

Assinatura Geofísica e Geoquímica do Depósito Pb-Zn-(Cu-Ag) Santa Maria – RS, Brasil

Geophysical and Geochemical Signatures of Santa Maria Pb–Zn-(Cu–Ag) Deposit – RS, Brazil

Moriá Caroline de Araújo¹ , Adalene Moreira Silva¹ , Paola Ferreira Barbosa¹ ,
João Henrique Boniatti² ; Allan Früchting² , Samuel Bouças do Lago²  &
Ram Horizonte Seixas Betancourt² 

¹ Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Brasília, DF, Brasil

² Nexa Resources, São Paulo, SP, Brasil

E-mails: moria_araujo@hotmail.com; adalene@unb.br; paolabarbosa@unb.br; joao.boniatti@nexaresources.com;
allan.fruchting@nexaresources.com; samuel.lago@nexaresources.com; ram.horizonte@gmail.com

Resumo

O entendimento da assinatura geofísica de depósitos é chave na prospecção mineral, uma vez que a compreensão do *footprint* em profundidade é crucial para o mapeamento de novos alvos. A integração de outros tipos de dados aos dados geofísicos pode auxiliar na interpretação a partir do conhecimento avançado da resposta geofísica de diferentes rochas, alteração hidrotermal e mineralizações associadas. Esta pesquisa tem como alvo o depósito epitermal de Pb-Zn-(Cu-Ag) de Santa Maria, situado no distrito de Minas do Camaquã, município de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. Trata-se de um sistema magmático-hidrotermal distal, com mineralizações controladas por sistemas de falhas em arenitos e conglomerados, com zonas de alterações hidrotermais que contêm illita, clorita e pirita, além de galena, esfalerita, calcopirita e bornita. O objetivo principal é mapear a assinatura geofísica do depósito a partir da integração de dados geoquímicos e geofísicos das rochas encaixantes, alteração hidrotermal e mineralizações. A metodologia inicial aplicada consiste na seleção de amostras de furos de sondagens representativas dos litotipos principais, das rochas alteradas hidrotermalmente e mineralizações associadas; análises geoquímicas de elementos maiores, traço e terras raras; e aquisição de dados geofísicos para serem integrados e interpretados. A magnetometria terrestre, a resistividade e a polarização induzida mostraram-se eficientes para mapear as estruturas que controlam a mineralização da área. A geoquímica facilitou o entendimento das anomalias geofísicas, pois a presença de sulfetos em maiores quantidades e presença de óxidos como K₂O, Al₂O₃ e MgO utilizados para mapear zonas de illita e clorita, possibilitaram interpretações e integração ao conjunto de interpretações de dados geofísicos gerados para a área em apreço. Os diferentes cenários proporcionaram uma maior confiabilidade na caracterização da assinatura geofísica do depósito.

Palavras-chave: Assinatura Geofísica (*footprint*); Geoquímica; Depósito Santa Maria

Abstract

The perception of geophysical signature of deposits is key in mineral exploration, since understanding the footprint in depth is crucial for mapping new targets. The integration of other types of data with geophysical data can aid in interpretation from the advanced knowledge of the geophysical response of different rocks, hydrothermal alteration and associated mineralizations. The aim of this research is the Pb-Zn-(Cu-Ag) Epithermal Deposit of Santa Maria, located in Minas do Camaquã, Rio Grande do Sul, Brazil. It is a distal magmatic-hydrothermal system, with mineralizations controlled by fault systems in sandstone and conglomerates, with hydrothermal alteration zones that contain illite, chlorite and pyrite, in addition to galena, sphalerite, chalcopyrite and bornite. The main objective of this work is to identify the geophysical signature of deposit from the integration of geochemical and geophysical data from the hydrothermally altered and not altered host rocks and mineralized zones. Geochemical and geophysical data were analysed. The initial methodology applied consists in the selection of drill hole samples representative of the main lithotypes, of the hydrothermally altered rocks and associated mineralizations; geochemical analysis of major elements, trace and rare earths; and acquisition of geophysical data to be integrated and interpreted. The ground magnetic, resistivity and induced polarization proved to be efficient for mapping the structures that control the mineralization of the area. The geochemistry facilitated the understanding of geophysical anomalies, considering a presence of sulfides in greater quantities and the presence of oxides such as K₂O, Al₂O₃ and MgO used to map zones of illite and chlorite, enabling interpretations and geophysics of the area. The different scenarios improved the ground truth characterization of the geophysical footprint.

Keywords: Geophysical Signature (footprint); Geochemistry; Santa Maria Deposit

1 Introdução

O depósito de Pb-Zn-(Cu-Ag) de Santa Maria, localiza-se nas Minas do Camaquã, distrito de Caçapava do Sul no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Esta região foi polo de extração de cobre entre as décadas de 40 e 90 (Veigel & Dardenne, 1990) e é conhecida pelas ocorrências minerais de metais base, principalmente cobre (Cu), prata (Ag), chumbo (Pb) e zinco (Zn), na forma disseminada e maciça (*stringer*), associados a sequências vulcano-sedimentares neoproterozoicas (Basei *et al.*, 2000; Remus *et al.*, 2000; Renac *et al.*, 2014).

A mineralização de Pb-Zn-(Cu-Ag) de Santa Maria foi mapeada como um sistema magmático-hidrotermal distal, do tipo epitermal de baixa temperatura (Bongiolo *et al.*, 2011). Esse depósito ocorre na forma disseminada e *stringers* em arenitos vermelhos do tipo *red beds* e conglomerados (minério *stratabound*), controlada por zonas de falhas (em fraturas e/ou brechas) com direção predominantemente N-S. Associadas à mineralização, ocorrem zonas de alteração hidrotermal ilitizadas e, localmente, piritizadas. O minério é formado por galena e esfalerita com ganga de barita e calcita. A zona inferior do depósito apresenta cloritização, que acompanha calcopirita e bornita. Também ocorrem mineralizações de calcocita, bornita e calcopirita, hospedadas em falhas de direção NW-SE, que truncam as mineralizações de Zn-Pb-(Cu-Ag) (Brito *et al.*, 2010).

Trabalhos recentes têm mostrado como o mapeamento da assinatura ou *footprint* de mineralizações podem auxiliar na compreensão do sistema mineral e ampliar as chances de encontrar novos depósitos (Airo, 2015; Halley *et al.*, 2015; Witherly, 2015; Cooke *et al.*, 2017; Leshner *et al.*, 2017). Várias técnicas têm sido utilizadas em diferentes escalas e resoluções para estudo do Depósito Santa Maria, e mostram a importância regional das mineralizações tanto para o desenvolvimento econômico da macrorregião quanto para trabalhos futuros de exploração mineral. A integração de diversos tipos de dados deve ser veemente aplicada, pois pode reduzir custos e tempo na prospecção mineral, ou ainda aumentar informações geológicas individuais de uma região.

O objetivo principal deste trabalho é identificar a assinatura geofísica e geoquímica do Depósito Santa Maria através da análise de dados geofísicos de magnetometria, resistividade e polarização induzida, além de dados geoquímicos. Os métodos de magnetometria e elétricos são comumente usados para entendimento e interpretações em estudos na prospecção mineral como: Williams (2009); Leão-Santos *et al.* (2015) e Leshner *et al.* (2017). Enquanto análises mais precisas que utilizam uma gama maior de dados, entre eles os geofísicos e geoquímicos como: Sandrin

et al., 2009; Clark, 2014; Aguilaf *et al.*, 2017; Bérubé *et al.*, 2018 ainda são raros. A integração destes dados será realizada para mapear e identificar se estes são métodos prospectivos efetivos dentro do contexto geológico em apreço.

2 Geologia Regional

2.1 Escudo Sul Rio-Grandense

O contexto geotectônico ao qual pertence a área de estudo relaciona-se ao sistema orogênico Brasileiro - Pan Africano, definido como um conjunto de orógenos Ediacarano-Ordoviciano resultante de colisões diacrônicas de idades neoproterozoica – ordoviciana, do qual faz parte a Província Mantiqueira (Saalmann *et al.*, 2011; Bento *et al.*, 2015; Philipp *et al.*, 2016)(Figura 1A). O Estado do Rio Grande do Sul localiza-se na porção sul desta província, porção esta denominada de Escudo Sul Rio-Grandense (ESRG), que é resultante de uma zona de acreção com retrabalhamento crustal, juntamente com magmatismo e sedimentação brasileiros associados, que desenvolveram-se em situações pré-colisionais, colisionais e pós-colisionais (Brito Neves & Cordani, 1991)(Figura 1B). O ESRG divide-se em quatro unidades geotectônicas: Terreno Taquarembó, Arco São Gabriel, Terreno Tijucas e Batólito Pelotas (Philipp *et al.*, 2016)(Figura 1B). Repousam sobre as unidades tectônicas do ESRG as unidades pertencentes à Bacia do Camaquã.

2.2 Bacia do Camaquã

O contexto geológico da Bacia do Camaquã é marcado por complexidade, ambiguidade e divergência de interpretações. A carência de dados (petrográficos, geoquímicos, geocronológicos e de geologia isotópica) é o principal motivo das múltiplas análises e definições de modelos evolutivos desta bacia (Borba, 2006).

Descrita como uma bacia de tipo *rifte*, na qual esforços de extensão e transcorrência atuaram em conjunto, já sobre um ESRG completamente amalgamado, a Bacia do Camaquã é composta por uma diversidade de rochas-fonte de origem marinha, aluvial e eólica, bem como rochas vulcânicas e vulcanoclásticas de composições variadas. De forma simplificada, esta pode ser descrita como rochas sedimentares siliciclásticas e vulcanogênicas (Basei *et al.*, 2000). Da base para o topo, a bacia é composta pelas seguintes unidades: Grupo Maricá, Grupo Bom Jardim, Formação Acampamento Velho, Grupo Santa Bárbara, Grupo Guaritas e Suíte Intrusiva Rodeio Velho, do qual as três últimas dominam a área de estudo (Paim *et al.*, 2014).

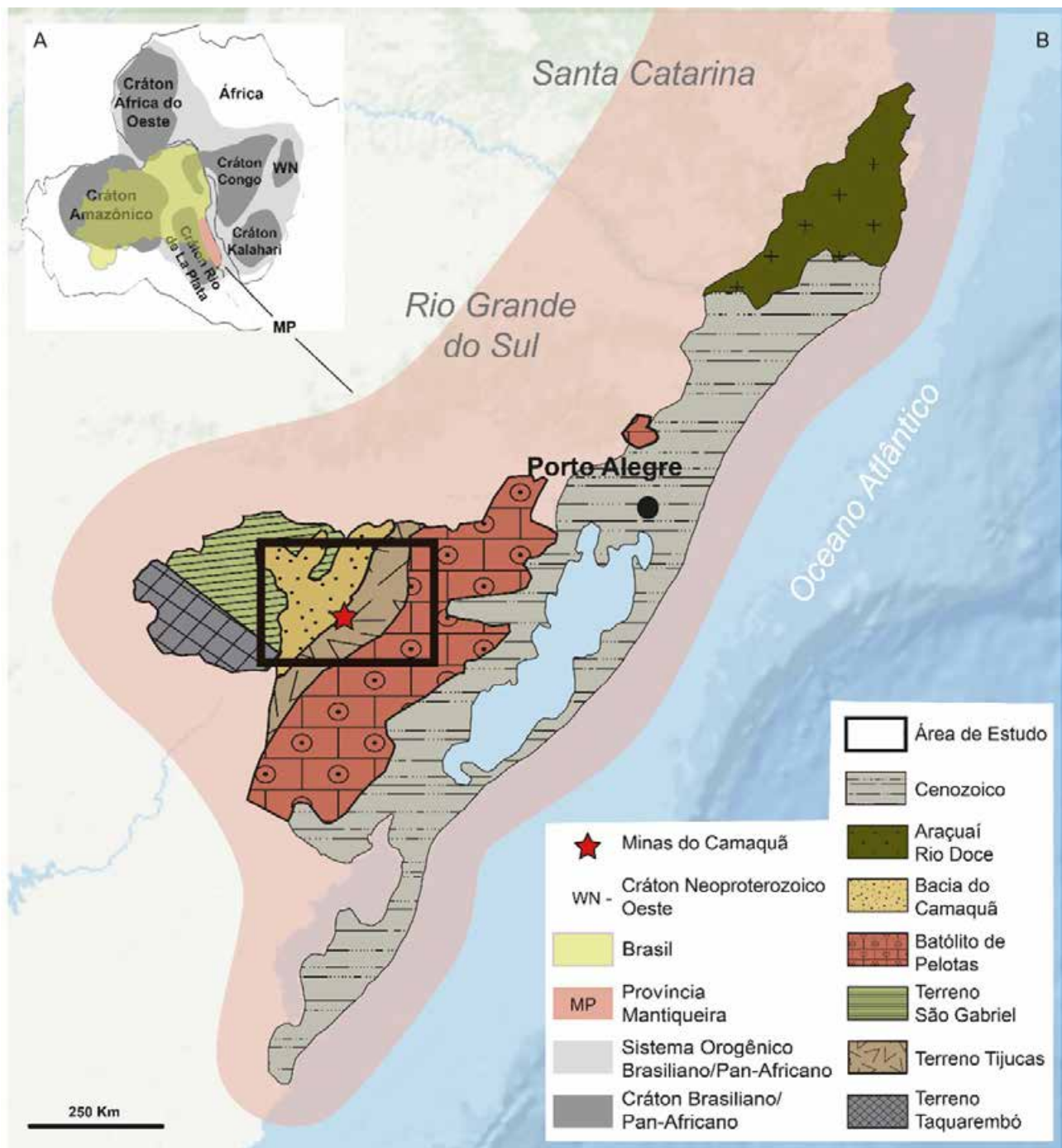


Figura 1 A. Configuração do paleocontinente Gondwana com as principais áreas cratônicas e cinturões orogênicos; B. Destaque para o Escudo Sul Rio-Grandense (ESRG) no extremo sul da Província Mantiqueira onde está localizada a área de estudo (retângulo preto). Modificado de Philipp *et al.* (2016).

2.3 Geologia do Depósito Santa Maria

O Depósito Santa Maria é uma das principais jazidas de metais básicos hospedados nas sequências clásticas sedimentares da Bacia Neoproterozoica do Camaquã e possui assinatura marcante de disseminações e veios maciços de galena e esfalerita com pirita menor, calcopirita, bornita e calcocita (Tabela 1). Este é avaliado em aproximadamente 33,4 milhões de toneladas, a uma média de 1,44% Pb e 1,06% Zn, com Ag (12 ± 15 g / ton) e Cu como principais subprodutos (Remus *et al.*, 2000).

