

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA
DEPARTAMENTO DE PALEONTOLOGIA E ESTRATIGRAFIA**

MARIANA DE LIMA ALMEIDA

**CARACTERIZAÇÃO GEOFÍSICA DE ANOMALIAS DE OURO NA REGIÃO DE
MORRO REDONDO (RS) E SUA POTENCIAL RELAÇÃO COM DEPÓSITOS DO
TIPO *IRON OXIDE COPPER AND GOLD* (IOCG)**

PORTO ALEGRE

2017

MARIANA DE LIMA ALMEIDA

CARACTERIZAÇÃO GEOFÍSICA DE ANOMALIAS DE OURO NA REGIÃO DE MORRO REDONDO (RS) E SUA POTENCIAL RELAÇÃO COM DEPÓSITOS DO TIPO *IRON OXIDE COPPER AND GOLD* (IOCG)

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientadoras: Prof^a. Dr^a. Juliana Charão Marques
Prof^a Dr^a Maria Luiza Correa da Camara Rosa

PORTO ALEGRE

2017

Almeida, Mariana de Lima

Caracterização geofísica de anomalias de ouro na região de Morro Redondo (RS) e sua potencial relação com depósitos do tipo Iron Oxide Copper and Gold (IOCG). / Mariana de Lima Almeida. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2017.

[74 f.] il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2017.

Orientadoras: Juliana Marques

Maria Luiza Correa da Camara Rosa

1. Geofísica. 2. Depósitos de IOCG. 3. Morro Redondo.

I. Título.

CDU 550.8

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Sibila Francine T. Binotto

CRB 10/1743

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso **CARACTERIZAÇÃO GEOFÍSICA DE ANOMALIAS DE OURO NA REGIÃO DE MORRO REDONDO (RS) E SUA POTENCIAL RELAÇÃO COM DEPÓSITOS DO TIPO *IRON OXIDE COPPER AND GOLD* (IOCG)** elaborado por MARIANA DE LIMA ALMEIDA, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Dr^a Silvana Bressani Riffel.

Dr. Nelson Lisboa

Dr. Leonardo Renner

PORTO ALEGRE, DEZEMBRO DE 2017.

Eu dedico este trabalho a todas as mulheres, em especial à minha mãe, Vera.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe Vera por ser minha maior inspiração. Como mulher trabalhadora e mãe dedicada. Te agradeço por ser luz em nossa família e pela tua capacidade de amar incondicionalmente. Agradeço ao meu pai Edson pela sua alegria e parceria. Tua amizade é muito importante para mim. Quero agradecer a minha vó Gercy que amo muito e me orgulho por termos nos escolhido como vó e neta. Agradeço ao meu irmão Matheus por todo o carinho.

Agradeço as minhas amigas maravilhosas que me ajudaram no meu crescimento pessoal durante esse ano e são as maiores alegrias da minha vida. Agradeço também aos meus amigos queridos que tanto amo.

Agradeço aos colegas de geologia pela amizade que construímos ao longo desses seis anos. Não esquecendo as professoras e professores pelo conhecimento em sala de aula e no campo. Agradeço principalmente a Professora Maria do Carmo, por ser tão atenta aos seus alunos da graduação.

Agradeço as minhas orientadoras maravilhosas por me incentivarem durante este trabalho. Foi um grande crescimento para mim trabalhar com vocês!

Agradeço também ao Gabriel Bertoldo e ao Jeferson Karczenski pela ajuda que precisei em muitos momentos deste trabalho.

Agradeço as colegas da DISA que amo e sempre estão em meu coração. Marcaram este ano!

RESUMO

Na região da cidade de Morro Redondo, sudeste do RS, foram identificadas, em sedimentos de corrente e concentrados de bateia, anomalias geoquímicas de ouro, níquel, cobre e urânio (U). Para testar a hipótese de que a presença desses elementos esteja relacionada a processos magmático-hidrotermais, como o do tipo *Iron Oxide Copper and Gold* (IOCG), foram utilizados os métodos geofísicos de magnetometria e gamaespectrometria. Esses métodos foram aplicados com a finalidade de localizar corpos máficos, litologias indicativas de urânio e estruturas, indicativos dessa relação. A análise foi realizada em duas etapas, sendo elas: uma regional, através de dados aerolevantados, e outra de detalhe, com a medição e descrição de alvos em campo. Os alvos consistiram em afloramentos, nos quais foram realizadas medidas por ambos os métodos, com descrição macroscópica e coleta de amostras para detalhamento em laboratório. Através da análise integrada dos métodos, foram definidos três tipos de anomalias geofísicas, denominadas A, B e C. A Anomalia A foi associada a corpos máficos; um desses corpos não constava no mapeamento geológico e foi denominado Passo do Vieira. Outras anomalias com características similares foram identificadas, ainda que não tenham sido encontrados afloramentos. A Anomalia C indica a presença de teores elevados de U. Desta forma, a aplicação integrada de métodos geofísicos auxilia na relação entre as anomalias e as estruturas presentes na área, em escala regional e de afloramento, subsidia, assim, a hipótese de que as anomalias geoquímicas previamente identificadas estejam relacionadas a processos magmático-hidrotermais com formação de depósitos do tipo IOCG.

Palavras-Chave: Depósito IOCG. Geofísica. Prospecção. Fe-Cu-Au. Controles

ABSTRACT

Gold, Nickel Copper and Uranium (U) geochemical anomalies have been found on stream sediments and pan concentrates in the Morro Redondo City region, Southeastern of State of Rio Grande do Sul. This work employed magnetometric and gamma spectrometric geophysical methods, in order to check the hypothesis that these elements are related to hydrothermal magnetic processes, such as the Iron Oxide Copper and Gold (IOCG). These methods were applied to define mafic bodies, index Uranium lithologies and structures. The analysis was based on two main following steps: a regional first one by using aeromagnetic acquired data; and a second detailed one by measuring and describing the fieldwork target points. Both methodological measurements were made on the target outcrops by macroscopic description and later laboratory observation. The integration of these methods analysis defined three types of geophysical anomalies, named A, B and C. The A Anomaly was associated to mafic bodies; one of these bodies was not in the geological mapping and it was called Passo do Vieira. Other similar anomalies were identified, even though no outcrops were found. The C Anomaly indicated high concentration of U. Hence, the application of integrated geophysical methods helps in the correlation between the anomalies and structures found in this area, in a regional and outcropping scales, supports the hypothesis that the previously identified geochemical anomalies are related to hydrothermal magnetic processes with the IOCG type of deposits.

Keywords: IOCG deposits. Geophysics. Prospection. Fe-Cu-Au. Controls

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	13
3. LOCALIZAÇÃO E CONTEXTO GEOLÓGICO	13
3.1 Estudos de Potencialidade Metalogenética por meio da Prospecção Geoquímica	16
3.2 Aspectos Gerais sobre Depósitos <i>IOCG</i>	19
4. METODOLOGIA	21
4.1 Origem de Dados Aerogeofísicos.....	21
4.2 Aeromagnetômetros e Aerogamaespectrômetros.....	23
4.3 Gamaespectrometria	23
4.3.1 Correção de Dados Gamaespectrométricos	26
4.3.2 Interpolação e Contorno	28
4.3.3 <i>GRIDS</i> Interpretativos.....	29
4.3.4 Premissas para Interpretação de <i>GRIDS</i>	30
4.4 Magnetometria.....	32
4.4.1 Correção dos Dados Magnetométricos	33
4.4.2 Processamento das Anomalias	35
4.5 Verificação de Campo	35
4.6 Dados de Laboratório.....	36
5. RESULTADOS	36
5.1 Mapas Aerogeofísicos	37
5.1.1 Mapa de <i>K</i> (%).....	37
5.1.2 Mapa de <i>U</i> (ppm)	39
5.1.3 Mapa de <i>Th</i> (ppm)	41
5.1.4 Mapa Ternário	43
5.1.5 Mapa Magnetométrico (<i>nT</i>)	45
5.1.6 Mapa de Modelo Digital de Superfície (<i>m</i>).....	47
5.2 Identificação de Anomalias Aerogamaespectrométricas	49
5.3 Levantamento de Campo	55
5.4 Petrografia.....	64
6. DISCUSSÕES	69
7. CONCLUSÕES	72

8. REFERÊNCIAS73

1. INTRODUÇÃO

Anomalias de ouro na região de Morro Redondo, porção sudeste do Escudo Sul Riograndense, foram reveladas por trabalho recente de Garcia (2017). Através de dados geoquímicos da CPRM, que estão disponibilizados no GEOSGB, onde consta um grande acervo de dados e informações geológicas e do território brasileiro. Foi identificada a presença de elementos anômalos na porção leste do Cinturão Dom Feliciano, a partir de amostras de sedimentos de corrente e concentrados de bateia. Com base nestes dados podem-se relacionar anomalias de ouro, cobalto, cobre, ferro, níquel e urânio, que correspondem a elementos esperados em depósitos *Iron Oxide Copper and Gold (IOCG* – óxido de ferro, cobre e ouro). Assim, abre-se espaço para discussões sobre a origem desses teores anômalos, qual a classe de depósito que o gerou, quais seus controles, e se podem ser economicamente exploráveis no futuro.

Os depósitos *IOCG* são depósitos de escala crustal, enriquecidos de Fe, Cu, Au e ETR leves. São formados por processos magmático-hidrotermais, tendo Cu e Au como metais econômicos, associados a alterações de sódio (Na) e potássio (K). Contêm abundantes óxidos de Fe de baixo Ti, e minerais ferrossilicáticos. Essa classificação distingue esses depósitos de outros depósitos hidrotermais ricos em Cu - Au erroneamente qualificados como *IOCG*. Considerando que este é um amplo grupo, há dificuldades de desenvolver um modelo robusto de exploração *IOCG*.

Através de dados geofísicos, que compreendem magnetometria e gamaespectrometria, buscou-se identificar anomalias que pudessem indicar a presença de elementos e litologias potencialmente associadas com *IOCG*, tais como U e corpos intrusivos de composição máfica a ultramáfica, característica relevante em áreas conhecidas por hospedar depósitos tipo *IOCG*, como Carajás.

A perspectiva deste trabalho é importante devido ao fator econômico envolvido e a possibilidade de gerar informações para possíveis trabalhos de exploração. Sob o aspecto acadêmico, procurou-se testar a eficiência dos métodos geofísicos neste contexto, através da correlação entre as anomalias geoquímicas e a identificação de estruturas e litologias, integrando informações já existentes com novas informações.

2. OBJETIVOS

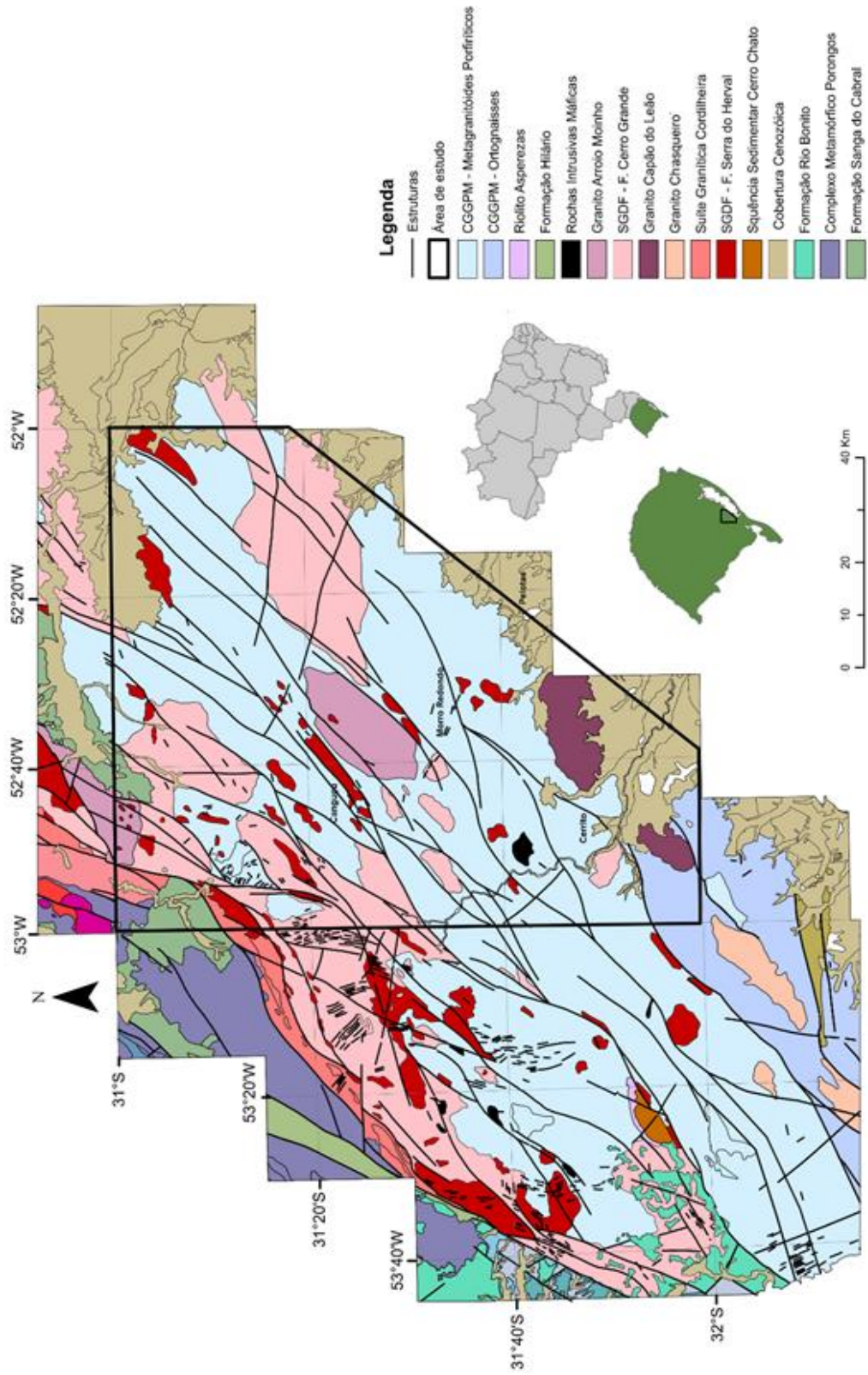
O objetivo geral deste estudo foi avaliar a possibilidade de que as anomalias geoquímicas encontradas na região de Morro Redondo (RS) sejam indicadoras de um sistema de depósito IOCG. A diversidade geológica, em contraste com a similaridade geoquímica desses depósitos, contribuiu para multiplicar e refinar as hipóteses de gênese que ainda são discutidas. Neste sentido, foram aplicados métodos geofísicos e integradas informações de campo, constituindo um segundo objetivo, que é o de avaliar o potencial dos métodos na identificação de litologias potencialmente associadas a depósitos IOCG.

3. LOCALIZAÇÃO E CONTEXTO GEOLÓGICO

O município de Morro Redondo está situado na porção leste do Escudo Sul Riograndense, representado na Figura 1, localizado a oeste da cidade de Pelotas. O Escudo Sul Riograndense é formado, a oeste, pelo núcleo cratônico Rio de La Plata, integrado por múltiplas colagens orogênicas em sua porção oriental (PHILIPP, 1998), compondo o Cinturão Dom Feliciano. Essas rochas possuem idade Brasileira, e foram subdivididas por Fernandes et al. (1995) em domínios ocidental, oriental e central. O domínio oriental corresponde ao Batólito Pelotas (Fragoso-Cesar, et al. 1986), constituído, predominantemente por granitóides orogênicos a tardi-orogênicos.

A área estudada está localizada no domínio oriental, representado por unidades apresentadas na Figura 2, tendo como principais o Complexo Granito-Gnássico Pinheiro Machado (CGGPM), com unidades de cristalização Pb-Pb (*TIMS*) entre 625-610 Ma (Philipp et al. 2002), e SHRIMP U-Pb em zircão, com respectivamente 781 ± 5 Ma e 609 ± 17 Ma (Silva et al., 1999). Engloba, também, a Suíte Granítica Dom Feliciano (SGDF), que corresponde a unidade tardi-orogênica, com idades de cristalização isocrônicas Rb-Sr, em rocha total, de 544 ± 5 Ma (SOLIANI, 1986) e 550 ± 6 Ma, por (FRAGOSO-CESAR, 1991). O processo evolutivo do Escudo Sul Riograndense é complexo, resultante de inúmeros processos tectônicos, com adição de vários ciclos magmáticos que originaram as suítes graníticas (Fragoso-Cesar et al. 1986).

Figura 1: Mapa geológico da área de estudo, ilustrando a relação de proximidade com as rochas intrusivas máficas mapeadas.



Fonte: adaptado de CPRM (2010).

Segundo a CPRM (2000), o CGGPM é descrito como uma unidade de metagranitóides porfiríticos, ortognaisses granodioríticos a monzograníticos, gnaisses granodioríticos e tonalíticos, além de enclaves variados. Ao passo que a SGDF é subdividida nessa região em fácies sieno e monzogranítica. A fase sienogranítica foi descrita como *stocks* sienograníticos alongados NE-SW, já os monzogranitos são normalmente porfiríticos, com fenocristais de feldspato alcalino imersos em matriz média a grossa. Contudo, é importante destacar que os granitos observados, muitas vezes não correspondem aos descritos nos mapas regionais.

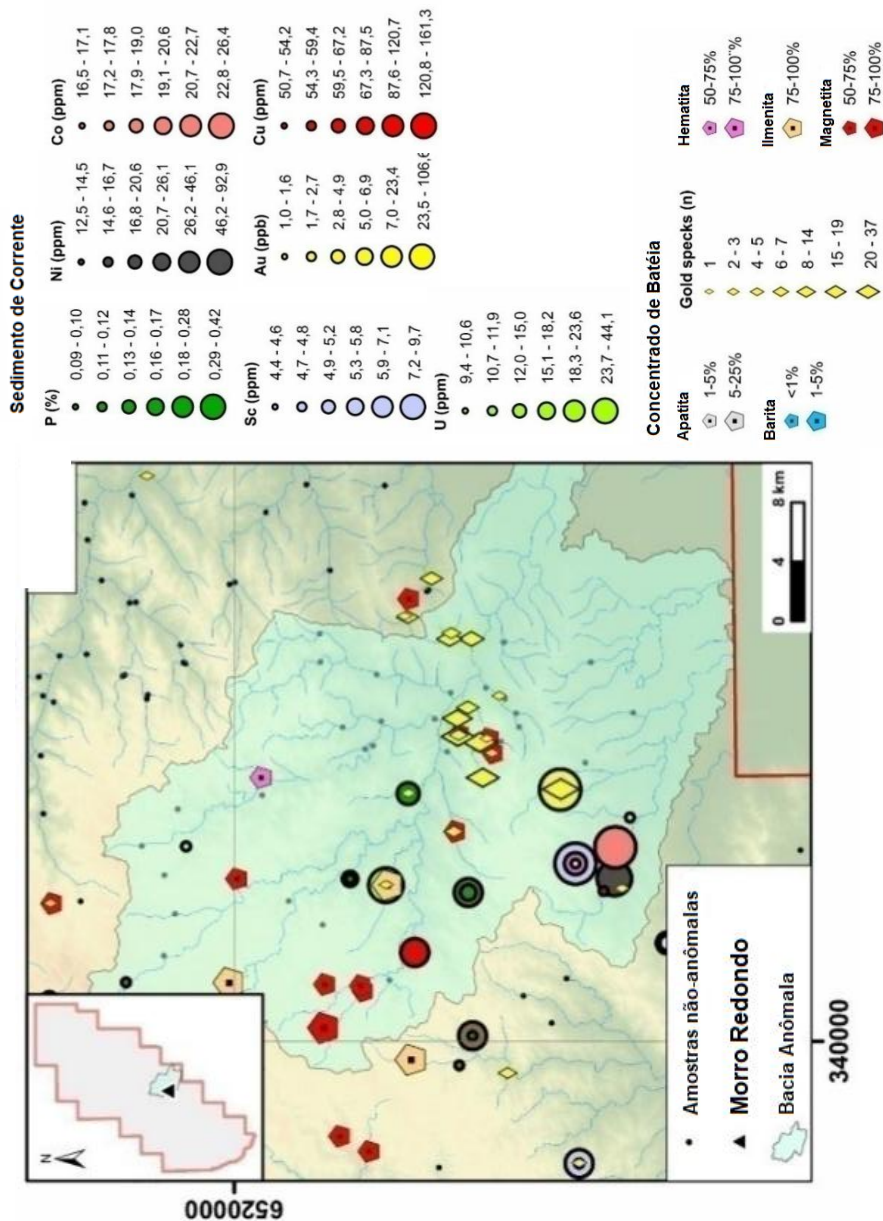
A ocorrência de rochas máficas na porção leste do Escudo Sul Riograndense pode estar associada a depósitos IOCG estarem fundamentalmente relacionada a este fator. Fragoso-Cesar et al. (1986), descreveram, pela primeira vez, a existência de rochas máficas próximas a Pinheiro Machado, e relacionadas às falhas transcorrentes NE-SW. Sendo, posteriormente, denominadas Gabro Passo da Fabiana por Fragoso-Cesar (1991). Ramgrab et al. (1994), propuseram que as ocorrências fossem divididas em Gabro Passo da Fabiana e Diorito Capim Branco. Posteriormente, a partir de dados mineralógicos, os mapeamentos subsequentes agruparam-nas em *Intrusivas Máficas* (CPRM, 2000), até serem denominadas, indiscriminadamente, Gabro Passo da Fabiana (CPRM, 2005).

