



**CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA GEOGRÁFICO DE INFORMAÇÃO  
VOLTADO À PROSPECÇÃO MINERAL NA REGIÃO DA MINA GALENA,  
AMARAL FERRADOR – RS.**

Porto Alegre, 2013

**FRANCISCO PAULO GARCIA**

**CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA GEOGRÁFICO DE INFORMAÇÃO  
VOLTADO À PROSPECÇÃO MINERAL NA REGIÃO DA MINA GALENA,  
AMARAL FERRADOR – RS**

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.

**ORIENTADORES:**

Prof.<sup>a</sup> Dra. Juliana Charão Marques

Prof. Dr. Jose Carlos Frantz

**SUPERVISORA:**

Dra. Maria Luiza Correa da Camara Rosa

Porto Alegre, 2013

## **UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**

**Reitor:** Carlos Alexandre Netto

**Vice-Reitor:** Rui Vicente Oppermann

### **INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**Diretor:** André Sampaio Mexias

**Vice-Diretor:** Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Garcia, Francisco Paulo

Construção de um Sistema Geográfico de Informação voltado à prospecção mineral na região da Mina Galena, Amarel Ferrador, RS . / Francisco Paulo Garcia. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2013. [75 f.] il.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Graduação em Geografia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2013.

Orientador: Juliana Charão Marques  
Coorientador: José Carlos Frantz

1. Depósitos epitermais. 2. Amarel Ferrador (RS). 3. Sulfetos em depósitos epitermais. 4. SIG. I. Título.

CDU 55

---

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Veileida Ana Blank CRB 10/571

---

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Campus do Vale Av. Bento Gonçalves, 9500 - Porto Alegre - RS - Brasil  
CEP: 91501-970 / Caixa Postal: 15001.  
Fone: +55 51 3308-6329 Fax: +55 51 3308-6337  
E-mail: [bibgeo@ufrgs.br](mailto:bibgeo@ufrgs.br)

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso **“CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA GEOGRÁFICO DE INFORMAÇÃO VOLTADO À PROSPECÇÃO MINERAL NA REGIÃO DA MINA GALENA, AMARAL FERRADOR-RS”** elaborado por **“FRANCISCO PAULO GARCIA”**, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

**Comissão Examinadora:**

---

**Prof. Dr. André Mexias**

---

**Profa. Dra. Marcia B. Gomes**

---

**Profa. Dra. Silvia Rolim**

## **DEDICATÓRIA**

Dedico integralmente este trabalho aos meus pais, Edison e Nelly, que enfrentaram inúmeras dificuldades ao longo da vida para poder educar da melhor forma possível os seus cinco filhos.

Dedico ao meu Pai Edison esta Graduação, pois se ele pudesse ter tido a oportunidade de cursar uma faculdade, a Geologia seria a sua opção de curso. Portanto, dividirei com ele este diploma.

Também dedico a minha mãe Nelly, por ser uma guerreira, por ser um exemplo de mulher e por estar sempre disposta a ajudar a sua família.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente aos meus orientadores, Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Juliana Charão Marques e Prof. Dr. José Carlos Frantz, por terem acreditado no meu trabalho e pelos ensinamentos passados durante esta etapa do curso.

À supervisora do meu trabalho Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Maria Luiza, pela disponibilidade, dedicação e parceria com as ajudas em todas as fases da pesquisa.

Ao professor da Engenharia de Minas Dr. João Felipe Costa e ao seu aluno de mestrado Luiz Gustavo Raser, pela disponibilidade, contribuições e auxílio na parte estatística deste trabalho.

À minha namorada, Bruna Mua, pelo imenso companheirismo e apoio em todos os momentos relacionados ou não a esta longa jornada.

Aos meus irmãos, pelo apoio e parceria. Principalmente ao meu irmão Edison, que é um exemplo de ser humano e de profissional.

Aos amigos que conquistei ao longo da faculdade: Ana Paula, Carla, Cris Zatt, Cristiano Fick, Douglas Zardo, Eliel, Felipe Leitzke, Fernando, Guilherme, Laura, Leonardo Leite, Leonardo Neis, Marco Castoldi, Rafael, Roberto, Ronei, Teixeira e Tiago. Também agradeço ao colega Rodrigo (Mineiro): sinto orgulho de ter um amigo que é um exemplo de força de vontade e de garra, que saiu do interior de Minas Gerais e enfrentou tantas dificuldades e preconceitos afim de que seu sonho pudesse ser realizado.

Aos amigos da “vida” que contribuíram de uma forma ou outra com esta etapa: André, Bruno, Bruno Paim, Carl Tsai, Daniel, Diego Alvares, Eduardo Kinjo, Gustavo, Jader, João Morsch, Luciano Braga, Rafael e William. Ao amigo e futuro colega de profissão Marcelo Barrios devo um agradecimento especial, pela prontidão em me ajudar no momento mais difícil que passei durante a graduação.

## RESUMO

Os depósitos epitermais têm sido amplamente estudados por serem depósitos minerais que contribuem significativamente com a produção mundial de ouro, prata, cobre, chumbo e zinco, entre outros metais. Os principais depósitos epitermais estão localizados no Japão, Indonésia, Chile e no oeste dos Estados Unidos, ou seja, estão situados no “anel de fogo” do Pacífico. No Rio Grande do Sul, no município de Amaral Ferrador, ocorre uma área mineralizada à galena, recentemente explorada pela Mineração Galena S.A.. Estudos anteriores demonstraram esta ocorrência como sendo um depósito do tipo epitermal de baixa sulfetação. Considerando esta característica e o conhecimento de que depósitos epitermais não ocorrem isoladamente, há um potencial de que possam existir novos alvos de mineralizações do tipo epitermal, particularmente associados as estruturas regionais. Desta forma, a partir das informações de trabalhos anteriores, juntamente com os dados de prospecção geoquímica obtidos recentemente pela CPRM - disponibilizados no sistema Geobank-, e através de uma série de atividades como trabalhos de campo, petrografia, análise estatística, difratometria de raios-X e observação de estruturas em imagens de satélites, o presente estudo teve como objetivo investigar, em escala mais ampla do que os trabalhos até então realizados, as áreas adjacentes à Mineração Galena S.A. com o intuito de organizar os dados disponíveis e buscar indícios da continuidade da mineralização ao longo das estruturas que cortam a região. Após a organização e interpretação de todos os dados, foi confeccionado de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), o qual foi baseado principalmente na análise estatística dos dados de sedimento de corrente. Assim, foram identificadas quatro áreas anômalas. Uma destas áreas apresentou-se enriquecida em oito elementos, dos quais chamaram a atenção as anomalias de Se, Te, Pb e Sn. Tais anomalias podem indicar uma provável continuidade dos depósitos epitermais estudados anteriormente na região de Amaral Ferrador. Nesta região anômala também foram observadas duas estruturas tectônicas que se cruzam quase que ortogonalmente, assim como ocorre na mina galena, a qual se sabe ter sido uma região mineralizada. Este fato pode ser mais um indício de que esta zona possa ser de alto interesse do ponto de vista prospectivo. Desta forma, novos estudos mais detalhados nesta região anômala se fazem necessários para busca mais evidências de alvos minerais.

**Palavras-Chave:** Depósitos epitermais, Amaral Ferrador, sulfetos em depósitos epitermais, SIG.

## **ABSTRACT**

Epithermal deposits are widely studied due to the significant exploration of gold, silver, copper, lead, zinc and other metals associated to this deposits. The most important epithermal deposits are located on Japan, Indonesia, Chile and western United States, all of those located on the Pacific Ocean "ring of fire". An area mineralized with galena, located on the city of Amaral Ferrador, Rio Grande do Sul has been explored by Mineração Galena S.A. Previous studies indicated this deposit as an low sulphidation epithermal deposit. Considering this feature and by knowing that epithermal deposits do not occur isolated, there are potential epithermal targets yet to be discovered, particularly associated with regional structures. Therefore, based on previous works added to geochemical data recently obtained by CPRM (Geological Survey of Brazil) - available on Geobank system - and with a series of activities such as field work, petrography, statistic analysis, x-ray diffraction and the observation of structures on satellite images, this research aims the investigation, on a larger scale than previous works, the adjacent areas to Mineração Galena S.A. area, trying to arrange available data and look for the continuity of the mineralization, specially on the structures that cross this area. An Geographic Information System (GIS) database was made based mainly on stream sediment data. Four different areas with anomalies were identified, one of these showed a positive anomaly on eight elements, on which Se, Te, Pb and Sn were considered important. Such anomalies may indicate the continuity of the epithermal deposits previously studies on Amaral Ferrador region. On this region, two tectonic structures, one almost orthogonal to each other, such as those on Mina Galena, known for being a mineralized area. This fact might be another clue that this region could be a possible prospecting target. Considering this information, new studies on this area with anomalies should be done in order to identify mineralized targets.

**Keywords:** epithermal deposits, Amaral Ferrador, sulphides on epithermal deposits, GIS



## SUMÁRIO

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 1.     | INTRODUÇÃO.....  | 11 |
| 1.1    | PROBLEMA, PREMISSAS, HIPÓTESES E TÉCNICAS DE SOLUÇÃO. ....   | 12 |
| 1.1.1  | Problema.....  | 12 |
| 1.1.2  | Premissa.....  | 12 |
| 1.1.3  | Hipóteses.....   | 12 |
| 1.1.4  | Técnicas de solução.....                                     | 13 |
| 2.     | OBJETIVOS.....   | 15 |
| 2.1    | Objetivo geral.....  | 15 |
| 2.2    | Objetivos específicos.....                                   | 15 |
| 3.     | LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE INVESTIGAÇÃO.....                     | 16 |
| 4.     | CONTEXTO GEOLÓGICO.....                                      | 18 |
| 4.1    | Geologia Regional.....                                       | 18 |
| 4.2.   | Geologia Local.....  | 23 |
| 4.     | MATERIAIS E MÉTODOS.....                                     | 26 |
| 4.1.   | Bancos de dados de prospecção geoquímica.....                | 26 |
| 4.2.   | Sensoriamento Remoto.....                                    | 27 |
| 4.3.   | Trabalho de Campo.....                                       | 29 |
| 4.4.   | Análise Petrográfica.....                                    | 30 |
| 4.5.   | Difratometria de Raios X.....                                | 31 |
| 4.5.1. | Funcionamento da difratometria de raios X.....               | 31 |
| 4.6.   | Análise Estatística.....                                     | 32 |
| 4.6.1. | Tratamento de dados.....                                     | 33 |
| 4.6.2  | Software SGeMS.....  | 34 |
| 4.6.3. | Determinação do Limiar:.....                                 | 35 |
| 4.6.4. | Mapas do tipo Kernel.....                                    | 38 |
| 4.6.5. | Scatterplot.....   | 38 |
| 4.7.   | Construção de um Sistema de Informação Geográfica (SIG)..... | 39 |
| 5.     | RESULTADOS.....  | 42 |
| 5.1.   | Litologia.....   | 42 |
| 5.1.1  | Monzogranito.....  | 42 |
| 5.1.2. | Sienogranito.....  | 44 |
| 5.1.3. | Leucogranito.....  | 45 |
| 5.1.4. | Sienogranito-pórfiro.....                                    | 47 |
| 5.2.   | Estruturas regionais.....                                    | 50 |

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 5.3. Alterações.....  | 51 |
| 5.4. Anomalias.....   | 54 |
| 5.5. Scatterplot..... | 64 |
| 6. DISCUSSÕES.....    | 68 |
| 6.1. Litologia.....   | 68 |
| 6.2. Alterações.....  | 69 |
| 6.3. Estruturas.....  | 70 |
| 6.4. Anomalias.....   | 70 |
| 7. CONCLUSÕES.....    | 72 |
| REFERÊNCIAS.....      | 74 |

## 1. INTRODUÇÃO

Devido ao interesse econômico que possuem, os depósitos epitermais foram alvos de estudos por décadas. Estes tipos de depósito podem ser fonte de metais como Au, Ag e Cu, além de uma série de outros elementos.

No Rio Grande do Sul, mais especificamente no município de Amaral Ferrador, há uma mina que foi recentemente explorada, chamada Mina Galena, de onde se extraiu chumbo.

No ano de 2010, a mina acima citada foi estudada em detalhe, na monografia de conclusão de curso intitulada “Caracterização do sistema hidrotermal da Mina Galena, Amaral Ferrador - RS” de Isadora Henrichs, que teve como principal objetivo a caracterização do tipo de depósito da Mina Galena. No final deste estudo ficou confirmado que o depósito onde está localizada a Mina Galena é do tipo epitermal de baixa sulfetação.

Tendo como base informações conhecidas de estudos anteriores aliadas à utilização de uma série de ferramentas como trabalhos de campo, difratometria de raios x, estudo de estruturas regionais, análise petrográfica e análise estatística de banco de dados geoquímicos, a presente proposta de pesquisa visou à localização e caracterização de indícios de possíveis zonas mineralizadas, que supostamente estão dispostas ao longo de estruturas tectônicas presentes na região. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi criar um sistema de informação geográfica, no qual seria inserido, de uma forma organizada, todo tipo de informação prévia e gerada neste trabalho.

Por se tratar de um trabalho que é requisito para colação de grau no curso de Geologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, este estudo será apresentado em forma de monografia.

## **1.1 PROBLEMA, PREMISSAS, HIPÓTESES E TÉCNICAS DE SOLUÇÃO.**

### **1.1.1 Problema**

O trabalho de HENRICHS (2010), realizado na região a ser estudada, visou uma pesquisa em uma escala pontual e detalhada, no qual foram realizados estudos petrográficos, principalmente em testemunhos de furos de sondagem, além da investigação das paragêneses distintivas da mineralização. Alguns indícios levantados levaram HENRICHS (2010) a definir a mineralização como do tipo epitermal de baixa sulfetação. Depósitos desta natureza geralmente ocorrem em áreas onde são repetidos os alvos de ocorrência e, portanto, caracterizam províncias com alto interesse econômico. Dados inéditos fornecidos pela Mineração Galena SA., dados de HENRICHS (2010) e levantamentos recentes realizados pela CPRM levam a crer que possam existir novos alvos mineralizados ao longo de estruturas tectônicas presentes na área. No entanto, a organização e complementação destas informações se faz necessária para que se possa avaliar a região do ponto de vista de exploração mineral.

### **1.1.2 Premissa**

Nos arredores do município e Amaral Ferrador, onde se situa a Mina Galena, existem dados disponíveis de trabalhos anteriores como o de HENRICHS (2010) e, mais recentemente, da CPRM, no qual foi realizado análises de prospecção geoquímica. No entanto, afim de que a partir destas informações se possa avaliar a região do ponto de vista de exploração mineral, tais dados necessitam ser organizados e complementados. Portanto, levando em consideração que depósitos epitermais normalmente não ocorrem isolados, se supõe que outras zonas mineralizadas possam ser detectadas.

### **1.1.3 Hipóteses**

A hipótese deste estudo é que a utilização de estatística de dados de prospecção geoquímica, aliados a observações de geologia, auxilia a confirmar que os depósitos epitermais são controlados por estruturas tectônicas e que os mesmos não ocorrem de forma isolada.

#### **1.1.4 Técnicas de solução**

Para testar a hipótese mencionada anteriormente, foi imprescindível a utilização de uma série de técnicas complementares umas às outras.

As técnicas utilizadas foram as seguintes: compilação de dados prévios, sensoriamento remoto, trabalho de campo, análise petrográfica (macroscopia e microscopia), análise estatística e difratometria de Raios X (Figura 1).

A compilação de dados prévios, principalmente, dos dados geoquímicos produzidos pela CPRM, foi de extrema importância para o desenvolvimento do trabalho. Tais dados, após serem tratados e analisados estatisticamente, serviram como referencial para a obtenção de novos dados. O sensoriamento remoto por sua vez foi utilizado com o intuito de conhecer e demarcar estruturas tectônicas, as quais provavelmente revelam uma correlação direta com as anomalias minerais presentes na área de estudo. O trabalho de campo, além de ser utilizado para a observação de afloramentos e de levantamento de estruturas, também serviu como etapa preliminar para o estudo petrográfico e para a análise de difratometria de Raios X, a partir da coleta de amostras.

Por fim, a construção de um Sistema de Informação Geográfica integrou as informações das técnicas utilizadas no desenvolvimento no trabalho, permitindo assim uma melhor visualização das zonas que possuam um forte interesse do ponto de vista prospectivo.

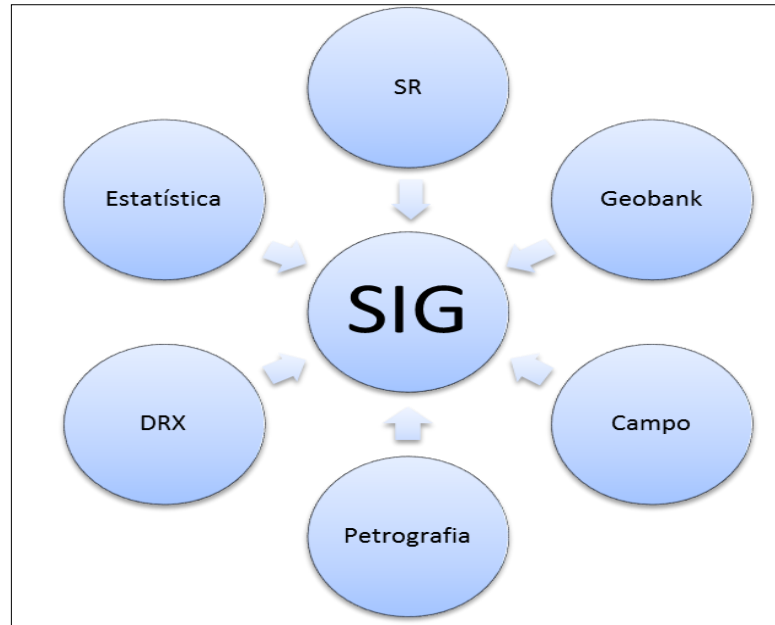


Figura 1: A imagem ilustra as técnicas utilizadas no trabalho que integraram o SIG.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

O objetivo geral do presente estudo é testar a hipótese de que estruturas regionais podem ser controladoras da mineralização nos depósitos epitermais, os quais normalmente não ocorrem de forma isolada.

### **2.2 Objetivos específicos**

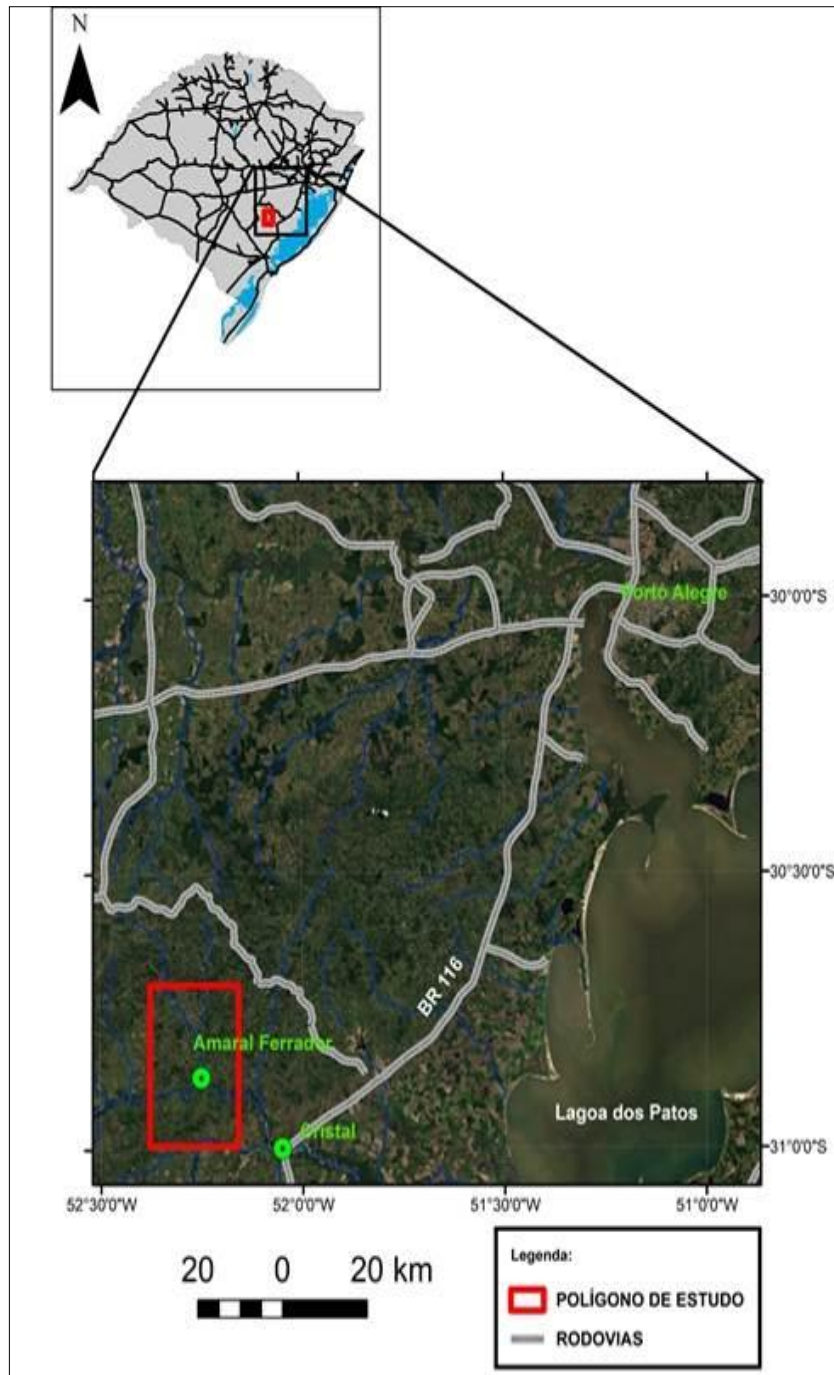
Correlacionar informações de trabalhos anteriores como os de HENRICHS (2010) juntamente com os dados de prospecção geoquímicos produzidos e disponibilizados pela CPRM, com os resultados que serão obtidos neste trabalho através das observações de campo, da interpretação de imagens de satélite, do estudo petrográfico, da análise estatística dos dados e da geração de um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Assim, o produto final deste estudo será um SIG, no qual se buscará observar as informações sob um ponto de vista prospectivo na busca de novos alvos potenciais.