O depósito está hospedado em rochas dos Grupos Santa Bárbara, Guaritas e Suíte Intrusiva Rodeio Velho, estratigraficamente ordenados da base para o topo, onde o Grupo Santa Bárbara é composto de arenitos, conglomerados e siltitos avermelhados, caracterizado por uma sucessão aluvial-marinho-aluvial, gerada em um sistema de *riffts*, com a deposição de rochas siliciclásticas em ambientes aluviais, costeiros e deltaicos. O Grupo Guaritas é caracterizado por arenitos, conglomerados e ritmitos areno-pelíticos, organizados em duas sequências deposicionais eólicas e uma sequência de origem fluvial, do qual o limite entre estas sequências é marcado por discordâncias angulares. Intercalados à sua base, são encontrados derrames de rochas basálticas alcalinas subaéreas, pertencentes à Suíte Intrusiva Rodeio Velho (Fambrini *et al.*, 2007)(Figura 2A). Segundo Veigel & Dardenne (1990), o depósito apresenta cinco níveis litológicos bem definidos: arenito inferior, conglomerado inferior, arenito intermediário, conglomerado superior e arenito superior, do qual os conglomerados tem uma granulometria maior, que grada lateralmente para ruditos de granulometria menor, em camadas mais finas e com intercalações arenosas mais desenvolvidas. A Figura 2B ilustra a coluna estratigráfica das principais formações geológicas da área de estudo.

A gênese do depósito de Santa Maria é controversa, pois autores consideram três diferentes hipóteses: 1) vulcanogênico distal (Biondi, 2015); 2) diagenética

(Veigel & Dardenne, 1990); ou 3) magmática–hidrotermal (Remus *et al.*, 2000). Para esta pesquisa será considerada a gênese magmática–hidrotermal, proposta por Hoerlle *et al.*, (2019) e Remus *et al.*, (2000) a partir da metodologia de geoquímica Pb-S em sulfetos e zircão U/Pb SHRIMP. Recentemente introduzido à literatura, o termo sulfetação intermediária (Sillitoe & Hedenquist, 2003), ao qual o Depósito Santa Maria se encaixa, descreve a mineralização distal equivalente à porção de temperatura mais baixa e de fluido menos ácido.

Para maior compreensão e clareza os geólogos do Projeto Santa Maria dividem o depósito em três áreas, sendo a área 1 (A1) e área 2 (A2) mais a sul e a área 3 (A3) mais a norte, visto que estas são divididas pela principal estrutura que passa pela área de estudo, a Falha Santa Maria (Figura 2A).

As alterações hidrotermais são fatores que caracterizam o depósito em estudo, pois podem ser associadas ao sistema de mineralização de cobre, chumbo, zinco e em alguns locais prata (Figura 3A). A ilitização e a cloritização são associadas as mineralizações Zn/Pb (Lindenberg, 2014; Renac *et al.*, 2014; Veigel & Dardenne, 1990), enquanto a alteração quartzo–sericítica na porção leste da área de estudo e hematitização na porção NW do sistema controlado por falhas, são associadas as mineralizações de Cu. Em algumas outras regiões, identificam-se alterações quartzo-sericítica e carbonatação subordinada (Veigel & Dardenne, 1990; Lindenberg, 2014; Renac *et al.*, 2014)(Figura 3A). Todos os minérios característicos de cada tipo de alteração hidrotermal encontram-se no quadro paragenético (Figura 3B).

A disposição do minério é controlada pela porosidade e permeabilidade das rochas hospedeiras. Quando a mineralização hospeda-se em camadas mais permeáveis, o minério apresenta uma típica morfologia *stratabound* e disseminada, já nas camadas mais finas, onde a permeabilidade é menor, o minério possui forma venular (*stringer*) (Lindenberg, 2014)(Figura 4).

Tabela 1. Principais características do Depósito Santa Maria.

Morfologia	Rochas Hospedeiras	Minério	Ganga	Textura	Paragênese Mineral	Zoneamento Mineral
Veios, Minério Disseminado e <i>Stratabound</i>	Arenitos Arcoseanos, Conglomerados, Ritmitos e Siltitos	Galena e Esfalerita; Calcopirita, Bornita e Calcocita; Pirita em menor quantidade	Clorita, Carbonatos e Barita	Intercrescimento de Galena+Esfalerita; Substituição Massiva	Galena e Esfalerita	Pb em Conglomerados superiores e Zn em Arenitos subjacentes

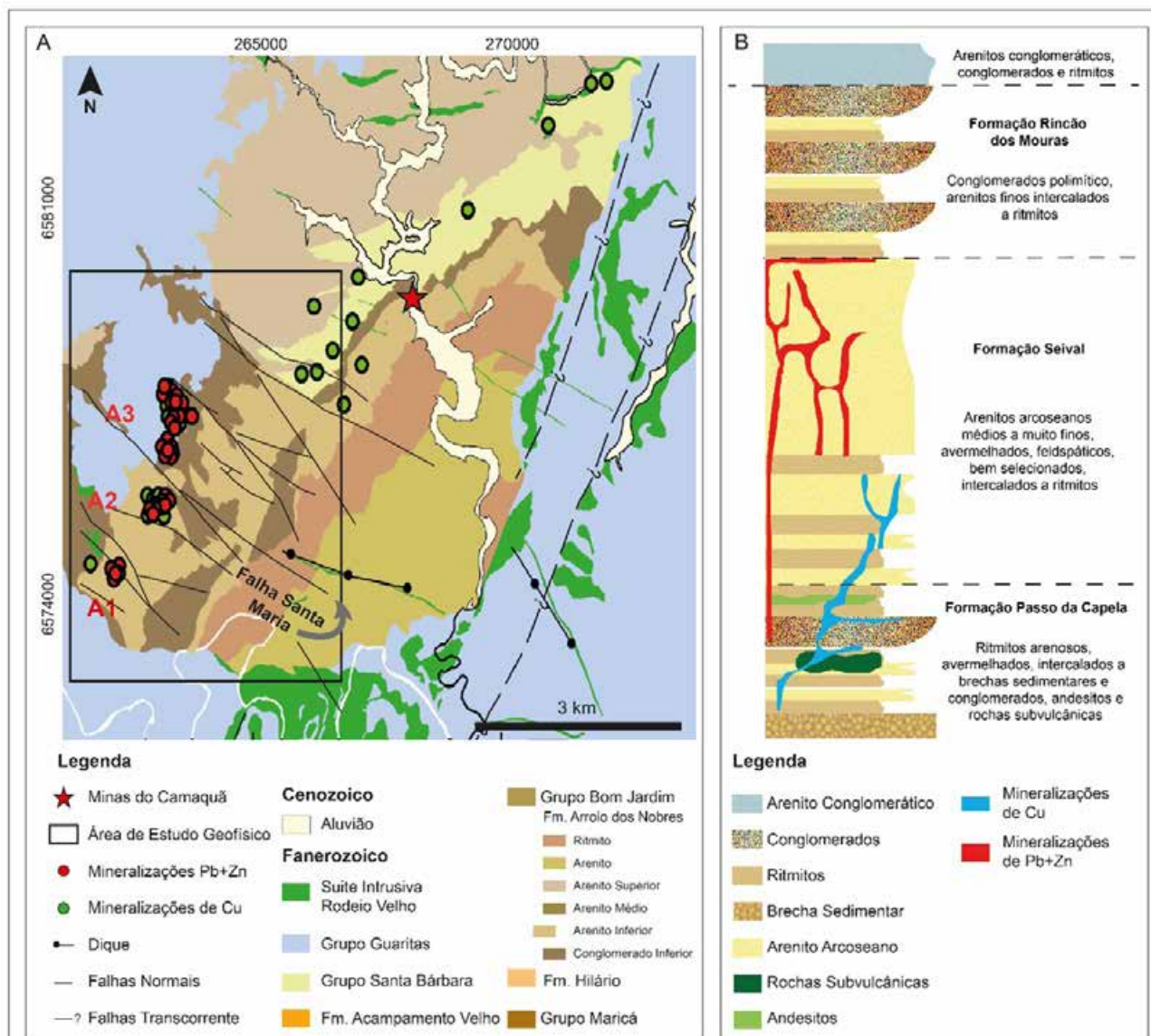


Figura 2 A. Geologia local da área de estudo, principais estruturas e mineralizações do Depósito Santa Maria; B. Representação da coluna estratigráfica com breve descrição de cada formação presente no Depósito Santa Maria, ao qual apenas o topo da coluna faz parte do Grupo Guaritas, e todo o restante ao Grupo Santa Bárbara. Modificado de Lindenberg (2014); Fambrini et al. (2007).

3 Materiais e Métodos

3.1 Geofísica Terrestre

Os dados geofísicos terrestres de magnetometria, resistividade e polarização induzida (IP) foram programados a fim de recobrir as áreas A1, A2 e A3, que são as principais áreas com mineralizações identificadas em mapeamento geológico. Estes são provenientes dos levantamentos realizados pela empresa NEXA Resources. A magnetometria foi aplicada para melhor definição das fontes rasas,

delineação dos corpos magnéticos identificadas no Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul realizado pela CPRM - Serviço Geológico do Brasil em parceria com a *LASA Prospecções S.A* em 2010 e também na identificação de anomalias magnéticas de possível interesse prospectivo. O levantamento foi executado pela empresa Geomag, no período de 24 de agosto a 8 de outubro de 2009, e foram coletados 74 km lineares de perfis geofísicos, dispostos em linhas espaçadas em 100 m com intervalo de 5 m entre as estações (Figura 5A). O controle das variações diurnas do campo magnético e a aquisição de dados foram realizados com um magnetômetro portátil do tipo *Overhouser*, modelo

GSM-19 desenvolvido pela *GEM Systems* em leituras com intervalos de 3 s e uso de um filtro de ruídos de 60 Hz. A inversão e o modelamento (Figura 5B) foram realizados no pacote VOXI da Geosoft Inc. no *software Oasis Montaj*.

Os métodos elétricos foram aplicados com foco nas mineralizações de chumbo, zinco e cobre. Este levantamento

foi executado em diversas etapas entre os anos de 2009, 2012 e 2016 (Figura 5A). O equipamento utilizado durante o levantamento foi o sistema *IP* no domínio do tempo desenvolvido pela *IRIS Instruments*, constituído por um receptor ELREC Pro, um transmissor de corrente VIP 4000, alimentado por um gerador Honda de 10 kVA.

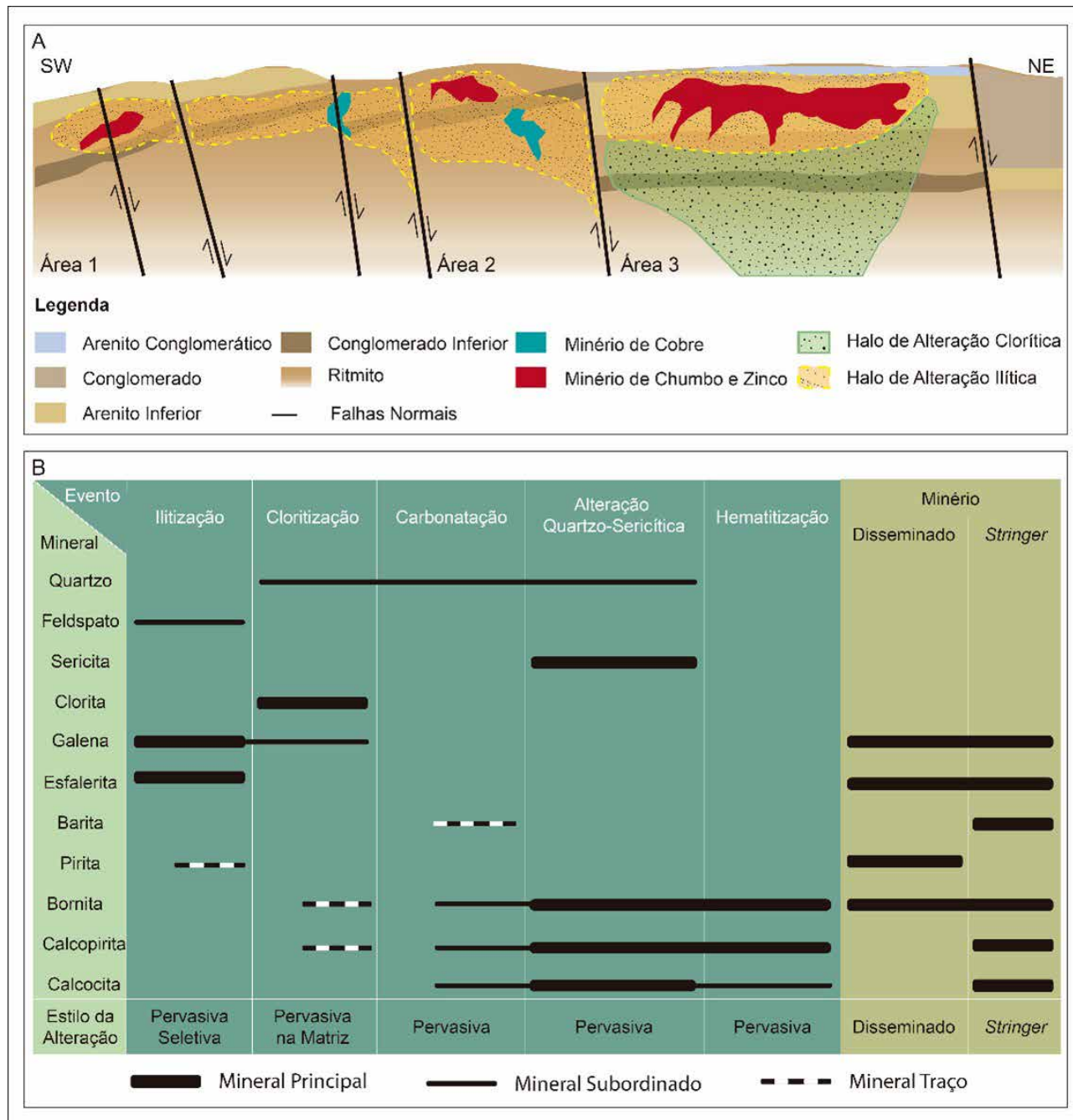


Figura 3 A. Seção geológica (SW-NE) ilustrativa da área de estudo com suas principais litologias, disposição espacial das alterações hidrotermais e mineralizações; B. Quadro paragenético dos minerais e alterações hidrotermais do Depósito Santa Maria.

