

**Contribuição geofísica ao estudo do Batólito Granítico Santa Helena, sudoeste do Cráton Amazônico**  
*Geophysical contribution for the study of the Granitic Batholith Santa Helena, southwest of the Amazonian Craton*

Vanessa Biondo Ribeiro<sup>1</sup> e Marta Silvia Maria Mantovani<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo - USP, Rua do Matão 1.226, CEP 05508-090, São Paulo, SP, BR (van.biondo@gmail.com; msmmanto@usp.br)

Recebido em 16 de dezembro de 2011; aceito em 21 de maio de 2012

**RESUMO**

O Batólito Santa Helena é alvo de muitas divergências referentes à sua extensão geográfica, constituição litológica, caracterização geoquímica e ambiente geotectônico. Este trabalho visa, a partir da utilização de dados geofísicos (gamaespectrometria e aeromagnetometria), contribuir para um melhor entendimento dessa intrusão. Os dados aerogeofísicos utilizados foram obtidos através da Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais, atual Serviço Geológico do Brasil (CPRM), que contratou os aerolevantamentos sobre a região estudada. Diante da variedade composicional das rochas que compõem o batólito, foram analisados o contraste de susceptibilidade (magnetometria) e a variação de distribuição dos radioelementos (K, Th e U, medidos por gamaespectrometria). A assinatura geofísica resultante apresenta diferenças entre a parte norte e sul do Batólito Santa Helena, sugerindo sua divisão em duas partes distintas. O limite entre essas duas suítes internas coincide com a localização de um sistema de lineamentos magnéticos que se estendem através do batólito com direção aproximadamente N75°W.

**Palavras-chave:** Gamaespectrometria; Magnetometria; Batólito Santa Helena.

**ABSTRACT**

The Santa Helena batholith is subject of many controversies concerning its geographical extension, lithological constitution, geochemical characterization and geotectonic setting. This paper aims to contribute for a better understanding of this intrusion using geophysical data (gamaspectrometric and aeromagnetic). These data were obtained through surveys contracted by the Geological Survey of Brazil (CPRM) flown over the study region. Given the compositional variety of the rocks, we analyzed the susceptibility contrast (magnetometry) and distribution of radioelements (K, Th and U, measured by gammaspectrometry) in the batholith. The resulting geophysical signature is different when comparing the northern and southern parts of the body, suggesting the presence of two distinct suites. The boundary between these two suites coincides with the location of an approximately N75°W oriented fault system that extends through the batholith.

**Keywords:** Gammaspectrometry; Aeromagnetics; Santa Helena Batholith.

## INTRODUÇÃO

O Batólito Santa Helena vem sendo estudado por diversos autores, entre os quais podem ser citados: Saes, Leite e Weska (1984), Menezes et al. (1993), Geraldles (1996, 2000), Ruiz (2005), Souza et al. (2005). Entretanto a constituição litológica do edifício plutônico, a área de abrangência geográfica da unidade e principalmente a caracterização geoquímica e de ambientes geotectônicos do Batólito Santa Helena ainda são alvos de divergência. Neste artigo, foram utilizados os métodos da aerogamaespectrometria e magnetometria para contribuir ao entendimento deste batólito. Até então, estes métodos não haviam sido aplicados no estudo desse corpo intrusivo. Estes métodos são aqui utilizados para caracterizar a resposta geofísica associada ao Batólito Santa Helena visando sua caracterização e delimitação geográfica.

A distribuição dos elementos radioativos associada a uma determinada litologia pode variar em função da composição dessa rocha, da presença de sistemas de falhas, de diferenciação do magma durante o processo de intrusão, da ação de erosão, etc. A atuação dos processos geológicos sob um corpo intrusivo pode gerar um conjunto de características específicas associadas a este corpo, contrastando assim com a rocha encaixante. Com o objetivo de caracterizar o Batólito Santa Helena a partir da distribuição dos principais radioelementos naturais (K, Th, U), neste trabalho, foi utilizado o método gamaespectrométrico.

Como exemplos da aplicação de dados gamaespectrométricos na caracterização de diferentes litologias podem ser citados os trabalhos: Dickson e Scott (1997), Irvine e Smith (1990), Ferreira et al., (2009), Ribeiro (2011).

O método da magnetometria permite delimitar lateralmente a fonte de uma anomalia magnética em relação às rochas encaixantes, a partir do contraste de susceptibilidade magnética entre elas. Esse método permite também caracterizar sistemas de falhas observados na região através de suas assinaturas magnéticas. Vários trabalhos foram realizados com o objetivo de delimitar intrusões magmáticas em função do contraste de susceptibilidade magnética destas em relação às encaixantes, entre os quais podem ser citados: Slavec, Mantovani e Shukowsky (2001), Rugenski (2006), Louro e Mantovani (2010), Ribeiro (2011).

Através da análise dos dados magnéticos é possível identificar uma clara diferença de susceptibilidade entre a parte norte e sul deste batólito, marcada pela presença de lineamentos com direção aproximadamente N75°W separando estas duas porções que também apresentam uma visível diferença na distribuição dos radioelementos, delimitada pelo sistema de falhas. Adicionalmente é possível identificar variações na distribuição dos radioelementos no batólito que podem ser interpretados como devido a processos de diferenciação do magma precedendo sua intrusão.

## GEOLOGIA

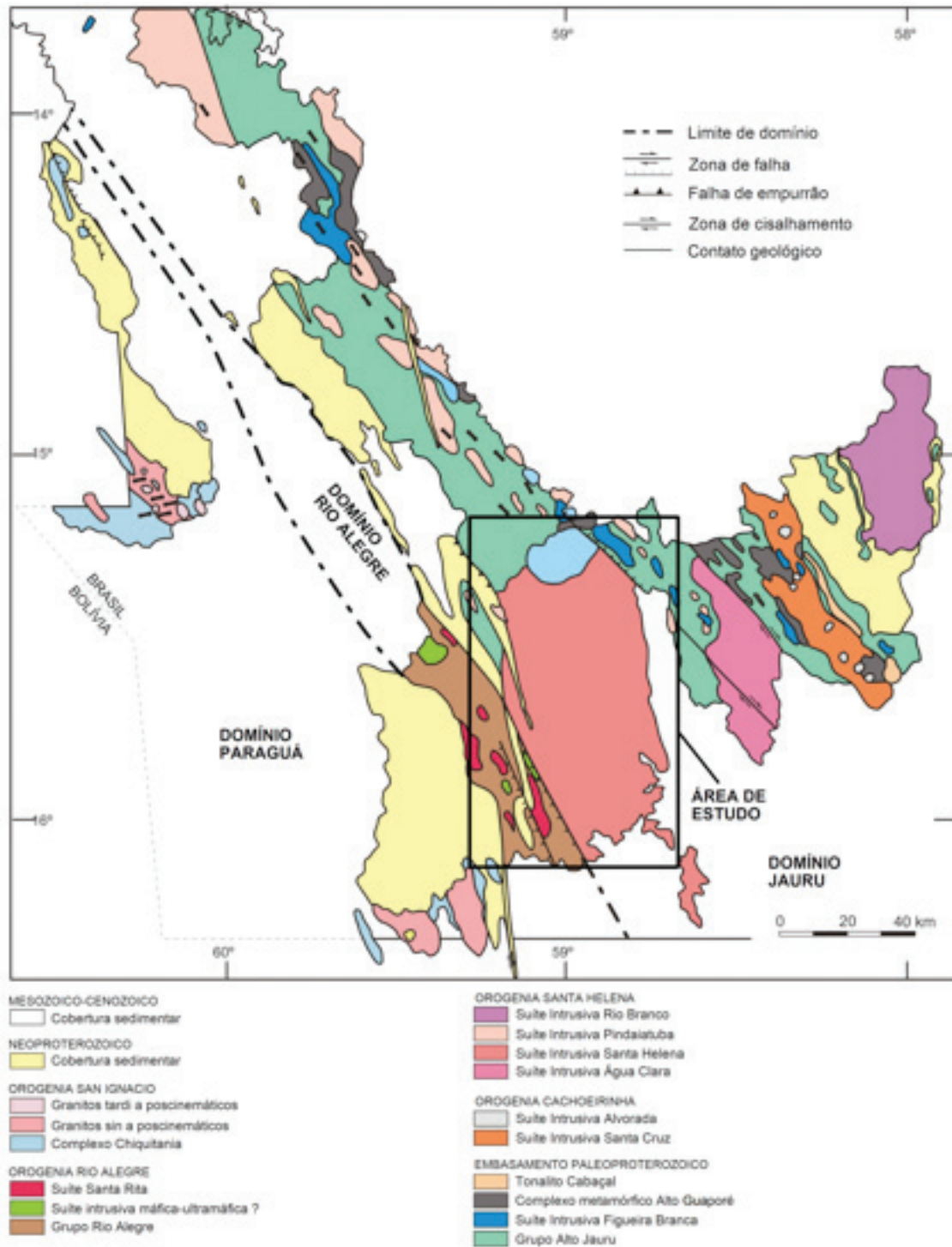
### Geologia regional

A designação de Granito Santa Helena foi introduzida por Saes, Leite e Weska (1984) para nomear um batólito granítico foliado, mais tarde também estudado por Menezes et al. (1993, apud Ruiz, 2005) que inseriu o termo “gnaisse” à designação original de forma a ressaltar sua marcante foliação milonítica. Geraldles (2000, apud Ruiz, 2005) denominou de Suíte Santa Helena o batólito homônimo e os corpos tonalíticos a graníticos aflorantes nos limites ocidentais da Folha Jauru (Figura 1). No presente artigo, entretanto, é adotada a definição de Suíte Intrusiva Santa Helena proposta por Ruiz (2005) que restringe esta ao batólito homônimo. Segundo este último autor, a Suíte Santa Helena exibe uma diversidade composicional e textural, sendo possível individualizar estas como fácies petrográficas distintas. Além disso, as rochas exibem registros tectônicos que indicam a ocorrência de pelo menos três fases de deformação dúctil a dúctil-rúptil.

Segundo Ruiz et al. (2004), o Batólito Santa Helena constitui uma intrusão de cerca de aproximadamente 3.500 km<sup>2</sup>, encaixada em rochas supra e infracrustais do Domínio Jauru. Os limites deste corpo, redefinidos por Ruiz et al. (2005), caracterizam-se pelo controle tectônico exercido pela Zonas de Cisalhamento Indiavaí-Lucialva (extremo nordeste), Piratinga e Estiva Velha (ocidental), enquanto que suas porções oriental e meridional são parcialmente recobertas por sedimentos carboníferos (Formação Jauru) e holocênicos (Formação Pantanal) (Figura 2).

