

MARLY APARECIDA DA SILVA

**ANÁLISE ESTRUTURAL DE OCORRÊNCIAS DE GOSSANS ASSOCIADAS À
GRAFITA-XISTOS DO COMPLEXO METAMÓRFICO PORONGOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Geologia da Universidade Federal do Pampa, como requisito obrigatório para obtenção do Título de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Felipe Guadagnin

Coorientador: Prof. Dr. Everton Frigo

Caçapava do Sul

2015

MARLY APARECIDA DA SILVA

**ANÁLISE ESTRUTURAL DE OCORRÊNCIAS DE GOSSANS ASSOCIADAS À
GRAFITA-XISTOS DO COMPLEXO METAMÓRFICO PORONGOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Geologia da
Universidade Federal do Pampa, como
requisito obrigatório para obtenção do
Título de Bacharel em Geologia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: dia, mês e ano.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Felipe Guadagnin

Orientador

UNIPAMPA

Prof. Ms. Luiz Delfino Teixeira Albarnaz

UNIPAMPA

Prof. Dr. Maximilian Fries

UNIPAMPA

AGRADECIMENTO

Dedico este trabalho aos meus pais e irmãos que me apoiaram em todos os momentos da minha vida. Quero agradecer, em especial, ao Prof. Felipe Guadagnin pela orientação e paciência durante todo o TCC. Jamais teria conseguido finalizar este trabalho se não tivesse tido um ORIENTADOR. Fica registrado aqui o meu eterno Muito Obrigada. “Valeu Guada”.

Gostaria de agradecer ao Professor Everton Frigo pela coorientação, à Sissa Kumaira, Lenon Ilha e Diogo Queiroz pelo suporte e ajuda nos trabalhos de campo. Agradeço também aos colegas Geofísicos David Queiroz, Oziel (Ozi) e Netto Rufino por terem me socorrido nos momentos de sufoco, principalmente na parte da geofísica. Obrigada gente...

RESUMO

Os *Gossans* são formações supergênicas resultantes da alteração de rochas sulfetadas, tendo sido utilizados na prospecção dos metais base Zn, Cu, Ag entre outros. O estudo dos *Gossans* associados aos Grafita-Xistos do Complexo Metamórfico Porongos teve como principal objetivo compreender a relação estrutural destas rochas com as encaixantes. A área de estudo está inserida no Domo de Santana da Boa Vista, unidade estrutural do Complexo Metamórfico Porongos. Neste trabalho foram utilizadas análise estrutural e magnetometria de campo. A análise estrutural foi realizada a partir da definição dos aspectos geométricos das estruturas, envolvendo análise descritiva e aquisição de atitudes das estruturas planares e lineares. Os dados foram tabelados e foram gerados diagramas estereográficos, mapas estruturais e geofísicos para análise e compreensão espacial dos dados. As amostras coletadas em campo foram descritas e todas as informações foram organizadas em banco de dados georreferenciado. Os valores do Campo Magnético Total (nT) adquiridos em campo foram corrigidos da variação diurna. Os mapas magnetométricos permitem a identificação de anomalias magnéticas lineares orientadas na direção N55E associadas ao *Gossan*. Através do estudo geológico-estrutural, realizado na escala 1:5.000, foram identificados cinco litotipos com suas respectivas estruturas planares e lineares formadas sob condições dúcteis e rúpteis. A análise estrutural mostrou que a foliação metamórfica e o plano axial das dobras ocorrem na direção NE-SW e os eixos das dobras mergulham para SW. Já as fraturas possuem orientação preferencial NW-SE, com moderado a alto ângulo de mergulho. O estudo macroscópico do *Gossan* mostrou que a Goethita botroidal ocorre nos *boxworks* deixados pela dissolução de pirita. A hematita, às vezes oxidada, foi identificada na porção maciça do *Gossan*. Na fácies brechada, predominam os Grafita-Xistos intensamente afetados pela alteração hidrotermal, com sílica ou carbonato como cimentos. As fraturas apresentam forte oxidação. Foram identificados sulfetos apenas nas fraturas dos Grafita-Xistos que afloram nas drenagens, parcialmente poupados da oxidação. O estudo mostra que a mineralização dos *Gossans* é associada aos planos axiais das dobras da foliação S1 e também nos planos de fratura de direção NW.

Palavras-chaves: *Gossan*, mapeamento geológico, magnetometria.

ABSTRACT

Gossans are supergenic deposits resulting from oxidation of sulfide rocks. *Gossans* having been used in the exploration of base metals as Zn, Cu, Ag, and others. The study of *Gossans* associated with Graphite-Schist within Porongos Metamorphic Complex aimed to understand the structural relations of these rocks to the host rocks. The study area is in the Santana da Boa Vista Dome, a structural unit of Porongos Metamorphic Complex. In this study, structural analysis and field magnetometry were employed. The structural analysis was performed based on the definition of the geometric aspects of structures, involving descriptive analysis and acquisition of attitudes of planar and linear structures. Data were tabulated and stereographic diagrams were made as well as structural and geophysical maps for spatial data analysis. Samples collected in the field were described and all information was organized into geo-referenced database. Measured values of Total Magnetic Field (nT) were corrected for diurnal variation. The magnetometric maps allow the identification of linear magnetic anomalies associated with the *Gossan* aligned according to the N55E direction. Through geological-structural study conducted at 1: 5.000 scale, five litypes were identified with their respective planar and linear structures formed in ductile and brittle conditions. Structural analysis showed that the metamorphic foliation and axial plane of folds occur in the NE-SW direction and the fold axes plunge to SW. Already, fractures have NW-SE preferred orientation, with moderate to high angle of dip. The macroscopic study of *Gossan* showed that botryoidal goethite occur in *Boxworks* left by the dissolution of pyrite. Hematite, sometimes oxidized, was identified in the massive portion of *Gossan*. The brecciated facies is dominated by graphite-schist intensely affected by hydrothermal alteration with silica or carbonate as cement. Fractures display strong oxidation. Sulphides were identified only in fractures of the graphite-schist which crop out in the drainage system, partially spared from oxidation. The study shows that the mineralization of *Gossans* is associated with fold axial planes and also in the NW direction of fracture planes.

Keywords: *Gossan*, geological mapping, magnetometry.

SUMÁRIO

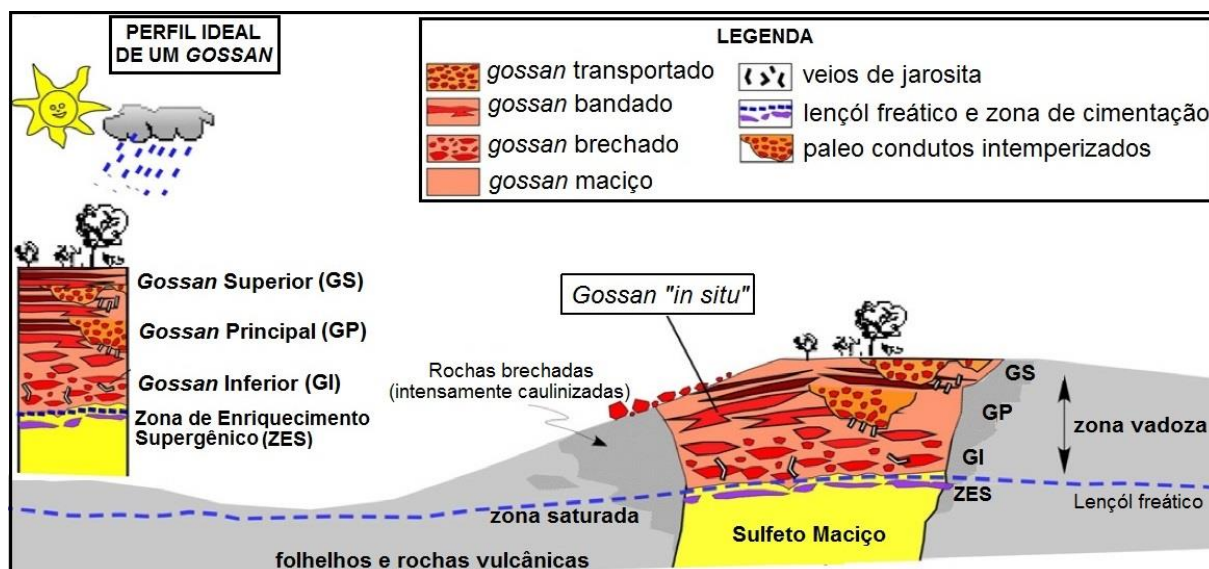
| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 7 |
| 1.1 | RELEVO E VEGETAÇÃO | 13 |
| 2 | OBJETIVOS | 14 |
| 2.1 | Gerais | 14 |
| 2.2 | Específicos | 14 |
| 3 | GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO | 14 |
| 3.1 | <i>O TERRENO TIJUCAS</i> | 16 |
| 3.2 | <i>A GEOLOGIA DO COMPLEXO METAMÓRFICO PORONGOS</i> | 17 |
| 4 | MATERIAIS E MÉTODOS | 19 |
| 4.1 | Revisão bibliográfica | 19 |
| 4.2 | Aquisição de dados | 20 |
| 4.3 | Descrição macroscópica das amostras | 22 |
| 4.4 | Organização do banco de dados | 23 |
| 4.5 | Processamento e interpretação | 23 |
| 4.6 | Análise dos resultados e redação | 24 |
| 5 | RESULTADOS | 25 |
| 5.1 | Análise Estrutural | 25 |
| 5.2.1 | Quartzito | 25 |
| 5.2.2 | Grafita-Xisto | 26 |
| 5.2.3 | <i>Gossan</i> | 29 |
| 5.2.4 | Riolito | 31 |
| 5.2.5 | Gabro | 31 |
| 5.2 | Estruturas | 33 |
| 5.3 | Magnetometria | 38 |
| 6 | INTEGRAÇÃO DOS DADOS | 41 |
| 7 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 43 |
| 8 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 45 |
| 9 | ANEXO A | 48 |

1 INTRODUÇÃO

Os *Gossans* ou “chapéus de ferro” são formações supergênicas oriundas de processos que atuaram em rochas sulfetadas, principalmente depósitos do tipo Sulfetos Maciços de Origem Vulcânica (VMS - *Volcanogenic Massive Sulphides*; Velasco *et al.* 2013). Estes depósitos ocorrem desde o Arqueano até o Cenozóico, sendo os depósitos VMS do Fanerozóico são mais abundantes (Robb, 2005). Depósitos de VMS ocorrem em variados ambientes tectônicos e contextos geológicos, incluindo bacias *deback-arc* e bacias de arco (Tornos *et al.* 2015). Segundo esse mesmo autor, são raros os análogos modernos desse tipo de depósito, porém todos são associados a eventos de anoxia. Longos períodos de estagnações regionais resultando em anoxia prevaleceram no Arqueano (antes de 2,5 Ga); durante o Paleoproterozóico (entre 1,9 e 1,8 Ga); entre o Cambriano e o Devoniano; a partir do Devoniano até o limite com o Carbonífero; e durante o Jurássico e Cretáceo (Eastoe e Gustin, 1996; Huston *et al.*, 2010; Pufahl e Hiatt, 2012). Tais períodos de tempo teriam sido favoráveis para a formação e preservação dos sulfetos maciços (Tornos *et al.* 2015).

Segundo Boyle (1994), quando depósitos VMS são expostos ao intemperismo e erosão em climas tropicais a subtropicais formam os *Gossans*. A água superficial altera a mineralogia da rocha por meio da dissolução e lixiviação, favorecendo a reprecipitação dos oxi-hidróxidos secundários portadores de ferro, óxidos e sulfatos, entre outros (Blot, 2004). Estas rochas apresentam coloração avermelhada ou amarelada devido a oxidação dos sulfetos ricos em ferro do VMS (Blot, 2004). Velasco *et al.* (2013) estudando os *Gossans* na Espanha, identificou que estas rochas apresentam três zonas distintas com contatos graduais (Fig.1).

Figura 1 – Ilustração mostrando os perfis *in situ* dos depósitos de Gossans oriundos da alteração dos sulfetos maciços. A distribuição das litologias mostra uma zonação composta por uma zona inferior pouco alterada (**GI**) onde ocorre Goethita e veios de Jarosita; uma zona intermediária ou principal (**GP**) dominada por fácies brechadas e faixas com assembléia mineralógica dominada por Goethita; e uma zona superior (**GS**), com Goethita e Hematita.



Fonte: Modificado Velasco *et al.*(2013).

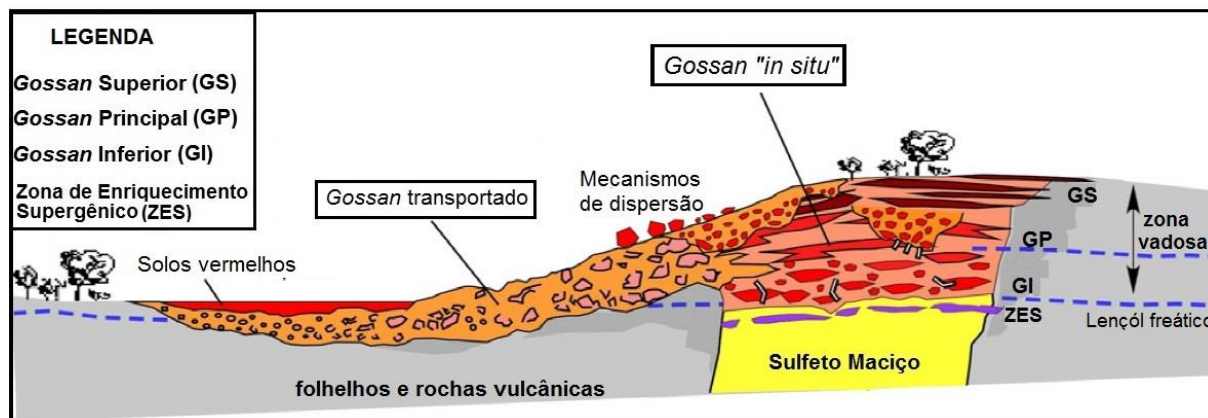
A zona basal mais profunda (GI) apresenta coloração de vermelho escuro a marrom, sendo composta por Goethita e Quartzo com Jarosita em áreas isoladas ou preenchendo veios tardios (Velasco *et al.* 2013). Segundo o autor citado anteriormente, relíquias de Pirita são geralmente ausentes nesta zona e as estruturas dos sulfetos maciços são preservados. Apesar do seu aspecto maciço, este horizonte apresenta estruturas *boxwork* e brechas (Velasco *et al.* 2013).

A zona intermediária (GP) apresenta coloração marrom a vermelho escuro, com faixas dominadas por Goethita, Quartzo e Hematita (Velasco *et al.*, 2013). Para esse mesmo autor, rochas brechadas com estruturas *boxwork* macroscópicas geralmente dominam esta zona. No topo do depósito ocorre a zona superior (GS) de cor cinza-amarronzado a avermelhada. Esta zona é rica em Hematita incluindo grandes quantidades de Quartzo, sendo interpretadas por Velasco *et al.* (2013) como estruturas formadas pela variação do nível do lençol freático.

O intemperismo e a erosão que atuam na formação dos Gossans podem formar depósitos transportados, definidos por Velasco *et al.* (2013) como “línguas aluviais de

Gossans”, onde pequenos blocos rochosos são transportados e depositados próximo da rocha *in situ* (Fig. 2).

Figura 2 – Desenho representando os depósitos transportados ou “línguas aluviais de *Gossans*”.



Fonte: Modificado de (Velasco *et al.* 2013).

Crítérios de reconhecimento e identificação de *Gossans* foram estabelecidos por Blot (2004) a partir do estudo de rochas ferruginosas no Tongo, África. Através do mapeamento geológico e da geoquímica, esse autor caracterizou as couraças lateríticas e os *Gossans*, identificando a mineralogia presente nestas rochas.

Segundo Blot (2004), as lateritas ocorrem em forma de platô e apresentam dimensões maiores que os *Gossans*, podendo ser mapeadas em escala regional 1:50.000 até 1:20.000. Já os *Gossans* ocorrem em forma de corpos lenticulares, mais ou menos bem delimitados e com orientação preferencial. Estes corpos ferruginosos possuem pequenas dimensões, sendo mapeáveis na escala 1:1.000 até 1:10.000 (Blot, 2004).

Fatores distintos como a paragênese original dos sulfetos, clima, relevo, rocha encaixante e nível do lençol freático exercem influência direta na formação dos *Gossans*. Em campo, estas rochas se diferenciam das couraças lateríticas por sua geometria, dimensão e aspectos macroscópicos. Quando os critérios morfológicos do afloramento são insuficientes para a discriminar lateritas e *Gossans* é necessário a utilização de outras ferramentas, como a geoquímica.

