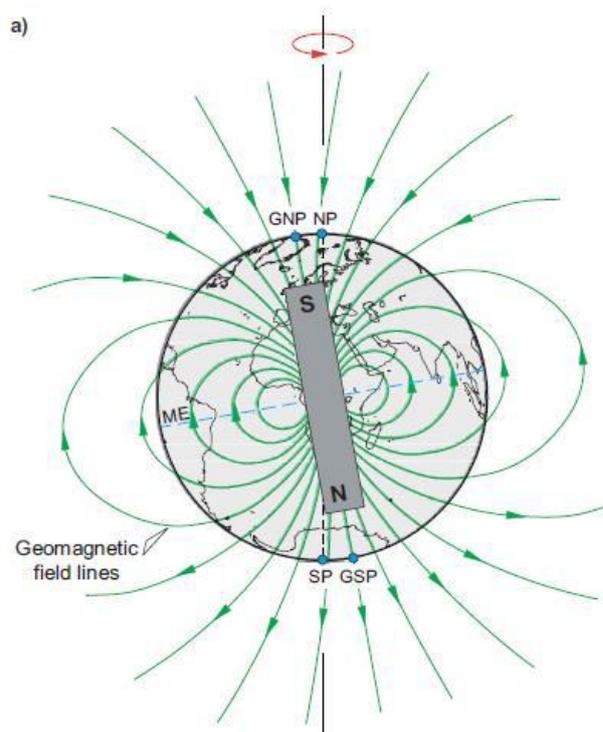
### 3. Metodologia

#### 3.1. Conceitos Básicos

##### 3.1.1. Campo Magnético

Um campo magnético é criado pela influência das correntes elétricas que estão em movimento ao redor de um corpo e são identificados através da força que exerce sobre outros materiais magnéticos. Todo campo magnético possui um sentido e uma força, portanto pode ser tratado como um vetor. A unidade de densidade do fluxo magnético denomina-se Tesla, representado pela letra (T) no Sistema Internacional de Unidades (HALLIDAY *et al.*, 2009).

A Terra possui seu próprio campo magnético. A teoria mais aceita é de que os elementos constituintes do seu núcleo interno, ferro e níquel líquidos, geram enormes correntes elétricas que nele circulam. Com isso, a Terra funciona como um grande ímã de barras, também conhecido como dipolo por ter polos positivo e negativo, gerando forças em torno do planeta, denominado campo geomagnético (Figura 7).



**Figura 7:** Representação das linhas do campo geomagnético. (DENTITH & MUDGE, 2014)

O eixo do dipolo geocêntrico é próximo do eixo de rotação da Terra e faz com ele um ângulo de aproximadamente 11,5° (TEIXEIRA *et al.*, 2009), de forma que o polo norte geográfico e magnético não coincidem. Esse ângulo é conhecido como declinação magnética e varia localmente no globo.

### 3.1.2. Susceptibilidade Magnética

Susceptibilidade Magnética é a propriedade que um material possui de se magnetizar quando sob a ação de um campo magnético externo. Ela pode ser representada por  $k$  através da fórmula:

$$k = \frac{\mu_0}{B} J_{induzido} \quad (1)$$

Onde  $\mu_0$  é a constante de permeabilidade magnética,  $\mathbf{B}$  é o campo magnético externo que exerce ação no material e  $\mathbf{J}_{induzido}$  é a força do magnetismo induzido (DENTITH & MUDGE, 2014)

Portanto, a susceptibilidade magnética, matematicamente, é a razão entre a força do magnetismo induzido e da força do campo que o causou, com isso, quanto maior a susceptibilidade magnética de um corpo ou material, mais forte será o magnetismo induzido no corpo. No Sistema SI, a susceptibilidade magnética é uma propriedade adimensional.

### 3.1.3. Magnetização das Rochas

A magnetização das rochas é caracterizada pela susceptibilidade magnéticas dos seus minerais constituintes. Além disso, também depende do tamanho e forma dos grãos desses minerais. A magnetização total de uma rocha é definida pela soma de duas importantes componentes, a magnetização induzida e a remanente. A primeira é resultado da indução do campo magnéticos nos minerais e rochas, enquanto a segunda é a componente de magnetização do campo correspondente a época de resfriamento dessa rocha.

Os minerais podem ser caracterizados num ambiente geológico como diamagnéticos, paramagnéticos e ferromagnéticos, de acordo com seu comportamento magnético (DENTITH & MUDGE, 2014; KLEIN & DUTROW, 2009):

- Minerais Diamagnéticos: Minerais que não experimentam atração por algum campo magnético; possuem susceptibilidade magnética negativa e não possuem magnetização remanente.

- Minerais Paramagnéticos: Minerais atraídos por um campo magnético enquanto esse está presente; possuem baixa susceptibilidade magnética e também não possuem magnetização remanente.

- Minerais Ferromagnéticos: Minerais mais magneticamente ativos; com alta susceptibilidade magnética e podem ter magnetização remanente. São os minerais com maior resposta magnética em levantamentos geofísicos.

A tabela 1 apresenta valores de susceptibilidade magnética de diversos minerais comuns tanto nas rochas sedimentares como nas rochas vulcânicas e nas cristalinas. A magnetita é o mineral de maior susceptibilidade magnética e a distribuição desse mineral, controla, em grande parte, as propriedades magnéticas das rochas (ISLES et al. 2013).

**Tabela 1:** Susceptibilidade magnética de diversos minerais. (Editado de: TELFORD, *et al.*, 1990)

Tipo	Susceptibilidade x10 <sup>3</sup> (SI)	
	Valores	Média
Minerais		
Grafite		0.1
Quartzo		-0.01
Sal		-0.01
Anidrita; Gesso		-0.01
Calcita	-0.001 a -0.01	
Carvão		0.02
Argilas		0.2
Calcopirita		0.4
Esfalerita		0.7
Cassiterita		0.9
Siderita	1 a 4	
Pirita	0.05 a 5	1.5

Limonita		2.5
Arsenopirita		3
Hematita	0.5 a 35	6.5
Cromita	3 a 110	7
Franklinita		4303
Pirrotita	1 a 6000	1500
Ilmenita	300 a 3500	1800
Magnetita	1200 a 19200	6000

### 3.2. Magnetometria

A magnetometria é um método geofísico passivo que mede as variações na intensidade do campo magnético terrestre, através da intensidade magnética total, expressa em nanoteslas (nT). A informação de interesse é o campo referente à magnetização das rochas, que está diretamente relacionada a susceptibilidade magnética das mesmas.

Devido às propriedades magnéticas das rochas, elas podem causar distorções no campo magnético, proporcional ao contraste de susceptibilidade magnética das mesmas com suas rochas encaixantes. Essa distorção é conhecida como uma anomalia magnética, que pode fornecer informações importantes sobre a distribuição de susceptibilidade magnética em superfície e em profundidade.

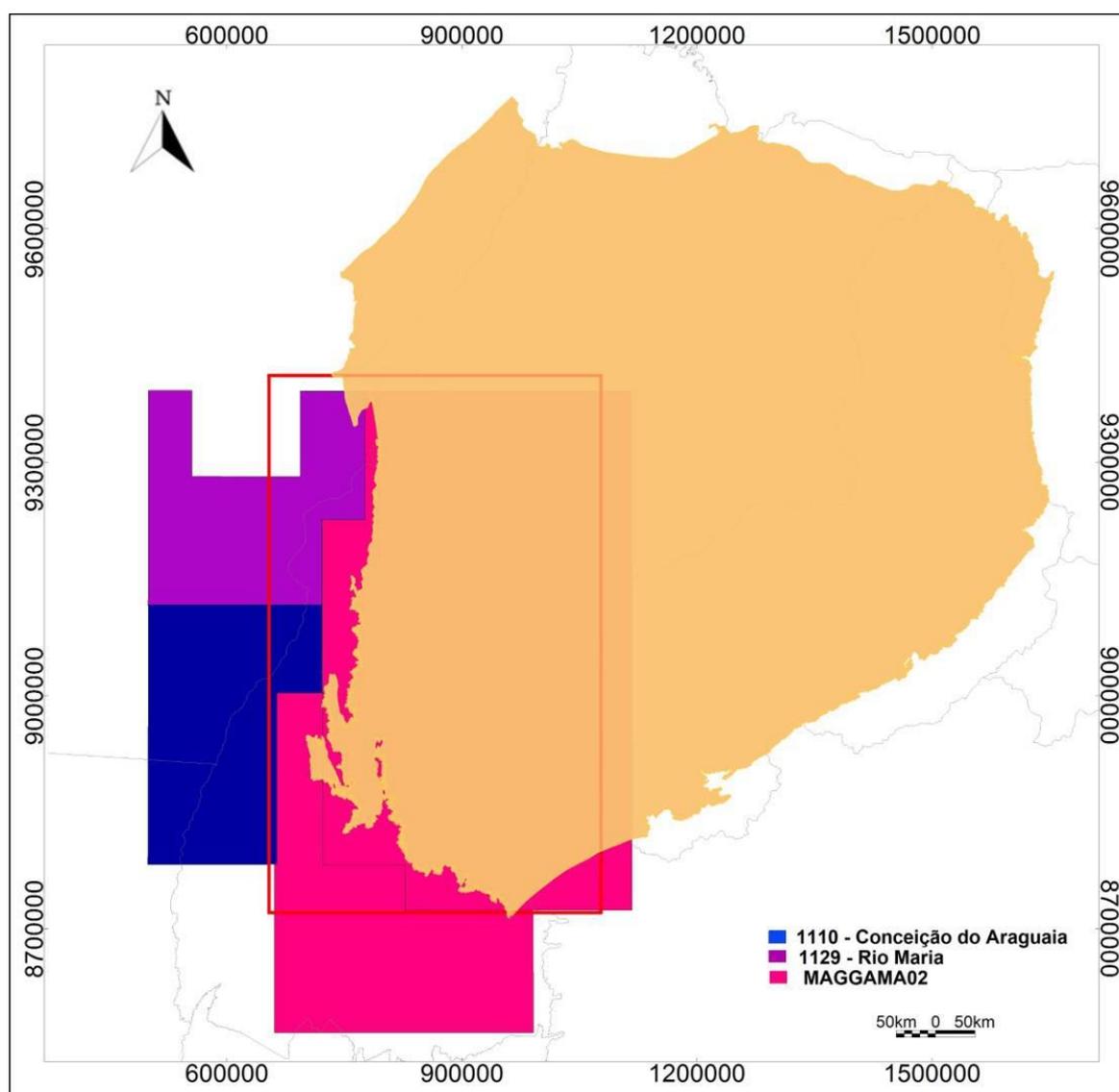
A magnetometria é uma ferramenta rápida e eficaz na identificação dessas anomalias e de possíveis corpos e/ou estruturas de interesse na exploração mineral (DENTITH & MUDGE, 2014).

A aeromagnetometria foi o tipo de levantamento que resultou nos dados utilizados no presente trabalho. Em um aerolevanteamento, é utilizada uma aeronave equipada com magnetômetros e outros sensores instalados dentro da aeronave ou em uma peça tubular acoplada à cauda da aeronave, conhecido como “stinger”, para evitar ruídos da aeronave no dado. A aquisição de dados é feita em um trajeto pré-definido, nas chamadas linhas de voo (LV), que recobre a área de interesse e também pelas linhas de controle (LC), geralmente mais espaçadas que as linhas



**Tabela 2:** Especificações dos projetos utilizados na elaboração do trabalho

<b>Código - Nome</b>	<b>Fonte</b>	<b>Ano</b>	<b>km<sup>2</sup></b>	<b>Espaçamento LV/LC</b>	<b>Altura de Voo</b>
1110 – Conceição do Araguaia	CPRM	2012	57.603	500m/10km	100m
1129 – Rio Maria	CPRM	2015	61.797	500m/10km	100m
MAGGAMA02	BDEP - ANP	2006	240.000	500m/10km	100m



**Figura 9:** Área dos projetos aerogeofísicos utilizados.

Os dados utilizados foram organizados em bancos de dados, e todo o tratamento e interpretação foi feito utilizando o software Geosoft Oasis Montaj, versão 9.7.1.

Em seguida, foi feita a integração dos vários projetos através do método de união dos grids e foram aplicados diversos métodos para realçar possíveis características de interesse nos dados, de forma a prepará-los para posterior interpretação.

Ainda, foram utilizadas quatro folhas geológicas para auxiliar a interpretação dos dados. Elas fazem parte do programa Geologia do Brasil – PGB e possuem escala 1:1.000.000. Sendo: SB22 – Araguaia, SB23 – Teresina, SC22 – Tocantins e SC23 – Rio São Francisco (FARACO et al, 2004; VASCONCELOS *et al.*, 2004).

### 3.4. Filtros e Métodos de Realce

Os métodos de realce servem para destacar alguma característica específica no dado, de forma a facilitar a interpretação final. Foram aplicadas 10 ferramentas de realce, sendo elas: Amplitude do Sinal Analítico – ASA, Inclinação do Sinal Analítico – ISA, derivadas horizontais Dx e Dy, derivada vertical Dz, Gradiente Horizontal Total – GHT, Gradiente Horizontal Total da Inclinação do Sinal Analítico – GHT-ISA, Inclinação do Sinal Analítico do Gradiente Horizontal Total – ISA-GHT e, por fim, um mapa ternário composto de derivadas verticais de grau 0,75, 1,00 e 1,25.

Um método de realce muito utilizado, que possui função de centralizar as anomalias sobre os corpos fonte, como se ocorressem no polo magnético, é a Redução ao Pólo (RTP). Porém, esse método possui uma limitação quando aplicado em baixas latitudes (inclinação geomagnética menor que  $15^{\circ}$ ), pois a inclinação geomagnética nesses locais é próxima de 0, gerando uma instabilidade numérica e feições espúrias (DE MELO *et al.*, 2011). Como a área de estudo está próxima do Equador, os resultados de RTP não foram satisfatórios.