De acordo com dados da CPRM (2000), existem oito ocorrências de rochas intrusivas máficas na região próximo ao município de Pinheiro Machado e arredores, caracterizados na Figura 1. Utilizando a definição de Ramgrab et al. (1994), considerando a separação dos corpos em duas associações que podem ser definidas: Associação I, de composição gabróica, compreende o Gabro Passo da Fabiana, Passo da Olaria, Arroio Santa Fé e Desvio Herval. Já a Associação II é diorítica a gabróica, e compreende as ocorrências do Alto Alegre, Passo dos Machados e Campo Bonito. A unidade com maior relação de proximidade da região de Morro Redondo é representada pelas rochas dioríticas Alto Alegre, com dimensões mapeadas de até 9 km de extensão. O Alto Alegre é controlado por lineamentos estreitos ENE-WSW, marcados por altos magnéticos de orientação ENE-WSW e E-W. Possui geometria condicionada pelo ajuste das zonas de cisalhamento transcorrentes, comuns nessa região, e segundo a definição de Barbosa et al. (2017), representa um hornblenda diorito.

3.1 Estudos de Potencialidade Metalogenética por meio da Prospecção Geoquímica

Garcia (2017) discute avaliações de potencialidade metalogenética da porção leste do Cinturão Dom Feliciano. A partir da análise de dados geoquímicos da CPRM (2010) obtidos no programa “Prospecção no Cinturão Dom Feliciano”, ilustrado na Figura 2, propõe a interpretação e definição de regiões com anomalias geoquímicas e que, desta forma, apoiado em mapas de densidade e de interpolação, possam indicar regiões com potenciais presenças de depósitos minerais.

Figura 2: Bacia de Morro Redondo com indicação dos elementos anômalo encontrados nos pontos amostrados pela CPRM e estudados por Garcia (2017). Localizados na porção leste do Cinturão Dom Feliciano.



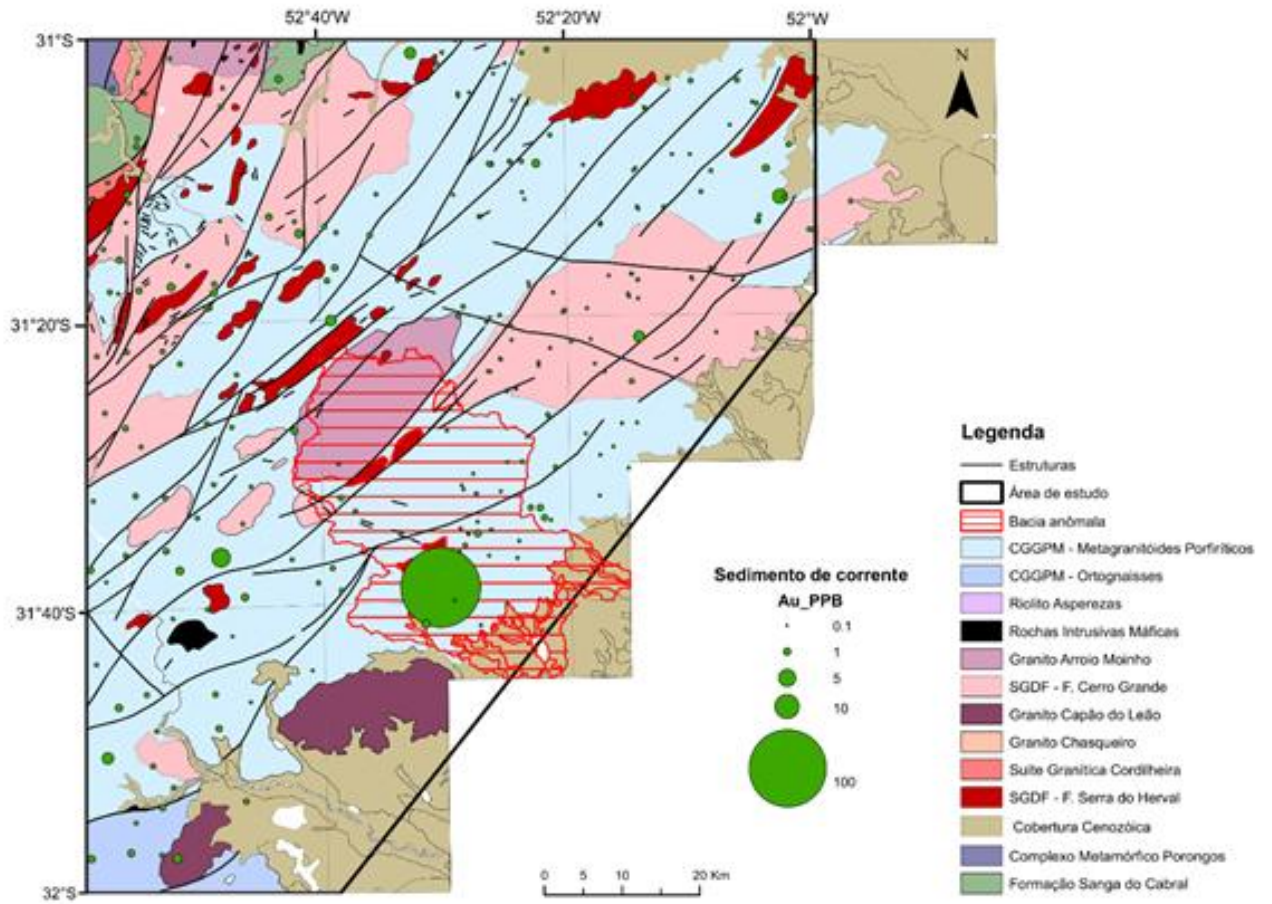
Fonte: extraído de Garcia (2017).

Garcia (2017) aponta mapas de distribuição de densidade dos elementos, ilustrando valores das concentrações dos elementos estudados. Dada a geologia do polígono de interesse, apontam-se os principais depósitos associados à sistemas magmáticos e seus processos hidrotermais: Pórfiro-epitermal, *IOCG* e Estanífero.

Óxidos de ferro, como hematita e magnetita, foram estudados por estarem intimamente relacionados a depósitos do tipo *IOCG* (WILLIAMS et al. 2005), bem como elementos farejadores de ouro. Áreas com possíveis assinaturas de substâncias/minerais considerados provenientes de depósitos *IOCG* são As, Au, Co, Cu, Fe, La, Mo, Ni, P, Sc, U, V, apatita, barita, hematita, ilmenita e magnetita associados a picos de ouro (WILLIAMS et al. 2005).

Segundo o autor, são reconhecidas nove bacias anômalas, entre elas uma próxima a cidade de Morro Redondo, ilustrada na Figura 3, definida pelo Arroio Pelotas e seus afluentes, a qual representa a área de estudo desta pesquisa, com aproximadamente 1028 km². Na bacia estudada nesta pesquisa, Garcia (2017) analisou 65 amostras de sedimento de corrente, que apresentam anomalias significativas de Au, Co, Cu, Fe, Ni e U. Garcia (2017) obteve valores de cobalto (Co) com composição de até 26,1 ppm, e o níquel (Ni) com valores de 46,1 ppm. Não possui As e Mo acima do limite. Os dados de concentrado de bateia apresentaram ouro (Au) como o teor anômalo mais alto dentre os observados, bem como óxidos de ferro (hematita e magnetita) relevantes.

Figura 3: Mapa da delimitação da bacia de Morro Redondo dentro da área de estudo com os teores anômalos de Au.



Fonte: modificado de CPRM (2010).

3.2 Aspectos Gerais sobre Depósitos *IOCG*

Estudos de prospecção mineral na porção oriental do Cinturão Dom Feliciano foram preteridos historicamente devido a sua composição representar, majoritariamente, rochas granitóides em terreno granito-migmatítico com baixas perspectivas geoeconômicas.

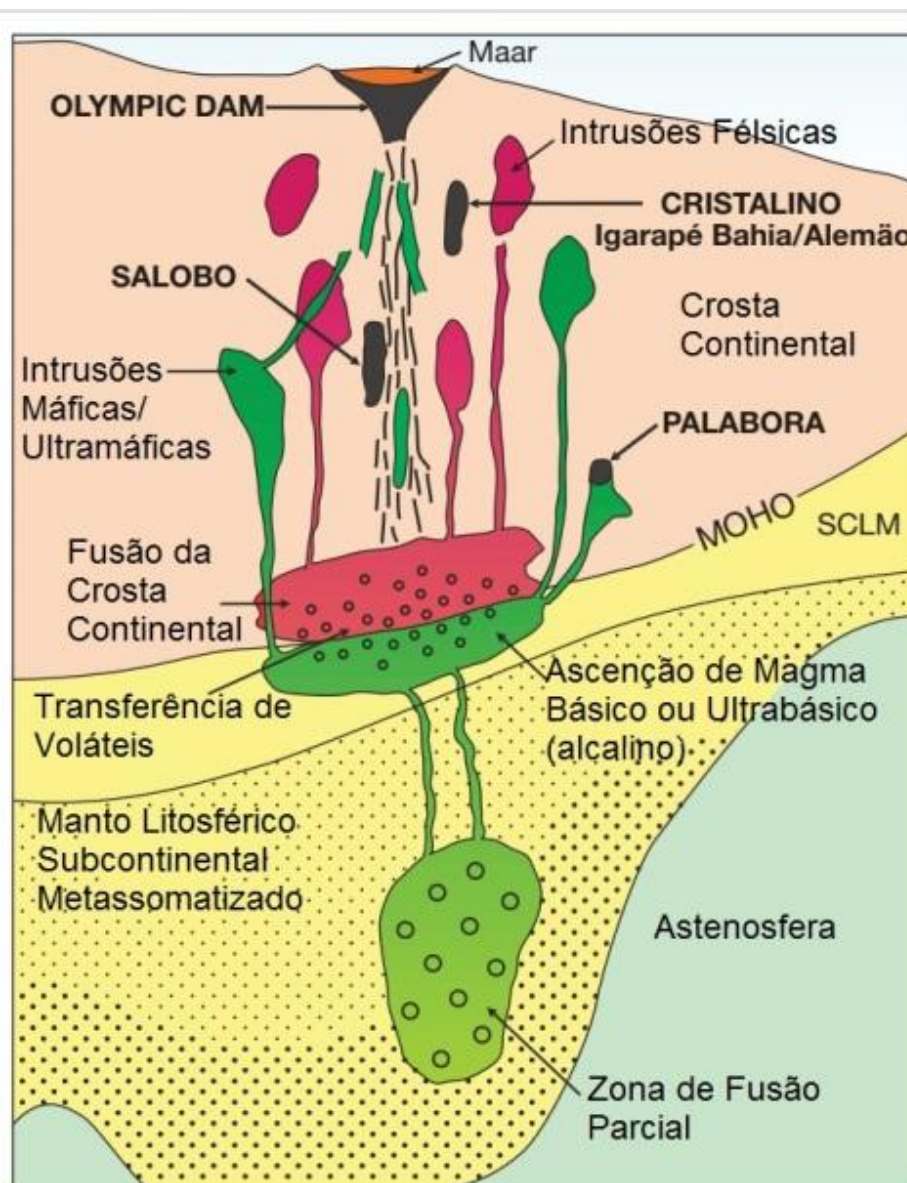
Os depósitos do tipo *iron oxide copper-gold (IOCG)* são depósitos hidrotermais caracterizados por precipitação hidrotermal abundante e mais de 10% de magnetita e/ou hematita associada a sulfeto de Cu, Fe e Au. Possuem características distintas impossíveis de encaixá-lo em algum modelo. Apresentam baixo nível de compreensão, porém configuram uma classe variada de depósitos minerais que são fundamentalmente controlados pela química dos fluidos hidrotermais, incluindo diversos sistemas de mineralizações, sendo identificados em todos os continentes (HITZMAN, 2000), e presentes em idades Arqueanas a Pliocênicas. Sua assinatura geoquímica é muito específica, com baixo conteúdo de enxofre (S), baixo conteúdo de Ti nos óxidos, e enriquecimento de F, P, Co, Ni, Mo, Ag, LREE e U, com importante energia relacionada a corpos ígneos básicos (GROVES et al. 2010) ou associada à evolução bacinal. Possuem forte controle estrutural, e compõem estruturas em brechas, veios, e zonas de substituição, exibindo *traps* predominantemente químicas que geram misturas do fluido hidrotermal precipitando U, sulfetos de Cu e Au (HITZMAN; VALENTA, 2005).

Em escala regional apresentam uma ampla associação com atividade ígnea em espaço/tempo, ao contrário do que ocorre com depósitos do tipo Skarn e do tipo Pórfiro. As rochas hospedeiras desses depósitos podem ser de composição variada, sendo afetadas por intensa oxidação causada pelos fluidos salinos e oxidados. *Traps* predominantemente químicas geram misturas do fluido hidrotermal que precipita U, sulfetos de Cu e Au (HITZMAN; VALENTA, 2005). São caracterizados por extenso metassomatismo alcalino (N e/ou K), com características sódico-cálcicas regionais em níveis crustais intermediários, e ferro-potássicas em níveis crustais rasos. Possuem morfologia altamente variável. O principal depósito *IOCG* Cu-Au é o Grawler Craton - Olympic Dam, descrito por Hitzman et al. (1992), e no Brasil um importante depósito *IOCG* fica em Carajás - Salobo, datado com idades Neoarqueanas.

A Figura 4, de Groves et al. (2010), representa a geração desses depósitos a partir de um mecanismo de metassomatismo do manto antes da geração magma. O metassomatismo transforma e hidrata o manto durante um processo geológico relacionado à orogênese, este ascende e se acumula no manto superior próximo à base da crosta, gerando magma máfico. A partir do acúmulo de magma máfico ocorre, como consequência, fusão da crosta, devido à sua

alta temperatura, produzindo magmas félsicos. Os dois magmas interagem, resultando em magmas salinos que transportam metais mais facilmente. A mistura de fluidos desses diferentes magmas é muito importante para precipitação do metal. O que vai promover a concentração de metal é o mecanismo de mistura de fluidos, principalmente se houver controle por alguma estrutura.

Figura 4: Diagrama esquemático exibindo o modelo de gênese de depósito IOCG. Aponta graus de fusão parcial do manto litosférico subcontinental que geram rochas máficas a ultramáficas, com provável afinidade alcalina e enriquecimento em voláteis, Cu e Au. A figura exemplifica jazidas conhecidas como Olympic Dam (Austrália), Salobo (Brasil), Cristalino (Brasil) e Palabora.



Fonte: modificado de Groves et al. (2010).

4. METODOLOGIA

O trabalho foi dividido em três etapas. A primeira consistiu na obtenção, processamento e análise de levantamentos aerogeofísicos pré-existentes; a segunda etapa foi composta por atividades de campo, com auxílio de sensores geofísicos portáteis, descrição de afloramentos e coletas de amostras; e a última etapa consistiu em um detalhamento através de análises petrográficas ópticas e microscópio eletrônico de varredura (MEV), além da realização da análise integrada.

4.1 Origem de Dados Aerogeofísicos

O *Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul*, de 2010, executado pela CPRM - Serviço Geológico do Brasil em parceria com a LASA Prospecções S.A. realizou o serviço de aquisição e processamento de dados aeromagnetométricos e aerogamaespectrométricos de alta resolução. O levantamento aéreo da região do Estado do Rio Grande do Sul contou com 3 aeronaves da empresa LASA Prospecções S.A.: Cessna C-208B - Caravan, prefixo PR-SSB, Cessna C-208B - Caravan, prefixo PT-MEP, e Piper Navajo - PA31, prefixo PT-WOT, durante os dias de 20 de fevereiro de 2010, até 18 de agosto do mesmo ano, totalizando 159.789, 21 km de perfis. Foram usados magnetômetros de bombeamento ótico de vapor de césio (SCINTREX CS-2), e gamaespectrômetros (EXPLORANIUM GR-820 e RADIATION SOLUTIONS INC./RS500), de 256 canais espectrais, bem como o GPS com receptores de 12 canais com correção diferencial “*realtime*” modelo TRIMBLE AgGPS132, e precisão melhor do que 5 m (CPRM, 2010).

Segundo CPRM (2010), a aquisição dos dados foi executada a partir de linhas de voo e controle espaçadas de 500 m a 10 km, respectivamente, orientadas nas direções N-S e E-W. A altura do vôo estipulada em 100 m sobre o terreno.

Figura 5: Em vermelho, a localização da área sobrevoada no Projeto Aerogeofísico do Escudo do Rio Grande do Sul. Mapa extraído do Relatório Final do Levantamento e Processamento de Dados Magnetométricos e Gamaespectrométricos, elaborado pela CPRM.



Fonte: CPRM (2010).

De acordo com CPRM (2010), as estações fixas para controle da variação diurna foram instaladas em Santa Maria e Pelotas (RS). As leituras dos gamaespectrômetros corresponderam a uma amostragem por segundo, e posicionadas com o GPS que garante precisão para o posicionamento.

As leituras do magnetômetro são realizadas a cada 0,1 segundo, o que equivale, para a média de velocidade de 230 km/h, a aproximadamente 6,5 m no terreno, posicionadas com auxílio do GPS que garante precisão melhor do que 5 m. Os detectores do aerogamaespectrômetro devem ser calibrados empregando, tanto fontes padronizadas, de forma estática, com tanques referentes ao *background*, potássio, urânio e tório. Conta-se também, com a calibração dinâmica (*Dynamic Calibration Range - DCR*), que é realizada em levantamento terrestre (CPRM, 2010).

A etapa de processamento dos dados ocorreu pela realização da empresa LASA Prospecções S.A., através do *software Oasis Montaj 7.1.1* (GEOSOFT, 2005), utilizado para a apresentação dos resultados em forma de mapas geofísicos nas escalas 1:100.000, 1:250.000, e 1:500.000, arquivos de banco de dados, e grids (CPRM, 2010).

4.2 Aeromagnetômetros e Aerogamaespectrômetros

Os equipamentos de aeromagnetometria possuem um sistema aeromagnético que se localiza na cauda da aeronave, acoplado a um sensor de vapor de césio (tipo *stinger*). Através de um pré-amplificador o sinal é recebido, colocado na base do cone de cauda da aeronave, e enviado aos outros dados pelo sistema de aquisição FASDAS. Utiliza o sensor é o SCINTREX CS-2, que tem resolução de 0,001 nT, no qual a faixa é de 20.000 - 95.000 nT.

As leituras geradas pelo aeromagnetômetro foram realizadas a cada 0,1 segundo, contando com a velocidade de deslocamento da aeronave de 230 km/h, são realizadas medidas, a aproximadamente, 6,5 m. O sensor tem resolução de 0,001 nT, no qual a faixa é de 20.000 - 95.000 nT. Já o aerogamaespectrômetro é calibrado com fontes padronizadas estáticas, com refletores referentes ao *background* de cada radioelemento, bem como a calibração dinâmica (*Dynamic Calibration Range - DCR*), realizada em levantamento terrestre. As leituras são realizadas a cada segundo, realizando intervalos de amostragem de aproximadamente 65 a 75 m ao longo do terreno. O GPS com receptores de 12 canais e correção diferencial “*realtime*” modelo TRIMBLE AgGPS132, garante precisão melhor do que 5 m.

Os aerogamaespectrômetros operados consistem em 2 modelos, entre eles o *Exploranium GR-820* e o *Radiation Solutions Inc./RS500*. O modelo *Exploranium GR-820* analisa individualmente cada um dos espectros dos 256 canais espectrais a fim de determinar, precisamente, os fotopicos de potássio, urânio e tório. Com a intenção de manter o espectro permanentemente alinhado, é preciso aplicar uma correção linear individual a cada cristal, em seguida as radiações gama detectadas são somadas e as leituras reduzidas a uma única saída de 256 canais. As leituras são realizadas a cada segundo, realizando intervalos de amostragem de aproximadamente 65 a 75 m ao longo do terreno.

4.3 Gamaespectrometria

A partir da desintegração do núcleo de átomos de elementos radioativos é possível causar liberação energia através da emissão de partículas alfa (α), beta (β), e gama (γ). Esta instabilidade dos núcleos de átomos radioativos destes elementos é gerada em condições naturais. As principais fontes de radiação gama detectadas na superfície terrestre provém do

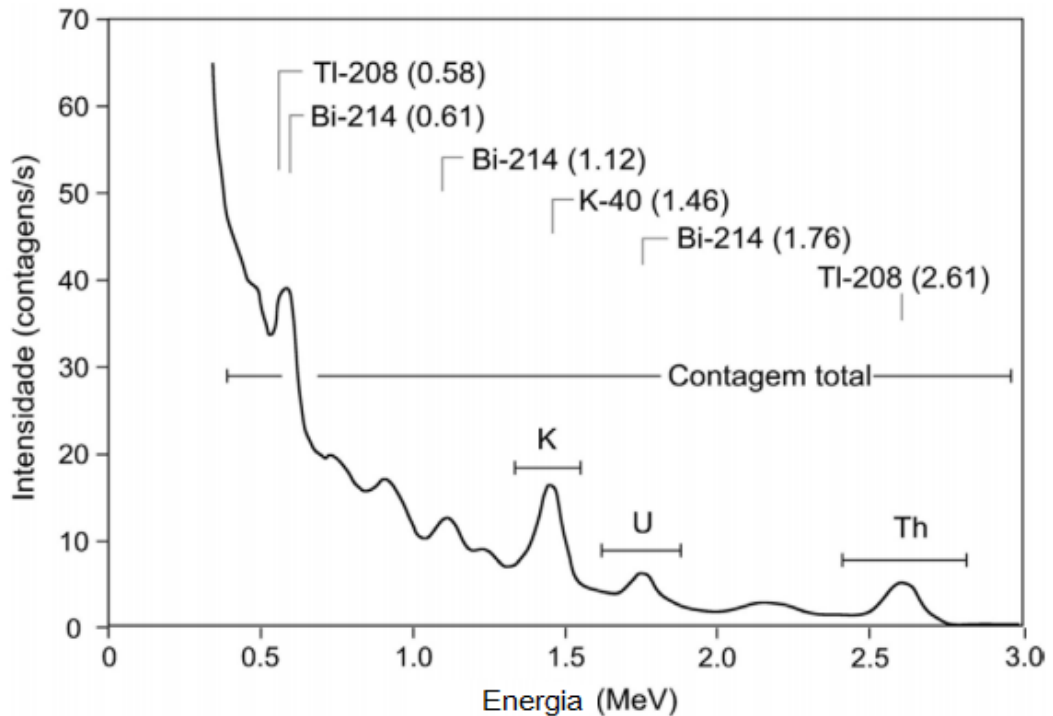
decaimento natural do potássio (^{40}K) e de elementos da série do urânio (^{238}U) e tório (^{232}Th) que são presentes na composição da maioria das rochas (COX, et al. 1979; TELFORD et al. 1990; DICKIN, 1995; FAURE, 1997). Contudo, esta emissão pode ser detectada somente para uma pequena espessura da camada rochosa mais superficial, até aproximadamente 30 cm (MINTY, 1998; ULBRICH et al. 2009).