### **3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE INVESTIGAÇÃO**

A região de estudo está situada no leste do Escudo Sul-Rio-Grandense, mais especificamente nas proximidades da cidade de Amaral Ferrador (Figura 2), que é um pequeno município do Rio Grande do Sul com cerca de 5.000 habitantes, localizado às margens do Rio Camaquã.

Para chegar a Amaral Ferrador, partindo de Porto Alegre, se percorre cerca de 160 km no sentido Sul por meio da rodovia federal BR-116 até a cidade de Cristal e depois, seguem-se mais 30 km à Oeste por estrada secundária.





## **4. CONTEXTO GEOLÓGICO**

### **4.1 Geologia Regional**

Segundo estudos realizados até o presente momento, há duas formas conhecidas de dividir o escudo Sul-Rio-Grandense. A primeira delas, o divide em duas partes: sendo uma delas uma pequena área cratônica no extremo oeste, conhecida como Cráton Rio de La Plata (ALMEIDA *et al* 1973), e a outra, compreendida por uma faixa móvel Neoproterozóica, denominada como Cinturão Dom Feliciano (FRAGOSO-CÉSAR, 1980). Na segunda, o Escudo foi dividido a partir de estudos geofísicos, que utilizaram descontinuidades gravimétricas e aeromagnéticas como parâmetros. A partir dos trabalhos de Fernandes *et. al* (1995), três domínios geofísicos foram determinados: um Oriental, um Central e um Ocidental (Figura 3).

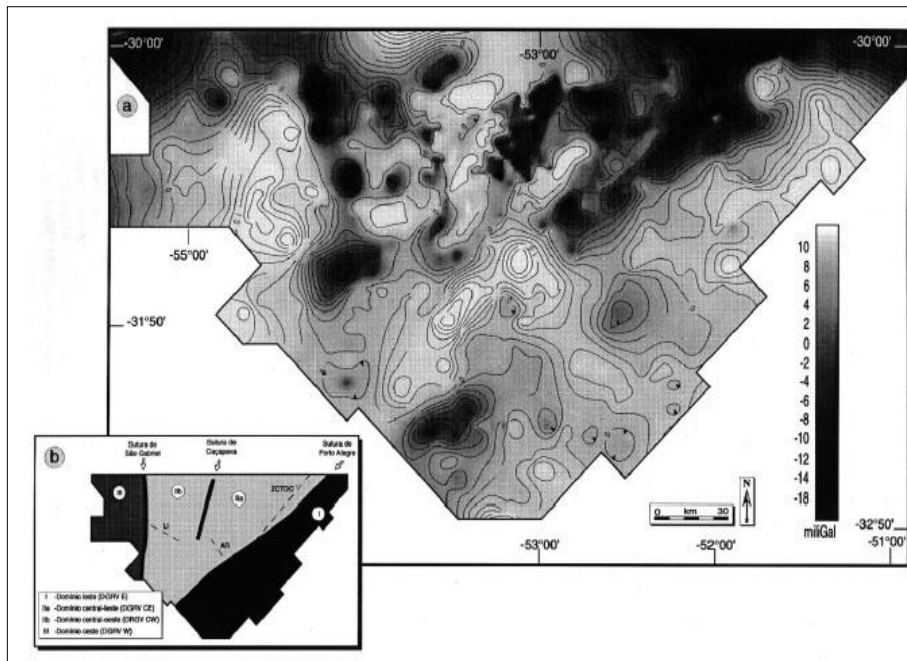


Figura 3: Mapa de anomalias Bouguer para o escudo Sul-Rio-grandense. Os quatro maiores domínios são: I- Domínio gravimétrico oriental; IIa- Domínio gravimétrico centro-leste; IIb- Domínio gravimétrico centro-oeste; III - Domínio gravimétrico ocidental. ZCTDC – Zona de cisalhamento transcorrente Dorsal de Canguçu. LI – Lineamento Ibaré. (extraído de FERNANDES *et. al*, 1995).

A porção Oriental é representada por seqüências de rochas plutônicas, com predomínio de granitóides cálcio-alcálinos, sendo separado pela Sutura de Porto Alegre. O domínio Central, por sua vez, é complexo, e é subdividido através da Sutura de Caçapava do Sul em duas partes, sendo a primeira o segmento centro-leste e a segunda, centro-oeste. O primeiro (parte centro-leste) é constituído por granitóides, seqüências supracrustais e septos paleoproterozóicos do embasamento, os quais estão organizados estruturalmente em uma faixa de direção NE ao final da orogênese pela Zona de Cisalhamento Transcorrente Dorsal de Canguçu.

Assim como a porção centro-leste, a parte centro-oeste também possui uma variedade de unidades geológicas, mas o que caracteriza esta porção é a presença de um segmento juvenil neoproterozóico (FERNANDES *et. al*, 1995).

De acordo com os estudos geofísicos, os domínios Central e Oriental são classificados como Cinturão Dom Feliciano, o qual se encontra separado a oeste,

pela Sutura de São Gabriel e pelo Lineamento Ibaré. Este lineamento, mais especificamente em sua parte norte, é uma zona de cisalhamento NW, que coincide com a Sutura São Gabriel.

O Domínio Geofísico Ocidental é constituído pelo Cráton Rio de La Plata, onde há, principalmente, rochas granulíticas. (FERNANDES *et. al*, 1995).

O polígono do presente estudo se encontra no Domínio Gravimétrico Oriental e Central no segmento Leste, estando, portanto, localizado no Cinturão Dom Feliciano Leste (FRANTZ & BOTELHO, 2000). A porção leste do Cinturão Dom Feliciano, é compreendida por um terreno granítico-migmatítico que é entendido como um arco magmático continental exposto e erodido de forma diferencial (FRANTZ *et al*, 2000). A evolução do Cinturão é marcada por diferentes estágios de intrusões graníticas, e ocorreu em três regimes tectônicos, sendo o primeiro de tectônica tangencial, seguido de um regime transcorrente e o último, caracterizado por um regime pós-transcorrente extensional. Segundo a CPRM (1997), o polígono de estudo, está sendo basicamente representado por seis unidades geológicas que podem ser observadas na figura 4. Conforme estudo realizado por RAMGRAB (1997), as unidades compreendidas na área estudada são as seguintes:

- a) Complexo Granito-Gnáissico Pinheiro Machado: é a unidade mais antiga e nela há metagranitóides porfíricos, mesocráticos, de coloração cinza, com enclaves de gnaisses tonalíticos e dioríticos.
- b) Suíte Granítica Dom Feliciano - Fácies Cerro Grande: Compreende monzogranitos porfíricos de textura grossa que engloba enclaves mesocráticos.
- c) Suíte Granítica Dom Feliciano – Fácies Serra do Herval: é formada basicamente por um granito rosado de textura equigranular, rico em feldspato, quartzo e com baixa quantidade de feldspato branco e de micas.
- d) Formação Sanga do Cabral: é uma porção sedimentar, onde se encontram conglomerados intraformacionais e arenitos conglomeráticos mal selecionados, que possuem por vezes uma estratificação cruzada acanalada e também uma estratificação planar de pequeno a médio porte.

- e) Depósitos eluviais e coluviais: compreendidos por areias quartzosas de cor amarelo acastanhadas, com granulometria, que variam entre fina a muito grossa, que apresentam grãos subarredondados a arredondados, mal selecionadas. Além disso, a laminação plano-paralela de grau incipiente é uma característica destes depósitos.
  
- f) Depósitos Quaternários: são compostos por sedimentos de origem aluvionar, que possuem frações de granulometria cascalhosa, arenosa e argilosa e que normalmente variam de semiconsolidadas e inconsolidadas.

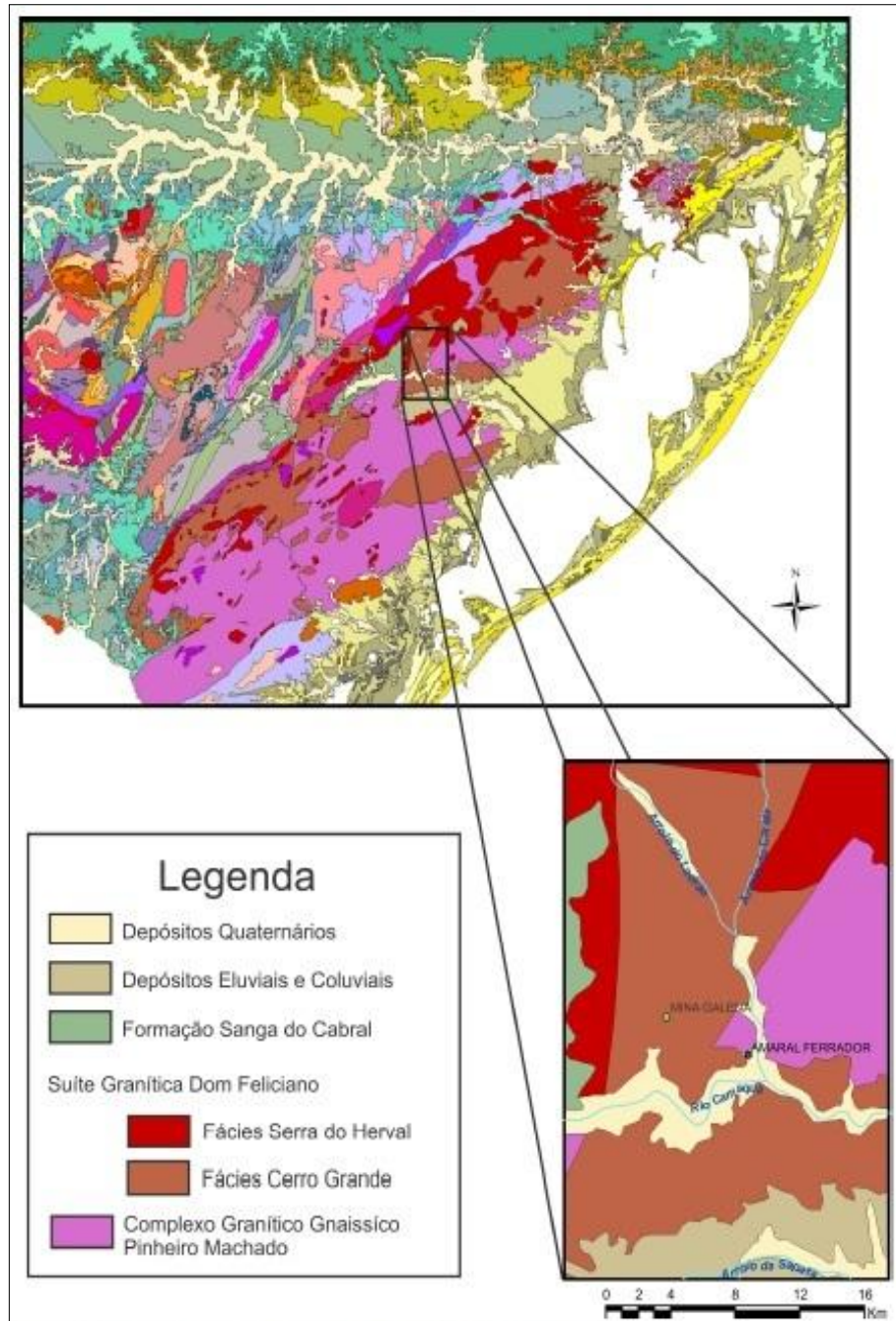


Figura 4: Mapa Geológico segundo CPRM. RAMGRAB *et. al*, 1997.

#### **4.2. Geologia Local**

A partir do estudo dos trabalhos anteriores realizados na área de Amaral Ferrador, como os de Henrichs (2010) e de Rost (2006), pode-se descrever a geologia local, que engloba aspectos como a litologia, a relação das alterações com o minério e o controle estrutural. As principais rochas que recobrem o polígono de estudo são pertencentes aos granitos pós-tectônicos da suíte Dom Feliciano, que correspondem a uma série de plutons alongados de direção Nordeste.

Além das rochas da Suíte Granítica Dom Feliciano – Fácies Serro Grande e também da Fácies Serra do Herval, estão presentes na área de estudo outras unidades litológicas como a Formação Sanga do Cabral, que se trata de conglomerados e arenitos conglomeráticos, e a unidade mais antiga desta região que são rochas do Complexo Granítico Gnaissico Pinheiro Machado.

As litologias predominantes presentes no polígono são representadas por Monzogranitos heterogêneos e por Granodioritos, classificados pela CPRM como Suíte Granítica Dom Feliciano – Fácies Cerro Grande, sendo estas rochas hospedeiras das alterações hidrotermais e a litologia pertencente a área mineralizada da Mina Galena.

Os monzogranitos heterogêneos podem ser descritos como biotita-monzogranitos, os quais, por vezes, são representados por sienogranitos. Esta unidade apresenta uma variação de termos inequigranulares porfiríticos a seriados, com presença de megacristais de K-feldspato e fenocristais de plagioclásio. Também se pode observar nesta unidade uma foliação de fluxo ígneo com orientação média de N40E, que está demarcada pela orientação de grãos de biotita e megacristais de K-feldspato (Figura 5).



Figura 5: Foto mostrando foliação de fluxo ígneo nos monzogranitos. Extraído de Rost (2006).

Os granodioritos, por sua vez, afloram em lajeados em beira de drenagens de uma forma mais localizada e são representados por três corpos elípticos orientados para NE e concordantes com a estruturação tectônica da área. Estas rochas podem ser descritas como biotita granodioritos melanocráticos, com textura que varia entre fina e média. Em alguns locais podem se observar a presença de anfibólio e xenocristais de K-feldspato. A partir de características como a ocorrência de megacrístais de K-feldspato e as relações de mútua intrusão nos granodioritos, a contemporaneidade genética destas rochas com os monzogranitos fica evidenciada.

Além das principais litologias mencionadas acima, outras duas, que são representadas por intrusões locais de pequeno a médio porte ocorrem próximas à área da Mina Galena, de forma menos frequente: o Quartzo-monzonito e o Quartzo-pórfiro. O Quartzo-monzonito é composto por rochas melanocráticas a leucocráticas, de cor cinza a branco e que contém biotita. A textura é geralmente equigranular, varia de fina a média e por vezes apresenta fenocristais localizados de plagioclásio e K-feldspato. Por sua vez, o Quartzo-Pórfiro é representado por intrusões locais, que variam de pequeno porte (poucos centímetros) a médio porte (centenas de metros), de granitóides leucocráticos rosados. A textura desta rocha é



fina e tende a ser inequigranular. Além disso, esta unidade possui cristais pórfiros de quartzo, que variam de arredondados a prismáticos e também fenocristais de K-feldspato são frequentes nestas rochas.



Figura 6: Fotografia de campo mostrando o Quartzo pórfiro que ocorre na área da Mina Galena.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Bancos de dados de prospecção geoquímica.

Para a obtenção de dados geoquímicos produzidos anteriormente na região de estudo, o sistema de banco de dados da CPRM, denominado Geobank, foi acessado através do site <http://geobank.sa.cprm.gov.br>. Consultou-se o projeto da CPRM intitulado “Prospecção no Cinturão Dom Feliciano”, a partir do qual foi realizado o *download* de duas planilhas em formato Excel, que possuem dados geoquímicos de concentrados de bateia e de sedimento de corrente referentes ao referido projeto, realizado recentemente, na escala aproximada 1:250.000 com adensamento até cerca de 1:100.000 em áreas relevantes.

Os dados das duas planilhas acima mencionadas passaram por um tratamento, o qual envolveu duas fases principais: revisão das informações e a organização de dados para que os mesmos pudessem ser utilizados tanto no software ArcGIS™, quanto no software de análise estatística SGeMS.

Na fase de revisão foi utilizado o programa Microsoft Office Excel, na qual se procurou examinar cautelosamente e corrigir as informações contraditórias como, por exemplo, dados duplicados, contidos nas tabelas para poder trabalhar e visualizar os dados de uma forma clara e objetiva.

Já na etapa da organização de dados, os dados foram formatados, as informações não relevantes para o desenvolvimento do trabalho foram retiradas, tal como pontos fora da área de interesse, e também foram adicionadas informações necessárias, como a inclusão de colunas com coordenadas do tipo UTM. Este último procedimento foi realizado através da ferramenta XTools pertencente ao software ArcGIS™.

Após tratamento dos dados, as planilhas de sedimento de corrente e concentrado de bateia apresentavam, respectivamente, 1361 e 1477 amostras,

referente a toda a área leste do Cinturão Dom Feliciano onde a área de interesse está inserida.

Os dados de sedimento de corrente, adquiridos junto a CPRM, foram obtidos através de análise por meio de ICP-MS no laboratório canadense Acme – Analytical Laboratories, onde foram analisados 53 elementos químicos, os quais foram expressos por vezes em PPM (partes por milhão) ou em PPB (partes por bilhão), sendo esta última unidade de concentração utilizada para os elementos químicos que apresentaram baixa concentração nas rochas. Já os dados de concentrados de bateia foram produzidos através de classificação tátil-visual no laboratório da CPRM em Porto Alegre. Este trabalho totalizou a separação de 68 de minerais em intervalos de classes para cada amostra, no qual se padronizou pela CPRM sete intervalos: 0%, <1%, 1-5%, 5 -10%, 10-25%, 25-50% e 75-100%.

As informações das duas planilhas acima mencionadas foram trabalhadas estatisticamente com o intuito de observar possíveis anomalias geoquímicas. Para isso utilizou-se os softwares ArcGIS<sup>TM</sup> e SGeMS, sendo o primeiro uma excelente ferramenta para a visualização espacial e geração de diversos mapas que ajudam a interpretar possíveis anomalias e o segundo, um software estatístico de livre acesso e de simples manuseio utilizado para a geração de parâmetros estatísticos úteis à presente pesquisa.

#### **4.2. Sensoriamento Remoto**

Uma vez que a identificação de lineamentos estruturais é uma prática importante para a pesquisa geológica, a utilização do Sensoriamento Remoto a partir das imagens de radares e ópticas se faz necessária e tem uma boa resposta ao ser empregada neste tipo de estudo. Sabe-se ainda que o mapeamento de lineamentos morfoestruturais pode levar ao reconhecimento de falhas no terreno, visto que estes representam importantes elementos para interpretar o contexto tectônico de uma determinada área.

Dessa forma, as técnicas de Sensoriamento Remoto foram utilizadas neste trabalho com o objetivo principal de identificar e traçar lineamentos a partir de imagens orbitais, procedimentos que foram realizados através de um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Com isso se pretendeu, por meio da integração de dados, estabelecer uma correlação das estruturas regionais com as áreas onde foram identificadas anomalias geoquímicas. Além disso, estas ferramentas foram empregadas no apoio logístico do trabalho, auxiliando na identificação dos acessos e de alvos, o que foi fundamental para o planejamento da etapa de campo.

Dois tipos de dados de sensores remotos orbitais de domínio público foram utilizados: imagens de radar do levantamento altimétrico realizado no ano 2000 proveniente da missão SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), as quais fornecem informações altimétricas permitindo caracterizar o relevo, e imagens ópticas. Estas, por sua vez, são provenientes do Satélite Landsat 7, sensor ETM+, as quais referem-se a dados multiespectrais que possibilitam a análise dos alvos por meio de combinações de bandas. As bandas utilizadas correspondem ao visível e ao infravermelho (1, 2, 3, 4, 5 e 7). Além destas, imagens obtidas a partir do Google Earth foram eventualmente empregadas, visto que possuem melhor resolução espacial que as imagens Landsat.

Os dados de Sensoriamento Remoto, previamente georreferenciados, foram analisados no software ArcGIS<sup>TM</sup>, possibilitando o detalhamento e a elaboração de um mapa de lineamentos. Neste mapa a distribuição espacial das feições identificadas pôde ser observada e as estruturas foram correlacionadas com zonas que podem ter controlado a alteração hidrotermal. Além disso, esta análise serviu de base para a interpretação dos resultados quando se cruzaram informações das estruturas com as obtidas após o tratamento estatístico.

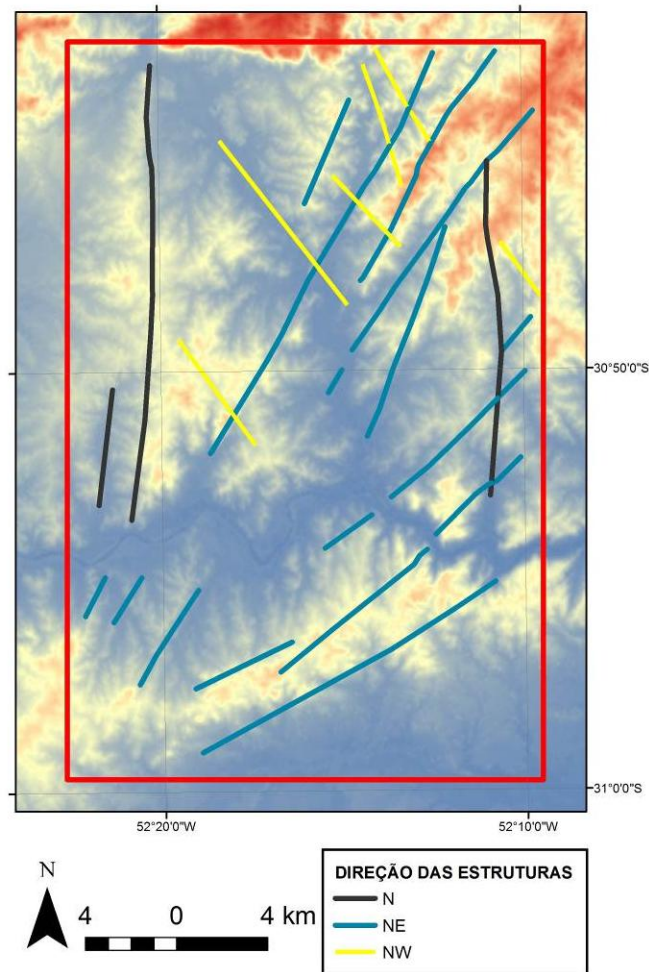


Figura 7: Ilustração do procedimento adotado para a definição dos lineamentos com base no Modelo Digital de Elevação do Terreno (SRTM), onde as cores quentes se referem as altitudes mais elevadas.