▪ **Derivadas Horizontais Dx e Dy:** As derivadas horizontais representam as variações de intensidade do campo magnético nas direções x e y. De forma prática, realçam estruturas rasas nas direções N-S em Dx e E-W em Dy. Como são derivadas em relação ao campo magnético anômalo, suas fórmulas respectivamente, são:

$$Dx = \frac{\partial M}{\partial x} \quad Dy = \frac{\partial M}{\partial y} \quad (3) \text{ e } (4)$$

onde M é o campo magnético total.

▪ **Derivada Vertical – Dz:** Dz representada a variação da intensidade do campo magnético na direção z, no eixo vertical. Ela mostra como o campo magnético varia com a distância à fonte. Nela, há um realce das estruturas rasas sem uma direção preferencial. Obedece a fórmula:

$$Dz = \frac{\partial M}{\partial z} \quad (5)$$

▪ **Amplitude do Sinal Analítico – ASA:** A amplitude do sinal analítico representa, segundo Ferraz *et al.* (2008), uma função simétrica em forma de sino que possui, em teoria, o seu máximo coincidindo com o centro ou com o contato de corpos causativos de anomalias e independe da inclinação do campo magnético. Matematicamente, sua função para um ponto de coordenadas (x, y) é deduzida a partir dos três gradientes ortogonais do campo magnético total através da fórmula (ROEST *et al.*, 1992; NABIGHIAN, 1972):

$$|A(x, y)| = \left[ \left( \frac{\partial M}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial M}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial M}{\partial z} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

O mapa da ASA é muito utilizado na interpretação dos dados, pois elimina o caráter dipolar das anomalias magnéticas, e não depende da inclinação e declinação do campo geomagnético, uma vez que isso implica em resultados difíceis de interpretar.

▪ **Inclinação do Sinal Analítico – ISA:** A inclinação do sinal analítico é o ângulo entre o gradiente horizontal total e o gradiente vertical. Ela tem a propriedade de apresentar valores positivos sobre a fonte, passar pelo zero sobre as bordas de fontes verticalizadas e apresentar valores negativos fora da região da fonte magnética (MILLER & SINGH, 1994).

Obedece à função:

$$ISA = tg^{-1} \left( \frac{GZ}{GHT} \right) \quad (2)$$

Segundo Verduzco *et al.* (2004), devido à natureza da função trigonométrica arco-tangente, as amplitudes ficam restritas a  $\pm \pi/2$  (ou  $\pm 90^\circ$ ), funcionando assim como um filtro de controle de ganho automático, que tem a característica de equalizar a amplitude das anomalias, independente da profundidade das suas fontes.

▪ **Gradiente Horizontal Total – GHT:** É a variação horizontal total. Ele realça as bordas dos corpos magnetizados. Varia de acordo com a inclinação e declinação do campo magnético (DENTITH & MUDGE, 2014). Obedece a fórmula:

$$GHT = \sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2} \quad (6)$$

▪ **Gradiente Horizontal Total da Inclinação do Sinal Analítico – GHT-ISA:** Assim como o ASA, o GHT-ISA também independe da inclinação do campo magnético. Ele realça a borda dos corpos e também equaliza o sinal de fontes profundas com o de fontes rasas (VERDUZCO *et al.*, 2004).

$$GHT - ISA = \sqrt{\left(\frac{\partial ISA}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial ISA}{\partial y}\right)^2} \quad (7)$$

▪ **Inclinação do Sinal Analítico do Gradiente Horizontal Total – ISA-GHT:** O mapa da inclinação do sinal analítico do gradiente horizontal total (FERREIRA *et al.*, 2010) pode apresentar boa correlação com as estruturas do embasamento de uma bacia sedimentar, além de igualmente realçar as tendências no interior das bacias, fato não claramente evidenciado pelos demais métodos. Obedece a função:

$$ISA - GHT = tg^{-1} \left( \frac{\frac{\partial GHT}{\partial z}}{\sqrt{\left(\frac{\partial GHT}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial GHT}{\partial y}\right)^2}} \right) \quad (8)$$

O ISA-GHT Realça tanto as estruturas rasas quanto as profundas. Equaliza as anomalias de fontes profundas e de fontes rasas.

▪ **Mapa Composto das Derivadas Verticais:** É uma ferramenta usada para realçar estruturas lineares através da criação de um sombreamento no mapa. Utiliza valores do dado como se fossem dados de uma superfície topográfica iluminadas por uma fonte de luz. Esse método, na prática, é um tipo de filtro de passa-alta, e realça tanto os detalhes como os ruídos do dado. São utilizados gradientes de diferentes ordens que, quando unidos em um mapa composto, resultam na imagem sombreada.

Caso o dado apresente ruídos espúrios, é recomendado usar gradientes de menor ordem, por outro lado, é recomendado usar gradientes de maior ordem caso o resultado esteja suavizado a ponto de mascarar feições importantes (COOPER & COWAN, 2003).

Destaca-se que, dos métodos de realce aplicados, apenas quatro foram utilizados na interpretação dos dados. Sendo eles: o ASA, GHT-ISA, um mapa composto do ISA-GHT e do ISA, e, por fim, o mapa composto das derivadas verticais. A partir deles, foram separados domínios magnéticos e delineadas estruturas tanto no interior da bacia como na região do entorno.

### 3.5. Deconvolução de Euler

A magnetometria também é muito utilizada para fazer estimativas de profundidade, através de métodos automáticos ou semi-automáticos, rápidos de interpretação de dados, como a deconvolução de Euler. A técnica foi proposta, inicialmente, por Thompson (1982) através da equação:

$$(x - x_0) \frac{dT}{dx} + (y - y_0) \frac{dT}{dy} + (z - z_0) \frac{dT}{dz} = N(B - T) \quad (9)$$

Onde  $(x_0, y_0, z_0)$  é referente à posição da fonte magnética cujo campo total  $T$  foi identificado em  $(x, y, z)$ . O valor regional do campo total é  $B$ .  $N$  expressa o grau de homogeneidade da equação, que também é interpretado como índices estruturais (REID *et al.*, 1990). Esses, aliados às posições estimadas, auxiliam na identificação de diversas estruturas geológicas.

No software *Geosoft Oasis Montaj*, esse método é denominado *Euler 3D Deconvolution*. Ele consiste na definição de uma janela que varre a malha regular do campo a ser investigado, resolvendo os sistemas de equações para cada janela. São definidos, ainda, parâmetros que filtram as soluções previamente, além do tamanho da janela, como a máxima distância e tolerância aceitas. A primeira define um intervalo estipulado para os valores de  $(x, y, z)$ , onde qualquer valor fora do intervalo é descartado. A máxima tolerância define um limite de erro estimado aceitável para as profundidades, tendo 15% como valor padrão utilizado no software.

O valor do índice estrutural (SI) é determinante para as soluções. Foram definidos valores segundo comportamento das fontes das anomalias e Reid (1990), após estudos com modelos sintéticos, propôs valores de índices estruturais para algumas feições geológicas indicadas na tabela 3 abaixo.

**Tabela 3:** Valores de índice estrutural atribuídos por Reid (1990)

<b>Modelo</b>	<b>Índice Estrutural</b>
Contato	0
Diques e Soleiras	1
Tubo	2
Esfera	3

Os valores utilizados no trabalho foram definidos após seguidos testes com diferentes parâmetros, onde dois deles apresentaram resultados satisfatórios para interpretação na área de estudo (tabela 4). O primeiro possui soluções que indicam

estruturas mais rasas no embasamento no entorno da bacia, enquanto o segundo indica estruturas mais profundas no seu interior, principalmente dentro dos Grabens e na região central da área.

**Tabela 4:** Parâmetros utilizados na deconvolução de Euler.

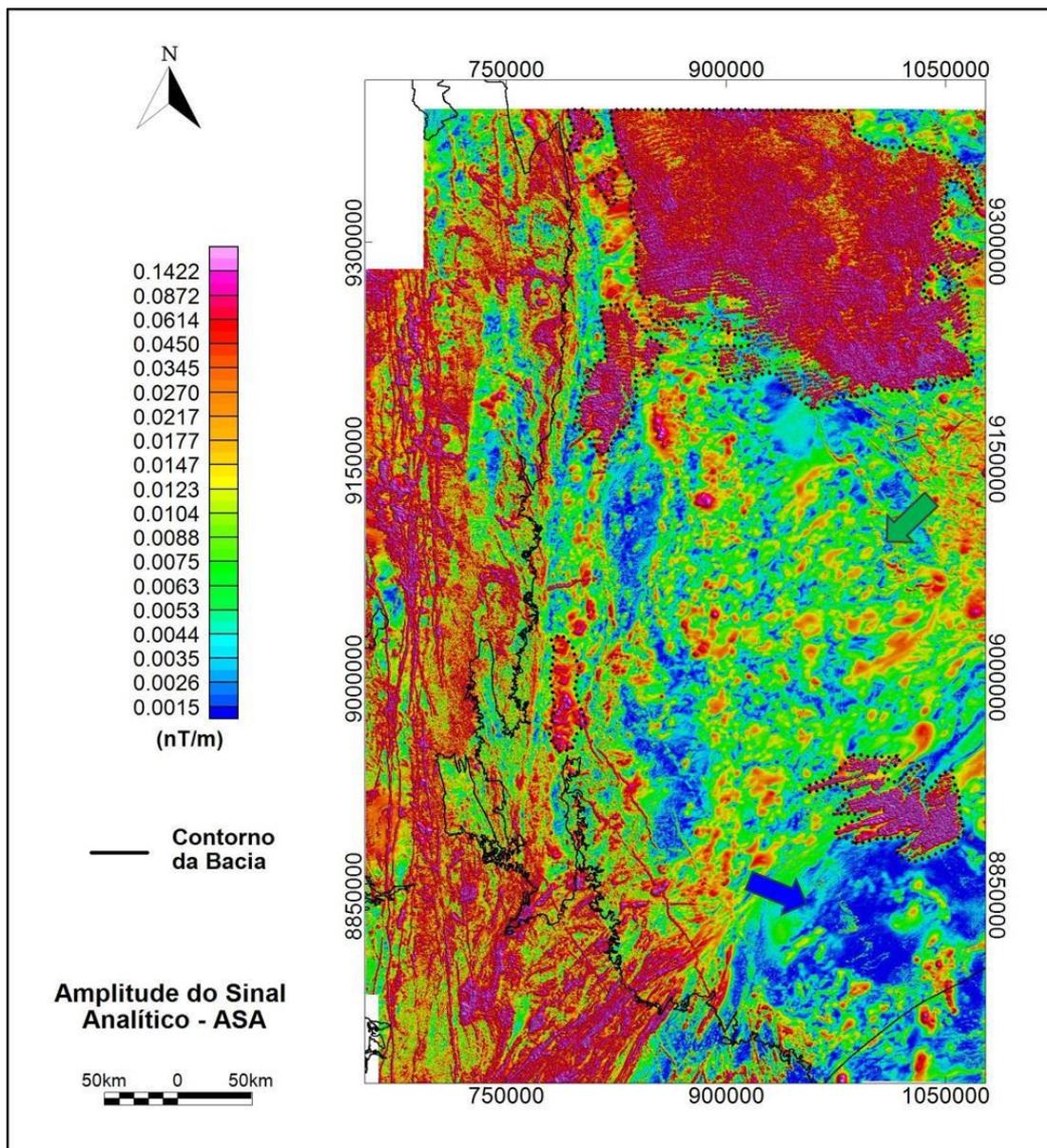
<b>Índice Estrutural</b>	<b>Tamanho da célula</b>	<b>Tolerância (%)</b>	<b>Tamanho da Janela</b>	<b>Máxima distância</b>
1	250	15	15	1250
1	250	15	20	2500



#### **4.1.2. Amplitude do Sinal Analítico – ASA**

O mapa de ASA, na figura 11, mostra as anomalias centralizadas sobre os corpos causadores, tanto dentro como fora do limite da bacia, com as anomalias de alta intensidade magnética facilmente identificáveis no mapa. Os derrames de basalto da Formação Mosquito, foram interpretados no norte e no sul da área, apresentam alta intensidade magnética e estão indicados pela linha pontilhada na figura 11.

Além disso, foi identificada uma região de baixa intensidade magnética no sul da área, referente à Bacia do Espigão Mestre, indicada pela seta azul na figura 10, e anomalias de intensidade intermediária no centro da área de estudo, indicadas pela seta verde.

