



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UnB
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS – IG

**INTERPRETAÇÃO ESTRUTURAL REGIONAL DO ESCUDO
SUL-RIO-GRANDENSE - RIO GRANDE DO SUL - BRASIL,
COM BASE EM AEROMAGNETOMETRIA**

RODRIGO PIRAINÉ TRAVASSOS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO N° 344

BRASÍLIA

2014



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UnB
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS – IG

**INTERPRETAÇÃO ESTRUTURAL REGIONAL DO ESCUDO
SUL-RIO-GRANDENSE - RIO GRANDE DO SUL - BRASIL,
COM BASE EM AEROMAGNETOMETRIA**

RODRIGO PIRAINÉ TRAVASSOS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO N° 344

ORIENTADOR: Dr. Elton Luiz Dantas (UnB)

BRASÍLIA

2014



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UnB
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS – IG

INTERPRETAÇÃO ESTRUTURAL REGIONAL DO ESCUDO SUL-RIO-GRANDENSE - RIO GRANDE DO SUL - BRASIL, COM BASE EM AEROMAGNETOMETRIA

RODRIGO PIRAINÉ TRAVASSOS

Dissertação de Mestrado elaborada junto ao Curso de Pós-Graduação em Geologia (Área de Concentração em Prospecção e Geologia Econômica) do Instituto de Geociências (IG) da Universidade de Brasília (UnB), para a obtenção do Título de Mestre em Geologia.

ORIENTADOR: Dr. Elton Luiz Dantas (UnB)

EXAMINADORES: Dr. Elton Luiz Dantas (UnB)
Dra. Roberta Vidotti (UnB)
Dr. Ruy Paulo Philipp (UFRGS)

BRASÍLIA

2014

AGRADECIMENTOS

O momento no qual escrevemos nossos agradecimentos a todas as pessoas e instituições que nos apoiaram é único, pois sinaliza o término de uma etapa. Como o caminho percorrido até aqui foi um pouco longo, espero não fazer injustiça esquecendo-me de pessoas, agradecendo assim a todos que me ajudaram a chegar até aqui.

Agradeço muito a Universidade de Brasília (UnB) por ter me aceitado como aluno do programa de Pós-Graduação em Geociências, além de propiciar-me grande aprendizado na realização das disciplinas com seu excelente quadro de professores. Com o mestrado vi como é importante estarmos sempre dispostos a estudar mais e o quanto isto faz diferença.

Um grande agradecimento e abraço ao meu orientador Elton Luiz Dantas por suas idéias compartilhadas, discussões enérgicas e claro, orientação. Acho que a partir de agora começo a entender melhor as formas de se escrever para a academia. Muito obrigado Elton!

Agradeço muito ao meu companheiro de artigo e grande geofísico, João Henrique Boniatti, pela força na geofísica, além das discussões e sugestões de melhoria do trabalho. Também à estagiária de geologia Ashley por sua grande ajuda na redação do artigo em inglês.

Duas importantes empresas foram decisivas para que eu materializasse este projeto, as quais eu tive e tenho muito orgulho de compor parte do quadro de geólogos da exploração, a Anglo American e a Votorantim Metais. Na Anglo iniciei meu mestrado, enquanto que na Votorantim finalizei o projeto. Agradeço aos geólogos e gerência de ambas empresas por todo o suporte.

Além do suporte das instituições, crítico para o desenvolvimento do projeto, existe todo um suporte familiar fundamental para o bom desenvolvimento do trabalho. À minha Linda e Amada esposa Ana Paula Bald Travassos, agradeço e dedico esta tese. Sem a compreensão dela com as horas dedicadas ao trabalho, tanto acadêmico quanto profissional, seria impossível ter realizado tal feito. Te amo Minha Linda! Também dedico ao maior presente que minha esposa poderia ter me dado, nossa filha Mariana Bald Travassos. A nossa razão de viver e crescer com mais força ainda!

Se hoje posso finalizar um curso de pós-graduação, agradeço aos meus pais Fernando Lagos Travassos e Marisa Piraine Travassos por sempre terem incentivado e apoiado meus estudos na graduação, além de terem passado para mim e para meu irmão os maiores exemplos de ética e respeito para com o próximo que eu nunca vi igual. Esta tese também é dedicada à vocês, meus pais, os quais amo tanto.