#### 4.3. Trabalho de Campo

As atividades de campo foram realizadas em dois períodos que totalizaram três dias de trabalho. No mês de Maio de 2013, ocorreu o primeiro trabalho de campo, o qual visou o reconhecimento geral da área de estudo. Nesta etapa, foram realizadas descrição de afloramentos previamente selecionados, levantamento de estruturas e coletas de amostras – tanto para análise petrográfica, quanto para Difractometria de Raios-X.

Após o estudo e organização das informações obtidas no primeiro trabalho de campo, juntamente com observações espaciais feitas por meio do software ArcGIS™, aliadas a imagens de satélite do Google Earth, foram definidos

afloramentos de maior interesse para visitação durante a segunda etapa de campo. Nesta visita aos afloramentos pré-estabelecidos, pode-se confirmar que as direções de estruturas tectônicas que eram vistas nas imagens de satélite também se confirmaram no campo.

A segunda etapa de campo, realizada no mês de Julho do mesmo ano, teve como finalidade complementar o primeiro estudo de campo. Nesta atividade, objetivou-se confirmar, através de evidências de campo, as supostas estruturas tectônicas que possivelmente controlam a mineralização na região e também coletar mais amostras de material de alteração para análise de Difratomia de Raios-X.

Esta fase do trabalho foi imprescindível para o desenvolvimento do estudo, pois através dele se obteve uma série de informações novas que ajudaram num melhor entendimento da área pesquisada.

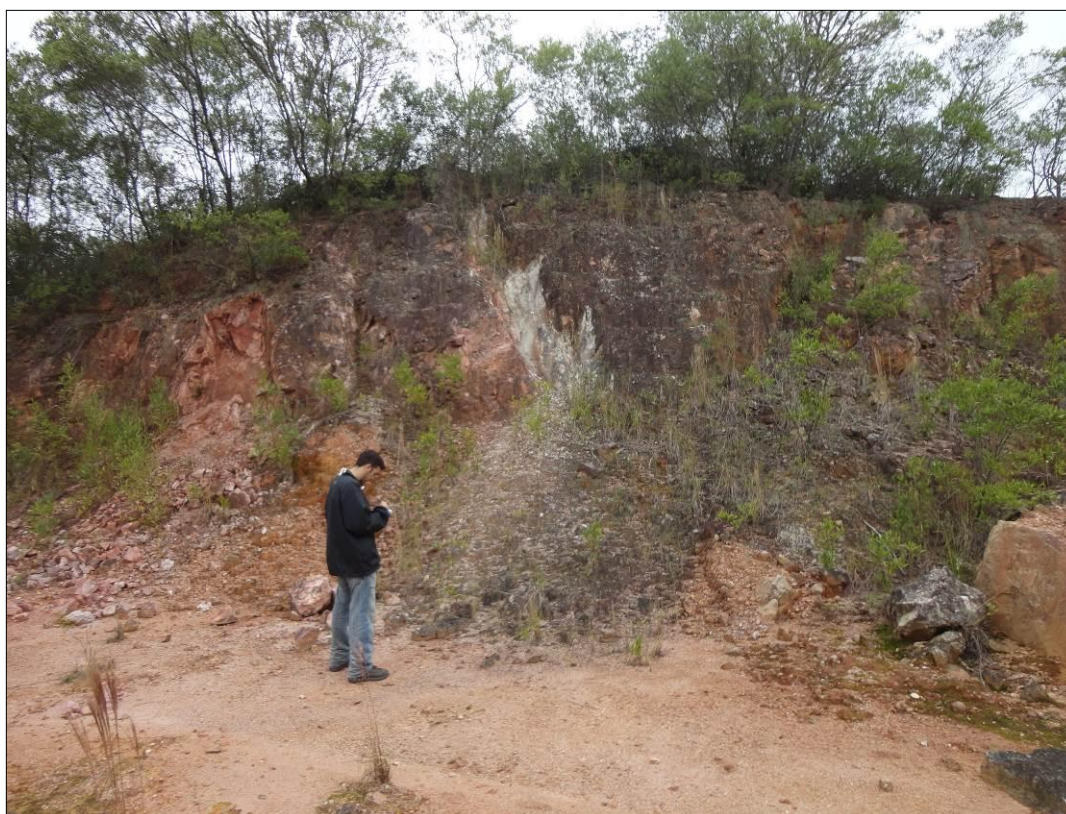


Figura 8: Observação de uma zona de alteração durante a etapa de campo.

#### **4.4. Análise Petrográfica**

A partir das amostragens realizadas nas atividades de campo, a análise petrográfica foi feita, tanto em observação macroscópica quanto microscópica, com

o intuito de reconhecer as paragêneses minerais das amostras coletadas. Os estudos petrográficos foram realizados no Laboratório de Geologia Isotópica (LGI) do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IG-UFRGS).

Para o estudo microscópico se selecionaram quatro amostras que posteriormente foram encaminhadas para o laboratório de preparação de amostras do IG-UFRGS, onde se confeccionou lâminas delgadas polidas.

A análise macroscópica foi uma etapa importante no desenvolvimento do trabalho e, por se tratar de uma observação de forma direta (através da utilização de lupas de mão e de lupas do LGI-UFRGS), esta análise ocorreu previamente a microscopia.

Após a confecção das lâminas petrográficas, as análises e descrições microscópicas, complementaram o estudo macroscópico e possibilitaram desta forma, a interpretação e a discussão os resultados obtidos sobre as paragêneses minerais da área de estudo.

#### **4.5. Difratomia de Raios X**

Após a primeira atividade de campo, na qual se coletaram amostras, foram selecionadas nove amostras para a análise de difratometria de raios X, onde se objetivou reconhecer aquelas fases minerais que não são possíveis de identificar através da microscopia óptica. O equipamento utilizado para tal análise foi o difratômetro D5000 Siemens Kristalloflex, pertencente ao Laboratório de Difratomia de Raios X do IGEO da UFRGS. Com base nos dados obtidos através da análise de difratometria de raios X, os quais foram comparados com a base de dados minerais Mincrust, foi possível reconhecer os minerais de alteração. Posteriormente, estes dados puderam ser comparados com os dados produzidos por Henrichs (2010), podendo-se também avaliar a existência de uma correlação entre as informações obtidas com aquelas conhecidas de zonas mineralizadas.

##### **4.5.1. Funcionamento da difratometria de raios X**

Os raios X ao atingirem um material podem ser espalhados elasticamente, sem perda de energia pelos elétrons de um átomo (dispersão ou espalhamento coerente). O fóton de raios X após a colisão com o elétron muda sua trajetória, mantendo, porém, a mesma fase e energia do fóton incidente. Sob o ponto de vista da física ondulatória, pode-se dizer que a onda eletromagnética é instantaneamente

absorvida pelo elétron e reemitida; cada elétron atua, portanto, como centro de emissão de raios X.

Se os átomos que geram este espalhamento estiverem arranjados de maneira sistemática, como em uma estrutura cristalina, ou seja, apresentando entre eles distâncias próximas ao do comprimento de onda da radiação incidente, pode-se verificar que as relações de fase entre os espalhamentos tornam-se periódicas e que efeitos de difração dos raios X podem ser observados em vários ângulos.

Considerando-se dois ou mais planos de uma estrutura cristalina, as condições para que ocorra a difração de raios X (interferência construtiva ou numa mesma fase) vão depender da diferença de caminho percorrida pelos raios X e o comprimento de onda da radiação incidente.

Esta condição é expressa pela lei de Bragg, ou seja  $n \lambda = 2 d \sin \theta$  (Figura 9), onde  $\lambda$  corresponde ao comprimento de onda da radiação incidente, “n” a um número inteiro (ordem de difração), “d” à distância interplanar para o conjunto de planos hkl (índice de Miller) da estrutura cristalina e  $\theta$  ao ângulo de incidência dos raios X (medido entre o feixe incidente e os planos cristalinos).

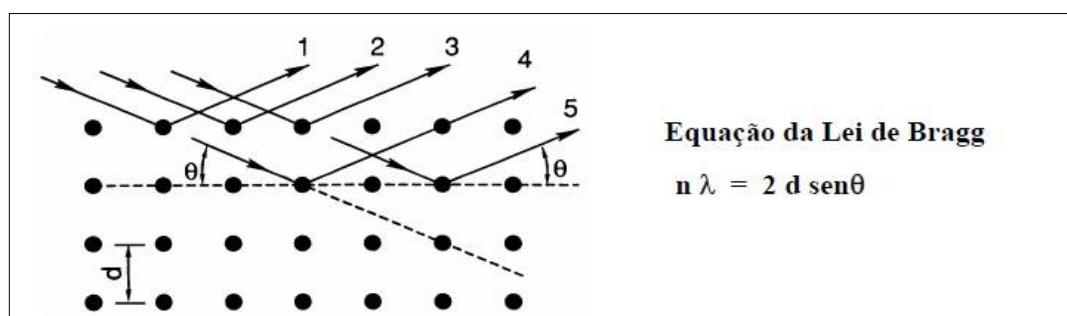


Figura 9: Difração de raios X e a equação de Bragg

A intensidade difratada, dentre outros fatores, é dependente do número de elétrons no átomo; adicionalmente, os átomos são distribuídos no espaço, de tal forma que os vários planos de uma estrutura cristalina possuem diferentes densidades de átomos ou elétrons, fazendo com que as intensidades difratadas sejam, por consequência, distintas para os diversos planos cristalinos.

#### 4.6. Análise Estatística

Por ser reconhecida como uma forte ferramenta do ponto de vista prospectivo para a localização de indícios de novos alvos minerais, neste estudo foi realizada análise estatística dos dados disponibilizados pela CPRM. As análises estatísticas realizadas nos dados de concentrados de bateia e geoquímicos de



sedimentos de corrente da CPRM tiveram um papel importante para a execução da presente pesquisa. Em vista disso, todos os dados utilizados nesta etapa foram trabalhados com minucioso cuidado e atenção para que a interpretação dos mesmos pudesse ser realizada da melhor forma possível e para que eles dessem uma resposta o mais realista possível frente à utilização desta ferramenta. Para um melhor resultado e entendimento dos dados foi imprescindível a ajuda de profissionais da área estatística, no caso deste trabalho, obteve-se cooperação do Professor Doutor João Felipe Coimbra Leite Costa do programa de pós-graduação de Engenharia de Minas, pertencente ao Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

#### 4.6.1. Tratamento de dados.

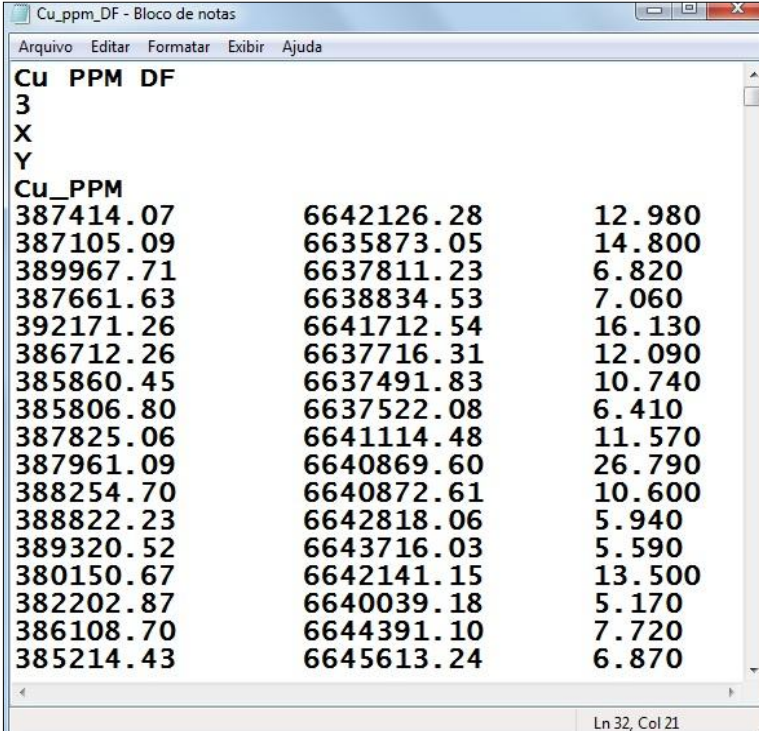
Antes de iniciar qualquer tipo de análise, foram realizados a partir de alguns procedimentos o tratamento dos dados , afim de que as informações apresentadas em planilha Excel pudessem ser trabalhadas no software de estatística SGeMS. Nessa etapa, as vírgulas que separavam casas decimais tiveram que ser substituídas por pontos em toda a planilha, além disso, já que o software em questão não trabalha com intervalos de percentagem, foi necessário converter os valores referentes a informações da análise de concentrados de bateia dos dados originais obtidos junto a CPRM em intervalos de números, para isso se atribuiu valores numéricos para cada intervalo segundo tabela abaixo.

Tabela 1 Tabela mostrando os valores atribuídos e correspondente aos intervalos de percentagem dos dados de concentrado de bateia.

| VALOR ORIGINAL OBTIDO JUNTO A CPRM | VALOR ATRIBUÍDO PARA ANÁLISE ESTATÍSTICA |
|------------------------------------|--|
| 0%                                 | 0  |
| < 1%                               | 1  |
| 1 -5 %                             | 2  |
| 5 - 25 %                           | 3  |
| 25 - 50 %                          | 4  |
| 50 - 75 %                          | 5  |
| 75 - 100 %                         | 6  |

#### 4.6.2 Software SGeMS.

Após a fase inicial de tratamento de dados para a utilização dos valores em software estatístico, uma fase complementar e trabalhosa foi executada: a conversão de cada variável de interesse a ser analisada. Originalmente estas variáveis estava em formatação .xls, as quais foram convertidas para um arquivo de texto do tipo .txt. Tal procedimento se fez necessário uma vez que o software SGeMS trabalha apenas com este tipo de informação. Além disso, outras formatações se fizeram necessárias para que os dados pudessem rodar no referido programa, sendo que o arquivo de texto final esta representado na figura 10.



| Cu_PPM    |            | DF     |
|-----------|------------|--------|
| 387414.07 | 6642126.28 | 12.980 |
| 387105.09 | 6635873.05 | 14.800 |
| 389967.71 | 6637811.23 | 6.820  |
| 387661.63 | 6638834.53 | 7.060  |
| 392171.26 | 6641712.54 | 16.130 |
| 386712.26 | 6637716.31 | 12.090 |
| 385860.45 | 6637491.83 | 10.740 |
| 385806.80 | 6637522.08 | 6.410  |
| 387825.06 | 6641114.48 | 11.570 |
| 387961.09 | 6640869.60 | 26.790 |
| 388254.70 | 6640872.61 | 10.600 |
| 388822.23 | 6642818.06 | 5.940  |
| 389320.52 | 6643716.03 | 5.590  |
| 380150.67 | 6642141.15 | 13.500 |
| 382202.87 | 6640039.18 | 5.170  |
| 386108.70 | 6644391.10 | 7.720  |
| 385214.43 | 6645613.24 | 6.870  |

Figura 10: Arquivo de texto de dados de concentrado de bateia formatado segundo padrão utilizado no software SGeMS

A partir da finalização de tratamento de dados dos elementos e de minerais de interesse, iniciou-se a utilização do software estatístico de livre acesso SGeMS. Nele, primeiramente se carregou os dados das variáveis de interesse e se geraram histogramas, onde no eixo x temos o teor em PPM ou PPB da variável analisada e no eixo y a frequência com que aquele determinado teor apresenta (Figura 11).

Com a construção de histogramas se obtiveram, conseqüentemente, as medidas de tendência central, como a média e a mediana, e medidas de variação como a variância, dos dados de sedimentos de corrente e de concentrado de bateia.

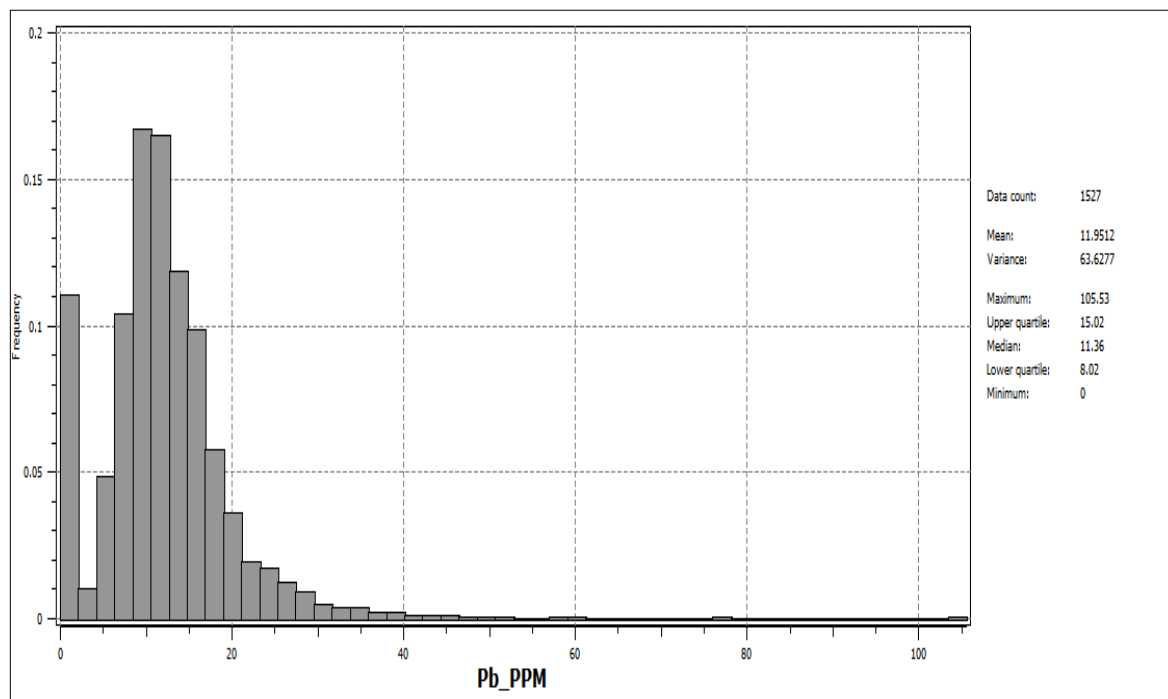


Figura 11: Exemplo de histograma gerado do software SGeMS.

#### 4.6.3. Determinação do Limiar:

Uma dificuldade comum encontrada por quem utiliza a estatística na prospecção mineral é determinar o valor limiar ou *threshold*, a fim de possibilitar a interpretação de dados produzidos em prospecção geoquímica. O limiar é um valor que divide a faixa de valores de background dos valores anômalos. Entende-se como *background* a concentração normal de teores de um elemento em uma determinada região. Já a anomalia é constituída pelos valores que ocorrem acima do valor limiar, ou seja, incomuns em uma distribuição.

Andriotti (2010) discute os diferentes métodos para encontrar o valor de limiar. Neste trabalho, pode-se observar que diferentes autores recomendam distintos métodos para encontrar o valor de limiar: Hawkes e Webb (1962) sugerem o uso de duas vezes o valor do *background* como *threshold*. Bolviken (1971) e Tennant e White (1959), por sua vez, revelam que não há um valor simples de *threshold*, mas sim uma distribuição de valores de *background* e uma distribuição

de valores anômalos. Rose e colaboradores (1979) utilizam regressão múltipla para estimar a concentração de background. Já, a CPRM, por exemplo, em seus trabalhos geralmente utiliza a média mais dois desvio padrão como fórmula para se obter o valor do limiar. Demonstrado alguns exemplos encontrados na literatura, fica evidente, que não existe um modelo único e infalível para determinar o valor de limiar. Portanto, faz-se necessário, primeiramente, compreender o problema, para que se possa adequar a melhor técnica a situação encontrada.

Após a busca de um método apropriado para ser aplicado nos dados de prospecção geoquímica do presente trabalho, decidiu-se por utilizar como base para determinação do valor limiar para os dados de sedimento de corrente, as técnicas empregadas no artigo de Costa e Koppe (1999). Optou-se pelas técnicas utilizadas no referido trabalho devido a sua alta capacidade de resposta positiva, por ser aplicável em dados sedimento de corrente, e devido à sua qualidade, clareza e precisão.

Costa (1999) revela em seu artigo duas maneiras que podem ser utilizadas para estabelecer o valor de limiar para dados assimétricos – tais quais os da presente pesquisa. O primeiro modo seria a partir de uma fórmula matemática, a qual se baseia nos valores da média e do desvio padrão da distribuição das variáveis transformadas em logaritmos naturais. Já o segundo, trata-se de um procedimento confirmativo em relação ao modelo matemático, no qual se obtém o valor do *threshold* com base na observação visual de um histograma de frequência acumulada. Os histogramas produzidos segundo o trabalho de Costa (1999) são do tipo frequência acumulada, os quais apresentam os valores das variáveis transformados para a escala logarítmica através da equação  $Z(x) = \ln(x)$ .