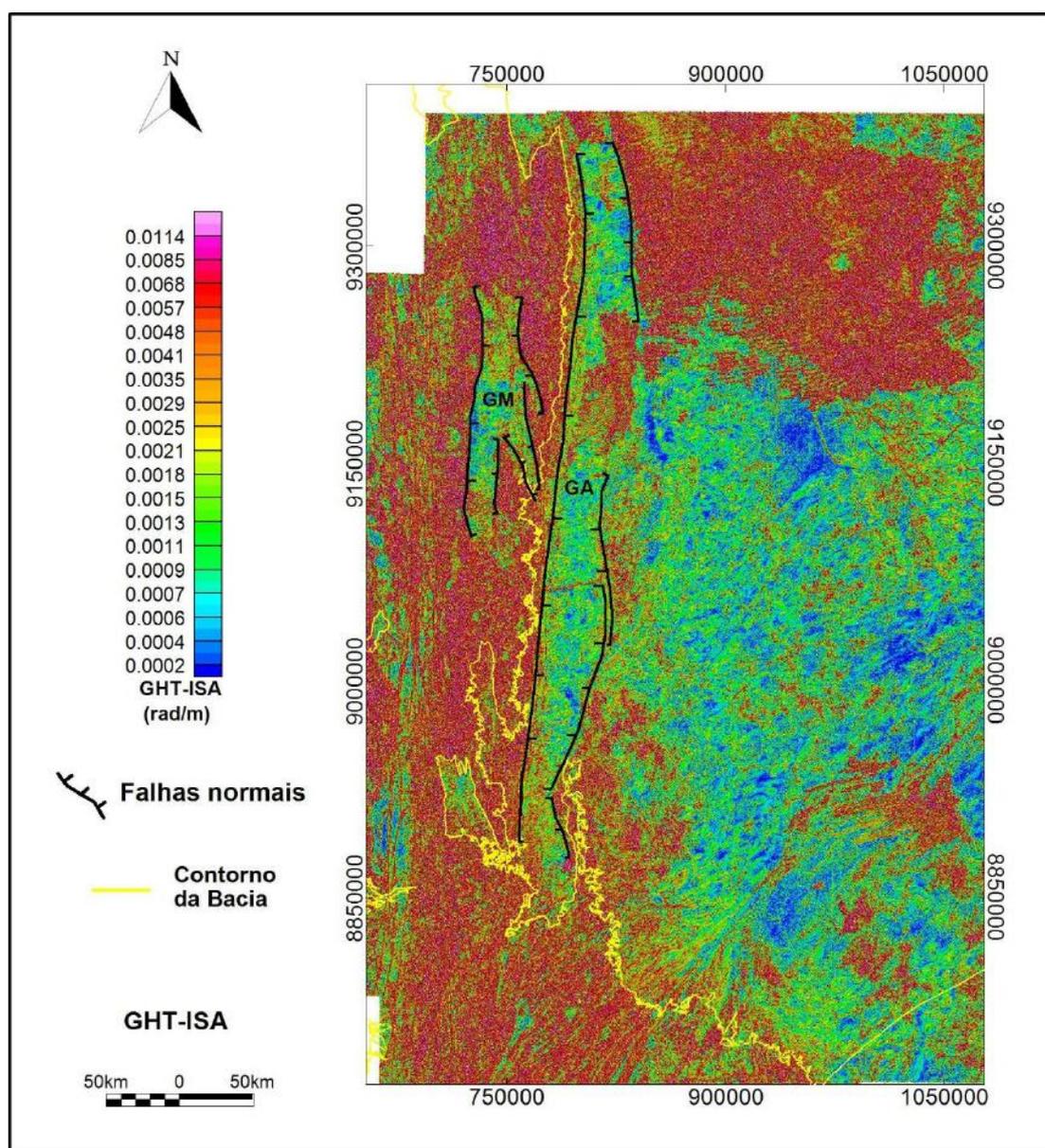


**Figura 11:** Amplitude do sinal analítico do campo magnético anômalo. A seta verde indica anomalias de intensidade magnética intermediária, enquanto a seta azul indica anomalias de baixa intensidade magnética. A linha preta pontilhada indica os derrames de basalto interpretados.

Destacam-se também as anomalias de alta amplitude magnética (majoritariamente entre 200 e 300 nT, podendo variar bastante) e pequeno comprimento de onda (1,5 a 2 km) correspondentes aos basaltos da Formação Mosquito.

#### 4.1.3. Gradiente Horizontal Total da Inclinação do Sinal Analítico – GHT- ISA

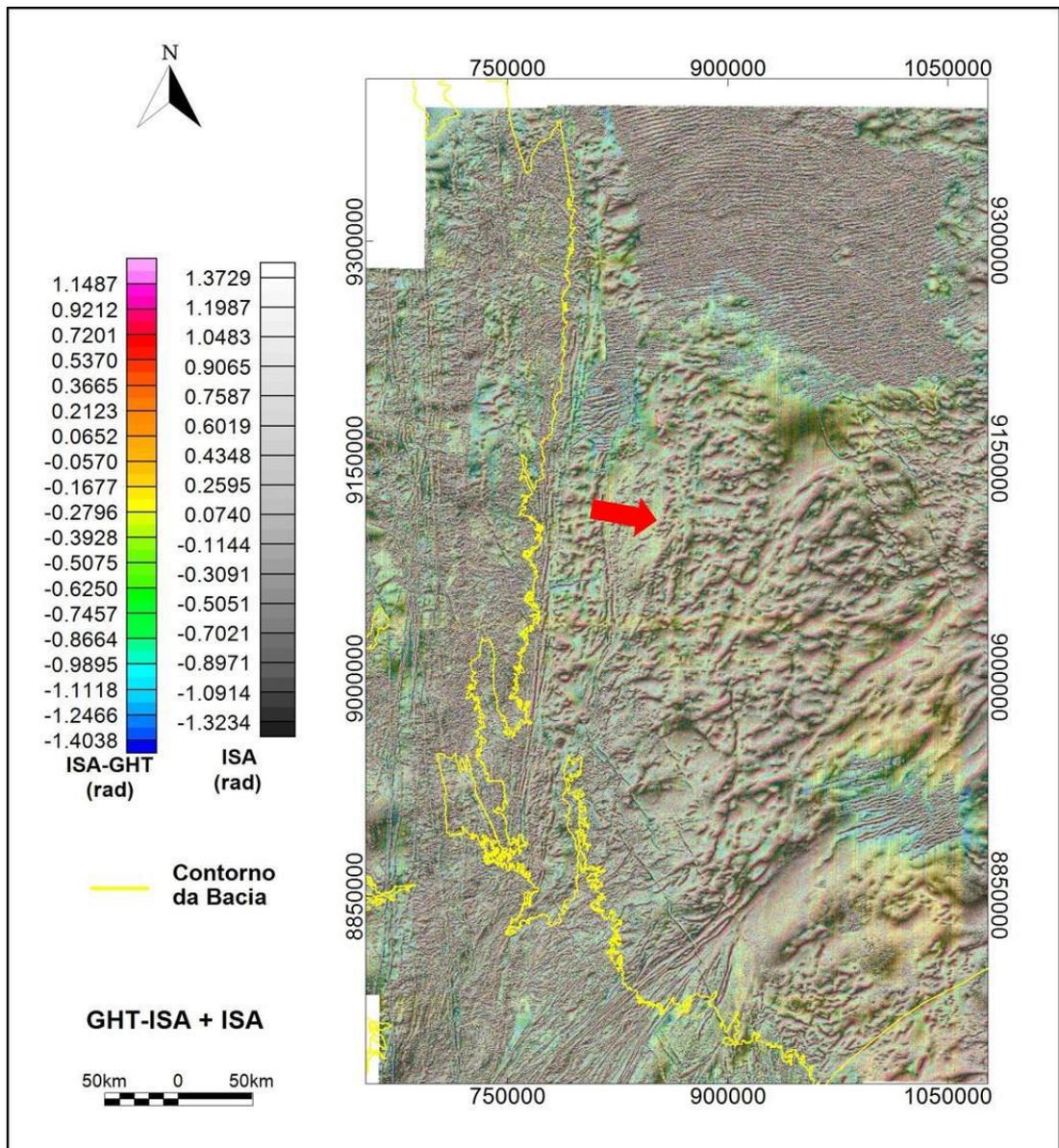
Na figura 12, o mapa de GHT-ISA se mostrou importante por ressaltar duas estruturas que se relacionam com a evolução tectônica da bacia, os Grabens Araguaína e Muricizal, descritos por Souza e colaboradores (2017). Como esse produto realça a borda dos corpos, destacou a região de ambas as estruturas, cujo interior é marcado por valores baixos e o entorno, por mais altos valores no produto do GHT-ISA.



**Figura 12:** Região dos Grabens Araguaína (AR), no interior da bacia, e Muricizal (MZ) no entorno.

#### 4.1.4. Mapa composto da Inclinação do Sinal Analítico do Gradiente Horizontal Total e da Inclinação do Sinal Analítico - ISA-GHT e ISA

A sobreposição dos mapas de ISA-GHT com o da ISA gerou um terceiro mapa que resalta as estruturas na região central do interior da bacia, visto na figura 13, onde se observa uma intensidade magnética mais baixa nos mapas de ASA e GHT-ISA, apresentados anteriormente. Como a ISA realça os corpos fontes das anomalias e o ISA-GHT realça os trends no embasamento, este mapa composto permite observar e marcar os lineamentos nessa região, indicado pela seta vermelha na imagem.



**Figura 13:** Sobreposição dos mapas de ISA-GHT e ISA. A seta vermelha indica os lineamentos na região de mais baixa intensidade magnética.

#### 4.1.5. Mapa Composto das Derivadas Verticais

O efeito sombreado do mapa ressalta as estruturas e importantes lineamentos se apresentam bem marcados (Figura 14), o que possibilita o reconhecimento de estruturas tanto rasas quanto mais profundas. Foi amplamente utilizado na delimitação de lineamentos e estruturas, e também no auxílio da separação de domínios magnéticos.