Estudando afloramentos de rochas ferruginosas no Oeste da África, Blot (2004) constatou que os *Gossans* apresentam valores anômalos em Zn, Cu, Pb, As, P, S, Ba e Ni, sendo a Goethita o mineral mais abundante. Já as lateritas são compostas por

cerca de 95% de SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 e H_2O , concentrando elementos acessórios como Ti, Zr e Cr. O estudo revelou também que a principal diferença entre as lateritas e os *Gossans* é marcada pela presença dos elementos Al, Cr, Zr, V e Ti nas lateritas, que ocorrem apenas como acessório nos *Gossans*.

Na região de Santana da Boa Vista foram identificadas, de forma preliminar, algumas ocorrências de *Gossans* nas rochas do Complexo Metamórfico Porongos. Segundo Guadagnin *et al.* (2010), em campo estas ocorrências são isoladas e afloram como blocos. Utilizando microscopia ótica, esse autor identificou que a Goethita substitui a mineralogia primária, precipitando paralela à foliação S2 e marcando a foliação S3. As análises de rocha total mostram que esses *Gossans* possuem teores muito baixos de Al e elevados de Fe. O resultado da química de rocha mostrou também que a composição dos oxi-hidróxidos de Fe são Fe, O, Al, Si e P, ocorrendo também fosfatos de terras raras (Guadagnin *et al.* 2010), coincidindo com os critérios estabelecidos por Blot (2004) para definição de *Gossans*.

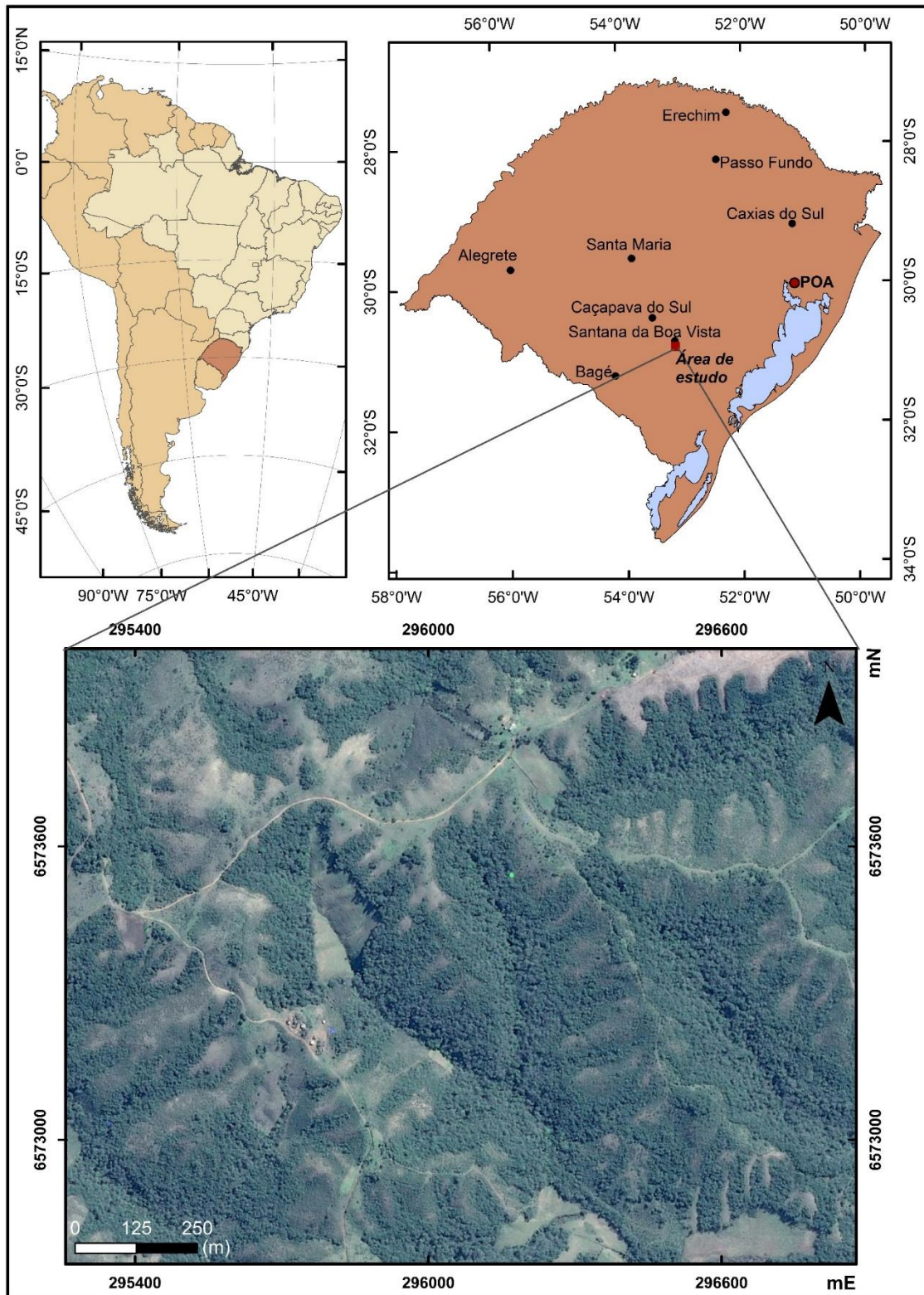
Apesar da caracterização em campo e geoquímica das ocorrências de *Gossans* serem bem detalhadas em nível mundial, existem poucos trabalhos que discutem as características estruturais e geofísicas desses depósitos. Morgan (2012) propõe que o estudo dos depósitos tipo VMS pode ser realizado aplicando diversas ferramentas geológicas e geofísicas devido às propriedades físicas desse tipo de depósito. Por conter quantidades significativas de minerais compostos por Ferro, como Goethita, Jarosita e Hematita, as ocorrências de *Gossans* são contrastantes com as rochas encaixantes, que geralmente são rochas vulcânicas ou sedimentares, com reduzido teor de Ferro. Dessa forma, ferramentas como a Magnetometria são importantes para a definição dos parâmetros geométricos dos depósitos sobretudo na exploração mineral (Luiz & Silva, 1995). De forma complementar, a análise estrutural tradicional, com uso predominante de informações de campo subsidiadas por dados de sensoriamento remoto, permite o entendimento das relações estruturais entre as rochas da região, incluindo minério e material estéril (Twiss & Moores, 2007).

No presente estudo, as rochas que ocorrem na região de Santana da Boa Vista foram estudadas por meio da análise estrutural, utilizando métodos de geologia de campo e geofísicos (Magnetometria) com o objetivo de determinar os parâmetros geométricos e cinemáticos das rochas da região e a sua relação com as ocorrências de *Gossans* que têm sido utilizados como indicadores prospectivos em superfície da ocorrência de metais base associados em sub-superfície ao modelo de mineralização

do tipo VMS (Blot, 2004). Dessa forma foi realizada análise estrutural com a finalidade de compreender a relação estrutural entre as unidades geológicas que compõem o Complexo Metamórfico Porongos, os *Gossans* e as rochas encaixantes. A Magnetometria foi utilizada com o objetivo de identificar possíveis anomalias e estruturas geológicas em sub-superfície, passíveis de correlação com as ocorrências de *Gossan*.

A área de estudo se localiza na porção central do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas 295.500mE / 6.574.000mN e 296.500mE / 6.573.000mN (em coordenadas UTM; zona 22 S; *Datum* Sirgas 2000; Fig. 3). Dista aproximadamente 80 km da cidade de Caçapava do Sul, com acesso partindo pela rodovia BR-392. Ao chegar à cidade de Santana da Boa Vista o deslocamento é feito por estrada não pavimentada, sentido SE, por cerca de 15 km até o local da área de estudo. A região está representada geograficamente na Folha Santana da Boa Vista (SH.22-Y-A-V-4), do Serviço Geográfico do Exército.

Figura 3 – Mapa de localização da área de estudo.



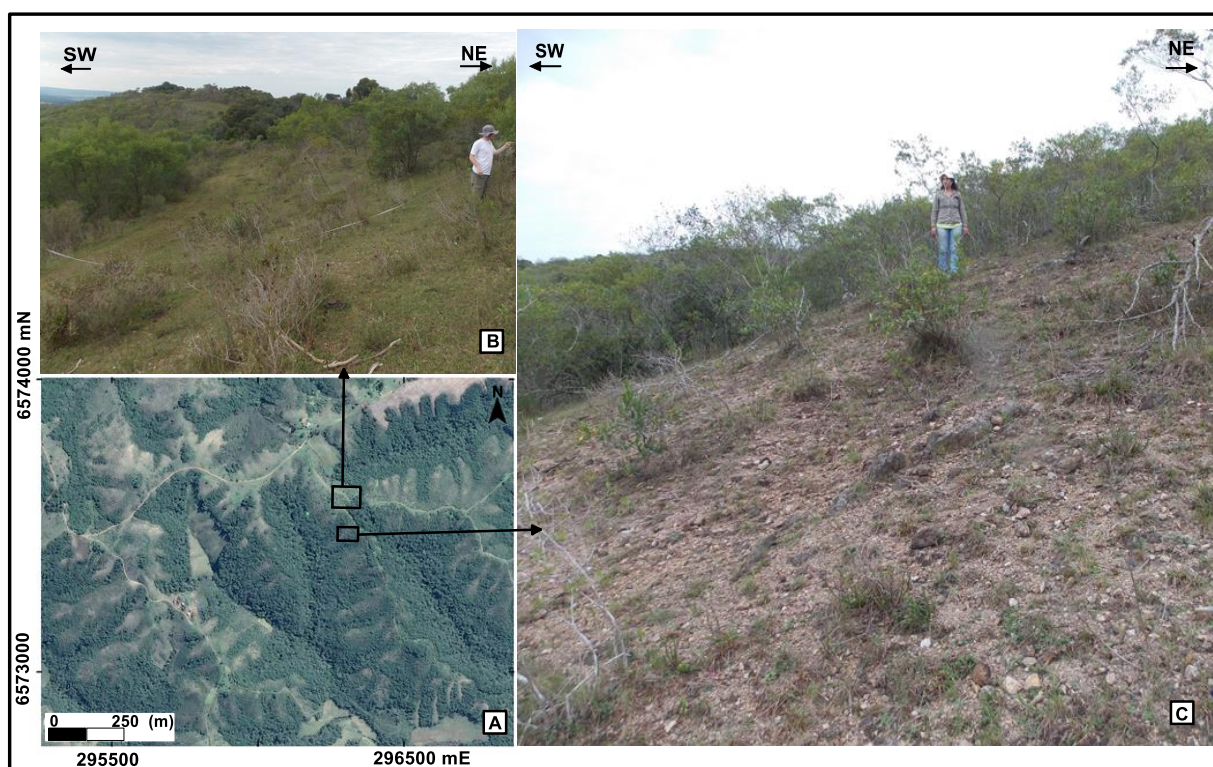
Fonte: Mapa de localização elaborado pela autora.

1.1 RELEVO E VEGETAÇÃO

A área de estudo está localizada em uma área com relevo montanhoso, aproximadamente 250m acima do nível do mar, com diferença de elevação de até 50m. Ocorre localmente uma paisagem serrana, densa próxima às drenagens e confinada em estreitas depressões que formam sangas e arroios. Em geral a área é recoberta por solo, porém em alguns pontos há afloramentos de rochas metamórficas e do *Gossan*. Nos altos topográficos ocorrem as rochas mais ricas em quartzo e nas drenagens afloram rochas como os Grafita-Xistos.

A vegetação é densa próximo às drenagens e composta por árvores de médio porte. Já no topo dos morros a vegetação é rala, predominando gramíneas e árvores de pequeno porte (Fig. 4B). Em alguns locais das encostas de morros, onde ocorrem as rochas brechadas e ricas em ferro, praticamente não há vegetação (Fig. 4C).

Figura 4 – Composição de fotos da área de trabalho. **A)** Imagem de satélite mostrando a área de estudo e os locais fotografados. **B)** Foto do topo de um morro com predomínio de gramíneas e árvores de pequeno e médio porte. **C)** Foto da encosta de um morro onde ocorre vegetação mais rala e ausência de gramíneas.



Fonte: Composição de fotos elaborada pela autora. A imagem **A** foi modificada do Google Earth.

2 OBJETIVOS

2.1 Gerais

Este trabalho teve como objetivo geral realizar uma análise estrutural utilizando ferramentas geológicas e geofísicas em uma área com ocorrência de *Gossan*.

2.2 Específicos

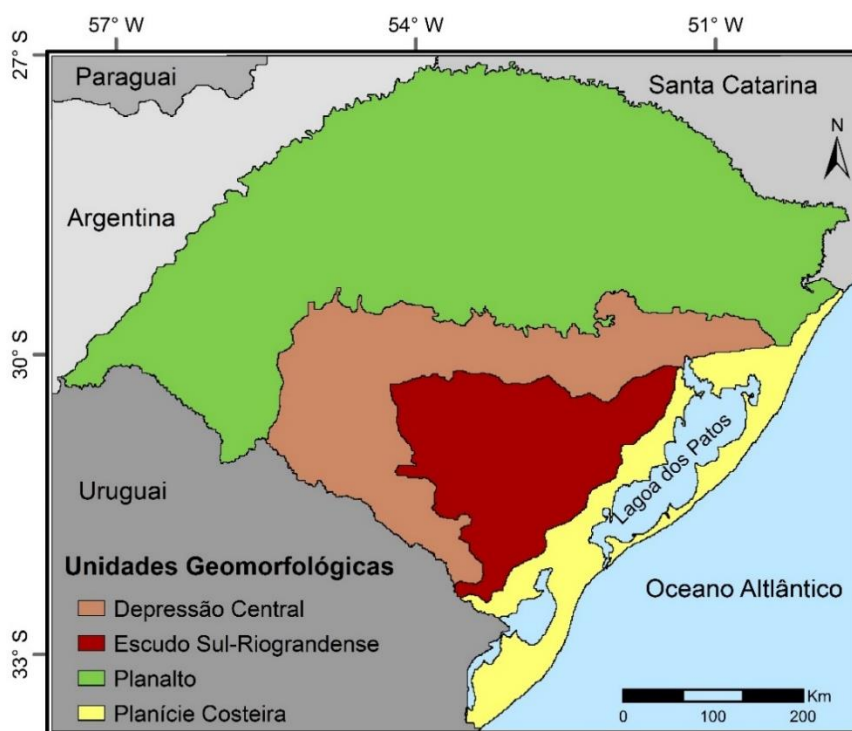
Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- Descrever o contexto geológico local;
- Realizar análise estrutural de detalhe nas imediações da ocorrência;
- Adquirir dados geofísicos utilizando magnetometria terrestre de detalhe;
- Gerar perfis e mapas geológicos, estruturais e geofísicos da área de estudo;
- Identificar as anomalias geofísicas associadas com as ocorrências de *Gossans*;
- Analisar de forma integrada os dados geológicos-estruturais para estabelecer uma correlação entre as anomalias geofísicas e os dados estruturais da área;
- Fornecer informações que possibilitem a descoberta de novas ocorrências minerais na área.

3 GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na região central do estado do Rio Grande do Sul, inserida na província geomorfológica denominada de Escudo Sul-Riograndense (ESRG). O ESRG é delimitado a sudoeste e norte pela Depressão Central e a leste-sudeste pela Planície Costeira (Fig. 5).

Figura 5 – Mapa das unidades Geomorfológicas do Estado do Rio Grande do Sul, destacando o Escudo Sul-Riograndense.



Fonte: Modificado de Roisenberg *et al.* (2007).

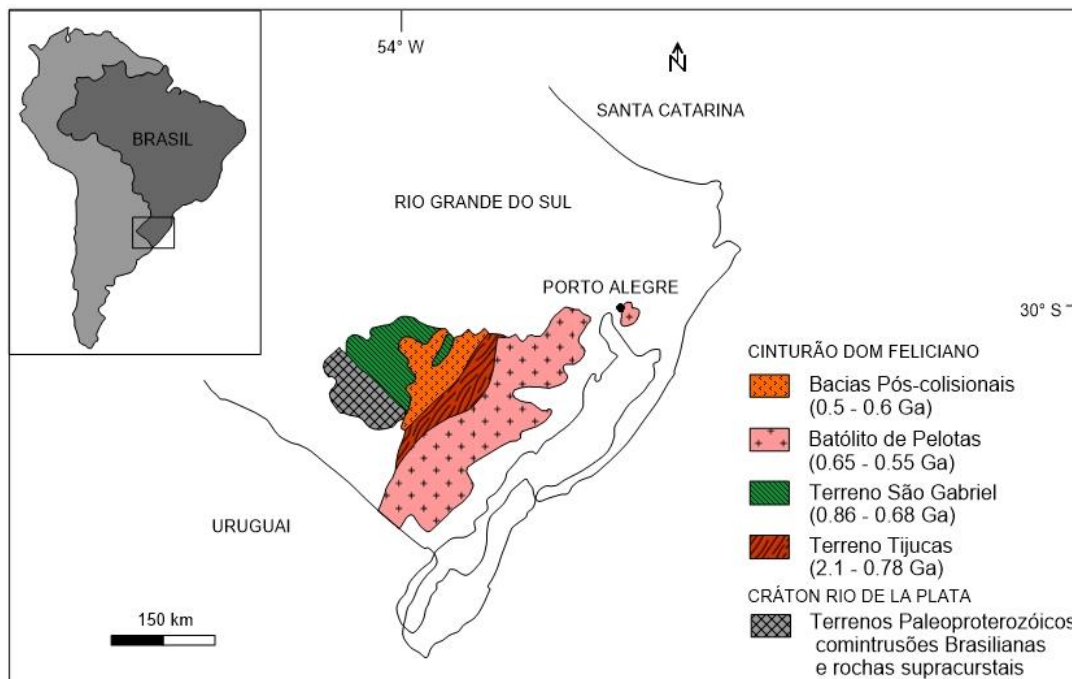
Em termos geológicos essa região é o resultado de diversos processos de geração e deformação de crosta continental ocorridos durante as Eras paleoproterozóica (2,5 Ga a 1,6 Ga) a neoproterozóica (1,0 Ga a 0,54 Ga; Chemale Jr. 2000). Ao longo dessas Eras ocorreram processos de extração de magma oriundos do manto e da crosta, formação de crosta oceânica, microcontinentes e arcos de ilhas nas margens das placas tectônicas (limites oceano-oceano, oceano-contidente e continente-contidente), retrabalhamento crustal, entre outros, que foram responsáveis pelo crescimento da porção sul do continente Sul-Americano (Hartmann *et al.* 2007).