Menezes et al. (1993, apud Ruiz, 2005) caracterizam o batólito como tendo pequena diversidade composicional, sendo constituído por granitos de tendência alaskítica, foliados, cinza-avermelhados a róseos, apresentando resposta geoquímica com valores elevados de Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O, baixos de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, muito baixo de CaO e enriquecimento nos valores de elementos de terras raras (ETR), a qual os autores interpretaram como típica de granitos alcalinos do tipo A, enquanto que nas zonas marginais do batólito ocorre um enriquecimento em Sr, Ba e Ti e um relativo empobrecimento de Rb, Th, U, ETR e HFSE (elementos com alta valência como Sn e U), que não são facilmente incorporados ao retículo das rochas silicáticas, sendo geralmente incorporados em fases acessórios durante a formação das rochas ígneas em relação às partes centrais.

Geraldles et al. (2001), entretanto, caracterizam as rochas deste batólito como variando do granito tipo I para um granito mais fracionado com afinidades com o tipo A. Estes autores sugerem que o batólito foi formado durante a subducção orientada para leste subsequente a acreção das unidades do domínio Rio Alegre, e que a maior parte deste batólito foi derivada da recém agregada crosta Rio Alegre.

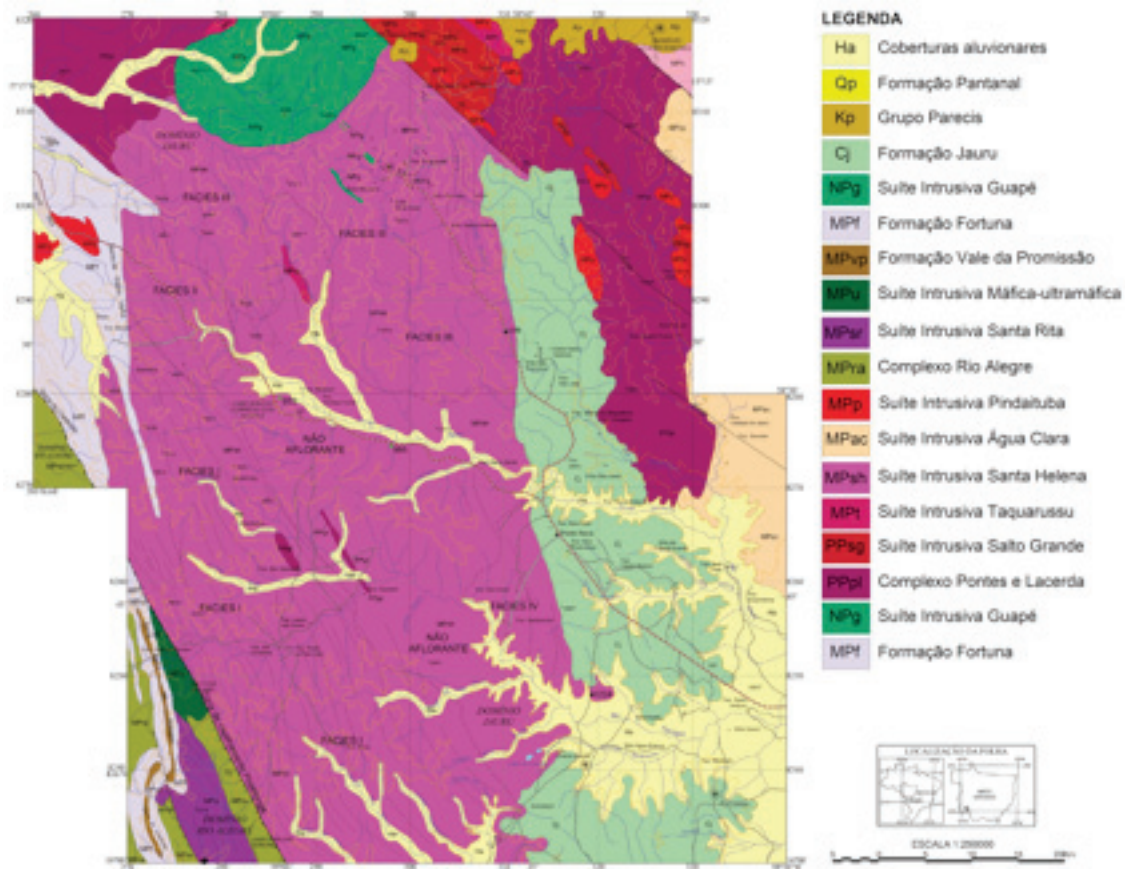


Fonte: Bettencourt et al. (2010).

**Figura 1.** Mapa simplificado do Cráton Amazônico localizado no sudoeste do Mato Grosso, Brasil.

Geraldes (1996) destaca a presença de uma forte anomalia negativa de Európio na distribuição dos ETR nesse batólito, a qual este autor interpreta como um indicador de que este corpo foi formado a partir de um magma que sofreu diferenciação

bimodal gerando assim uma suíte granítica e outra anortosítica. Nesta diferenciação, o plagioclásio cristalizado se concentra na suíte anortosítica, incorporando o Eu, enquanto que a suíte granítica torna-se empobrecida neste elemento.



**Figura 2.** Mapa geológico da região onde se encontra o Batólito Santa Helena com a compartimentação em domínios estruturais proposta por Ruiz (2005) com base na orientação e natureza das estruturas tectônicas (foliações e lineações). Modificado de Ruiz (2005).

Segundo Geraldès et al. (2001), a zona central do Batólito Santa Helena é caracterizada por fácies de granulação grossa altamente deformada e intrudida por diques de granitoides com grãos médios muito menos deformados. A zona marginal deste batólito mostra graus variáveis de deformação, sendo as rochas localmente milonitizadas. Segundo esses autores, o Batólito Santa Helena é composto principalmente por granitos com grande abundância de K-feldspatos (aproximadamente 40 – 50% na porção central do batólito e 30 – 40% nas bordas), com apenas uma amostra classificada como granodiorito modal.

A datação U/Pb aplicada a zircão forneceu um intervalo de variação relativamente estreito entre 1,42 e 1,45 Ga, sendo interpretada como indicativa de diversas fases do batólito intrudidas como parte de um episódio magmático maior (Geraldès et al., 2001). Segundo esses autores, o magma do Batólito Santa Helena foi, em sua maioria, gerado por fontes jovens ou quase jovens, sendo que apenas uma pequena parte desse magma foi gerada a partir de fusão crustal. Os mesmos ainda corroboram esta hipótese pelas idades correspondentes ao batólito, as quais são na

maioria inferiores a 1,6 Ga e incluem valores comparáveis com a idade de cristalização.

Com base em levantamentos de campo e nas análises petrográficas em lâminas delgadas, Ruiz (2005) propõe uma compartimentação do batólito em quatro fácies petrográficas preliminares (Figura 2), as quais podem ser divididas em subfácies, à medida que se amplie o detalhamento geológico-petrográfico. Uma breve descrição dessas fácies é apresentada em seguida.

A fácies petrográfica I é composta principalmente por gnaisses mesocráticos a leucocráticos, de composição monzogranítica, com porfiroclastos de feldspato potássico. É relativamente comum a ocorrência neste setor de diques graníticos tabulares, com espessura variando de centímetros a alguns metros.

A fácies petrográfica II situa-se a norte da fácies I e ao sul da fácies III, no entanto os limites entre essas fácies não foram reconhecidos em campo pelo autor. Esta fácies é limitada a oeste pelo contato tectônico com o Grupo Aguapé, através da Zona de Cisalhamento Estiva Velha. A composição mineralógica desta fácies difere da fácies I

principalmente pela ausência do anfibólio e granada e pela diminuta proporção de biotita, em torno de 5 a 10%.

A fácies petrográfica III é composta principalmente por gnaisses leuco a mesocráticos, de composição monzogranítica, sendo comum os porfiroclastos de feldspato potássico alcançarem até 4 cm de comprimento. Ruiz (2005) ressalta o desenvolvimento de dobras de foliação nessa fácies, o qual evidencia o caráter polifásico do batólito Santa Helena.

A fácies petrográfica IV, delimitada por Ruiz (2005), estende-se das imediações do Posto Neca até a região do Rio Aguapeí, entretanto Ruiz (2005) ressalta que não foi possível reconhecer os limites dessa fácies em campo. Segundo este autor, nesta fácies observa-se o predomínio de gnaisses leucocráticos a mesocráticos, prevalecendo uma composição monzogranítica.

### Ambiente geotectônico

Segundo Ruiz (2005), o contínuo consumo da litosfera oceânica em ambiente de subducção tipo B resultou em um espessamento da crosta continental, possibilitando assim a formação de corpos graníticos de dimensão batólica na porção sudoeste do Cráton Amazônico. Esse estágio da evolução tectônica foi denominado pelo autor de Orogenia Santa Helena (1485 – 1425 Ma), sendo marcado pela implantação de um arco magmático continental – Arco Magma Santa Helena (Geraldes, 2000; apud Ruiz, 2005). A fase inicial desse arco (1485 – 1480 Ma) é caracterizada pela formação de batólitos cálcio-alcalinos, peraluminosos, tonalíticos a monzograníticos (exemplo, Suíte Intrusiva Santa Helena e Água Clara), assim como diversos corpos graníticos da Suíte Intrusiva Pindaituba (1465 – 1425 Ma), indicando assim uma grande variação composicional e ambiente tectônico (de pré-colisional a pós-orogênico).

Os dados litogeoquímicos e isotópicos (Rb-Sr e Sm-Nd) indicam que as rochas referentes ao registro ígneo da Orogenia Santa Helena são de derivação mantélica, indicando um período longo de acreção de material juvenil em um ambiente de margem continental do tipo Andino (Ruiz, 2005).

Segundo Ruiz (2005), é importante ressaltar que as estruturas tectônicas, os bandamentos gnáissicos, foliações e as zonas de cisalhamento tangencial observadas no extremo norte do Batólito Santa Helena, indicam um sentido geral dos esforços compressivos (NNW para SSE). Segundo o autor, esse padrão de convergência frontal, associado ao consumo de litosfera e posterior colisão (com direção norte para sul) é mascarado pelo *imprint* da tectônica neoproterozoica do Evento Sunsás-Aguapeí, o qual teria provocado um rearranjo dos elementos crustais com direção NW.

## METODOLOGIA

### Gamaespectrometria

As principais fontes de radiação gama detectadas na superfície terrestre provêm da desintegração natural do potássio ( $^{40}\text{K}$ ) e dos elementos das séries do urânio ( $^{238}\text{U}$ ) e do tório ( $^{232}\text{Th}$ ) presentes na composição da maioria das rochas (Cox, Bell, Pankhurst, 1979; Telford et al., 1990; Dickin, 1995; Faure, 1997). Entretanto, essa emissão pode ser detectada somente para uma espessura limitada da camada rochosa mais superficial, considerando-se sua densidade e perda de energia do raio gama ao atravessá-la, sendo essa espessura aproximadamente de 30 a 40 cm (Minty, 1988).