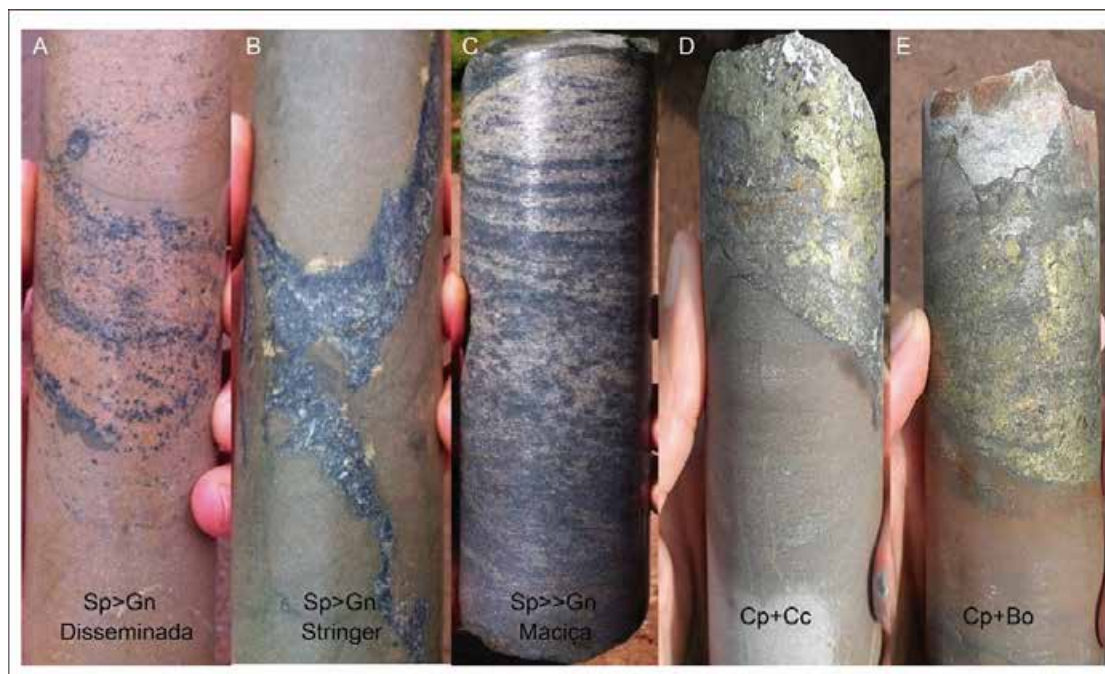


Figura 4 A. Mineralizações de Zn/Pb com predominância de esfalerita disseminada; B. Mineralizações de Zn/Pb com predominância de esfalerita *stringer*; C. Mineralizações de Zn/Pb com predominância de esfalerita maciça; D Mineralizações de Cu com predominância de calcopirita e calcocita; E. Mineralizações de Cu com predominância de calcopirita e bornita. As abreviações foram retiradas de Krbrz (1983) , onde Sp = Esfalerita, Gn = Galena, Cp = Calcopirita, Cc = Calcocita e Bo = Bornita. Modificado de Lindenberg, 2014.

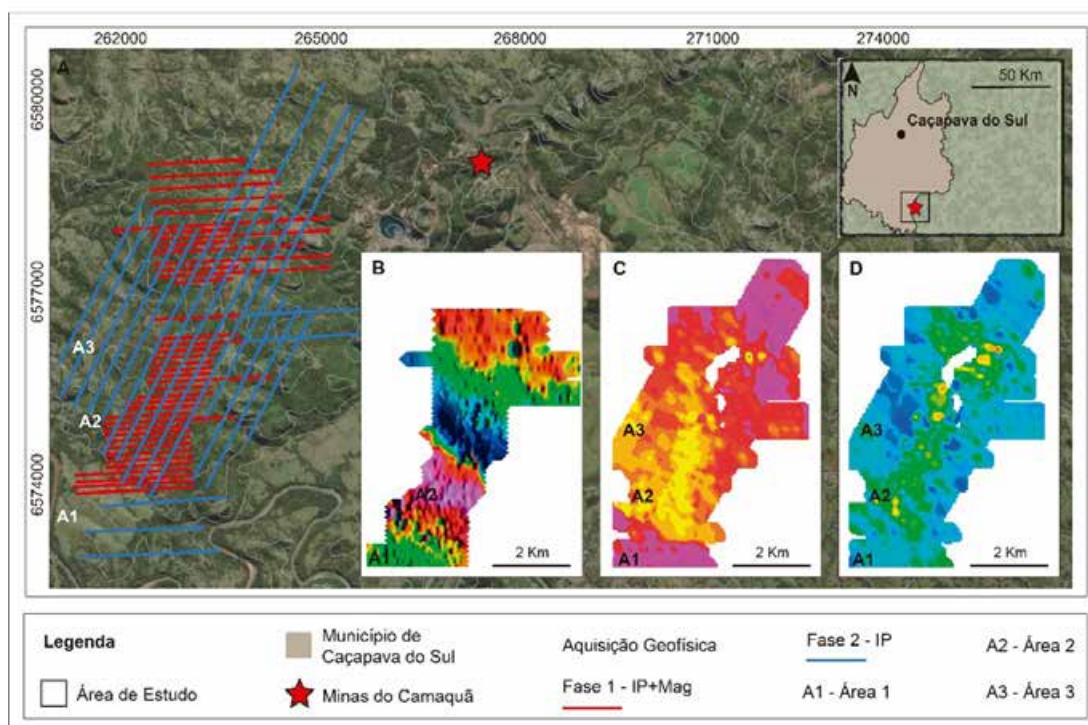


Figura 5 A. Mapa de localização da área de estudo e da malha dos levantamentos geofísicos terrestres; B. Mapa de campo anômalo total; C. Mapa de *slices* horizontais de resistividade; D. Mapa de *slices* horizontais de cargabilidade. Ambos os mapas de *slices* são a uma profundidade de 10m em relação à superfície (ou terreno), resultantes da integração dos levantamentos de IP adquiridos nas 3 fases (2009, 2012 e 2016).

O levantamento geofísico elétrico de 2009 focou na resposta das mineralizações de Pb/Zn. As medições foram dispostas em linhas no sentido E-W, com arranjo dipolo-dipolo de 50 m e obteve 10 níveis de leituras. Os levantamentos de 2012 e 2016 focaram nas mineralizações de Cu, e foram executados com linhas no sentido NE-SW, novamente com arranjo dipolo-dipolo com 10 níveis de leituras. A inversão (Figura 5C e 5D) e processamento dos dados também foram realizados no *software Oasis Montaj*.

3.2 Dados Geoquímicos

A metodologia da parte laboratorial baseou-se na seleção de 39 amostras de furos de sondagens, disponibilizados pela Nexa Resources, com tamanho de aproximadamente 15 cm³, representativas da litologia predominante (arenitos, conglomerados e ritmitos), das rochas alteradas e das mineralizações de Cu, Pb e Zn do depósito. As análises geoquímicas foram realizadas pela empresa ALS Brasil Ltda em ¼ de alíquotas que foram pesadas uma a uma. No laboratório ainda foram realizadas etapas como: moagem das amostras até obtenção de granulagem menor que 2 mm em 75% da alíquota total; homogeneização e quarteamo; pulverização de 250g do material quarteadado e homogeneizado até que atinjam fração de granulagem menor que 75 microns em 85% do material.

As técnicas das análises químicas utilizadas compreendem: trinta e oito elementos por fusão com borato de lítio e determinação por ICP-MS (ME-MS81); carbono e enxofre total por forno Leco e espectroscopia de infravermelho (C-IR07 e S-IR08); seis elementos por ICP-M e digestão por água régia (ME-MS42); metais base com digestão por quatro ácidos e determinação por ICP-AES (ME-4ACD81); fusão com metaborato ou tetraborato de lítio e determinação por XRF (ME-XRF26); decomposição térmica por forno (OA-GRA05x); Cu, Pb e Zn com digestão por quatro ácidos (Cu-AA62, Pb-AA62 e Zn-AA62, respectivamente).

Algumas amostras atingiram o limite superior de detecção do método de metais base com digestão por quatro ácidos e determinação por ICP-AES (ME-4ACD81), em especial elementos com Cu, Pb e Zn, logo utilizou-se o método com digestão por quatro ácidos (Cu-AA62, Pb-AA62 e Zn-AA62) para obter novos valores destas amostras. Apesar de serem expressos em unidades diferentes, foi feita uma conversão de porcentagem para ppm, o qual não afetou na interpretação do *footprint* geoquímico da área.

Para algumas discussões obteve-se o coeficiente de correlação de Pearson de todos os elementos do banco de dados geoquímicos. Elementos que apresentaram coeficiente de Pearson entre -0.4 a 0.4 foram descartados, por serem

valores pequenos e irrísórios. Correlações consideráveis e relevantes seriam a moderada (entre $r = -0.6$ e $r = -0.4$; entre $r = 0.4$ e $r = 0.6$), forte (entre $r = -0.8$ e $r = -0.6$; entre $r = 0.6$ e $r = 0.8$) e muito forte (entre $r = -0.1$ e $r = -0.8$; entre $r = 0.8$ e $r = 1.0$).

4 Resultados e Discussões

4.1 Geofísica Terrestre

A aquisição de dados terrestres em detalhe sobre as anomalias apontadas pelo levantamento aéreo, permitiu o delineamento das fontes rasas e detecção de alguns corpos magnéticos. Duas anomalias proeminentes, indicadas pelas setas, uma de formato contínuo localizada ao centro da malha (Figura 6A), e outra na parte sudoeste (Figura 6B) devem ser interpretadas e discutidas. Os valores de magnetometria variaram entre 7.0×10^{-3} nT/m e 408×10^{-3} nT/m. Estas principais anomalias identificadas (Figura 6A e 6B) quando integradas e comparadas à seções e furos de sondagem, auxiliaram na delimitação de zonas do corpo de minério.

A partir do mapa de amplitude do sinal analítico e dados de geologia estrutural (banco de dados do sistema de geociências do Serviço Geológico Brasileiro - GeoSGB), a anomalia de formato contínuo destacada na Figura 6A mostrou-se localizada sobre a principal estrutura central (Falha Santa Maria), indicada por seta vermelha, que corta a área de estudo, que pode ser associada a um controlador de fluidos para mineralizações, mas não diretamente a uma área mineralizada. A anomalia indicada por uma seta preta na Figura 6B, quando comparada com os limites das unidades geológicas da área, mostra-se sobre a Suíte Intrusiva Rodeio Velho, composta principalmente por rochas basálticas alcalinas e andesitos.

As outras anomalias detectadas no mapa de amplitude do sinal analítico podem ter sido causadas por outras fontes, como a presença de materiais antrópicos na área de levantamento, por exemplo. A inversão dos dados de magnetometria terrestre foi realizada para identificar se apenas as anomalias provenientes das estruturas e da unidade geológica, são as que possuem caráter profundo (Figura 7A e Figura 7B). A seção que corta a área de estudo ao longo da anomalia (Figura 7C) mostra um formato arredondado ou “em C”.

As seções elétricas foram programadas para compreensão das fontes de anomalias, interpretação da assinatura das propriedades elétricas das mineralizações de chumbo, zinco e cobre, assim como o modelamento destas. As resistividades das seções apresentam valores de no máximo 6400 Ω m e a cargabilidade das seções de IP apresentaram valores de no máximo 35 mV/V.

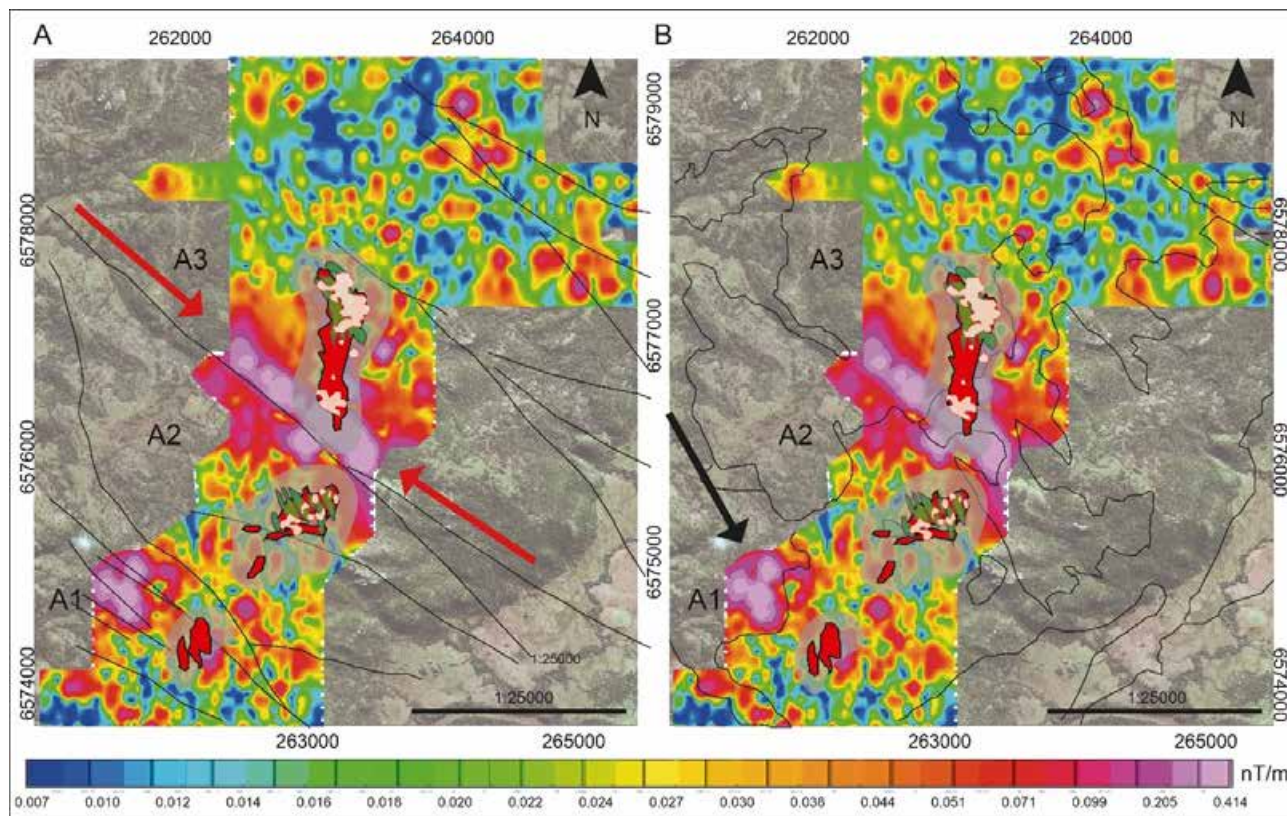


Figura 6 A. Resultado do método de realce de anomalias, amplitude do sinal analítico, proveniente do campo magnético anômalo, junto a lineamentos, estruturas da área de estudo, corpo de minério e ArcGIS World Imagery Basemap; B. Resultado do método de realce de anomalias, amplitude do sinal analítico, proveniente do campo magnético anômalo, junto aos limites de unidades geológicas da área de estudo, corpo de minério e ArcGIS World Imagery Basemap.

A polarização induzida foi o método escolhido para o mapeamento das mineralizações devido ao fato dos minerais alvos, como calcopirita e bornita, apresentarem alta interação entre íons, logo ótima resposta à propriedade física cargabilidade (Zonge *et al.*, 2005). As seções de elétrica foram integradas a sondagens, geoquímica e mapas geológicos para selecionar as principais áreas anômalas. É importante destacar que nem sempre as sondagens, amostras e seções elétricas interceptaram o corpo de minério, ou até mesmo transpõem uma a outra. As seções de resistividade atingiram um valor máximo de 6400 Ωm e quando posicionadas espacialmente junto as principais estruturas da área de estudo, notou-se algumas paridades entre ambas, pois tem-se zoneamentos e limites da variação de resistividade (Figura 8A). Em contra partida quando comparado ao corpo de minério, não houve paridade alguma.