O ESRG é dividido em quatro unidades geotectônicas conforme suas características geoquímicas, geofísicas, litológicas e estruturais elaboradas por Hartmann *et al.* (1998). Essas unidades são denominadas Bloco Taquarembó, Bloco São Gabriel, Batólito de Pelotas e Terreno Tijucas. A área de estudo está inserida no Terreno Tijucas.

O Terreno Tijucas ocorre no centro do ESRG e, de acordo com Hartmann *et al.* (2007), é constituído por unidades do embasamento (Complexo Encantadas e

Granitóides Milonitizados de Santana da Boa Vista) e de cobertura (Complexo Metamórfico Porongos e Bacias Guaritas e Piquiri-Arroio Boici; Fig. 6).

Figura 6 – Mapa geológico simplificado com as principais unidades tectônicas do Escudo Sul-Riograndense.



Fonte: Modificado de Chemale Jr. (2000).

3.1 O TERRENO TIJUCAS

O Terreno Tijucas está localizado na porção central do ESRG e se estende numa faixa alongada com direção NE-SW a leste do Terreno São Gabriel, possuindo de 30 a 50 km de largura e aproximadamente 170 km de comprimento (Hartann *et al.*, 2007). Essa unidade é composta por rochas metavulcanosedimentares originalmente depositadas sobre o embasamento paleoproterozóico do Complexo Encantadas e metamorfisadas na fácies xisto-verde a anfibolito (Lusa *et al.* 2010). É dividido de acordo com Hartmann *et al.* (2007) nas porções leste e oeste, separadas por estreitos grábens preenchidos por sedimentos da Bacia do Piquiri-Arroio Boici ou ainda truncados pelas rochas do Complexo Encantadas, sendo delimitados por falhas rúpteis (Philipp *et al.* 2008).

O Complexo Encantadas é composto pelo Gnaiss Encantadas e por metagranitóides milonitizados de composição monzonítica e sienograníticas (Lusa *et*

al. 2010). O Gnaiss Encantadas é caracterizado por uma associação de gnaisses tonalíticos e trondhjemíticos, ocorrendo também gnaisses dioríticos, anfíbolitos máficos e hornblenditos (Philipp *et al.* 2008). Esses gnaisses são cortados pelos Granitóides Milonitizados da Santana da Boa Vista (Machado *et al.* 1987), constituídos por corpos individuais e também lentes com espessuras que variam de centímetros a metros. Os granitóides possuem forma alongada concordantes com o alongamento do Domo Santana da Boa Vista, estando inseridos ao longo do limite entre os Complexos Encantadas e Porongos (Lusa *et al.* 2010).

O limite entre esses dois Complexos ocorre através de uma zona de cisalhamento dúctil de baixo ângulo com movimentação alterando a estratigrafia original e gerando transformações miloníticas (Philipp *et al.* 1995). Segundo Lusa *et al.* (2010), o grau metamórfico do Complexo Encantadas é marcado pelos anfíbolitos, que apresentam mais de um evento termal acompanhado por intensa deformação.

3.2 A GEOLOGIA DO COMPLEXO METAMÓRFICO PORONGOS

O Complexo Metamórfico Porongos (CMP), inserido no Terreno Tijucas, compreende uma faixa contínua com direção NE-SW conforme descrito por Chemale Jr. (2000). Esse complexo ocupa a parte central do ESRG numa faixa também alongada na direção NE que se estende do Uruguai até o estado de Santa Catarina. No Rio Grande do Sul, o CMP se estende por aproximadamente 170 km desde a cidade de Candiota até o Arroio Capané, com largura entre 15 e 30 km (Hartmann *et al.* 2007). É limitado, segundo Chemale Jr. (2000), a leste pelos granitóides do Batólito de Pelotas com a Zonas de Cisalhamento Dorsal de Ganguçu (ZCDG) e Passo do Marinheiro (ZCPM). Apresenta o setor oeste recoberto por sedimentos da Bacia do Camaquã e sedimentos fanerozóico da bacia do Paraná (Chemale Jr. 2000).

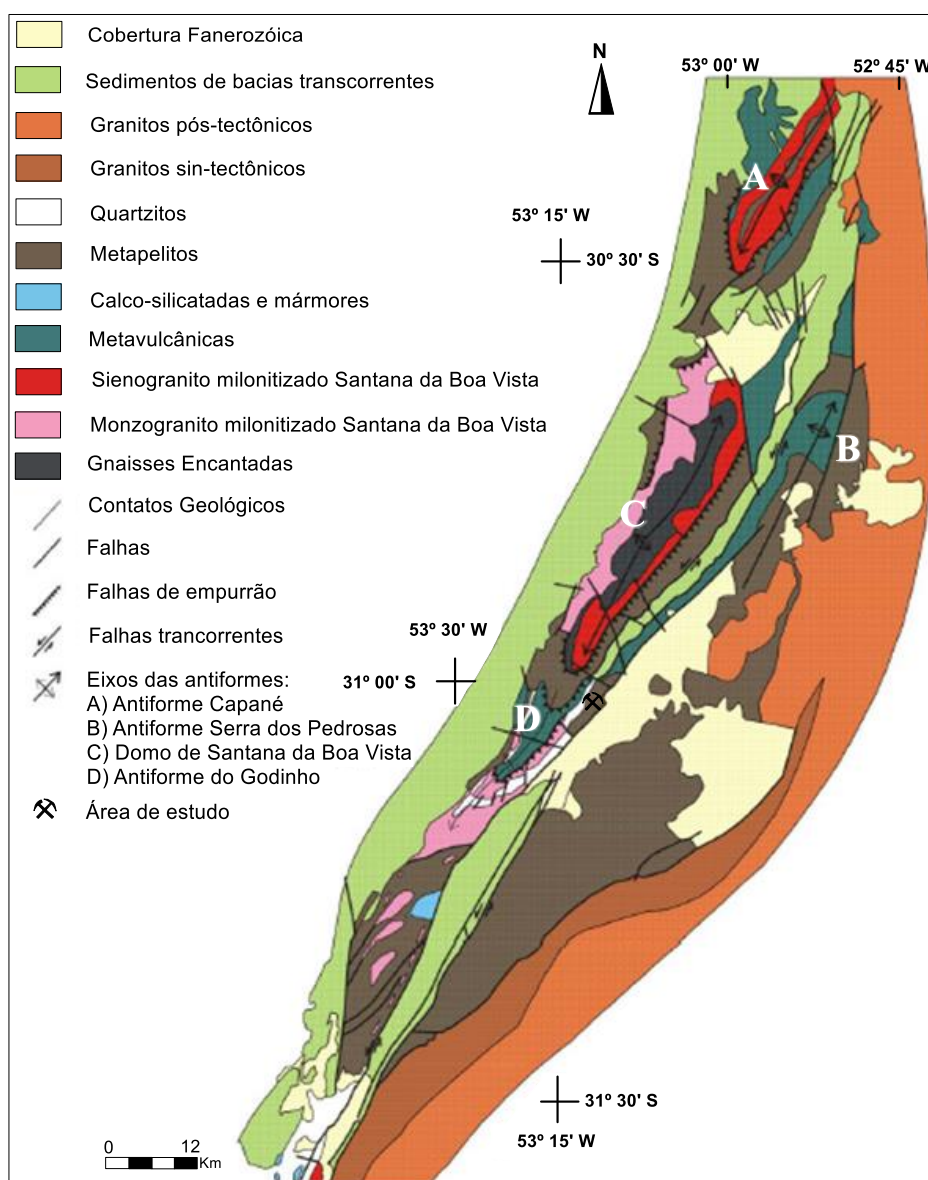
Para Jost & Bitencourt (1980), o CMP consiste numa sequência de rochas metavulcanossedimentares intercaladas com lentes de ortognaisses e rochas metaultramáficas, metamorfisadas progressivamente até a fácies anfíbolito e retrometamorfizada na fácies xisto-verde.

As rochas metassedimentares são, Xistos Carbonosos, Quartzitos, Mármore e lentes de Metamarga (Zvirtes, 2012). Estas rochas teriam sido deformadas em pelo menos quatro fases deformacionais relacionadas ao Ciclo Brasileiro (Saalman *et al.*, 2006). Corpos graníticos intrusivos também ocorrem no CMP, conforme descrito por

Chemale Jr. (2000). As rochas metavulcânicas ocorrem intercalas com os metassedimentos e apresentam a mesma deformação, além disso, rochas provavelmente tuffíticas ocorrem intercaladas com Xistos Pelíticos e Quartzitos (Zvirtes, 2012).

Estruturalmente o CMP é marcado por dobras abertas a fechadas, geradas em regime de deformação crustal formando dobras regionais marcadas por cristas de Quartzito (Remus *et al.* 1987). Estas antiformes controlam os afloramentos na área do CMP nas quatro dobras principais: Antiforme de Santana, Antiforme Capané, Antiforme Serra dos Pedrosas e Antiforme Serra do Godinho (Fig. 7).

Figura 7 - Esboço geológico simplificado do Complexo Metamórfico Porongos.



Fonte: Modificado de Lenz (2006).

Na região do Domo de Santana da Boa Vista, onde o presente estudo está localizado, afloram as rochas do embasamento paleoproterozóico (Gnaisses Encantadas) circundadas por rochas metassedimentares do Grupo Cerro dos Madeiras, representado pelas formações Arroio Olaria e Irapuazinho (Gollmann, 2007). Segundo Jost (1981) a Formação Arroio Olaria é composta por sequências de Quartzitos, Meta-Arcóseos, Xistos e Formações Ferríferas Bandadas (BIF's). Para Porcher & Fernandes (1990) e Machado et al. (1987) esta Formação consiste em granitóides milonitizados pertencentes aos Granitóides Milonitizados Santana da Boa Vista. A Formação Irapuazinho é composta por sequências de metapelitos com lentes de mármore e xistos calcíferos (Jost & Bitencourt, 1980).

Na Antiforme Serra dos Pedrosa ocorre principalmente rochas metavulcânicas intermediárias a ácidas, metapelitos e xistos grafitosos subordinados (Jost 1981, Marques & Caravaca 1994). A Antiforme Capané consiste em rochas vulcânicas máficas e félsicas e rochas sedimentares (Pelitos, Quartzitos e Mármore). A Antiforme Serra do Godinho, segundo (Zvirtes, 2012), também é composta por rochas neoproterozóicas e embasamento paleoproterozóico (Gnaisses Encantadas).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizadas as seguintes técnicas:

- Revisão bibliográfica;
- Aquisição de dados em campo;
- Descrição macroscópica das amostras;
- Organização do banco de dados;
- Processamento e interpretação dos dados;
- Análise dos resultados e redação.

4.1 Revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica consistiu na revisão de artigos científicos, dissertações de Mestrado e Doutorado, livros e mapas da área de estudo com objetivo de obter embasamento teórico sobre os conceitos e técnica a serem utilizadas. O levantamento

de dados bibliográfico permitiu conhecer as litologias, o comportamento estrutural e o contexto evolutivo da área de estudo.

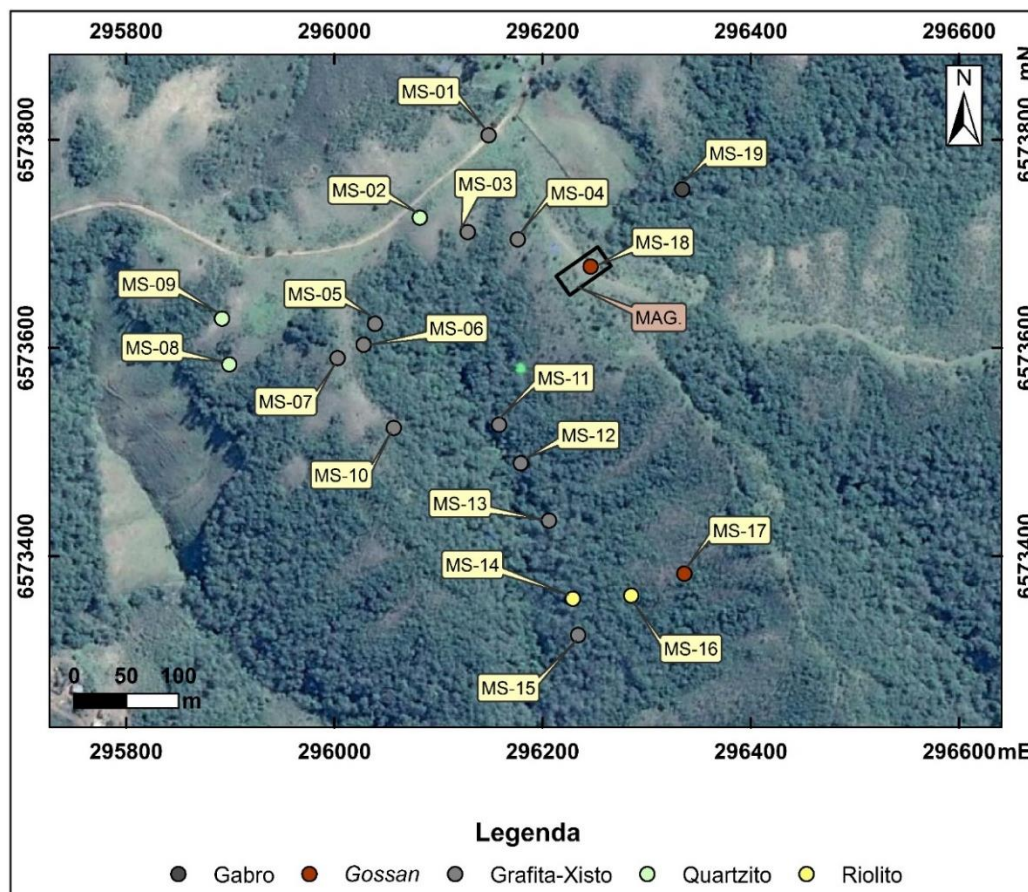
4.2 Aquisição de dados

Os trabalhos de campo foram divididos em duas etapas, sendo uma para os dados geológicos-estruturais e outra para o levantamento magnetométrico.

A aquisição de dados geológicos foi baseada em mapeamento geológico na escala 1:5.000. Os dados estruturais foram coletados com bússola *Brunton* com declinação magnética corrigida conforme indicada na Folha Santana da Boa Vista (SH.22-Y-A-V-4) para o ano de 2015. As medidas estruturais de foliação, eixo de dobra, plano axial e fratura foram anotadas com notação *Dip-Direction* e plotadas nos mapas e perfis para visualização e interpretação da distribuição espacial e geométrica das estruturas.

Todos os afloramentos rochosos foram fotografados, descritos e nomeados sistematicamente pelas iniciais do nome Marly Silva, seguido de números sequenciais. Dessa forma, os pontos foram identificados por MS-01, MS-02 e assim sucessivamente. Nesta etapa de campo foram mapeados 19 pontos (Fig. 8) com diferentes litologias. As coordenadas geográficas dos pontos foram determinadas através de GPS, *Datum* SIRGAS 2000.

Figura 8 – Mapa de pontos do mapeamento geológico-estrutural. Foram mapeados 19 pontos com diferentes litologias. O polígono em preto representa a área do levantamento geofísico.