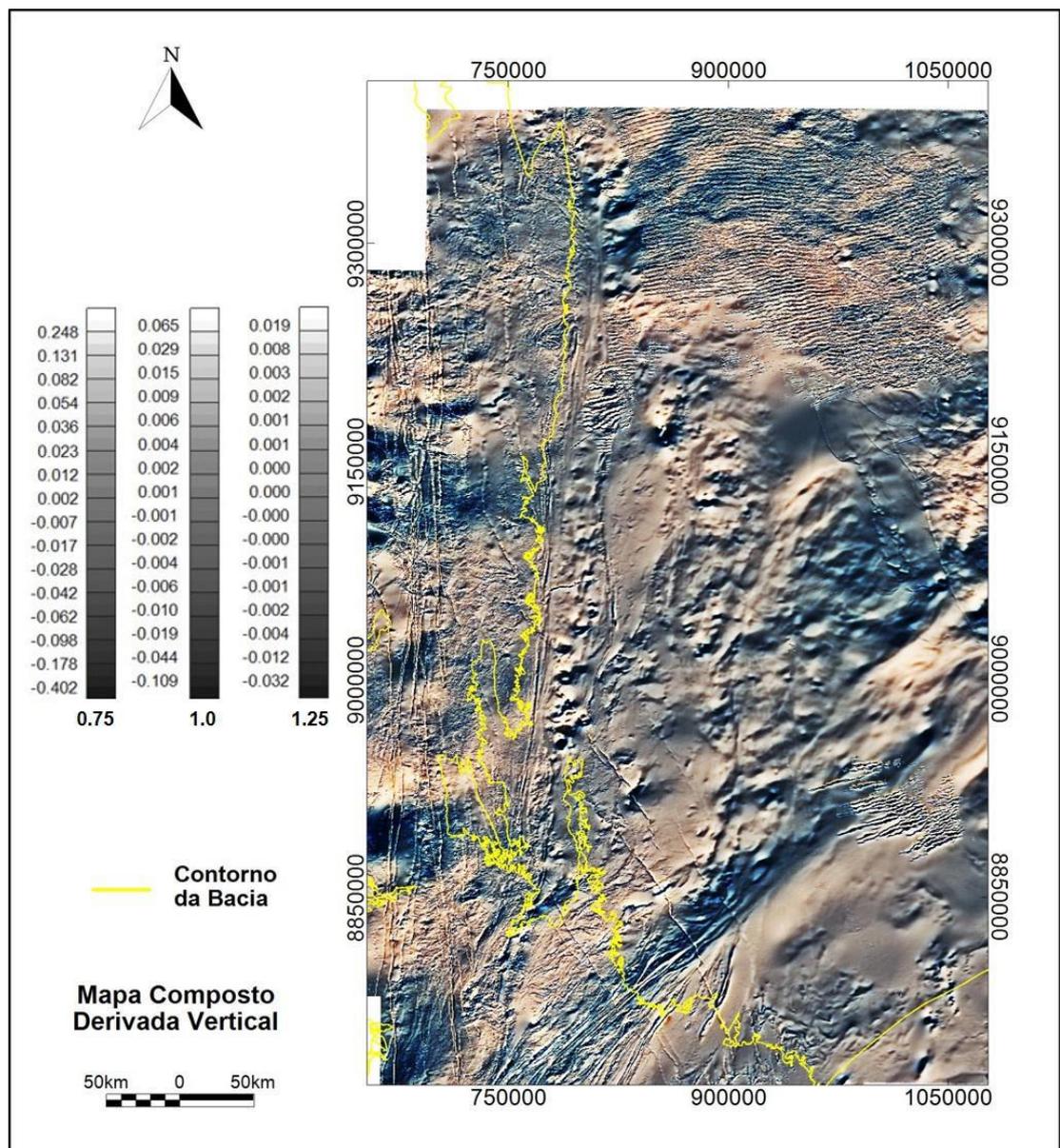


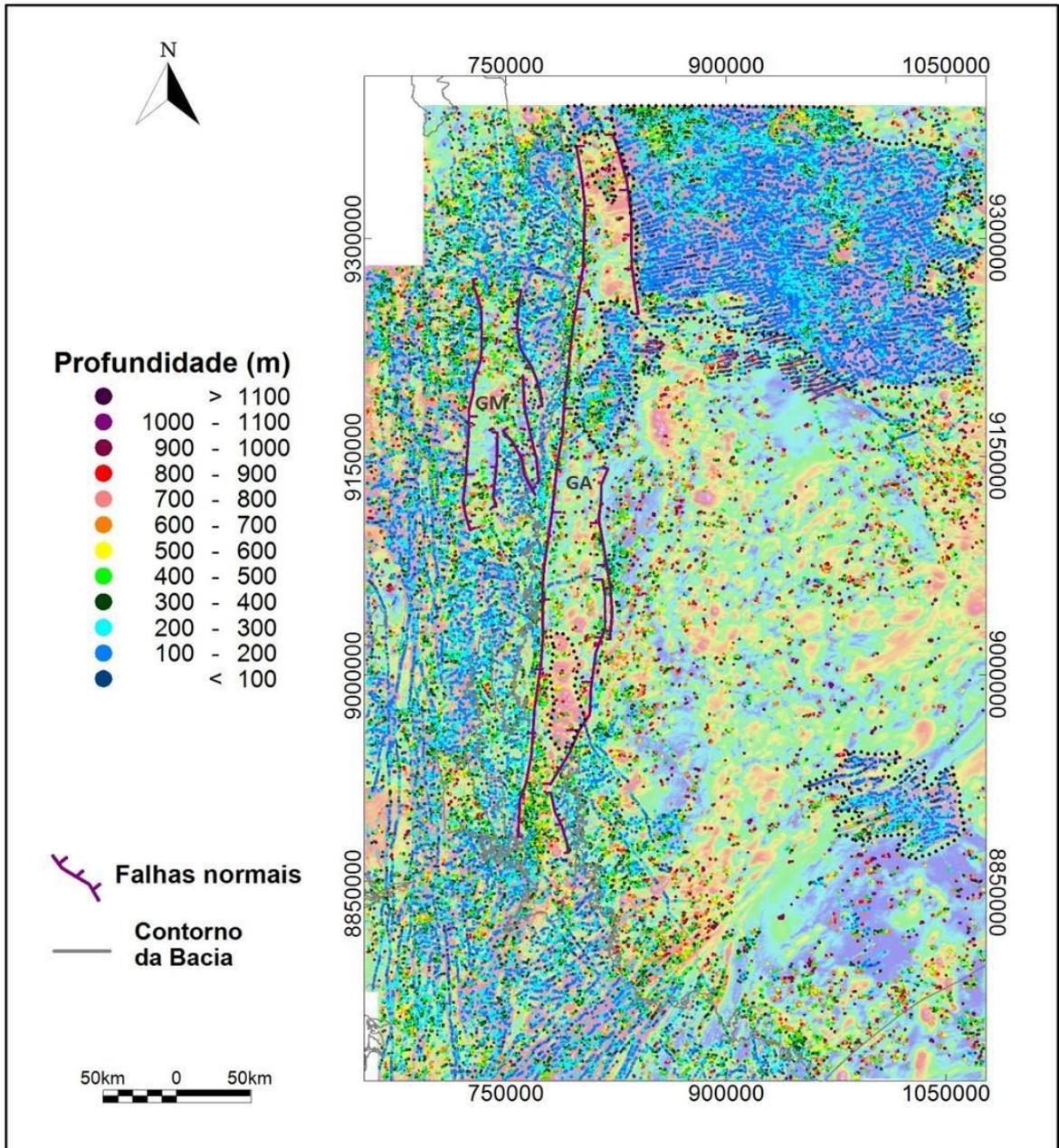
Figura 14: Mapa composto ternário das derivadas verticais de grau 0.75, 1.0 e 1.25.

#### **4.2. Deconvolução de Euler – Estimativas de Profundidade**

O primeiro mapa de soluções de Euler indica as profundidades mais rasas da área, localizadas principalmente na região do embasamento no entorno da bacia e nos derrames de basalto no seu interior.

No entorno da bacia as soluções possuem profundidade variando entre 100 e 300 metros, em sua maioria. Havendo alguns locais com profundidade entre 300 e 500 metros e poucas mais profundas. O Graben Muricizal se destaca com profundidades maiores, entre 400 e 700 metros, com poucas soluções mais profundas, de até 1000 metros. Ainda, destaca-se o trend N-S que as soluções assumem na região de influência da Faixa Araguaia e NE-SW sobre o Lineamento Transbrasiliano.

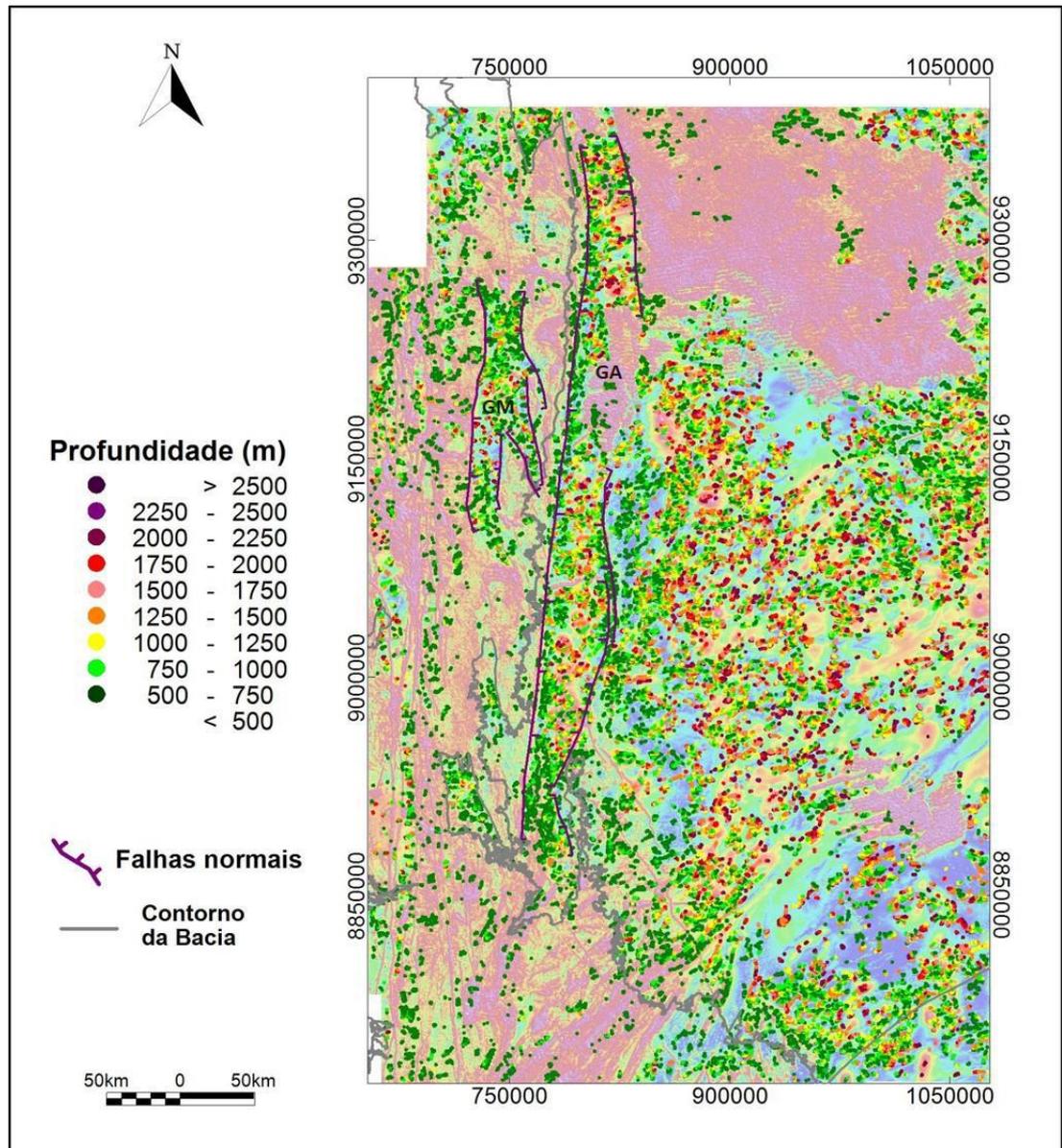
Dentro da bacia, os derrames de basalto, indicados pela linha pontilhada na figura 15, são marcados por duas nuvens de soluções de trend E-W. Ambas possuem profundidades variando entre 100 e 300 metros, com soluções mais rasas (menos de 100 metros) próximo às suas porções aflorantes. O derrame norte possui, ainda, algumas soluções mais profundas, entre 300 e 600 metros (Figura 15).



**Figura 15:** Soluções mais rasas com o índice estrutural de diques. A linha pontilhada em preto indica os derrames de basalto interpretados, enquanto a linha vermelha contínua indica suas regiões aflorantes. GM –Graben Muricizal; GA – Graben Araguaína.

O segundo resultado indica as soluções mais profundas, principalmente dentro da bacia. Os resultados mais profundos se localizam na região central da área, com profundidades variando entre 1250 e 2250 metros, com soluções mais profundas marcando até 2340 metros. Em direção à borda da bacia, as soluções ficam mais rasas, com valores de 500 a 750 metros. O Graben Araguaína possui soluções com até 2000 metros de profundidade no seu interior e uma variação entre 500 e 750 metros nas suas bordas.

É importante destacar o trend NE-SW que as soluções apresentam ao longo do Lineamento Transbrasiliano, enquanto as direções variam na porção mais central (Figura 16), indicando que a maioria das fontes dessas anomalias estão localizadas no embasamento da bacia.



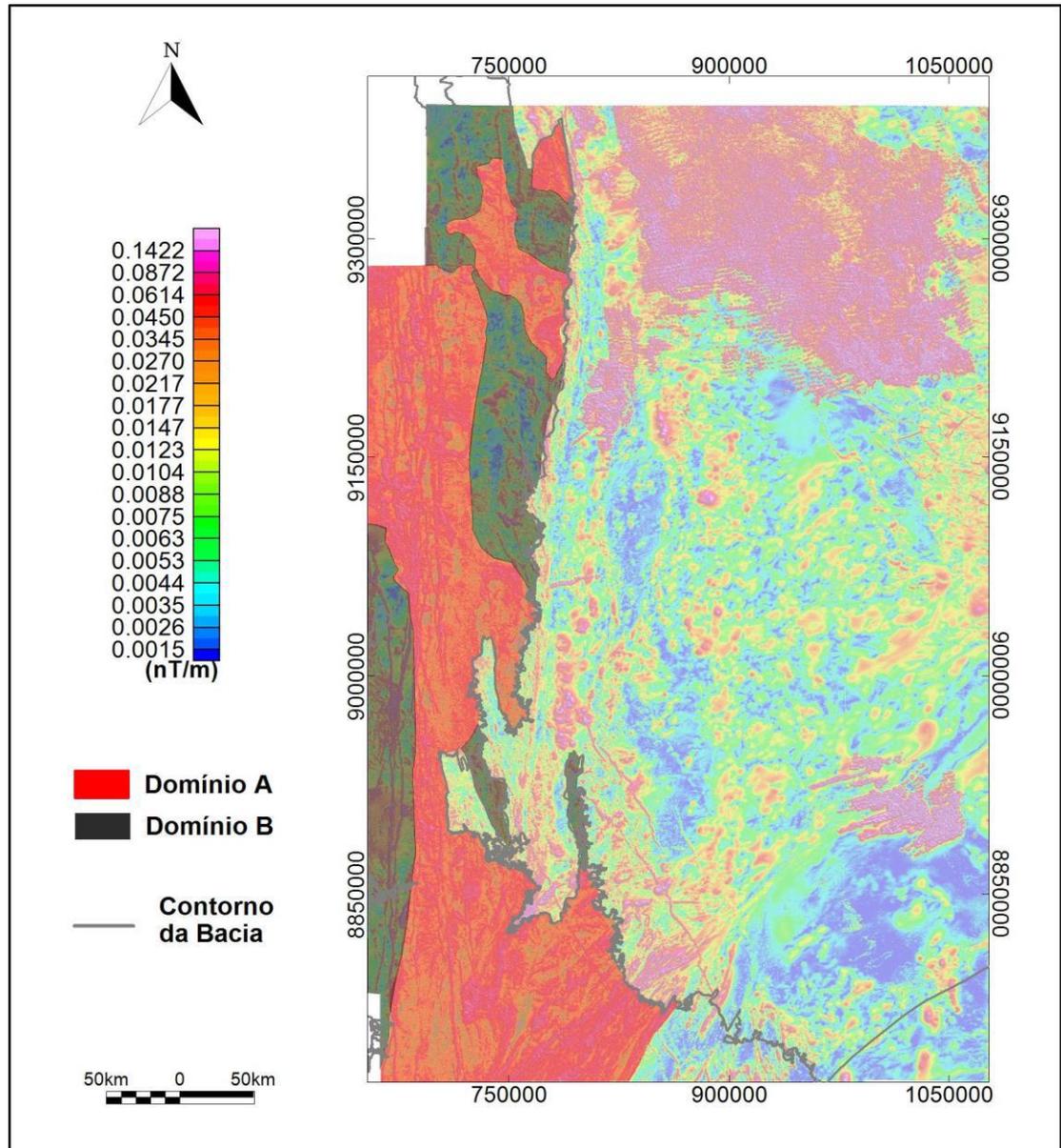
**Figura 16:** Soluções mais profundas com o índice estrutural de diques. GM – Graben Muricizal; GA – Graben Araguaína.

### 4.3. Domínios Magnéticos

A área de estudo foi separada em 11 domínios magnéticos definidos a partir do mapa de campo magnético anômalo, ASA e do mapa composto das derivadas verticais, onde foram individualizadas através da intensidade da resposta magnética, estruturas e lineamentos associados.

- **Domínio A:** Região externa da bacia, no embasamento, com estruturas de alta intensidade magnética, com a maioria das amplitudes das anomalias do campo magnético anômalo variando entre 70 e 227 nT, sendo muito variáveis, com alto desvio padrão, cerca de 242 nT (Figura 17).