Antes de pensar em fazer o curso de Geologia, pensava em cursar História. Por "livre e espontânea pressão", meu irmão sugeriu ao meu lado, no momento da inscrição do vestibular, que eu me inscrevesse no curso de Geologia. Naquela época, a única coisa que eu sabia de Geologia era que meu irmão viajava bastante para campo, e isso me agradava. Muito obrigado Dan (Daniel Piraine Travassos), por mostrar-me o Caminho das Pedras. Sou um apaixonado pela minha profissão e não faria outra coisa na vida.

Enfim, termino aqui esta seção e espero ter feito justiça em meus agradecimentos. Ainda existem os valorosos colegas de profissão, valorosos colegas de curso, parentes queridos, amigos, muitas pessoas envolvidas em todo o processo. Muito obrigado a todos! Espero que esta tese ajude a

contribuir com o desenvolvimento do conhecimento geológico no estado do Rio Grande do Sul e do Brasil, deixando assim um bom legado para o crescimento científico do nosso país.

Minas do Camaquã, 14 de Abril de 2014.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	4
LISTA DE FIGURAS	7
RESUMO	10
ABSTRACT	11
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	12
1.1. APRESENTAÇÃO E OBJETIVOS	12
1.2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE PESQUISA	13
CAPÍTULO 2 - REVISÃO GEOLÓGICA E GEOFÍSICA.....	15
2.1. GEOLOGIA REGIONAL.....	15
2.2. GEOFÍSICA REGIONAL	21
CAPÍTULO 4	25
REGIONAL STRUCTURAL INTERPRETATION FROM SUL-RIO-GRANDENSE SHIELD, BRAZIL, BASED ON AEROMAGNETIC DATA.....	25
(artigo submetido a Journal of South American Earth Sciences).....	25
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES.....	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área do aerolevanteamento geofísico (polígono vermelho) no estado do Rio Grande do Sul. Modificado de Lasa Prospecções S.A. (2010).	13
Figura 2 - Fotografia da interpretação inicial em escala 1:500.000, tendo o mapa da primeira derivada vertical ao fundo como base para interpretação manual em papel transparente na mesa de luz.	14
Figura 3 - Mapa dos domínios geotectônicos do Rio Grande do Sul, modificado de CPRM (2008). As linhas tracejadas indicam as estruturas regionais limítrofes das unidades tectono-estratigráficas. 16	16
Figura 4 - Evolução tectônica do Escudo Sul-rio-grandense, extraído de Hartmann et al., 2007... 20	20
Figure 5 - Domínios geofísicos de Costa (1997) em mapa da primeira derivada vertical do levantamento da Lasa Prospecções S.A. (2010). São eles: Domínio Leste, Domínio Central e Domínio Oeste, individualizados por eixos de anomalias geofísicas profundas com seus respectivos rebatimentos em superfície, coincidentes ou não com grandes estruturas aflorantes.....	22
Figura 6 - Fluxograma do processamento dos dados magnetométricos, modificado de Lasa Prospecções S.A. (2010).	23
Figura 7 - Produtos geofísicos utilizados na interpretação estrutural: mapa da amplitude do sinal analítico (acima) e primeira derivada vertical (abaixo), reduzidos do IGRF.....	24

REGIONAL STRUCTURAL INTERPRETATION FROM SUL-RIO-GRANDENSE SHIELD, BRAZIL, BASED ON AEROMAGNETIC DATA

(artigo submetido a *Journal of South American Earth Sciences*)