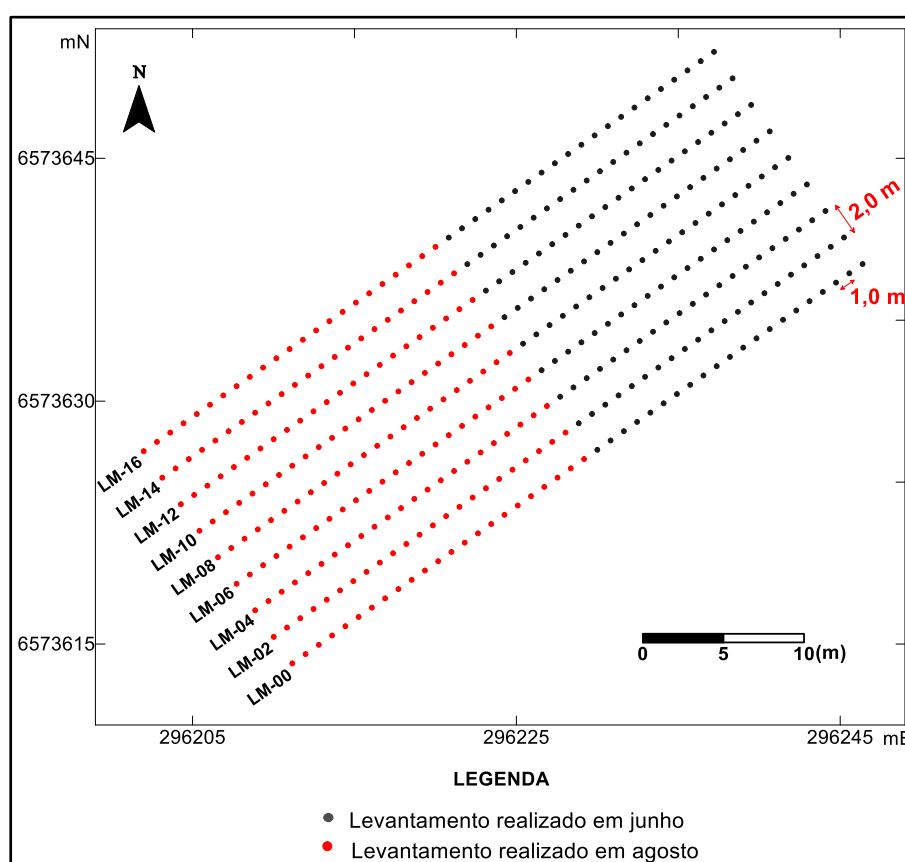
Fonte: Modificado do Google Earth.

Levantamento Magnetométrico: A aquisição dos dados foi realizada segundo malha regular com linhas espaçadas a cada 2 metros e estações magnetométricas com 1 metro de distância cada. As linhas foram realizadas no sentido N55E (Fig. 9). Foram utilizados magnetômetros de precessão modelo da GEM SYSTEMS, patrimônio da Unipampa. Os dados foram adquiridos com dois magnetômetros, onde a estação base mediu as variações do campo magnético a cada 120 segundos. No magnetômetro móvel foram feitas medidas normalmente em cada ponto com distância determinada através de uma trena.

As linhas foram nomeadas sistematicamente com as iniciais “Levantamento Mag” seguido de números sequenciais determinados pelo espaçamento entre as linhas. Dessa forma, cada linha foi identificada por LM-00, LM-02 e assim sucessivamente (Fig. 9). Já os pontos medidos foram nomeados conforme o

espaçamento adotado de 1m. Assim, o ponto inicial da linha recebeu sempre o número 00 seguido dos números 01, 02, 03, n. Esta metodologia foi utilizada para todas as linhas e pontos do levantamento magnetométrico que ocorrem nos dias 07 de junho e 07 de agosto de 2015. Durante todo o levantamento magnetométrico foram realizadas 44 medidas em 9 linhas, totalizando 396 pontos medidos.

Figura 9 – Mapa de pontos do levantamento magnetométrico. Os pontos em preto representam a aquisição realizada no mês de junho e os pontos em vermelho são referentes ao levantamento realizado em agosto.



Fonte: Mapa elaborado pela autora.

4.3 Descrição macroscópica das amostras

As amostras coletadas durante o mapeamento geológico foram descritas no laboratório da Unipampa conforme técnicas tradicionais de análise petrográfica. Foram descritos todos os aspectos macroscópicos que consistem nos seguintes atributos: mineralogia, cor, textura e estruturas. Posteriormente foi realizada a

classificação da rocha de acordo com a mineralogia da fácies metamórfica identificada e descrita.

4.4 Organização do banco de dados

Os dados oriundos do levantamento magnetométrico foram organizados em um banco de dados contendo o número da linha, do ponto, coordenadas (UTM), valor do campo magnético total medido em campo e hora.

Do mesmo modo, os dados provenientes do mapeamento geológico-estrutural também foram organizados em bancos de dados contendo os seguintes atributos: coordenadas (UTM), numeração do ponto, descrição geral do afloramento, descrição macroscópica das amostras, medidas estruturais de foliação, eixo de dobra, plano axial e fratura.

4.5 Processamento e interpretação

A elaboração dos mapas magnetométricos foi baseada na interpolação por meio do método Mínima Curvatura, com o tamanho de célula de 0.5m. Neste trabalho foi aplicada somente a correção da variação diurna. Optou-se por trabalhar com os dados sem a correção geomagnética uma vez que os valores do campo magnético apresentaram resultados negativos quando subtraídos do IGRF. Isso ocorreu, pois, os valores do IGRF são maiores que os valores do campo magnético medido na área de estudo.

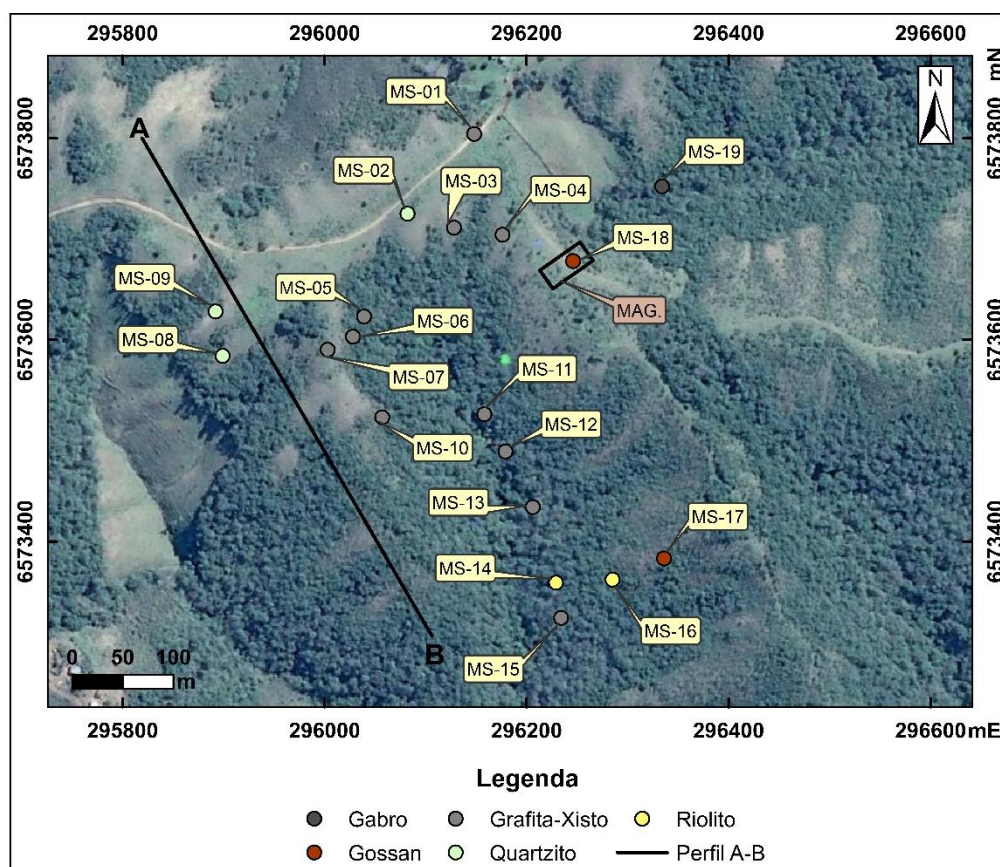
Por meio das leituras da intensidade do campo magnético obtidas nas estações magnetométricas levantadas, foi inicialmente gerado o mapa dos valores de campo magnético anômalo total. Os dados de campo total serviram de base para o processamento e geração de outros mapas por meio de uso de filtros. Os dados geofísicos foram processados no software *Oasis Montaj*, onde foram gerados também os mapas de amplitude do sinal analítico e redução ao polo.

Os dados estruturais foram processados no *ArcGis* onde foram gerados os mapas com as litologias e estruturas mapeadas. Também foram gerados perfis estruturais, estereogramas e os diagramas de Rosetas para identificação do comportamento espacial dos dados.

O perfil estrutural foi gerado na direção NNW-SSE (Fig. 10) e os elementos estruturais foram projetados para o perfil com a finalidade de compreender o contexto

da área de estudo. Os estereogramas e os diagramas de Rosetas foram gerados nos softwares *StereoNet 7* e *GeoRose*, respectivamente. Ambos os softwares são gratuitos e de livre acesso.

Figura 10 – Mapa de pontos do mapeamento geológico-estrutural mostrando a localização do Perfil A-B e a área dos perfis geofísicos.



Fonte: Modificado do Google Earth.

4.6 Análise dos resultados e redação

A análise dos dados e do mapa geológico-geofísico-estrutural da área ocorreu de forma integrada para identificação as anomalias em sub-superfície e o comportamento estrutural da área estudada. Essa análise foi realizada de modo a estabelecer uma correlação entre os dados geológicos e geofísicos oriundos de todo o trabalho realizado em campo. Buscou-se, nesta fase do trabalho, verificar a relação existente entre os dados magnetométricos e o mapeamento, e sua relação com os dados da literatura.

5 RESULTADOS

Os resultados obtidos a partir do mapeamento geológico-estrutural e da análise geofísica estão descritos abaixo.

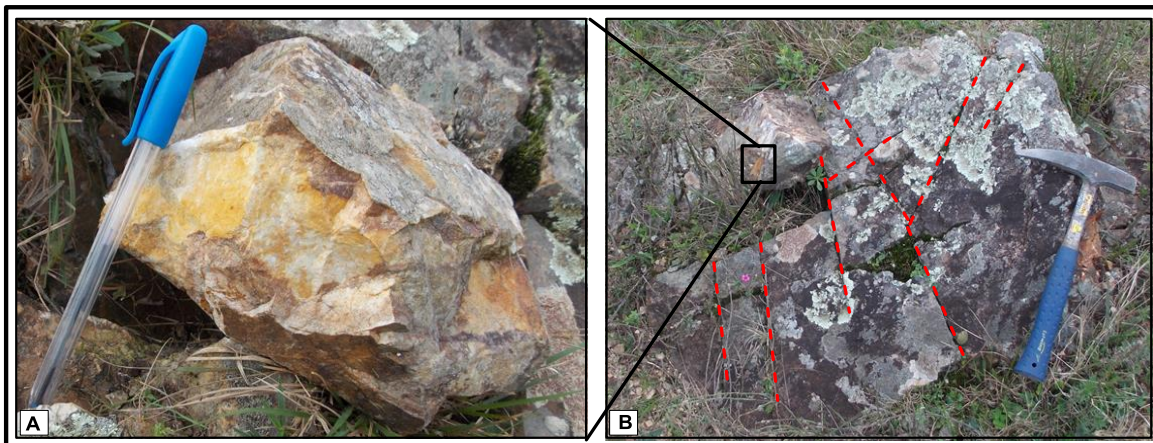
5.1 Análise Estrutural

Os resultados da análise estrutural realizada a partir dos dados de campo e geofísicos estão apresentados abaixo. As litologias identificadas na área de estudo consistem em: Quartzito, Grafita-Xisto, *Gossan*, Riolito e Grabro.

5.2.1. Quartzito

As rochas identificadas como Quartzito afloram em altos topográficos, apresentando moderado grau de alteração. Ocorrem como blocos isolados (Fig. 11 B) ou ainda intercalados em "camadas" com Grafita-Xisto. Estas rochas apresentam cor amarelo claro (Fig. 11 A), por vezes com manchas avermelhadas. Geralmente possuem foliação metamórfica definida pelo estiramento do quartzo, ou ainda pela orientação preferencial dos minerais micáceos. Nas fraturas, a rocha exibe coloração avermelhada com forte indício de oxidação. Em alguns veios de quartzo ocorre textura *boxwork*, indicada pela feição de dissolução de cristais cúbicos, possivelmente pirita.

Figura 11 – Contexto de campo do Quartzito. **A:** Fotografia de detalhe do Quartzito de cor amarelado com manchas avermelhadas provenientes da oxidação dos óxidos de ferro. **B:** Afloramento em blocos de Quartzito fraturado. As linhas em vermelho destacam as fraturas da rocha.



Fonte: Composição de fotos dos Quartzitos elaborada pela autora.

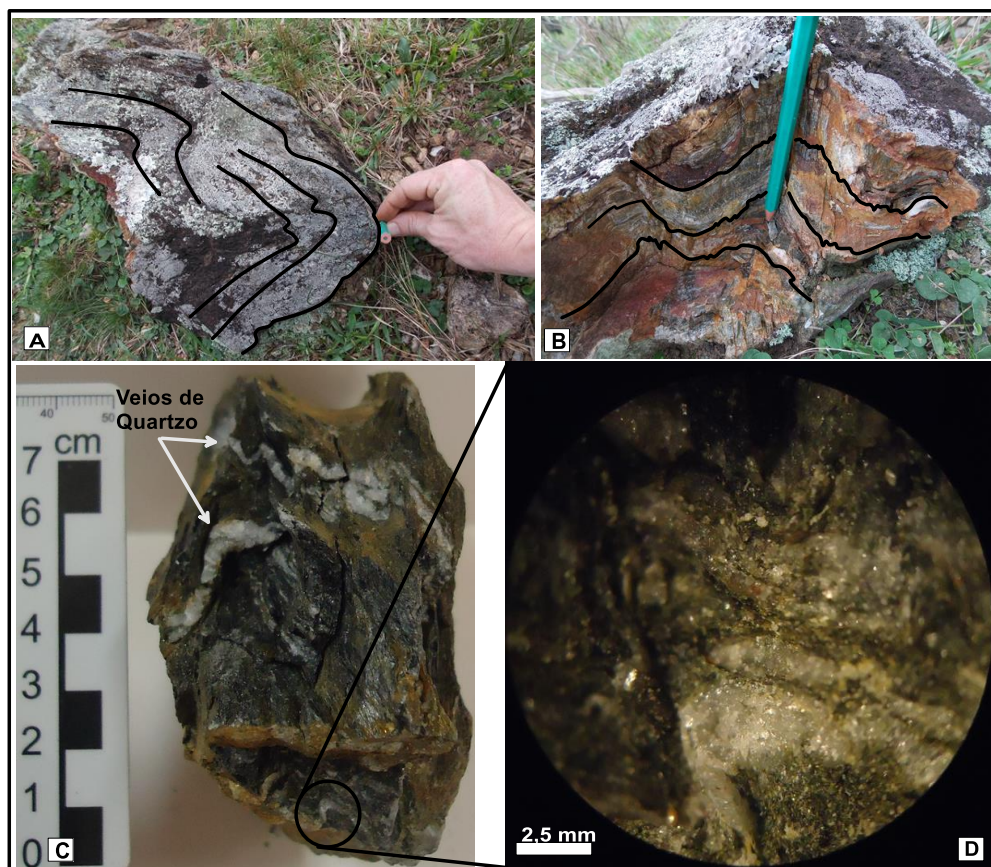
5.2.2. Grafita-Xisto

As rochas classificadas como Grafita-Xistos são foliadas, geralmente com moderado a alto grau de alteração. O Grafita-Xisto possui foliação definida pela orientação dos minerais placóides (micas e grafita) e alternância de camadas de coloração clara (branca) e escura, refletindo a variação composicional de porções mais ricas em quartzo e outras porções enriquecidas em minerais micáceos.

A xistosidade, definida como foliação S1, é predominantemente irregular, pois geralmente está dobrada definindo uma foliação plano axial (S2). As dobras possuem comprimentos de onda (λ) variando de milimétricos a métricos. São classificadas como angulares a arredondadas com base na relação entre a zona de charneira e os flancos (Figs. 12 A e B). É comum a ocorrência de dobras parasitas, sendo que os flancos mergulham predominantemente para SE e subordinadamente para NW (ver item da Geologia Estrutural). Já o eixo das dobras parasitas mergulha preferencialmente para SW com baixo a moderado ângulo de mergulho. O plano axial mergulha para WNW com ângulo de mergulho moderado a alto. De modo geral, as dobras são simétricas (tipo W e M) e assimétricas (tipo Z), com menor ocorrência de dobras em S. Ocorrem veios de quartzo com espessura de até 0,5 cm. Os veios ocorrem dobrados, paralelos à foliação S1 (Figs. 12 C e D).