Para a determinação do valor de limiar de uma distribuição de variáveis, que no caso do presente trabalho tais variáveis são de teores de elementos em sedimentos de corrente, é necessário à utilização da seguinte expressão matemática (1):

$$e^{\bar{Z}(x)+2\sigma_{Z(x)}} \quad (1)$$

Onde,  $\bar{Z}(x)$  e  $\sigma_{Z(x)}$  representam a média e o desvio padrão dos valores transformados, respectivamente.

Como já referido anteriormente, pode-se comprovar o resultado do valor limiar através de análise visual do histograma de frequência acumulada para o conjunto de dados transformados. Tal procedimento se faz da seguinte maneira: após obtenção deste tipo de histograma, observa-se a zona onde a curva ou reta de frequência acumulada tem uma mudança em relação ao seu ângulo de inclinação. Consequentemente, este ponto é definido como o *threshold* da distribuição, o qual divide as populações em background e anomalias, conforme observado na figura 12. Por fim, para estabelecer o valor de limiar na forma de dados não transformados, ou seja, na grandeza do valor original (ppm ou ppb), deve-se elevar a exponencial (e) o valor correspondente no eixo x do ponto definido como limiar. Por exemplo, na figura 12, o valor de limiar foi determinado visualmente e o mesmo (5,117) foi elevado a exponencial, resultando no valor de limiar, onde  $e^{\ln 5,117} = 166,83$  ppm. Tal procedimento é denominado retrotransformação dos dados.

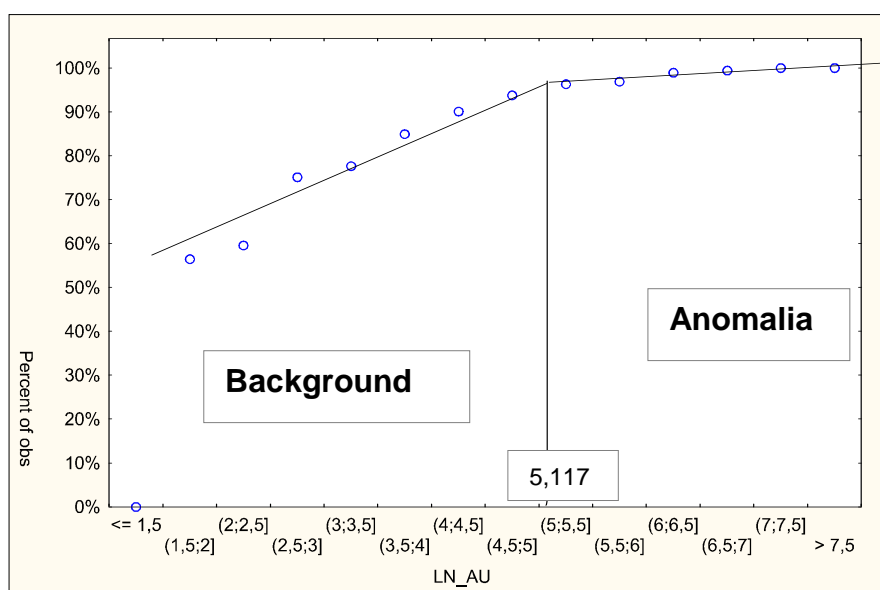


Figura 12: Histograma de frequência acumulado para dados transformados. Pode-se observar que o encontro das duas linhas contínuas define o valor limiar, o qual divide as populações em background e anomalias. Extraído de Costa e Koppe (1999).

A partir do entendimento e domínio da técnica apresentada para encontrar o valor limiar de uma distribuição, procurou-se estabelecer os valores de *threshold*

para cada variável visando visualizar o que é background e o que é anômalo na área da presente pesquisa. Tal procedimento foi feito utilizando o programa Microsoft Excel, onde se aplicou, a partir da obtenção dos dados estatísticos (média

e desvio padrão) por meio do uso do software SGeMS , a fórmula:  $e^{\frac{Z(x)+2\sigma_{Z(x)}}{\sigma_{Z(x)}}}$  .

Por fim, construiu-se uma tabela que continham as variáveis de interesse.

A partir do conhecimento do valor limiar para cada variável de interesse e comparando cada um dos 84 pontos de sedimentos de corrente amostrados na área do polígono com o valor limiar, reconheceram-se áreas anômalas.

#### **4.6.4. Mapas do tipo Kernel**

Segundo Simonassi e Cândido Jr. (2005) o método Kernel é um método não paramétrico utilizado para estimar as curvas de densidades onde cada observação é ponderada pela distância em relação a um valor central, o núcleo. A ideia deste método é centrar cada observação  $x$  onde se queira estimar a densidade, uma janela  $b$  que define a vizinhança de  $x$  e os pontos que pertencem à estimação. Para a construção destes mapas de densidade, utilizou-se a ferramenta Kernel Density no software ArcGIS™, a qual auxiliou na melhor visualização em relação as anomalias. Tal técnica foi utilizada para interpretar os dados de concentrados de bateia e empregada de forma complementar aos estudos estatísticos que determinaram as anomalias dos dados sedimentos de corrente.

Uma vez que os dados de concentrado de bateia estavam expressos em intervalos de classes, não foi possível utilizar a mesma técnica empregada nos dados de sedimentos de corrente, pois se utilizados os mesmos procedimentos, os resultados seriam errôneos e a sua interpretação seria dificultada.

Sendo assim, a interpretação de anomalias para os dados de concentrados de bateia foi feita a partir de observação direta através dos mapas construídos por esta técnica. Por fim, tais resultados puderam ser correlacionados com aqueles gerados pela interpretação da análise estatística feita nos dados de sedimentos de corrente.

#### **4.6.5. Scatterplot**

Outra análise utilizada para a interpretação dos dados geoquímicos através da estatística foi a análise bivariada dos dados. Nesta análise, pode-se observar a

relação existente entre duas variáveis. Tal procedimento é realizado a partir da construção dos gráficos de pontos chamado de Scatterplot que foram, neste trabalho, gerados a partir da utilização do software estatístico SGeMS.

No gráfico Scatterplot, cada ponto representa um par de valores das duas variáveis (X,Y) e com ele se pode determinar o Coeficiente de Correlação entre as variáveis estudadas.

Neste estudo, a utilização deste tipo de gráfico foi de relevante importância, pois com ele se conseguiu visualizar a relação existente entre os teores de diferentes elementos e posteriormente apresentar a correlação geoquímica dos dados de sedimentos de corrente. Abaixo segue um exemplo de um gráfico do tipo scatterplot gerado neste trabalho, o qual mostra uma forte correlação entre os teores de Manganês e Cobalto.

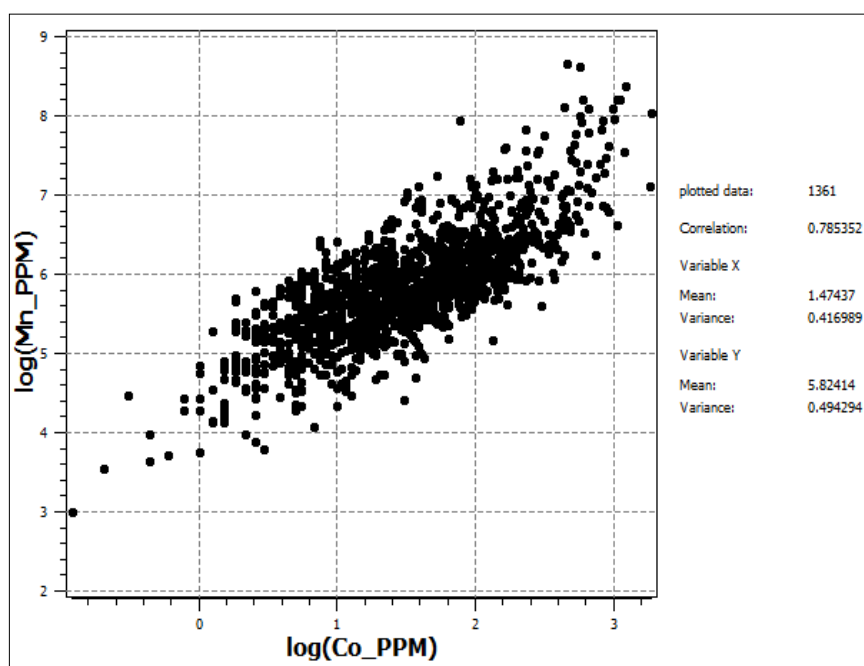


Figura 13: Gráfico do tipo scatterplot mostrando a correlação positiva entre teores de Manganês e Cobalto na porção leste do Cinturão Dom Feliciano.

#### 4.7. Construção de um Sistema de Informação Geográfica (SIG)

"Um sistema de informação geográfica é um tipo especial de sistemas de informação, no qual o banco de dados consiste de observações sobre as características, atividades ou eventos distribuídos espacialmente, onde

estes são definidos no espaço como pontos, linhas ou áreas” (Duecker, 1979, p 106).

Isto significa que através de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) é possível organizar, manipular, criar, consultar e analisar dados com posição espacial definida.

Dentre uma ampla variedade de empregos de um SIG, o mapeamento de áreas com potencial mineral corresponde a uma aplicação desta ferramenta, tanto na estimativa de recursos minerais quanto na exploração mineral.

Neste trabalho a construção de um SIG foi necessária para a manipulação e ordenamento das informações obtidas anteriormente com os dados que foram produzidos ao longo desta pesquisa. Para trabalhar com estes dados foi utilizado o software ArcGIS™, produzido pela empresa ESRI, que é composto por um conjunto de programas informáticos que constitui um sistema de informação geográfica. O Desktop ArcGIS, se divide nos seguintes aplicativos: ArcMap, ArcCatalog e ArcToolbox. Usando estas três aplicações, se pode executar qualquer tarefa simples ou avançada de SIG, que incluem mapeamento, administração de dados, análise geográfica, edição de dados e geoprocessamento.

Como mencionado anteriormente, o presente projeto SIG nomeado como “SIG Amaral Ferrador – RS” agrupou tanto as informações prévias a este trabalho, quanto os novos dados obtidos neste estudo. As informações foram reunidas em grandes grupos, onde cada um incorpora arquivos do tipo *shapefile* (dados geoespaciais em forma vetorial) e também de arquivos de imagens.

A grande maioria das informações georreferenciadas adicionadas ao SIG foram obtidas a partir da CPRM. Além destas, também foram integradas as informações oriundas de Sensoriamento Remoto. Os dados foram organizados em cinco grandes grupos: Sensoriamento Remoto, Base Cartográfica, Dados Novos, Dados Geoquímicos, Estatística. Sendo eles mencionados a seguir:

- A) **Sensoriamento Remoto:** compreendeu imagens do satélite Landsat 7 e o Modelo Digital do Terreno (SRTM/ NASA, 2000), as quais foram obtidas a partir da internet.
- B) **Base cartográfica:** Limite do RS, Mapa Geológico da CPRM, Drenagens, Lagunas, Hidrografia Local, Rodovias, Rodovias Local (secundárias), Municípios, Localidades, Polígono de Estudo e Mina Galena. Estas informações foram obtidas a partir dos dados da CPRM e Henrichs (2011).



- C) **Dados Novos:** Mina Galena, Pontos de Campo, Estruturas, Estrada Secundária, Áreas Anômalas, Corredor de Alteração.
- D) **Dados Geoquímicos:** SC\_DF, CB\_DF, SC\_POLIGONO e CB\_POLIGONO.
- E) **Estatística:** Mapas Kernel.

É importante ressaltar que, quando necessário, os dados foram transformados para que ficassem compatibilizados na mesma base, utilizando-se o Datum WGS-84.

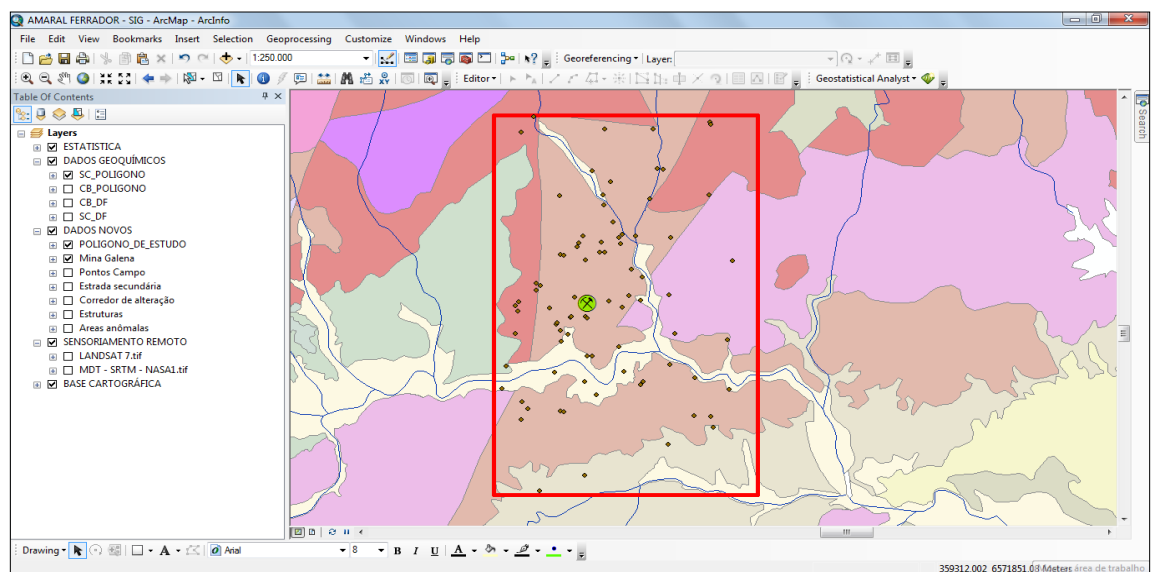


Figura 14: Projeto em SIG elaborado no programa ArcGIS™, ilustrando o módulo ArcMap onde os dados foram integrados e analisados.

## **5. RESULTADOS**

### **5.1. Litologia**

Algumas observações litológicas foram obtidas a partir da realização do trabalho de campo. Durante esta etapa foram escolhidas quatro amostras para análise petrográfica, sendo que duas delas eram da Suíte Granítica Dom Feliciano – Fácies Cerro Grande, uma do Quartzo-Pórfiro encontrado nas imediações da Mina Galena e uma rocha fina intrusiva em zona de falha que lembrava muito a matriz do Quartzo-pórfiro presente na área da Mina Galena.

As litologias encontradas com maior frequência na região são as rochas pertencentes a Suíte Granítica Dom Feliciano – Fácies Cerro Grande. Das duas lâminas feitas a partir deste grupo de rochas, uma se classificou como Monzogranito e outra como Sienogranito.

#### **5.1.1 Monzogranito**

O monzogranito examinado apresenta uma textura inequigranular, granulação fanerítica média e possui matriz quartzo-feldspática parcialmente alterada para sericita. Os minerais encontrados nela são estes em ordem decrescente de quantidade: quartzo (39%), K-feldspato (24%), plagioclásio (16%), muscovita (13%), opacos (7%), zircão e apatita (1%). Os grãos de quartzo são anédricos de tamanho majoritariamente médio e de aspecto limpo, contendo poucas inclusões (opacas, pequenas e dispersas).

Já os grãos de feldspato, sendo que os grãos de K-feldspato estão mais alterados que os grãos de plagioclásio, são do tipo ortoclásio e a sua grande

maioria são subédricos de tamanho médio, estão sendo alterados parcialmente para mica branca e argilominerais, apresentam uma clivagem bem marcada por minerais de alteração ou produtos da oxidação de coloração alaranjada.

A muscovita por sua vez, possui tamanho médio e está parcialmente alterada para mica branca fina. Além destas características, pode-se observar que minerais opacos estão concentrados preferencialmente em clivagens ou fraturas de grãos ou circundando os mesmos.

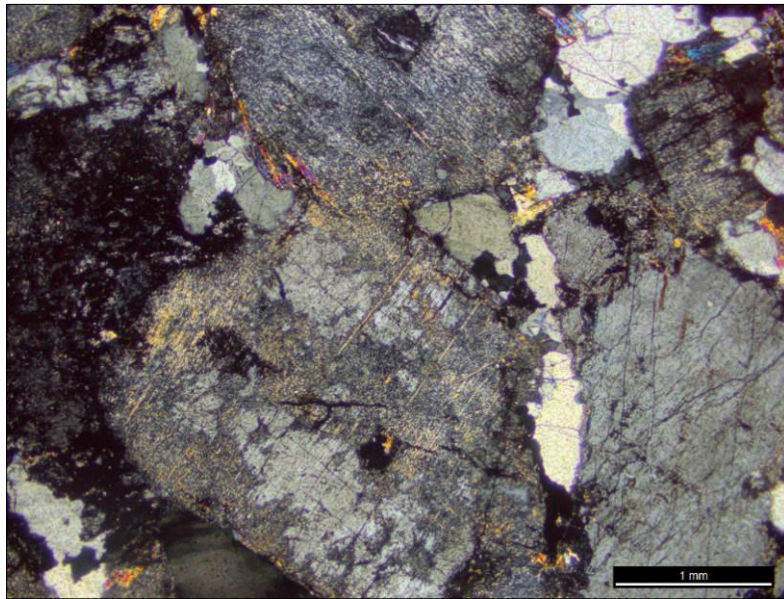


Figura 15: Fotomicrografia a nicóis cruzados mostrando grãos de K-feldspato parcialmente alterados para sericita ao longo dos planos de clivagem.

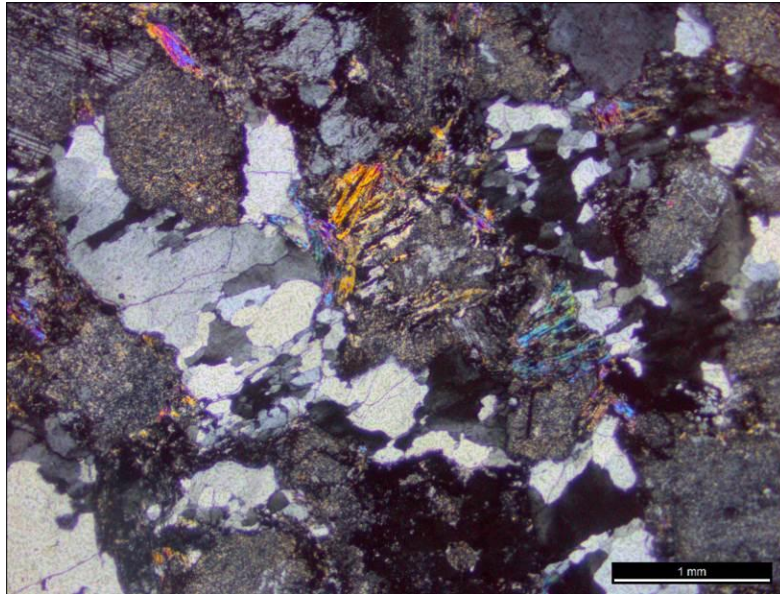


Figura 16: Fotomicrografia a nicóis cruzados mostrando o padrão textural da rocha: grãos de quartzo, K-feldspato e muscovita.

### 5.1.2. Sienogranito

A segunda amostra analisada é da mesma Fácies acima mencionada e se trata de um Sienogranito de textura inequigranular e granulação fanerítica média. A composição modal mineralógica é a seguinte: quartzo (35%), K-feldspato (37%), plagioclásio (13%) , muscovita (12%), opacos (2%), zircão e apatita (1%).

Os grãos de quartzo variam de subédricos a anédricos, tendo tamanho predominante médio e mostram um aspecto limpo. Além disso, alguns grãos contêm microfraturas sem preenchimento.

Os cristais de K-feldspato, principalmente do tipo ortoclásio, apresentam-se de forma subédrica e de tamanho médio, mas não é incomum a presença de fenocristais de até 4,5 mm. Assim como na visto na lâmina anterior, observa-se que a alteração é mais forte nestes minerais do que nos grãos de plagioclásio (Figura 17).

A muscovita possui tamanho médio e também está parcialmente alterada a mica branca fina. Já os minerais opacos, assim como os óxidos, estão dispersos em alguns locais da lâmina.

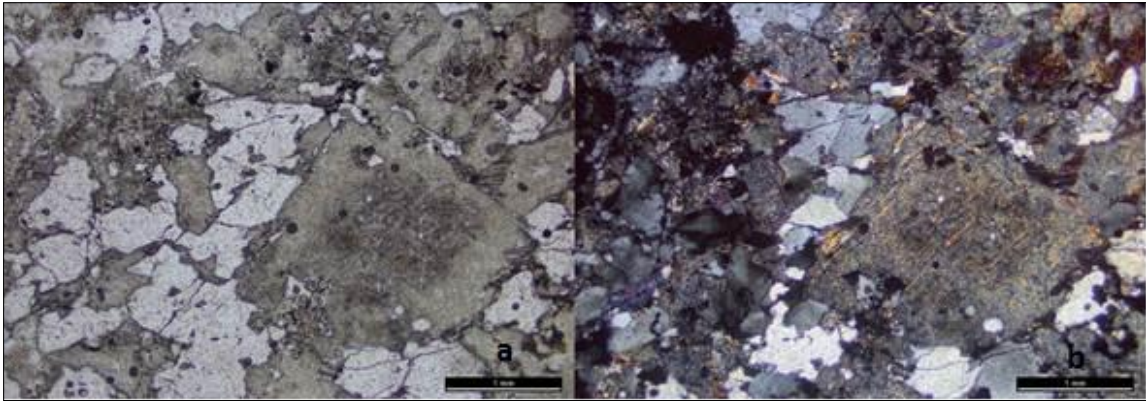


Figura 17: Fotomicrografias a luz natural (a) e nicóis cruzados (b) mostrando o padrão textural inequigranular da rocha e detalhe para os grãos de K-feldspato parcialmente alterados para sericita ao longo dos planos de clivagem.

### 5.1.3. Leucogranito

Escolheu-se esta rocha para análise por que ao visualiza-la no campo ela parecia muito com a matriz do quartzo-pórfiro visto na Mina Galena. A rocha analisada petrograficamente se trata de um leucogranito de textura equigranular e com granulação fanerítica fina. No campo se observou que esta rocha está representada por um sill subhorizontalizado que corta o monzogranito da Fácies Cerro Grande (Figura 18).