A contagem total de radiação (CT) é obtida pela medida de todos os raios gama dentro da janela energética de 0,41 – 2,81 MeV. Nesse intervalo energético, cada elemento radiométrico é associado a uma janela energética onde as suas energias estão distribuídas. Os raios gama associados ao  $^{40}\text{K}$  se concentram no entorno do pico de energia de 1,46 MeV. Como os isótopos  $^{238}\text{U}$  e  $^{232}\text{Th}$  não emitem radiação gama, a concentração desses elementos é estimada a partir da radiação liberada pelos produtos decorrentes do seu decaimento radioativo:  $^{214}\text{Bi}$  (gerado pelo decaimento do urânio) e  $^{208}\text{Tl}$  (decaimento do tório). As energias destes elementos apresentam picos de 1,76 e 2,615 MeV, respectivamente (Kaplan, 1964).

Entre os principais fatores que influenciam as medidas, pode-se citar: cobertura de solo, vegetação densa, umidade do solo, variações de temperatura atmosférica, grande variação topográfica, umidade relativa assim como a presença de nuvens e o fenômeno de inversão térmica (Grasty, Smith, Minty, 1997).

Os dados gamaespectrométricos, foram disponibilizados já corrigidos pelo efeito de tempo morto, cálculo da altura efetiva de voo, espalhamento Compton, correção altimétrica, radiação de fundo associada à aeronave a radiação cósmica, assim como ao radônio atmosférico seguindo o procedimento recomendado pela Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA, 1991). Como esses dados não apresentaram efeito de paralaxe, não foi necessária a aplicação dessa correção. Uma descrição mais detalhada dos procedimentos de correções adotados pode ser encontrada em Ribeiro (2011).

### Magnetometria

O método magnético baseia-se no contraste da propriedade física (no caso, susceptibilidade magnética) de um corpo em relação à rocha encaixante. Essa diferença na susceptibilidade influencia a resposta desses materiais na presença de um campo magnético, no caso o campo magnético terrestre. Essa resposta classifica as rochas como: diamagnéticas, paramagnéticas e ferromagnéticas.

Os dois tipos principais de magnetização nas rochas são a magnetização induzida e a remanescente. Há ainda a magnetização viscosa, que representa a mudança gradual da polarização de acordo com a variação do campo magnético terrestre.

Segundo Tauxe (2005), a magnetização induzida ( $M_i$ ) é a resposta de cargas subatômicas do material (prótons e elétrons) em função de um campo externo aplicado, e é definida pela Equação 1.

$$M_i = \chi \cdot H \quad (1)$$

Onde,  $\chi$  é a susceptibilidade magnética.

Para campos magnéticos fracos, com magnitudes comparáveis ao campo magnético terrestre, a relação entre a magnetização induzida e o campo aplicado, expressa pela Equação 1, é linear e a susceptibilidade  $\chi$  é constante. Já na ausência de campo magnético externo, a magnetização induzida é nula. Entretanto, materiais ferromagnéticos conseguem reter uma magnetização mesmo na ausência de campo magnético externo. Essa magnetização é denominada magnetização remanescente (Blakely, 1995).

Segundo Blakely (1995), para corpos crustais, a magnetização remanescente não depende apenas do raio atômico, da cristalografia e da composição química das rochas, mas também da geologia, da história termal e da tectônica da região. Sendo assim, a magnetização total da rocha ( $M$ ) é considerada como o vetor soma da magnetização induzida ( $M_i$ ) e remanescente ( $M_r$ ) (Equação 2).

$$M = M_i + M_r \quad (2)$$

A importância relativa entre a magnetização remanescente em relação à induzida é expressa pela razão de Koenigsberger (Blakely, 1995) (Equação 3).

$$Q = \frac{|M_r|}{|M_i|} \quad (3)$$

O campo magnético terrestre apresenta uma variação para longos períodos de tempo, tendo os pólos uma trajetória irregular sobre a superfície do planeta. Essa variação é prevista pelo *International Geomagnetic Reference Field* (IGRF), que é obtido a partir de previsões quinquenais, e recalculado após o quinquênio, originando o *Definitive Geomagnetic Reference Field* (DGRF).

Uma vez que as medidas de magnetometria são influenciadas por três fatores: campo magnético terrestre, magnetização das rochas e campos magnéticos externos, é necessário fazer as correções dessas medidas antes da interpretação dos dados magnetométricos. Para tal foram removidos a variação magnética diurna e o IGRF.

A variação magnética diurna foi removida pela CPRM a partir da subtração dos dados obtidos pelo magnetômetro base das leituras do campo magnético efetuadas pelo magnetômetro a bordo da aeronave, tendo como variável de referência a hora em que foi feita a amostragem dos dados. As diferenças encontradas, positivas ou negativas, foram então somadas ao nível base definido pela CPRM em 23.521 nT.

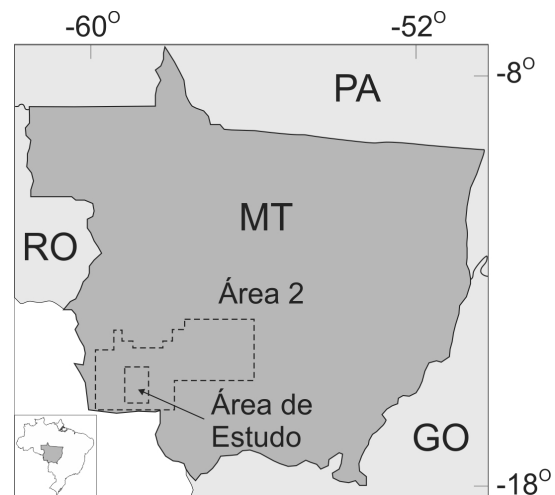
A remoção do IGRF foi efetuada a partir da rotina incluída no *software Oasis Montaj 6.4.2* (Geosoft, 1994). Essa rotina consiste na definição da superfície de tendência que expressa o comportamento do campo geomagnético internacional observado na área em estudo. Para o cálculo da superfície foi considerada a altitude de 100 m, sendo esta referida ao ano de 2005 e atualizada para a data de 07 de maio de 2008 (época em que o aerolevanteamento foi realizado). O campo magnético total corrigido para cada um dos pontos amostrados foi obtido pela subtração do campo total micronivelado, do valor do IGRF calculado para o ponto.

Os dados magnetométricos foram disponibilizados pela CPRM corrigidos do erro de paralaxe.

## DADOS GEOFÍSICOS

O levantamento aéreo que compreende a região do Batólito Santa Helena está inserido na Área 2 (Figura 3) do projeto contratado pelo Serviço Geológico do Brasil (antiga CPRM) sob o código 1080.

Nesse aerolevanteamento foram adquiridos dados de magnetometria e gamaespectrometria cobrindo a região



**Figura 3.** Mapa de localização da área do aerolevanteamento (Área 2) e da área de estudo inseridas no estado.

considerada. As linhas de voo foram traçadas na direção N-S com altura nominal de 100 m. O espaçamento utilizado entre essas linhas foi de 500 m enquanto que as linhas de controle, com direção E-W, foram adquiridas com intervalo de 10 km.

Como já citado, os dados magnéticos fornecidos pela CPRM já haviam sido corrigidos da variação diurna e do erro de paralaxe. Também foi realizado pela CPRM o nivelamento das linhas de voo.

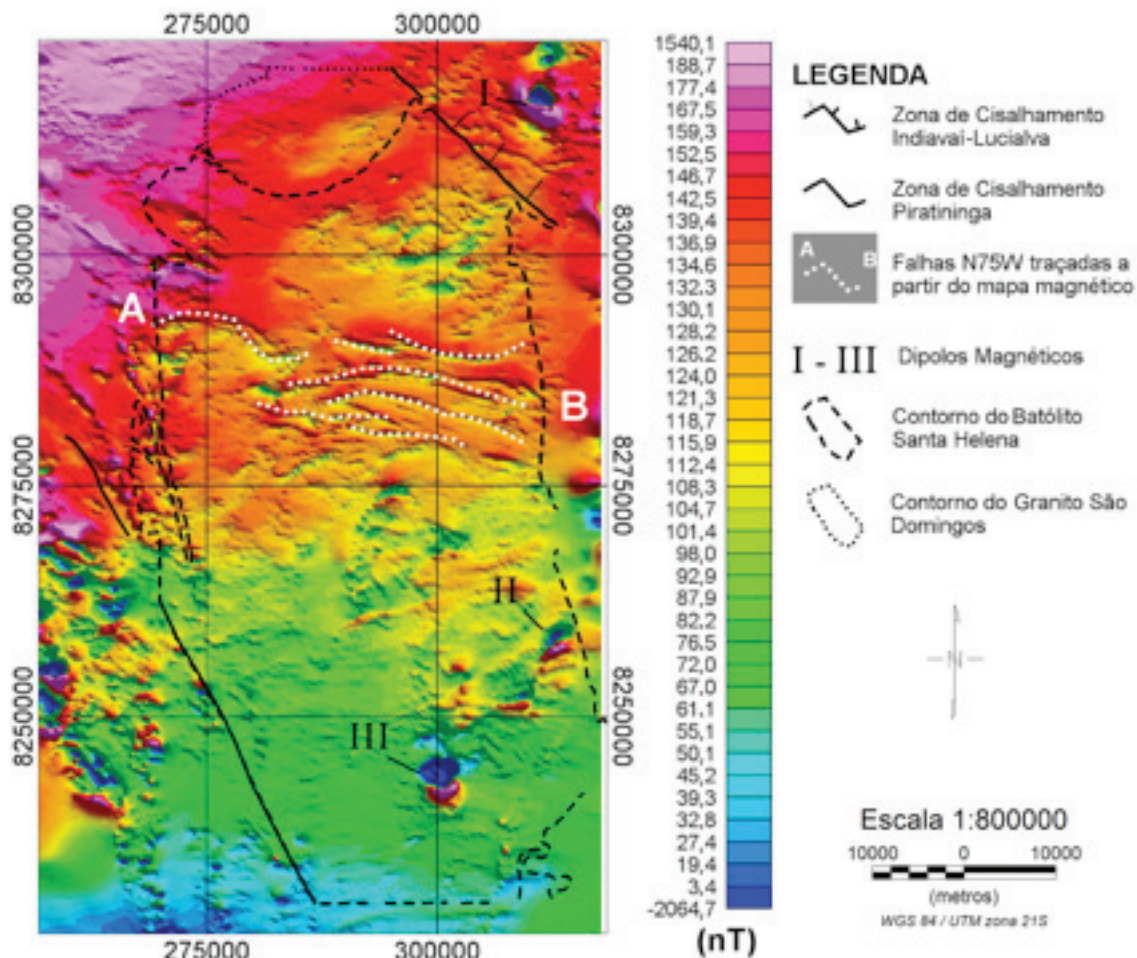
Os dados gamaespectrométricos foram adquiridos considerando, simultaneamente, quatro janelas de energias: potássio (1,37 – 1,57 MeV), tório (1,66 – 1,86 MeV), urânio (2,41 – 2,81 MeV) e contagem total (referente a todas as emissões de raios gama observadas para o intervalo de energia de 0,41 – 2,81 MeV).