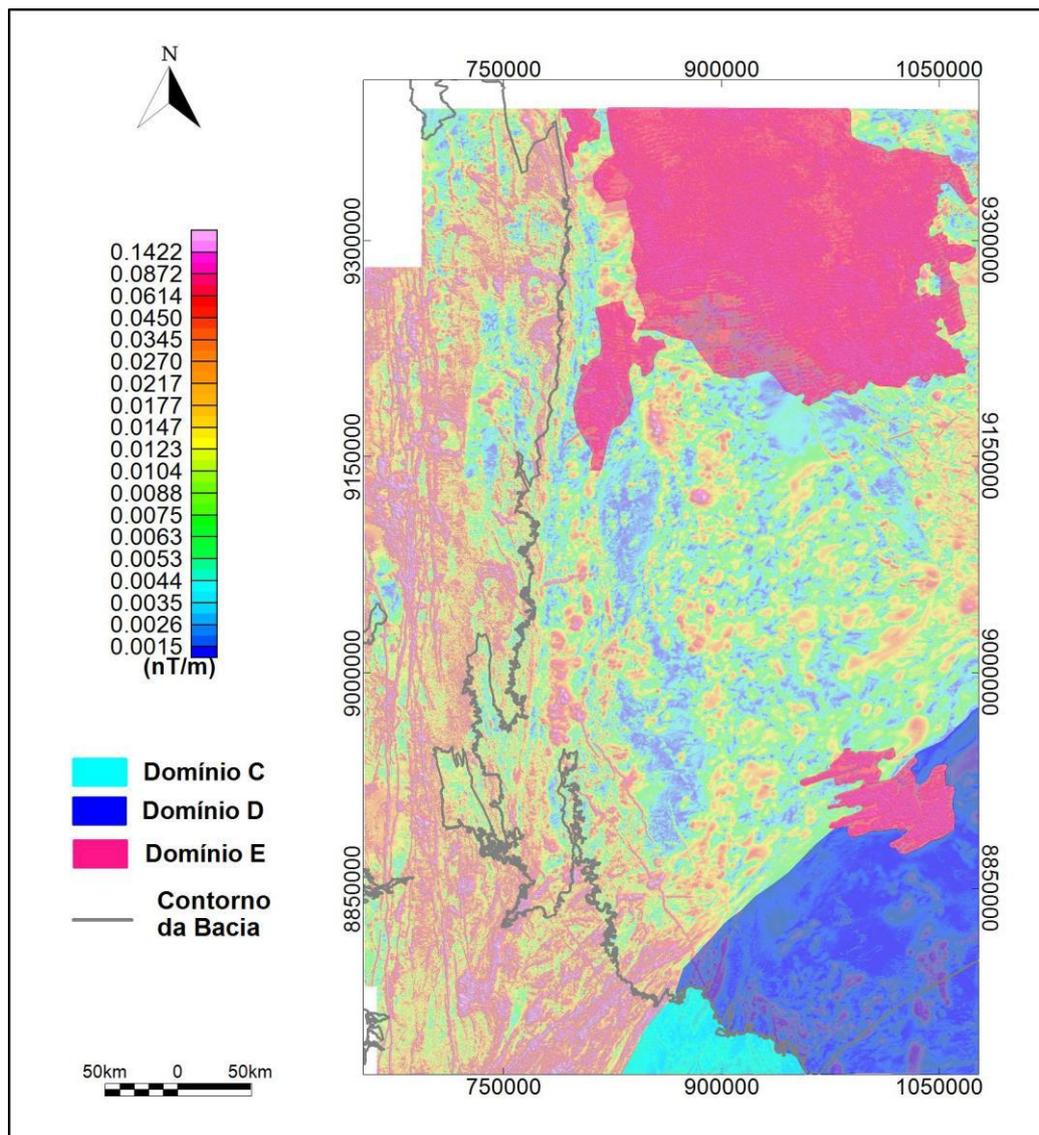
- **Domínio B:** Domínio na região do embasamento, adjacente ao domínio A, com intensidade magnética intermediária e amplitude máxima das anomalias do campo magnético de 48 nT. Este domínio ainda se encontra na zona de influência da Faixa Araguaia, e também sobre parte de suas estruturas, onde as amplitudes das anomalias localmente são maiores (>250 nT) (Figura 17).



**Figura 17:** Domínio A – relacionado a estruturas de alta intensidade magnética na região externa da bacia; Domínio B – relacionado com região de baixa intensidade magnética.

• **Domínios C e D:** Região sudeste do mapa, fora (domínio C) e dentro da bacia (domínio D), com baixa intensidade magnética. Suas amplitudes variam entre 27 e 93 nT no domínio C e abaixo de 22 e entre 44 e 87 nT no domínio D. Possui poucas estruturas, apenas na borda interna da bacia e com regiões localizadas de maior intensidade magnética (Figura 18).

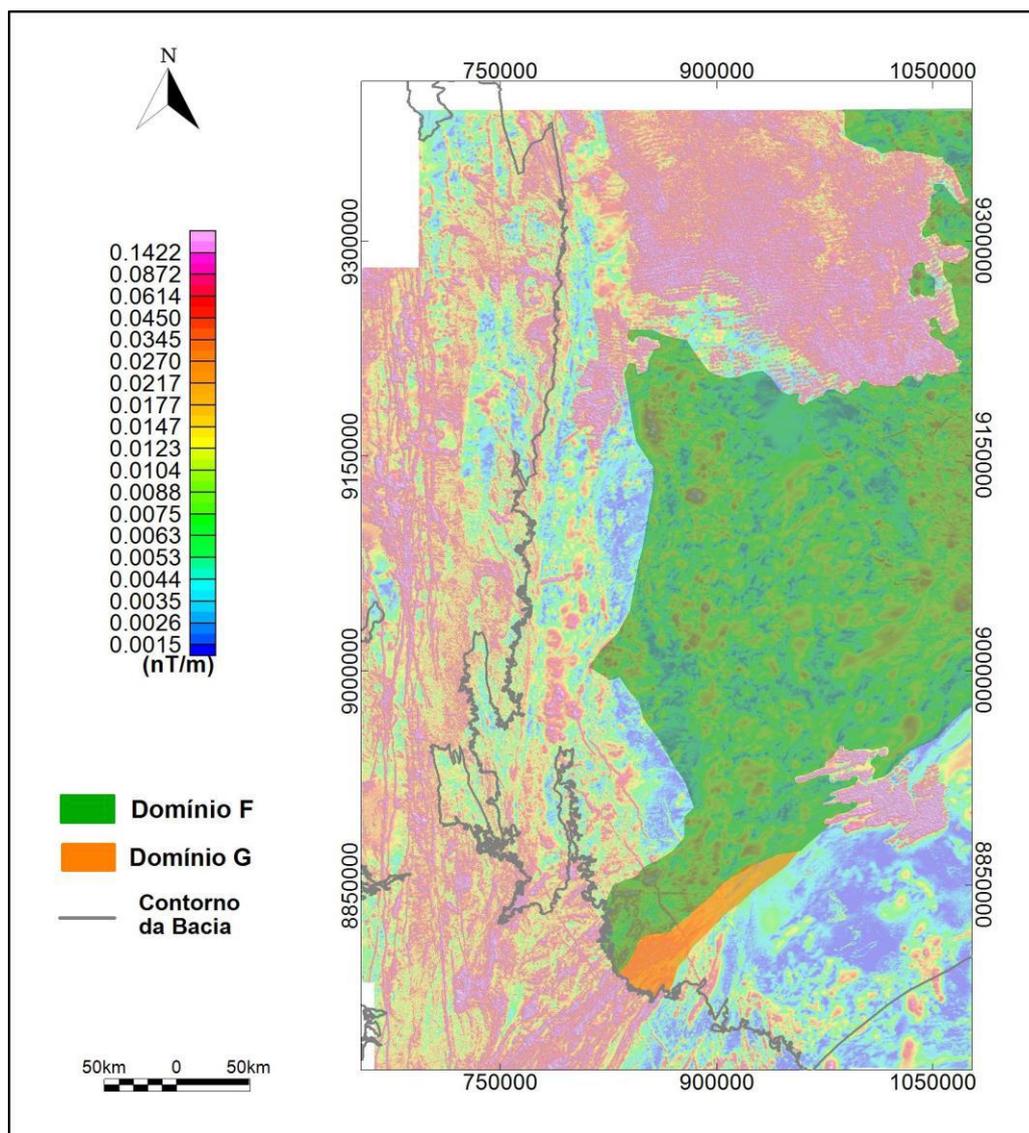
• **Domínio E:** Regiões dos derrames basálticos de idade jurássica referente à Formação Mosquito, com alta intensidade magnética (Figura 18). As amplitudes das anomalias do campo magnético anômalo variam principalmente entre 233 e 319 nT, com alto desvio padrão, de 146 nT.



**Figura 18:** Domínios C e D – Região de mais baixa intensidade magnética, dentro e fora da bacia, relacionada com a área da Bacia do Espigão Mestre; Domínio E – Região de alta intensidade magnética relacionada aos derrames de basalto da Fm. Mosquito.

- **Domínio F:** Porção central no interior da bacia, com intensidade magnética intermediária, composta por arenitos, siltitos, folhelhos e carbonatos. As amplitudes das anomalias variam entre 32 e 124 nT. É a região mais profunda da área (Figura 19).

- **Domínio G:** Região com estruturas de alta intensidade magnética, dentro da bacia, sobre o Lineamento Transbrasiliano (Figura 19). As amplitudes das anomalias magnéticas variam entre 45 e 187 nT.

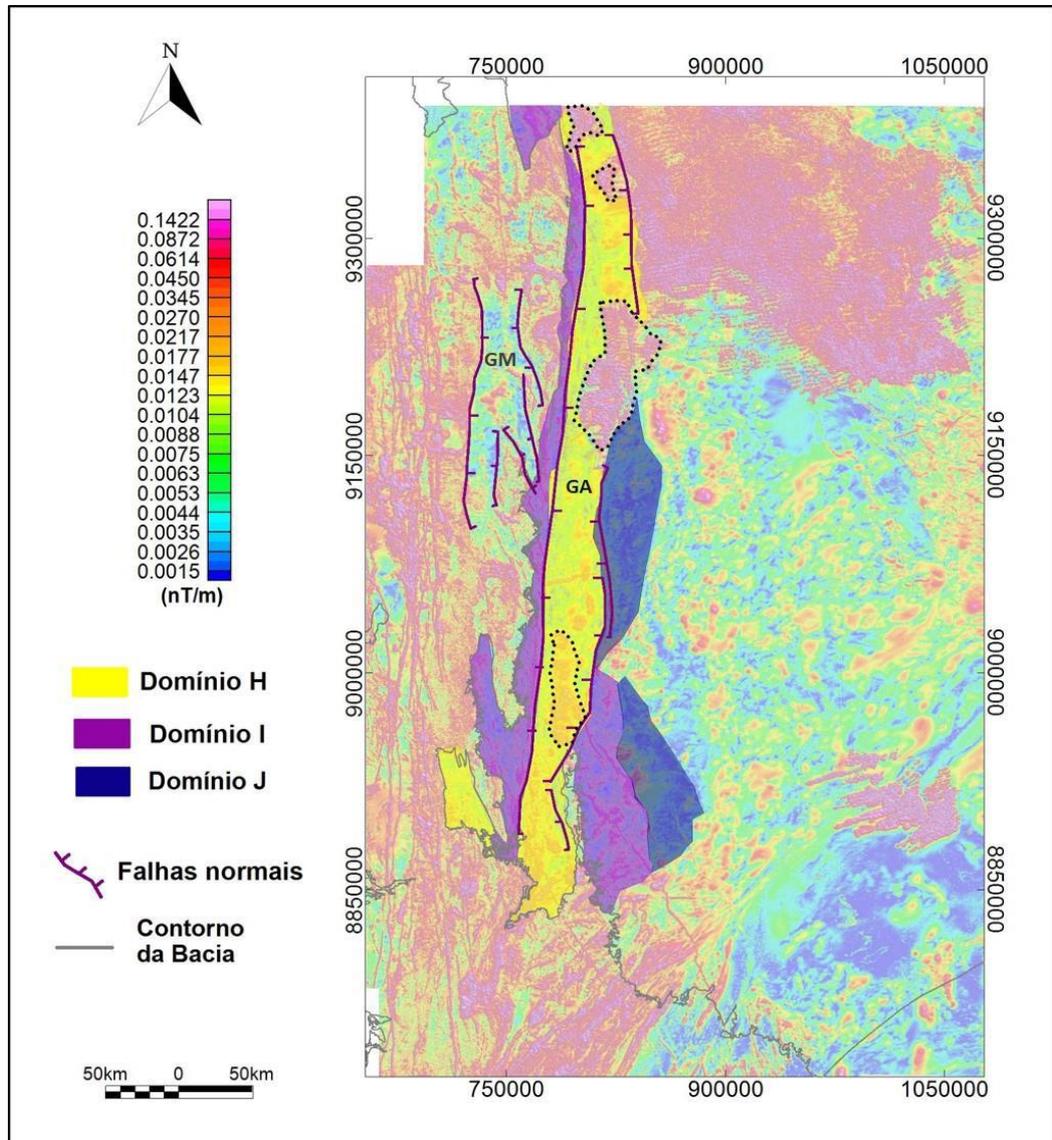


**Figura 19:** Domínios F e G – Região de intensidade magnética intermediária e dominada por lineamentos NE-SW resultantes da influência do Lineamento Transbrasileiro dentro da bacia.

- **Domínio H:** Região do Graben Araguaína, com baixa intensidade magnética, porém com estruturas de alta intensidade, como parte do derrame de basalto-indicado no mapa pela linha pontilhada. Possui amplitudes variando entre 31 e 116 nT (Figura 20).

- **Domínios I e J:** Região interpretada como o horst associado ao Graben, porém com diferentes intensidades magnéticas. O domínio I possui intensidade intermediária, com amplitudes entre 17 e 50 nT, e alguns lineamentos a sul com maior intensidade magnética. Enquanto isso, o domínio J possui baixa intensidade

magnética e amplitudes variando entre 9 e 63 nT, com alto desvio padrão (Figura 20).



**Figura 20:** Domínios H, I e J – Diferentes intensidades magnéticas na região do Graben Araguaína e seu entorno. A linha preta pontilhada indica os derrames de basalto interpretados. GM – Graben Muricizal; GA – Graben Araguaína.