A área A1 é composta por 8 furos de sondagem marcados por disseminação estratiforme de galena, esfalerita e calcopirita/calcocita/bornita, principalmente em arenitos e, secundariamente, nos conglomerados, com *stringer zones* que cortam os ritmitos. A resistividade das

seções dessa região tem variabilidade entre 300 a 500 Ωm e valores máximos geoquímicos de 78.000 ppm de Pb, 75.000 ppm de Zn e 2.850 ppm de Cu nesses tipos de seções. A seção 6574600 (Figura 8B) ilustra a integração dos dados na área A1 e nela nota-se que as amostras geoquímicas e os corpos de minério não necessariamente se interceptaram e que os baixos resistivos podem ser associados a Falha Santa Maria (indicado pela seta) e ainda tem o baixo resistivo correspondendo ao corpo de minério *stringer* de Pb/Zn.

A área A2 é composta por 7 furos de sondagem e marcada por situação geológica e minério com características semelhantes aos da área A1. A resistividade das seções dessa região tem variabilidade entre 400 a 600 Ωm e valores máximos geoquímicos de 7.000 ppm de Pb, 35.000 ppm de Zn e 7830 ppm de Cu (Figura 8C). A seção 6575800 ilustra a integração dos dados na área A2 e nela nota-se que as amostras geoquímicas e os corpos de minério novamente não se interceptaram e que as anomalias de baixo resistivo também podem ser associadas a Falha Santa Maria (indicado pela seta), mas em contra partida corpo de minério *stringer* de Pb/Zn corresponde a um alto resistivo.

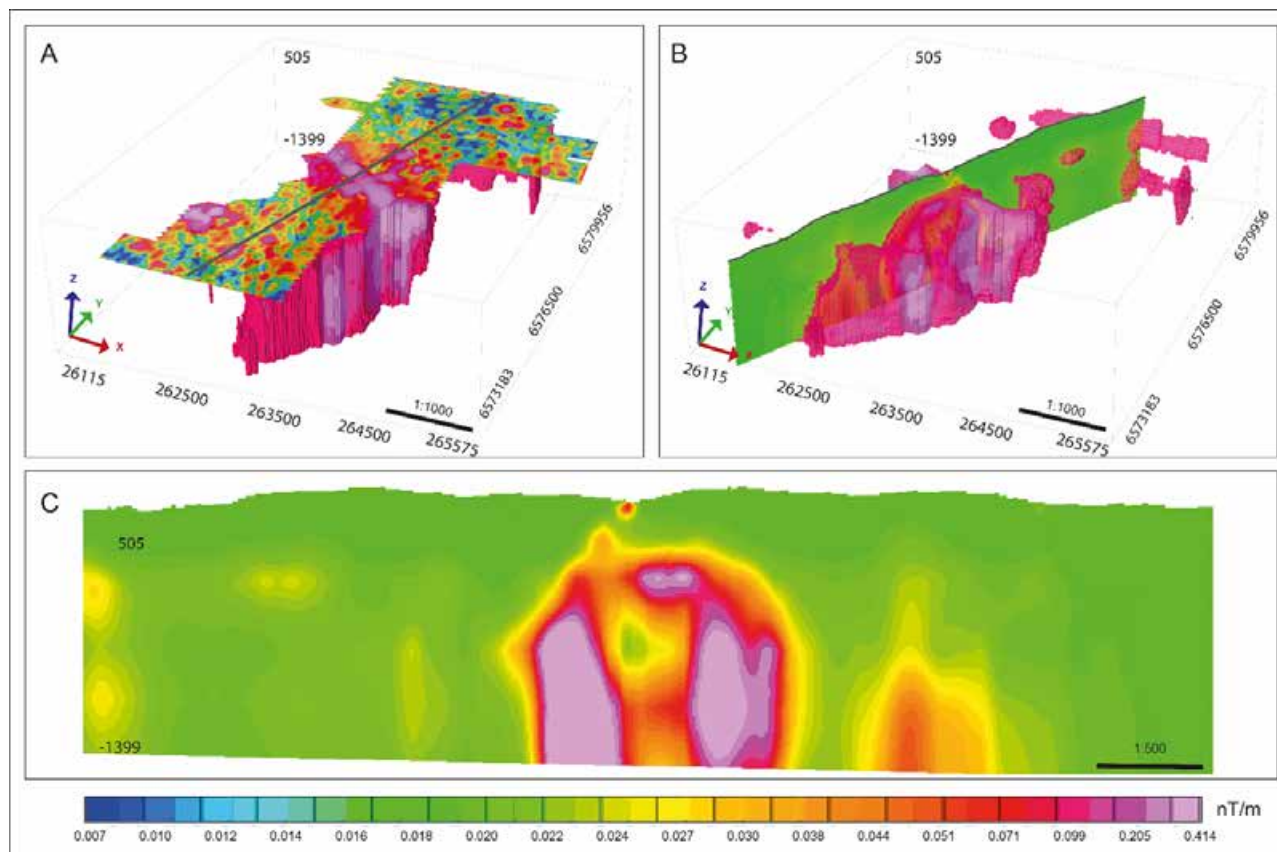


Figura 7 A. Modelo 3D dos dados magnetométricos que evidencia anomalias provenientes de fontes profundas e localização de perfil onde a seção foi realizada; B. Seção realizada que corta a anomalia em evidência; C. *Slice* vertical que mostra profundidade de anomalias e formato arredondado ou “em C”.

A área A3 é composta por 10 furos de sondagem e marcada por minério disseminado e maciço de galena, esfalerita e calcopirita/calcocita/bornita, distribuído principalmente em arenitos e secundariamente em conglomerados. A resistividade das seções dessa região tem variabilidade entre 400 a 600 Ω m e valores máximos geoquímicos de 64.000 ppm de Pb, 83.000 ppm de Zn e 11.000 ppm de Cu. Nas seções L 1500 NE e L 1750 NE, nota-se uma diminuição da resistividade com valores entre 150 e 300 Ω m, a partir da coordenada 6.576.500W, que pode ser associada a um zoneamento gerado pela presença de fraturas e falhas com direção NW (Figura 8D e Figura 8E).

Como apontado anteriormente, a zona mineralizada da área de estudo pode ser controlada por um sistema de fraturas e/ou brechas (minério de alto teor). Dentre as ferramentas geofísicas utilizadas, a polarização induzida foi o método que melhor respondeu na identificação do minério disseminado e *stringer* conhecido na área de estudo.

A cargabilidade das seções de IP apresenta valores de no máximo 35 mV/V que, quando agrupados e posicionados espacialmente, permitem a identificação de anomalias que podem auxiliar na delimitação e entendimento da posição

do corpo de minério na área de estudo (Figura 9). A área A3, inicialmente não foi totalmente coberta por seções, mas duas seções espaçadas em aproximadamente 300 m sugeriram que entre elas seria necessária uma maior investigação (Figura 9A).

Após o recobrimento dessa área inicialmente não contemplada pelo levantamento de IP, foi possível evidenciar anomalias a partir do filtro *Fraser* que permite que os dados sejam contornados e apresentados como um mapa plano, neste caso de cargabilidade em planta. A área destacada é marcada por grande contraste, que apresenta uma variabilidade de 7 a 14 mV/V (Figura 9B), onde a área A1 apresenta valores entre 10 e 19 mV/V, a área A2, 10 e 13 mV/V, e a A3, 10 e 19 mV/V.

4.2 Geoquímica

Os resultados geoquímicos das 39 amostras selecionadas para a pesquisa podem ser vistos no Apêndice. O teste de normalidade Shapiro-Wilk (indicado para banco de dados com número de amostras inferior a 50) foi realizado e mostrou que as variáveis não tem um comportamento

normal, pois apresentam valores longe da média, assimetria em torno dos valores centrais e valores extremos frequentes, que resultam em valor- $P < 0.01$, logo optou-se por apresentar os dados em gráficos *boxplot* (Figura 10). Devido a alta quantidade de elementos em análise e para melhor visualização das variações de cada um deles, estes foram

agrupados em elementos maiores (Figura 10A), elementos terras raras (Figura 10B), elementos menores (média inferior a 1000) (Figura 10C) e elementos menores (média superior a 1000) (Figura 10D). Os elementos SiO_2 , La, Ce, Nd, Y, Rb, Sr, Zr, Cd, As, Ba, Cu, Pb e Zn apresentaram altos valores de desvio padrão.

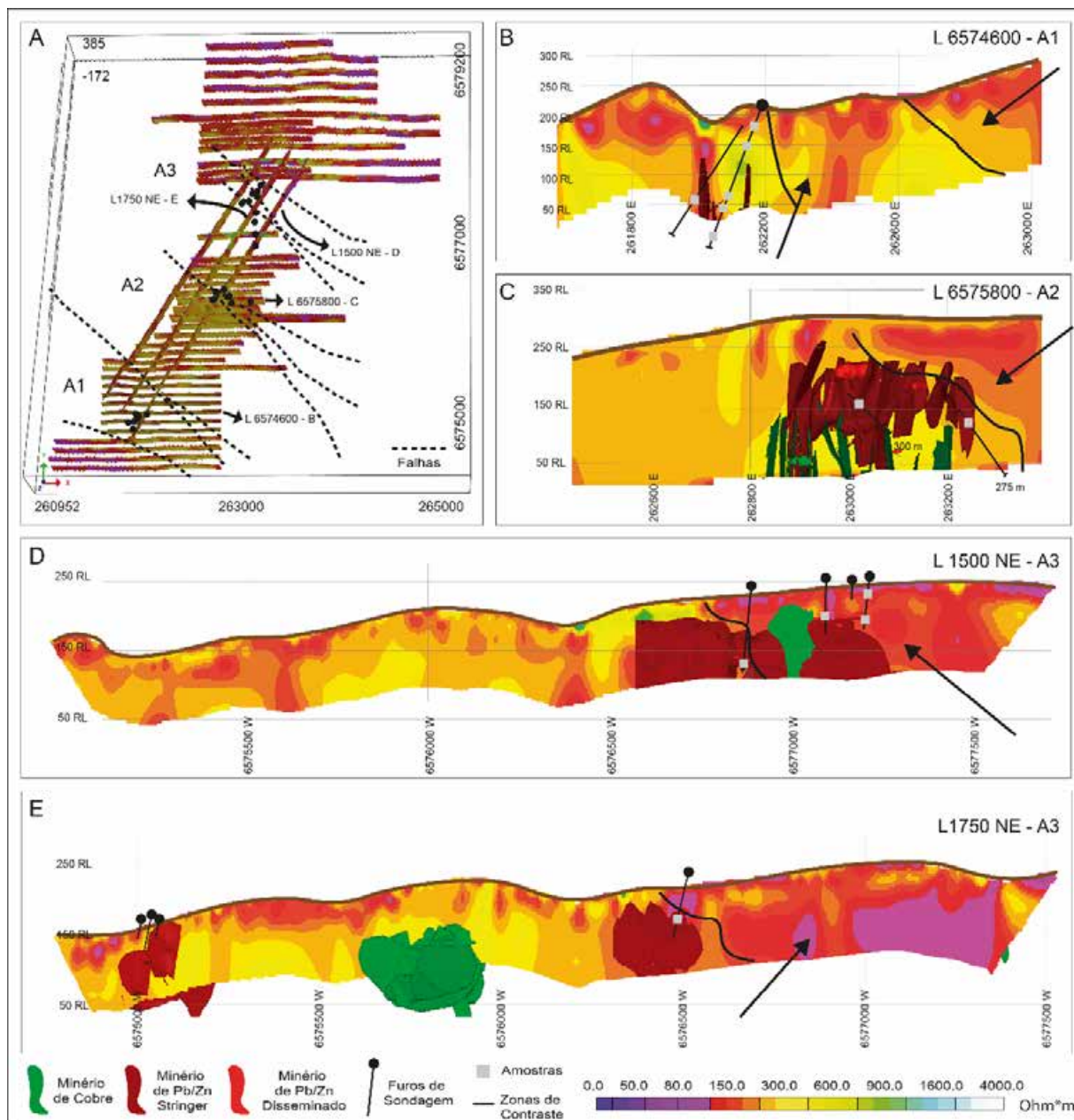


Figura 8 A. Seções de resistividade, localização de furos de sondagem e estruturas presentes na área de estudo; B. Seção L6574600 pertencente à área A1, furos de sondagem, amostras geoquímicas, corpos de minério que à interceptam e zoneamento gerado por fratura; C. Seção L6575800 pertencente à área A2, furos de sondagem, amostras geoquímicas, corpos de minério que à interceptam e zoneamento gerado por fratura; D. Seção L1500NE que corta as áreas A1 e A3, furos de sondagem, amostras geoquímicas, corpos de minério que à interceptam e zoneamento gerado por fratura; E. Seção L1750NE que corta à área A3, furos de sondagem, amostras geoquímicas, corpos de minério que à interceptam e zoneamento gerado por fratura.

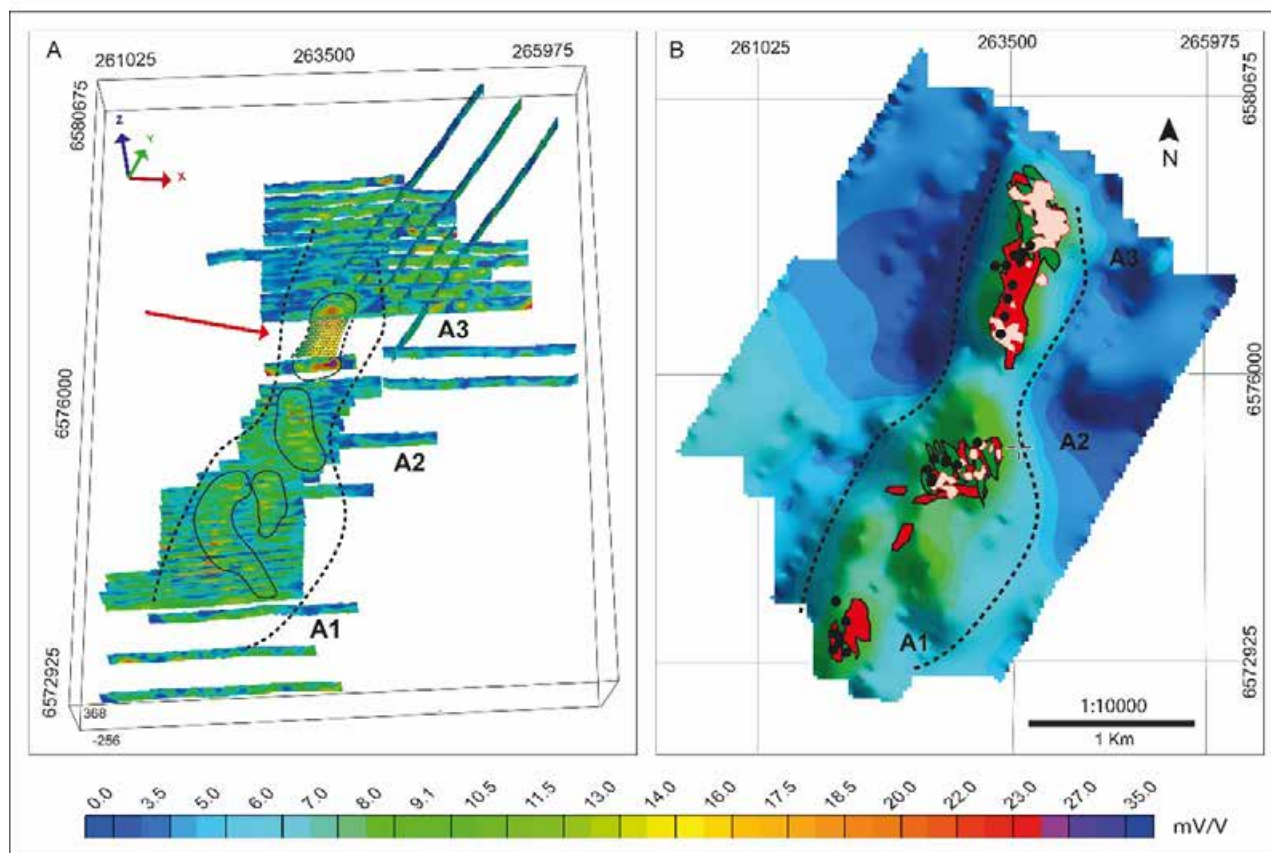


Figura 9 A. Seções de IP com anomalias identificadas; B. Mapa de cargabilidade em planta, resultado do levantamento IP com aplicação de filtro *Fraser*, corpos de minério, zonas anômalas associadas aos corpos de minério e furos de sondagens em evidência.