Reiterando, o processamento dos dados gamaespectrométricos feito pela CPRM obedeceu ao procedimento

recomendado pela Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA, 1991). Os dados disponibilizados já estavam corrigidos do efeito Compton, cálculo da altura efetiva de voo, remoção do *background* cósmico, da aeronave, do radônio atmosférico e correção altimétrica. Como esses dados não apresentaram efeito de paralaxe, a aplicação dessa correção não foi necessária.

## RESULTADOS

O mapa do campo magnético total obtido está disposto na Figura 4. Para filtrar a influência da componente regional do campo foi considerado o método da continuação para cima (*upward continuation*) para uma altura de 40 km (valor este para o qual não se observa influência das altas frequências). No mapa magnético residual (Figura 5), é possível observar



**Figura 4.** Mapa do campo magnético total obtido para a região do Batólito Santa Helena. As linhas tracejadas AB (em branco) indicam a localização dos lineamentos magnéticos, enquanto que as linhas tracejadas e pontilhadas em preto correspondem, respectivamente, aos limites do Batólito Santa Helena e do granito São Domingos, definidos por Ruiz (2005), do Mato Grosso, Brasil.

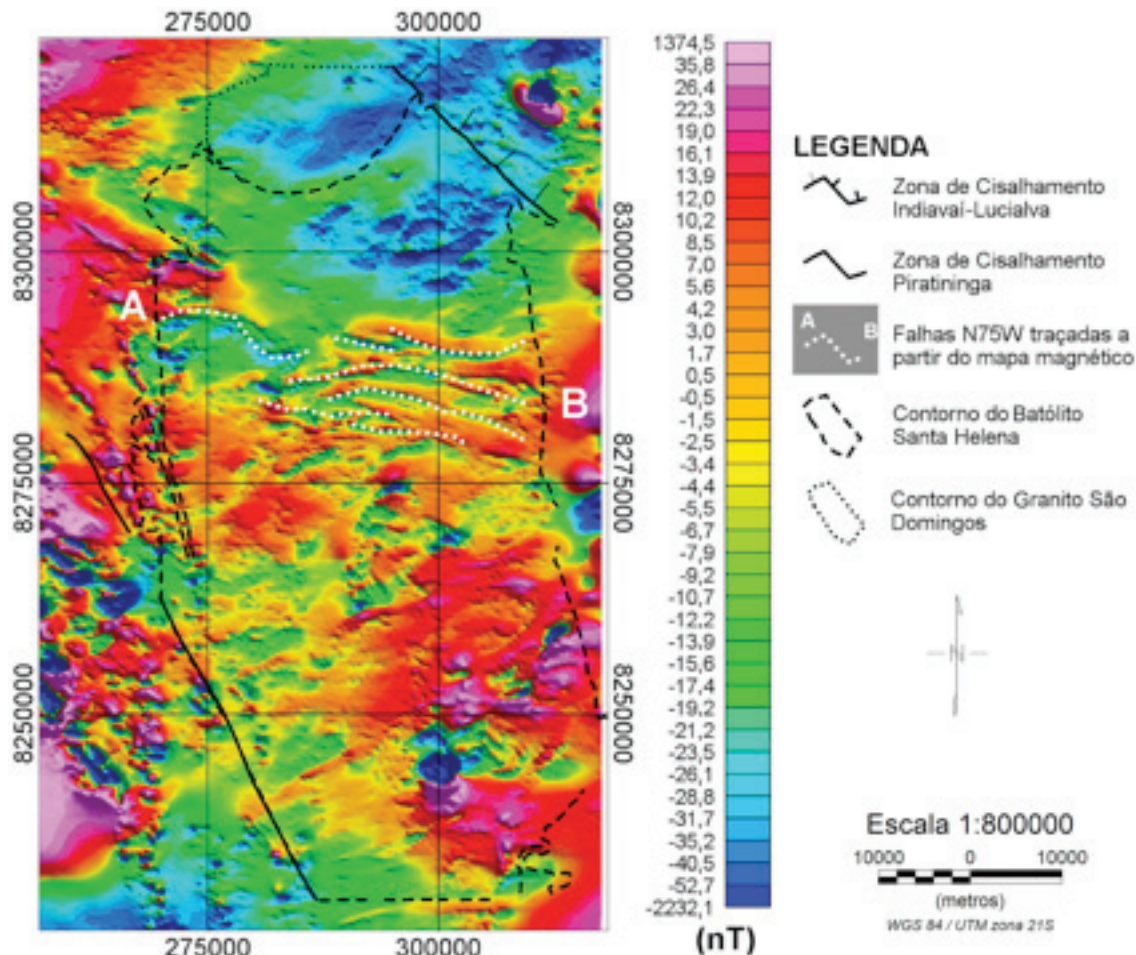
que a parte norte do batólito apresenta um baixo magnético com intensidade de até -40 nT, enquanto que a parte mais ao sul apresenta intensidades mais elevadas, principalmente a sudeste do corpo (aproximadamente 35 nT).

Os valores mais altos do campo magnético observados nestes mapas estão associados à presença dos dipolos magnéticos tanto a leste quanto a oeste do batólito (indicados pelos números romanos na Figura 4). Esses dipolos ocorrem próximos aos limites NE e E do batólito, indicando a ocorrência de intrusões magmáticas posteriores à formação deste. A proximidade destas intrusões à Zona de Cisalhamento Indaivaí-Lucialva pode indicar uma provável associação destas intrusões a uma reativação das falhas localizadas nessa região (Teixeira et al., 2011).

É possível observar também nos mapas magnéticos a ocorrência de lineamentos magnéticos com

direção aproximadamente N75°W destacadas por linhas tracejadas brancas nos mapas do campo magnético (Figuras 4 e 5). Essas estruturas demarcam a fronteira entre os dois corpos principais com respostas magnéticas distintas: a parte norte, com menor susceptibilidade, e a sul com valores mais altos de magnetização.

Os lineamentos magnéticos observados no mapa magnético residual (Figura 5, Perfil AB) podem estar associados aos esforços compressivos com direção NNW a SSE, como proposto por Ruiz (2005) para a evolução tectônica do Batólito Santa Helena. Para uma melhor análise desse sistema, o mapa do campo magnético residual (Figura 5) foi sobreposto ao mapa do modelo digital de terreno (MDT) (Figura 6) obtido a partir dos dados do *Shuttle Radar Topography* (SRTM) – NASA – para a região de estudo (Figura 7), ressaltando assim a influência desses lineamentos



**Figura 5.** Mapa do campo magnético residual da região do Batólito Santa Helena obtido a partir da remoção do campo magnético regional calculado pelo método da continuação para cima (*upwardcontinuation*) para uma altura de 40 km. A linha tracejada AB (em branco) indica a localização dos lineamentos magnéticos, enquanto que as linhas tracejadas e pontilhadas em preto correspondem, respectivamente, aos limites do Batólito Santa Helena e do granito São Domingos, definidos por Ruiz (2005).



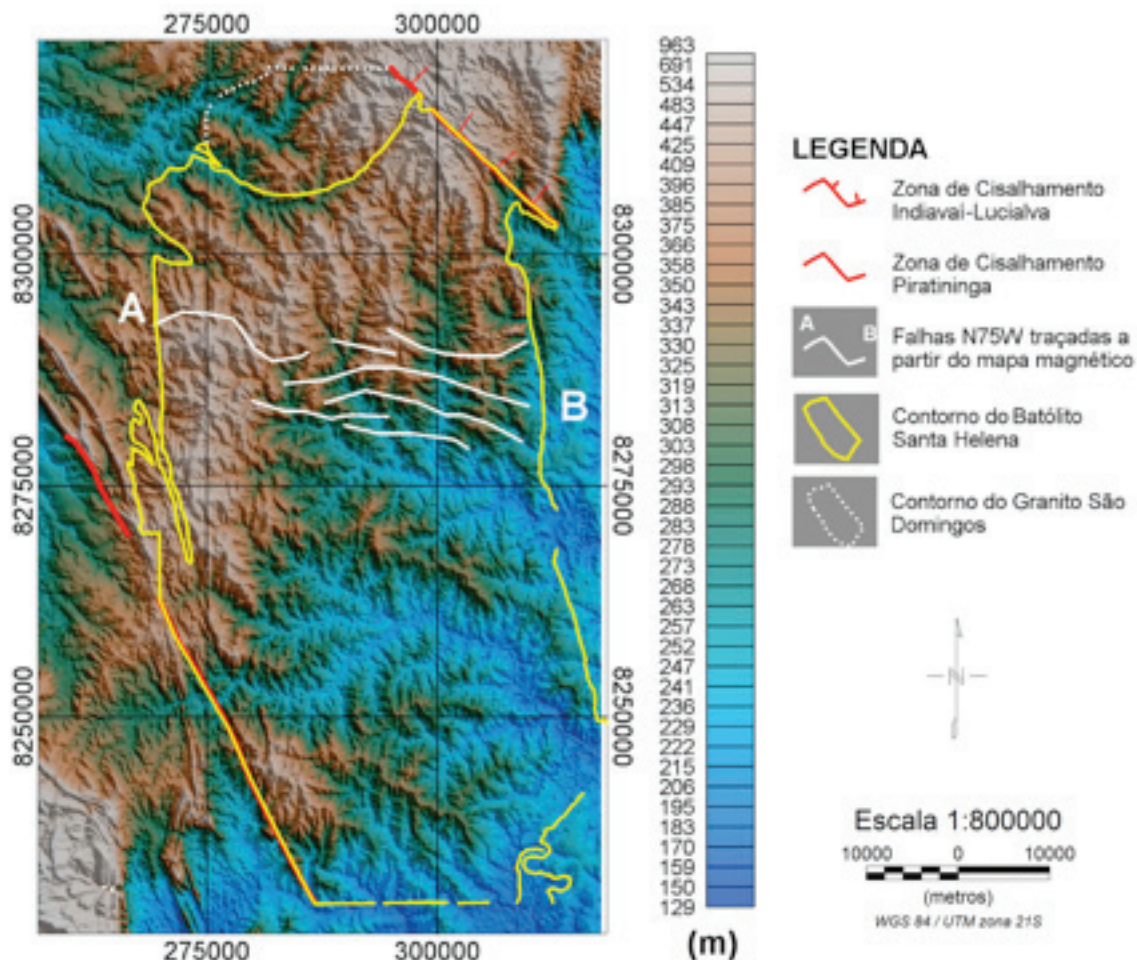
na topografia local. De fato, as direções observadas para essas estruturas condizem com as foliações regionais de caráter dúctil localizadas ao norte do batólito identificadas por Ruiz (2005). Este mapa destaca ainda a assinatura geofísica associada à Zona de Cisalhamento Piratininga (a oeste do batólito) e da Zona de Cisalhamento Indiavaí-Lucialva (a nordeste da intrusão), as quais exerceram controle tectônico sobre o Batólito Santa Helena.

A partir dos dados aerogamaespectrométricos foram traçados os mapas referentes às contagens obtidas para cada um dos radioelementos (K, Th e U), dispostos na Figura 8. Para uma visualização integrada desses dados, foi interpolado o mapa da distribuição ternária desses elementos com padrão RGB = (K, Th, U), disposto na Figura 9 e o mapa de contagem total das emissões medidas (CT), apresentado na Figura 10.