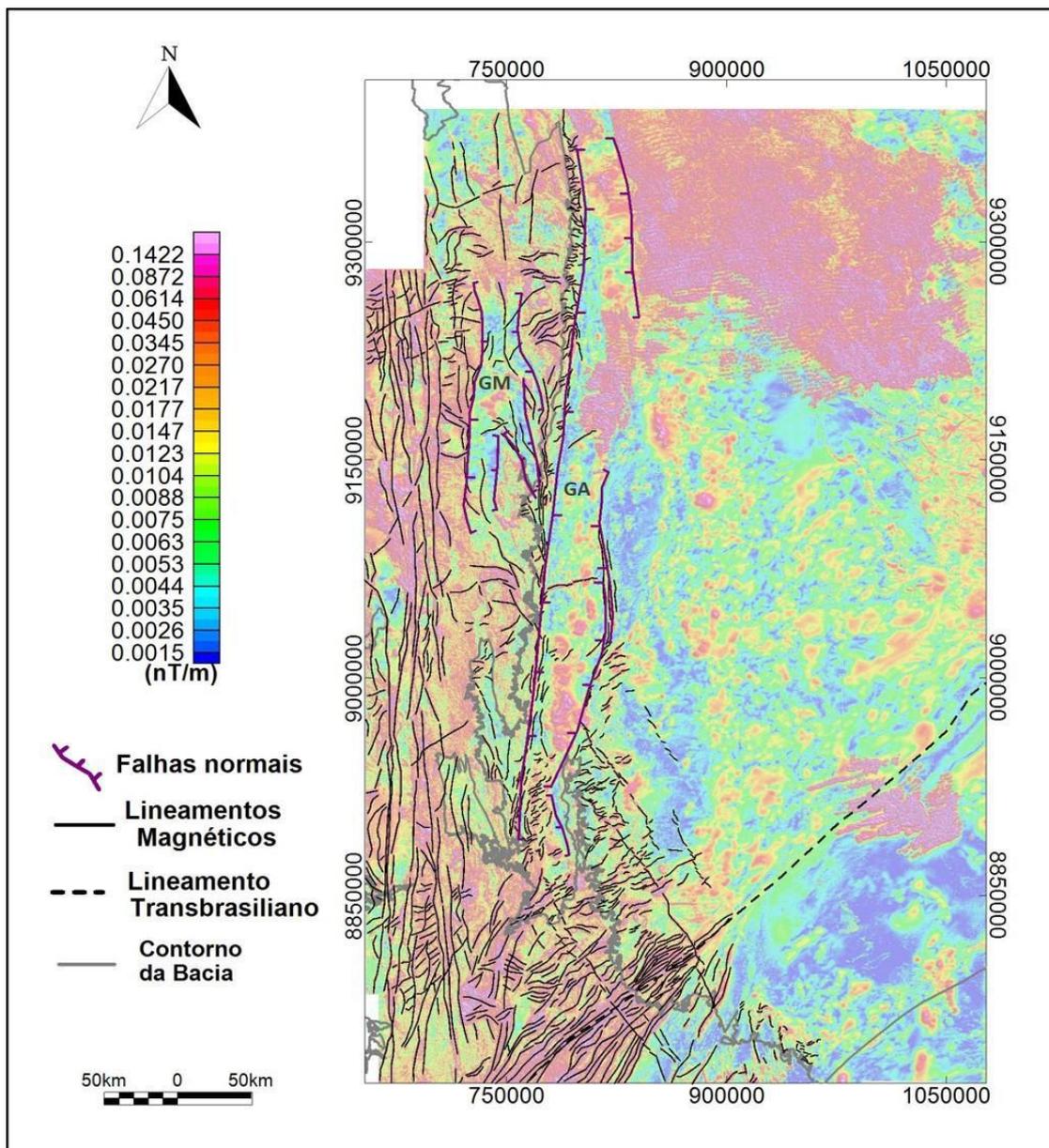
## **5. Discussões**

### **5.1. Lineamentos e Estruturas**

Após o realce dos dados geofísicos da área de estudo foi possível observar diversos lineamentos magnéticos que podem ser discutidos, inicialmente, em dois grupos: Os lineamentos externos e internos à Bacia do Parnaíba.

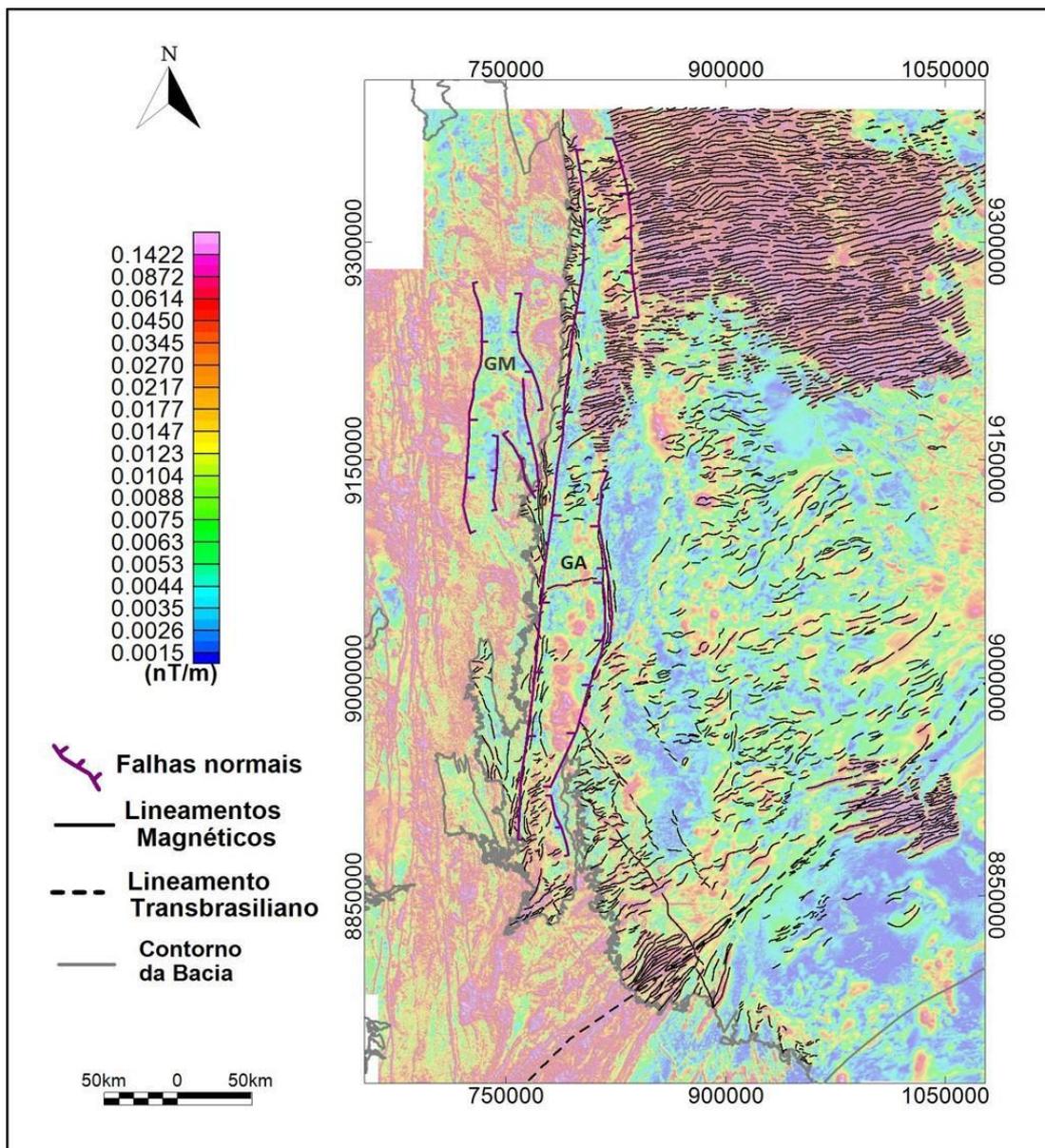
Os lineamentos externos à bacia são principalmente retilíneos, ou ligeiramente curvilíneos e possuem, em sua grande maioria, direção N-S na região de influência da Faixa Araguaia. Há também lineamentos menores com direções E-W e, a sul, os lineamentos possuem direção NE-SW, devido a deformações geradas pelo Lineamento Transbrasiliano.

Na região próxima à borda da bacia, há lineamentos de direção N-S, associados às falhas normais que limitam o graben Araguaína, e assumindo direção NE-SW, paralelas ao Lineamento Transbrasiliano. Existem, também, lineamentos posteriores, com direção NW-SE, provavelmente diques relacionados ao magmatismo jurássico, uma vez que aparecem sobrepostos a estruturas mais antigas (Figura 21).



**Figura 21:** Lineamentos externos à bacia delimitados com base nos produtos de magnetometria. GM – Graben Muricizal; GA – Graben Araguaína.

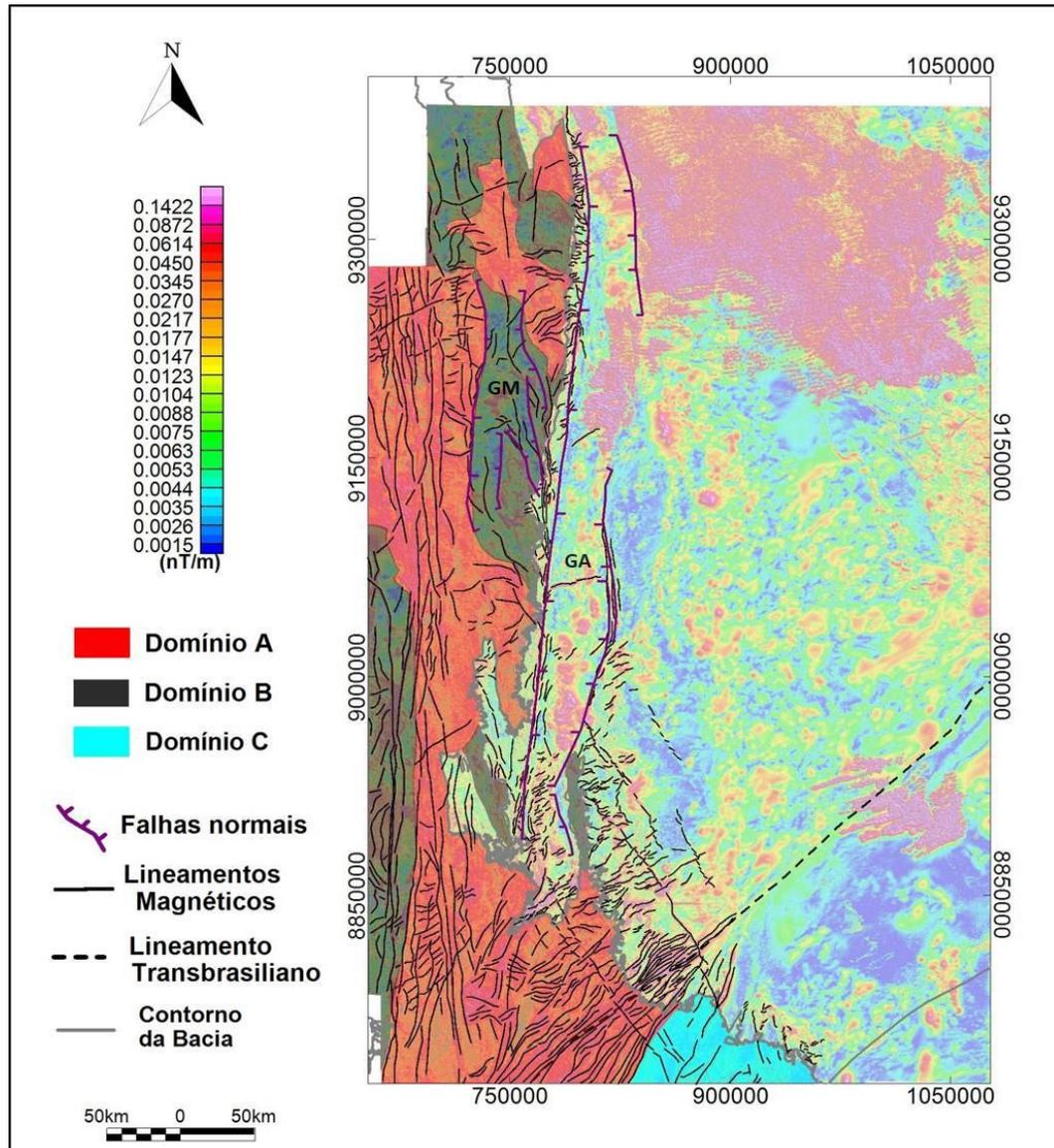
Os lineamentos no interior da bacia, por sua vez, possuem direção principal NE-SW e são majoritariamente curvilíneos e parecem indicar o controle do Lineamento Transbrasiliano na estruturação da bacia, ou, segundo estudo realizado por DE CASTRO *et al.*, 2014, esse trend pode estar relacionado a estruturas grabeniformes geradas por um possível evento extensional de direção E-W, ocorrido no fim do Proterozóico e início do Paleozóico (Figura 22). Os lineamentos de direção E-W/ENE na região norte da área controlam o alojamento dos derrames de basalto da Formação Mosquito, e estão relacionados a eventos de abertura do Atlântico Central (SOUZA *et al.*, 2017).



**Figura 22:** Lineamentos internos à bacia delimitados através dos produtos de magnetometria. GM – Graben Muricizal; GA – Graben Araguaína.

## 5.2. Lineamentos X Domínios Magnéticos

Em comparação aos domínios magnéticos, os lineamentos NE-SW deformados pelo Lineamento Transbrasiliano, assim como grande parte dos lineamentos N-S da região de influência da Faixa Araguaia, possuem alta intensidade magnética, diretamente relacionados com o domínio A. Enquanto os lineamentos do seu entorno possuem intensidade magnética intermediária, relacionando-os com o domínio B, em especial a região do Graben Muricizal, indicada na figura 23.