Figura 18: Fotografia de campo mostrando o sill subhorizontalizado de leucogranito.

A composição mineralógica modal desta rocha é a seguinte: quartzo (57%), plagioclásio (24%)K-feldspato (16%) ,opacos (2%), biotita (1%). Além disso, texturas de

exsolução como pertítica, intercrescimento gráfico e mirmequítica são vistas nesta rocha (Figura 20).

Os grãos de quartzo têm extinção ondulante bem evidente, variam subédricos a anédricos (arredondados), possuem tamanho fino e apresentam aspecto limpo.

Os grãos de feldspato estão sendo levemente alterados para mica branca e são normalmente subédricos de tamanho fino. O K-feldspato comum é o ortoclásio, que ocorre com maior frequência do que o microclínio. Assim como nas outras duas unidades graníticas anteriores o plagioclásio está menos alterado que o K-feldspato. Como mineral máfico, ocorre a biotita de tamanho fino, disseminada e sem sinais de alteração evidente. Os minerais opacos ocorrem de forma dispersa na lâmina estudada.

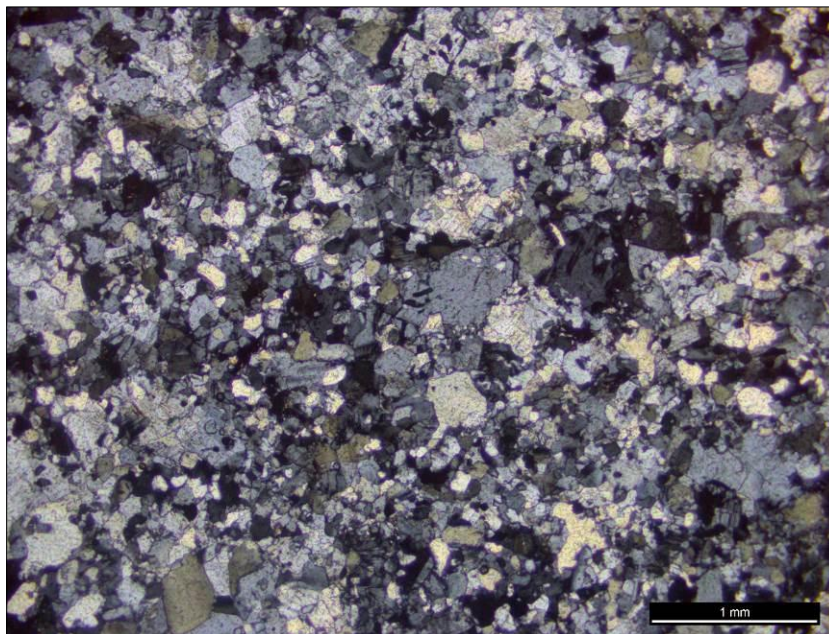


Figura 19: Fotomicrografia a nicóis cruzados mostrando o padrão textural equigranular composto majoritariamente por grãos de quartzo e feldspato.

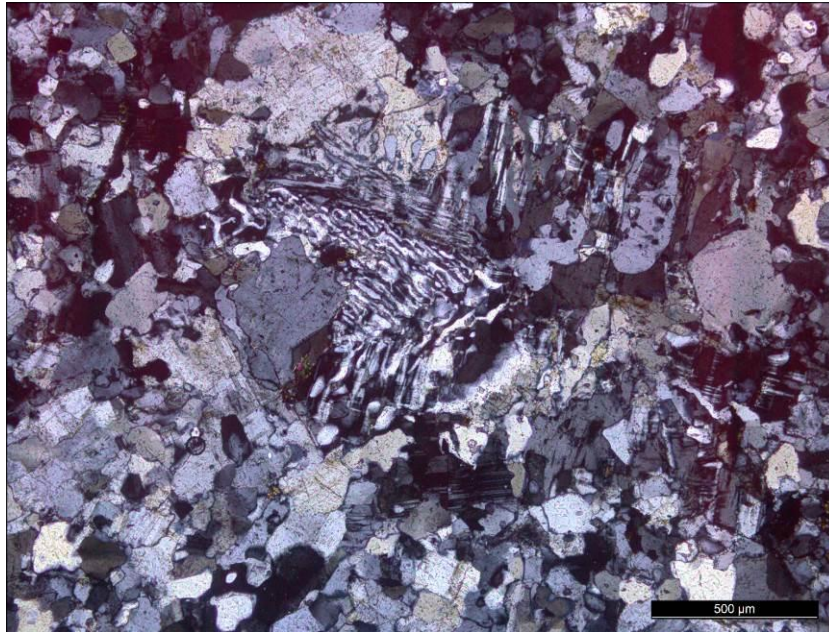


Figura 20: Fotomicrografia a nicóis cruzados mostrando textura mirmequítica (intercrescimento de quartzo em albita).

#### 5.1.4. Sienogranito-pórfiro

Durante a etapa de campo foi observado que esta rocha, localizada nos arredores da Mina Galena, apresentava uma variação na quantidade de cristais de quartzo arredondados que chegam a formar bandas mais ricas deste mineral (Figura 21). Para um melhor entendimento de tal litologia se encaminhou a confecção de lâmina petrográfica.



Figura 21: Fotografias de campo mostrando a variação da quantidade de quartzo sienogranito-pórfiro.

Através da análise petrográfica esta rocha, foi classificada como de composição sienogranítico, portanto se trata de um sienogranito-pórfiro de textura inequigranular e com

granulação fanerítica fina a média, de matriz quartzo-feldspática levemente alterada para mica branca. A composição mineralógica modal desta rocha é a seguinte: K-feldspato (45%) quartzo (37%), plagioclásio (8%), biotita (6%) opacos (<4%), apatita (<1%).

Os grãos de quartzo são anédricos e variam de tamanho fino a médio, possuem aspecto parcialmente sujo, contendo poucas inclusões (opacas ou de feldspatos, pequenas e dispersas). A extinção ondulante é marcante nestes grãos e caracteriza o efeito da deformação.

Os grãos de feldspato por sua vez, estão sendo alterados parcialmente para sericita. A maior parte dos grãos são de forma subédrica, apresentam tamanho fino a médio e possuem clivagem bem marcada. Os cristais de K-feldspato estão representados quase que exclusivamente por microclínio (macla xadrez). Já os grãos de plagioclásio ocorrem somente em tamanho fino, algumas vezes incluso dentro dos grãos de quartzo.

Os grãos de biotita variam de tamanho fino a médio e as suas bordas estão parcialmente alteradas para mica branca. Possuem pleocroísmo com cores variando entre marrom claro e verde escuro e estão levemente dobrados (efeitos da deformação) (Figura 22). Além disso, pode se observar uma relação entre estes grãos e os minerais opacos. Os opacos estão concentrados preferencialmente nas clivagens de grãos de biotita ou circundando os mesmos, mas eles também ocorrem dispersos em pequena quantidade.

Produtos da oxidação de cor laranja também são vistos na lâmina e ocorrem preferencialmente dispersos na matriz quartzo-feldspática, mas também são observados nas clivagens e fraturas de grãos em alguns locais da lâmina (Figura 23).



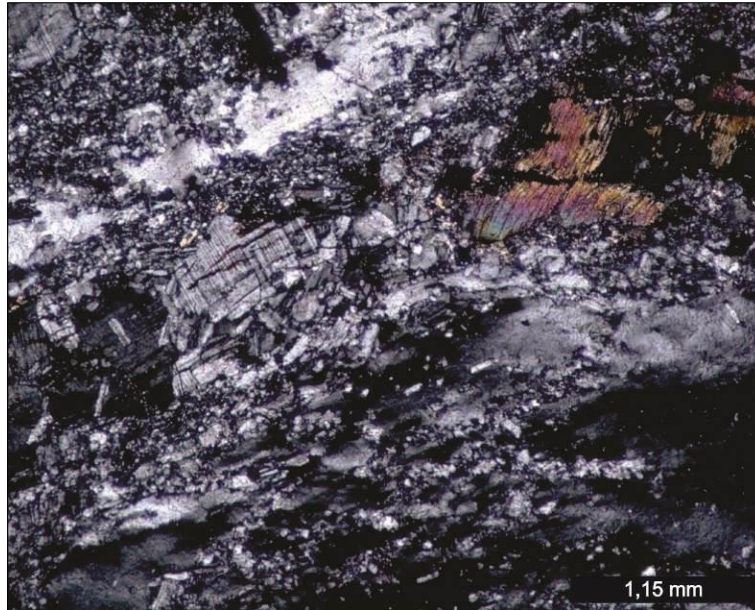


Figura 22: Fotomicrografia a nicóis cruzados mostrando grão de biotita levemente dobrado (efeitos da deformação).

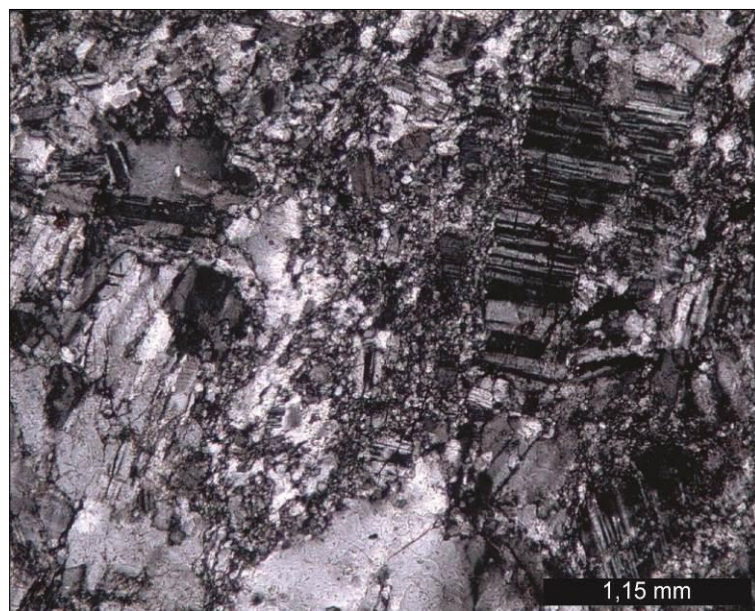


Figura 23: Fotomicrografia a nicóis cruzados mostrando a textura inequigranular da rocha e também os óxidos de tons alaranjados que estão preenchendo as fraturas dos grãos de Microclínio.

## 5.2. Estruturas regionais

Com base no levantamento de estruturas feito tanto no trabalho de campo, quanto através da marcação de lineamentos com o uso de imagens orbitais no software ArcGIS™, obteve-se a visualização das estruturas tectônicas principais da região de estudo. Durante o trabalho de campo, mediram-se falhas, fraturas e também veios que estavam preenchendo fraturas. Por fim, Integrando as informações estruturais vistas em campo às obtidas pela marcação de lineamentos no software ArcGIS™ se obteve um mapa de estruturas georreferenciadas que apresentaram três direções principais de estruturação conforme a imagem gerada no ArcGIS™ (Figura 24).

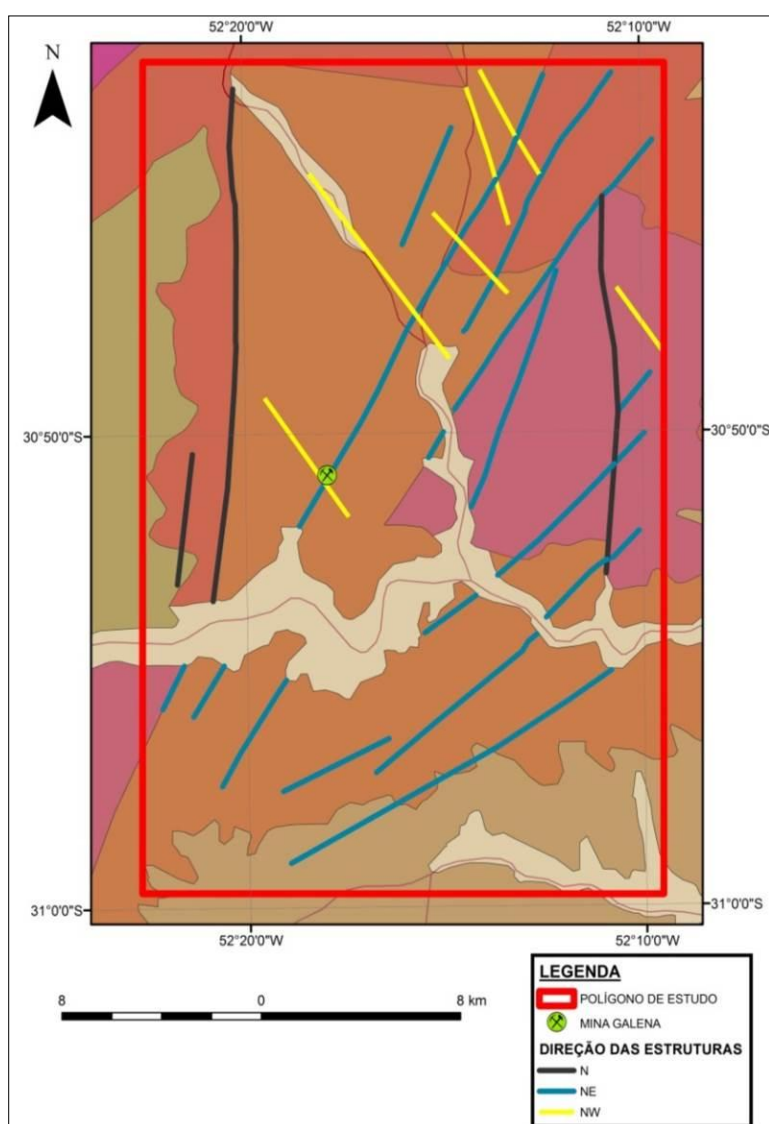


Figura 24: Mapa feito no software ArcGIS™, no qual se podem visualizar as estruturas regionais da região de Amaral Ferrador - RS

Portanto as estruturas presentes no polígono de estudo podem ser descritas e classificadas da seguinte forma:

a) As estruturas de direção NE são as que mais se repetem e apresentam direção média de 035°. Estas feições são marcadas no campo a partir de falhas ou zonas com fraturamento preferencial.

b) As estruturas de direção Norte são menos frequentes dentro do polígono de estudo. A direção das mesmas, que não apresenta grande variedade, possui como média de direção de 003°.

c) As de direção NW, tem média de direção de 330° e se apresentam quase que ortogonalmente as estruturas principais NE. Tal constatação se pode ser confirmada na área da mina Galena, onde há o cruzamento entre estruturas NE e NW. No campo, estas estruturas estão frequentemente visualizadas na forma de veios de direção noroeste.

### **5.3. Alterações**

As alterações foram estudadas com o intuito de conhecer as paragêneses secundárias das litologias presentes na área de estudo. As observações se deram nas etapas de campo de forma mesoscópica e também com o auxílio da técnica de difratometria de raios X. O principal objetivo destas análises foi reconhecer a paragênese de alteração e comparar os resultados obtidos com aqueles produzidos por trabalhos anteriormente realizados na região.

A partir da análise feita por difratometria de raios X de nove amostras coletadas no campo se objetivou reconhecer o tipo de alteração dos pontos de estudo. A utilização desta técnica apenas confirmou a presença dos minerais já reconhecidos anteriormente como os argilominerais ilitas, esmectitas e caolinitas. Durante o trabalho de campo foi visualizada uma trincheira com estágio avançado de alteração, e nela puderam ser vistas três porções de alteração: argilas de cor esverdeada, veios de quartzo e óxidos que cortavam a porção argílica verde (Figura 25). Como surgiram dúvidas sobre a composição desse material esverdeado que preenchia a trincheira, resolveu-se analisá-lo por meio do uso da difratometria de raios X. A partir do resultado da análise de DRX (Figura 26), ficou comprovado que o material esverdeado era composto por esmectita. Além disso, com a utilização de um ímã foi possível reconhecer que os veios de óxidos que a cortavam eram compostos por magnetita.



Figura 25: Edição na fotografia de campo que permite um melhor entendimento sobre a “trincheira” alterada.

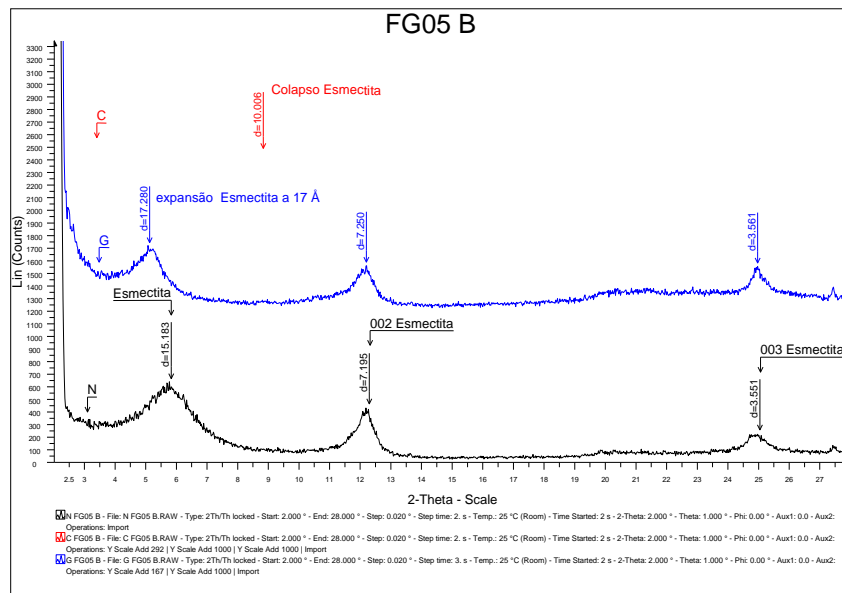


Figura 26: Difratograma revelando que a argila em questão é a esmectita. .

Outra observação realizada durante a etapa de campo foi de uma zona, situada entre pontos visitados, onde não se visualizaram a presença matacões, os quais são frequentes

nesta região. Ao percorrer uma estrada secundária de chão batido, localizada ao sudoeste do município de Amaral Ferrador, se percebeu que os matacões, pertencentes aos monzogranitos da suíte Dom Feliciano – Fácies Cerro Grande e que eram visualizados com facilidade na região, repentinamente não eram mais vistos por um trecho de aproximadamente 4, 5 km e após este percurso eles voltavam a aparecer.

Desta forma, tomou-se nota das coordenadas do ponto inicial e final da zona onde a presença de matacões era ausente. Com isso, foi possível trabalhar com as informações obtidas no campo através do *software* ArcGIS™, e observar que estas coordenadas coincidem com a zona NE que passa pela Mina da Galena. Foi possível delimitar espacialmente um “corredor”. No mapa abaixo podemos ver a referida zona que foi nomeada de “corredor de alteração” (Figura 27), quando analisada a sua continuidade no sentido norte se percebe que tal zona engloba a área da Mina Galena, a qual é uma área mineralizada conhecida e que possui uma série de alterações presentes nas rochas ali expostas.

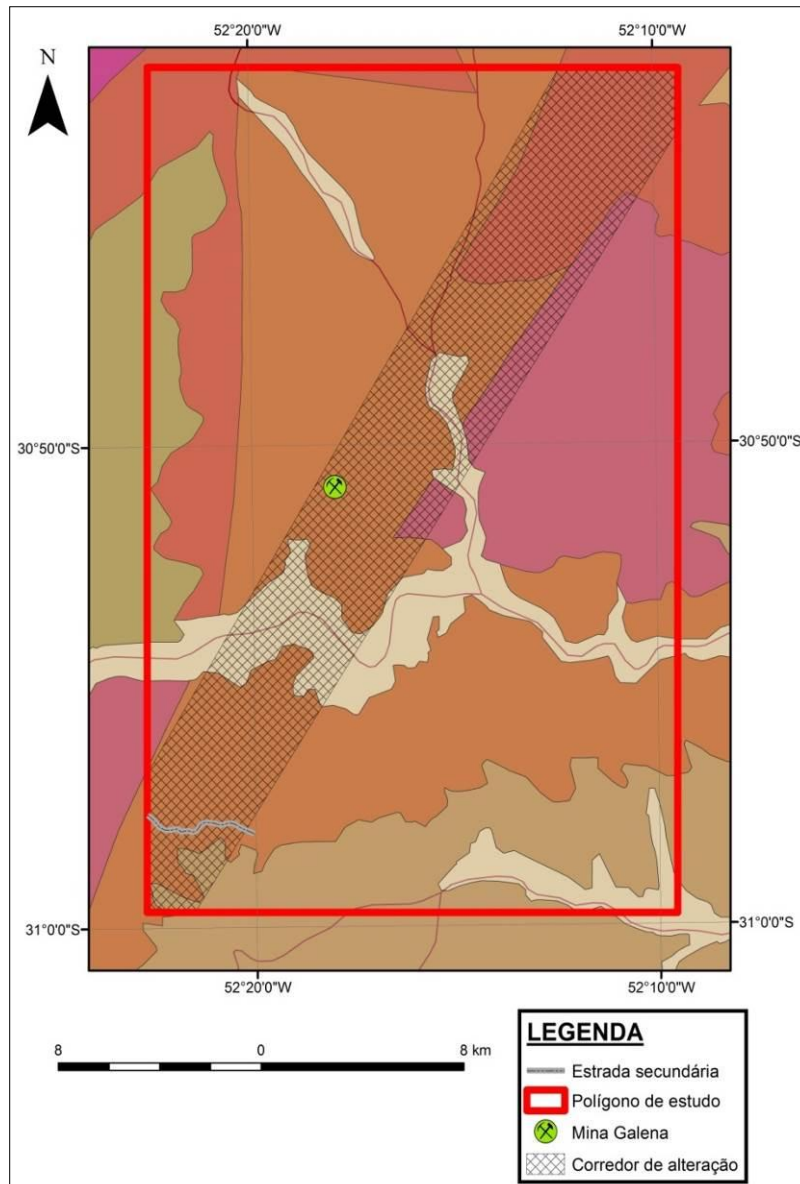


Figura 27: Mapa construído do ArcGIS™ mostrando o corredor de alteração.