A análise do mapa ternário (Figura 9) mostra uma distribuição heterogênea dos radioelementos, contrastante

com as litologias ao redor do Batólito Santa Helena, principalmente em relação às altas contagens de potássio, as quais condizem com o esperado pela grande abundância de K-feldspatos observada por Geraldtes et al. (2001). De fato, o mapa de contagem total (Figura 10) evidencia o aumento dos teores dos radioelementos observados para o Batólito Santa Helena em detrimento as litologias circundantes.

Similarmente aos dados magnéticos, o mapa ternário evidencia uma diferenciação na distribuição dos radioelementos ao longo das porções norte e sul, sendo estas separadas pelo sistema de foliação identificado nos mapas magnéticos (Figura 7). Para uma melhor análise da relação entre esse sistema e a distribuição dos radioelementos, este foi sobreposto aos mapas radiométricos (Figura 8, Perfil AB), o que mostra uma clara relação da distinção dos radioelementos nas porções norte e sul do batólito



**Figura 6.** Mapa do modelo digital de terreno obtido a partir dos dados do *Shuttle Radar Topography* – NASA para a região de estudo. A linha contínua AB indica a localização dos lineamentos magnéticos, enquanto que as linhas tracejadas e pontilhadas em branco correspondem, respectivamente, aos limites do Batólito Santa Helena e do granito São Domingos, definidos por Ruiz (2005).

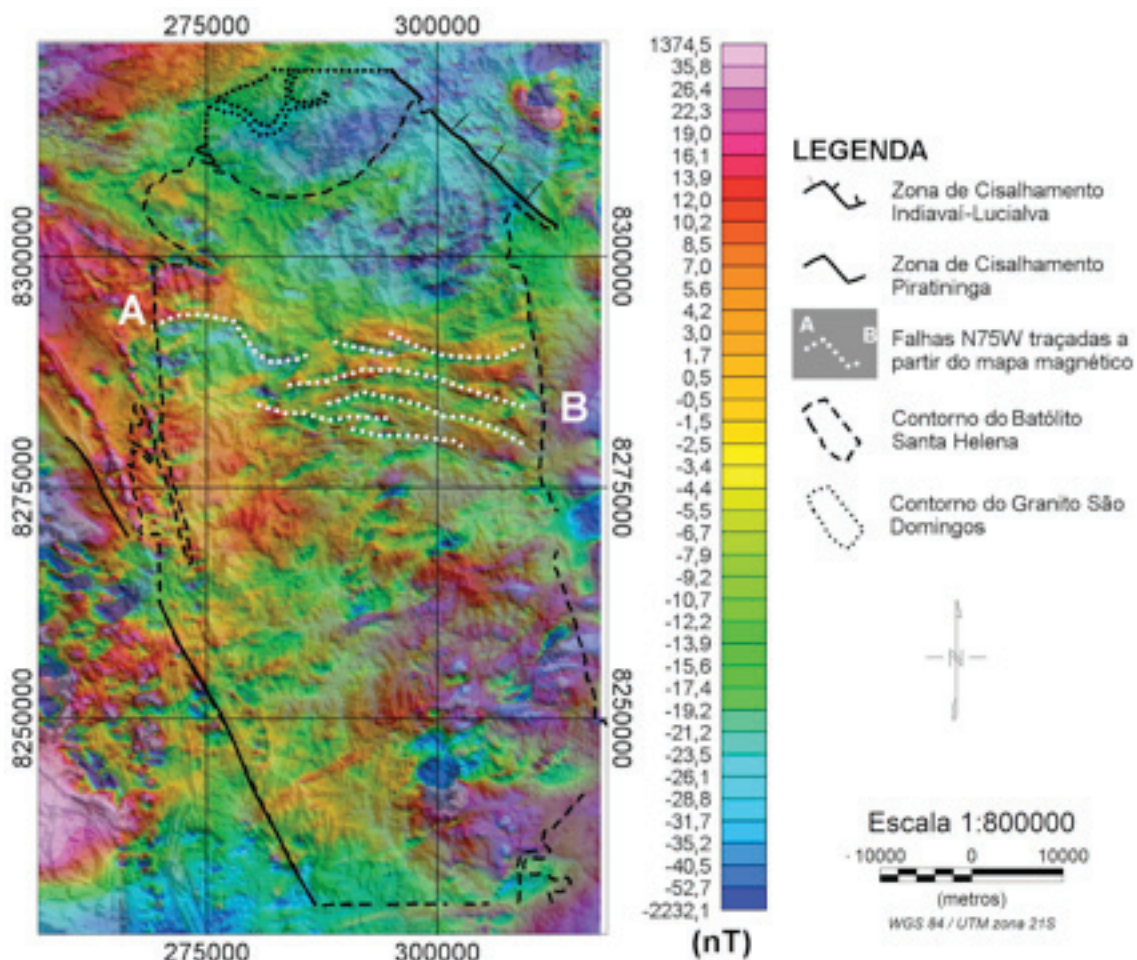
principalmente em relação aos mapas de contagem de potássio e distribuição ternária dos radioelementos.

A análise do mapa ternário permite identificar também uma grande diferença na distribuição dos radioelementos referente à porção oeste da intrusão, a qual apresenta um aumento expressivo nas contagens de tório e urânio se comparada ao restante do batólito. Essa diferenciação é observável também, não apenas nos mapas de contagem individual dos radioelementos (Figura 8), como no mapa ternário (Figura 9).

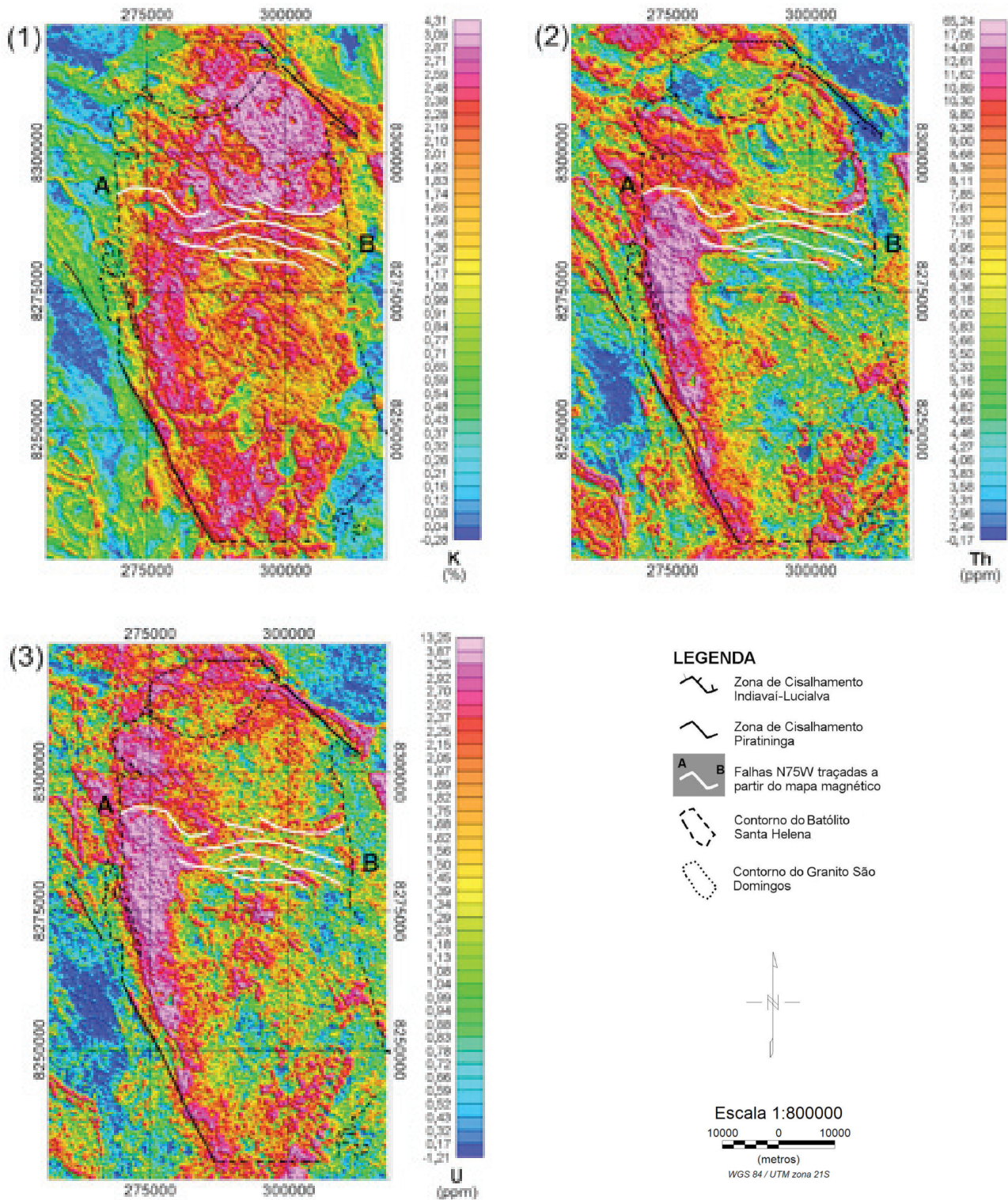
A porção setentrional do Batólito Santa Helena é caracterizada por apresentar contagens mais elevadas para o canal de potássio principalmente na região NE (Figura 8, número 1). Ao contrário da porção meridional, este corpo apresenta uma faixa com altas contagens dos três elementos radioativos ao longo de toda sua borda, abrangendo um maior espaço no limite sudeste e na lateral oeste do corpo. Intrínseco a este corpo são observadas duas regiões com coloração vermelho escuro no mapa ternário (Figura 9, números 1 e 2), as

quais apresentam contagens medianas de potássio e baixas contagens de tório e urânio, também observado nos mapas de contagens individuais desses elementos (Figura 8). Essas duas anomalias radiométricas possivelmente foram geradas por processos de diferenciação do magma, que resultou na distribuição observada dos radioelementos. Ruiz (2005) identifica a presença de pequenos corpos alongados com direção NNW, internos ao Batólito Santa Helena, referentes à Suíte Intrusiva Guapé (NPg) e ao Complexo meta-vulcano sedimentar Pontes e Lacerda (PPpl) (Figura 2). Ao sobrepor as coordenadas desses corpos sobre o mapa ternário, não se notou qualquer correlação entre estes corpos e as anomalias radiométricas com médias contagens de potássio e baixos teores de tório e urânio (Figura 9).

O corpo da porção sul do Batólito Santa Helena apresenta uma faixa com altas contagens dos três elementos localizada na sua borda ocidental e estendendo-se para SE (Figura 9). Na porção meridional do batólito são



**Figura 7.** Mapa do campo magnético residual sobreposto ao modelo digital de terreno obtido para a região de estudo. As linhas pontilhadas AB (em branco) indicam a localização dos lineamentos magnéticos, e as linhas tracejadas e pontilhadas em preto correspondem aos limites do Batólito Santa Helena e do granito São Domingos definidos por Ruiz (2005), respectivamente.