Os elementos Ag, Cu, Pb e Zn que são o foco desta pesquisa, apresentam a característica de serem móveis e facilmente lixiviados, e, portanto, não são prontamente encontrados em superfície. Alguns elementos podem ser usados como vetores úteis para o rastreamento destes elementos mais móveis, por apresentarem caráter mais robusto e serem naturalmente preservados, como elementos calcófilos e elementos litófilos (Scott Halley & John H. Dilles, 2015). No caso da área de estudo estes elementos foram: As, Bi, Cd, Hg, Mo, Se, Sn, Sr, W (Figura 11), logo obteve-se o coeficiente de correlação de Pearson destes elementos para maior compreensão do *footprint* geoquímico da área. É importante destacar que a correlação entre os próprios elementos Ag, Cu, Pb e Zn, ocorre por serem mineralizações sempre associadas uma a outra no Depósito Santa Maria.

Quando analisados em relação a Ag, os elementos Pb, Sr e As apresentam correlações irrisórias (entre -0.5 e 0.5); Bi, Hg, Mo e Cu apresentam correlação forte ($r = 0.68$, $r = 0.64$, $r = 0.69$ e $r = 0.79$, respectivamente) (Figura 11). A correlação Ag com Sr e Bi podem ser justificadas pela precipitação de ambos na margem da

pluma de alteração hidrotermal enquanto Ag é lixiviada no processo de produção do ácido sulfúrico no topo desta. As correlações com As, Mo e Hg são associadas as zonas de alterações quartzo-sericíticas como elemento resíduo comumente encontrado neste tipo de zona.

Quando analisados em relação ao elemento Cu, o Bi e o Ag tem correlação forte ($r = 0.85$ e $r = 0.79$, respectivamente) (Figura 11). A correlação forte ao Bi, pode ser justificada pelo processo de produção de ácido sulfúrico na parte superior da pluma de alteração hidrotermal, que faz o Bi, ser precipitado como sulfetos, óxidos e silicatos. Quando analisados em relação ao Pb, o Ag, Zn, Cd, Mo tem correlação ínfima (entre -0.5 e 0.5) e o elemento Hg uma correlação moderada ($r = 0.72$).

Quando analisado em relação ao Zn, os Pb, Sn e W apresentam correlação muito fraca (entre -0.5 e 0.5); o Mo, Hg, As, Cd e Se correlações moderada à muito forte (Figura 11). A correlação Cd, Mo, Hg, W e As estão relacionadas a mobilidade deste elementos, pois suas precipitações em processos da produção do ácido sulfúrico os tornam resíduos ao longo da pluma de alteração hidrotermal. E a correlação Cd por este ser um elemento resíduo comumente encontrado

em áreas de mineralizações de Zn e o Se por fazer parte da distribuição lateral de elementos em um processo de circulação de fluidos em um sistema pórfiro ou epitermal.

Como dito anteriormente os tipos de alteração hidrotermal descritas no depósito podem ser associadas ao sistema de mineralização, logo com o propósito de verificar esta associação entre alteração e mineralização foi desenvolvido um gráfico com as informações dos elementos Cu, Pb e Zn e elementos como K_2O e Al_2O_3 , utilizado para mapear zonas de illita, e MgO utilizado para mapear zona de clorita (Figura 12A e 12B). O mapeador de zona clorítica mostrou grande variabilidade o que não permitiu a comprovação da associação alteração e mineralização, mas por outro lado a zona illítica apresentou comportamento similar a mineralização de Pb/Zn.

4.3 Integração de Dados

A integração de dados geoquímicos, geofísicos e geológicos foi realizada para o entendimento das suas

assinaturas. A área A1 apresenta valores entre 300 e 500 Ωm , a área A2 e A3 valores entre 400 e 600 Ωm , ou seja, existe um aumento na resistividade no sentido NE. Quando combinado com os dados de Cu, Pb e Zn por área, nota-se que o comportamento da resistividade é similar ao comportamento do Cu (Figura 12C). Quando analisados quanto a cargabilidade, esta apresenta valores entre 10 e 19 mV/V para a área A1 e A3, 10 e 13 mV/V, para a área A2, ou seja, existe um declínio de cargabilidade no centro da área de estudo (Figura 12D). Este declínio pode ser justificado pelo redução de Pb e Zn e o acréscimo de Cu e ainda; sobre a possibilidade de valores superiores a 13 mV/V serem associados a Pb e Zn, e não ao Cu.

Em alguns momentos, nota-se a paridade entre altos resistivos e altos de cargabilidade, que pode ser justificado pela disseminação de sulfetos em camadas de arenitos e conglomerados, onde a paragênese de alteração hidrotermal (quartzo, carbonato, sericita e clorita) possa ter elevado a resistividade natural da rocha encaixante.

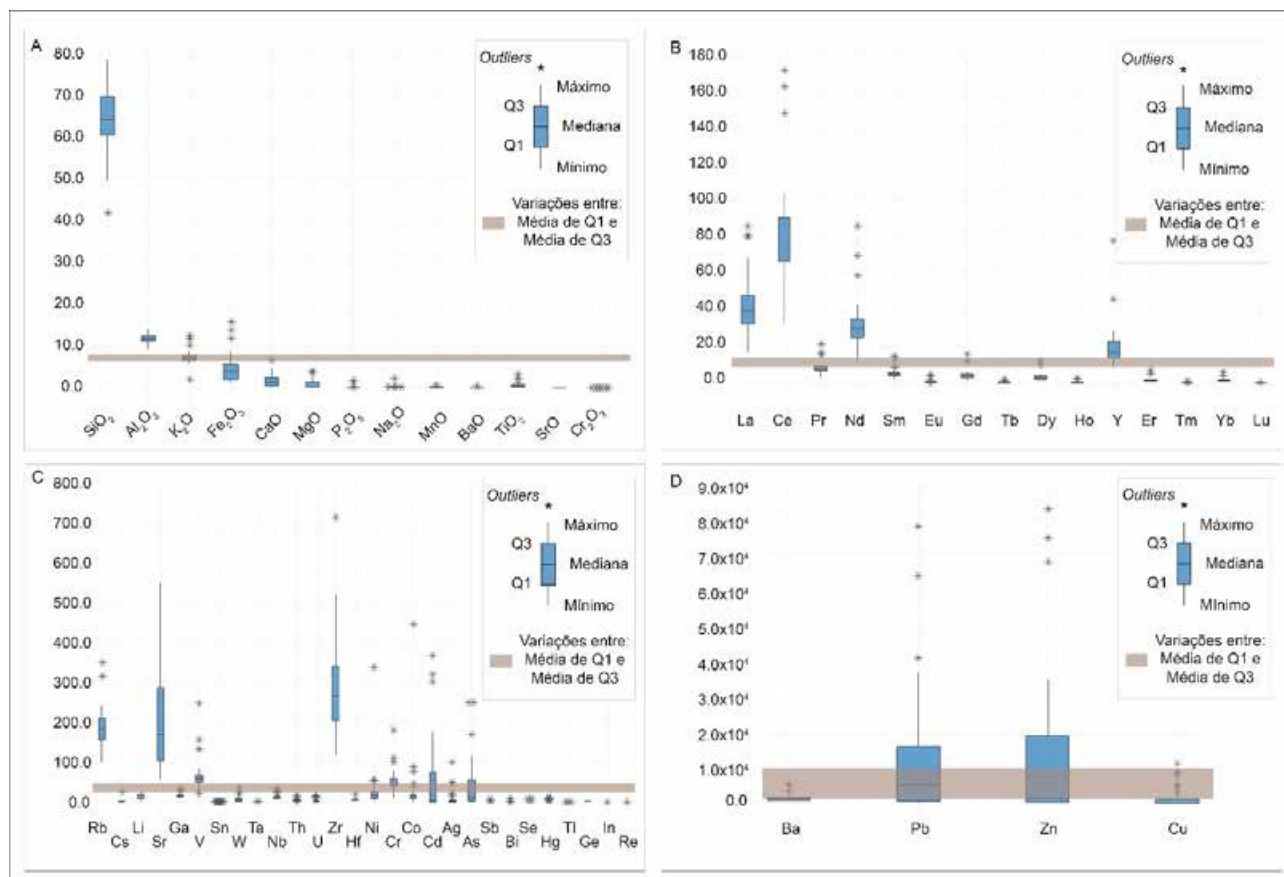


Figura 10 A. *Boxplot* de elementos maiores; B. *Boxplot* de elementos terras raras; C. *Boxplot* de elementos menores (com média inferior a 1000); D. *Boxplot* de elementos maiores (com média superior a 1000). Q1 = Primeiro Quartil (25%) e Q3 = Terceiro Quartil (75%)

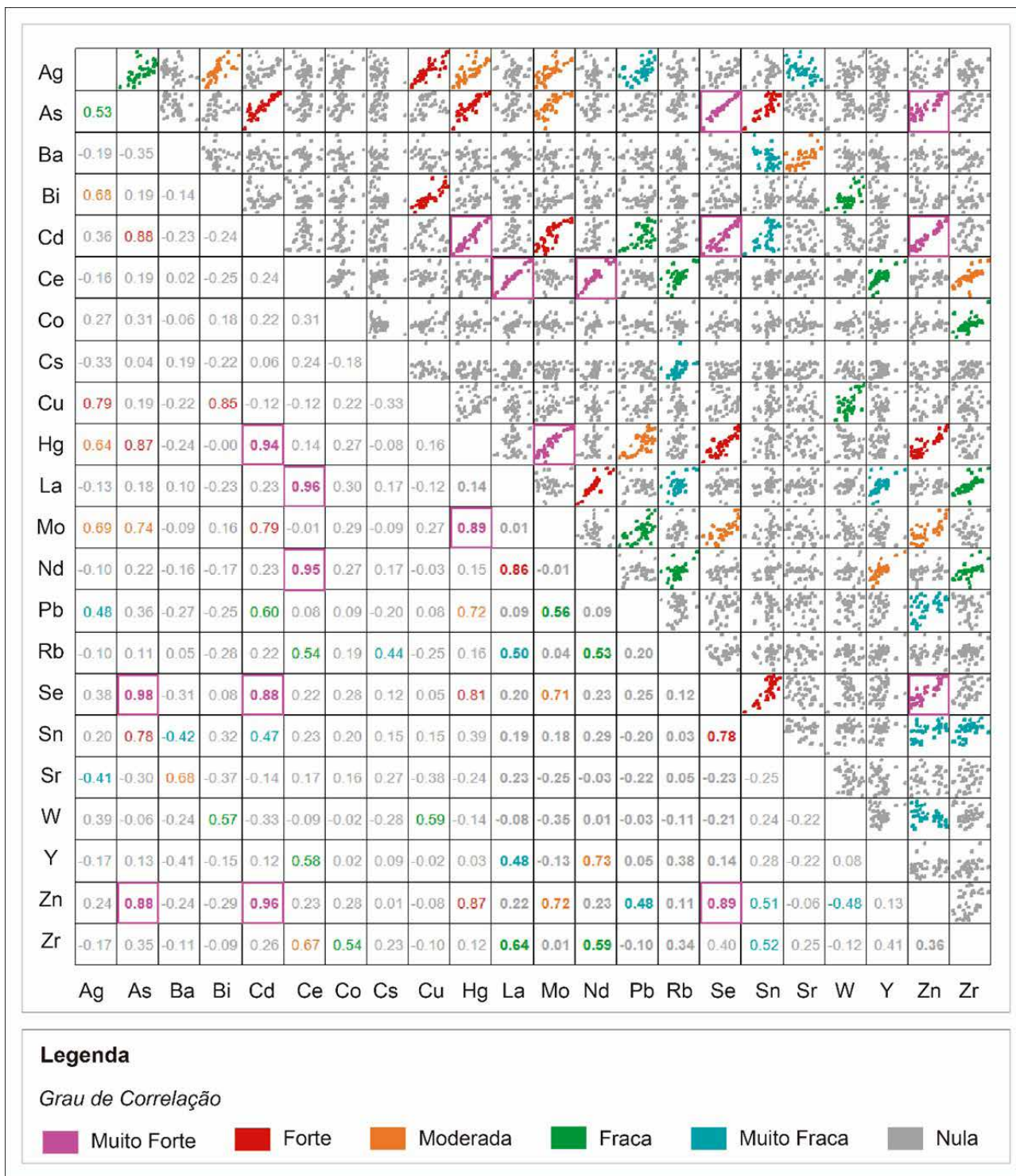


Figura 11 Grau de correlação entre os elementos geoquímicos presentes no Depósito Santa Maria.