#### 5.4. Anomalias

A partir do uso da função matemática  $e^{\frac{Z(x) + 2\sigma_{Z(x)}}{2}}$  utilizada por Costa (1999), foi possível estimar o valor de limiar das variáveis de interesses através dos dados de sedimentos de corrente analisados a partir de amostragem no Cinturão Dom Feliciano Leste. Para o estabelecimento do limiar, foram utilizados todos os dados obtidos junto à CPRM e não somente aqueles pertencentes à área do polígono de interesse deste estudo de forma a caracterizar um background regional mais representativo. A tabela abaixo revela o valor de limiar para cada variável estudada.

Tabela 2: Variáveis analisadas a partir de sedimento de corrente e seus valores de limiar correspondente.

| <b>VARIÁVEL_UNIDADE</b> | <b>Nº AMOSTRAS ANALISADAS (n)</b> | <b>LIMIAR</b> |
|-------------------------|-----------------------------------|---------------|
| Ag_ppb                  | 1359                              | 147,295       |
| As_ppm                  | 1327                              | 5,511         |
| Au_ppb                  | 923                               | 1,177         |
| Ba_ppm                  | 1361                              | 183,835       |
| Co_ppm                  | 1361                              | 15,893        |
| Cs_ppm                  | 1361                              | 4,116         |
| Cu_ppm                  | 1361                              | 38,588        |
| Fe_%                    | 1361                              | 3,742         |
| Hg_ppb                  | 1242                              | 40,634        |
| K_%                     | 1361                              | 0,318         |
| Li_ppm                  | 1361                              | 19,243        |
| Mn_ppm                  | 1361                              | 1380,583      |
| Mo_ppm                  | 1361                              | 0,997         |
| Nb_ppm                  | 1361                              | 2,082         |
| Ni_ppm                  | 1361                              | 12,137        |
| Pb_ppm                  | 1361                              | 30,096        |
| Pd_ppb                  | 586                               | 11,430        |
| Pt_ppb                  | 748                               | 4,066         |
| Sb_ppm                  | 1270                              | 0,079         |
| Se_ppm                  | 1263                              | 0,891         |
| Sn_ppm                  | 1361                              | 6,746         |
| Te_ppm                  | 698                               | 0,033         |
| Th_ppm                  | 1361                              | 151,136       |
| U_ppm                   | 1361                              | 9,665         |
| W_ppm                   | 713                               | 0,303         |
| Y_ppm                   | 1361                              | 45,091        |
| Zn_ppm                  | 1361                              | 65,615        |

Durante o estabelecimento do *threshold* se verificou que existia uma dificuldade, ao se aplicar a fórmula naquelas variáveis que possuíam valores iguais a zero. Nestes casos o valor de limiar se tornava muito discrepante da realidade. Este fato se deu por dois motivos, devido à média das amostras ser deslocada para baixo e devido ao desvio padrão das variáveis se tornar muito alto ao trabalhar com valores nulos. Sendo assim, decidiu-se trabalhar somente com os dados que continham valores acima de zero, o que refinou ainda mais o estabelecimento do valor limiar para cada variável de interesse.

Comparando o valor das variáveis das 84 amostras situadas dentro do polígono de estudo com o valor de limiar de determinado elemento químico, foi possível determinar quais elementos são anômalos na área de estudo. Com isso, foi observado que 15 elementos são anômalos dentro do polígono de estudo. São eles: Au, Ba, Fe, K , Li, Mn, Ni, Pb, Pt, Se, Sn, Te, Th, U, Y. Tais anomalias são ilustradas nos mapas de densidade do tipo Kernel dispostos abaixo.



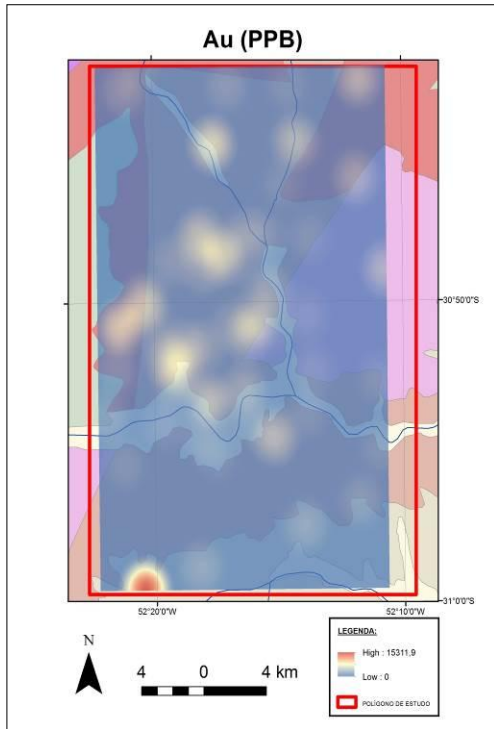


Figura 28: Mapa de densidade Kernel ilustrando as áreas anômalas em Ouro.

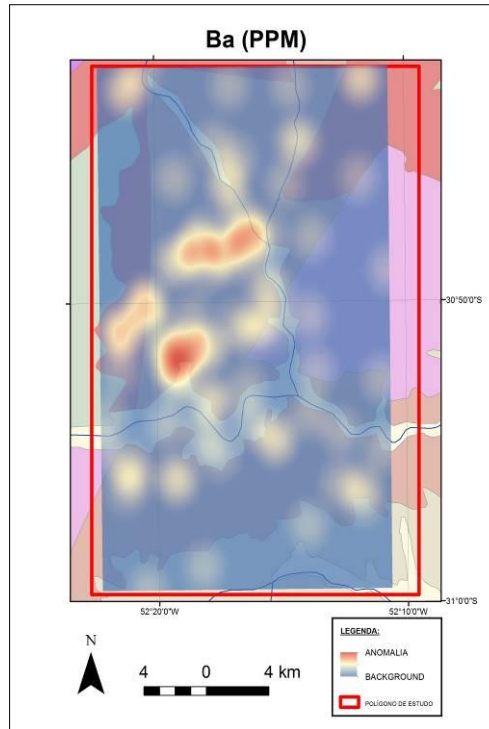


Figura 29: Mapa de densidade Kernel ilustrando as áreas anômalas em Bário.

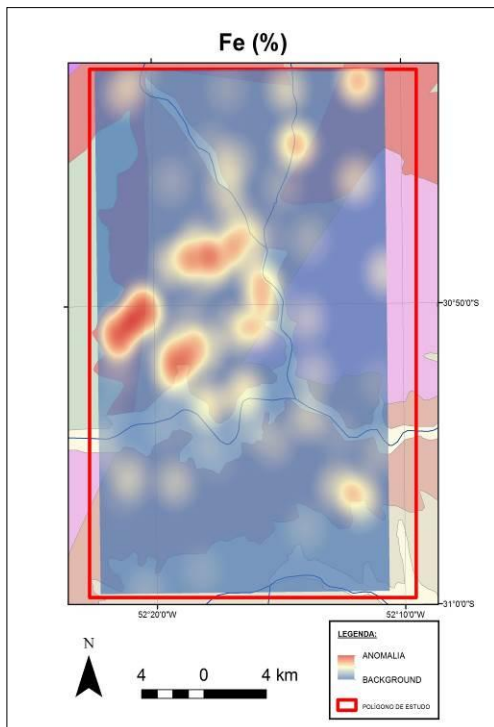


Figura 30: Mapa de densidade Kernel ilustrando as áreas anômalas em Ferro.

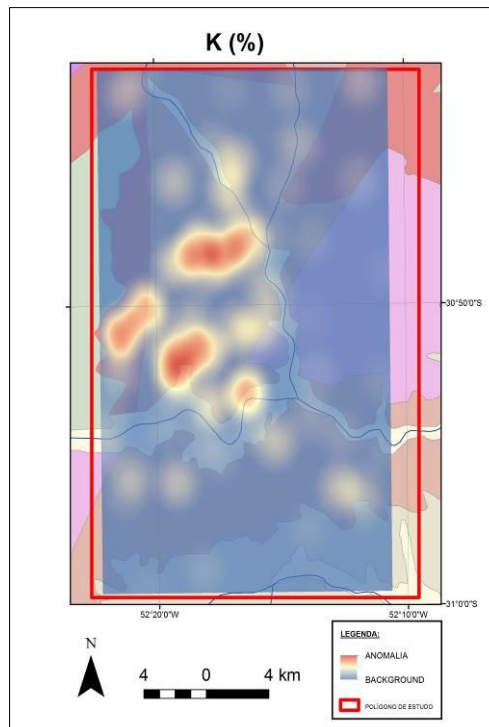


Figura 31: Mapa de densidade Kernel ilustrando as áreas anômalas em Potássio.

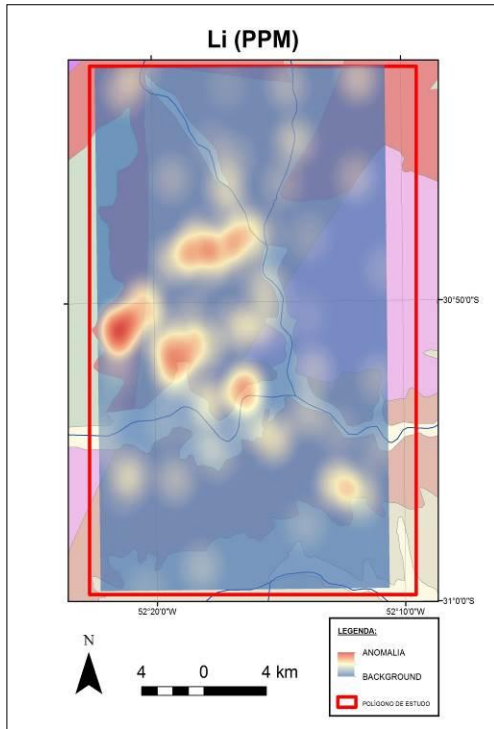


Figura 32: Mapa de densidade Kernel ilustrando as áreas anômalas em Lítio.

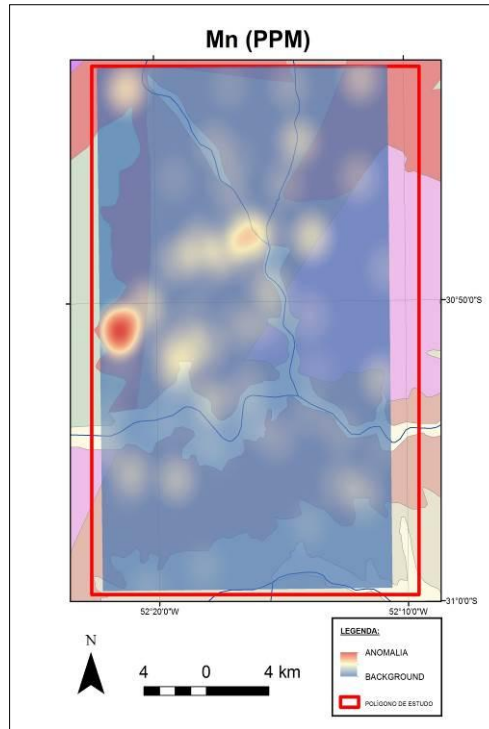


Figura 33: Mapa de densidade Kernel ilustrando as áreas anômalas em Manganês.

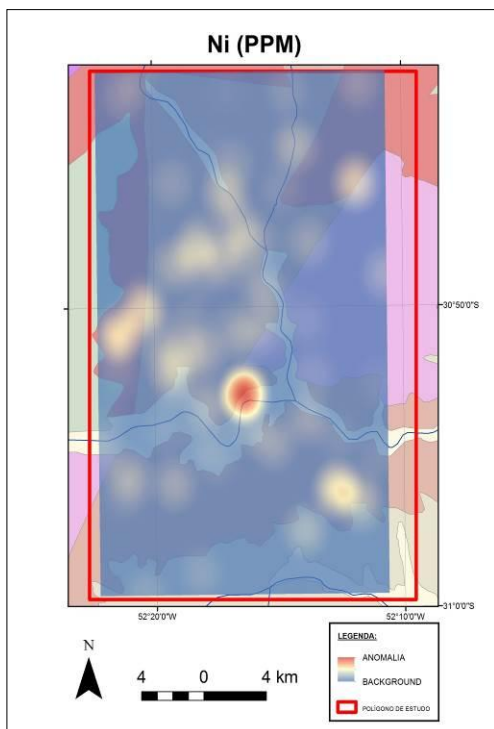


Figura 34: Mapa de densidade Kernel ilustrando as áreas anômalas em Níquel.

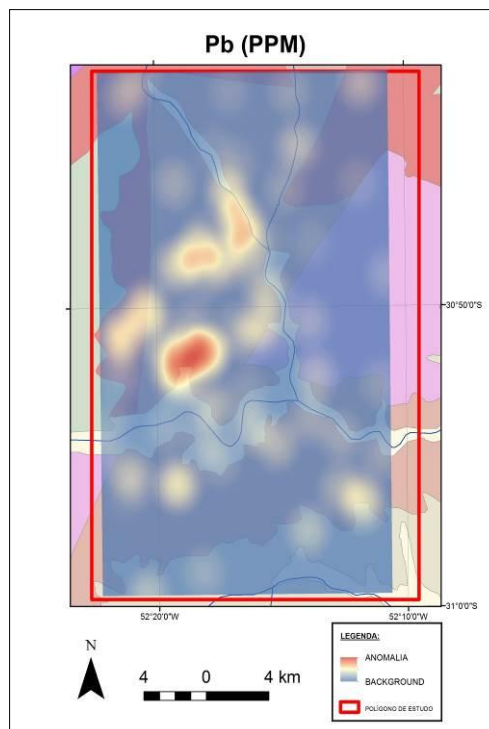


Figura 35: Mapa de densidade Kernel ilustrando as áreas anômalas em Chumbo.

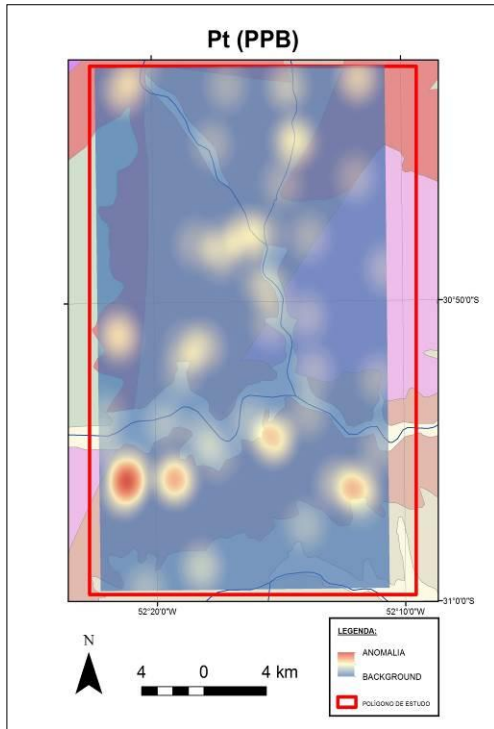


Figura 36: Mapa de densidade Kernel ilustrando as áreas anômalas em Platina.

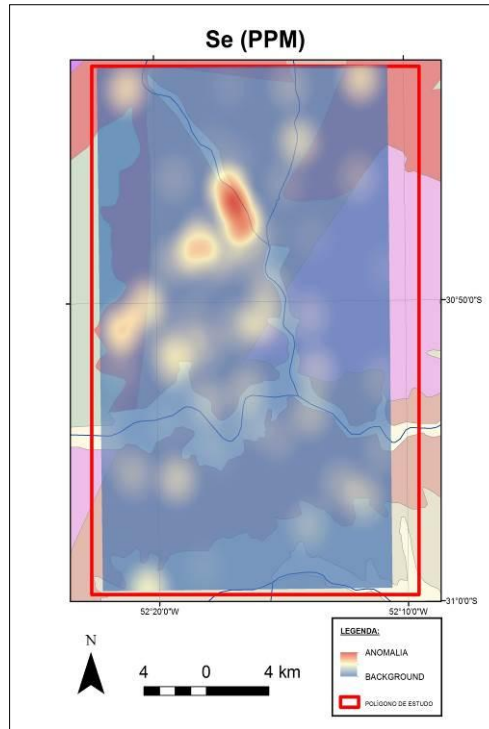


Figura 37: Mapa de densidade Kernel ilustrando as áreas anômalas em Selênio.

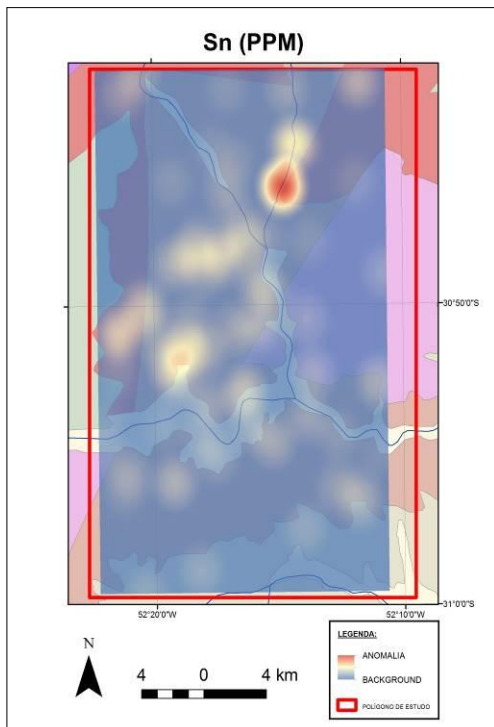


Figura 38: Mapa de densidade Kernel ilustrando as áreas anômalas em Estanho.

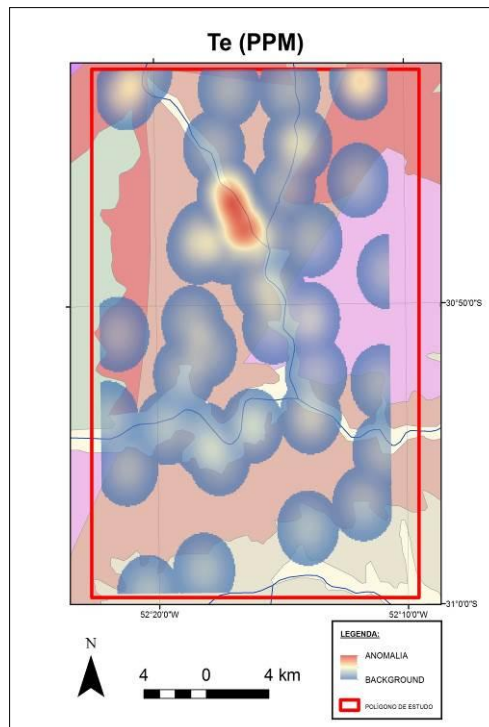


Figura 39: Mapa de densidade Kernel ilustrando as áreas anômalas em Telúrio.

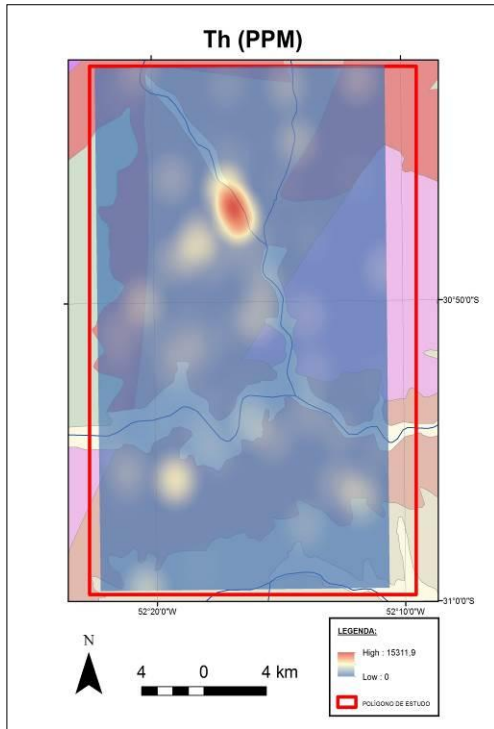


Figura 40: Mapa de densidade Kernel ilustrando as áreas anômalas em Tório.

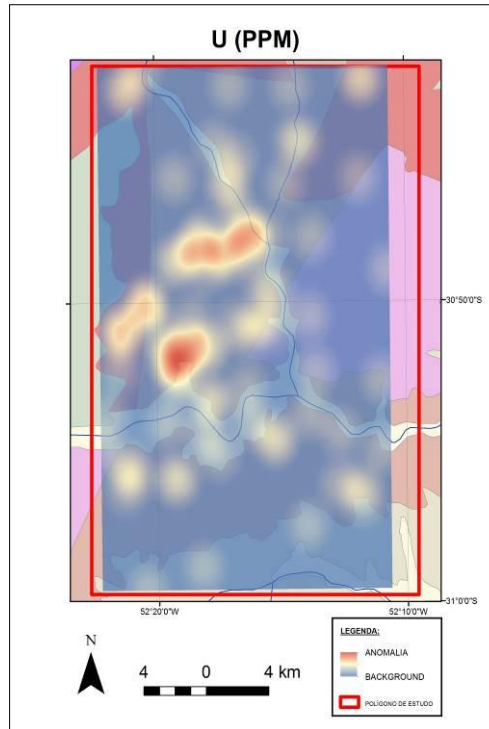


Figura 41: Mapa de densidade Kernel ilustrando as áreas anômalas em Urânio.