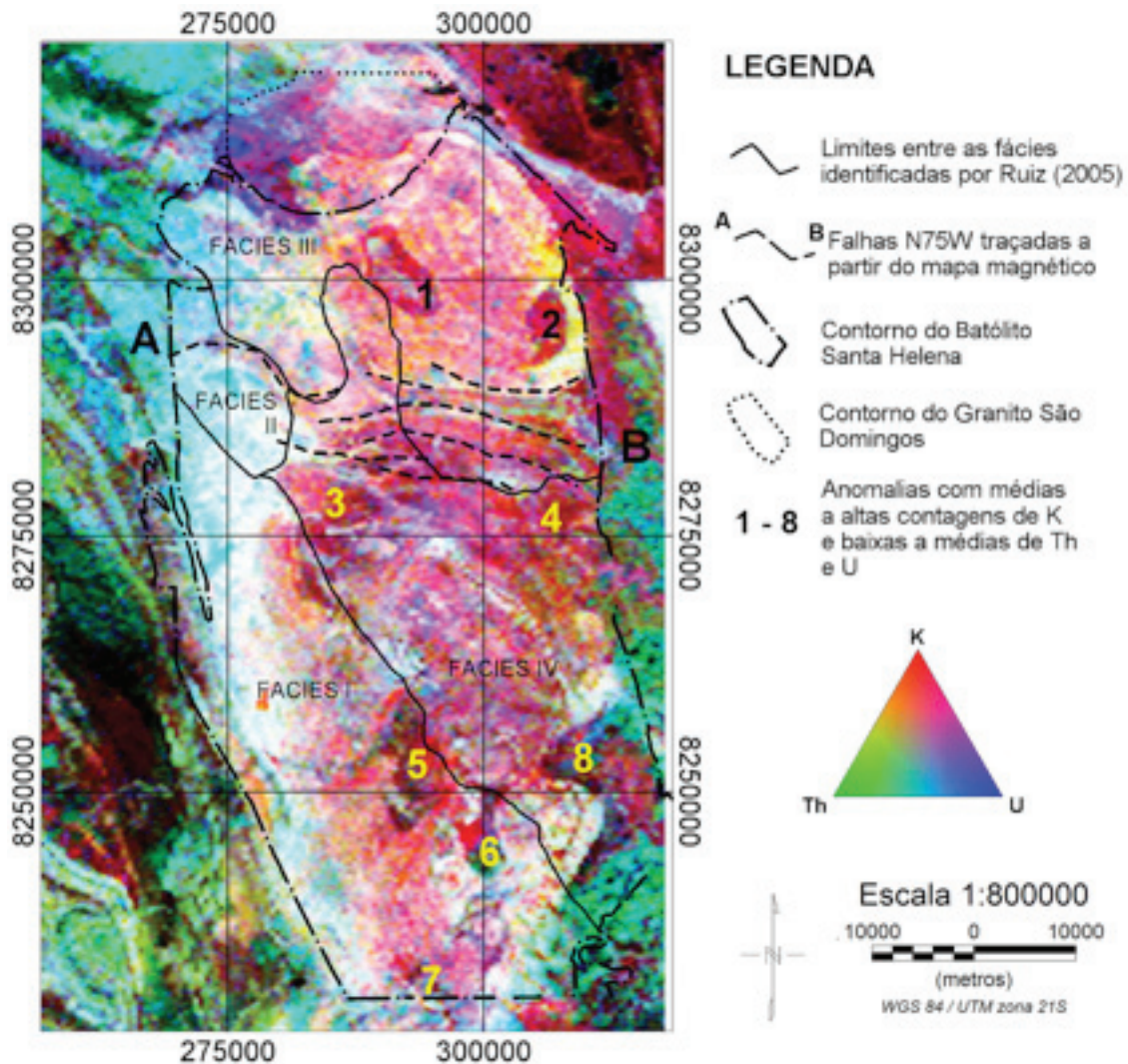
**Figura 8.** Mapa da distribuição das contagens de potássio (1), tório (2) e urânio (3) observadas na região de estudo. As linhas brancas AB indicam a localização dos lineamentos magnéticos, enquanto que as linhas tracejadas e pontilhadas em preto correspondem, respectivamente, aos limites do Batólito Santa Helena e do granito São Domingos, definidos por Ruiz (2005).

observadas seis regiões internas ao corpo com coloração vermelho escuro (Figura 9, números 3 a 8), indicando assim concentrações dos radioelementos diferentes do resto do batólito. De fato, ao confrontar as coordenadas desses corpos com os mapas das contagens individuais de cada canal, observa-se que esses corpos possuem contagem média a baixa de potássio e baixas contagens de urânio e tório (Figura 8). Essas anomalias radiométricas podem estar associadas aos diques de granitoides intrusivos ao batólito, apontados por Geraldles et al. (2001).

Esta diferenciação entre a parte norte do batólito e a parte sul é observada tanto para os dados magnéticos quanto para os dados radiométricos, sendo os limites entre esses domínios coincidentes para ambos os métodos geofísicos,

estando relacionado aos lineamentos magnéticos identificados pelo perfil AB (Figuras 7 e 9).

Nos mapas magnéticos não foi observada nenhuma anomalia magnética associada à porção oeste do batólito, o que nos permite concluir que o considerável aumento das contagens de tório e urânio observados nessa região do batólito não possui associação a nenhuma fonte magnética em subsuperfície ou diferenciação mantélica que tenha resposta magnetométrica significativa. De fato, essa anomalia radiométrica está associada às áreas de maior elevação topográfica do batólito (Figura 6). Considerando que o potássio apresenta uma mobilidade muito maior do que os demais radioelementos, é possível que este tenha sido lixiviado das regiões com as maiores altitudes, enquanto que



**Figura 9.** Mapa da distribuição ternária com padrão RGB = (K, Th, U) dos radioelementos na região de estudo. A linha contínua AB indica a localização dos lineamentos magnéticos, enquanto que as linhas tracejadas e pontilhadas correspondem, respectivamente, aos limites do Batólito Santa Helena e o granito São Domingos definidos por Ruiz (2005). As anomalias radiométricas internas ao batólito estão numeradas de 1 a 8.

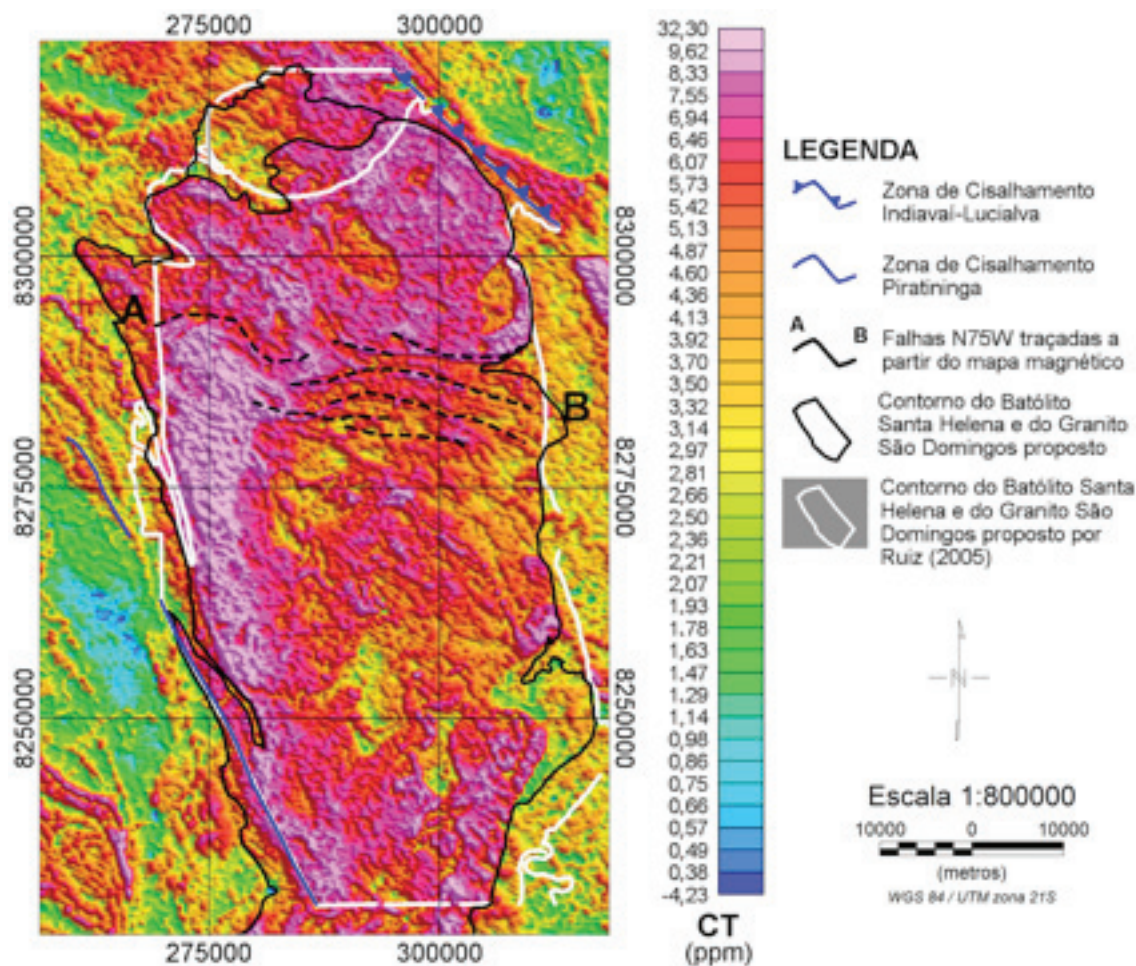
o tório e o urânio, muito menos móveis, tenham permanecido na rocha fonte. Ruiz (comunicação particular) sugere que o padrão radiométrico dessa porção pode ser um reflexo de um intenso retrabalhamento metamórfico estrutural (com participação de fluidos hidrotermais) promovido na Orogenia Sunsás (1 Ga).

Considerando que a diferenciação entre as partes norte e sul do batólito seja coincidente para ambos os métodos geofísicos sendo, em ambos os casos, limitada pelo lineamento AB, pode-se concluir que esta tenha se originado a partir de um evento em uma maior escala, afetando todo o batólito.