As inúmeras variações das composições litológicas podem apresentar diferentes respostas gamaespectrométricas. Em uma determinada formação pode-se variar também devido à presença de falhamentos, diferenciação do magma, erosão, etc.

Este método conta com numerosas aplicações, como por exemplo, complementar mapeamentos geológicos, detectar depósitos hidrotermais, inferir área de contaminação por acidentes nucleares (evolução de pluma radioativa), e ainda podem ser citadas: caracterizar intrusões diferenciadas, definir possíveis pontos de afloramento de uma litologia, auxiliar a demarcação de limites geológicos, identificar áreas de alteração hidrotermal (muitas vezes associados com mineralização de Cu-Pb-Zn, ouro e prata), etc.

A contagem total (CT) representa a medida de raios gama na janela energética de 0,41 - 2,84 MeV, observadas na Figura 6, por meio da qual os elementos radiométricos são pertencentes a apenas um canal energético. Os raios gama relacionados ao potássio (^{40}K), ocupam o pico de 1,46 MeV, já os isótopos de urânio (^{238}U) e de tório (^{232}Th) não emitem radiação gama, mas é possível estabelecer uma estimativa de sua ocorrência devido a radiação atribuída pelos produtos resultantes de seu decaimento, como o ^{214}Bi que provém do decaimento do urânio com valor de 1,76 MeV, e o ^{208}Tl que é produto do decaimento do tório, com pico de 2,615 MeV (KAPLAN, 1955), em consequência disto, as concentrações destes elementos são descritas na literatura como, respectivamente, equivalente de urânio e equivalente de tório.

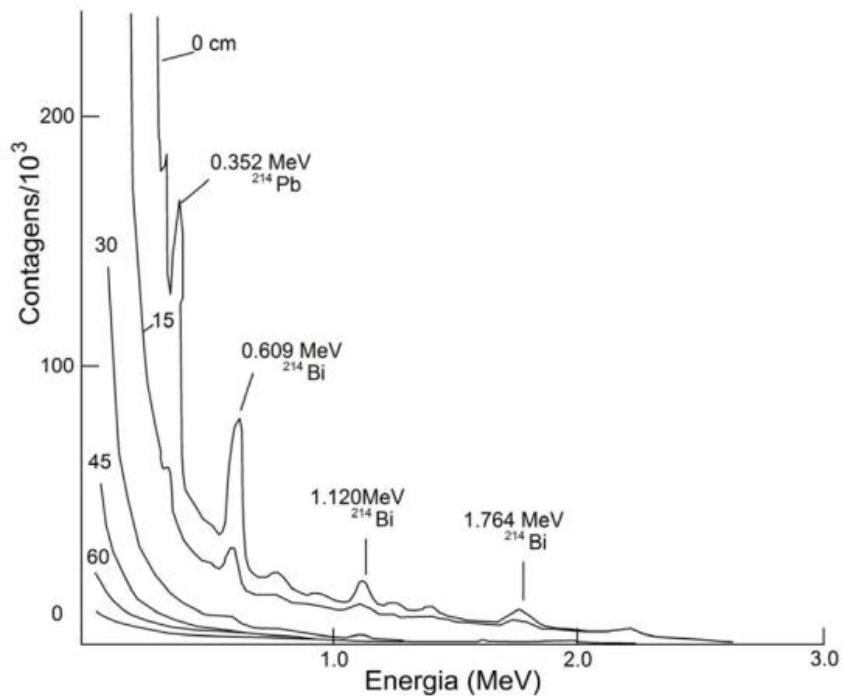
Figura 6: Espectros de radiação gama e posições da janela de energia para cada elemento e da contagem total.



Fonte: Adaptado de Foote, (1968).

A propriedade de penetrabilidade da radiação gama no solo é inversamente proporcional à densidade do meio, ou seja, qualquer matéria que esteja entre o emissor e o alvo pode influenciar a captação dos raios gama, as mais comuns são dadas pela cobertura do solo com até 35 cm de espessura, bem como a alta quantidade de água não radioativa podem atenuar em 95% a zero a emissão gama (Figura 7). A vegetação densa pode absorver radioatividade e reduzir as medidas em até 15%, já variação de temperatura atmosférica influencia a densidade do ar, bem como a umidade relativa que impede a dissipação do radônio, que é gerado pelo decaimento do urânio, causando falseamento de dados. Efeitos direcionais estão condicionados à variação topográfica, e são causados quando a janela de detecção não se encontra paralela ao plano de medição (RIBEIRO et al. 2014).

Figura 7 Ilustra a variação do espectro da contagem urânio em função do aumento da lâmina de água, de 0 a 60 cm.



Fonte: Adaptada de Dickinson et al. (1979).

4.3.1 Correção de Dados Gamaespectrométricos

Para os dados gamaespectrométricos, a empresa LASA Prospecções realizou as correções utilizando o *Oasis Montaj 7.1.1 (GEOSOF, 2005)*, obedecendo aos procedimentos recomendados pela Agência Internacional de Energia Atômica. As correções são muito importantes para evitar possível falseamento dos dados, como por exemplo, alguma contagem erroneamente elevada de algum elemento, levando a problemas de anomalias falsas e interpretação equivocada. Estas correções incluem tempo morto, aplicação de filtragem, cálculo da altura efetiva, remoção do *background* da aeronave e cósmico, remoção do *background* do radônio, estimativa dos coeficientes *Skyshine*, correção do efeito *Compton*, correção altimétrica (coeficiente de atenuação atmosférica), conversão para concentração de elementos, determinação das razões eU/eTh, eU/K, e Th/K. Como os dados não apresentaram efeito de paralaxe, não foi necessário a aplicação desta correção.

A Correção do Tempo Morto representa um pequeno intervalo entre os pulsos que atingem o detector, com frequência de até poucos segundos. Esse intervalo onde os pulsos que

atingem o detector não são medidos geram redução nas somas das contagens. Esta correção está integrada na divisão das contagens dos canais radiométricos pelo valor do *live time*, registrado pelo aparelho, normalizando, assim, os valores brutos dos canais.

A Aplicação de Filtragem é um procedimento que se atenta somente aos dados afetados por variações de alta frequência, como: dados do radar altímetro, do canal de radiação cósmica e de urânio *up*, utilizado no cálculo da influência do radônio nas medições. De acordo com o comportamento dos dados, são aplicados, possivelmente, dois tipos de filtragem: a filtragem não linear que permite remoção de *spikes* nos dados e a compensação de variações abruptas do radar altímetro; e a filtragem do tipo passa-baixa, que reduz o erro estatístico nos dados da radiação cósmica, suavizando o comportamento do radônio, podendo ser aplicado também, de maneira opcional, aos demais canais radiométricos (RIBEIRO et al. 2014).

O Cálculo da Altura Efetiva é importante pois a altura do voo é ajustada conforme a temperatura e a pressão ambientais. Esta correção é necessária devido à configuração acidentada da topografia, por isso os dados provenientes de aerolevantamentos devem referir-se à altura efetiva da aeronave. Isto implica em uma correção para compensar a atenuação dos resultados.

A Remoção do Background da Aeronave deve ser realizado pois o *background* é inferido pela contribuição dos efeitos causados pela aeronave nas medidas, e o *background* cósmico ocorre a partir da interação da radiação cósmica com moléculas da atmosfera, resultando em uma radiação secundária (RIBEIRO, et al. 2014). A calibração se dá a partir de um ambiente livre de fontes radioativas.

A Remoção do Background do Radônio ocorre, pois, o radônio livre ^{222}Rn é um elemento emissor de radiação gama da série do ^{238}U . Contudo, este elemento não apresenta concentrações homogêneas, podendo configurar um aumento de até 50% nas contagens associadas ao canal de urânio (RIBEIRO et al. 2014). O *background* do radônio é estabelecido a partir de medidas feitas na janela do urânio pelo detector *upward looking*, que são dispostos com a finalidade de separar a influência do radônio da radiação natural das rochas. Esta correção baseia-se na correlação entre U e Th da superfície, com medidas de U do *upward-looking*, possibilitando estimar os coeficientes *Skyshine* utilizados na correção.

A Correção do Efeito Compton é efetuada devido ao espalhamento de Compton gerado a partir da influência de raios gama oriundos dos produtos dos radioelementos (K, U e Th), que invadem as janelas de contagens destes elementos. O objetivo desta correção é impedir que este fator gere perda de parte da energia do fóton e seu “espalhamento” em um determinado ângulo de incidência (RIBEIRO et al. 2014).

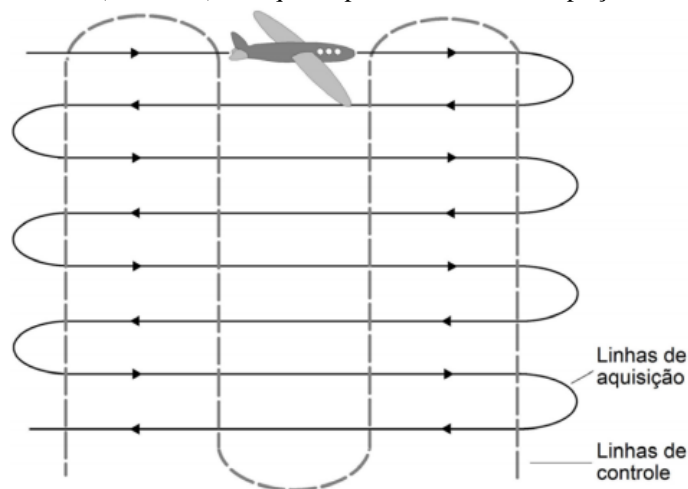
A Correção Altimétrica é efetuada através de sobrevoos, a correção altimétrica busca referenciar os valores radiométricos em relação à altura do aerolevante, possibilitando a eliminação de anomalias equivocadas que ocorrem em decorrência de terrenos acidentados (Ribeiro et al. 2014).

A Conversão para Concentração de Elementos é a contagem dos dados gamaespectrométricos brutos feita por unidade de tempo (cps), a partir de coeficientes de sensibilidade estabelecidos para os canais K, U e Th, que dependem de fatores geométricos, como o tipo de fonte e atenuação da altura. Estes cálculos são oriundos da comparação entre medidas aéreas e terrestres feitas sobre a mesma fonte.

4.3.2 Interpolação e Contorno

A geração dos *grids* foi efetuada no Departamento de Geodésia da UFRGS, a partir do mês de abril. Com a utilização do *software Oasis Montaj 6.4.2*, e a técnica de análise de tendência *Mínima Curvatura*. Este algoritmo de interpolação é o mais usual em trabalhos geofísicos, excelente para malhas regulares, como por exemplo, em levantamentos aerogeofísicos onde o percurso do avião foi realizado em malha quadradas de 125 x 125 m, equivalente a $\frac{1}{4}$ do espaçamento das linhas de vôo, como mostra na Figura 8.

Figura 8: Esquema de aerolevante. Representando as linhas de aquisição e as linhas de controle, conhecidas como *Ties* (amarras), as quais possuem maior espaçamento.



Fonte: Ribeiro et al. (2014).

A mínima curvatura ou *spline* é baseada em subconjuntos, onde divide polinômios de pequena ordem (até 3º grau) para cada subconjunto (diferentemente de outros métodos de interpolação polinomial, que utilizam apenas polinômios de alto grau) (RIBEIRO et al. 2014). Este modelo gera curvas mais suaves ao passo que é fidedigno com os dados. Possui boa convergência, aproximação precisa das derivações, e boa estabilidade na presença de erros de aproximação.

O *Oasis Montaj* permite produzir *grids* gerando visualizações com sombreamento (“*colour-shaded*”) visando destacar o contraste entre os valores máximo e mínimo. As escalas de cor mais comuns para a contagem de radioelementos é a “*colour.tbl*”, enquanto mapas topográficos utilizam “*elevation.tbl*”. Esta distribuição de cores é importante pois pode gerar falseamento na distribuição dos dados, podendo ocultar anomalias menos intensas. Os mapas de razões radiométricas permitem destacar anomalias com altas concentrações de cada elemento, e possibilita a interpretação da área de interesse.

4.3.3 GRIDS Interpretativos

Ao realizar a etapa interpretativa, é possível associar os diferentes mapas resultantes da etapa de processamento, tornando o produto final mais preciso e completo. Contudo, é necessário o conhecimento a respeito sobre as feições e litologias de interesse, e as respostas esperadas, bem como o domínio das ferramentas disponíveis, como os *softwares* específicos. O princípio do processo interpretativo dá-se através da produção de *grids*, por meio dos quais acontece a distribuição espacial das contagens dos radioelementos.

Para este trabalho foi elaborado, além dos mapas individuais de cada radioelemento, o mapa Ternário, que resulta da associação dos três elementos radioativos a uma determinada cor em padrão RGB (*red, green, blue*), estabelecendo a relação do potássio com a cor vermelha, do tório com a verde, e do urânio com a azul. A contagem elevada dos três elementos é representada pela cor branca, e baixa contagem é representada pela cor preta.

4.3.4 Premissas para Interpretação de GRIDS

4.3.4.1 Potássio (K%)

O potássio concentra-se na parte superior da crosta continental com valores de 2,32% K e 2,80% K_2O , representando altos teores. Sua ocorrência caracteriza associações minerais com feldspato potássico e seus polimorfos, micas, argilominerais, e minerais associados a processos de alteração hidrotermal. Está presente, em teores menos significativos, em piroxênios e anfibólios.

As rochas que contêm concentrações maiores de K são representadas por: rochas ígneas félsicas e seus equivalentes vulcânicos; rochas metamórficas micáceas, feldspáticas e quartzo-feldspáticas; sedimentos como folhelhos e argilitos (RIBEIRO et al. 2014). Em composições intermediárias, basálticas, ultramáficas e seus equivalentes metamórficos, a concentração de K é baixa. A elevada mobilidade do K causa um fácil lixiviamento de minerais primários quando afetado por intemperismo, relacionando-se a processos de alteração hidrotermal, é absorvido por argilominerais, principalmente sob condições climáticas tropicais a subtropicais.

4.3.4.2 Urânio (U ppm)

O urânio apresenta concentrações médias de 2,7 ppm (RUDINICK; GAO, 2004) na crosta continental superior, onde é mais abundante, existente em minerais acessórios de rochas ígneas e metamórficas, como em pegmatitos, sienitos, carbonatitos, granitos, gnaisses e alguns folhelhos (GUNN et al. 1997). É menos móvel que o potássio, porém continua sendo facilmente absorvido por argilominerais e co-precipitados com óxido de ferro nos solos (WILFORD et al. 1997).

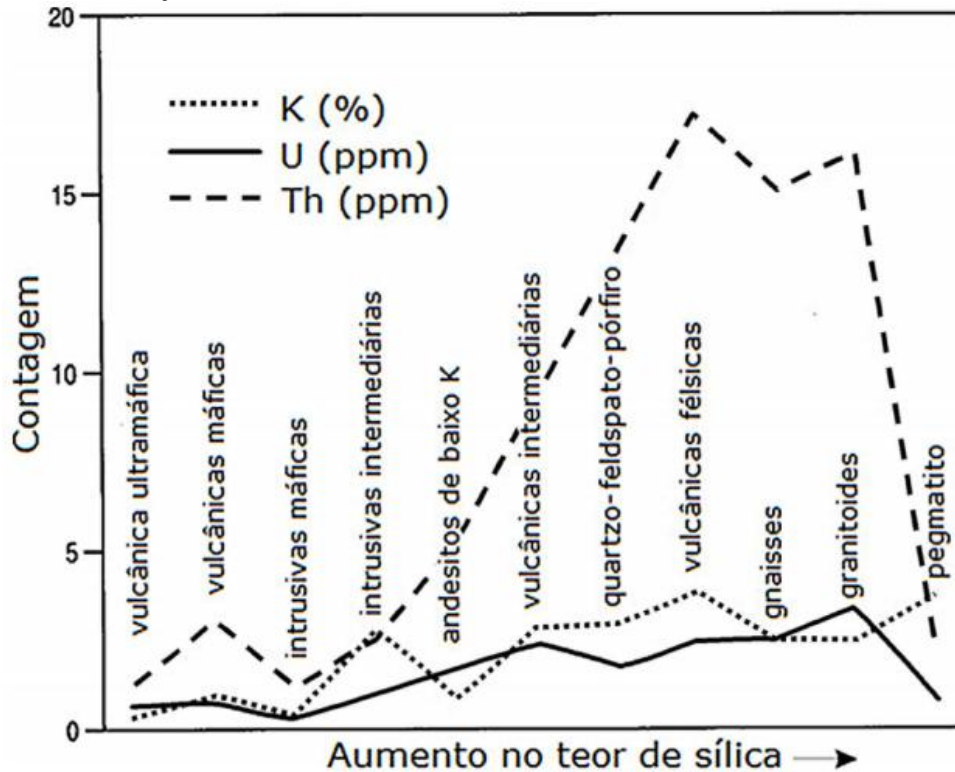
4.3.4.3 Tório (Th)

O tório pode atingir valores de concentrações de até 10,5 ppm na crosta continental superior (RUDINICK; GAO, 2004), e está, comumente, presente em minerais acessórios. Pode estar presente nos seguintes minerais: alanita, monazita, xenotima e zircão em níveis superiores a 1.000 ppm ou como vestígios de minerais formadores de rochas.

A solubilidade dos complexos de tório é baixa, exceto em caso de soluções ácidas, apresentando menor mobilidade entre os três radioelementos, diferentemente do urânio e do potássio que podem estar correlacionados. Este fenômeno, entre tório e potássio, é conhecido como antagonismo de Ostrovsky (1975) (RIBEIRO et al. 2014).

Os minerais com alto tório, como monazita e zircão, se acumulam em depósitos de areia compostos por minerais pesados, pois são estáveis durante o intemperismo. O tório livre que provém da quebra do mineral durante o intemperismo, é armazenado em óxidos-hidróxidos de Fe e Ti, ou em argilas coloidais. Rochas félsicas possuem teor mais elevado de Th (Figura 9).

Figura 9: Gráfico que ilustra a variação de teores médios de K (%), U (ppm) e Th (ppm) em rochas ígneas em relação ao teor de sílica.



Fonte: modificado de Dickson & Scott, 1997.

4.4 Magnetometria

O fluido formado pela fusão de ferro e níquel, no núcleo externo da Terra, gera correntes elétricas, e por consequência, um campo magnético interno. A alteração do campo magnético deve-se a características físico-químicas do planeta, à movimentação no seu interior, e às influências externas provindas da atividade solar. O campo magnético externo é dado pelos ventos solares e pela ionosfera, que é conhecida como a porção da atmosfera localizada entre 50 e 1.000 km de altitude, bem como o campo magnético crustal, que é gerado pelas rochas magnéticas da camada mais superficial da Terra.

Devido à rotação do núcleo interno terrestre e existência de correntes elétricas, a Terra possui comportamento de forma análoga a um dínamo, como um dipolo magnético, o qual estaria localizado no centro do planeta, e cujo eixo está orientado conforme a inclinação do eixo de rotação terrestre. Os pólos (norte e sul) são os locais de convergência das linhas de força do campo.

A indução magnética ou densidade de fluxo magnético (B) é uma propriedade ligada à densidade de linhas de força de um campo numa dada região do espaço. A medida da quantidade de linhas, em nanotesla (nT) no SI, é proporcional à intensidade do campo (H), dado em $A\,m^{-1}$ (Ampère por metro). Esta unidade é equivalente ao campo o valor unitário nesta unidade equivale ao campo estabelecido no centro de um elo de fio de raio r , pelo qual passa uma corrente i (RIBEIRO et al. 2014). Outra propriedade que pode ser obtida pelo método magnético é a permeabilidade. Esta é composta pela relação entre indução magnética e campo magnético.

As rochas contam com três tipos de magnetização: induzida, remanescente e viscosa. Esta representa a mudança gradual da polarização de acordo com a variação do campo magnético terrestre (RIBEIRO et al. 2014). A magnetização induzida é dada a partir da reação de cargas subatômicas (prótons e elétrons) do material em função de um campo externo aplicado. A magnetização remanescente, contudo, utiliza-se da propriedade dos materiais ferromagnéticos têm de conseguir reter a magnetização mesmo na ausência de campo magnético externo.

As rochas diamagnéticas possuem baixa intensidade e susceptibilidade magnética, com sentido oposto ao campo externo aplicado (RIBEIRO et al. 2014). Já as paramagnéticas se relacionam em função do desemparelhamento dos pares de elétrons, com intensidade maior em comparação às rochas diamagnéticas, e com a mesma orientação do campo. Sob a condição de

carência de um campo magnético externo, os minerais paramagnéticos apresentam magnetização espontânea, contudo, na presença de um, o alinhamento segue o sentido do campo. Os materiais ferromagnéticos possuem alinhamento do momento magnético e sua intensidade é maior. A magnetização remanescente, para corpos crustais, 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.

O IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*) é um modelo matemático do campo magnético da Terra, que prevê variações no campo magnético terrestre ao longo do tempo geológico, possibilitando a compreensão das trajetórias irregulares dos pólos sobre a superfície do planeta. O DGRF (*Definitive Geomagnetic Reference Field*) é a variação medida (RIBEIRO et al. 2014) e atualizada do IGRF.

As medidas de magnetometria são influenciadas por três fatores: o campo magnético terrestre, a magnetização das rochas e os campos magnéticos externos. Por isso é preciso fazer correções destas medidas, para então realizar a etapa de interpretação.

4.4.1 Correção dos Dados Magnetométricos

4.4.1.1 Correção do Erro de Paralaxe

É a correção responsável por anular o atraso entre o tempo de medição do magnetômetro e altímetro, em relação ao GPS. O processamento de dados brutos do magnetômetro de Césio pelo sistema de aquisição da aeronave gera um atraso de tempo nos dados magnetométricos compensados, bem como a posição da antena receptora do GPS em relação à posição do sensor magnetométrico. A correção determina apenas um reposicionamento temporal decorrente da calibração executada.

Não é adicionado nenhum valor ao campo magnético, e sim se desloca os valores em relação ao tempo em que foram amostrados os pontos, ou seja, sofre apenas um reposicionamento temporal (CPRM, 2010).

4.4.1.2. Remoção da Variação Magnética Diurna

Durante o dia ocorrem variações do campo magnético terrestre, geradas pela interação dos ventos solares e tempestades magnéticas, os quais são inferidos pelo magnetômetro terrestre para que sejam subtraídos das leituras do campo magnético. O resultado é subtraído algebricamente ao nível base, utilizando a hora da amostragem, com rigorosa precisão de décimos de segundo, definido em 28.708 nT para toda a área (CPRM, 2010). Os valores correspondem a intensidade do campo magnético corrigido da variação diurna.

4.4.1.3 Nivelamento dos Perfis

Consiste no ajuste das linhas de controle com a base na média das diferenças (ou diferença de 1ª ordem) com as linhas de vôo. Este procedimento assume que as diferenças estão distribuídas de forma aleatória, como um *trend* de no máximo 1ª ordem que define o desnível entre as linhas de vôo e controle.

O procedimento é feito em duas etapas: na primeira, as linhas de controle são niveladas aplicando-se valores que reduzem as diferenças com as linhas de vôo. A segunda, após o nivelamento das linhas de controle, todas as linhas de vôo são ajustadas às linhas de controle, de forma que os valores do campo magnético encontrado nos seus cruzamentos sejam equivalentes (CPRM, 2010).

4.4.1.4 Remoção do IGRF

Realizada no *Oasis Montaj*, a remoção do IGRF (Campo Geomagnético Internacional de Referência) é executada partindo-se da definição da superfície de tendência que expressa o comportamento do campo geomagnético internacional na área do projeto. Para o cálculo desta superfície, é definida a base do valor do IGRF, tendo sido considerada a altitude de 200 m, no ano de 2010, e atualizada para a data de 09/05/2010, época que o levantamento foi realizado (CPRM, 2010).

4.4.2 Processamento das Anomalias

A geração de *grids* foi realizada no Departamento de Geodésia da UFRGS, a partir do mês de abril, utilizando o *software Oasis Montaj 6.4.2*. Este trabalho aplica a técnica de Redução ao Polo (RTP) que consiste na aplicação de um filtro que recalcula a intensidade de dados como se estivessem localizados no polo. Assumindo-se que no polo a magnetização induzida é vertical, esse filtro objetiva auxiliar a interpretação, transformando a anomalia com caráter dipolar em anomalia monopolar. Essa filtragem consegue remover efeitos de distorção causados por variações da inclinação e azimute da magnetização.

4.5 Verificação de Campo

A partir de dados aerogamaespectrométricos e aeromagnetométricos corrigidos e processados, foram obtidos os mapas aerogeofísicos. Em campo, foi realizada a verificação da verdade terrestre com intuito de definir litologias presentes e avaliar a correlação com as anomalias geofísicas e geoquímicas. Para tanto, foram selecionados alvos com características diversas em relação a uma combinação de padrões encontrados nos mapas aerogeofísicos. Nesses alvos foram realizadas medidas com instrumentos portáteis de gamaespectrometria *SUPER-SPEC RS-125* da *RADIATION SOLUTIONS* e o susceptibilímetro KT-10.

Em cada alvo foram realizadas três medidas com os equipamentos sobre as rochas encontradas. Quando observadas variações litológicas no afloramento, foram realizadas novas medidas, com o intuito de caracterizar as variações presentes.

Posteriormente, em laboratório, foi elaborada uma planilha contendo o posicionamento espacial dos pontos medidos, os valores obtidos e aspectos relacionados às litologias encontradas. Essa planilha foi inserida em um Sistema de Informações Geográficas (SIG), utilizando o programa ArcGIS, módulo ArcMap. A fim de realizar um cruzamento de informações, no projeto em SIG foram inseridos os mapas aerogeofísicos e os dados de campo, além dos dados pré-existentes, tais como: anomalias geoquímicas, mapa geológico, modelo digital de superfície, base cartográfica, etc. Esse procedimento propiciou a realização da análise integrada dos dados.

4.6 Dados de Laboratório

Os dados de laboratório consistem na descrição de lâminas relevantes para a interpretação dos resultados. Foram analisados também dados no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) como elemento analítico para definição de aspectos composicionais complementares por meio de análise semiquantitativa pontual por espectrometria por dispersão de energia (EDS).

Pertencente ao Laboratório de Geologia Isotópica IGEO – UFRGS, o equipamento de Microscopia Eletrônica de Varredura é do modelo JEOL JSM6610LV, equipado com detector EDS Bruker 133eV, pertencente ao Laboratório de Geologia Isotópica IGEO – UFRGS. O princípio de funcionamento baseia-se na utilização de um microfeixe de elétrons emitidos na superfície da amostra, gerando sinais distintos, tornando possível, assim, inferir o número de elétrons secundários (Secondary Electrons –SE) elétrons retro-espalhados (Backscattered electrons – BSE) e/ou raios-x característicos. O EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) é capaz de diferenciar os raios-x que a amostra emite após interagir com o feixe de elétrons, baseado no princípio físico de que os átomos dos minerais são ionizados, e ao voltarem ao seu estado natural, liberam energia com comprimentos de onda compatíveis ao espectro dos raios-x. É sabido que cada elemento tem uma estrutura atômica individual, deste modo, cada mineral libera uma energia que o identifica de acordo com a sua estrutura atômica.

5. RESULTADOS

Os resultados foram divididos em três etapas: a primeira etapa consiste na obtenção de mapas a partir de sensores remotos aéreos, a segunda parte compreende o levantamento para a checagem das interpretações realizadas nos mapas mencionados, e na última etapa foram realizados levantamentos petrográficos pontuais.

5.1 Mapas Aerogeofísicos

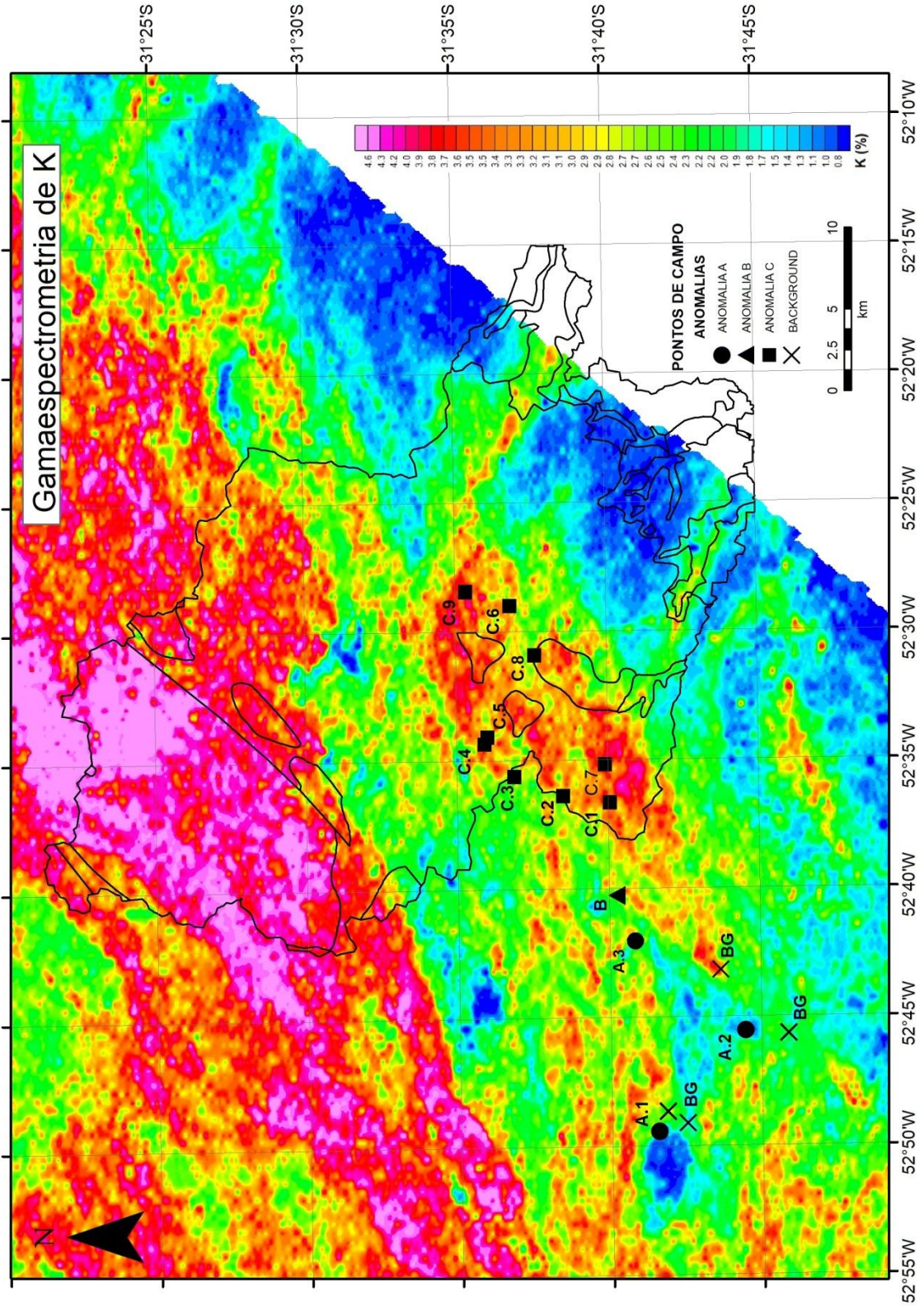
Dados aerogeofísicos provém de levantamentos realizados pela CPRM (2010), no Projeto Aerogeofísico do Escudo do Rio Grande do Sul, foram retrabalhados a partir do processamento realizado no *software Oasis Montaj*. Obtiveram-se 6 mapas de características aerogamaespectrométricas e aeromagnetométricas: K, U, Th, Ternário, Magnético e Magnético com Redução ao Pólo, e um mapa de Modelo Digital de Superfície (MDS).

5.1.1 Mapa de K (%)

O mapa de contagens de K, com valores em %, mostra uma grande variedade de respostas na região de granitóides aflorantes, compreendendo medidas entre 4,6 e 0,8%, expressos na Figura 10. Altos teores de K, com valores acima de 3,5%, representados por tonalidades de cores quentes, aparecem concentrados, geralmente controlados por feições estruturais. Uma grande concentração localizada a norte do polígono de estudo, forma uma estrutura com sentido NE-SW, representando litologias com alto K. Paralelo a esses terrenos, concentrações intermediárias, entre 3,5 e 2,7%, também são influenciadas por estruturas geomofológicas dadas no curso de drenagens, as quais têm alta tendência de concentrar minerais primários ricos em K, que devido a sua alta mobilidade, são depositados nesses ambientes.

As porções mais baixas indicam a falta de K na região, e encontram-se entre valores de 2,7 e 0,8%, de tonalidades mais frias. Devido a grande extensão do mapa e a grande quantidade de litologias, é importante destacar que o material geológico, em superfície, apresenta feições difusas que estabelecem padrões relacionados à unidades geológicas: baixos valores de K relacionados às coberturas jovens, altos teores referentes aos granitos da SGDF, porém de maneira pouco clara nos granitóides da SGGPM, podendo revelar valores altos e baixos (4,2% a 1,2%) seguindo, por vezes, lineamentos NE-SW. Valores baixos também estão relacionados a presença de corpos máficos.

Figura 10: Mapa Gamaespectrométrico de K (%) com legenda de cores.

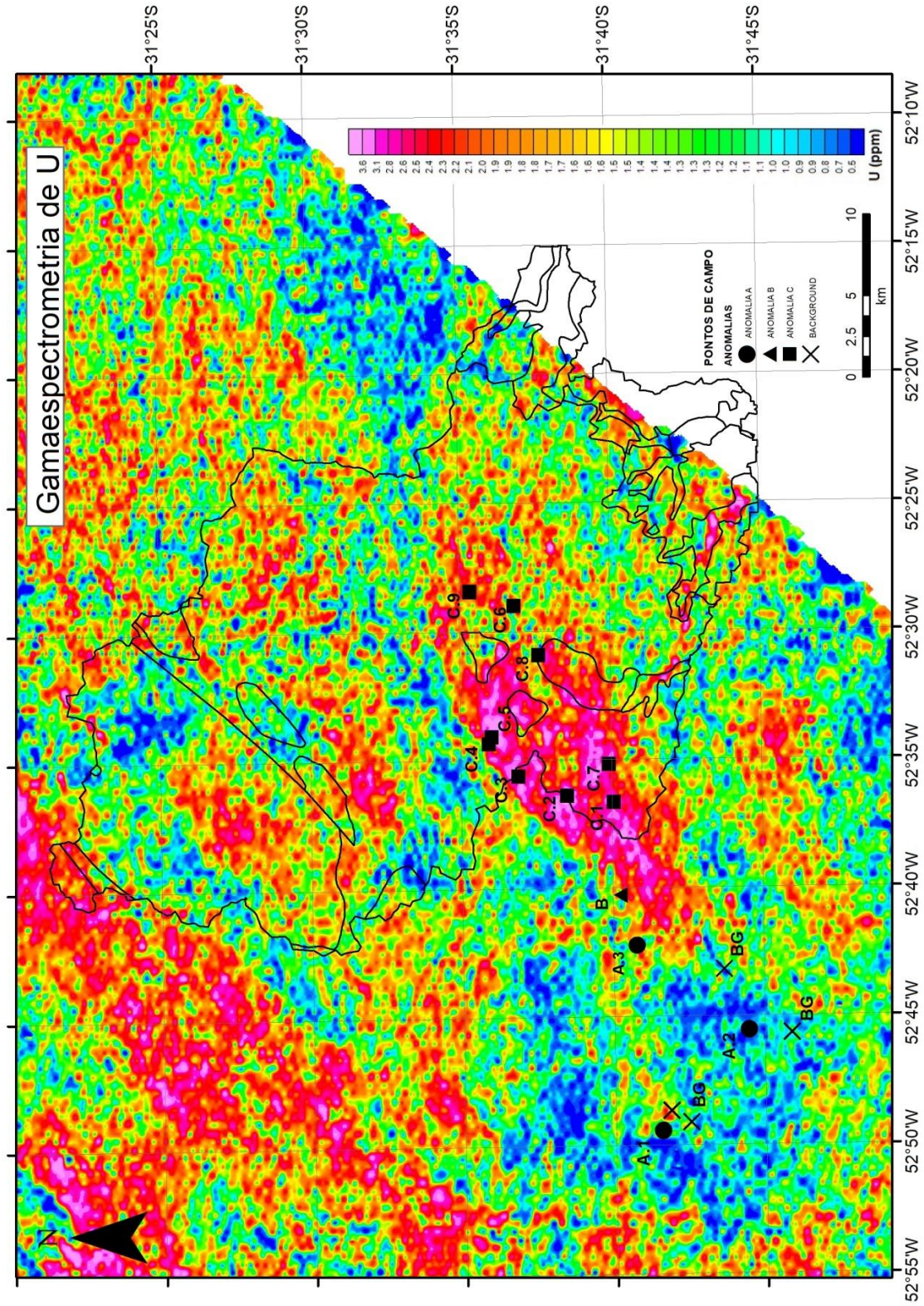


Fonte: modificado de CPRM (2010).

5.1.2 Mapa de U (ppm)

O mapa de contagens do radioelemento U, em partes por milhão (ppm), apresenta escala de variação de cores de 3,6 a 0,5 ppm, expressa na Figura 11. As feições observadas neste mapa possuem aspecto disseminado, podendo indicar a taxa de mobilidade deste elemento, apresentando concentrações em altos níveis de urânio, de 3,6 a 2,0 ppm, que ultrapassam em até 0,9 ppm em comparação com as concentrações médias da crosta continental, e também atende aos aspectos estruturais, sendo controlado por lineamentos NE-SW, estando presente próximo aos granitóides da SGDF, porém não restritos a elas. Além disso, o U tende a ficar retido nos solos residuais, em níveis topográficos inferiores. As porções intermediárias, de 1,6 a 1,5 ppm, com tonalidades que variam de amarela a verde, e as mínimas correspondem a ocorrência de corpos máficos com valores entre 1,5 e 0,5 ppm, assinalado por regiões de tonalidades mais frias.

Figura 11: Mapa Gamaespectrométrico de U (ppm) com legenda de cores. Apresenta delimitação de anomalia do tipo C significativa.

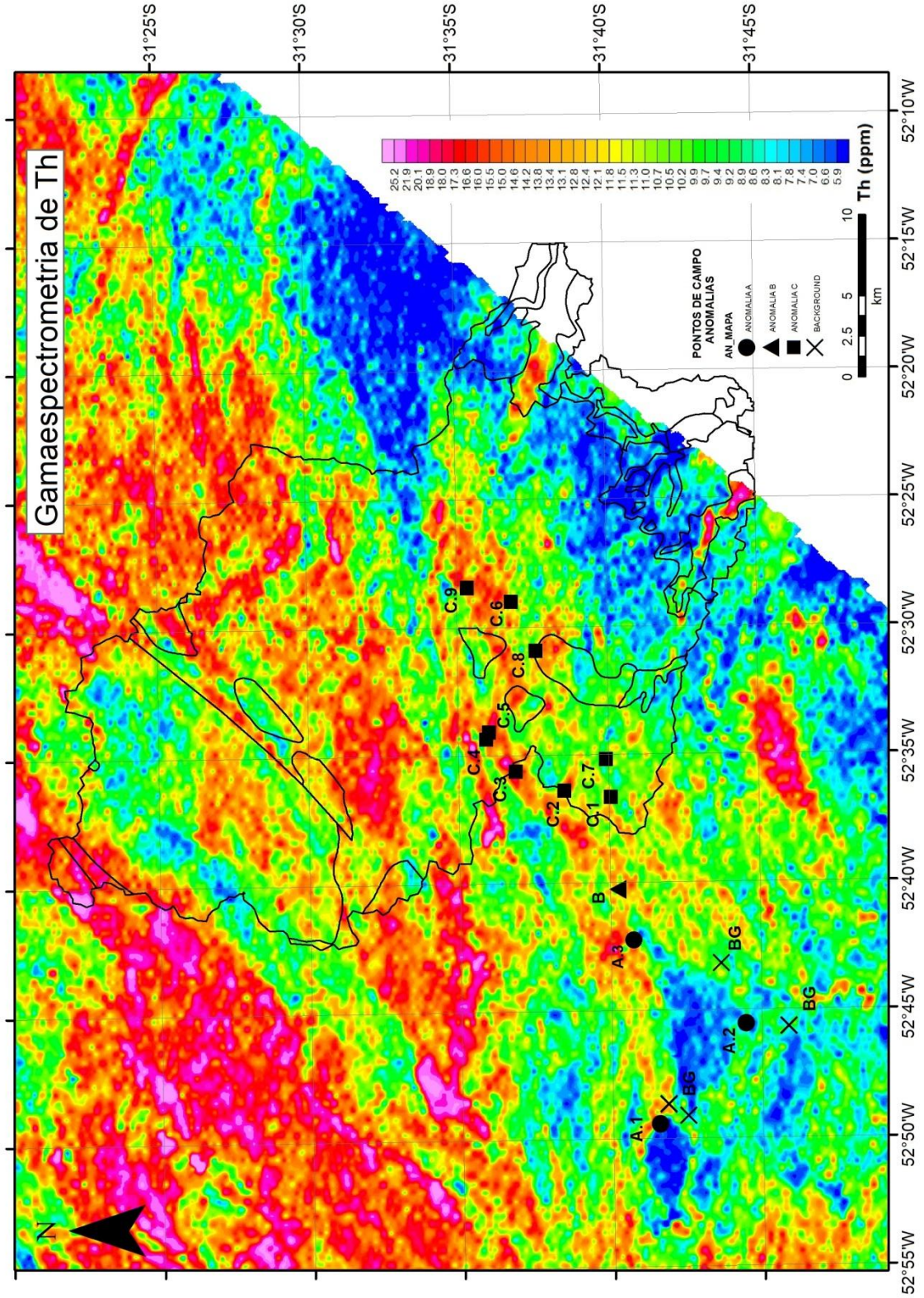


Fonte: modificado de CPRM (2010).