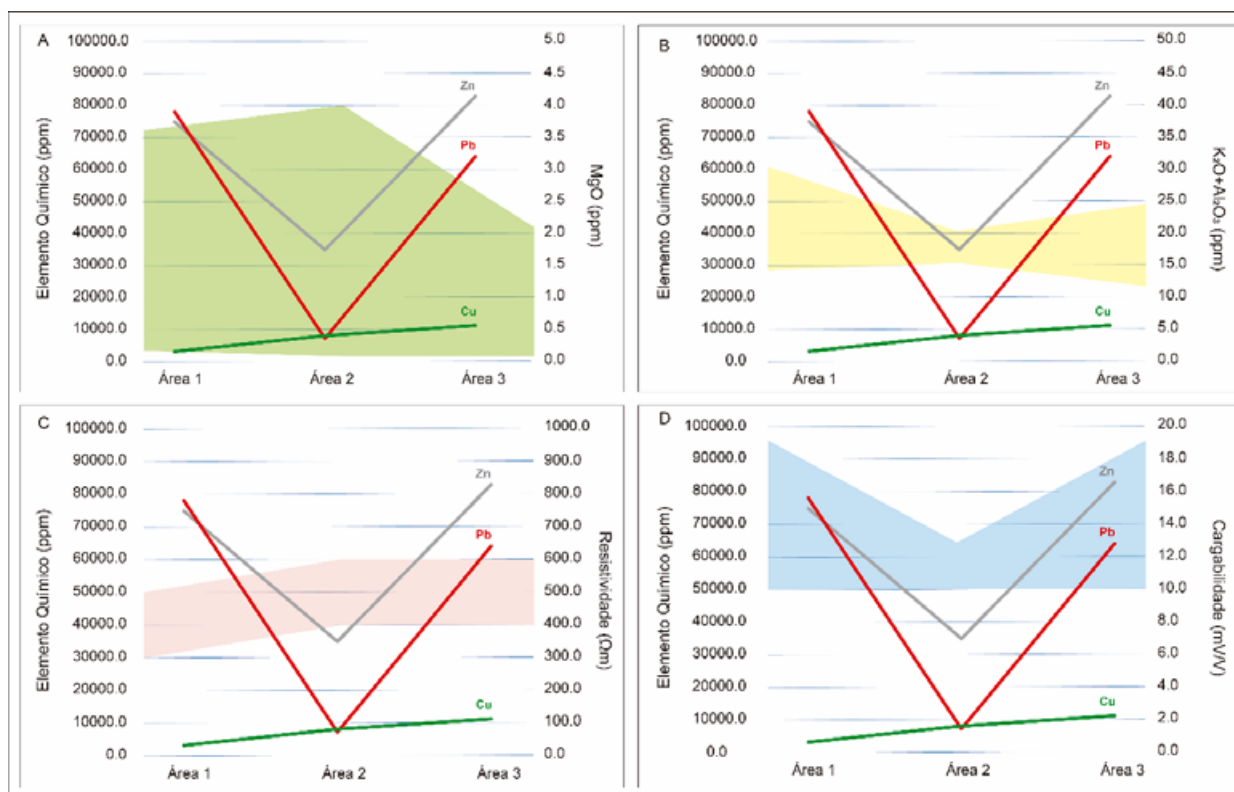


Figura 12 A. Gráfico com quantidade de Cu, Pb e Zn (eixo primário) e variação de MgO mapeador de zona clorítica (eixo secundário) por área; B. Gráfico com quantidade de Cu, Pb e Zn (eixo primário) e variação de K₂O+Al₂O₃ mapeador de illita (eixo secundário) por área; C. Gráfico com quantidade de Cu, Pb e Zn (eixo primário) e variação de resistividade (eixo secundário) por área; D. Gráfico com quantidade de Cu, Pb e Zn (eixo primário) e variação de cargabilidade (eixo secundário) por área.

5 Conclusões

As informações geradas a partir de dados de magnetometria terrestre e IP mostraram-se eficientes para mapear a assinatura geofísica de Pb-Zn-(Cu-Ag) do Depósito Santa Maria a partir da integração de dados multifonte.

Com os dados magnetométricos foi possível realçar os limites das unidades geológicas do depósito. O contraste de susceptibilidade magnética entre andesito e rochas sedimentares e o mapeamento das estruturas que controlam a mineralização se postam como uma dos melhores resultados.

As seções de resistividades mostraram alguns zoneamentos na área de estudo, mas principalmente na área A3. Isto pode ser justificado pela falha NW, o possível controlador da mineralização desta região.

A resistividade mostrou-se um ótimo mapeador do sistemas de falhas na área de estudo, uma vez que o baixo resistivo pode ser associado a presença de estruturas.

Os elementos As, Bi, Cd, Hg, Mo, Se, Sn, Sr e W apresentaram correlações com os elementos Cu, Pb e Zn,

e podem ser utilizados como elementos farejadores deste tipo de mineralização.

As áreas A2 e A3 apresentaram maiores valores de resistividade em planta e maiores valores de Cu nos dados geoquímicos, e levando ao questionamento se essa diferença de *background* na resistividade está ligada ao volume de sulfetos de Cu nestas áreas, ou apenas a uma área mais alterada hidrotermalmente.

Em algumas seções os altos de resistividade equivaleram a altos de cargabilidade, o que pode ser justificado por sulfetos disseminados ou alterações que aumentaram a resistividade da rocha encaixante.

A cargabilidade em planta mostrou anomalias aproximadamente sobre a localização dos corpos de minério, que faz da cargabilidade um parâmetro de identificação direta da mineralização neste depósito.

Na área A2 houve um aumento de Cu e uma queda de Pb e Zn nos dados geoquímicos, que justifica a queda da cargabilidade nesta região, levando à conclusão de que valores superiores a 13 mV/V podem ser associados ao aumento de Pb e Zn.

A integração de dados geoquímicos e geofísicos foi de suma importância na pesquisa deste depósito e mostrou a necessidade da integração de dados na área da exploração mineral.

As técnicas geofísicas utilizadas nesta pesquisa, magnetometria e IP, que alcançam maior profundidade, mostraram-se fundamentais no entendimento das mineralizações, e devem ser valorizadas, pois depósitos minerais estão sendo descobertos cada vez em maiores profundidades.

6 Agradecimentos

Os autores agradecem à NEXA Resources pelo apoio financeiro nesta pesquisa inovadora em parceria com o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e o Instituto Euvaldo Lodi (IEL) e também pelo amplo banco de dados. Além disso, Adalene Moreira Silva, agradece ao CNPq pela bolsa de pesquisa (Processo 311565 / 2018-2) e ao Conselho Nacional de Aperfeiçoamento do Ensino Superior (CAPES) - Código Financeiro 001 pelo financiamento parcial deste projeto.

7 Referências

- Aguilef, S.; Vargas, J.A. & Yáñez, G., 2017. Relationship between bulk mineralogy and induced polarisation responses in iron oxide-copper-gold and porphyry copper mineralisation, northern Chile. *Exploration Geophysics*, 48: 353–362.
- Airo, M.-L. 2015. Geophysical signatures of mineral deposit types in Finland. *Geological Survey of Finland*, 58: 9–70.
- Basei, M.A.S.; Siga Jr., O.; Masquelin, E.C.; Harara, O.M.; Reis-Neto, J.M. & Preciozzi, F. 2000. The Dom Feliciano Belt (Brazil-Uruguay) and its foreland (Rio de la Plata Craton): Framework, tectonic evolution and correlations with similar terranes of Southwestern Africa, In: *Tectonic Evolution of South America*. 31st INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS. Rio de Janeiro, p. 311–334.
- Bento, T.M.; Tassinari, C.C.G. & Fonseca, P.E. 2015. Diachronic collision, slab break-off and long-term high thermal flux in the Brasiliano – Pan-African orogeny: Implications for the geodynamic evolution of the Mantiqueira Province. *Precambrian Research*, 260: 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2014.12.018>.
- Berger, B.R.; Ayuso, R.A.; Wynn, J.C. & Seal, R.R. 2008. *Preliminary model of porphyry copper deposits*, U.S. Department of the Interior U. S. Geological Survey. Reston, Virginia. <https://doi.org/10.1127/0077-7749/2011/0172>.
- Bérubé, C.L.; Olivo, G.R.; Chouteau, M.; Perrouty, S.; Shamsipour, P.; Enkin, R.J.; Morris, W.A.; Feltrin, L. & Thiémondge, R. 2018. Predicting rock type and detecting hydrothermal alteration using machine learning and petrophysical properties of the Canadian Malartic ore and host rocks, Pontiac Subprovince, Québec, Canada. *Ore Geology Reviews*, 96: 130–145. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.04.011>
- Biondi, J.C. 2015. *Processos metalogenéticos e os depósitos minerais brasileiros*, 2nd ed. Oficina de Textos. São Paulo, 547p.
- Bongiolo, E.M.; Renac, C.; Mexias, A.S.; Gomes, M.E.B.; Ronchi, L.H. & Patrier-Mas, P. 2011. Evidence of ediacaran glaciation in southernmost Brazil through magmatic to meteoric fluid circulation in the porphyry-epithermal Au-Cu deposits of Lavras do Sul. *Precambrian Research*, 189: 404–419. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2011.05.007>.
- Borba, A.W. 2006. Evolução geológica da “Bacia do Camaquã” (Neoproterozóico e Paleozóico inferior do Escudo Sul-riograndense, RS, Brasil): uma visão com base na integração de ferramentas de estratigrafia, petrografia e geologia isotópica. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 121p.
- Brito Neves, B.B. & Cordani, U.G. 1991. Tectonic evolution of South America during the Late Proterozoic. *Precambrian Research*, 53: 23–40.
- Brito, R.S.C.; Silva, M.G. & Kuyumjian, R.M. 2010. Modelos de depósito de cobre do Brasil e sua resposta ao intemperismo, CPRM. Brasília, 190p. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>.
- Clark, D.A. 2014. Magnetic effects of hydrothermal alteration in porphyry copper and iron-oxide copper-gold systems: A review. *Tectonophysics*, 624–625: 46–65. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2013.12.011>
- Cooke, D.R.; Baker, M.; Zhang, L.; Thompson, J. & White, N. 2017. Porphyry indicator minerals (PIMS) and porphyry vectoring and fertility tools (PVFTS) – indicators of mineralization styles and recorders of hypogene geochemical dispersion halos, In: Tschirhart, V., Thomas, M.D. (Eds.), PROCEEDING OF EXPLORATION 17: SIXTH DECENNIAL INTERNATIONAL CONFERENCE ON MINERAL EXPLORATION. p. 457–470.
- Fambrini, G.L.; Janikian, L.; De Almeida, R.P. & Fragoso-Cesar, A.R.S. 2007. Evolução estratigráfica e paleogeográfica do grupo Santa Bárbara (Ediacarano) na Sub-Bacia Camaquã Central, RS. *Geologia USP - Serie Científica*, 7: 1–24. <https://doi.org/10.5327/Z1519-874X2007000200001>.
- Halley, S.; Dilles, J.H. & Tosdal, R.M. 2015. Footprints: Hydrothermal Alteration and Geochemical Dispersion Around Porphyry Copper Deposits. *SEG Newsletter* 100, 1–13.
- Hoerlle, G.; Vinicius, M.; Remus, D.; Dani, N.; Elisa, M.; Gomes, B. & Henrique, L. 2019. Journal of South American Earth Sciences Evolution of fluorite-mica-feldspar veins: Evidences of a fossil geothermal system in the São Gabriel terrane and consequences for Pb-Zn-Cu metallogeny. *Journal of South American Earth Sciences*, 92: 209–221. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.03.006>.
- Krbz, R. 1983. Symbols for rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 68, 277–279.
- Leão-Santos, M.; Li, Y. & Moraes, R. 2015. Application of 3D magnetic amplitude inversion to iron oxide-copper-gold deposits at low magnetic latitudes: A case study from Carajás Mineral Province, Brazil. *Geophysics*, 80: B13–B22. <https://doi.org/10.1190/geo2014-0082.1>.
- Leshner, M.; Hannington, M.; Galley, A.; Ansdell, K.; Astic, T.; Banerjee, N.; Beauchamp, S.; Beaudoin, G.; Bertelli, M.; Bérubé, C.; Beyer, S.; Blacklock, N.; Byrne, K.; Cheng, L.Z.; Chouinard, R.; Chouteau, M.; Clark, J.; D’Angelo, M.; Darijani, M.; Devine, M.; Dupuis, C.; El Goumi, N.; Enkin, R.; Farquharson, C.; Fayol, N.; Feltrin, L.; Feng, J.; Gaillard, N.; Gleeson, S.; Gouiza, M.; Grenon, C.; Guffey, S.; Guilmette,