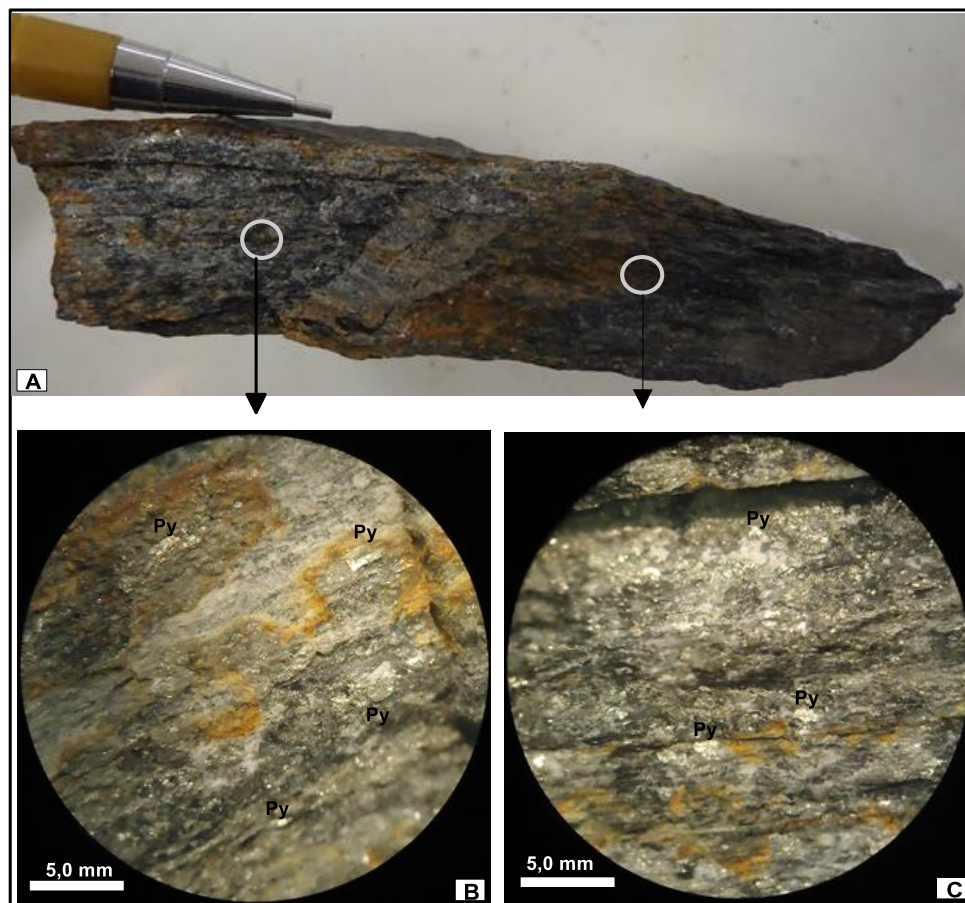
A xistosidade é cortada por fraturas regulares a irregulares, que ocorrem na forma de pares conjugados. Nas porções superiores do relevo, o Grafita-Xisto exhibe intensa oxidação nos planos das fraturas, evidenciada pela coloração avermelhada e amarelada e pela presença de minerais oxidados. Nos baixos topográficos próximo das drenagens foram identificados sulfetos de Ferro nos planos das fraturas (Figura 13 A). Nas amostras de mão foi identificado que o sulfeto possui brilho metálico, eventualmente oxidado causando manchas amareladas na rocha (Figs. 13 B e C).

Figura 12 – Fotografias do Grafita-Xisto. **A e B**: Fotografias do Grafita-Xistos dobrado em planta e em perfil. As linhas em preto destacam a foliação da dobra. **C**: Amostra de mão de um xisto grafitoso com veios de quartzo dobrados, paralelos à foliação. **D**: Foto de detalhe do veio de quartzo dobrado.



Fonte: Composição de fotos dos Grafita-Xistos elaborada pela autora.

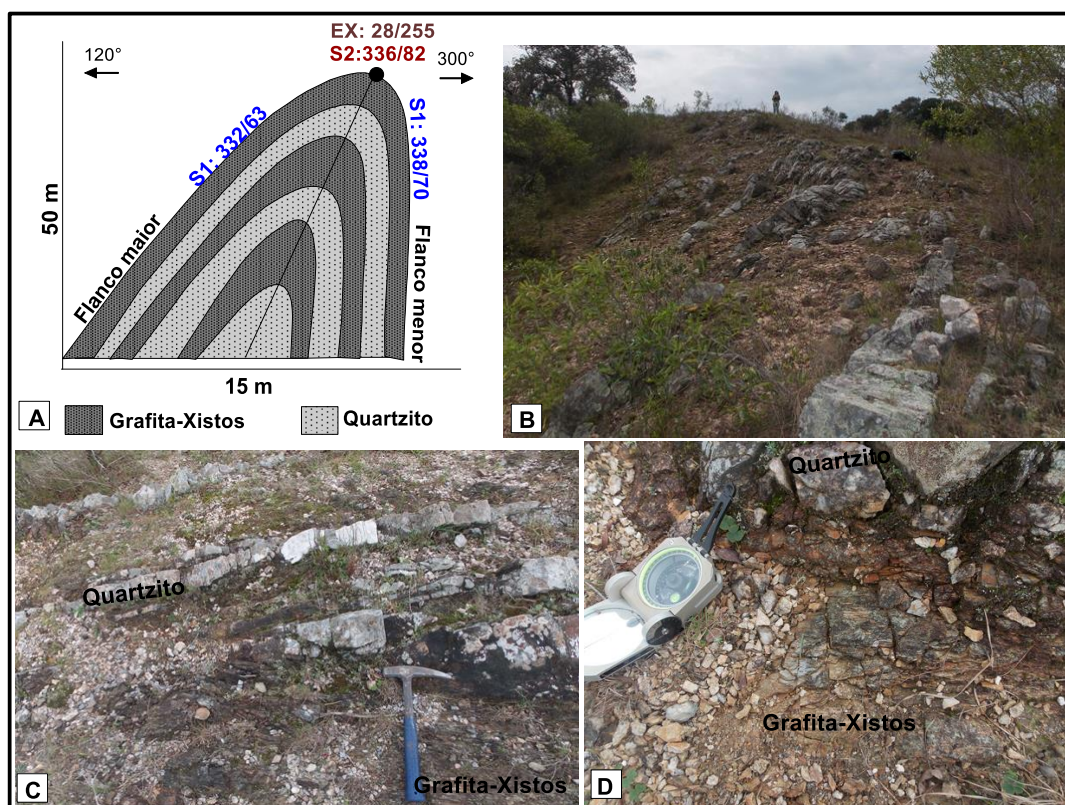
Figura 13 – Amostra do Grafita-Xisto com sulfetos preservados nas fraturas. Em **B** e **C** são mostrados detalhes dos Sulfetos, provavelmente Pirita, nas fraturas da rocha. As manchas amareladas são causadas por frentes de oxidação.



Fonte: Composição de fotos dos Grafita-Xistos elaborada pela autora.

Em alguns locais foram identificadas intercalações de Grafita-Xisto com Quartzito dispostos em dobras de comprimento de onda de dezenas de metros (Fig. 14 A). Nestes locais ambas as litologias estão fraturadas e intensamente afetadas por intemperismo (Figs. 14 B, C e D). Tanto o Quartzito quanto o Grafita-Xisto exibem coloração avermelhada nos planos da foliação e das fraturas.

Figura 14 – Dobra na escala de dezena de metros onde ocorre intercalação entre Quartzito e Grafita-Xisto. Em **A** é mostrado croqui da dobra, em **B** o flanco maior com camadas de Quartzito proeminentes, e em **C** e **D** são mostradas camadas de Quartzito intercaladas com Grafita-Xisto. Ambas as litologias estão fraturadas.



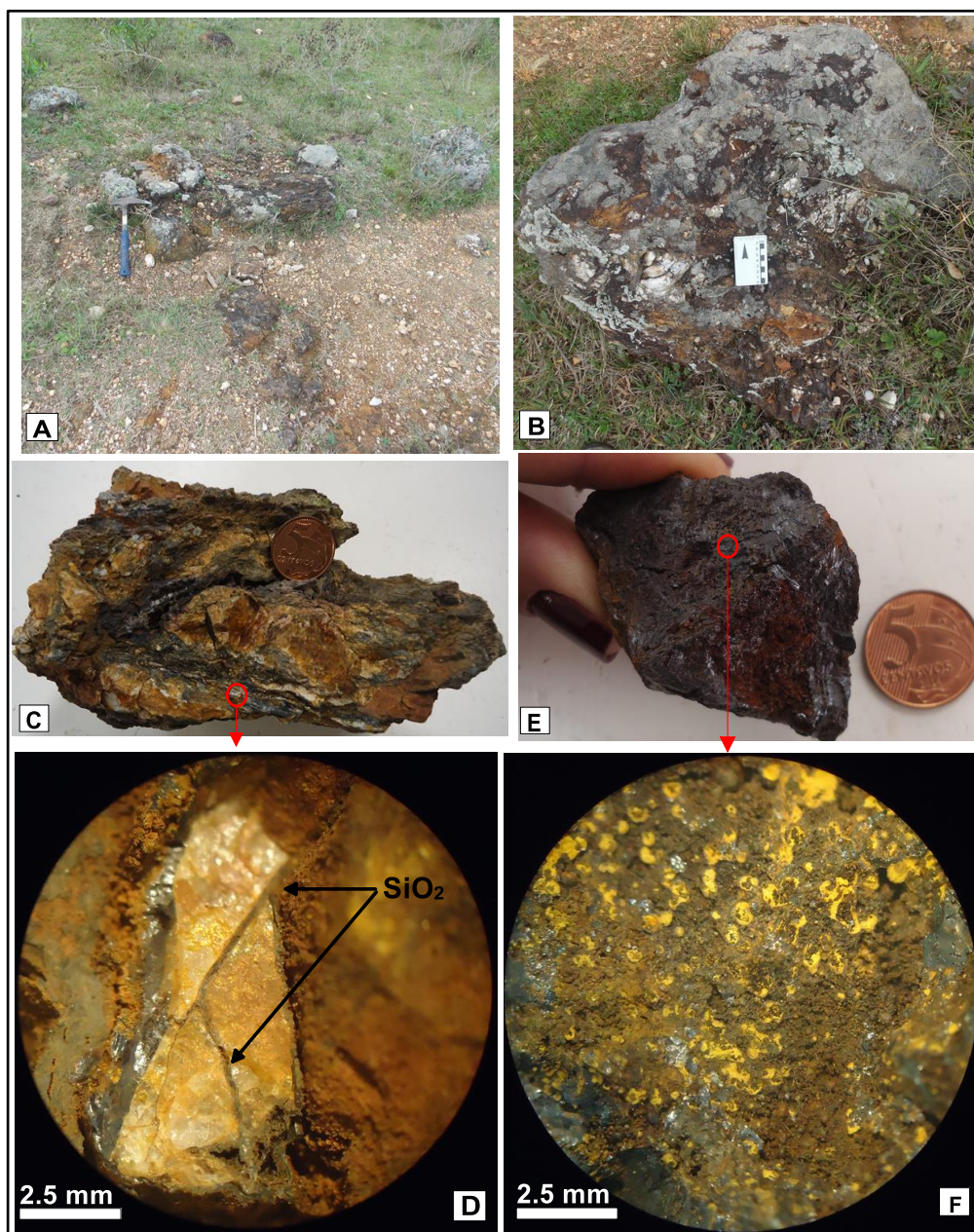
Fonte: Composição de fotos do Grafita-Xistos e Quartzitos elaborada pela autora.

5.2.3. Gossan

Em campo o *Gossan* aflora como blocos isolados (Figs.15 A e B). Macroscopicamente, essa rocha é formada pela mistura de material ferruginoso oxidado com material da rocha encaixante brechado e alterado. O *Gossan* possui algumas porções maciças e outras com características brechadas. As partes brechadas (Fig. 15 C) são compostas por fragmentos de Quartzito e Grafita-Xisto. Ambas fácies possuem matriz constituída predominantemente por sílica.

Na fácie maciça (Fig. 15 D), é comum a presença da Goethita botroidal nas bordas internas das cavidades das fraturas e *boxwork*. Estas estruturas botroidais são, por vezes, zonadas estando a Goethita intercalada com a Hematita, pontualmente oxidada.

Figura 15 – Contexto macroscópico do *Gossan*. Em **A** e **B** são mostrados afloramentos do *Gossan* em blocos isolados. Em **C** é mostrada a fácies brechada, constituída por fragmentos de Grafita-Xisto e Quartzo. Em **D** é mostrada fotografia de detalhe, mostrando um veio de quartzo brechado com sílica na matriz. Em **E** é mostrada a fácies maciça do *Gossan*, onde ocorre concentração de minerais, como a Goethita. Em **F** é mostrada fotografia de detalhe de Goethita com hábito botroidal.



Fonte: Composição de fotos do *Gossan* elaborada pela autora.

5.2.4. Riolito

O Riolito aflora como dois pequenos corpos intrusivos com moderado a baixo grau de alteração. O Riolito, que intrude os Grafita-Xistos, possui textura equigranular fina, apresenta coloração cinza amarelada, é maciço, rico em quartzo, feldspato e subordinadamente micas (Fig. 16 A). Nos locais onde o grau de intemperismo é mais intenso, a rocha exibe algumas manchas avermelhadas (Fig. 15 B). Nas encostas de morro, onde foram identificadas estas rochas, ocorrem os Grafita-Xistos intensamente brechados.

Figura 16 – Amostras de mão da rocha ígnea intrusiva. **A**: As manchas avermelhadas são indício de oxidação. **B**: Amostra de mão da mesma rocha intrusiva, porém com moderado grau de alteração e sem indício de oxidação.

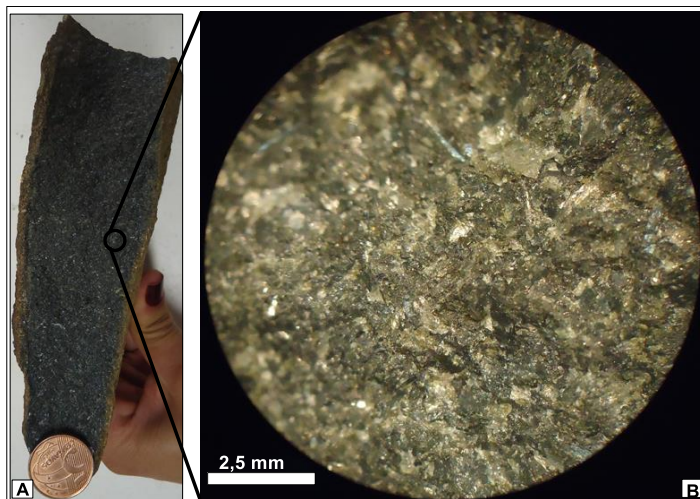


Fonte: Composição de fotos do Riolito elaborada pela autora.

5.2.5. Gabro

O Gabro identificado em campo é maciço, quase homogêneo, tanto na cor como na textura. Pode ser descrita como uma rocha ígnea melanocrática, de granulometria média a fina e textura hipidiomórfica. Sua mineralogia é composta predominantemente por piroxênio, olivina e subordinadamente minerais félsicos (Figs. 17 A e B).

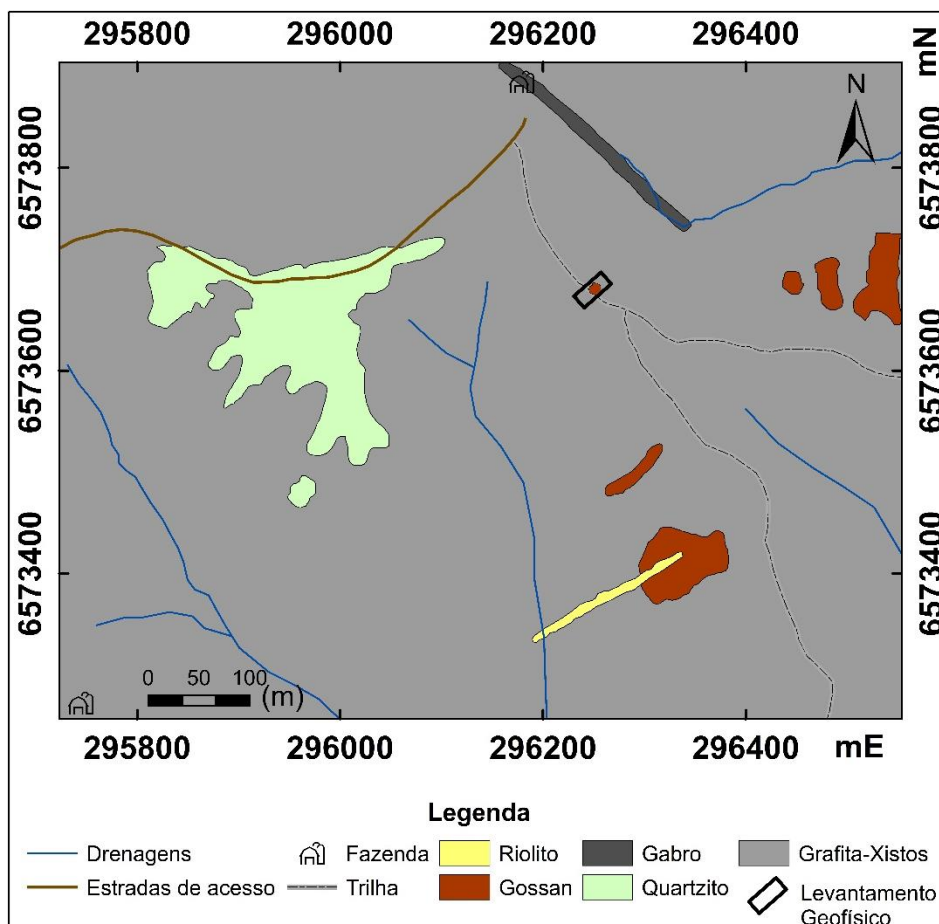
Figura 17 – **A**: Amostra de mão do Gabro. **B**: Foto de detalhe dos minerais que constituem a rocha. Os minerais máficos são piroxênios e olivina, já os claros plagioclásio e quartzo em menor quantidade.