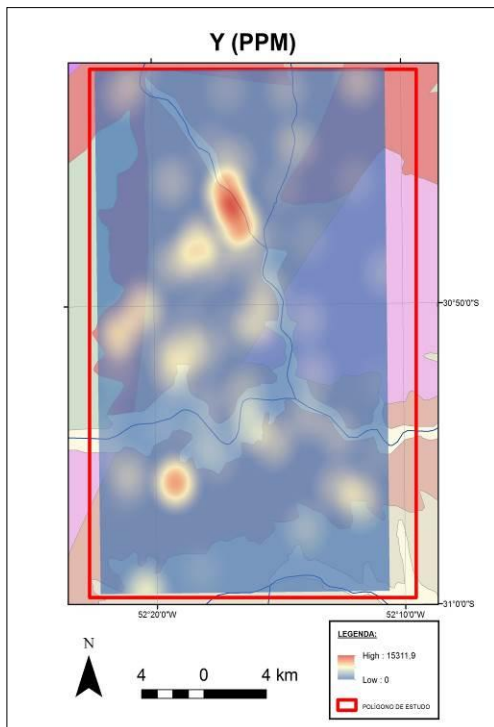


Figura 42: Mapa de densidade Kernel ilustrando as áreas anômalas em Ítrio.

Para a interpretação dos dados de concentrado de bateia se adotou outro procedimento, visto que não era possível utilizar o mesmo aplicado aos sedimentos de corrente, já que os dados de concentrado de bateia foram obtidos em intervalos de classes. Assim, se fosse utilizado o mesmo método para descobrir o limiar a sua interpretação seria dificultada. Desta forma, para identificar minerais anômalos se optou pela construção de mapas de densidade do tipo Kernel. Isto foi possível através da utilização da ferramenta Kernel Density do *software* ArcGIS™. Sendo assim, a análise visual foi feita para determinar quais minerais são ricos dentro do polígono de estudo.

Tendo como base a visualização espacial das anomalias mencionadas, tanto as observadas nos dados de sedimento de corrente quanto às observadas nos concentrados de bateia, tornou-se possível observar que existem quatro áreas anômalas principais,. Além disso, podem-se adicionar novos minerais anômalos aos já conhecidos na área da conhecida Mina Galena. As áreas anômalas foram chamadas de Área A, B, C e D respectivamente (Figura 43).

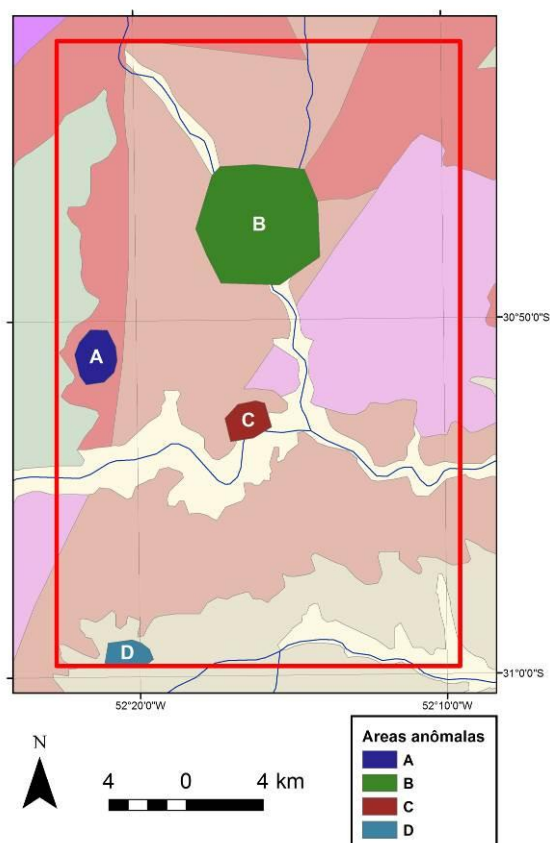


Figura 43: Mapa construído no ArcGIS™ mostrando as áreas anômalas.

A área A, situada na porção centro-oeste do polígono, apresenta anomalias de bário, ferro, manganês.

A área B, localizada ao norte da área de estudo, mostra-se como a zona de maior relevância, pois possui a maior quantidade de elementos anômalos, são eles: chumbo, estanho, ferro, selênio, telúrio, tório, urânio e ítrio.

A área C situada a aproximadamente 4,5 Km a leste Mina Galena, revelou-se uma região com anomalias de potássio, lítio e níquel. Além destes, há um valor de bário muito próximo ao limiar (10 ppm do limiar). O aparecimento de Níquel como mineral anômalo chama atenção visto que este elemento é típico de rochas máficas e ultramáficas.

A área D, por sua vez apresentou-se com anomalias em Ouro, Selênio e Ítrio.

Analisando os dados de concentrado de bateia, permitiu-se visualizar que alguns minerais apresentam concentração acima da média dentro do polígono de estudo. Os principais minerais reconhecidos foram óxidos, dentre eles a hematita, ilmenita e magnetita. Das áreas anômalas acima citadas, somente em A e B foram observados valores altos de minerais obtidos pelo estudo de concentrado de bateia. A área anômala B se identificou também como a principal região anômala em óxidos, tendo o predomínio do intervalo entre 25 – 75 % em hematita e ilmenita de concentração nas amostradas analisadas. Além destes, um valor não tão expressivo em termos numéricos (1 – 5%), mas relevante por não ser comum na área em geral, foi a presença de turmalina na referida região.

Já a área anômala A apresentou valores elevados do mineral ilmenita (Figura 44). Ele foi encontrado em quatro pontos amostrados, os quais continham entre 50 – 75 % deste mineral no material de concentrado de bateia. Outro mineral que chamou atenção durante interpretação dos dados de concentrados de bateia a foi o leucoxênio. Este se trata de um mineral de granulação fina e que é produto da alteração de minerais de titânio como rutilo e anatásio. Foram identificados nos arredores da área anômala A cinco pontos que continham este mineral, nos quais as concentrações variavam entre dois intervalos de classes (1-5 e 5-25%).

Através do estudo dos dados de concentrado de bateia, foi possível observar que a área da Mina Galena, já detalhada e estudada anteriormente nesta pesquisa, apresentou-se rica (50 – 100%) em óxidos como a hematita e a ilmenita, chegando por vezes a ter entre 75 – 100% destes óxidos. Além destes, a existência de cassiterita em um ponto e uma ocorrência com pinta de ouro foram detectadas.

A presença de ouro nos concentrados de bateia foi analisada de forma separada dos demais minerais. Para saber a sua ocorrência em uma determinada região foram contados o nº de pintas que continham dentro de uma amostra de concentrado de bateia. Dentro do polígono de estudo foi possível identificar três pontos que continham pintas de ouro. Um ponto, situado a aproximadamente 5 km ao Sul da área anômala A apresentou duas pintas de ouro. Já os outros dois pontos, situados próximo à área A e nos arredores da Mina Galena apresentaram uma pinta de ouro nas amostras de concentrados de bateia. Na figura 47 se pode ver espacialmente a ocorrência de ouro dentro do polígono de estudo. Portanto, nas figuras abaixo apresentadas se podem observar os mapas do tipo Kernel, nos quais se pode analisar a distribuição dos óxidos magnetita, hematita, ilmenita e também das pintas de ouro analisadas.

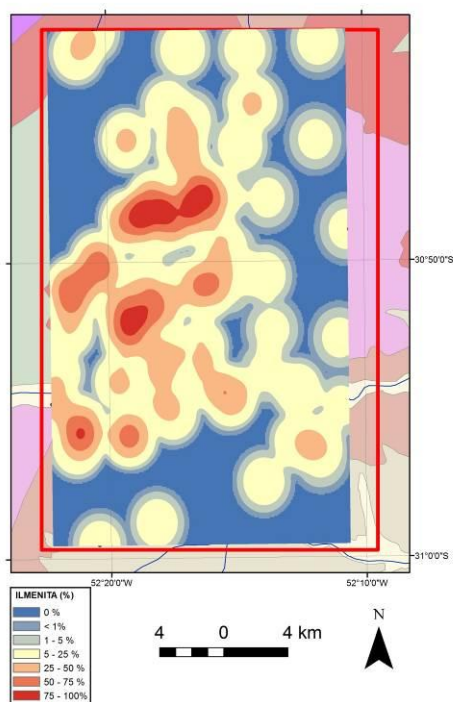


Figura 44: Mapa de densidade Kernel ilustrando a distribuição de concentrações de ilmenita.

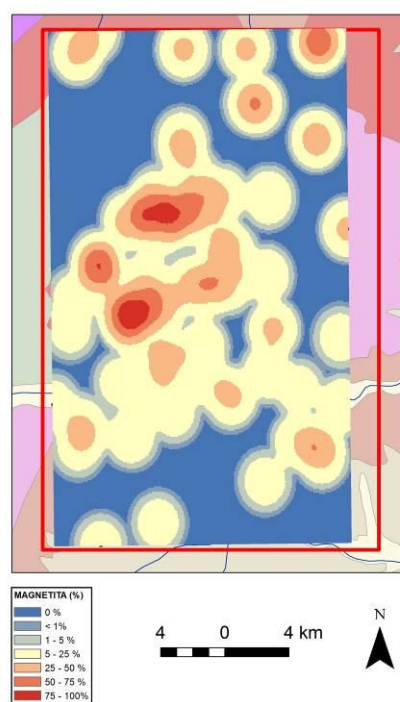


Figura 45: Mapa de densidade Kernel ilustrando a distribuição de concentrações de magnetita.

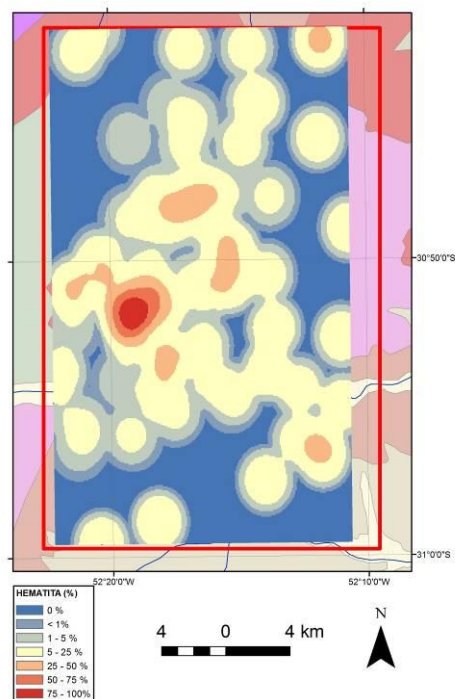


Figura 46: Mapa de densidade Kernel ilustrando a distribuição de concentrações de hematita.

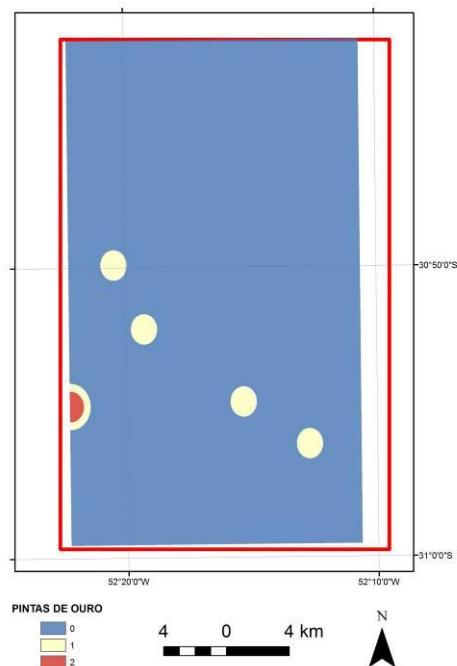


Figura 47: Mapa de densidade Kernel ilustrando o número de pintas de ouro.

## 5.5. Scatterplot

A apresentação dos dados através dos gráficos de análise bivariada, conhecido como Scatterplot, que permite demonstrar a existência de uma relação entre os elementos anômalos, tornando tais achados ainda mais consistentes. Com o uso do *software* SGeMS se conseguiu construir estes gráficos, nos quais foi possível visualizar a correlação dos dados de sedimentos de corrente situados dentro da área do polígono de estudo. Entre as áreas anômalas estudadas ficaram evidentes as correlações existentes na área B e C. A partir desta identificação, realizaram-se as seguintes observações:

A área anômala B, que é a mais relevante do ponto de vista prospectivo entre as áreas encontradas, apresentou anomalias de Pb, Sn, Fe, Se, Te, Th, U e Y. Com a construção dos gráficos do tipo Scatterplot ficou evidente, ao observar as figuras 48,49,50, que o trio tório, urânio e ítrio apresenta uma forte correlação quando visualizado através da análise bivariada. Dessa forma, se vê nestes gráficos que os valores do Coeficiente de correlação entre estes elementos são altos, os quais variam de 0,87 até 0,92.



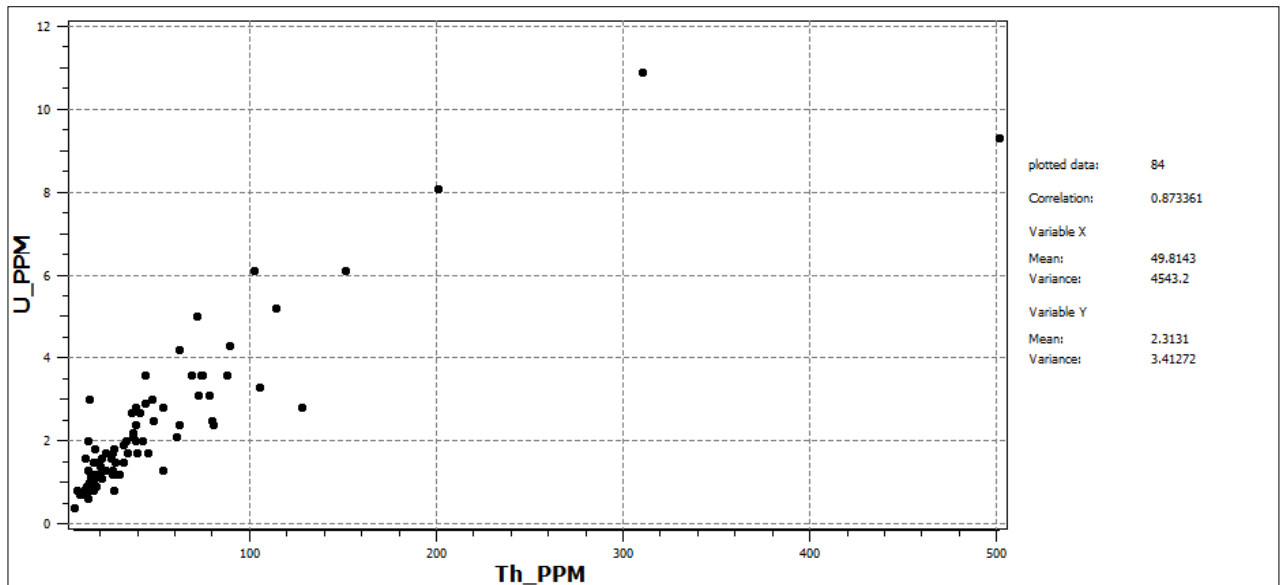


Figura 48: Gráfico Scatterplot, produzido, no SGeMS, mostrando a correlação positiva entre os teores de tório e urânio.

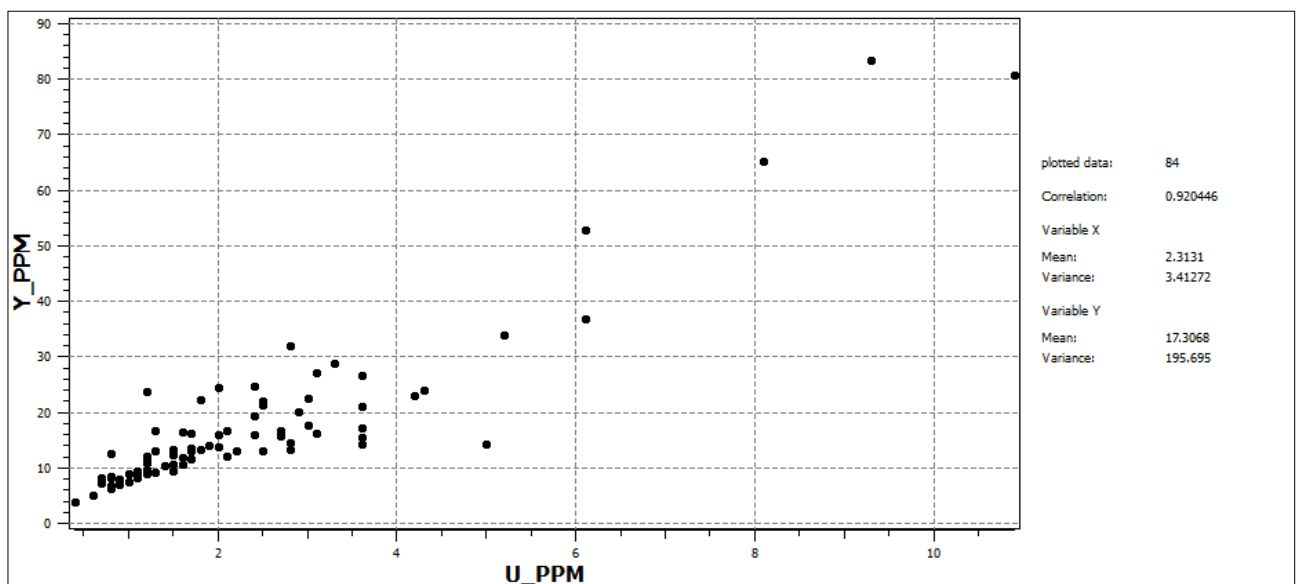


Figura 49: Gráfico Scatterplot, produzido no SGeMS, mostrando a correlação positiva entre os teores de urânio e ítrio.

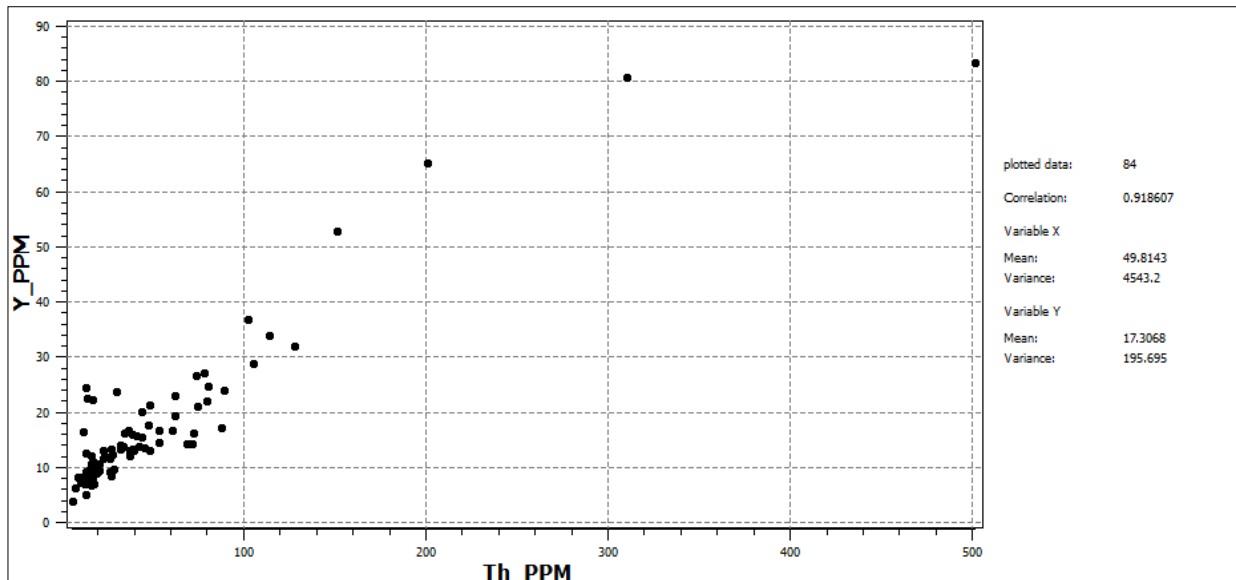


Figura 50: Gráfico Scatterplot, produzido no SGeMS, mostrando a correlação positiva entre os teores de tório e ítrio .

A área C, já mencionada como uma região que apresenta anomalias de potássio, lítio, níquel, pode também ser analisada utilizando a mesma técnica, nela se verificou que existe uma correlação positiva entre os teores de K e Li (Figura 51 )e também entre Ni e Li (Figura 52).

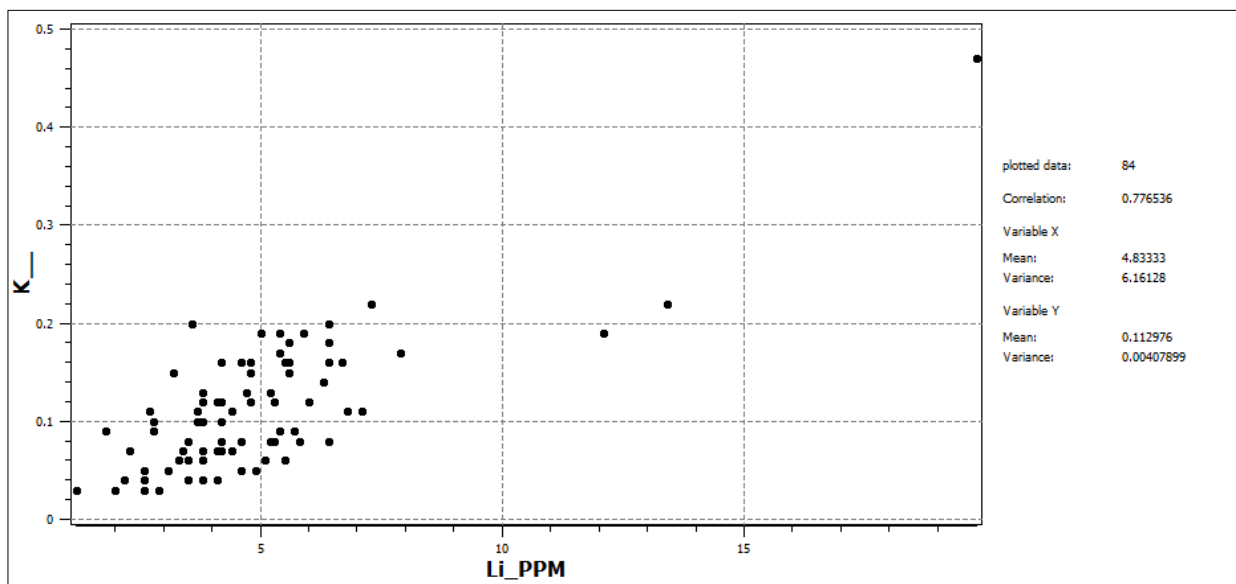


Figura 51: Gráfico Scatterplot, produzido no SGeMS, mostrando a correlação positiva entre os teores de Lítio e Potássio.