5.1.3 Mapa de Th (ppm)

O mapa de contagens de Th, em partes por milhão (ppm), varia de 25,2 até 5,9 ppm, gerando uma composição de padrões difusos, com forte influência de feições estruturais, contudo, devido a sua baixa mobilidade, sofre menos com a ação do intemperismo, ficando por mais tempo retido na rocha em que foi formado. As regiões de valores relativamente altos apresentam concentrações no intervalo de 25,2 a 15 ppm, representando tonalidades de cores quentes no mapa, de forma disseminada ou concentrada formando uma grande área de influência de Th com orientação NE-SW que se estende por todo o mapa, localizada mais especificamente em rochas do SGDF, controladas por lineamentos NE-SW, bem como na porção mais central do Granito Capão do Leão. Os valores de presença intermediária de Th, representados pela cor amarela e verde, ocorrem predominantemente ao redor das mais altas contagens e preenchem o terreno com valores entre 1,1 e 1,6 ppm. E os valores em azul, referentes a baixos teores são localizados, mais comumente, próximos à zona litorânea a leste, assim como o K. Há um lineamento NE-SW, fazendo uma curva para NNE, nitidamente evidenciado pela presença de Th. O elemento em questão é um bom elemento marcador para os lineamentos NE-SW e NW-SE.

Figura 12: Mapa Gamaespectrométrico de Th (ppm) com legenda de cores. Apresenta delimitação de anomalias do tipo B significativas.



Fonte: modificado de CPRM (2010).

5.1.4 Mapa Ternário

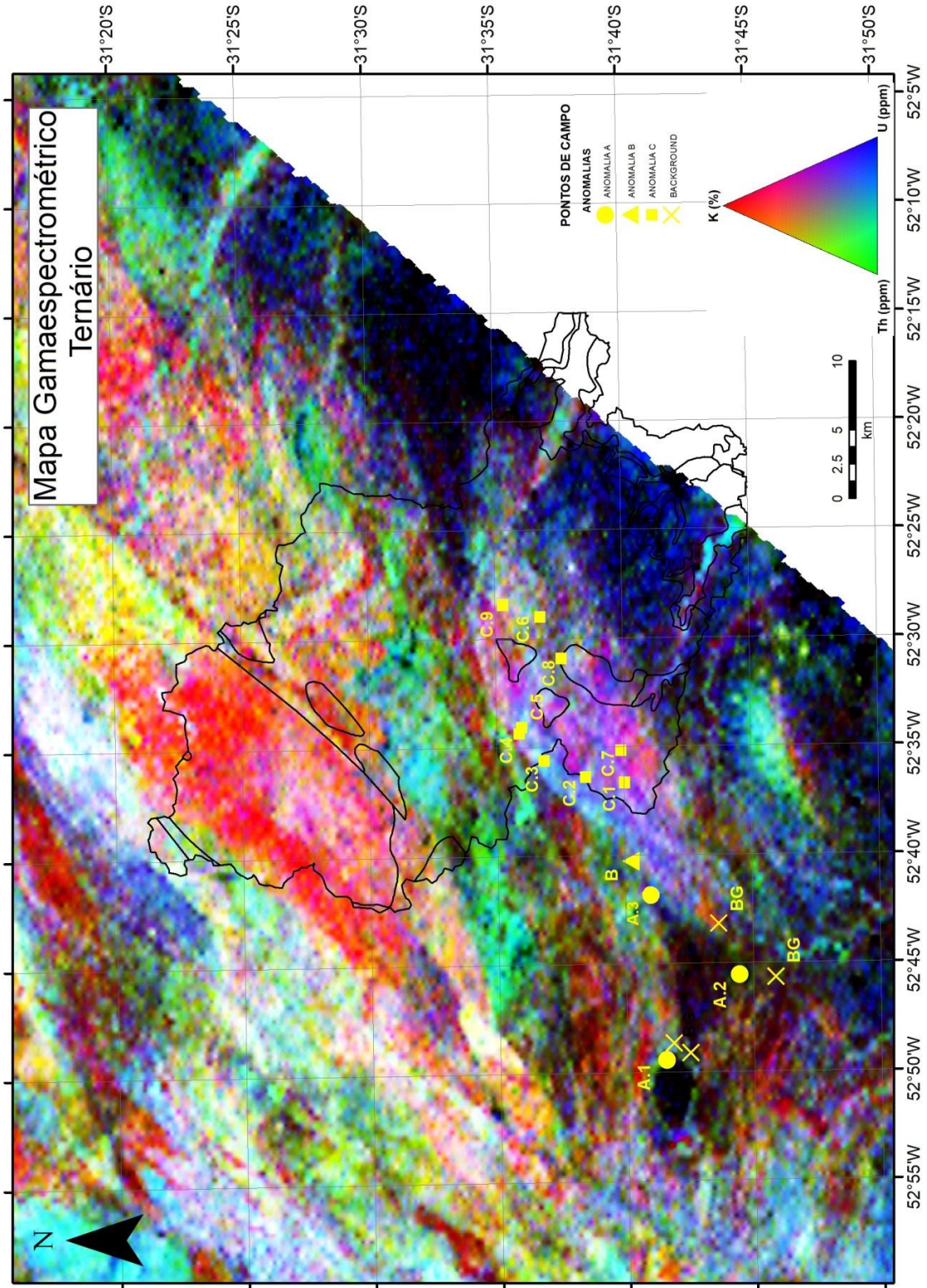
O mapa ternário é resultante de cada radioelemento disposto em uma janela de aquisição individual. Dessa forma, cada elemento é associado a uma cor RGB: K é representado pela cor vermelha; Th pela cor verde; e U pela cor azul. A contagem elevada dos 3 elementos ocorre caracterizada pela cor branca, e a baixa contagem ocorre caracterizada pela cor preta. Assim, é possível observar qual o elemento dominante e sua interação espacial com os demais, mostrando padrões de cores difusos sem uma estruturação ou controle.

É possível estabelecer uma melhor associação espacial entre os radioelementos no terreno, observando localidades ao norte mais ricas em K, U, Th e na soma dos três elementos na mesma janela espectral. Ao passo que regiões mais próximas ao litoral (E), mostram alta concentração de U e uma baixa dos elementos indicada pela cor preta.

A forte zona em verde demonstra um domínio de Th sob os demais elementos, formando uma estrutura difusa com orientação NE-SW. Outra região sob influência da cor vermelha corresponde a altos valores de K, também em feições difusas e orientação preferencial NE-SW. Bem como uma pequena região azul que reflete o predomínio de U, localizada a noroeste.

A região de tonalidade lilás, no centro W do mapa, sugere a combinação de predomínio de U (azul) somado ao K (vermelho). As áreas em amarelo sugerem a combinação entre K (vermelho) e Th (verde), associada à grande ocorrência de cor branca, que indica altos teores de todos os radioelementos (figura 13).

Figura 13: Mapa Gamaespectrométrico Ternário com legenda de cores.



Fonte: modificado de CPRM (2010).

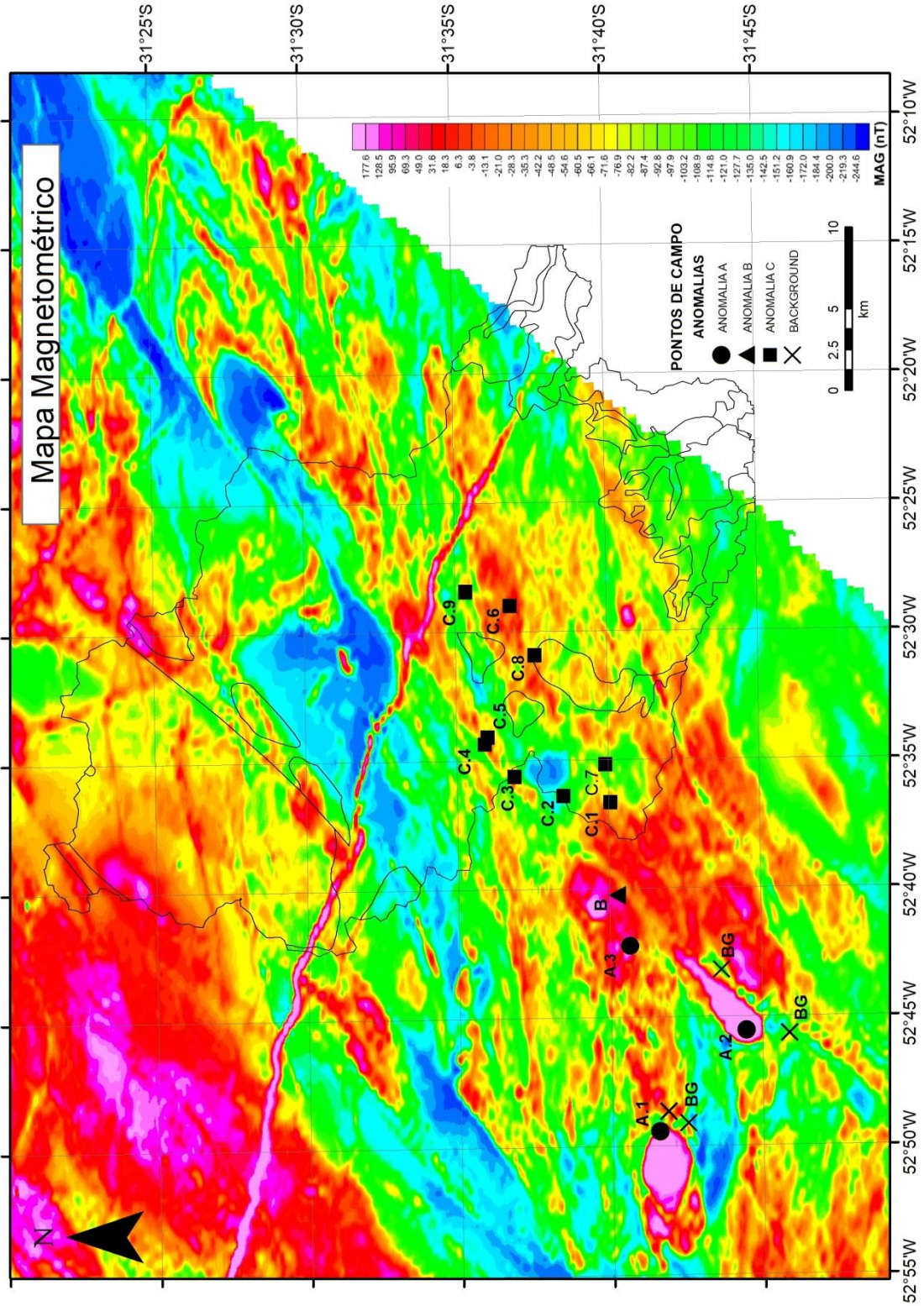
5.1.5 Mapa Magnetométrico (nT)

O mapa de anomalias magnéticas com aplicação do filtro de Redução ao Polo (RTP), apresenta grande variação de suas contagens em nanoTesla (nT). Este mapa é gerado pela aplicação do filtro que recalcula a intensidade dos dados como se estivessem localizados no polo, conseguindo remover efeitos de distorção, gerando mapas com estruturas mais bem delimitadas e de comportamento monopolar. Dessa forma, o mapa apresenta importantes áreas em rosa, com valores máximos de 177,6 nT, que correspondem aos mais altos teores, sendo as anomalias positivas bem delimitadas, em oposição aos valores mínimos de -244,6 nT. Regiões intermediárias de -35,3 até -135 nT, em amarelo e verde, que caracterizam grandes áreas com variação intermediária nos valores de contagens de magnetometria.

São observadas diversas indicações da presença de falhamentos e corpos de composição ferromagnética, nas tonalidades rosa e vermelho (177,6 até 69,3 nT), predominantemente a NW do mapa, revelando orientações também observadas nos demais mapas geofísicos, com sentido NE-SW. Caracteriza, também, uma grande estrutura que corta o polígono com orientação NW-SE, tratando-se do Dique Rondina (VIERO, 1998). Uma grande região que se estende pelo mapa com coloração azul se aproxima de valores mínimos e reflete a ausência de elementos ferromagnéticos.

Este mapa indica a participação de conteúdo magnético em litologias controladas por lineamentos em seus limites. Uma importante feição no limite NE apresenta estruturas deformacionais formando um conjunto de estruturas associadas aos lineamentos NE-SW e NW-SE.

Figura 14: Mapa Magnetométrico com filtro de Redução ao Polo e legenda de cores. Apresenta indicação de anomalias do tipo A significativas.

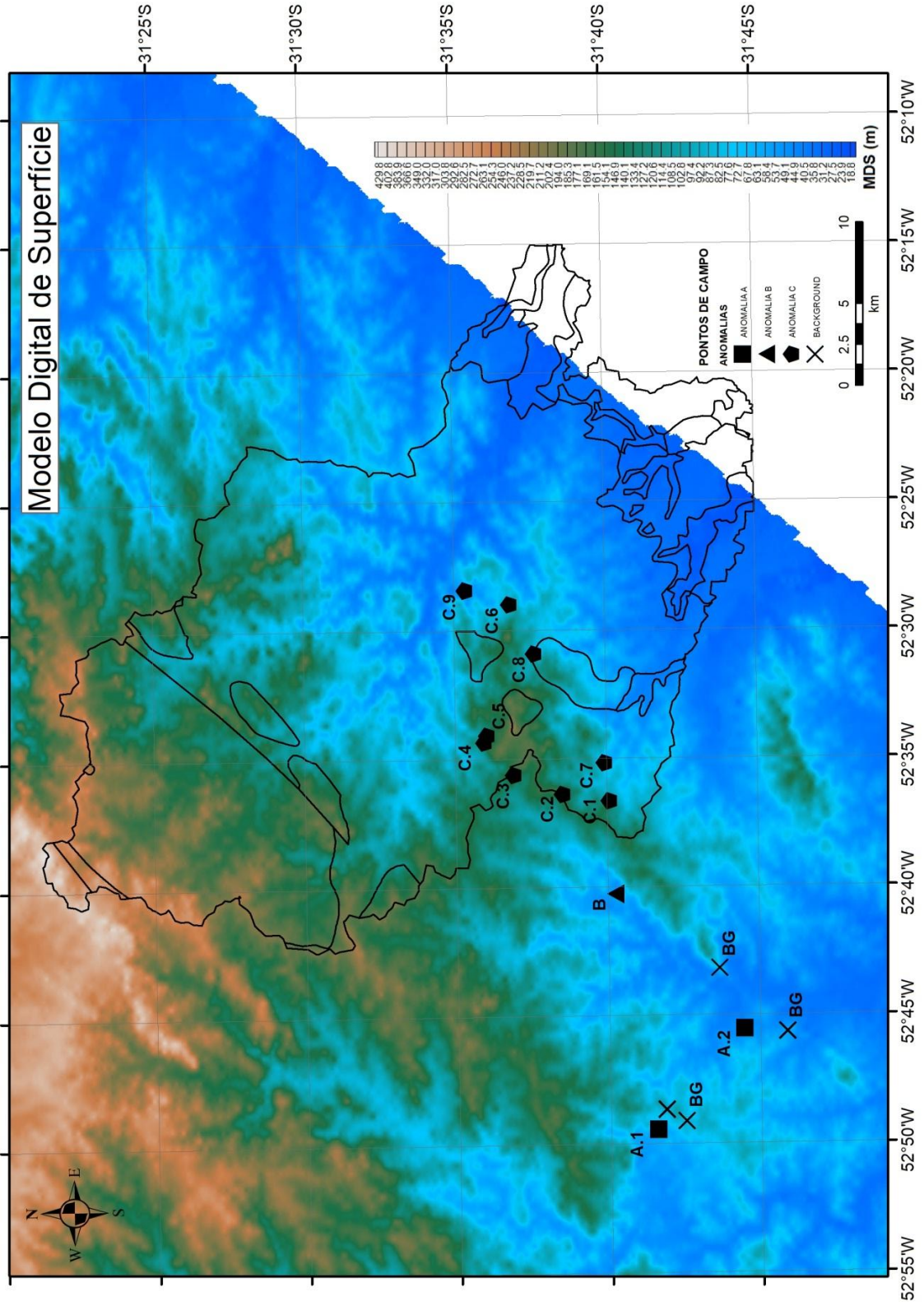


Fonte: modificado de CPRM (2010).

5.1.6 Mapa de Modelo Digital de Superfície (m)

O mapa de modelo digital de superfície registra uma área com altitudes máximas de quase 430 m de elevação, encontradas na porção mais ao norte do polígono de interesse, e se estende por alguns quilômetros com uma orientação preferencial NE-SW. Perto das regiões mais litorâneas para E do mapa, predominam terrenos com até 20 m de altitude. Mais ao centro do mapa as altitudes predominantes atingem intervalo de 127 a 230 m de altura. Apresenta drenagens que marcam a diminuição na altitude relativa, indicadas pela graduação de cores que vai do branco, passando pelo marrom e verde até chegar ao azul, representando feições NW-SE e NE-SW.

Figura 15: Mapa de Modelo Digital de Superfície (MDS) com legenda de cores.



Fonte: modificado de CPRM (2010).

5.2 Identificação de Anomalias Aerogamaespectrométricas

A combinação das informações dos diferentes mapas aerogeofísicos permitiu a identificação de quatro áreas anômalas de interesse de estudo (Figura 16) caracterizadas por três padrões, os quais combinam respostas nos diferentes métodos, a saber: Anomalia A (delimitada na Figura 14) definida pela combinação de alto magnéticos e baixos valores na gamaespectrometria; Anomalia B, definida por alto magnético, e alto Th (delimitada na Figura 12); e Anomalia C (delimitada na Figura 11), definida por valores altos de U, e por variações significativas dos demais elementos geofísicos.

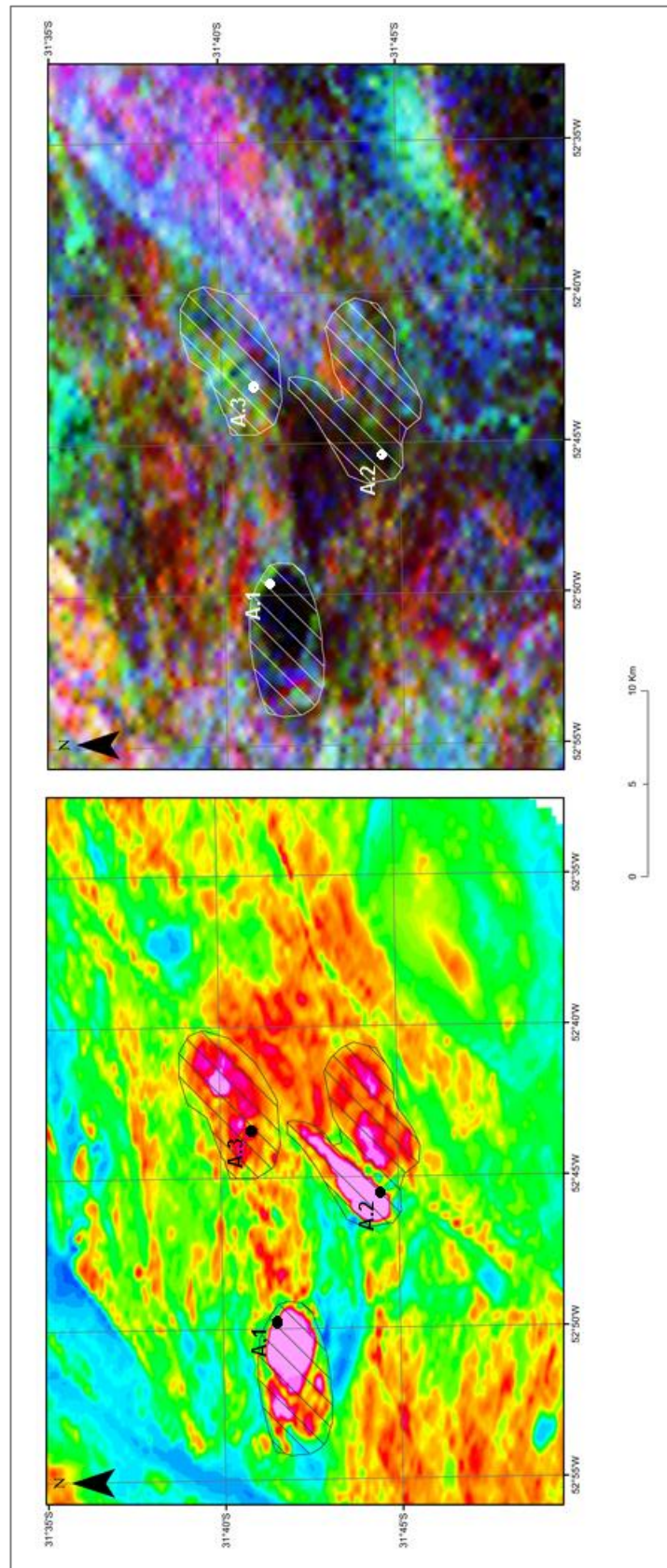
Tabela 1: Sumário de definições de anomalias relevantes

ANOMALIA A	Anomalias positivas magnéticas combinadas com variações de predominantemente negativas gamaespectrométricas
ANOMALIA B	Anomalias positivas de Th combinadas com variações de altos teores magnéticos e de U.
ANOMALIA C	Anomalia positiva de U e K, combinadas com variações locais de Th (concentrado na borda NW) e da anomalia magnética.

ANOMALIA A

Esta anomalia corresponde a altos magnéticos de 159 nT que são interessantes para a pesquisa por estarem localizados, no mapa de magnetometria, concomitantes à extensa anomalia positiva de U. Devido a sua grande extensão e por apresentar regiões que chamam atenção por serem extremamente elevadas e bem delimitadas, esta anomalia pode ser subdividida em Anomalia A.1, Anomalia A.2 e Anomalia A.3 (Figura 16).

Figura 16: Mapas Magnetométrico e Gamaespectrométrico Ternário, ilustram os aspectos definidores das anomalias do tipo A: anomalias positivas magnéticas e combinadas com variações predominantemente negativas radiométricas.