Fonte: Composição de fotos do Gabro elaborada pela autora.

Com base nas litologias mapeadas e descritas no presente trabalho, foi elaborado o mapa geológico da área de estudo (Fig. 18), onde se observa que os Grafita-Xistos é o litotipo mais abundante. Já os Quartzitos, *Gossans* e as intrusivas ocorrem em menor quantidade quando comparados aos Grafita-Xistos.

Figura 18 – Mapa geológico da área de estudo. O mapa foi gerado com base nos pontos de campo, interpretação estruturas e por sensoriamento remoto sobre imagem de satélite obtida no *Google Earth*. Mapa gerado na projeção UTM Datum SIRGAS 2000, zona 22 S. A área é a mesma da Figura 8.

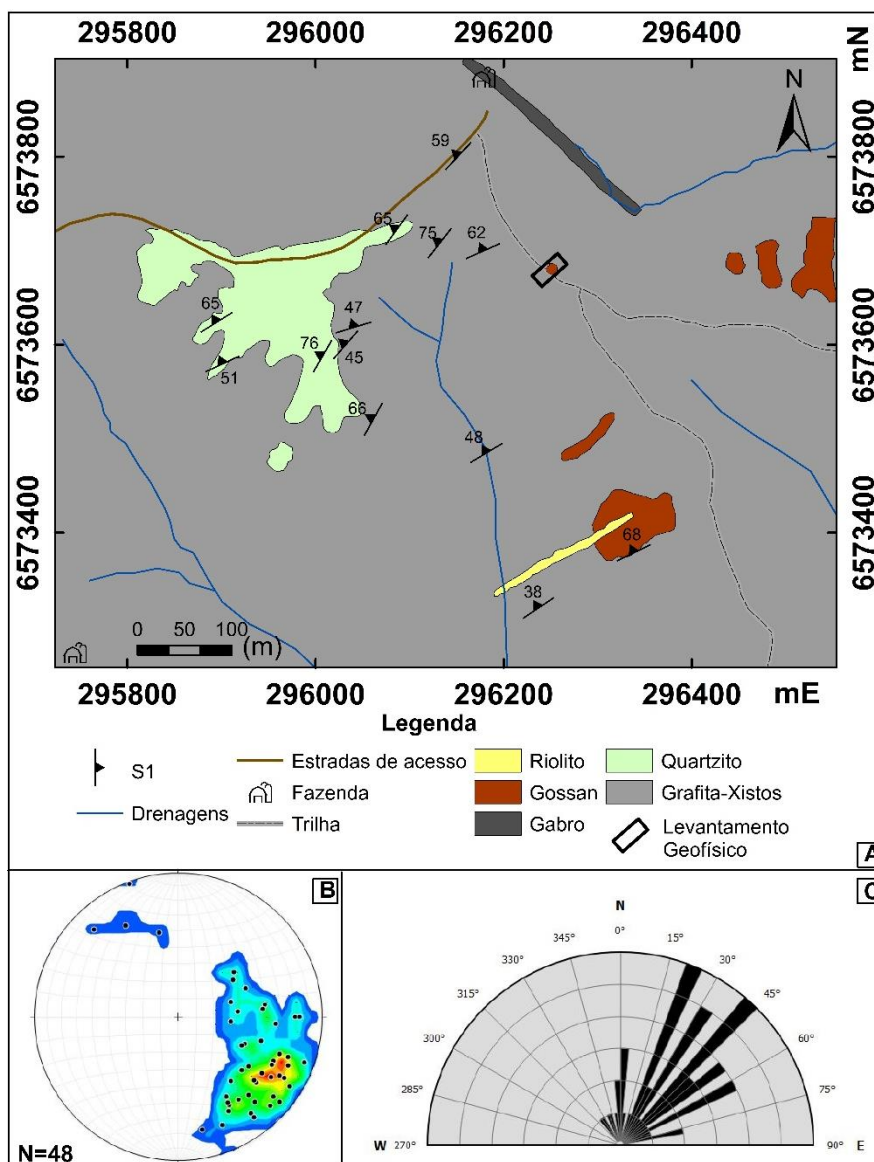


Fonte: Mapa geológico-estrutural elaborado pela autora.

5.2 Estruturas

As estruturas planares e lineares identificadas em campo consistiram na maior parte de foliações metamórficas, como xistosidade, planos axiais de dobras, fraturas, falhas e lineações metamórficas e eixos de dobras. A xistosidade ocorre bem definida no Grafita-Xisto, e consiste na foliação S1. A Foliação S1 possui orientação preferencial NE-SW (Figs. 19 A, B e C) com moderado a alto ângulo de mergulho predominantemente para NW e subordinadamente para SE. A foliação S1 é marcada principalmente pela orientação de minerais placóides (micas e grafita) e por lamelas de quartzo. Na foliação do Grafita-Xisto é comum a ocorrência de veios de quartzo de 0,1 a 5 cm dobrados, paralelos a foliação S1 e de microdobras intrafoliais.

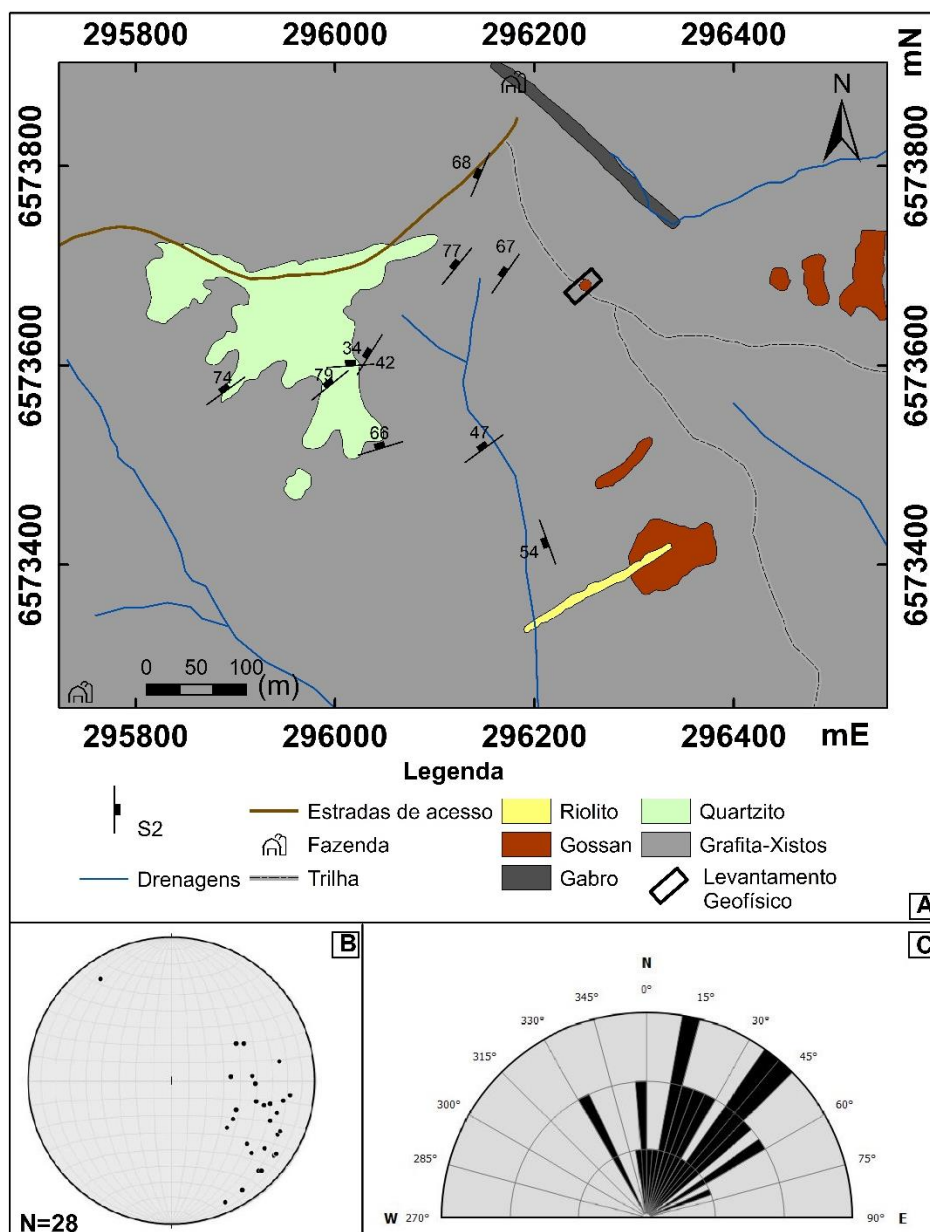
Figura 19 - Mapa geológico mostrando a orientação e distribuição espacial da foliação S1 na área de estudo. **B**: estereograma de pólos da foliação limitado por linhas de contornos. **C**: diagrama de rosetas de todas medidas de foliação mostrando orientação preferencial NE-SW.



Fonte: Mapa geológico-estrutural, estereograma de pólos e diagrama de rosetas e elaborados pela autora.

O plano axial (S2) possui orientação NE-SW (Figs. 20 A, B e C), ou seja, é de mesma direção que a S1, com moderado a alto mergulho da superfície axial, conforme classificação proposta por Fleuty (1964).

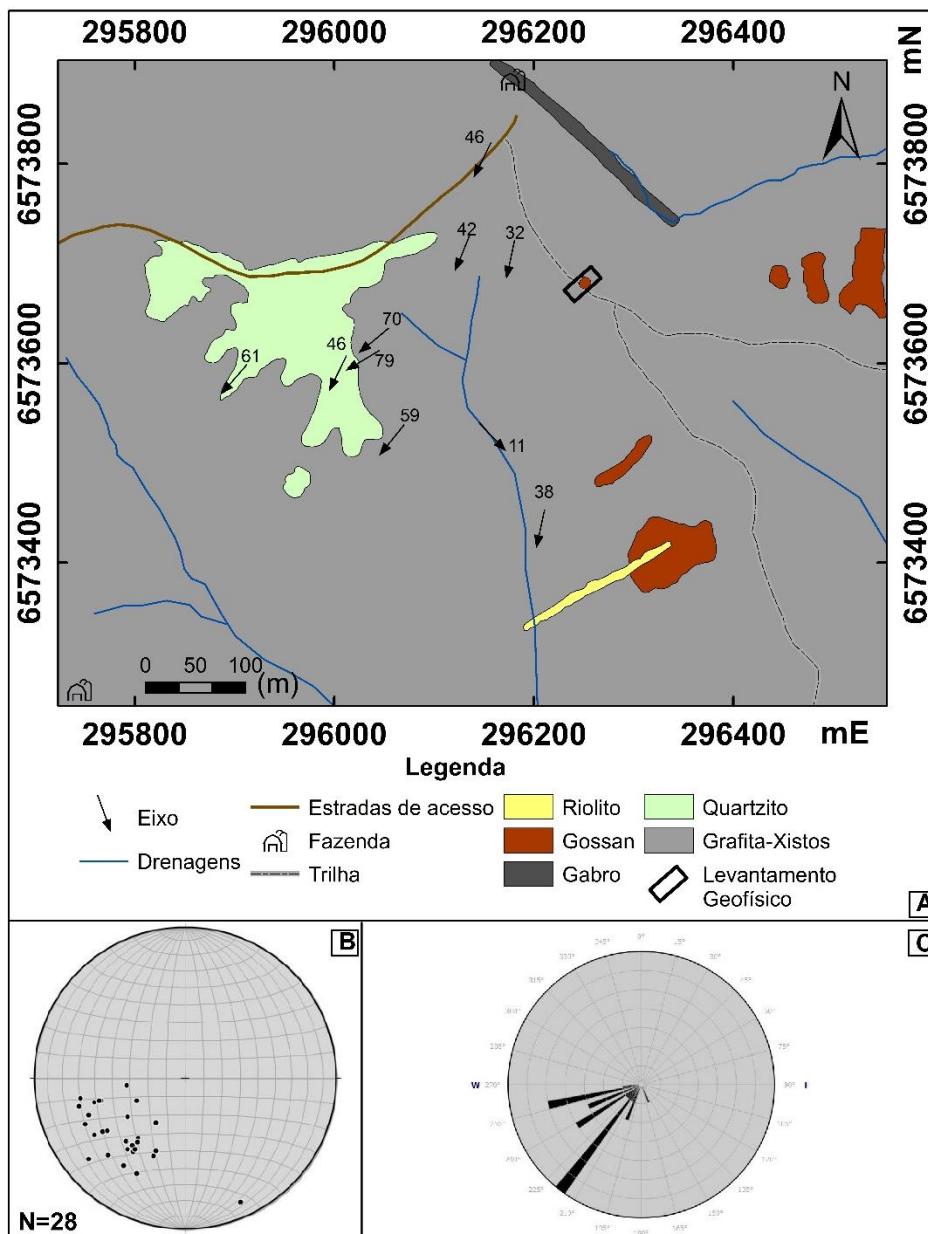
Figura 20 – **A:** mapa geológico-estrutural dos planos axiais das dobras. **B:** estereograma de pólos dos planos axiais limitado por linhas de contornos. **C:** diagrama de rosetas de todas medidas dos planos axiais mostrando orientação preferencial NE-SW.



Fonte: Mapa geológico-estrutural, estereograma de pólos e diagrama de rosetas e elaborados pela autora.

Os eixos das dobras mergulham para SW (Figs. 22 A, B e C) com baixo a moderado ângulo de caimento. Segundo a classificação de Fleuty (1964), as dobras mapeadas neste trabalho são inclinadas com caimento para NW. Em relação à classificação das dobras com base no ângulo interflancos há predomínio de dobras fechadas, com ângulo entre os flancos variando entre 70° e 10° (Fossen, 2012).

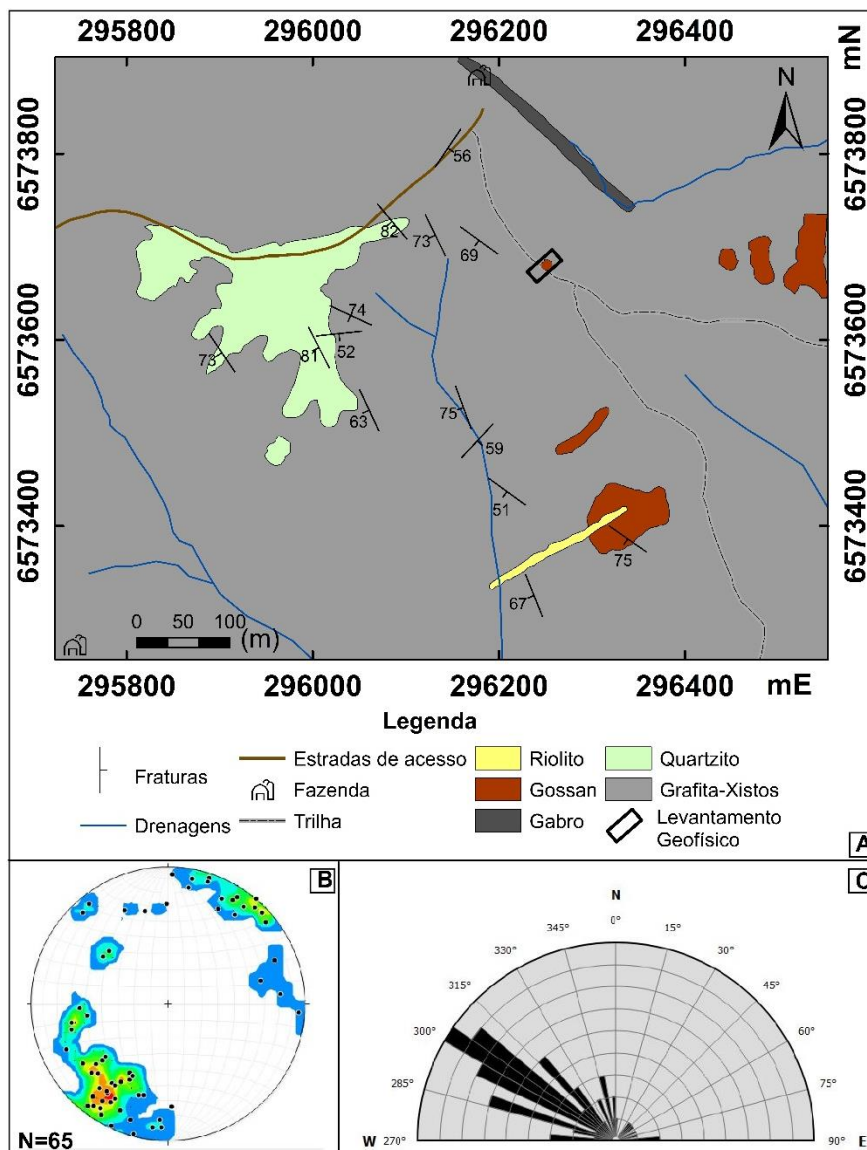
Figura 21 – **A**: mapa geológico-estrutural dos eixos das dobras. **B**: estereograma de pólos dos eixos das dobras limitado por linhas de contornos. **C**: diagrama de rosetas de todas medidas dos eixos das dobras mostrando caimento para SW.