**Figura 23:** Relação entre lineamentos e intensidades magnéticas no entorno da bacia. GM – Graben Muricizal; GA – Graben Araguaína.

Em contrapartida, os lineamentos NE-SW, com exceção das estruturas do Lineamento Transbrasiliiano de alta intensidade magnética, possuem de uma forma geral intensidade intermediária, relacionados com os domínios F e I. Algumas estruturas de direção NE-SW se encontram dentro da região do Graben Araguaína, com mais baixa intensidade magnética do que o seu entorno, estando relacionadas com o domínio I, na figura 24.

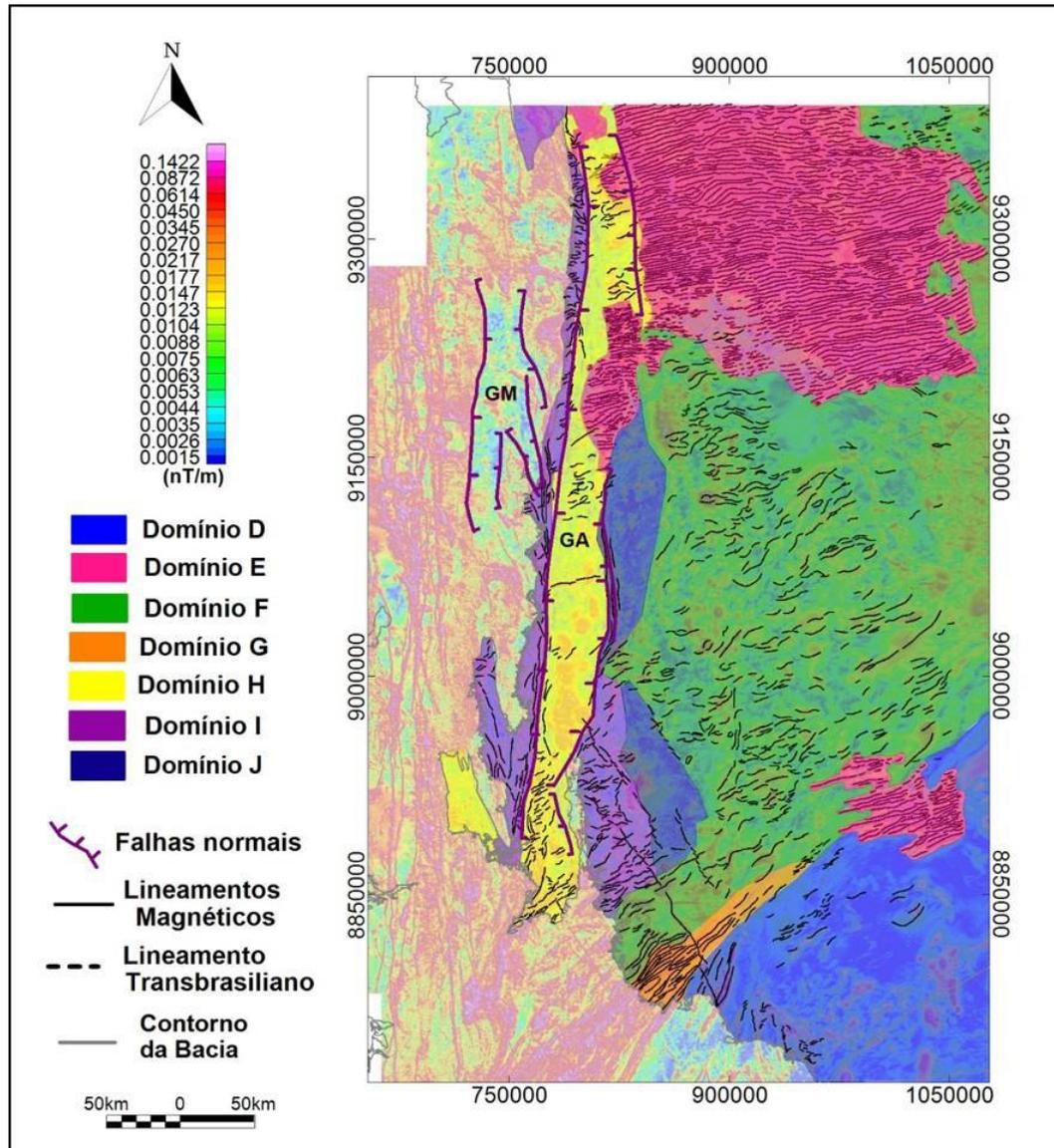
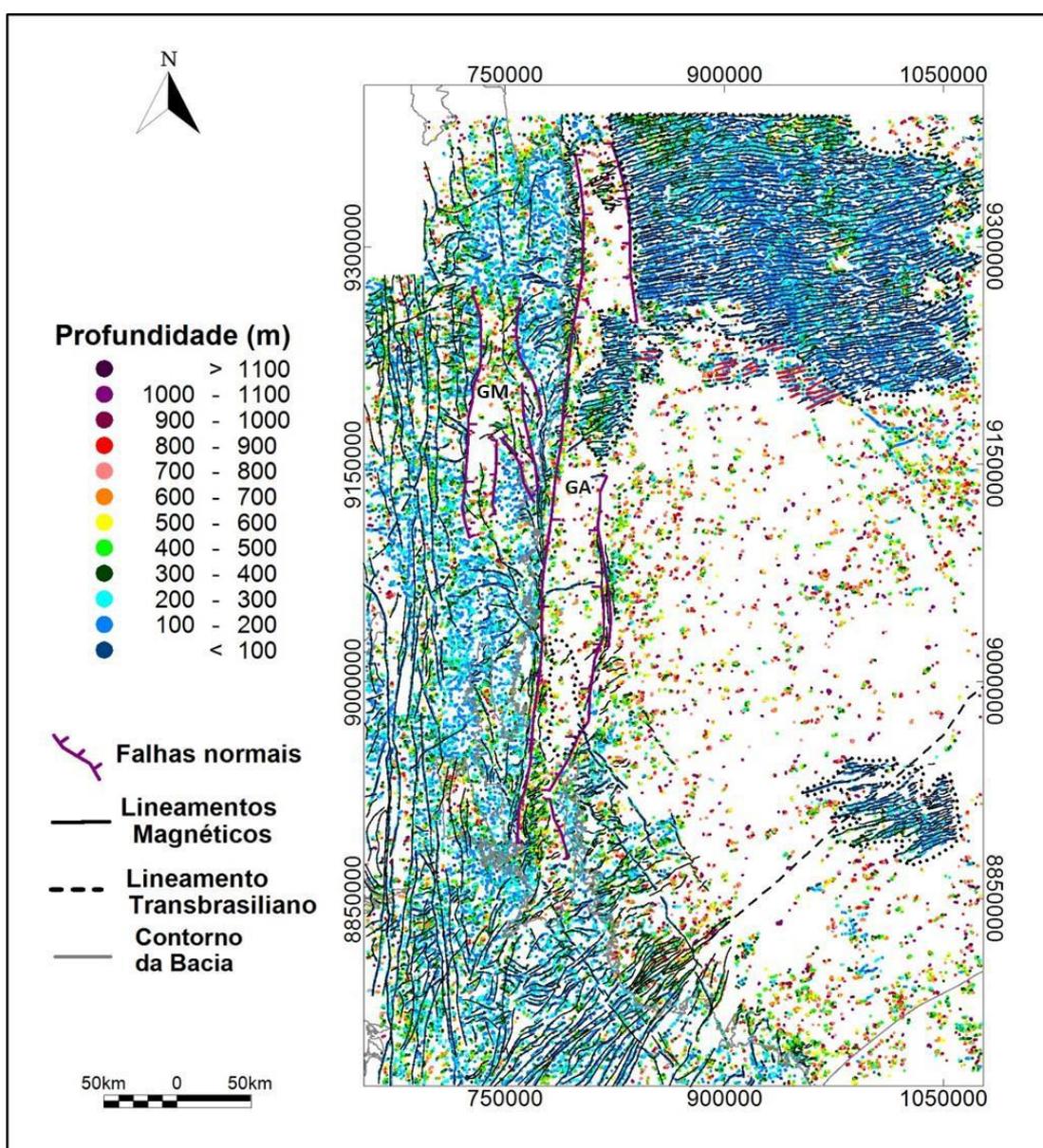


Figura 24: Relação entre lineamentos e intensidades magnéticas no interior da bacia. GM – Graben Muricizal; GA – Graben Araguaína.

### 5.3. Estimativa de Profundidade e Estruturas

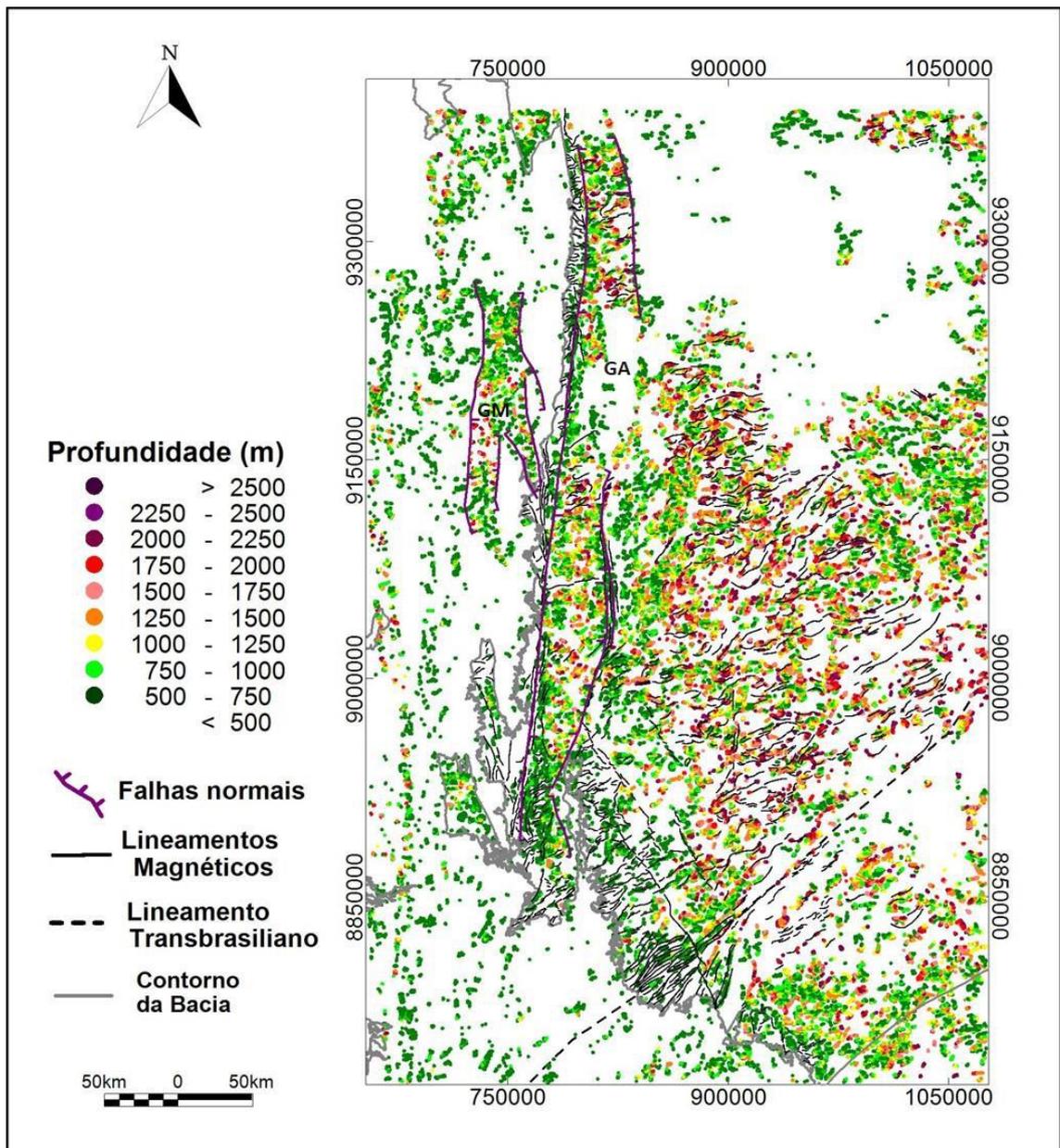
Relacionando as soluções de profundidade estimada com os lineamentos traçados, observa-se as soluções acompanham o trend N-S das estruturas retilíneas na região da Faixa Araguaia, com profundidades variando, principalmente, entre 100 e 300 metros, assim como outros lineamentos menores, com outras direções. O Graben Muricizal, por sua vez, possui soluções de até 970 metros, porém suas principais soluções variam entre 400 e 500 metros de profundidade.

As estruturas curvilíneas semi-paralelas e paralelas ao Lineamento Transbrasiliano seguem seu trend NE-SW e são bem marcadas pelas soluções com mesma média de profundidade, até o limite da bacia. Os lineamentos magnéticos na sua borda interna possuem direção N-S, nos limites do Graben Araguaína, entre outros lineamentos menores de direção E-W, com soluções de profundidades de 400 a 700 metros, enquanto os lineamentos predominantemente E-W dos derrames de basalto voltam a ser menos profundos, com soluções de 100 a 300 metros em quase toda sua extensão, sendo ainda mais rasas próximo às suas regiões aflorantes (Figura 25).



**Figura 25:** Relação entre as soluções de Euler e lineamentos mapeados dentro e fora da bacia. A linha preta pontilhada indica os derrames de basalto interpretados e a linha vermelha contínua indica suas regiões aflorantes. GM – Graben Muricizal; GA – Graben Araguaína.