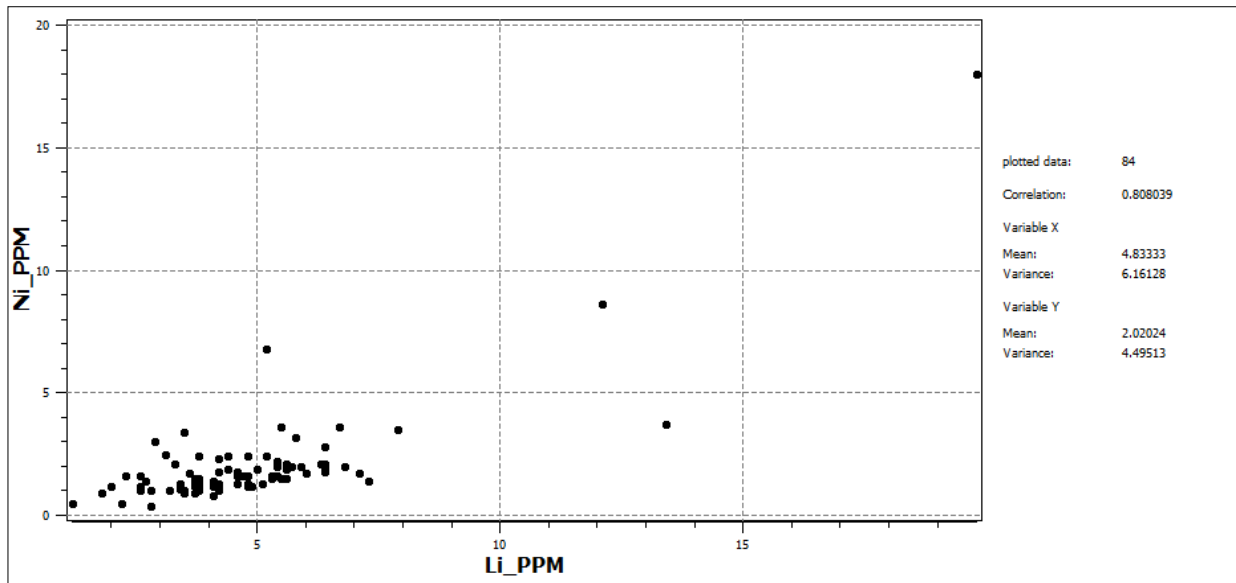


Figura 52: Gráfico Scatterplot, produzido no SGeMS, mostrando a correlação positiva entre os teores de Lítio e Níquel.

A área D compreendeu anomalias de Ouro, Selênio e Ítrio. A análise bivariada da distribuição destes elementos permitiu a estabelecimento de uma correlação positiva de 0,79, entre os teores de Se e Y (Figura 53).

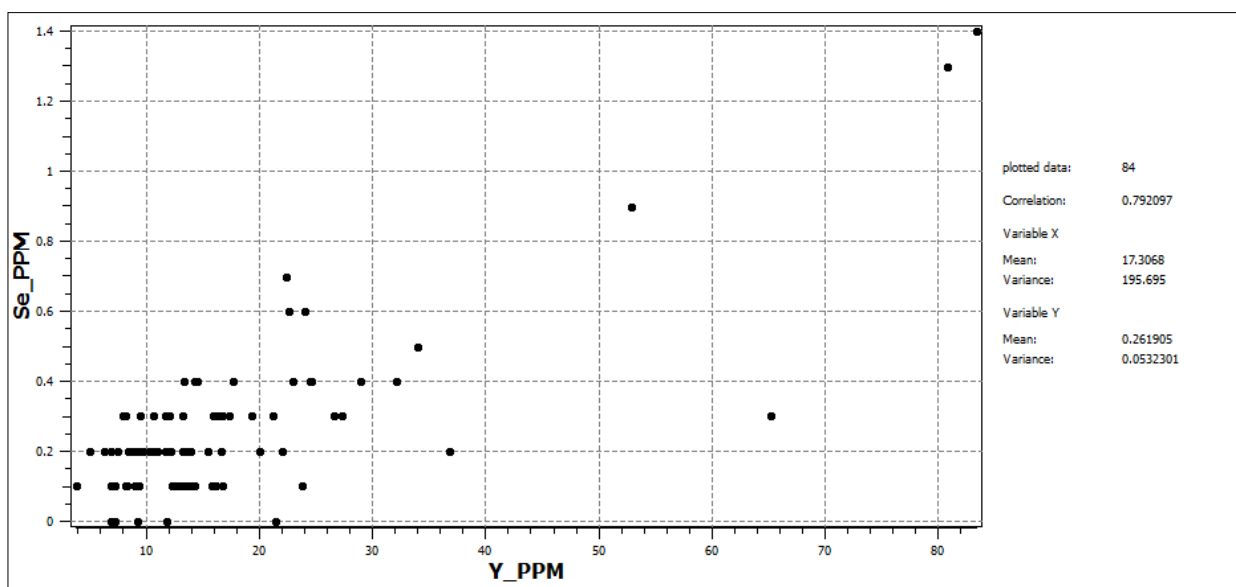


Figura 53: Gráfico Scatterplot, produzido no SGeMS, mostrando a correlação positiva entre os teores de Ítrio e Selênio.

## **6. DISCUSSÕES**

### **6.1. Litologia**

As principais litologias estudadas, tanto as vistas no campo quanto as analisadas petrograficamente fazem parte do grupo de rochas da Suíte Dom Feliciano. Foram selecionadas para análises petrográficas quatro tipos de litologias, duas delas são pertencentes a Suíte Dom Feliciano – Fácies Cerro Grande: Os monzogranitos de textura inequigranular típicos desta Fácies e os sienogranitos de textura inequigranular e granulação fanerítica média, que são pertencentes a mesma Fácies e que ocorrem de forma subordinada aos monzogranitos.

Outra litologia estudada foi uma rocha encontrada em um afloramento na porção sudoeste do polígono de estudo. Amostrou-se tal rocha para ver qual era a sua composição, pois ela se parecia com a rocha porfirítica encontrada nas imediações da Mina Galena, e também para entender a relação com o monzogranito regional da Fácies Cerro Grande. Após o estudo petrográfico ficou claro que a rocha se trata de um leucogranito que corta o monzogranito da Fácies Cerro Grande.

Por último, analisou-se uma rocha classificada como Riólito-porfirítico por ROST (2006), a qual foi retirada das imediações da Mina Galena. Comparando a amostra retirada com as publicadas no trabalho de ROST (2006) se percebe que se está vendo mesma rocha. Contudo, ao analisar a lâmina petrográfica e visto que a granulometria não era fina o suficiente para ser chamado de riólito, classificou-se tal rocha como sienogranito-porfirítico.

Esta rocha, que já foi mencionada no trabalho de Henrichs (2010) e no de ROST (2006), é de extrema importância para o entendimento da área mineralizada, pois se suspeita que a intrusão que originou tal rocha possa ser o agente mineralizador dos depósitos conhecidos e também de outros prováveis depósitos a serem descobertos na região.

## **6.2. Alterações**

As alterações foram estudadas a fim de serem encontrados minerais indicativos de depósitos epitermais de baixa sulfetação, como a adularia, feldspato alcalino de bário, como ocorreu no estudo de Henrichs (2010). Entretanto, lamentavelmente as análises de difratometria de raios X não deram uma resposta positiva frente a esse desfecho.

Com as observações realizadas em campo aliadas a algumas análises de DRX, foram reconhecidos na região dois tipos de alterações hidrotermais: fílica e argílica. A alteração fílica, que é o tipo mais comum de alteração hidrotermal, se manifestou nas rochas da região pela ocorrência de quartzo aliado a intensa e frequente formação de mica branca. Já a alteração argílica, foi reconhecida através do uso da técnica de difratometria de raios X. Nestas análises, se identificou minerais como a illita e caolinita que são fruto da alteração argílica do tipo intermediária, a qual é formada pela decomposição dos feldspatos em argilominerais devido à intensa lixiviação ácida em baixas temperaturas (PIRAJNO, 2009).

A partir da análise da visualização espacial dos dados de concentrados de bateia advindos do polígono de estudo, a ocorrência dos minerais leucoxênio e turmalina chamou a atenção. O primeiro é um produto de alteração de óxidos de titânio, como o anatásio e o rutilo, e foi observado nos arredores da área anômala A e também na Mina Galena. Já o segundo, turmalina, foi encontrada na área de anomalia B, que é a de maior relevância. Mesmo que observados em baixa concentração (1–5%), estes minerais quando encontrados no mesmo ambiente podem ser indicativos de depósitos do tipo pórfiro (PIRAJNO, 2009), pois estes são representantes comuns deste tipo de depósito. Além disso, PANTELEYEV (2010) revela que a turmalina pode ser um mineral de alteração indicador de depósitos epitermas. Somado a isso, não se pode deixar de levar em consideração de que os depósitos epitermais possuem uma relação íntima com os depósitos do tipo pórfiro,

já que a fonte dos fluidos mineralizantes e de calor que formam os depósitos epitermais são provenientes dos pórfiros.

### **6.3. Estruturas**

Como referido no capítulo dos resultados deste trabalho, se estabeleceram três estruturas principais na região de estudo. Sendo uma de direção norte, uma de direção nordeste e outra noroeste. Quando observado o mapa de estruturas produzido neste trabalho, pode-se notar que a área da Mina Galena apresenta o encontro de duas estruturas principais tem direção NE e NW respectivamente. Além disso, é interessante observar que este encontro quase que ortogonal das duas estruturas também ocorre na área anômala chamada de B.

As estruturas de direção NE foram caracterizadas por Henrichs (2010) sendo que naquele trabalho, tais estruturas foram entendidas como responsáveis pela zona de intensa atividade hidrotermal que mineralizou a região da Mina Galena. Estes lineamentos de direção N20-30E foram interpretados por ROST (2006) como uma zona de cisalhamento rúptil que contem falhas com sentido de cisalhamento direcional de movimento esquerdo (sinistral). Além disso, as estruturas NW, como as vistas neste trabalho na forma de veios de quartzo, são relacionadas por ROST, (2006) com as estruturas de direção NE, as quais formam um par conjugado de cisalhamento, com extensão associada, o qual formou um plano médio de extensão que possibilitou o preenchimento dos mesmos por quartzo, sericita e hematita.

O fato mais relevante do estudo das estruturas, com certeza, se trata da zona onde há o cruzamento dessas duas importantes estruturas acima descritas, as quais parecem ter sido condicionantes da mineralização já estudada na Mina Galena.

### **6.4. Anomalias**

Pode-se dizer que este trabalho teve seu objetivo principal, que foi a localização de novos alvos potenciais, concluído. Identificaram-se no decorrer da pesquisa quatro áreas realmente interessantes do ponto de vista prospectivo. Além disso, pode-se observar que as estruturas regionais indicam serem controladoras da mineralização na região.

Sendo que a principal, sem dúvidas, foi a denominada área anômala B. Nela se pode observar a ocorrência de anomalias em oito elementos químicos (chumbo, estanho, ferro, selênio, telúrio, tório, urânio e ítrio). Somados a eles, através da análise dos dados de concentrado de bateia se reconheceu que esta área é rica hematita e ilmenita, e, além destes, a ocorrência de turmalina restrita a essa área também chamou atenção.

A segunda região que apresentou uma anomalia significativa foi a chamada área A, essa área parece estar condicionada por uma estrutura de direção norte. Nela, pode-se estabelecer como teores anômalos os elementos bário, ferro e manganês. Ademais, as ocorrências de pintas de ouro ao redor desta área anômala tornam a área atraente para futuras pesquisas.

As outras áreas anômalas, C e D, apesar de apresentarem uma menor quantidade de elementos e minerais anômalos, devem ser estudadas com atenção visto que ambas as anomalias foram caracterizadas e influenciadas com base em uma ou no máximo duas amostras. Sendo assim, novos estudos nestas regiões podem trazer bons resultados e tornar, possivelmente, estas regiões ainda mais relevantes do ponto de vista prospectivo. A anomalia de Níquel, que é um elemento que normalmente não ocorre de forma anômala em rochas graníticas, vista na área C levanta algumas dúvidas para pesquisas futuras. Seria está anomalia relacionada a rochas mais primitivas que não são aflorantes ou não identificadas na região, ou esta alta concentração pode estar correlacionada a problemas analíticos? Posto isso, recomenda-se um estudo em detalhe na região que apresentou esta anomalia para que se possa desta forma esclarecer as dúvidas acima mencionadas.

Apesar de não ter aparecido de forma significativa, a presença de ouro mesmo que de forma pontual deve ser levada em consideração, já que foram encontrados indicativos da presença dele tanto nos sedimentos de corrente, quanto nos concentrados de bateia. Um estudo mais detalhado a procura de um melhor entendimento da origem deste ouro visualizado neste trabalho se faz necessário, uma vez que ele é um forte indicador de depósitos epitermais.

## 7. CONCLUSÕES

A partir do desenvolvimento do presente trabalho foi possível investigar a existência de novos indícios de ocorrências minerais nos arredores do município de Amaral Ferrador – RS.

Através da utilização de uma série de ferramentas, tendo como principal delas a análise estatística dos dados de sedimentos de corrente produzidos pela CPRM, encontram-se quatro áreas anômalas dentro da área de estudo. Sendo que destas, uma delas chama mais a atenção por apresentar anomalias em diversos elementos e aliado a este fato também se observa que a área descrita acima está situada em uma região onde se cruzam duas estruturas regionais. Devido à paragênese dos minerais estudados nessa região se pode dizer que tal área anômala pode estar correlacionada ao mesmo evento que mineralizou a área da Mina Galena, na qual já foi extraído sulfeto de chumbo. Portanto, pode-se observar que as anomalias que ocorrem na área B, principalmente de Se, Te, Sb, indicam uma possível correlação destas anomalias com aquelas de sistemas epitermais, como aquele que ocorre na Mina Galena.

Observa-se que os elementos Li, Ba, Fe e K apresentam anomalias que ocorrem na mesma região, tal fato indica uma forte presença de alteração hidrotermal potássica/fílica, o que pode estar sugerindo presença de sistema pórfiro/epitermal.

O mesmo comportamento de anomalias coincidentes ocorre com Se, Te, U, Th e Y, que também podem estar associados a sistemas hidrotermais de baixa temperatura com ampla participação de fluidos meteóricos, como por exemplo, os sistemas epitermais.



Anomalias coincidentes com presença de magnetita e ilmenita indicam que nestes locais atuaram fluidos hidrotermais neutros e levemente redutores, estabilizando compostos com  $Fe^{2+}$ , tal situação é compatível com o que ocorre em sistemas epitermais de baixa sulfetação.

Para uma melhor verificação e entendimento sobre as áreas anômalas encontradas neste trabalho, recomenda-se um estudo de forma mais detalhada, na qual se possa aumentar a quantidade de pontos amostrados e conseqüentemente de verificação de áreas anômalas nesta região. Sugere-se também um estudo em detalhes das drenagens adjacentes as áreas anômalas, assim será possível apurar com precisão a localização e a fonte destas anomalias.

Além disso, pode-se ampliar o estudo em busca de áreas anômalas inéditas situadas fora do polígono de estudo, uma vez que há um banco de dados disponível de sedimentos de corrente e de concentrados de bateia amostrados pela CPRM na porção leste do Cinturão Dom Feliciano.

## REFERÊNCIAS

ALBERTS, A. P. F. et al (2002) A simple method for the characterization of clay minerals by X-ray diffraction *Cerâmica* 48 (305) Jan/Fev/Mar 2002

ALMEIDA, F. F. M.; AMARAL, G.; CORDANI U. G.; KAWASHITA, K. 1973. The precambrian evolution of the South American Cratonic Margin South of Amazonas River. In: NAIRN, A. E. M; STEHLI, F. G. (Eds.). **The ocean basin and margins**. New York: Plenum Press, v. 1, p. 411-446.

ANDRIOTTI, J.L.S., 2010. Interpretação de dados de prospecção geoquímica com auxílio de estatística. Porto Alegre:CPRM,2010. 73p.

BOLVIKEN, B. A. - 1971 - A statistical approach to the problem of interpretation in geochemical exploration. *Can. Inst. of Min. and Metallurgy, Spec. Vol. 11*, p. 564 – 567.

COSTA, J. F. C. L. ; KOPPE, J. C. . ASSESSING UNCERTAINTY ASSOCIATED WITH THE DELINEATION OF GEOCHEMICAL ANOMALIES. *Natural Resources Research*, v. 8, p. 59-67, 1999

FERNANDES, L. A. D.; COSTA, A. F. U.; RAMGRAB, G. E.; CAMOZZATO, E.; AZEVEDO, M. L. V. 1995. Compartimentação tectônica das associações de rochas Pré-Cambrianas do Escudo Sul-Rio-Grandense baseada em dados de magnetometria e gravimetria. In: 5º Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 1995. **Boletim de Resumos Expandidos**, p. 236-238.

FRAGOSO-CÉSAR, A.R.S. 1980. O Cráton do Rio de La Plata e o Cinturão Dom Feliciano no Escudo Uruguaio-Sul Riograndense. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 31, Camboriú, **Anais**, p. 2879 - 2891.

FRANTZ, J. C.; BOTELHO, N.F. 2000. Neoproterozoic granitic magmatism and evolution of the Eastern Dom Feliciano Belt in the Southernmost Brazil: A tectonic model. **Gondwana Research**, Japão, v. 3, p. 7-19.

FRANTZ, J. C.; REMUS, M.V.D.; HARTMANN, L.A. 2000. Geologic units, ages and tectonic evolution of the Neoproterozoic Dom Feliciano Belt, southern Brazil: a review. **Revista Brasileira de Geociências**, Brasília, v. 30, n. 1, p. 55-57.

HAWKES, H. E. & WEBB, J. S. – 1962 – Geochemistry in mineral exploration. Harper & Row, New York, 415 p.

HEDENQUIST, J.W.; LOWENSTERN, J.B. 1994. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits. **Nature**, Estados Unidos, v. 370, p. 519-527.

HEDENQUIST, J.W.; ARRIBAS, A.; REYNOLDS, T.J. 1998. Evolution of an intrusion-centered hydrothermal system: Far Southeast-Lepanto porphyry and epithermal Cu–Au deposits, Philippines. **Economic Geology**, v. 93, p. 373–404.

HEDENQUIST, J. W.; ARRIBAS, A.R.; GONZALEZ-URIEN, E. 2000. Exploration For Epithermal Gold Deposits. In: **Society of Economic Geologists Reviews**, v. 13, p.245-277.

HENRICHS, I. A. 2010. Caracterização do sistema hidrotermal da Mina-Galena, Amarel Ferrador – RS: Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

PANTELEYEV, A. 2005. Epithermal Au-Ag: Low Sulphidation, British Columbia Geological Survey, Victoria, B.C., Canada

PANTELEYEV, A. Epithermal Au-Ag-Cu: High Sulphidation, British Columbia Geological Survey, Victoria, B.C., Canada, 2005.

PANTELEYEV, A. Epithermal Au-Ag-Cu: High Sulphidation, in Selected British Columbia Mineral Deposit Profiles, Volume 2 - Metallic Deposits, Lefebure, D.V. and

Höy, T, Editors, British Columbia Ministry of Employment and Investment, Open File 1996-13, pages 37-39.

PAREDES, E.A. Sistema de Informação Geográfica -Princípios e aplicações (Geoprocessamento). São Paulo, Érica, 675 p. 1994

PIRAJNO, F. 2009. Hydrothermal Processes and Mineral Systems. Berlin: Springer Verlag, 1244p.

RAMGRAB, G. E.; WILDNER, W.; SANDER, A. 1997. Geologia In: Ramgrab, G.E.(Revisor). Folha SH-22-Y-B – Porto Alegre, **Programa de Levantamento Geológicos Básicos do Brasil**, CPRM, SUREG-RS, p. 13-73.

ROCHA, C. H. B. Geoprocessamento: Tecnologia Transdisciplinar. Juiz de Fora, MG: Ed. Do Autor, 2000.

ROST, M. C. 2006. Caracterização Estrutural e Petrográfica do Paleossistema Hidrotermal de Amaral Ferrador. 87f. Monografia (Graduação) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

SILLITOE R.H.; HEDENQUIST J.W. 2003. Linkages between volcanotectonic Ksettings, ore-fluid compositions and epithermal precious metal deposits. **Society of Economic Geologists Special Publication**, v.10, p. 315–343

SIMMONS, S.F.; White, N.C.; JOHN, D.A. 2005. Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits. **Economic Geology 100th Anniversary Volume**, v. 100, p. 485–522.

SIMONASSI, Andrei Gomes; CÂNDIDO JR., José Oswaldo. Econometria não paramétrica e expectativa de vida nos municípios do nordeste: uma aplicação do estimador de nadaraya-watson. In: ENCONTRO REGIONAL DE ECONOMIA – 10, 2005, Fortaleza. **Anais Encontro Regional de Economia**. Fortaleza: ANPEC, 2005.

TENNAT, C. B. & WHITE, M. L. - 1959 - Study of the distribution of some geochemical data. *Economic Geology*, vol. 54, n. 7, p. 1281 – 1290.