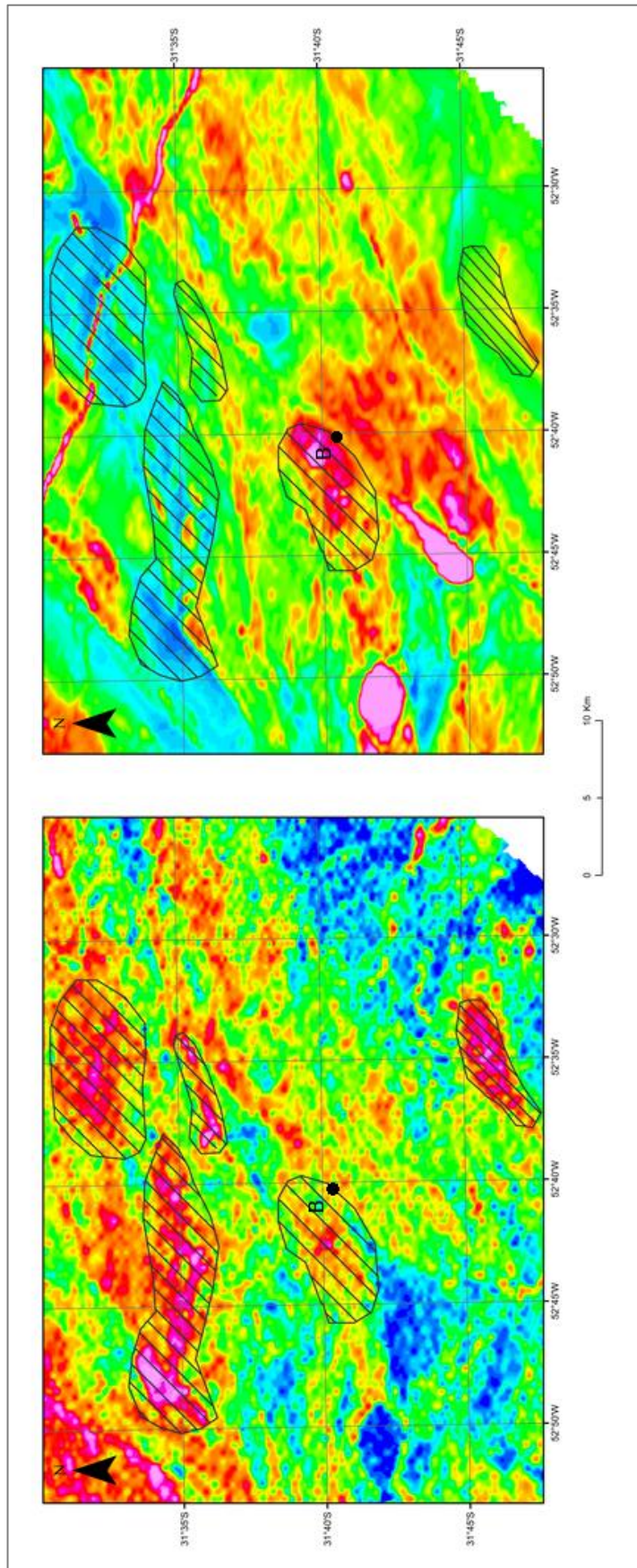


Fonte: modificado de CPRM (2010).

ANOMALIA B

A segunda anomalia observada reflete um alto magnético com 2 km² de área, de aspecto arredondado, e com valor máximo de 156,9 nT. Estende-se lateralmente exibindo alto magnético relativo à região ao seu entorno, porém de menor intensidade que o centro caracterizado pela cor vermelha (aproximadamente 23,8 nT). Esta anomalia também marca uma pequena influência de teores de Th, que a partir do mapa Ternário, registra, neste local, a cor verde evidenciando predominância do elemento. Apresenta-se controlado a sul por um lineamento. Na Figura 17 foram delimitadas regiões com anomalias de Th, mas que, ao contrário na anomalia B, apresentam baixos magnéticos (Figura 17).

Figura 17: Mapas Gamaespectrométrico e Magnetométrico, exibem a relação das anomalias com alto Th e anomalias magnéticas na região.



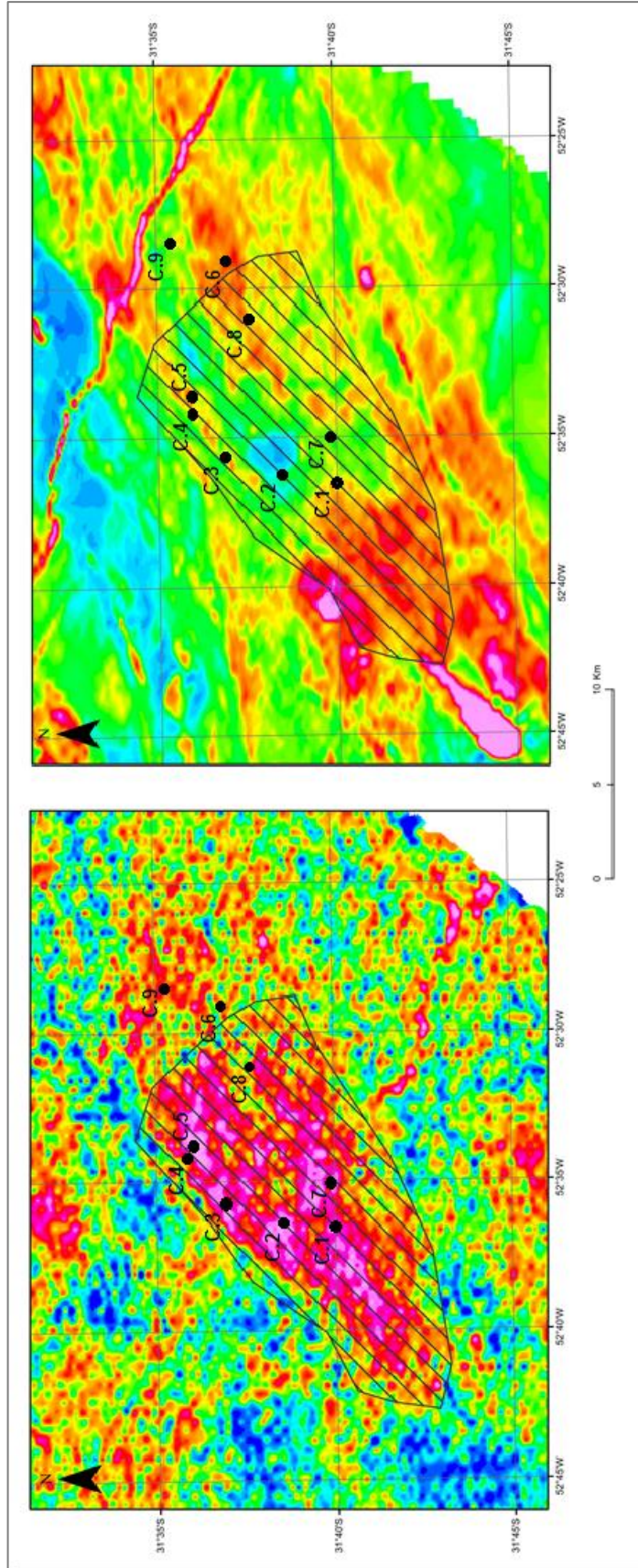
Fonte: modificado de CPRM (2010).

ANOMALIA C

Grande anomalia no polígono de interesse, correspondente a uma área de 20 x 10 km de extensão, percebida a partir de anômala concentração de U na região, com valores que pertencem ao intervalo de 3.6 a 2.4 ppm, aproximadamente 0.9 ppm acima dos valores comuns de U da crosta superior. Esta anomalia reflete também grandes quantidades do elemento K, com valores de 3.8 a 2.9%, ocorrência mais dispersa que a anomalia de U, bem como forte controle estrutural, e altitudes que atingem de 170 a 230 m. Esta anomalia é delimitada a NW por quantidades elevadas de Th em uma região restrita, que é mais evidente no mapa Ternário, onde o elemento é representado pela cor verde. A influência da presença de elementos ferromagnéticos é variável dentro da anomalia.

Devido a sua grande extensão é configurada por uma variação entre os elementos K, Th e da anomalia magnética, sendo subdividida em nove pontos de afloramento verificados em campo.

Figura 18: Mapas Gamaespectrométrico de U (ppm) e Magnetométricos, representam a relação entre as anomalias de U (ppm) com as anomalias magnéticas.

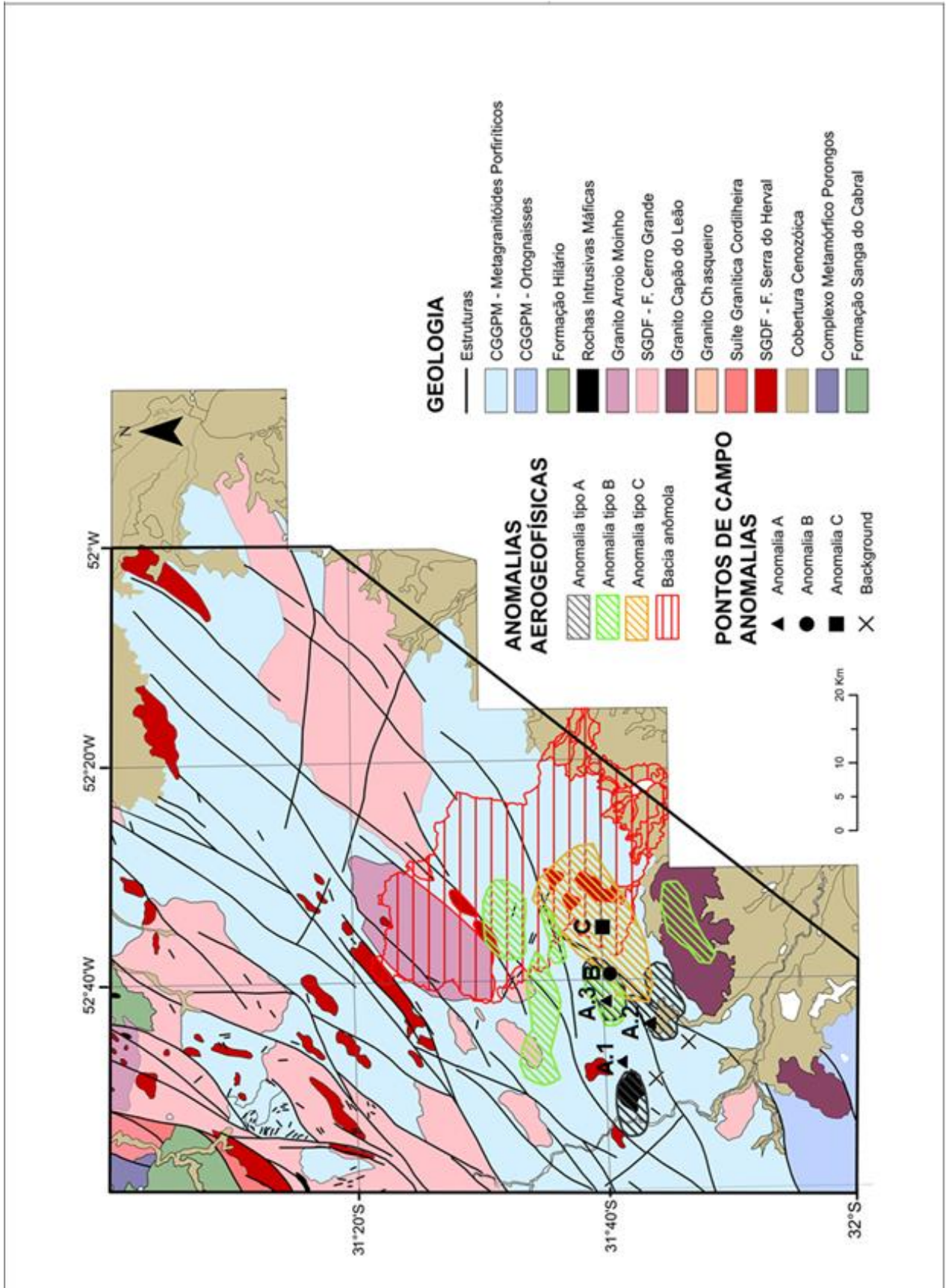


Fonte: modificado de CPRM (2010).

5.3 Levantamento de Campo

Em campo foi realizado um levantamento a fim de verificar a geologia na área das anomalias identificadas a partir da integração dos mapas aerogeofísicos, bem como levantar informações geofísicas terrestres, utilizando os equipamentos: gamaespectrômetro *Super-Spec RS-125 da Radiation Solutions* e o susceptibilímetro *KT-10*. Os alvos analisados tiveram suas características integradas, resultando nos padrões descritos a seguir, os quais estão sumarizados na Tabela 2. Os valores obtidos pelos equipamentos foram comparados com as legendas de cores dos mapas geofísicos.

Figura 19: Mapa geológico com indicação de litologias, anomalias aerogeofísicas e pontos de campo.



Fonte: modificado de CPRM (2010).

ANOMALIA A

A grande extensão da Anomalia A, que combina anomalia positiva magnetométrica com importantes anomalias discordantes positivas e negativas do teor de U, exemplificados na Figura 20, permite sua subdivisão em regiões alvo para levantamento terrestre. Foram estabelecidas as anomalias: A.1, A.2 e A.3.

ANOMALIA A.1

O afloramento de rocha intrusiva máfica de composição gabróica a diorítica apresenta-se pouco alterado, possui coloração cinza escuro, com textura poiquilítica e relativamente isótropo. Esta rocha é delimitada por estruturas estreitas e levemente curvas ENE-WSW. É um hornblenda diorito de coloração acinzentada, predominantemente isótropo e equigranular médio a grosso. Exibe foliação evidenciada pela orientação preferencial do plagioclásio e do anfibólio. Possui enclaves máficos com graus variados de hibridização. Os resultados obtidos utilizando o susceptibilímetro exibem valores extremamente elevados, chegando a 234 nT e mínimo de 103 nT. Já os elementos captados pelo gamaespectrômetro ocorrem com valores próximos ao zero, indicando importantes anomalias negativas de K, U e Th nesta rocha.

ANOMALIA A.2

Afloramento localizado a, aproximadamente 20 km de Capão do Leão, ao longo da BR 293, formado por matacões métricos que compõem uma rocha de coloração cinza escuro e apresenta indícios de textura poiquilítica, marcando uma topografia que atinge aproximadamente, 80 m. Devido a sua proximidade com o Diorito Alto Alegre, é afetado por lineamentos que configuram sua forma amigdalóide e curva. Possui cor acinzentada, é isótropo e equigranular médio a grosso. A anomalia geofísica que o caracteriza é determinada pela alta concentração de elementos ferromagnéticos, com valores que chegam até 156,9 nT em seu centro, ao passo que, nas extremidades, podem atingir valores mais baixos, até 23,8 nT. Suas respostas de aerogamaespectrometria são anormalmente baixas, sugerindo ausência considerável de K, U e Th.

Os dados verificados em campo mostram valores obtidos no susceptímetro que variam de 116 nT a 85 nT. No gamaespectrômetro o K exibe valor máximo medido de até 0,5 %, o U possui 0,5 ppm, e o Th possui 2,5 ppm.

ANOMALIA A.3

Este afloramento não foi encontrado em campo, indicando sinal magnético em profundidade.

ANOMALIA B

Na verificação de campo é caracterizada por medidas parcialmente elevadas no susceptímetro magnético, com valor aproximado de 20,2 nT. Ao passo que as medidas do gamaespectrômetro registraram valores regulares para os radioelementos, exceto para o U que mostra 3,1 ppm, considerado relativamente alto. Representa um afloramento com grau de alteração avançado, localizado em um corte de estrada, caracterizado por um granodiorito deformado com bandamento mineral e importante presença de biotita, que reflete o potencial magnético da anomalia, de granulação fina e foliada.

ANOMALIA C

Com grande extensão, essa anomalia apresenta concentrações anômalas dos elementos geofísicos K, Th, e magnético, combinados com contagens positivas anômalas de U. A partir dessa premissa, foi realizada a verificação terrestre em nove localidades que exibem combinações diversas, sendo elas:

ANOMALIA C.1

O ponto visitado, localizado na beira de uma estrada secundária à BR 239, apresenta estágio avançado de alteração. A litologia predominante é um granito com textura fina a média,

variando localmente, de composição leucocrática, seguida por um granito com brechas e alteração hidrotermal e veios pegmatíticos. Em aspectos gerais, o granito não alterado apresenta baixos valores de elementos ferromagnéticos, chegando a 5,32 nT na rocha fresca, bem como os radioelementos, exceto do U com 4,4 ppm. Já o granito hidrotermalizado exibe altas contagens de K (5,1%) e U (8,4 ppm), e baixas a intermediárias de Th. O pegmatito possui baixa magnetização, podendo ser considerada anômala negativamente com zero nT, K (%) e Th (ppm) intermediários, e U anômalo com 7,4 ppm.

ANOMALIA C.2

Ponto visitado com litologia predominante um granito enriquecido de feldspato potássico, de granulação média a grossa, localmente deformado, cortado por leucogranito fino e veio pegmatítico. O granito possui anomalia negativa magnética, anomalia positiva de U (11,5 ppm) podendo estar sob influência do pegmatito, e valores intermediários de K e Th. Um granito deformado localmente e mais grosso que o supracitado possui as mesmas características, porém o teor de Th é mais elevado. No veio pegmatítico chama atenção pelo valor mais significativo de U com 15 ppm.

ANOMALIA C.3

O ponto visitado marca rocha granítica cortada por um veio e por um granito leucocrático com borda de composição pegmatítica. As litologias em questão possuem médias a altas contagens de K (3,7 a 4,2 %) e U (variando de 6 a 13,7 ppm), ambos aumentando consideravelmente no veio pegmatítico. Porém diferenciam-se entre os demais elementos geofísicos. O veio pegmatítico possui valores de elementos magnéticos iguais a zero nT, e teores fortemente anômalos de Th (29,9 ppm). O granito regional mostra uma quantidade razoável de susceptibilidade magnética, alcançando 28,8 nT, destacando-se também valores de Th, que atingem 39,2 ppm. Os teores de U medidos, com 8,2 ppm, são os mais baixos deste ponto.

ANOMALIA C.4

Ponto representado por granito com textura fina a média, apresentando estrutura de fluxo. Possui quantidades mínimas de susceptibilidade magnética, com teores significativos de U (3,4 ppm). O K representa 4 ppm, considerado anômalo em relação a região, enquanto o Th possui baixos teores.

ANOMALIA C.5

Afloramento heterogêneo composto por granito cortado por veios pegmatíticos centimétricos. O granito possui importante enriquecimento em elementos ferromagnéticos, com medidas de até 78 nT no susceptímetro, indicando provável composição rica em elementos máficos ferromagnéticos. Exibe teores parcialmente baixos de K (2,7 ppm), ao passo que os teores de U apresentam-se anômalo, com 5,6 ppm, e Th intermediário. As contagens dos veios centimétricos possuem valores geofísicos pouco representativos em relação ao granito.

ANOMALIA C.6

O afloramento visitado corresponde a um granito com textura grossa, com sutil estrutura de fluxo magmático. Possui medidas de susceptibilidade magnética intermediárias, porém consideradas expressivas em comparação com as demais rochas da região, atingindo 30,1 nT. As medidas no gamaespectrômetro indicam presença expressiva de K (4,5 ppm) e Th (20,8 ppm) relativamente altas, e U com valor anômalo (4,8 ppm).

ANOMALIA C.7

Importante afloramento heterogêneo, localizado a montante da anomalia de Ni + Mo, indicados nos mapas aerogeofísicos (GARCIA, 2017). A litologia encontrada corresponde a um granito leucocrático de textura média, relativamente equigranular e enriquecido em biotita (>10%). Possui injeções pegmatíticas localmente associadas à magnetita de aproximadamente 0,5 cm. No mesmo afloramento encontra-se uma rocha metabásica com aparência xistosa, fina

e de cor cinza. A rocha metabásica exibe valores relativamente significativos de susceptibilidade magnética, com 25,6 nT. Já as medidas de gamaespectrometria apontam teores intermediários de K (3,3%), teores elevados de U (4 ppm), e teores baixos de Th (10,9 ppm).

A rocha granitóide associada à magnetita possui maiores medidas de susceptibilidade magnética, com até 67,8 nT, bem como valores intermediários de K (3,6%), e anômalos de U (8,1 ppm) e Th (34,7 ppm).

As injeções pegmatíticas enriquecidas em magnetita exibem susceptibilidade magnética de 11,1 nT, associados a valores de K de 4,4 ppm, bem como valores anômalos significativos de U (6,7 ppm) e Th (21,5 ppm). Existe uma clara progressão nos teores observados e coletados em campo: nítido aumento na composição magnética em direção ao veio, porém ela decai consideravelmente para 4 nT pontualmente sobre o veio. Ou seja, os elementos ferromagnéticos estão contidos no granito mas recebem influência do veio pegmatítico como controle de posicionamento.

ANOMALIA C.8

O afloramento de granito grosso e presença importante de minerais máficos, exibe baixa susceptibilidade magnética (0,26 nT) e teores de U, opondo-se a importante anomalia de Th (28,4 ppm). O granito grosso é cortado por veios pegmatíticos tabulares e centimétricos, os quais influenciam as medidas dos equipamentos geofísicos: na borda mais distal ao veio apresenta 17,5 nT, ao passo que na borda mais proximal ao veio, o valor aumenta para 28 nT, indicando uma maior concentração de elementos ferromagnéticos no granito acumulados junto à borda do veio pegmatítico, e diminuindo ao passo que se afasta do veio. Aumenta, também, a quantidade anômala de U, que passa de 4,3 ppm para 6,3 ppm, opondo-se a quantidade de Th, que diminui de 20,2 ppm para 13,3 ppm. No veio pegmatítico a medida no susceptímetro é quase zero, ao passo que o Th aumenta em relação ao granito deformado para 21,6 ppm. Ou seja, ao passo que o susceptímetro se afasta do veio pegmatítico, ocorre a volta ao padrão de granito, com elementos magnéticos reduzidos. O afloramento ainda possui mais variedades de composições graníticas difusas com textura fina e formas tabulares, cortando o granito grosso de maneira difusa.