Fonte: Mapa geológico-estrutural, estereograma de pólos e diagrama de rosetas e elaborados pela autora.

As fraturas ocorrem na maior parte nos Quartzitos e Grafita-Xistos, exibindo sempre alto grau de oxidação nos planos. Estas estruturas predominam na direção NW (Figs. 21 A, B e C), com moderado a alto grau de mergulho.

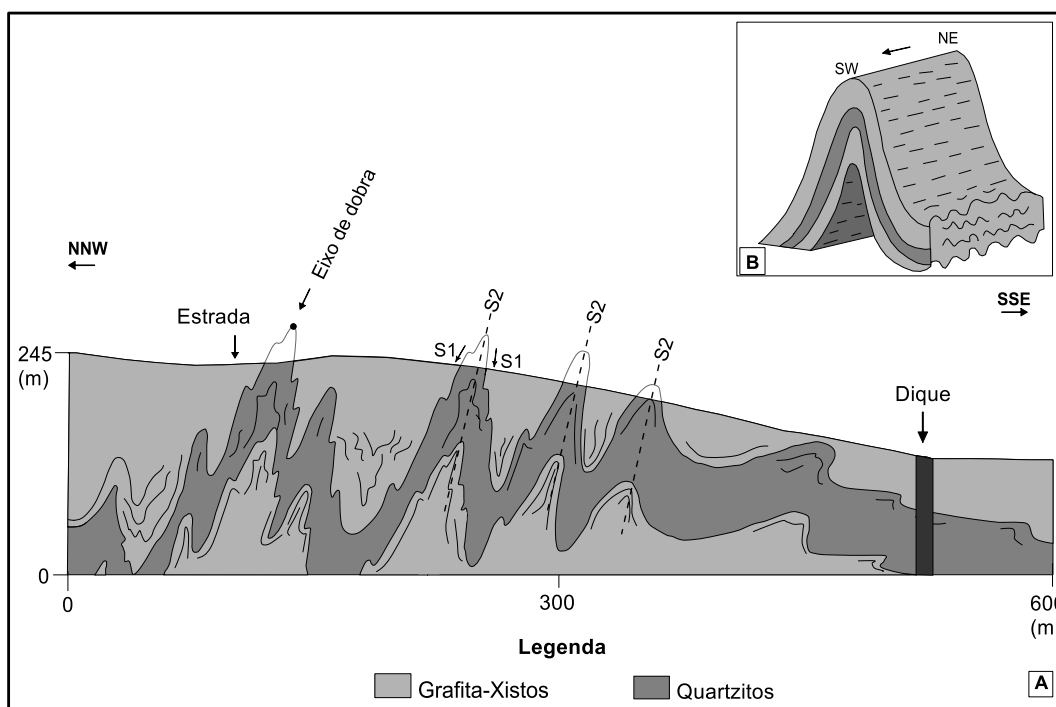
Figura 22 – **A:** mapa geológico-estrutural das fraturas dos Grafita-Xistos e Quartzitos. **B:** estereograma de pólos das fraturas limitado por linhas de contornos. **C:** diagrama de rosetas de todas as fraturas mostrando orientação preferencial NW-SE



Fonte: Mapa geológico-estrutural, estereograma de pólos e diagrama de rosetas e elaborados pela autora.

A partir dos dados litológicos e estruturais apresentados acima, foi construído um perfil geológico na direção NNW-SSE (Fig. 23 A) para melhor compreensão espacial das estruturas. No local onde foi construído o perfil geológico afloram camadas de Quartzitos e Grafita-Xistos intercalados e dobrados com caimento do eixo para SW (Fig. 23 B).

Figura 23 – **A**: Perfil geológico esquemático cortando a área de estudo na direção NW-SE mostrando intercalações de Grafita-Xistos e Quartzitos dobrados e um dique de Riolito. Estruturas representadas no perfil: Foliação (S1), Plano axial (S2) e Eixo de Dobra. **B**: Esboço dos eixos das dobras com caimento para SW.



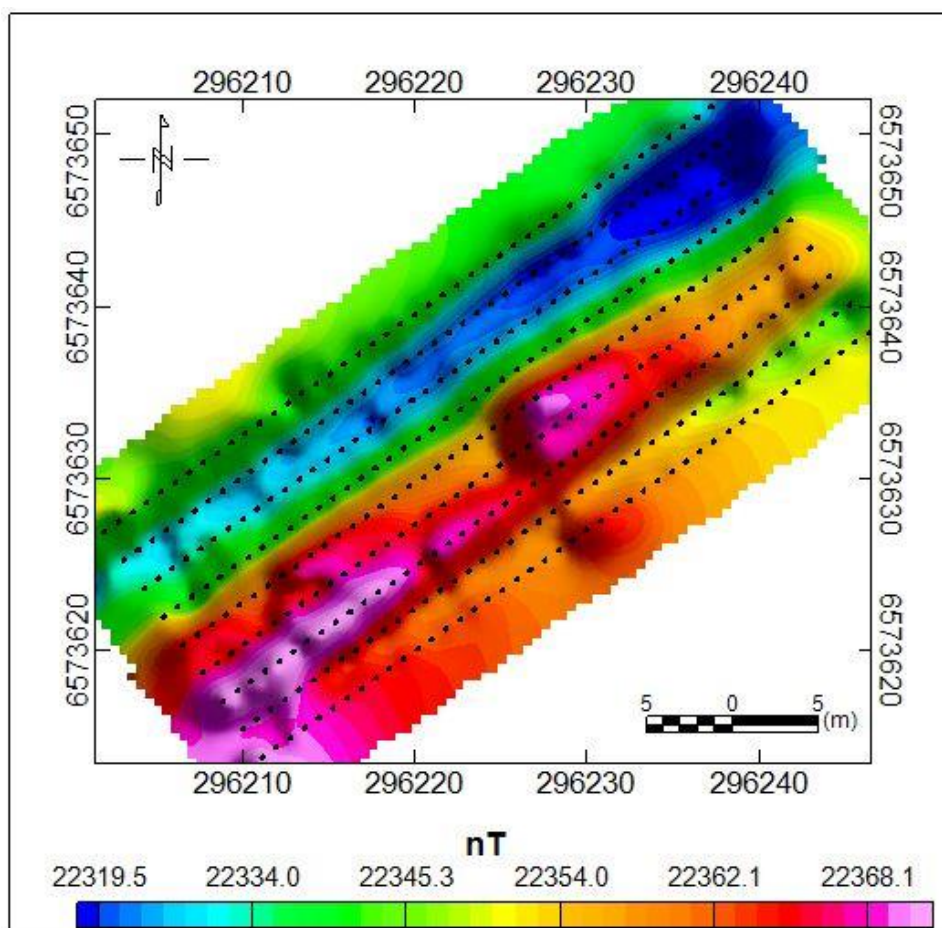
Fonte: Perfil geológico esquemático elaborado pela autora.

5.3 Magnetometria

Os dados do levantamento magnetométrico foram corrigidos da variação diurna e tratados no software *Oasis Montaj*. Foram gerados os mapas de Campo Magnético Anômalo Total, Amplitude de Sinal Analítico e Redução ao Polo.

O mapa do Campo Magnético Anômalo Total na área selecionada apresentou anomalia prolongada na direção NE-SW (Fig. 24). As anomalias magnéticas apresentam variações na ordem de 49 nT (Fig. 24).

Figura 24 – Mapa magnetométrico do Campo Magnético Anômalo Total com altos e baixos magnéticos. Os pontos pretos no mapa indicam os locais onde foram realizadas as medidas dos valores do Campo Magnético Total.

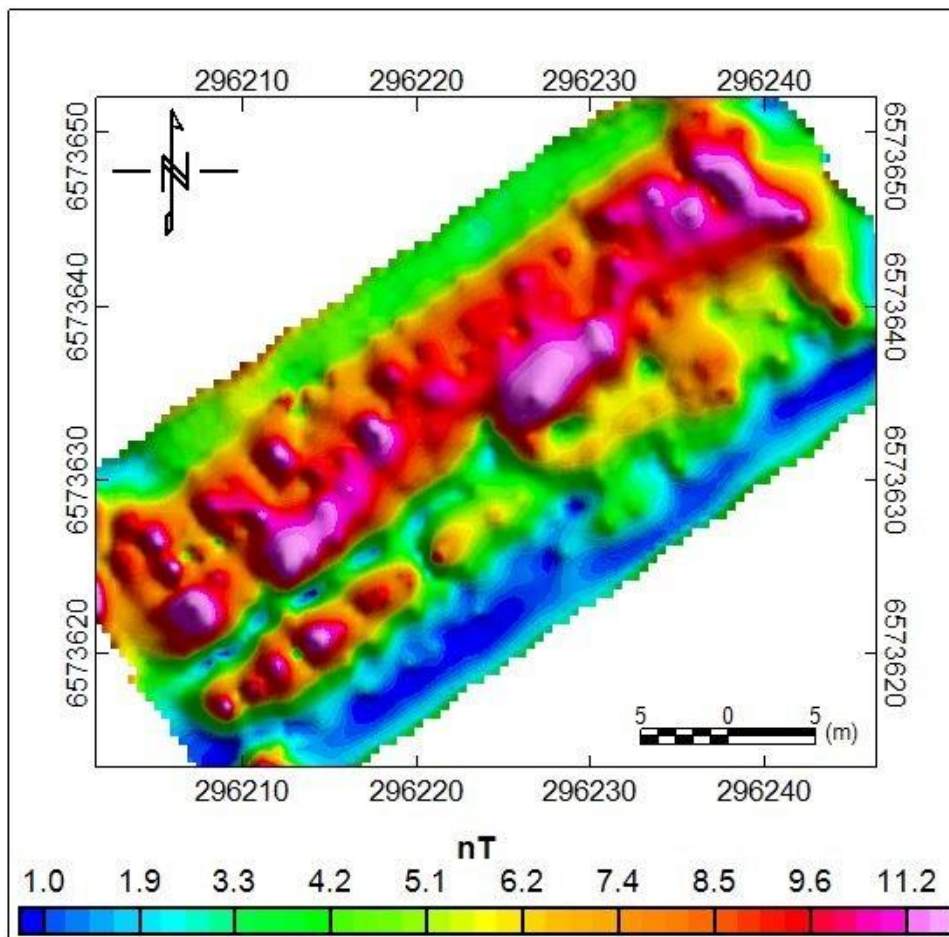


Fonte: Mapa magnetométrico do Campo Magnético Anômalo Total elaborado pela autora.

O filtro sinal analítico possui a principal característica o posicionamento das amplitudes resultantes logo acima das estruturas. É possível notar, neste mapa, a presença de altos magnéticos na porção central, SW e NE (Fig. 25), definindo zonas mais magnéticas.

No mapa para sinal analítico (ASA) os altos magnéticos apresentam valores na faixa de 11,2 nT e 6,2 nT para os altos magnéticos. Em campo, o alto magnético central está localizado muito próximo ao afloramento do *Gossan*, permitindo inferir que provavelmente os outros altos magnéticos também estejam associados à presença da mesma litologia em sub superfície. Entretanto, os altos magnéticos da porção NE do mapa ASA podem estar relacionados ao Gabro que intrude os Grafita-Xisto.

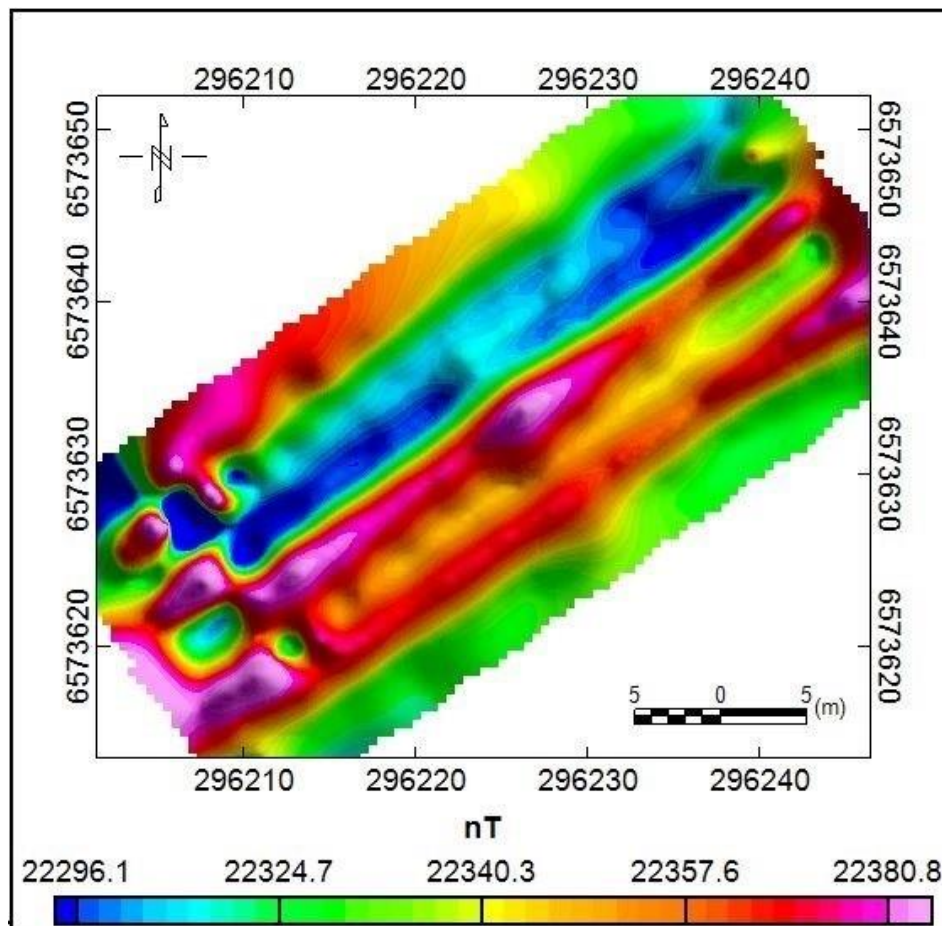
Figura 25 – Mapa para sinal analítico mostrando uma anomalia central associada, possivelmente, ao *Gossan*.



Fonte: Mapa ASA elaborado pela autora.

O mapa de redução ao polo apresenta altos e baixos magnéticos na ordem de 22380 e 22296 nT, respectivamente. A anomalia magnética central está associada ao *Gossan* e provavelmente todos os demais altos magnéticos mostrados no mapa de redução ao polo (Fig. 26) também estejam associados ao mesmo tipo de litologia.

Figura 26 – Mapa de redução ao polo com altos magnéticos nas porções central e SW do mapa, condicionadas provavelmente ao *Gossan*.



Fonte: Mapa redução ao polo elaborado pela autora.

6 INTEGRAÇÃO DOS DADOS

O mapeamento geológico revelou cinco litotipos inseridos na área de estudo e quatro estruturas lineares e planares. O Grafita-Xisto, litotipo mais abundante, apresenta foliação marcada pela segregação dos minerais placóides e do quartzo. No Quartzito a foliação S1 é marcada pelo estiramento dos cristais de quartzo alongados, indicando direção NE-SW. Para Saalman *et al.* (2006), estas estruturas estão associadas ao segundo episódio de dobramentos do CMP, ocorrido entre 650 e 600 Ma (Lenz, 2006).

O estudo mostrou também que os planos axiais são paralelos à S1 e mergulham para NW com moderado a alto ângulo de mergulho. Segundo Hartmann

et al. (2007), estas estruturas estão associadas à terceira fase de deformação com provável vergência para SE. Nesta fase de deformação, todas as rochas do CMP teriam sido afetadas por tectônica colisional (Lenz, 2006).