A composição mineralógica do granito é caracterizada pela presença de k-feldspato e quartzo, enquanto que o anortosito possui o plagioclásio como constituinte principal. Sendo assim, a diferenciação entre a porção norte e sul do batólito, evidente principalmente em relação às contagens de potássio (Figura 8, número 1), pode ser explicada por uma

diferenciação bimodal do magma e posterior formação das suites granítica (ao norte) e anortosítica (ao sul), como proposto por Geraldtes (1996). Entretanto, é importante ressaltar que o intervalo de susceptibilidade magnética associada ao granito e ao anortosito é extremamente parecido, não sendo possível utilizar essa propriedade física para caracterizar com exatidão essa divisão. É importante ressaltar também a necessidade de visitas *in loco* para verificar se há um volume expressivo de anortositos que justifiquem essa divisão em duas suites, ou se a diferença na resposta geofísica entre as porções norte e sul do batólito não está relacionada a uma diferenciação suave do magma, a qual não implica necessariamente em uma divisão do corpo em duas suites diferentes.

Os contornos das fácies mineralógicas definidas por Ruiz (2005) para o Batólito Santa Helena (Figura 2) foram sobrepostos ao mapa de distribuição ternária dos radioelementos (Figura 9) a partir da comparação entre estes é possível notar uma razoável correspondência entre a fácies



**Figura 10.** Mapa da contagem total de emissão dos radioelementos observada para a região do Batólito Santa Helena. As linhas contínuas em preto e em branco representam, respectivamente, os contornos do batólito e do Granito São Domingos definidos a partir dos dados geofísicos e proposto por Ruiz (2005).

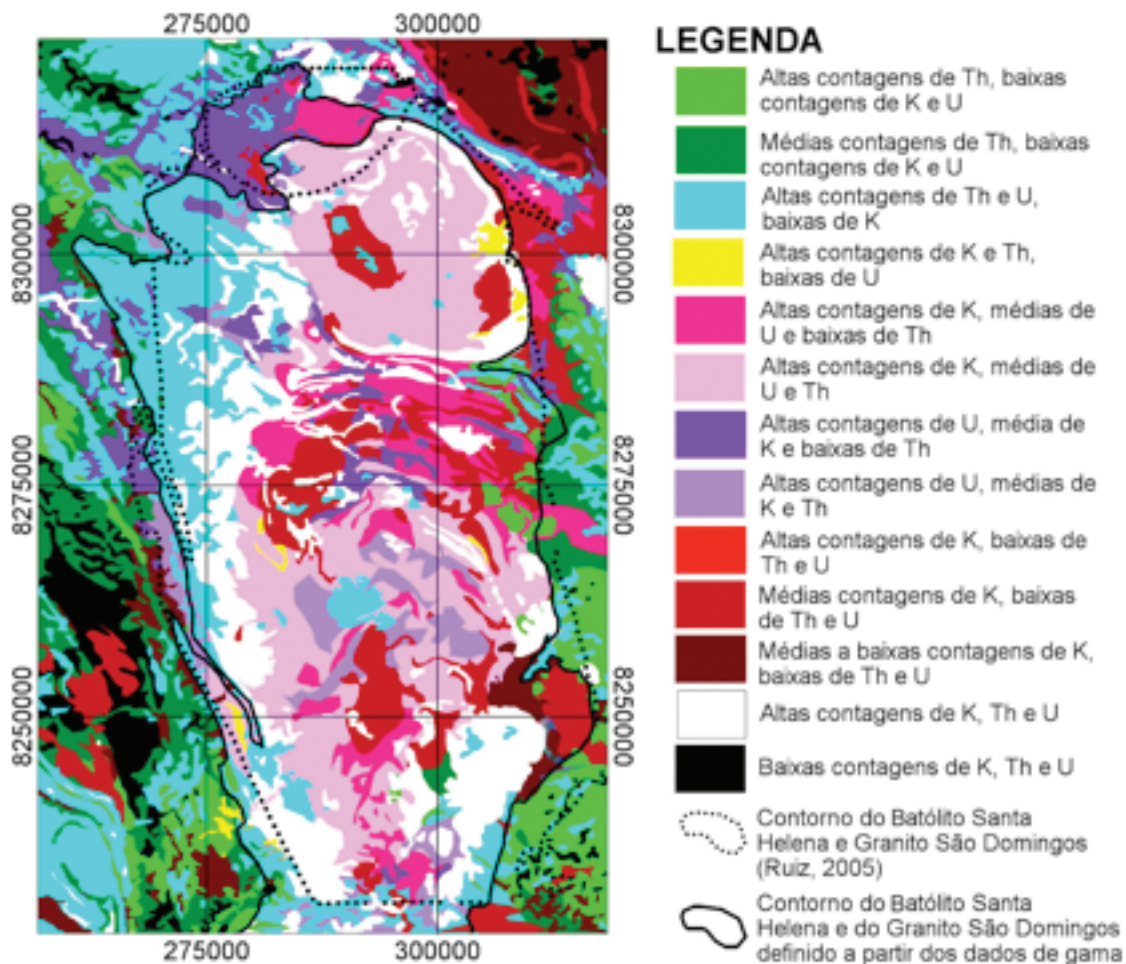
III com a porção NE do batólito, enquanto que a fácies II, localizada na borda oeste do corpo, estaria totalmente inserida na região com altas contagens dos três elementos. É importante ressaltar que os limites entre essas fácies não foram reconhecidos em campo pelo autor citado, não sendo possível correlacionar estes com os dados gamaespectrométricos com precisão. Não foi possível também identificar uma diferenciação clara nos dados radiométricos associados à diferenciação entre a fácies I e IV.

A noroeste do batólito é observada uma anomalia radiométrica com média a alta contagem de potássio, baixas a médias contagens de tório e altas contagens de urânio (Figura 8). As contagens de potássio e tório apresentam um gradual aumento de oeste para leste. Essa anomalia radiométrica está associada ao granito São Domingos descrito por Menezes et al. (1993, apud Ruiz, 2005), o qual intrude a borda norte do batólito (Figura 2). A partir da sobreposição dos contornos geológicos (Figura 2) ao mapa ternário (Figura 9) e ao mapa

de contagens total (Figura 10), nota-se que as altas contagens dos radioelementos associadas a este granito (principalmente potássio e urânio) apresentam limites diferentes dos especificados para este corpo.

Ao confrontar o mapa ternário com o mapa topográfico da região com a sobreposição dos contornos geológicos (Figura 6) nota-se que os altos radiométricos (K e U) observados na região sudoeste e leste do granito estão associados a altos topográficos. Essa configuração permite concluir que os radioelementos associados ao granito estão sendo erodidos, e posteriormente depositados ao longo do córrego localizado na parte oeste da intrusão. Essa deposição de sedimentos, ricos em K e U, justifica as altas contagens desses elementos observadas ao longo da zona de aluvião do córrego, mesmo em regiões distantes do corpo.

A partir da interpretação do mapa ternário dos radioelementos (Figura 9) foi confeccionado o mapa litogeofísico para a região do batólito (Figura 11), o qual consiste na



**Figura 11.** Mapa litogeofísico confeccionado a partir da distribuição ternária dos radioelementos na região de estudo. A linha contínua corresponde aos limites do batólito de Santa Helena definido por Ruiz (2005), enquanto que a linha pontilhada indica os limites deste corpo traçados a partir dos dados geofísicos.

associação de uma cor específica para o teor de emissão de raios gama observada para os três radioelementos. A esse mapa foram sobrepostos tanto o contorno do Batólito Santa Helena e do granito de São Domingos definidos por Ruiz (2005) (Figura 2), assim como os definidos neste trabalho a partir dos dados geofísicos. Para uma melhor comparação, estes contornos foram sobrepostos também ao mapa de contagem total dos radioelementos (Figura 10).

Ao comparar esses contornos nota-se uma boa convergência entre os limites geológicos e o proposto a partir dos dados geofísicos em relação às dimensões principais do batólito, com direção essencialmente NS.

A diferença observada entre ambos os contornos analisados para as regiões leste e oeste do batólito (Figuras 10 e 11) pode ser explicada pela erosão de radioelementos em áreas mais elevadas internas ao corpo (Figura 6), e posterior deposição destes em áreas de baixo topográfico, externas aos limites da intrusão. Considerando que a gamaespectrometria possui uma resposta mais superficial, esta deposição poderia prejudicar a definição dos limites do corpo com precisão.

O Batólito Santa Helena é limitado a NE pela Zona de Cisalhamento Indavaí-Lucialva. Nessa região observa-se uma diferenciação entre os limites propostos para o corpo (Figuras 10 e 11). Ao analisar o mapa topográfico (Figura 6), nota-se que esta área é marcada por diversas falhas menores próximas a zona de cisalhamento, as quais podem ter condicionado a deposição de sedimentos ricos principalmente em tório e urânio erodidos da rocha fonte, justificando assim não apenas a diferença nos contornos como a presença de uma anomalia ciano, com direção aproximadamente N65°W, observada para essa região no mapa ternário e litogeofísico (Figuras 9 e 11, respectivamente).

É possível observar também uma diferenciação entre os contornos analisados referentes à parte sul do batólito, sendo que os dados radiométricos sugerem uma extensão maior para o corpo do que a observada para o mapa geológico. Assim como nas regiões leste e oeste, essa diferença pode ser justificada pela deposição de radioelementos erodidos do batólito em regiões externas ao limite do corpo. Entretanto vale a pena ressaltar a importância de visitas *in loco* para verificar os limites dessa intrusão.

A leste do Batólito Santa Helena é observada uma região com altas a médias contagens de Th, médias contagens de U e baixas de K (Figuras 8 e 9). Essa assinatura radiométrica está associada à Formação Jauru localizada nessa região (Figura 2).

Na região nordeste do Batólito Santa Helena, observa-se uma região com médio a baixo teor de K, e baixos teores de Th e U (Figura 8), sendo caracterizada por tons mais escuros de vermelho nos mapas ternário e litogeofísico (Figuras 9 e 11). Essa resposta gamaespectrométrica

está associada à Suíte Intrusiva Taquarussu e Complexo metavulcano-sedimentar Pontes e Lacerda (Figura 2), embora os limites entre estas não sejam evidentes nos mapas radiométricos.

Na porção oeste do batólito, onde se localiza a Zona de Cisalhamento Pindaiatuba, é possível observar uma região com altas a médias contagens de Th e U e médias a baixas contagens de K (Figura 8), a qual apresenta faixas mais finas com direção aproximadamente N27°W e teores médios a baixos de K e baixos de Th e U. A presença dessa zona de cisalhamento condicionou a deposição dos radioelementos ao longo da litologia sobre a qual ela se localiza – Formação Fortuna (Figura 2), dando assim o aspecto “listrado”. Essa litologia faz fronteira ao sul com o Complexo metavulcano-sedimentar Rio Alegre, o qual é caracterizado por apresentar baixas contagens de K e média a baixa de Th e U (Figuras 8 e 9).

## CONCLUSÃO

A constituição litológica, a área de abrangência geográfica e o ambiente geotectônico, referentes ao Batólito Santa Helena ainda são alvo de muitas divergências. Sendo assim, o principal objetivo deste trabalho foi contribuir ao estudo desta unidade a partir da utilização de dados geofísicos (gamaespectrometria e aeromagnetometria), os quais ainda não haviam sido utilizados no estudo dessa intrusão.