ANOMALIA C.9

O ponto em questão apresenta granito com textura grossa, com orientação de fluxo magmático de 125° aproximadamente, exibindo contagens de susceptibilidade magnética (45 nT), K (5%), U (4,1 ppm) e Th (26,2 ppm) anômalos, relacionado de maneira pouco clara com granito de textura fina que mostra elementos de susceptibilidade magnética e gamaespectrométrica relativamente inferiores ao granito grosso.

Tabela 2- Sumário das anomalias descritas, integrando os mapas aerogeofísicos com a verificação em campo.

	ANOMALIAS AEROGAMAESPECTROMÉTRICAS	PONTO	LITOLOGIA	MAG (nT)	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)	ANOMALIAS OBSERVADAS EM CAMPO
ANOMALIA A	Anomalias positivas magnéticas combinadas com variações de anomalias positivas e negativas gamaespectrométricas	ANOMALIA A.1	Rocha Intrusiva Máfica	234	0,4	0	2,6	Anomalia positiva magnética e anomalia negativa gamaespectrométrica
		ANOMALIA A.2	Rocha Intrusiva Máfica	116	0,4	0	2,6	Anomalia positiva magnética e anomalia negativa gamaespectrométrica
ANOMALIA B	Anomalias positivas relativas magnética, de U e Th	ANOMALIA B	gnaisse granítico de granulação fina	20,2	2,5	3,1	7,9	Anomalia positiva magnética e anomalia negativa de Th
		ANOMALIA C.1	granito brechado e hidrottermalizado com mais biotita localmente	5,32	5,1	8,4	14,5	Anomalia positiva de K e U, e anomalia negativa magnética
ANOMALIA C	Anomalia positiva de U e K, combinadas com variações locais de Th (concentrado na borda NW) e da anomalia magnética.	ANOMALIA C.2	granito localmente deformado, cortado por leucogranito e veios pegmatíticos	2,78	3,6	11,5	20,9	Anomalia positiva de K e U, e anomalia negativa magnética
		ANOMALIA C.3	granito cortado por leucogranito e veios pegmatíticos	28,8	4,2	13,7	39,2	Anomalia positiva magnética e gamaespectrométrica
		ANOMALIA C.4	leucogranito	1	4	3,4	9,9	Anomalia positiva de K e U, e anomalia negativa magnética e de Th
		ANOMALIA C.5	granito cortado por veios pegmatíticos	78	2,7	5,6	18,2	Anomalia positiva magnética e de U, e anomalia negativa de K
		ANOMALIA C.6	granito grosso	30,1	4,5	4,8	13,8	Anomalia positiva magnética, de K e de U
		ANOMALIA C.7	leucogranito enriquecido em biotita, cortado por veios pegmatíticos	67,8 (granitóide com magnetita)	3,3	8,1	34,7	Sucessão de crescimento em direção à borda do veio: anomalia positiva magnética até a borda do veio. Anomalia de U e Th.
		ANOMALIA C.8	granito cortado por veios pegmatíticos	28	5,5	6,3	13,3	Sucessão de crescimento em direção à borda do veio: anomalia positiva magnética, de U e K.
	ANOMALIA C.9	granito grosso associado a granito fino	45,7	5,3	4,2	28,5	Anomalia positiva magnética e gamaespectrométrica	

A tabela acima relaciona as anomalias identificadas nos mapas aerogeofísicos elaborados, definidas em três tipos de anomalias A, B e C, seguido das medidas realizadas na verificação em campo de ambos os métodos geofísicos com o susceptíbilímetro e o gamaespectrômetro. A tabela apresenta também uma síntese da descrição dos elementos anômalos que compõem a bacia anômala.

5.4 Petrografia

Foram selecionadas duas amostras da etapa de campo para verificação petrográfica, por representarem localidades no mapa geofísico e geológico que necessitam de análises mais detalhadas sobre gênese e mineralogia. As amostras selecionadas são de afloramentos de rochas máficas que apresentavam anomalias magnéticas, Anomalias A.1 (MR-02) e A.2 (MR-05).

LÂMINA MR-02

Ao microscópio, a amostra representa a Anomalia A.1 com características de rocha máfica de composição hornblenda diorito com textura heterogranular média a grossa. A rocha é formada por plagioclásio (45-50%), clinopiroxênio (5%), hornblenda (35%), biotita (5%) tremolita e clorita (3-5%), magnetita e ilmenita (10%).

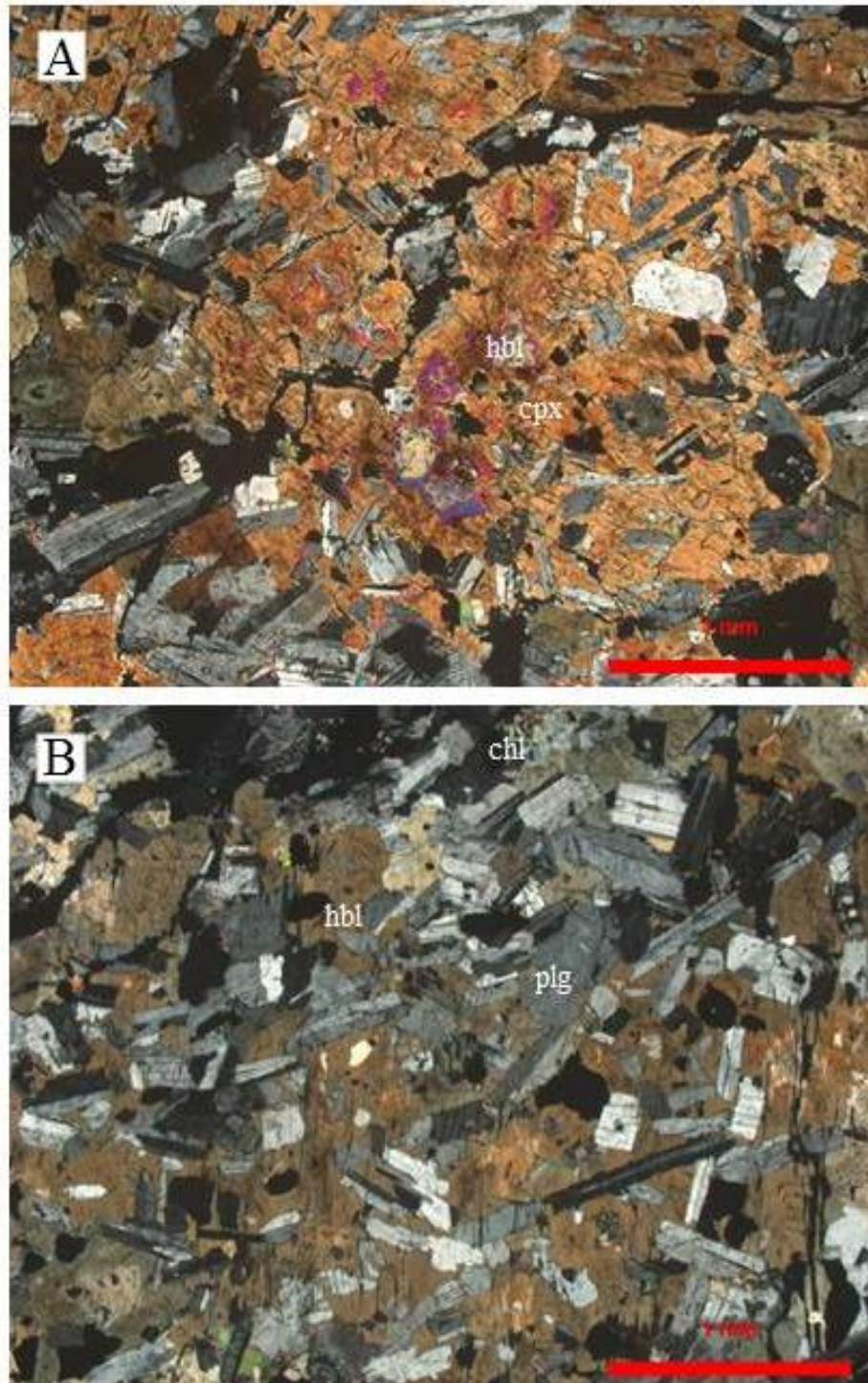
O plagioclásio possui hábito prismático com zonação por vezes concêntrica, bem como grãos homogêneos não zonados subordinados. Possui dois tipos de granulação: uma textura mais grossa (2,5 mm), e outra mais fina (0,5 mm), orientados segundo fluxo magmático, com corrosão parcial das bordas.

A hornblenda exibe tons esverdeados e castanhos, é o mineral máfico principal, e possui abundância de 40% aproximadamente, com até 5 mm de tamanho. Apresenta-se na forma de grãos poiquilíticos subédricos a anédricos grossos a muito grossos, que englobam cristais de plagioclásio e clinopiroxênio, bem como na forma de grãos médios a finos, subédricos a euédricos. Raramente ocorrem cristais anédricos de clinopiroxênio (0,25 mm) preservado, sendo, geralmente substituídos para hornblenda nas bordas. Possui biotita fina anédrica (0,25 mm).

Magnetita, pirita e ilmenita apresentam-se intercumulus. A sericita, como mineral secundário, ocorre como produto de alteração do plagioclásio. Tremolita e clorita ocorrem de

forma localizada em alguns anfibólios e, principalmente, no entorno e sobre relictos de clinopiroxênio.

Figura 20: Imagem A e B da lâmina MR-02. Imagem A com hornblenda poiquilítica e substituição de clinopiroxênio por hornblenda nas bordas, com aumento de 5x. Imagem B apresenta foliação magmática dada pelos plagioclásios e substituição por clorita.



LÂMINA MR-05

A amostra representa a Anomalia A.2, uma rocha de composição gabróica que ao microscópio apresenta textura heterogranular média a grossa, com foliação marcada pela orientação de cristais cumulus de plagioclásio, indicando fluxo magmático. Os minerais principais são plagioclásio (40-45%), ortopiroxênio (10-15%), clinopiroxênio (3-5%), hornblenda (40%), biotita (5-3%), quartzo (1%), apatita como mineral acessório em quantidade traço, e ilmenita (2%), o que permite classificar esta rocha como um hornblenda gabronorito.

O plagioclásio é prismático com faces retas, apresenta macla da periclina e importantes feições de corrosão parcial nas bordas, tornando-as arredondadas. A composição obtida através de EDS indica predominância de termos cálcicos com Na entre 70 e 90, equivalente a bitownita. Exibe bimodalidade no tamanho dos grãos: o mais grosso com 2,2 mm, por vezes apresenta zonação sendo predominantemente concêntrica, sem ter sido observada grande variação composicional, predominando termos mais cálcicos no núcleo. O plagioclásio menor (até 0,2 mm) apresenta textura de reabsorção quando dentro da hornblenda, tornando-se arredondado. A sericita ocorre como produto de alteração do plagioclásio.

O clinopiroxênio e ortopiroxênio ocorrem como minerais cumulus, inclusos em hornblenda sendo cristais anédricos devido à reabsorção. O ortopiroxênio é o segundo mineral máfico mais importante na rocha. Suas faces são extremamente arredondadas e fraturadas, com reabsorção por hornblenda.

A hornblenda é o principal mineral máfico e ocorre como grandes cristais poiquilíticos de até 5 mm de tamanho, anédricos, e com pleocroísmo verde intenso. Engloba os demais minerais e indica o crescimento do anfibólio como mineral intercumulus ao final da cristalização.

A rocha ainda é marcada pela presença de minerais intercumulus como a biotita marrom muito fina, quartzo anédrico preenchendo espaços entre os minerais, e apatita em quantidades traço. Possui ilmenita intercumulus com hábito prismático bem alongado, e compõe aproximadamente 1% da rocha.

Figura 20: Na figura A C e D, exibe a relação dos ortopiroxênios com reabsorção por anfibólio. A Figura B apresenta plagioclásio de alta temperatura com macla da periclina.

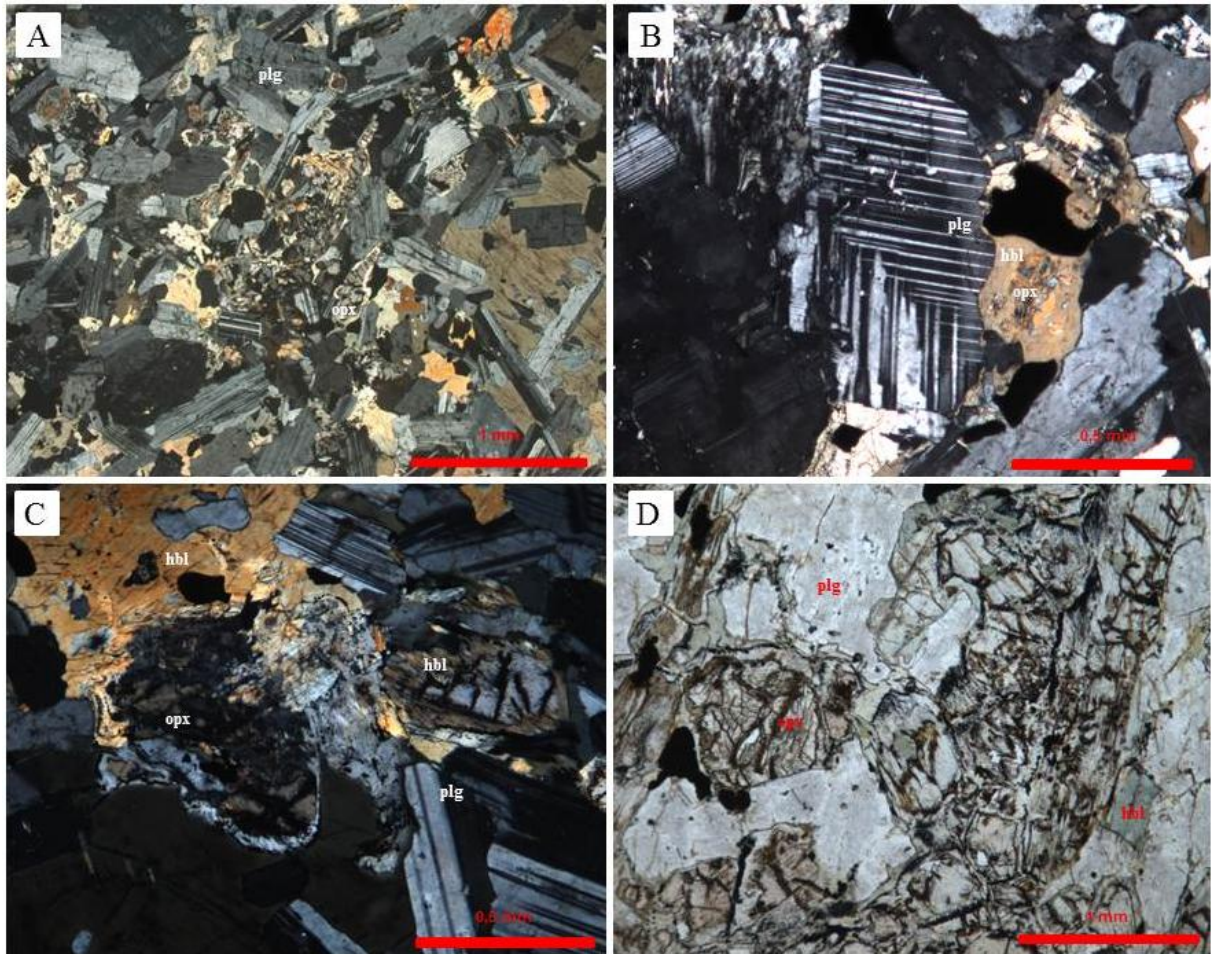


Figura 21: Imagens obtidas no MEV para determinação da composição dos minerais.

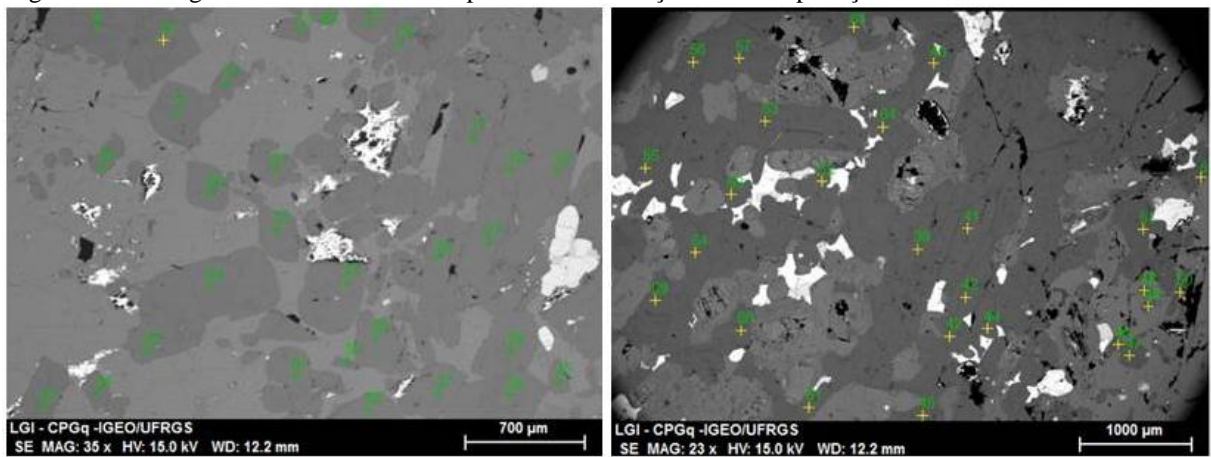


Tabela 3:Tabela de dados brutos obtidos no MEV.