Seguindo a classificação proposta por Fleuty (1964), as dobras mapeadas neste trabalho são inclinadas com caimento para SW, conforme também descrito nos trabalhos anteriores de Saalman *et al.* (2006), Hartmann *et al.*, (2007) e Zvirtes (2012). Para Lenz (2006), estas estruturas se formaram em condições de alto grau metamórfico, associadas ao mesmo evento deformacional que gerou as S2.

As fraturas são as estruturas planares rúpteis mais abundantes nos Grafita-Xistos e Quartzitos, apresentado orientação preferencial NE-SW, com moderado a alto ângulo de mergulho para NW. Estas estruturas apresentam coloração avermelhada, causada principalmente pela oxidação dos sulfetos. Em algumas fraturas o sulfeto ocorre preservado baixo grau de alteração. Segundo Saalman *et al.* (2006), as fraturas do CMP foram geradas em regime de deformação rúptil, nas sucessivas fases de deformação que afetaram as rochas do Terreno Tijucas.

Os aspectos mineralógicos e texturais dos *Gossans* que ocorrem na região de Santana da Boa Vista são similares àqueles descritos por Oliveira & Oliveira (1998) no estudo dos *Gossans* auríferos da região de São Bartolomeu (GO). A fácies brechada é muito similar também ao *Gossan* descrito por Blot (2004) na África Central, composta predominantemente por restos do Grafita-Xistos com textura parcialmente conservada e fortemente ferruginizado. Em campo, verificou-se que esta porção foi intensamente afetada pela alteração hidrotermal, com sílica e carbonato como cimento. Já na porção maciça ocorre uma massa de oxi-hidróxidos de ferro, proveniente da alteração dos sulfetos, correspondente à zona intermediária do perfil proposto por Velasco *et al.* (2013).

O mapeamento geológico mostrou também a existência de rochas intrusivas maciças. Por não apresentarem indícios de deformação, estas rochas são, provavelmente, intrusões posteriores ao último episódio de deformação que afetou as rochas do CMP.

Os mapas de Amplitude do Sinal Analítico (Fig. 25) e Redução ao Polo (Fig. 26) evidenciaram estruturas associadas ao *Gossan* em sub-superfície com direção N55E, ou seja, são paralelas à direção da foliação S1 e S2. Em campo, o Riólito possui a mesma orientação das estruturas mostradas na magnetometria. Dessa forma, a

intrusão do Riolito é uma provável fonte para os fluidos hidrotermais relacionados às mineralizações de sulfetos que ocorrem associadas ao Grafita-Xisto.

O fato dos sulfetos ocorrerem nas fraturas, e sabendo que a formação destas estruturas cessaram somente após o colapso das rochas do Grupo Guaritas, reforça a hipótese de que as intrusões ígneas que ocorrem na área de estudo são a fonte de calor e líquidos que transportaram os sulfetos. O intemperismo, por sua vez, causou a oxidação e lixiviação destes minerais nos altos topográficos e facilitou a exposição de algumas estruturas onde a pirita ocorre impregnada na forma de cristais euédricos nas fraturas dos Grafita-Xistos.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos no trabalho permitiram identificar as estruturas e litotipos inseridos na área de estudo. O mapeamento geológico mostrou que os Grafita-Xistos e os Quartzitos são as litologias mais abundantes. Já as estruturas planares e lineares, formadas em regimes deformacionais dúcteis e rúpteis, foram correlacionadas com os diferentes episódios de deformação que atingiram o CMP.

A magnetometria revelou estruturas em sub-superfície alinhadas na direção N55E, e constituiu numa ferramenta eficaz no estudo das estruturas associadas ao *Gossan*. Os trabalhos de campo mostraram também a ocorrência de intrusões ígneas com mesmo alinhamento ressaltado nos mapas de campo magnético total. Dessa forma, estas intrusões ígneas são, provavelmente, a fonte dos líquidos hidrotermais que afetaram os Grafita-Xistos depositando os sulfetos.

Em relação ao *Gossan*, o presente trabalho permitiu detalhar os aspectos macroscópicos e texturais das fácies brechadas e maciças, e associar os afloramentos estudados com o perfil de alteração proposto por Velasco *et al.* (2013).

Assim, verificou-se também que as rochas mais ricas em quartzo afloram nos altos topográficos com vegetação rala e que nos baixos topográficos ocorrem os Grafita-Xistos com predomínio de árvores de médio porte. Já os *Gossans* afloram nas encostas de morros onde a vegetação típica é composta de gramíneas.

Sabendo a direção preferencial das estruturas associadas ao *Gossan*, sugere-se que novos levantamentos geofísicos sejam realizados na área com orientação N45W, ou seja, ortogonal à direção apresentada neste trabalho (ANEXO A). Outra

sugestão é mapear outros alvos afim de identificar novos afloramentos do *Gossan* e locais com prováveis sulfetação preservada.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLOT, A. **Caractérisation des chapeaux de fer en milieu latéritique cuirassé.** 2004. C. R. Geoscience 336, p. 1473–1480, 2004
- BOYLE, D.R. **Oxidation of Massive Sulfide Deposits in the Bathurst Mining Camp, New Brunswick.** In: Alpers, C.N., Blowes, D.W. (Eds.), *Environmental Geochemistry of Sulfide Oxidation*, p. 535–550, 1994.
- CHEMALE Jr, F. **Evolução geológica do Escudo Sul-rio-grandense.** In: Holz, M & De Ros, L.F. (ed). **Geologia do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, CIGO/UFRGS, p. 13–52, 2000.
- EASTOE, C.J., GUSTIN, M.M. **Volcanogenic massive sulfide deposits and anoxia in the Phanerozoic waters.** *Ore Geology Reviews* 10, p.179–197, 1996.
- FLEUTY, M.J. **The description of folds:** *Proceedings of the Geologists' Association*, v. 75, p. 461 – 492, 1964.
- FOSSEN, H. **Geologia Estrutural.** Tradução: Oficina de Textos, ANDRADE, F. R. D. São Paulo, p.584, 2012.
- GEOSOFT. *Oasis Montaj*, v. 7.5: **Geosoft inc.**, 2012 1 CD-ROM.
- GOLLMANN, KARINE. **Litoquímica e geoquímica isotópica das rochas metavulcânicas da antiforme capané, Complexo Metamórfico Porongos, RS.** Dissertação de Mestrado, UFRGS, p. 70, 2007.
- GUADAGNIN, F.; GUADAGNIN, E.; CHEMALE, F.; ABREU, F.; ZVIRTES, G. **Gossans associados a xistos grafitosos do Cinturão Porongos, Rio Grande do Sul, Brasil.** In: IV Simpósio Brasileiro de Exploração Mineral, Ouro Preto. Anais. v. u. 2010.
- Google Earth Pro Ink: <https://www.google.com.br/maps>. Consulta realizada em 12 agosto de 2015.
- HARTMANN, L. A.; SILVA, L. C; REMUS, M. V. D.; LEITE, J. A. D & PHILLIPP R. P. **Evolução geotectônica do Sul do Brasil e Uruguai entre 3.3 Ga e 470 Ma.** Congresso Uruguaio de Geologia, Atas, Sociedade Uruguaia de Geologia, Puntadel Este, p. 277 – 284, 1998.
- HARTMANN, L.A., CHEMALE Jr. F., PHILLIPP, R. P. **Evolução Geológica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano.** In: **Instituto de Geociências – 50 Anos de Geologia.** Editora Comunicação e Identidade. Porto Alegre, p. 99 – 127, 2007.
- HUSTON, D.L., PEHRSSON, S., EGLINGTON, B., ZAW, K. **The geology and metallogeny of volcanic-hosted massive sulfide deposits: variations through geologic time and with tectonic setting.** *Economic Geology*, vol. 105, p. 571–591, 2010.

JOST, H. **Geology and Metallogeny of the Santana da Boa Vista region, South Brazil**. University of Athens, Georgia, PHD thesis, p. 208, 1981.

JOST H. & BITENCOURT M.F. **Estratigrafia e tectônica de uma fração da Faixa de Dobramentos Tijucas no Rio Grande do Sul**. Acta Geológica Leopoldensia, São Leopoldo, 11(7), p.27-59, 1980.

LENZ, C. **Evolução metamórfica dos metapelitos da antiforme Serra dos Pedrosas: condições e idades do metamorfismo**. Dissertação de Mestrado, UFRGS, p. 111, 2006.

LUSA M., PHILIPP R.P., NARDI L. V. S, **Geoquímica e petrologia dos metagranitos do Complexo Encantadas, Santana da Boa Vista, (RS): a evolução de uma margem continental ativa no Paleoproterozóico**. Revista Brasileira de Geociências, 40:2. 151-166, 2010.

LUIZ, J. G.; SILVA, L. M. C. **Geofísica de Prospeção**. Belém: Universidade Federal do Pará, v.1, p. 311, 1995.

MACHADO, R. FRAGOSO-CESAR, A.R.S., FACCINI, U. **O domo de Santana (RS): domo gnáissico manteado ou figura de interferência tipo domo e bacia?** Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, 3, Curitiba. Anais Curitiba, SBG, v.1, p. 167-182, 1987.

MARQUES, J.C., CARAVACA, G., 1994. **Eventos tectono-metamórficos no Complexo Cerro da Árvore, Suíte Metamórfica Porongos, Encruzilhada do Sul-RS**. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 38, Balneário Camboriú. Boletim de Resumos Expandidos Balneário Camboriú, SC, v.2, p.73-74,1994.

MORGAN, L.A. **Geophysical characteristics of volcanogenic massive sulfide occurrence Model**. U. S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010-5070-C. Cap. 7, p. 7 – 16, 2012.

OLIVEIRA, M.N., & OLIVEIRA S. M. B. **Oxidação do minério sulfetado e formação de gossans na região de São Bartolomeu (GO)**. Revista Brasileira de Geociências, v. 28 (3), p. 391 – 396, 1998.

PHILIPP, R.P. & VIERO, A.P. **Geologia dos anfibolitos associados ao Gnaisse Encantadas**. Abstracts. In: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 5, Gramado, Atas, p. 67-68, 1995.

PHILIPP, R. P., LUSA, M., NARDI, L.V.S. **Geochemistry and petrology of diorict, tonalict and trondhjemitic gneisses from Encantadas Complex, Santana da Boa Vista, southernmost Brazil: a Paleoproterozoic continental-arc magmatism**. Anais da Academia Brasileira de Geociências, v.80, p. 735-748, 2008.

PORCHER, C.C & FERNANDES, L.A.D. **Relações embasamento / “cobertura” na porção ocidental do Cinturão Dom Feliciano: um esboço estrutural**. Pesquisas, 17(1/2), p. 72 – 96, 1995.

PUFAHL, P.K., HIATT, E.E. **Oxygenation of the Earth's atmosphere–ocean system: a review of physical and chemical sedimentologic responses**. *Marine and Petroleum Geology*, vol. 32, p.1–20, 2012.

REMUS, M.V.D., TEDESCO, M.A; PHILIPP, R. P. **Evolução estrutural dos metaforfitos Porongos a sul do Rio Camaquã / RS**. *Simpósio Sul Brasileiro de Geologia. Anais de Curitiba*, v.1, p. 222-243, 1987.

ROBB, L. **Introduction to Ore-forming Processes**. Blackwell Publishing, Oxford, p. 373, 2005.

ROISENBERG A., MARQUES J. C., BACHI F. A., FRANTZ J. C. **Gravataí- SH.22-X-C-V**. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais-CPRM / Serviço Geológico do Brasil. Rio Grande do Sul: UFRGS/CPRM, p- 72, 2007.

SAALMANN, K., REMUS, M. V. D., HARTMANN, L.A. **Structural evolution and tectonic setting of the Porongos belt, southern Brazil**, *Geological Magazine*, v. 143, p. 59-88, 2006.

SILVA, M.F. **Aerogeofísica, litogeoquímica e geologia na caracterização do rifte intracontinental da faixa Paraguai**. Dissertação de Mestrado, UNB, p. 117, 2007.

TORNOS, F., PETER J. M., ALLEN R., CONDE C., **Controls on the siting and style of volcanogenic massive sulphide deposits**. *Ore Geology Reviews* 68, p. 142–163, 2015.

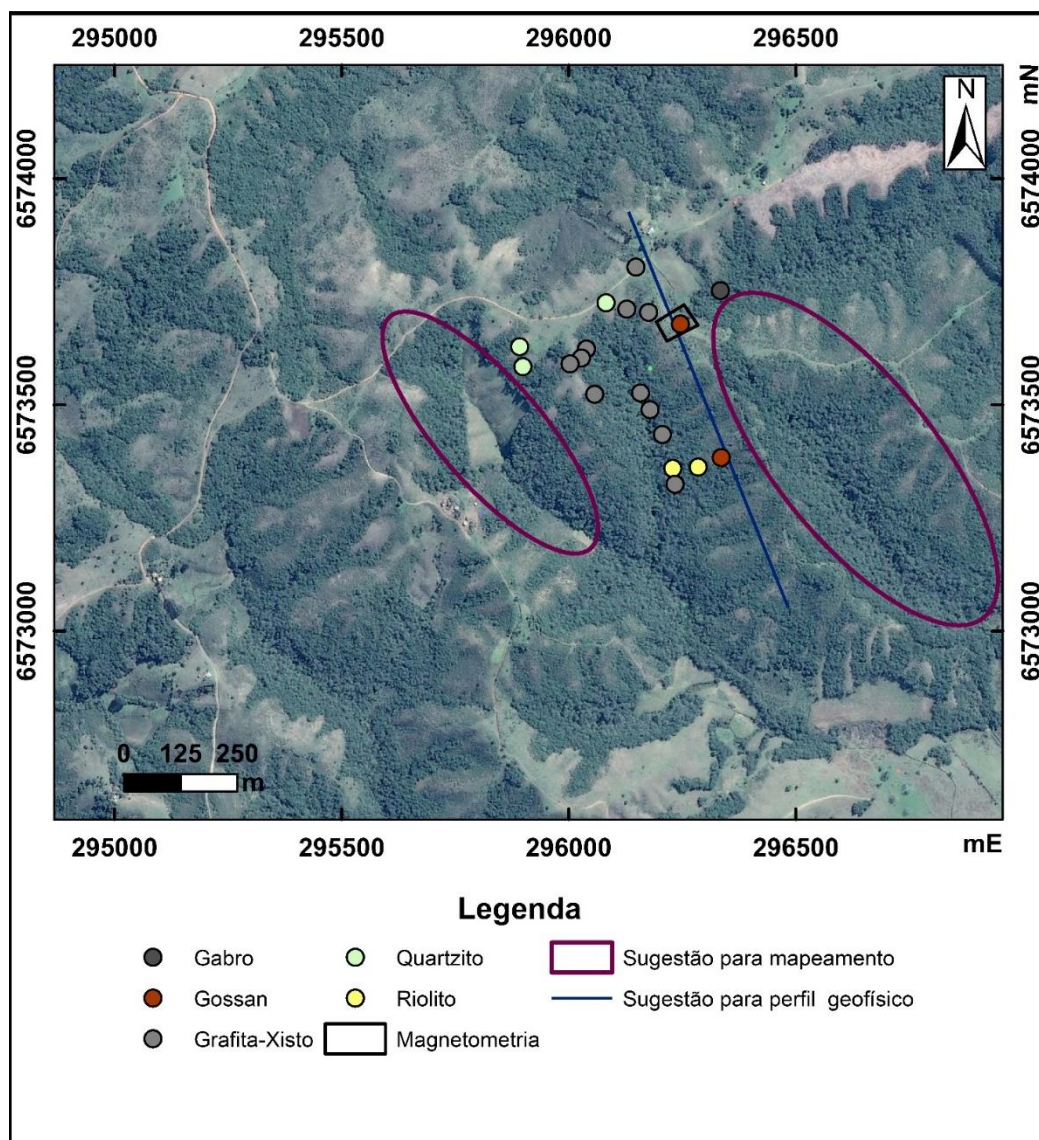
TWISS, R.J., MOORES, E.M. **Structrural Geology**. Editora Freeman and Company. New York, p. 736, 2007.

VELASCO F., HERRERO J.M., SUÁREZ S., YUSTA I., ALVARO A., TORNOS F., **Supergene features and evolution of gossans capping massive sulphide deposits in the Iberian Pyrite Belt**. *Ore Geology Reviews* 53, p.181–203, 2013.

ZVIRTES, G. **Evolução tectônica do metagranitos Capané, Complexo Porongos, Cachoeira do Sul, RS**. Trabalho de Conclusão de Curso, UFRGS, p. 80, 2012.

9 ANEXO A

Figura 27 – Mapa da área de estudo com sugestão para futuros trabalhos de mapeamento geológico e geofísico de detalhe.



Fonte: Imagem modificada do Google Earth.