A análise dos dados permitiu não apenas identificar uma clara diferença na assinatura geofísica entre a porção meridional e setentrional deste batólito, a qual é coincidente para ambos os métodos utilizados, como permitiu também inferir mais informações sobre os seus limites geográficos e a identificação de anomalias radiométricas internas ao corpo.

Ao comparar os limites geológicos do Batólito Santa Helena com os contornos definidos a partir dos mapas geofísicos interpolados (gamaespectrométricos e magnéticos), notou-se que estes apresentam uma boa convergência entre si. As poucas diferenças observadas podem ser preliminarmente explicadas pela deposição de sedimentos ricos em radioelementos erodidos do batólito e depositados ao longo da periferia deste. Porém, é importante ressaltar a importância de visitas *in loco* para verificar a validade desta proposta.

No mapa magnético foi observado um conjunto de lineamentos magnéticos com direção aproximadamente N75°W, cuja presença é evidente também na distribuição ternária dos radioelementos e na topografia do batólito. Essas estruturas provavelmente estão relacionadas às foliações regionais geradas por esforços compressivos associados à história evolutiva do corpo, mais especificamente à Orogenia Santa Helena.

A partir da análise dos mapas geofísicos interpolados, foi possível identificar duas assinaturas bem distintas entre a parte setentrional e meridional do batólito Santa Helena, coincidente para ambos os métodos aplicados. Sendo a parte setentrional caracterizada por contagens de potássio mais elevadas e anomalia magnética negativa, e a parte meridional caracterizada por contagens um pouco menores, principalmente de potássio, e resposta magnetométrica positiva. Considerando que essa diferenciação seja coincidente para ambos os métodos, pode-se concluir que esta tenha se originado a partir de um evento em uma maior escala, afetando todo o batólito, como por exemplo, uma diferenciação bimodal do magma a qual afetaria a distribuição de suas propriedades físicas. Entretanto, ressalta-se a importância de visitas ao local e da utilização de outros métodos para verificar esta proposta.

Foram identificadas no corpo, ao todo, oito anomalias radiométricas caracterizadas por teores de potássio variando de médio a baixo, e baixas contagens de tório e urânio. Ao confrontar essas anomalias com o mapa geológico observou-se que não havia correlação entre estas com os corpos mapeados internos à intrusão. Estas anomalias podem estar relacionadas à presença de diques e granitoides intrusivos não mapeados.

Ao norte do Batólito Santa Helena é possível observar uma anomalia radiométrica com contagens de urânio mais elevadas do que na parte norte do batólito, enquanto que, as contagens de potássio e principalmente de tório apresentam uma diminuição acentuada. Essa anomalia corresponde ao granito São Domingos, o qual intrude a borda norte do batólito. O contorno obtido para este corpo a partir dos dados geofísicos apresentou uma relativa diferença em relação ao contorno geológico. Essa divergência pode estar associada à deposição de sedimentos mais recentes nas bordas do batólito, o que influenciaria nas contagens dos radioelementos. Na porção oeste deste granito é possível observar a clara atuação da erosão dos radioelementos e deposição destes ao longo do córrego localizado nessa região.

A partir da análise mais regional dos mapas gamaespectrométricos e confronto destes com o mapa geológico da região foi possível identificar a assinatura radiométrica associada às litologias circundantes ao Batólito Santa Helena, entre elas: Formação Jauru, Suíte Intrusiva Taquarussu, Complexo metavulcano-sedimentar Pontes e Lacerda e Formação Fortuna. Essa análise permitiu identificar também uma anomalia radiométrica com altas contagens de tório e urânio e baixas contagens de potássio, mais alongada com inclinação de aproximadamente N65°W, associada à Zona de Cisalhamento Indaivaí-Lucialva.

## AGRADECIMENTOS

À CPRM por fornecer os dados utilizados na pesquisa, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de doutorado para a primeira autora. Aos revisores Amarildo S. Ruiz e anônimo pelas correções e valiosas sugestões. Este artigo é parte do trabalho de doutoramento da primeira autora pelo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG/USP).

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA ATÔMICA (IAEA). *Airborne gamma ray spectrometer surveying*. Viena: International Atomic Energy Agency, 1991. 97 p. (Technical Report Serie, nº 323).
- BETTENCOURT, J. S.; LEITE Jr, W. B.; RUIZ, A. S.; MATOS, R.; PAYOLLA, B. L.; TOSDAL, R. M. The Rondonian-San Ignacio Province in the SW Amazonian Craton: An overview. *Journal of South American Earth Sciences*, n. 29, p. 28-46, 2010.
- BLAKELY, R. J. *Potential theory in gravity and magnetic applications*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1995. 441 p.
- COX, K. G.; BELL, J. D.; PANKHURST, R. J. *The interpretations of igneous rocks*. Londres: George Allen e Unwin, 1979. 450 p.
- DICKIN, A. P. *Radiogenic isotope geology*. 2nd ed. Nova York: Cambridge University Press, 1995. 490 p.
- DICKSON, B. L.; SCOTT, K. M. Interpretation of aerial gamma-ray surveys – adding the geochemical factors. *AGSO Journal of Australia Geology and Geophysics*, v. 17, n. 2, p. 187-200, 1997.
- FAURE, G. *Principles and applications of geochemistry*. Nova York: Prentice Hall, 1997. 589 p.
- FERREIRA, F. J. F.; Fruchting, A.; GUIMARÃES, G. B.; ALVES, L. S.; MARTIN, V. M. O.; ULBRICH, H. H. G. J. Levantamentos gamaespectrométricos em granitos diferenciados. II: o exemplo do Granito Joaquim Murinho, Complexo Granítico Cunhaporanga, Paraná. *Geologia USP Série Científica*, v. 9, p. 55-72, 2009.
- GEO-SOFT. *Magmap: 2-D frequency domain processing*. Toronto: Geosoft Inc., 1994. 34 p.



- GERALDES, M. C. *Estudos geoquímicos e isotópicos das minealizações auríferas da região de Pontes e Lacerda, MT*. 1996. Tese (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- GERALDES, M. C. *Geocronologia e geoquímica do plutonismo mesoproterozóico do SW do Estado de Mato Grosso (SW do Cráton Amazônico)*. 2000. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- GERALDES, M. C.; VAN SCHMUS, W. R.; CONDIE, K. C.; BELL, S.; TEIXEIRA, W.; BABINSKI, M. Proterozoic geologic evolution of the SW part of the Amazonian Craton in Mato Grosso state, Brazil. *Precambrian Research*, v. 111, p. 91-128, 2001.
- GRASTY, R. L.; SMITH, B. S.; MINTY, B. R. S. Developments in the standardization and analysis of airborne gamma-ray data. In: DECENNIAL INTERNATIONAL CONFERENCE ON MINERAL EXPLORATION, 4., 1997, Toronto. *Anais...* Editado por A. G. Gubins, 1997, p. 725-732.
- IRVINE, R. J.; SMITH, M. J. Geophysical exploration for epithermal gold deposits. *Journal of Geochemical Exploration*, v. 26, p. 375-412, 1990.
- KAPLAN, I. *Nuclear Physics*. 2nd ed. London: Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1964. 784 p.
- LOURO, V. H. A.; MANTOVANI, M. S. M. Modelagem 3D da anomalia magnética de Pratinha I (MG). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOFÍSICA, 4., 2010, Brasília. *Anais...* Brasília: SBGf, 2010. 1 CD-ROM.
- MENEZES, R. G.; SILVA, P. C. S.; SILVA, L. C.; TAKAHASHI, A. T.; LOPES Jr, I.; BEZERRA, J. R. I. Pontes e Lacerda. Folha SD.21-Y-C-II. In: *MME/DNPM, Projeto Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil*. Brasília, 1993. 126 p.
- MINTY, B. R. S. *A review of airborne gamma-ray spectrometric data-processing techniques*. Canberra: Australian Government Publishing Service, 1988. 48 p.
- RIBEIRO, V. B. *Modelagem Geofísica do Complexo Alcalino de Tapira – MG*. 2011. Tese (Mestrado) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- RUGENSKI, A. *Investigação geofísica dos complexos alcalinos do sul e sudeste do Brasil*. 2006. Tese (Doutorado) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- RUIZ, A. S. *Contribuição a Geologia do Distrito da Cachoeirinha, MT*. 1992. 98 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo.
- RUIZ, A. S. *Evolução geológica do sudoeste do Cráton Amazônico região limítrofe Brasil-Bolívia – Mato Grosso*. 2005. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro.
- RUIZ, A. S.; Simões, L. S. A.; Almeida, H. L.; Godoy, A. M.; Manzano, J. C. Análise estrutural do Batólito Santa Helena: implicações sobre a evolução tectônica do SW do Cráton Amazônico durante as orogenias San Ignácio-Rondoniano e Sunsás-Aguapeí. In: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, X, e International Symposium on Tectonics, IV, 2005. *Boletim de Resumos Expandidos*, Curitiba: 2005, p. 411-417.
- RUIZ, A. S.; SOUZA, M. Z. A.; SIMÕES, L. S. A.; MATOS, J. B.; GODOY, A. M.; RUIZ, L. M. B. Aspectos petrográficos e estruturais da porção meridional do Batólito Santa Helena – SW do Cráton Amazônico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, XLII, 2004. *Anais...* Araxá: 2004. V. S-07, p. 166-167.
- SAES, G. S.; LEITE, J. A. D.; WESKA, R. K. Geologia da Folha Jauru (SD. 21-Y-C-III): uma síntese dos conhecimentos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33. 1984, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: SBG, 1984. v. 5, p. 2193-2204.
- SLAVEC, G.B.; MANTOVANI, M.S.M.; SHUKOWSKY, W. Contribuição ao estudo do complexo de Juquiá. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 31, n. 2, p. 203-210, 2001.
- SOUZA, M. Z. A.; RUIZ, A. S.; MATOS, J. B.; GODOY, A. M.; SIMÕES, L. S. A.; ARAÚJO-RUIZ, L. M. B.; BATATAS, M. E. F. O batólito Santa Helena, SW do Cráton Amazônico – MT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 10., 2005, Porto de Galinhas, Pernambuco. *Anais...* Porto de Galinhas: Sociedade Brasileira de Geoquímica, 2005, CD Room.
- TAUXE, L. *Lectures in paleomagnetism*. 2005. Disponível em: <<http://earthref.org/MAGIC/books/Tauxe/2005/>>. Acesso em: 06 jan. 2011.

TEIXEIRA, W.; GERALDES, M. C.; D'AGRELA-FILHO, M. S.; SANTOS, J. O. S.; BARROS, M. A. S.; RUIZ, A. S.; COSTA, P. C. C. Mesoproterozoic juvenile mafic-ultramafic magnetism in the SW Amazonian Craton (Rio Negro-Juruena province): SHRIMP U-Pb geochronology and Nd-Sr constraints of the Figueira

Branca Suite. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 32, p. 309-323, 2011.

TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E.; KEYS, D. A. *Applied geophysics*. 2nd ed. Nova York: Cambridge University Press, 1990. 770 p.