SPECTRO	C	O	Mo	Cd	Na2O	Al2O3	SiO2	CaO	Cr2O3	Ag	MgO	FeO	TiO2	TOTAL
9		0,00	0,46	2,45	1,35	20,56	30,51	10,07						65,4
10	0	0	0,48	2,48	1,54	20,24	30,93	9,66	0	0	0	0	0	65,33
11	0	0	0,48	2,49	1,54	19,79	30,7	9,39	0	0	0	0	0	64,39
12	0	0	0,78	2,62	2,44	18,82	32,71	8,07	0	0	0	0	0	65,44
13	0	0	0,46	0	1,29	18,81	28,96	7,73	0	0	0	0	0	57,25
14	0	0,05	0,58	2,61	1,97	20,33	32,63	9,38	0	0	0	0	0	67,55
15	0	0	0,53	2,51	1,77	20,04	31,62	9,38	0	0	0	0	0	65,85
16	0	0	0,72	2,66	2,09	19,81	35,52	8,82	0	0	0	0	0	69,62
17	0	0	0,71	2,55	2,04	19,16	31,77	8,59	0	0	0	0	0	64,82
18	0	0,06	0,49	2,48	1,61	19,52	30,83	9,28	0	0	0	0	0	64,27
19	0	0	0,47	2,54	1,36	19,95	30,24	9,78	0	0	0	0	0	64,34
20	0	0	0,45	2,5	1,12	18,92	28,55	9,28	0	0	0	0	0	60,82
21	0	0	0,45	2,57	1,7	19,62	28,99	9,74	0	0	0	0	0	63,07
22	0	0	0,64	2,65	1,29	17,89	28,28	8,47	0	0	0	0	0	59,22
23	0	0	0,43	2,55	0,98	18,17	27,64	8,94	0	0	0	0	0	58,71
24	0	0,04	0,65	2,75	1,19	18,28	28,46	8,82	0	0	0	0	0	60,19
25	0	0	0,4	2,57	0,74	18,6	27,29	9,35	0	0	0	0	0	58,95
26	0	0	0,49	2,66	1,17	18,65	28,69	9	0	0	0	0	0	60,66
27	0	0	0,69	2,75	1,45	18,99	29,98	9,04	0	0	0	0	0	62,9
28	0	0	1,15	3,08	2,99	17,48	33,99	6,6	0,79	0	0	0	0	66,08
29	0	0	0,67	2,75	1,2	18,62	28,89	9,02	0	0	0	0	0	61,15
30	0	0,04	0,41	2,59	0,7	18,81	27,24	9,63	0	0	0	0	0	59,42
31	0	0,04	0,42	2,59	0,78	18,36	27,12	9,24	0	0	0	0	0	58,55
32	0	0	0,6	2,62	0,94	18,11	27,43	9,01	0	0	0	0	0	58,71
33	0	0	0,6	2,63	1,03	18,56	27,76	8,79	0	0	0	0	0	59,37
34	0	0	0,47	2,66	0,85	18,53	27,38	9,25	0	0	0	0	0	59,14
35	0	0	0,45	2,64	0,86	19,77	28,57	10,14	0	0	0	0	0	62,43
36	0	0,09	0,48	2,61	1,08	19,03	28,7	9,07	0	0	0	0	0	61,06
37	0	0	0,44	2,6	0,78	18,84	27,57	9,42	0	0	0	0	0	59,65
38	0	0,06	0,42	2,56	0,87	18,27	27,29	9,07	0	0	0	0	0	58,54
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0,48	2,32	1,63	19,32	30,23	9,22	0	0	0	0	0	63,2
41	0	0,6	0,51	2,58	1,41	20,2	30,8	9,66	0	0	0	0	0	65,76
42	0	0	0,45	2,59	1,05	19,27	28,7	9,63	0	0	0	0	0	61,69
43	0	0	0,49	2,6	1,22	19,84	29,79	9,82	0	0	0	0	0	63,76
44	0	0,4	0,47	2,47	1,24	19,35	29,27	9,51	0	0	0	0	0	62,71
45	0	0,08	0,47	2,5	1,24	19,09	29,08	9,42	0	0	0	0	0	61,88
46	0	0	0,39	2,41	1,14	20,83	30,32	10,47	0	0	0	0	0	65,56
47	0	0,06	0,41	2,41	1,21	21,3	31,02	10,65	0	0	0	0	0	67,06
48	0	0	0,47	2,5	1,59	20,9	31,68	10,15	0	0	0	0	0	67,29
49	0	0	0,39	2,32	1,15	20,25	29,46	10,39	0	0	0	0	0	63,96
50	0	0,05	0,45	2,44	1,51	21,81	32,42	10,81	0	0	0	0	0	69,49
51	0	0	0,47	2,43	1,67	20,91	32,16	10,1	0	0	0	0	0	67,74
52	0	0	0,39	2,27	1,43	21,78	31,95	10,87	0	0	0	0	0	68,69
53	0	0	0,5	2,52	1,17	19	28,63	9,28	0	0	0	0	0	61,1
54	0	0,08	0,47	2,52	0,92	18,88	27,74	9,45	0	0	0	0	0	60,06
55	0	0,04	0,49	2,58	0,96	19,14	28,38	9,45	0	0	0	0	0	61,04
56	0	0	0,62	2,63	1,21	18,55	28,65	8,87	0	0	0	0	0	60,53
57	0	0,05	0,48	2,48	1,14	19,21	28,75	9,47	0	0	0	0	0	61,58
58	0	0,04	0,41	2,44	0,79	18,88	27,28	9,64	0	0	0	0	0	59,48
59	0	0	0,46	2,46	0,89	18,77	27,56	9,47	0	0	0	0	0	59,61
60	0	0	0,46	2,53	0,94	19,68	28,96	9,77	0	0	0	0	0	62,34
61	0	0	0,5	2,59	1,05	20,17	29,66	9,99	0,64	0	0	0	0	64,6
62	0	0,08	0,42	2,4	0,87	18,96	27,42	9,71	0	0	0	0	0	59,86
63	0	0	0,45	2,73	1,18	20,29	29,64	10,17	0	0	0	0	0	64,46
64	0	0	0,69	2,54	1,69	19,22	30,59	8,98	0	0	0	0	0	63,71
65	0	0	0,79	0	1,11	11,01	0	7,05	0	0	5,12	4,77	0	29,85
66	0	0,12	0	0	0	4,8	0,62	6,32	0	0	7,37	7,58	0,62	27,43
67	0	0,05	0,71	2,66	1,76	19,23	0	8,93	0	0	0	0	0	33,34
68	0	0	0,44	2,5	1,3	19,99	0	9,86	0	0	0	0	0	34,09
69	0	0,01	0,37	0	0	6,27	0,98	7,71	0,51	0	8,27	7,35	0,98	32,45
70	0	0,19	0,3	0	0	6,54	0,72	7,08	0,6	0	7,02	8,7	0,72	31,87
71	0	0	0	0	0,46	1,01	0	0,14	0	0	0,5	0,2	0	2,31
72	0	0	0,44	2,32	1,43	22,41	0	11,07	0	0	0	0	0	37,67
73	0	0,12	0	0	0,6	6,75	1,39	7,54	0,52	0	8,02	8,82	1,39	35,15
74	0	0,08	0	0	0	4,83	0,49	5,86	0	0	6,37	6,99	0,49	25,11
75	0	0,11	0	0	0,47	6,29	1,25	7,41	0,29	0	7,94	8,34	1,25	33,35
76	0	0,06	0,35	2,33	0,99	21,44	0	11,04	0	0	0	0	0	36,21
77	0	0	0	0	0	7,32	0	4,67	0,33	0	0	7,11	0	19,43
78	0	0	0,43	0	1,23	19	0	8,79	0	0	0	0	0	29,45
79	0	0,03	0	0	0	5,4	0,84	6,1	0	0	6,32	7,55	0,84	27,08
80	0	0,09	0,78	2,45	3,04	19,93	0	8,21	0	0	0	0	0	34,5
81	0	0,03	0	0	0	3,1	0	4,57	0	0	6,19	5,16	0	19,05
82	0	0,05	0	2,43	1,03	19,82	0	9,88	0	0	0	0	0	33,21
83	0	0,18	0,31	0	0	3,95	0	5,46	0	0,31	7,18	7,6	0	24,99
84	0	0,04	0,74	2,64	1,77	17,87	0	8,09	0	0	0	0	0	31,15
85	0	0,05	0,48	2,57	1,01	19,97	0	10	0	0	0	0	0	34,08
86	0	0,13	0,43	0	0	4,3	24,8	6,14	0,38	0,68	7,88	6,21	0	50,95
87	0	0	0,47	2,59	0,89	19,5	28,15	9,88	0	0	0	0	0	61,48
88	0	0,01	0,49	2,51	0	3,8	26,51	7,15	0,51	0,53	8,06	6,83	0,56	56,96
89	0	0	0,44	2,47	0,86	19,24	27,66	9,83	0	0	0	0	0	60,5
90	0	0	0,47	2,43	1,39	18,69	29,07	9	0	0	0	0,47	0	61,52
91	0	0	0,44	2,8	0,95	19,54	28,21	9,94	0	0	0	0	0	61,88
92	0	0	0,97	2,45	2,77	17,89	33,26	6,97	0	0	0	0	0	64,31
93	0	0	0,69	0	1,69	19,22	31,18	8,2	0	0	0,66	1,99	0	63,63
94	0	0,18	0	0	0	4,18	22,5	5,54	0	0	6,84	6,49	0	45,73
95	0	0,18	0,45	0	0	5,01	28,13	7,06	0,44	0,54	8,54	6,86	0	57,21
96	0	0,04	0,69	2,62	1,94	19,88	32,04	8,93	0	0	0	0	0	66,14
97	0	0	0,48	2,44	1,32	19,68	29,61	9,67	0	0	0	0	0	63,2
98	0	0	0,43	2,33	1,48	22,04	32,61	10,8	0	0	0	0	0	69,69
99	0	0,11	0	0	0	5,37	20,72	5,34	0	0	5,6	5,8	0	42,94
100	0	0	0,52	2,54	1,24	19,8	29,86	9,62	0	0	0	0	0	63,58
101	0	0	0,61	2,42	1,31	18,62	28,55	9,03	0	0	0	0	0	60,54
102	0	0	0,49	2,46	1,37	19,1	29,32	9,18	0	0	0	0	0	61,92

6. DISCUSSÕES

O presente trabalho procura integrar resultados geofísicos de magnetometria e gamaespectrometria com os dados geoquímicos obtidos por Garcia (2017), os quais apontam uma bacia anômala para Au, óxido de Fe, Cu e U na região de Morro Redondo – RS. Segundo Garcia (2017), a associação geoquímica anômala desses elementos, e os aspectos litológicos e estruturais da região apontam uma probabilidade de ocorrência de mineralizações do tipo IOCG.

De acordo com o mapa da CPRM (2000), a região anômala abrange, predominantemente, rochas do Complexo Granítico Gnáissico Pinheiro Machado, representado por metagranitóides porfiríticos, ortognaisses granodioríticos a monzograníticos, gnaisses granodioríticos e tonalíticos, além de enclaves variados. No entanto, a verificação de campo revelou uma diversidade de rochas como metagranitóides finos a grossos, granitos foliados, brechas, veios pegmatíticos, leucogranitos e enriquecimento local por biotita em granitos grossos.

Na região da bacia anômala correm, também, oito intrusões de rochas máficas separadas por Ramgrab et al (1994) em duas associações: a Associação I de composição gabrótica, e a Associação II de composição gabrótica a diorítica, e posteriormente agrupadas indiscriminadamente como Gabro Passo da Fabiana (CPRM, 2005).

A presença de rochas máficas nas proximidades da anomalia identificada por Garcia (2017) é um fato relevante considerando que o mecanismo de formação dos depósitos IOCG é dado a partir da fusão do manto litosférico subcontinental, responsável pela geração das rochas máficas a ultramáficas (HITZMAN, 2005). A contribuição dessas rochas alimenta fluidos hidrotermais ricos em Fe, Cu, Ni e Au, os quais, por consequência de sua temperatura elevada levam a processos de fusão da crosta e geração de magmas félsicos (GROVES et al. 2010). A bacia anômala de Morro Redondo, delimitada por Garcia (2017), apresenta significativas anomalias dos elementos supracitados, incluindo concentrados de Au, bem como quantidades consideráveis de óxidos de Fe, Cu e Ni. Ainda nesta área, existe uma anomalia de U, também apontada por Garcia (2017), relevante para depósitos IOCG devido ao metassomatismo do manto litosférico (HITZMAN, 2005).

De acordo com as descrições dos mapas aerogeofísicos obtidos neste trabalho, foram destacadas as anomalias A, B e C. As anomalias A, representadas por A.1 e A.2 mostram anomalias positivas magnéticas (indicadas no mapa de aeromagnetometria) combinadas com

anomalias negativas de K, Th e U (mapa de aerogamaespectrometria Ternário). São corpos controlados por lineamentos levemente curvos NE-SW, ENE-WSW e NW-SE subordinadamente. As baixas respostas gamaespectrométricas são explicadas por Dickson; Scott (1997) devido a relação de proporcionalidade com o teor de sílica das rochas, ou seja, são extremamente baixos em rochas máficas, explicando a coloração preta no mapa Ternário. Pode-se inferir que o domínio da anomalia A é composto pela importante presença de dois corpos máficos que sofreram a ação de lineamentos posteriores NE-SW e ENE-WSW que remobilizaram elementos ferromagnéticos presentes nessas rochas.

No detalhe, a análise petrográfica da anomalia A, subdividida em A.1 (MR-02) e A.2 (MR-05): a primeira anomalia é uma rocha de composição diorítica ($An = 40-50$), com textura poiquilítica dada pelo anfibólio, orientação preferencial de plagioclásios, e piroxênios substituídos por anfibólios. A anomalia A.2 representa um corpo de composição gabróica ($An = 70-90$), com algumas semelhanças em relação ao A.1, entre elas a textura poiquilítica dos anfibólios, orientação de fluxo magmático dada pelos plagioclásios, os quais apresentam corrosão parcial em suas bordas. Contudo, suas principais diferenças indicam temperaturas distintas de cristalização na câmara magmática. A anomalia A.2 (MR-05) conta com a presença de plagioclásios de mais alta temperatura ($An = 70-90$), equivalente a bitownita, com macla da periclina, e ocorrência de orto e clinopiroxênio, ao passo que a A.1 apresenta apenas clinopiroxênio, e a composição dos plagioclásios é equivalente à andesina.

O principal mineral máfico nessas rochas é a hornblenda poiquilítica. Ela aponta a cristalização de ortopiroxênio na presença de voláteis no estágio final de cristalização, indicando uma feição comum de mistura de magmas, que é a hidratação tardia. O desbalanço térmico causado pelas intrusivas máficas nas intrusivas félsicas gera um desequilíbrio térmico, superaquecendo e vesiculando a rocha granítica, resultando em um sistema hidrotermal mais potente.

Barbosa et al. (2017) complementou o trabalho da região descrita por Ramgrab, et al. (1994) com dados de detalhamento petroográfico, incluindo feições texturais de diferenciação magmática e caracterização geoquímica das oito rochas intrusivas máficas, denominadas Passo da Fabiana, Passo da Olaria, Arroio Santa Fé, Desvio Herval, Campo Bonito, Passo dos Machados e Alto Alegre. A ocorrência Alto Alegre é representada neste trabalho como a anomalia A.1 decrita em microscopia como MR-02, confirmando as observações de Barborsa et al. (2017), e classificada como um dos corpos da Associação II de composição diorítica. A anomalia A.2 (MR-05) reflete a presença de um corpo de hornblenda gabronorito ainda não mapeado, interpretado como pertencente à mesma Suíte Intrusiva, possivelmente pertencente

à Associação I, este novo corpo aqui denominado neste estudo como Passo do Vieira, de acordo com a toponímia mais próxima. Na região da anomalia A.3, que exibe as mesmas características geofísicas que as anomalias do tipo A, não ocorrem afloramentos, tratando-se de uma área com solo espesso. No entanto, infere-se que possa existir um corpo máfico em subsuperfície.

A anomalia B está relacionada a um granodiorito deformado, com valores elevados identificados pela aeromagnetometria, indicando contribuição de elementos ferromagnéticos e participação de quantidades anômalas de U e Th (ppm). Essa anomalia está condicionada pela presença de um lineamento a sul NE-SW, relacionado a um provável lineamento ENE-WSW levemente curvo a norte, bem caracterizado no mapa de aeromagnetometria.

A anomalia C corresponde à região anômala delimitada por uma grande concentração de U (ppm), e exibe também, de acordo com o mapa Ternário, valores elevados de todos radioelementos (K, U e Th), indicados pela coloração branca. Essa anomalia possui uma zona de superposição, na sua porção SW, entre a anomalia A (no mapa aeromagnetométrico) e zona de intensa participação de K, U e Th, indicados no mapa Ternário. Os pontos verificados no levantamento de campo, nas áreas anômalas C.7 e C.8, exibem rochas granitóides de textura grossa com minerais ferromagnéticos associados a veios pegmatíticos. Nos pontos supracitados, verificados com o auxílio dos equipamentos geofísicos, nota-se o progressivo aumento de elementos ferromagnéticos da rocha granítica, conforme a aproximação ao veio. Contudo, sob o veio, os aspectos ferromagnéticos decaem a valores pouco expressivos. Os grandes teores anômalos estão contidos apenas no granito.

As rochas intrusivas máficas Alto Alegre (anomalia A.1) e Passo doVieira (anomalia A.2) são afetadas por lineamentos NE-SW, ENE-WSW e NW-SE (subordinadamente), que podem ter funcionado como um caminho para os fluidos que mobilizaram os elementos como Ni, Cu e outros encontrados na anomalia geoquímica de Garcia (2017). É possível supor que estes fluidos interagiram com fluidos provenientes ou circulantes em rochas graníticas, que por sua vez, possuem afinidades com os radioelementos Th e U. Este é um cenário que segundo à bibliografia utilizada (HITMAN, 2005; Groves et al. 2010) é favorável a depósitos do tipo IOCG.

7. CONCLUSÕES

Os métodos geofísicos empregados neste estudo, através de uma análise regional para a identificação de alvos e, posteriormente, a sua verificação em campo, possibilitou a determinação de padrões de anomalias. Esses padrões foram correlacionados com as causas, permitindo estabelecer uma relação entre as rochas intrusivas e as anomalias geoquímicas de óxidos de Fe, Cu, Ni e Au.

Com os dados geofísicos foram identificados dois tipos principais de anomalias, denominadas de A e C. As anomalias do tipo A, com altos magnéticos e baixos teores radiométricos, caracterizam corpos máficos e lineamentos. Essas características resultaram na identificação de um novo corpo intrusivo, denominado Passo do Vieira. As anomalias do tipo C possuem altos teores de U, e expõem evidente relação com os granitos e com os lineamentos da área.

A relação de proximidade das anomalias tipo A e C, associadas aos lineamentos presentes na região, indicam que as anomalias geoquímicas previamente encontradas podem estar associadas a depósitos IOCG, corroborando a hipótese de Garcia (2017).

8. REFERÊNCIAS

- BARBOSA, L. D. O; KOESTER, E.; GASTAL, M.C.P. Rochas Intrusivas Básicas no Sudeste do Cinturão Dom Feliciano, RS: Petrografia e Geoquímica das Associações I e II, 2017.
- COX, K.G; BELL, J.D; PANKHURST, R.J. 1979. The Interpretation of Igneous Rocks. Londres: George Allen & Unwin. p 450.
- DICKIN, A.D. Radiogenic Isotope Geology. **CAMBRIDGE: Cambridge University Press.** p 490. 1995.
- DICKSON, B.L; SCOTT, K.M. 1997. *Interpretation of Aerial Gamma-ray Surveys – adding the Geochemical Factors.* **AGSO J. Australia Geology & Geophysics.** v.17. n. 2. p.187-200.
- DICKSON, B.L; CLARK, G.J; MCGREGOR, B.J. Technique for Correcting for Over-burden Effects in Ground Level Radiometric Surveys of Uranium Ore Bodies. **Geophysics.** ed 44. p 89-98. 1979.
- DO BRASIL, CPRM – Serviço Geológico. **Carta Geológica Folha Pedro Osório.** Porto Alegre, folha SH. 22-Y-C, Estado do Rio Grande do Sul, 2000. Escala 1:250.000. Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais, 2000.
- DO BRASIL, CPRM – Serviço Geológico. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul,** 2005. Escala 1:750.000. Porto Alegre: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 2005.
- DO BRASIL, CPRM – Serviço Geológico. **Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul,** 2010.
- DO BRASIL, CPRM – Serviço Geológico. **Programa Prospecção no Cinturão Dom Feliciano,** 2010.
- FAURE, G. 1997. **Principles and Applications of Geochemistry.** New York: Preice Hall. p 589.
- FERNANDES, L.A.D; et al. Evolução Tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-riograndense: Parte II – uma contribuição a partir das assinaturas geofísicas. **Revista Brasileira de Geociências,** v 25, p 375-384. 1986.
- FRAGOSO CESAR, A.R.S, et al. O Batólito Pelotas (Proterozóico Superior/ Eo-Paleozóico) no Escudo do Rio Grande do Sul. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA,** 1986. n. 3. Goiânia, GO, Anais SBG, p. 1322-1343.

FRAGOSO CESAR, A.R.S. **Tectônica de Placas no Ciclo Brasileiro: As Orogenias dos Cinturões Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul**. 1991. p 362. Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1991.

FOOTE, R.S. 1968. Improvement in Airborne Gamma Radiation Data Analyses for Anomalous Radiation Changes. In: **Simpósio sobre uso de Técnicas Nucleares na Prospecção e Desenvolvimento de Recursos Minerais**. Buenos Aires, 1968.

GARCIA, F.P. **Avaliação da Potencialidade Metalogenética do Cinturão Dom Feliciano Leste do Rio Grande do Sul por meio da Prospecção Geoquímica**, 2017. Pós-Graduação em Geociências, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

GROVES, D.I; et al. Iron Oxide Copper-Gold (IOCG) Deposits Through Earth History: Implications for origin, lithospheric setting, and distinction from other epigenetic iron oxide deposits. **Economy Geology**, v.105. n.3, p 641-654, 2010.

GUNN, P.J. Interpretation of Airbone Magnetic and Radiometric Surveys. Couse. **CAMBERRA: Australian Geological Survey Organisation - AGSO**. p.150. 1998

HITZMAN M.W; VALENTA, R.K. Uranium in Iron Oxide Copper-Gold (IOCG) Systems. **Economic Geology**, 2005. v. 100. p.1637 – 1661.

HITZMAN, M.W. Iron Oxide Cu-Au Deposits: What, where, when, and why, in Porter, TM., ed., **Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold and Related Deposits: a Global Perspective**. Adelaide, **Australian Mineral Foundation**. v 1, p 201 – 218.

KAPLAN, I. 1955. **Nuclear Physics**. Londres: Addison-Wesley Publ. Co. p. 609.

MINTY, B.R.S. 1988. A Review of Airborne Gamma-ray Spectrometric Data-processing Techniques. Canberra: Australian Gov. Publi. Service. p 48.

PHILIPP, R. P. **A Evolução Geológica e Tectônica do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul**. 1998. 269 f. Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

PHILIPP, R.P, et al. O Magmatismo Granítico Neoproterozóico do Batólito Pelotas no sul do Brasil: novos dados e revisão da geocronologia regional. **Brazilian Journal of Geology**, v 32. n.2. p 277-290. 2008.

RAMGRAB, G.E; et al. **Corpos Básicos no Batólito Pelotas. XXXVIII. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA**, 1994. Balneário Camboriú, SGB, 1994. p 49-50.

RIBEIRO, V.B; MANTOVANI, M.S; LOURO, V.H.A. Aerogamaespectrometria e suas Aplicações no Mapeamento Geológico. **Terra Didática** 2014. v.10. n.1. p.29-51.

RUDNICK, R; GAO, S. Composition of the Continental Crust. In: **Holland H.D., Turckian N.N.** eds. *Treatise on Geochemistry*. Oxford: Elsevier Pergamon. n.3. p. 1-64. 2004.

SILVA, L.C, et al. SHRIMP U/Pb zircon dating of Neoproterozoic granitic magmatism and collision in the Pelotas Batholith, southernmost Brazil. **International Geology Review**, v 41. n. 6. p 531-551. 1999.

SOLIANI Jr, E. **Os Dados Geocronológicos do Escudo Sul-rio-grandense e suas Implicações de Ordem Geotectônica**. 1986. p 425. Pós-Graduação em Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1986.

TELFORD, W.M; GELDART, L.P; SHERIFF, R.E. 1990. *Applied Geophysics*. n 2. New York. University of Cambridge. p 770.

ULBRICH, H.H.G.J, et al. 2009. Levantamentos Gamaespectrométricos em Granitos Diferenciados. I: Revisão da Metodologia e do Comportamento Geoquímico dos Elementos K, Th e U. **Geologia USP: Série Científica**. v 9. p.33-53.

VIERO, P.A. 1998. **O Magmatismo Máfico Alcalino Mesozóico do Rio Grande do Sul**. Programa de Pós Graduação UFRGS. Porto Alegre, 1998.

WILFORD, J.R; BIERWIRTH, P.N; CRAIG, M.A. 1997. Application of Airbone Gamma-ray Spectrometry in soil/ regolith mapping and applied Geomorphology. **Journal of Australian Geology & Geophysics**. v.17. n. 2. p. 201-216.

WILLIAMS, P.J.; et al. Iron Oxide Copper-Gold Deposits: Geology, space-time distribution, and possible modes of origin. **Economic Geology**, 2005. p 371 – 405.