- C.; Guo, K.; Hart, C.; Hattori, K.; Hollings, P.; Joyce, N.; Kamal, D.; King, J.; Kyser, K.; Layton-Matthews, D.; Lee, R.; Lesage, G.; Leybourne, M.; Linnen, R.; Lypaczewski, P.; McGaughey, J.; Mitchinson, D.; Milkereit, B.; Mir, R.; Morris, W.; Oldenburg, D.; Olivo, G.; Perrouty, S.; Piercey, S.; Piette-Lauzière, N.; Raskevicius, T.; Reman, A.; Rivard, B.; Ross, M.; Samson, I.; Scott, S.; Shamsipour, P.; Shi, D.; Smith, R.; Sundaralingam, N.; Taves, R.; Taylor, C.; Valentino, M.; Vallée, M.; Wasyluk, K.; Williams-Jones, A. & Winterburn, P. 2017. Integrated Multi-Parameter Exploration Footprints of the Canadian Malartic Disseminated Au, McArthur River-Millennium Unconformity U, and Highland Valley Porphyry Cu Deposits: Preliminary Results from the NSERC-CMIC Mineral Exploration Footprints Resea, *In: Tschirhart, V., Thomas, M.D. (Eds.), PROCEEDINGS OF EXPLORATION 17: SIXTH DECENNIAL INTERNATIONAL CONFERENCE ON MINERAL EXPLORATION*. p. 325–347.
- Lindenberg, M.T. 2014. Caracterização das zonas de alteração hidrotermal e do Minério de Cu-Pb-Zn na área 3 (Jazida Santa Maria) e Mina Uruguai, Minas do Camaquã/RS. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 71p.
- Oldenburg, D. & Pratt, D. 2007. Geophysical Inversion for Mineral Exploration : a Decade of Progress in Theory and Practice, *In: Milkereit, B. (Ed.), PROCEEDINGS OF EXPLORATION 07: FIFTH DECENNIAL INTERNATIONAL CONFERENCE ON MINERAL EXPLORATION*. p. 61–95.
- Paim, P.S.G.; Chemale Junior, F. & Wildner, W. 2014. Estágios Evolutivos da Bacia do Camaquã (Rs). *Ciência e Natura*, 36: 183–193. <https://doi.org/10.5902/2179460X13748>.
- Paine, J. 2007. Developments in Geophysical Inversion in the Last Decade, *In: B. Milkereit (Ed.), PROCEEDINGS OF EXPLORATION 07: FIFTH DECENNIAL INTERNATIONAL CONFERENCE ON MINERAL EXPLORATION*. p. 485–488.
- Philipp, R.P.; Pimentel, M.M. & Chemale Jr., F. 2016. Tectonic evolution of the Dom Feliciano Belt in Southern Brazil: Geological relationships and U-Pb geochronology. *Brazilian Journal of Geology*, 46: 83–104. <https://doi.org/10.1590/2317-4889201620150016>.
- Remus, M.V.D.; Hartmann, L.A.; McNaughton, N.J.; Groves, D.I. & Fletcher, I.R. 2000. The link between hydrothermal epigenetic copper mineralization and the Cacapava Granite of the Brasiliano cycle in southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 13: 191–216. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(00\)00017-1](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(00)00017-1).
- Remus, M.V.D.; Hartmann, L.A.; McNaughton, N.J.; Groves, D.I. & Fletcher, I.R. 2000. The link between hydrothermal epigenetic copper mineralization and the Cacapava Granite of the Brasiliano cycle in southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 13: 191–216. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(00\)00017-1](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(00)00017-1)
- Renac, C.; Mexias, A.S.; Gomes, M.E.B.; Ronchi, L.H.; Nardi, L.V.S. & Laux, J.H., 2014. Isotopic fluid changes in a Neoproterozoic porphyry-epithermal system: The Uruguay mine, southern Brazil. *Ore Geology Reviews*, 60: 146–160.
- Saalmann, K.; Gerdes, A.; Lahaye, Y.; Hartmann, L.A.; Remus, M.V.D. & Laufer, A., 2011. Multiple accretion at the eastern margin of the Rio de la Plata craton : the prolonged Brasiliano orogeny in southernmost Brazil. *Geologische Rundschau*, 100: 355–378. <https://doi.org/10.1007/s00531-010-0564-8>.
- Sandrin, A.; Edfelt, Å.; Waight, T.E.; Berggren, R. & Elming, S, 2009. Physical properties and petrologic description of rock samples from an IOCG mineralized area in the northern Fennoscandian Shield , Sweden. *Journal of Geochemical Exploration*, 103: 80–96. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2009.07.002>
- Halley, S.; John, H. & Dilles, R.M.T., 2015. Footprints : Hydrothermal Alteration and Geochemical Dispersion Around Porphyry Copper Deposits. *SEG Newsletter*, 100: 1–13.
- Sillitoe, R.H. & Hedenquist, J.W. 2003. Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious-metal deposits, in: Simmons, S.F., Graham, I.J. (Eds.), Volcanic, Geothermal and Ore-Forming Fluids: Rulers and Witnesses of Processes within the Earth. *Society of Economic Geologists*, pp. 315–343.
- Veigel, R. & Dardenne, M.A. 1990. Paragênese e sucessão mineral nas diferentes etapas da evolução da mineralização Cu-Pb-Zn do Distrito de Camaquã, RS. *Revista Brasileira de Geociências*, 20: 55–67.
- Williams, N.C. 2009. Mass and magnetic properties for 3D geological and geophysical modelling of the southern Agnew-Wiluna Greenstone Belt and Leinster nickel deposits, Western Australia. *Australian Journal of Earth Sciences*, 56: 1111–1142. <https://doi.org/10.1080/08120090903246220>.
- Winterburn, P.; Noble, R.R. & Lawie, D. 2017. Advances in Exploration Geochemistry , 2007 to 2017 and Beyond. *In: PROCEEDINGS OF EXPLORATION 17: SIXTH DECENNIAL INTERNATIONAL CONFERENCE ON MINERAL EXPLORATION*. p. 495–505.
- Witherly, K. 2015. Building effective mineral system models ; the importance of merging geophysical observation with geological inference. *In: 24TH INTERNATIONAL GEOPHYSICAL CONFERENCE AND EXHIBITION*. Perth, Australia, pp. 1–4
- Zonge, K.; Wynn, J. & Urquhart, S. 2005. Resistivity , Induced Polarization , and Complex Resistivity Near-Surface Applications for, in: Butler, D.K. (Ed.), *Near-Surface Geophysics*. Society of Exploration Geophysicists, pp. 265–300. <https://doi.org/https://doi.org/10.1190/1.9781560801719.ch9>

Recebido em: 01/07/2020

Aprovado em: 18/07/2021

How to cite:

Araújo, M.C.; Silva, A.M.; Barbosa, P.F.; Boniatti, J.H.; Früchtling, A.; Lago, S.B.; & Betancourt, R.H.S. 2021. Assinatura Geofísica e Geoquímica do Depósito Pb-Zn-(Cu-Ag) Santa Maria – RS, Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências*, 44: 41206. DOI 1982-3908_2021_44_41206

8 Apêndice

ID	Al ₂ O ₃ %	BaO%	CaO%	Cr ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	K ₂ O%	MgO%	MnO%	Na ₂ O%	P ₂ O ₅ %	SiO ₂ %	SrO%	TiO ₂ %	S %	C %	Rb	Cs	Li	Ba	Sr	Ga	V	Sn	W	Ta	Nb	Th	U	Zr	Hf	Ni
SM01	13.2	0.1	0.4	0.0	1.4	8.7	0.2	0.1	0.1	0.3	67.0	0.0	0.9	2.3	0.1	224.0	2.4	10.0	844.0	173.0	19.0	86.0	3.0	5.0	1.1	17.9	11.5	16.2	498.0	11.9	29.0
SM02	11.8	0.1	2.4	0.0	5.8	7.8	0.9	0.3	0.1	0.2	60.8	0.0	0.8	3.3	1.1	193.5	1.6	10.0	700.0	80.8	16.9	78.0	3.0	9.0	0.9	14.8	9.8	2.2	434.0	10.5	32.0
SM03	12.3	0.1	3.3	0.0	3.5	8.0	0.4	0.3	0.1	0.2	61.4	0.0	0.7	1.8	1.1	203.0	2.2	10.0	732.0	119.0	16.7	69.0	2.0	6.0	0.8	13.7	8.3	3.2	326.0	7.9	26.0
SM04	11.2	0.1	1.5	0.0	1.3	7.5	0.1	0.0	0.1	0.2	71.1	0.0	0.7	1.8	0.3	181.5	1.6	10.0	1130.0	125.0	14.3	58.0	2.0	7.0	0.8	12.8	7.5	1.9	341.0	8.4	12.0
SM05	11.0	0.0	2.1	0.0	11.7	5.7	1.7	0.4	0.1	0.2	56.1	0.0	0.6	0.3	2.6	123.5	1.3	10.0	523.0	106.0	20.4	64.0	3.0	11.0	0.7	11.7	7.5	2.6	273.0	6.7	54.0
SM06	14.2	0.1	0.5	0.0	15.8	6.6	1.6	0.4	0.1	0.1	51.1	0.0	0.4	0.0	2.2	145.0	2.2	0.5	1170.0	196.5	22.3	51.0	2.0	12.0	0.8	13.4	7.1	3.3	288.0	6.8	48.0
SM07	9.3	0.1	0.5	0.0	6.6	6.0	0.8	0.2	0.1	0.2	71.3	0.0	0.5	0.2	0.9	125.5	1.1	20.0	1410.0	161.0	13.2	48.0	2.0	10.0	0.9	17.3	8.1	1.5	386.0	9.4	37.0
SM08	12.0	0.1	1.7	0.0	3.7	7.2	0.4	0.1	0.1	0.2	64.2	0.0	0.7	3.6	0.4	220.0	3.3	10.0	1245.0	206.0	17.1	68.0	2.0	4.0	1.0	18.7	9.2	2.6	332.0	8.3	19.0
SM09	10.9	0.1	2.3	0.0	3.1	8.0	0.3	0.2	0.1	0.2	71.1	0.0	0.6	0.2	0.5	210.0	1.8	10.0	1070.0	89.1	13.9	54.0	2.0	8.0	0.7	11.5	7.5	2.8	266.0	6.6	8.0
SM10	14.1	0.4	3.4	0.0	1.5	10.2	0.2	0.3	0.2	0.1	65.3	0.1	0.4	0.7	0.8	243.0	3.7	10.0	3510.0	432.0	16.5	47.0	2.0	5.0	0.7	11.7	6.7	10.3	267.0	6.5	15.0
SM11	11.6	0.0	1.4	0.0	8.1	6.1	2.1	0.2	0.1	0.2	65.6	0.0	0.6	0.8	0.3	140.5	1.4	30.0	587.0	67.6	18.1	61.0	2.0	4.0	0.7	12.8	8.1	2.6	219.0	5.4	22.0
SM12	11.8	0.5	0.1	0.0	1.6	7.1	0.2	0.0	0.2	0.1	76.1	0.0	0.2	0.1	0.0	177.0	3.9	20.0	5130.0	286.0	13.2	31.0	1.0	2.0	0.5	9.2	4.5	1.7	170.0	4.0	9.0
SM13	12.3	0.2	5.1	0.0	1.6	7.8	0.3	0.6	0.2	0.1	61.4	0.1	0.3	2.1	1.2	191.0	4.2	10.0	1985.0	333.0	17.5	34.0	2.0	3.0	0.6	9.7	5.3	12.5	174.0	4.3	11.0
SM14	11.9	0.0	0.6	0.0	2.4	7.8	0.4	0.0	0.1	0.2	70.0	0.0	0.6	1.9	0.1	235.0	4.7	20.0	590.0	64.9	14.4	60.0	3.0	5.0	0.7	11.9	8.3	2.9	213.0	5.2	19.0
SM15	10.3	0.1	1.0	0.0	8.8	2.1	0.7	0.1	2.3	0.2	55.8	0.0	0.6	9.7	0.2	100.0	2.6	10.0	651.0	104.0	18.2	57.0	2.0	4.0	0.7	11.1	7.3	1.7	254.0	6.6	12.0
SM16	8.1	0.2	0.3	0.0	1.4	6.4	0.1	0.0	0.1	0.1	73.6	0.0	0.3	1.2	0.1	155.5	1.0	30.0	1785.0	134.5	9.7	21.0	1.0	16.0	0.4	6.7	3.7	6.5	118.0	2.9	4.0
SM17	8.8	0.2	0.6	0.0	2.1	6.9	0.2	0.1	0.1	0.1	75.2	0.0	0.3	0.8	0.2	162.0	1.1	30.0	1565.0	139.5	9.1	28.0	1.0	24.0	0.4	6.9	4.0	15.9	127.0	3.2	5.0
SM18	7.7	0.1	0.2	0.0	3.0	5.9	0.1	0.0	0.1	0.1	79.0	0.0	0.4	0.4	0.0	156.5	1.5	30.0	1590.0	57.9	8.9	38.0	2.0	12.0	0.5	7.5	5.2	4.7	143.0	3.7	5.0
SM19	12.4	0.2	3.5	0.0	3.4	6.6	0.4	0.3	0.4	0.1	66.6	0.0	0.4	0.0	0.8	196.5	23.7	10.0	1815.0	297.0	17.7	24.0	2.0	5.0	0.8	13.6	8.6	1.8	249.0	6.5	8.0
SM20	12.1	0.1	2.6	0.0	3.9	8.3	0.5	0.3	0.1	0.2	63.4	0.0	0.6	1.7	0.6	211.0	2.1	20.0	639.0	69.0	16.6	60.0	2.0	3.0	0.8	11.4	7.5	1.8	212.0	5.6	21.0
SM21	14.3	0.1	0.8	0.0	4.7	6.6	1.5	0.1	0.1	0.2	51.0	0.1	0.5	5.6	0.8	172.5	4.6	20.0	1245.0	268.0	16.6	52.0	2.0	3.0	0.8	12.9	7.7	5.0	308.0	7.8	12.0
SM22	9.5	0.2	2.2	0.0	4.3	6.2	1.6	0.1	0.2	0.1	67.7	0.0	0.3	1.7	1.3	128.0	1.1	30.0	1660.0	205.0	10.8	33.0	1.0	3.0	0.5	8.1	4.4	1.6	162.0	4.2	8.0
SM23	11.0	0.1	1.0	0.0	4.7	6.8	1.6	0.1	0.1	0.2	66.2	0.0	0.6	1.2	1.2	168.5	2.4	20.0	1520.0	138.0	14.1	56.0	2.0	4.0	0.6	9.9	6.9	1.8	192.0	5.2	16.0
SM24	12.2	0.1	0.3	0.0	5.0	7.9	0.2	0.1	0.1	0.3	69.9	0.0	0.7	0.0	0.0	213.0	3.4	20.0	1155.0	170.5	18.3	73.0	2.0	5.0	0.9	14.9	9.6	2.0	391.0	10.0	23.0
SM25	11.2	0.1	0.6	0.0	2.3	7.1	0.4	0.0	0.1	0.2	75.0	0.0	0.6	0.0	0.2	191.0	4.0	30.0	1535.0	372.0	15.8	54.0	2.0	7.0	0.8	13.3	8.4	1.8	379.0	10.1	22.0
SM26	18.1	0.1	3.7	0.0	4.3	11.7	1.3	0.2	0.1	1.7	49.8	0.0	3.3	0.3	1.0	349.0	4.2	10.0	1070.0	127.5	31.2	248.0	2.0	17.0	1.5	30.9	2.5	2.3	466.0	9.9	53.0
SM27	13.1	0.1	3.1	0.0	13.8	6.7	4.0	0.3	0.1	1.1	42.2	0.0	2.2	0.6	3.4	151.0	2.1	10.0	1230.0	345.0	21.8	155.0	2.0	25.0	1.2	23.7	2.4	1.1	309.0	7.1	56.0
SM28	12.3	0.1	2.1	0.0	7.2	7.7	1.3	0.2	0.1	0.2	64.5	0.0	0.7	2.0	0.4	182.5	1.6	20.0	601.0	62.5	15.8	68.0	2.0	3.0	0.7	11.9	8.2	1.9	233.0	6.2	24.0
SM29	10.2	0.0	4.4	0.0	2.2	7.6	0.3	0.4	0.1	0.2	64.2	0.0	0.5	1.3	1.1	195.0	1.7	20.0	545.0	73.1	13.3	50.0	2.0	4.0	0.6	9.5	6.7	1.5	162.0	4.4	11.0