Já no centro da bacia, os lineamentos seguem com trend E-W e NE-SW, e soluções mais profundas, variando principalmente entre 1000 e 2000 metros. Contudo, há soluções que chegam a 2390 metros. Próximos aos derrames de basalto, as profundidades diminuem para cerca de 600 metros, inclusive em diques de idade provavelmente coincidente com os derrames. Essa mesma profundidade é vista na região do horst associado ao Graben Araguaína, que mostra soluções ainda mais profundas, de até 2100 metros (Figura 26).



**Figura 26:** Relação entre as soluções de Euler e os lineamentos internos mais profundos. GM – Graben Muricizal; GA – Graben Araguaína.

## 6. Conclusões

A aplicação dos métodos de realce nos dados permitiu analisar qualitativamente o embasamento da bacia. A partir do mapeamento de importantes estruturas como os Grabens, Muricizal e Araguaína, e de lineamentos magnéticos no interior da bacia e no seu entorno. Esses dois grandes grupos de estruturas foram identificados, o primeiro seguindo orientação N-S e o segundo identificado, com orientação NE-SW, assim como na porção mais profunda da área de estudo.

As soluções de Euler calculadas com o índice estrutural de contato ( $SI=1$ ) permitiram uma análise semi-quantitativa em relação às profundidades das fontes das anomalias. No entorno da bacia as maiores profundidades variam em torno de 100 e 300 metros em estruturas da região de influência do Lineamento Transbrasiliano e nas estruturas de direção N-S relacionadas a Faixa Araguaia, com maiores profundidades no Graben Muricizal.

Os derrames de basalto da Formação Mosquito, de idade jurássica, posterior a eventos de reativação de estruturas, possuem essa mesma faixa de valores de profundidades, sendo ainda mais rasos (<100 metros) próximo às suas regiões aflorantes. No interior da bacia, a maior profundidade estimada é de cerca de 2390 metros, com valores variando principalmente entre 1000 e 2000 metros.

Os trends dos lineamentos magnéticos mapeados e as estimativas de profundidade das fontes das anomalias no interior da bacia e no seu entorno são condizentes com o modelo de evolução tectônica da bacia, onde o Lineamento Transbrasiliano, formado pela reativação de uma mega-sutura relacionada com a formação do Gondwana, controlou a estruturação do embasamento nas porções sudoeste e leste da bacia. Assim como a Faixa Araguaia, que controla essa estruturação na porção oeste do embasamento (DE CASTRO *et al.*, 2014 e 2016).

## 7. Referências Bibliográficas

ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y. (eds.) 1984. **O Pré-Cambriano do Brasil**. São Paulo, Edgard Blücher, 378 p.

ALVARENGA, C. J. S. de; MOURA, C.; GORAYEB P. S. S. Paraguay and Araguaia belts. **Tectonic Evolution of South America**, v. 31, p. 183-193, 2000.

ANP - AGENCIA NACIONAL DE PETRÓLEO. BDEP: Banco Nacional de Dados de Exploração e Produção, 2020. Página inicial. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/publicacoes/folderes/2416-bdep-banco-de-dados-de-exploracao-e-producao>> Acesso em: 30/03/2020.

ASSIS, A. P.; PORTO, A. L.; SCHMITT, R. S.; LINOL, B.; MEDEIROS, S. R.; MARTINS, F. C.; SILVA, D. S. The Ordovician-Silurian tectono-stratigraphic evolution and paleogeography of eastern Parnaíba Basin, NE Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 95, p. 102241, 2019.

CAPUTO, M. V.; REIS, D. E. S.; BARATA, C. F.; PEREIRA, L. C. 2006. **Evolução tectônica da Bacia do Parnaíba, qual é a influência das orogenias?** IX Simpósio de Geologia da Amazônia.

COOPER, G. R. J.; COWAN, D. R. Sunshading geophysical data using fractional order horizontal gradients. **The Leading Edge**, v. 22, n. 3, p. 204-205, 2003.

CUNHA, F. D. **Evolução paleozóica da Bacia do Parnaíba e seu arcabouço tectônico**. Universidade Federal Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil. 1986. 107 p. Dissertação de mestrado.

DALY, M. C.; ANDRADE, V.; BAROUSSE, A. C; COSTA, R.; MCDOWELL, K.; PIGGOT, N.; POOLE, A. J. Brasileiro crustal structure and the tectonic setting of the Parnaíba basin of NE Brazil: results of a deep seismic reflection profile. **Tectonics**, v. 33, n. 11, p. 2102-2120, 2014.

DE CASTRO, D. L. D.; FUCK, R. A.; PHILLIPS, J. D.; VIDOTTI, R. M. *et al.* Crustal structure beneath the Paleozoic Parnaíba Basin revealed by airborne gravity and magnetic data, Brazil. **Tectonophysics**, v. 614, p. 128-145, 2014.

DE CASTRO, D. L. D.; BEZERRA, F. H. R.; FUCK, R. A.; VIDOTTI, R. M. Geophysical evidence of pre-sag rifting and post-rifting fault reactivation in the Parnaíba basin, Brazil. 2016. **Solid Earth**, 7, p. 529–548, 2016

DE MELO, A. C.; SANTOS, R. B.; CARLOS, D. U.; NETO, C. F. P.; BARBOSA, V. C. Filtro de Redução ao Pólo: Potencialidades e Limitações. In: **12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society & EXPOGEF, Rio de Janeiro, Brazil, 15–18 August 2011**. Society of Exploration Geophysicists and Brazilian Geophysical Society, 2011. p. 604-609.

DENTITH, M.; MUDGE, S. T. **Geophysics for the mineral exploration geoscientist**. Cambridge University Press, 2014. 438 p.

FARACO, M.T.L.; MARINHO, P.A.C.; VALE, A.G.; COSTA, E.J.S.; MAIA, R.G.N.; FERREIRA, A.L.; VALENTE, C.R.; LACERDA FILHO, J.V.; MORETON, L.C.; CAMARGO, M.A.; VASCONCELOS, A.M.; OLIVEIRA, M.; OLIVEIRA, I.W.B.; ABREU FILHO, W.A.; GOMES, I.P.; 2004. **Folha SB.22-Araguaia**. In: SCHOBENHAUS, C.; GONÇALVES, J.H.; SANTOS, J.O.S.; ABRAM, M.B.; LEÃO NETO, R.; MATOS, G.M.M.; VIDOTTI, R.M.; RAMOS, M.A.B.; JESUS, J.D.A. de; (eds.). Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Sistema de Informações Geográficas. Programa Geologia do Brasil. CPRM, Brasília. CD-ROM.

FARACO, M.T.L.; MARINHO, P.A.C.; VALE, A.G.; COSTA, E.J.S.; MAIA, R.G.N.; FERREIRA, A.L.; VALENTE, C.R.; LACERDA FILHO, J.V.; MORETON, L.C.; CAMARGO, M.A.; VASCONCELOS, A.M.; OLIVEIRA, M.; OLIVEIRA, I.W.B.; ABREU FILHO, W.A.; GOMES, I.P.; 2004. **Folha SC.22-Tocantins**. In: SCHOBENHAUS, C.; GONÇALVES, J.H.; SANTOS, J.O.S.; ABRAM, M.B.; LEÃO NETO, R.; MATOS, G.M.M.; VIDOTTI, R.M.; RAMOS, M.A.B.; JESUS, J.D.A. de; (eds.). Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Sistema de Informações Geográficas. Programa Geologia do Brasil. CPRM, Brasília. CD-ROM.

FERREIRA, F. J. F.; DE SOUZA, J.; DE BARROS, A.; BONGIOLO, S.; DE CASTRO, L. G.; ROMEIRO, M. A. T. Realce do gradiente horizontal total de anomalias magnéticas usando a inclinação do sinal analítico. Parte I-Aplicação a dados sintéticos. In: **IV Simpósio Brasileiro de Geofísica**. European Association of Geoscientists & Engineers, 2010. p. cp-197-00032.

GÓES, A.; FEIJÓ, F. J. Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências Petrobrás**, n. 8, p. 57-67, 1994.

GÓES, A.M. **A Formação Poti (Carbonífero Inferior) da Bacia do Parnaíba**. Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade de São Paulo. 1995. 230 p. Tese de Doutorado.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física, volume 3: eletromagnetismo**. Jearl Walker: tradução e revisão técnica Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro: LTC, p. 395, 2009.

ISLES, D. J.; RANKIN, L. R. **Geological interpretation of aeromagnetic data**. Society of Exploration Geophysicists and Australian Society of Exploration Geophysicists, 2013.

KLEIN, C.; DUTROW, B. **Manual de ciência dos minerais**. Bookman Editora, 2009.

MILANI, E.J.; ZALAN, P.V. An outline of the geology and petroleum systems of the Paleozoic interior basins of South America. **Episodes-Newsmagazine of the International Union of Geological Sciences**, v. 22, n. 3, p. 199-205, 1999.

MILLER, H. G.; SINGH, V. Potential field tilt—a new concept for location of potential field sources. **Journal of Applied Geophysics**, 32, n. 2-3, p. 213-217, 1994.

MOCITAIBA, L. S. R.; DE CASTRO, D. L.; DE OLIVEIRA, D. C. Cartografia geofísica regional do magmatismo mesozoico na Bacia do Parnaíba. **Geologia USP. Série Científica**, 17, n. 2, p. 169-192, 2017.

NABIGHIAN, M. N. The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: its properties and use for automated anomaly interpretation. **Geophysics**, v. 37, n. 3, p. 507-517, 1972.

PORTO, Amanda et al. The pre-Silurian Riachão basin: a new perspective on the basement of the Parnaíba basin, NE Brazil. **Geological Society, London, Special Publications**, v. 472, n. 1, p. 127-145, 2018.

REID, A. B.; ALLSOP, J.; GRANSER, H.; MILLETT, A. T. *et al.* Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution. **Geophysics**, 55, n. 1, p. 80-91, 1990.

RIBEIRO, V. B.; MANTOVANI, M. S. M.; LOURO, V. H. A. Aerogamaespectrometria e suas aplicações no mapeamento geológico. **Terrae Didática**, v. 10, n. 1, p. 29-51, 2014.

ROEST, W. R.; VERHOEF, J.; PILKINGTON, M. Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal. **Geophysics**, 57, n. 1, p. 116-125, 1992.

SILVA, A. D.; LOPES, R. D. C.; VASCONCELOS, A.; BAHIA, R. Bacias sedimentares paleozóicas e meso-cenozóicas interiores. **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. CPRM, Brasília**, p. 55-85, 2003.

SOUZA, K. S.; DE SÁ, E. F. J.; DA SILVA, F. C. A. Análise estrutural do sistema de grabens do Rio Tocantins, borda oeste da Bacia do Parnaíba (estados do Tocantins, Pará e Maranhão-Brasil). **Geologia USP. Série Científica**, 17, n. 1, p. 129-141, 2017.

SPISILA, A. L. **Análise estrutural do intervalo permiano-jurássico da Bacia do Parnaíba, região de Araguaína (TO)**. 2014. 117 p. Tese de Doutorado.

STRIEDER, A. J.; DE FREITAS SUITA, M. T. Neoproterozoic geotectonic evolution of Tocantins structural province, Central Brazil. **Journal of Geodynamics**, 28, n. 2-3, p. 267-289, 1999.

TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M. C. M. D.; TAIOLI, F. **Decifrando a terra**. Companhia Editora Nacional. 2009. 623 p.

THOMPSON, D. EULDPH: A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data. **Geophysics**, 47, n. 1, p. 31-37, 1982.

TOZER, B.; WATTS, A. B.; DALY, M. C. Crustal structure, gravity anomalies, and subsidence history of the Parnaíba cratonic basin, Northeast Brazil. **Journal of Geophysical Research: Solid Earth**, v. 122, n. 7, p. 5591-5621, 2017.

VASCONCELOS, A.M.; RIBEIRO, J.A.P.; COLARES, J.Q.S.; GOMES, I.P.; FORGIARINI, L. L., 2004 e MEDEIROS, M.F. 2004. **Folha Teresina SB.23**. In: SCHOBENHAUS, C.; GONÇALVES, J.H.; SANTOS, J.O.S.; ABRAM, M.B.; LEÃO NETO, R.; MATOS, G.M.M.; VIDOTTI, R.M.; RAMOS, M.A.B.; JESUS, J.D.A. de. (eds.). Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Sistema de Informações Geográficas. Programa Geologia do Brasil. CPRM, Brasília. CD-ROM.

VASCONCELOS, A.M.; KOSIN, M.; SOUZA, J.D. de; VALENTE, C.R.; NEVES, J.P.; HEINECK, C.A.; LACERDA FILHO, J.V.; TEIXEIRA, L.R.; BORGES, V.P.; BENTO, R.V.; GUIMARÃES, J.T.; NEVES, J.P.; OILIVEIRS, I.W.B.; GSOMES, I.P.; MALOUF, R.F.; CARVALHO, L.M. de; ABREU FILHO, W., 2004. **Folha SC.23 - Rio São Francisco**. In: SCHOBENHAUS, C.; GONÇALVES, J.H.; SANTOS, J.O.S.; ABRAM, M.B.; LEÃO NETO, R.; MATOS, G.M.M.; VIDOTTI, R.M.; RAMOS, M.A.B.; JESUS, J.D.A. de. (eds.), Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Sistema de Informações Geográficas. Programa Geologia do Brasil, CPRM, Brasília. CD-ROM.

VAZ, P.; REZENDE, N.; WANDERLEY FILHO, J.; TRAVASSOS, W. S. Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociencias da PETROBRAS**, 15, n. 2, p. 253-263, 2007.

VERDUZCO, B.; FAIRHEAD, J. D.; GREEN, C. M.; MACKENZIE, C. New insights into magnetic derivatives for structural mapping. **The leading edge**, 23, n. 2, p. 116-119, 2004.