ID	Al ₂ O ₃ %	BaO%	CaO%	Cr ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	K ₂ O%	MgO%	MnO%	Na ₂ O%	P ₂ O ₅ %	SiO ₂ %	SrO%	TiO ₂ %	S %	C %	Rb	Cs	Li	Ba	Sr	Ga	V	Sn	W	Ta	Nb	Th	U	Zr	Hf	Ni
SM30	10.8	0.1	1.0	0.0	2.2	7.7	0.3	0.2	0.2	0.2	59.1	0.0	0.6	4.7	0.4	204.0	2.1	10.0	700.0	67.1	14.2	64.0	2.0	2.0	0.7	10.4	6.6	1.9	278.0	7.3	22.0
SM31	9.8	0.1	0.3	0.0	1.9	7.6	0.4	0.0	0.1	0.2	72.4	0.0	0.6	1.1	0.4	193.0	1.2	30.0	846.0	232.0	11.9	54.0	2.0	6.0	0.8	11.4	7.5	1.8	304.0	7.7	27.0
SM32	10.7	0.1	1.8	0.0	5.7	7.8	1.4	0.1	0.1	0.2	61.8	0.0	0.6	0.9	1.5	186.0	1.3	10.0	1255.0	270.0	17.1	86.0	2.0	6.0	0.8	12.2	8.2	1.5	300.0	7.7	15.0
SM33	18.4	0.2	0.5	0.0	1.2	12.4	0.3	0.0	0.2	0.3	50.8	0.1	1.1	2.9	0.0	315.0	3.9	10.0	1970.0	294.0	27.9	133.0	2.0	4.0	1.4	23.3	14.8	6.7	715.0	17.0	338.0
SM34	8.7	0.2	6.5	0.0	3.6	5.9	3.6	0.1	0.1	0.2	59.7	0.0	0.4	0.0	2.7	167.0	1.7	30.0	1825.0	297.0	11.2	66.0	1.0	2.0	0.7	8.7	6.0	1.6	226.0	6.2	9.0
SM35	12.5	0.1	0.7	0.0	6.3	6.4	2.8	0.2	0.1	0.2	61.6	0.0	0.7	0.6	1.7	168.0	3.1	20.0	1345.0	270.0	17.7	78.0	2.0	4.0	0.9	16.0	10.7	3.8	410.0	10.2	20.0
SM36	11.5	0.2	2.9	0.0	4.8	8.0	1.7	0.2	0.2	0.1	61.3	0.1	0.4	0.2	1.8	180.0	1.2	10.0	2170.0	550.0	17.2	72.0	1.0	3.0	0.7	12.1	6.6	1.3	205.0	5.1	15.0
SM37	10.7	0.1	1.7	0.0	4.9	6.5	1.5	0.1	0.1	0.2	61.9	0.1	0.6	2.3	1.2	152.5	1.9	20.0	1175.0	368.0	15.8	55.0	2.0	5.0	0.9	13.9	9.7	3.2	521.0	13.0	11.0
SM38	10.8	0.0	1.2	0.0	4.4	7.0	0.3	0.1	0.1	0.2	69.3	0.0	0.5	0.5	0.2	216.0	3.8	20.0	587.0	178.0	16.1	59.0	1.0	34.0	0.7	10.2	7.2	2.3	205.0	5.4	12.0
SM39	11.8	0.1	0.9	0.0	4.5	7.5	0.7	0.1	0.1	0.2	69.4	0.0	0.6	0.4	0.2	234.0	2.6	30.0	756.0	152.0	16.2	64.0	1.0	8.0	0.7	11.0	7.0	1.7	232.0	6.3	14.0
ID	Cr	Co	Cu	Cd	Zn	Pb	Mo	Ag	As	Sb	Bi	Se	Hg	Tl	Ge	In	Y	Sc	La	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
SM01	80.0	22.0	131.0	176.5	35000.0	1085.0	0.5	6.2	62.0	0.6	0.2	3.3	2.3	0.4	4.0	0.2	26.4	7.0	51.2	10.4	39.3	6.7	1.3	5.3	0.9	4.8	0.9	2.7	0.4	2.7	0.4
SM02	80.0	27.0	308.0	67.9	20000.0	7000.0	13.0	5.1	90.8	0.9	0.2	1.8	1.2	0.1	4.0	0.6	28.9	9.0	48.3	9.4	35.2	6.3	1.0	5.7	0.9	5.0	1.1	3.0	0.4	2.6	0.4
SM03	70.0	19.0	72.0	98.7	25000.0	5740.0	4.0	3.3	51.1	0.3	0.2	2.6	0.5	0.2	4.0	0.1	24.7	8.0	44.0	8.7	34.2	5.6	1.3	5.4	0.7	4.5	0.9	2.4	0.4	2.3	0.3
SM04	60.0	13.0	47.0	96.9	19000.0	5020.0	0.5	2.1	91.9	0.9	0.1	1.8	1.0	0.2	4.0	0.2	22.9	6.0	48.8	9.3	35.7	6.4	2.0	5.5	0.8	4.4	0.8	2.2	0.3	2.2	0.3
SM05	60.0	29.0	7770.0	0.0	296.0	59.0	1.0	11.0	6.1	0.2	0.7	0.1	0.0	0.0	4.0	0.2	15.1	6.0	19.2	4.0	15.9	2.7	0.6	2.7	0.4	2.3	0.6	1.6	0.3	2.1	0.3
SM06	30.0	38.0	577.0	0.0	271.0	44.0	0.5	2.7	8.3	0.7	9.3	6.2	0.0	0.0	4.0	0.4	11.6	4.0	17.5	3.4	12.7	2.6	0.5	2.2	0.3	2.1	0.5	1.3	0.2	1.5	0.2
SM07	30.0	47.0	7830.0	0.0	525.0	46.0	0.5	5.7	1.9	0.4	1.1	0.6	0.2	0.0	4.0	0.1	9.2	4.0	57.0	10.0	35.3	5.2	1.4	3.6	0.5	1.9	0.4	1.0	0.2	1.3	0.2
SM08	70.0	13.0	57.0	90.6	25000.0	4970.0	1.0	3.3	11.9	0.5	0.1	2.2	6.1	0.2	4.0	0.0	27.9	7.0	39.3	8.2	32.0	6.0	1.3	5.8	0.8	5.3	1.0	2.8	0.4	2.6	0.4
SM09	60.0	4.0	63.0	0.0	87.0	632.0	0.5	0.5	12.9	0.9	0.2	0.1	0.1	0.1	4.0	0.0	21.7	7.0	40.4	8.0	31.5	5.7	1.4	5.0	0.8	4.3	0.9	2.4	0.3	2.3	0.3
SM10	20.0	11.0	24.0	13.2	1150.0	281.0	0.5	3.5	169.0	0.5	0.1	0.4	0.7	0.7	4.0	0.0	10.5	5.0	80.3	8.8	30.3	4.1	1.2	3.0	0.4	2.0	0.4	1.2	0.2	1.3	0.2
SM11	60.0	18.0	48.0	0.0	306.0	3340.0	0.5	1.2	57.0	0.5	0.2	0.1	0.2	0.6	4.0	0.1	22.8	8.0	39.7	8.0	31.0	5.6	1.2	5.3	0.7	4.5	0.9	2.4	0.3	2.2	0.4
SM12	20.0	8.0	78.0	0.0	110.0	65.0	0.5	2.5	1.4	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	4.0	0.0	14.3	3.0	28.2	5.6	21.5	3.8	1.1	3.7	0.4	2.9	0.6	1.5	0.3	1.6	0.2
SM13	10.0	9.0	41.0	102.0	27000.0	1160.0	6.0	4.2	115.0	1.3	0.1	2.6	1.9	0.8	4.0	0.0	10.8	2.0	30.4	5.5	20.7	3.4	0.9	2.7	0.4	2.2	0.5	1.1	0.2	1.2	0.2
SM14	60.0	12.0	58.0	63.7	16000.0	1920.0	1.0	4.6	>250	1.5	0.1	1.6	8.1	0.2	4.0	0.0	16.4	8.0	30.2	9.9	43.2	7.7	1.5	4.7	0.7	3.4	0.7	1.8	0.3	2.2	0.3
SM15	60.0	6.0	563.0	320.0	68000.0	16000.0	7.0	5.1	>250	1.7	0.2	5.9	4.5	0.1	4.0	0.1	25.1	6.0	38.2	7.4	29.9	5.2	1.1	5.3	0.8	4.6	0.9	2.4	0.3	2.3	0.3
SM16	30.0	4.0	4220.0	6.1	569.0	64000.0	2.0	49.6	11.8	0.6	0.3	0.1	1.2	0.1	4.0	0.0	10.4	3.0	27.6	5.2	19.9	3.7	1.1	2.9	0.4	2.2	0.4	1.1	0.1	1.1	0.2
SM17	50.0	77.0	11000.0	3.8	270.0	27000.0	2.0	98.8	5.6	0.8	0.7	0.1	3.1	0.0	4.0	0.1	9.6	4.0	25.5	4.8	18.2	3.3	1.0	2.7	0.4	2.1	0.4	1.1	0.2	1.2	0.2
SM18	50.0	2.0	8490.0	0.0	89.0	3670.0	1.0	45.4	6.3	3.7	8.1	0.2	0.3	0.0	4.0	0.1	13.2	5.0	32.9	6.4	25.2	4.3	1.8	3.5	0.5	2.8	0.6	1.5	0.2	1.2	0.2
SM19	20.0	3.0	140.0	0.0	139.0	134.0	0.5	0.0	5.9	5.3	0.1	0.1	0.0	0.4	4.0	0.0	13.3	3.0	31.2	5.3	19.9	3.5	1.2	3.0	0.4	2.6	0.5	1.4	0.2	1.4	0.2
SM20	60.0	14.0	196.0	74.3	19000.0	12000.0	5.0	1.9	61.7	1.3	0.2	1.6	0.7	0.1	4.0	0.1	20.3	8.0	39.8	7.9	30.6	5.3	1.4	4.7	0.6	4.2	0.8	2.1	0.3	2.4	0.3

ID	Al ₂ O ₃ %	BaO%	CaO%	Cr ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	K ₂ O%	MgO%	MnO%	Na ₂ O%	P ₂ O ₅ %	SiO ₂ %	SrO%	TiO ₂ %	S %	C %	Rb	Cs	Li	Ba	Sr	Ga	V	Sn	W	Ta	Nb	Th	U	Zr	Hf	Ni
SM21	40.0	15.0	268.0	302.0	75000.0	31000.0	23.0	6.6	57.4	1.8	0.3	6.2	4.4	0.1	4.0	0.2	14.0	4.0	42.4	7.8	29.6	4.9	1.0	4.0	0.5	2.7	0.6	1.6	0.2	1.7	0.2
SM22	30.0	7.0	41.0	36.6	7610.0	9370.0	0.5	1.2	4.9	0.1	0.2	0.5	0.3	0.0	4.0	0.1	11.9	3.0	28.6	5.4	20.0	3.6	0.7	3.1	0.5	2.4	0.5	1.2	0.2	1.2	0.2
SM23	50.0	12.0	124.0	32.2	7980.0	13000.0	1.0	1.2	15.5	0.6	0.1	0.5	0.4	0.1	4.0	0.0	18.2	7.0	38.3	7.5	29.5	4.9	1.3	4.5	0.6	3.7	0.7	1.9	0.3	1.8	0.3
SM24	70.0	12.0	8.0	1.2	550.0	305.0	0.5	0.0	1.7	0.3	0.0	0.2	0.0	0.1	4.0	0.0	21.2	8.0	49.0	9.5	37.9	6.2	1.5	5.2	0.8	4.0	0.9	2.4	0.4	2.3	0.4
SM25	60.0	14.0	32.0	1.8	883.0	1100.0	0.5	0.7	1.3	0.3	0.1	0.1	0.0	0.1	4.0	0.0	16.6	6.0	44.9	8.3	32.3	5.5	1.5	4.4	0.6	3.5	0.7	1.8	0.3	1.7	0.3
SM26	180.0	20.0	2850.0	4.8	1170.0	3330.0	1.0	2.0	8.1	0.3	0.2	0.7	0.3	0.1	4.0	0.0	78.2	25.0	81.3	21.3	86.2	15.3	4.6	16.1	2.2	12.7	2.7	7.2	1.0	6.3	0.9
SM27	110.0	18.0	2250.0	0.0	275.0	20.0	0.5	1.1	3.8	0.0	0.2	0.5	0.0	0.0	4.0	0.2	46.2	19.0	68.8	15.9	69.9	13.0	4.0	12.2	1.7	10.1	2.0	5.0	0.6	4.4	0.6
SM28	60.0	15.0	4940.0	6.5	2110.0	3970.0	0.5	12.1	118.5	0.2	1.7	0.4	0.6	0.1	4.0	0.1	24.4	9.0	39.4	7.9	31.7	5.7	1.5	6.2	0.9	4.8	1.1	2.8	0.4	2.4	0.4
SM29	50.0	6.0	385.0	5.4	1295.0	41000.0	5.0	2.4	13.0	1.1	0.2	0.5	0.1	0.1	4.0	0.1	26.1	6.0	34.0	7.0	29.0	5.7	1.4	5.9	0.9	5.4	1.0	2.5	0.4	2.4	0.3
SM30	60.0	16.0	952.0	367.0	83000.0	17000.0	25.0	20.9	36.0	6.9	0.1	7.0	10.8	0.2	4.0	0.0	17.1	6.0	38.8	7.8	30.0	4.8	1.1	4.7	0.7	3.4	0.7	1.9	0.3	2.0	0.3
SM31	70.0	88.0	1160.0	44.2	12000.0	29000.0	0.5	4.0	1.7	0.4	0.2	0.9	1.3	0.1	4.0	0.0	14.6	6.0	45.3	9.2	31.8	5.5	1.1	3.9	0.5	2.4	0.6	1.6	0.3	1.9	0.3
SM32	60.0	14.0	78.0	70.3	18000.0	8040.0	0.5	1.2	1.4	0.1	0.1	1.3	1.7	0.0	4.0	0.1	16.2	6.0	34.3	6.9	23.7	4.4	1.0	3.7	0.5	3.0	0.6	1.6	0.3	1.8	0.3
SM33	100.0	446.0	274.0	110.5	21000.0	78000.0	326.0	16.5	43.8	7.4	0.2	2.0	1.6	0.4	4.0	0.2	18.6	10.0	86.3	17.1	59.0	8.7	1.1	5.3	0.6	3.5	0.7	2.0	0.4	2.5	0.3
SM34	60.0	9.0	7.0	0.0	169.0	111.0	1.0	0.0	1.8	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	4.0	0.0	17.3	5.0	35.9	7.3	26.1	4.9	1.2	4.3	0.6	3.0	0.6	1.7	0.2	1.7	0.2
SM35	60.0	19.0	16.0	5.0	1720.0	1660.0	0.5	0.5	2.9	0.1	0.1	1.3	0.0	0.0	4.0	0.0	16.9	7.0	51.2	10.4	38.0	6.2	1.3	4.4	0.6	3.1	0.7	1.9	0.3	2.2	0.3
SM36	40.0	12.0	15.0	1.7	614.0	9060.0	0.5	0.6	0.7	0.0	0.0	0.1	0.3	0.0	4.0	0.1	18.9	4.0	40.1	7.5	26.7	4.9	1.3	4.3	0.6	3.6	0.7	1.8	0.3	1.8	0.2
SM37	60.0	17.0	932.0	68.8	15000.0	37000.0	0.5	13.4	34.5	0.9	0.1	1.2	0.7	0.0	4.0	0.2	16.8	4.0	48.1	9.1	31.6	5.2	1.2	3.9	0.6	2.7	0.6	1.7	0.2	1.8	0.3
SM38	50.0	6.0	63.0	0.0	87.0	30000.0	1.0	2.6	5.4	1.7	0.1	0.2	0.0	0.1	4.0	0.0	17.3	7.0	38.3	8.0	28.3	5.0	1.4	4.2	0.6	3.4	0.6	2.0	0.3	1.9	0.3
SM39	60.0	11.0	93.0	0.0	185.0	12000.0	0.5	1.4	9.6	2.4	0.2	0.2	0.0	0.0	4.0	0.0	21.1	7.0	40.7	8.4	30.7	5.8	1.3	4.9	0.7	3.8	0.8	1.9	0.3	2.0	0.3