Fig. 1 - Main tectonic units from Sul-Rio-Grandense Shield in simplified geological map from CPRM (2008). Tectonic units are Taquarembó Terrane, São Gabriel Terrane, Tijucas Terrane e Pelotas Batholithe (Hartmann et al., 2007). The dashed black lines represent regional structures (DCTSZ) Dorsal de Canguçu Transcurrent Shear Zone, (PEF) Passo dos Enforcados Fault and (IL) Ibaré Lineament. The black polygon shows the study area. The study area are represented in Brazil's inset map by small red polygon.	29
Fig. 2 - Geophysical domains from Sul-Rio-Grandense Shield defined by Costa (1997) in first vertical derivative map (Lasa Prospecções S.A., 2010). The aeromagnetic domains (AMAGD) individualized by deep magnetic gravimetric anomalies axis are: East Domain, Central Domain and West Domain.....	30
Fig. 3 - Amplitude of the analytic signal (ASA) and first vertical derivative maps used to interpret magnetic domains.	33
Fig. 4 - Magnetic domains and structural interpretation from Sul-Rio-Grandense Shield. Taquarembó Domain in black, São Gabriel Domain in purple, Tijucas Domain in orange, Pelotas Domain in red, and Paraná Domain in green, all of them individualized by regional magnetic lineaments indicated in figure above.....	35

Fig. 5 - Main lineaments and structures from Sul-Rio-Grandense Shield's interpreted airborne....	36
Fig. 6 - Taquarembó Domain limited by Bagé Magnetic Lineament / Ibaré Lineament to the north, and with Caçapava Suture to the east, showing its fold lineament geometry. The limit with Paraná Basin and recent covers is marked to the south, west and central central portion. First vertical derivative map background.....	38
Fig. 7 - São Gabriel Domain limited by Bagé Magnetic Lineament (south), Ibaré Lineament (south), São Gabriel Magnetic Lineament (NW), Piquiri Magnetic Lineament (north) and Caçapava Suture (east), with its NE lineament strike inflecting to WNW direction in south portion. Paraná Basin limit to the south, west and north figure portion. Well marked Neoproterozoic granites in airborne are (C) Caçapava Granite, (SS) São Sepé Granite, (J) Jaguari Granite and (L) Lavras Granite. First vertical derivative map background.....	40
Fig. 8 - Tijucas Domain limited by Caçapava Suture (west), Piquiri Magnetic Lineament (north) and Dorsal de Canguçu Transcurrent Shear Zone (east), showing its linear lineaments pattern. Paraná Basin and recent covers surrounding Tijucas Domain. First vertical derivative map background.....	42
Fig. 9 - Minas do Camaquã District, Cerro dos Martins e Cerro da Angélica targets position in Tijucas Domain. First derivative map background. UTM coordinate system, DATUM Córrego Alegre, 22S zone.....	43
Fig. 10 - Geological map (above) and cross section (below) from Cerro dos Martins target (Votorantim Metais, 2012). NE and NW normal faults in geological map putting the Guaritas Group (top of basin) in contact with Bom Jardim Group (bottom of basin). Cross section showing bedding drag associated with NE normal faults. UTM coordinate system, DATUM Córrego Alegre, 22S zone.	44
Fig. 11 - Geological map (above) and cross section (below) from Cerro da Angélica target (Votorantim Metais, 2011). NE and NW normal faults in geological map putting the Santa	45
Fig. 12 - Pelotas Domain limited by Dorsal de Canguçu Transcurrent Shear Zone (west) and Formigueiro Magnetic Lineament (north), showing its sigmoid lineaments pattern interrupted in its central-north parts by NE, NW and EW linear lineaments. Paraná Basin and recent covers surrounding Pelotas Domain. First vertical derivative map background.	47
Fig. 13 - Geological map (above) and cross section (below) from Ferraria Target. Linear structures in geological map dipping in medium angle to NW and NE, showing transcurrent and thrusting components as part from a transpressive system. Foliations in cross section dipping to A (NW) and B (SE). UTM coordinate system, DATUM Córrego Alegre, 22S zone.....	48
Fig. 14 - Paraná Domain limited by São Gabriel Magnetic Lineament, Formigueiro Magnetic Lineament and Piquiri Magnetic Lineament. Piquiri Syenite magnetic signature in ellipse #1. Strong magnetic anomaly related with non outcropping serpentinite body in ellipse #2. Black points (A and B) indicate strong semi-circular anomalies related with ring-dikes. First vertical derivative map background.....	50
Fig. 15 - Non outcropping semi-circular magnetic anomaly (A photo). Columnar joints from magnetite basalt ring dike in (B photo).....	51
Fig. 16 - Geophysical domains from Costa (1997) in comparison with the magnetic domains from the present thesis. Costa (1997) domains are West, Central and East. The suture zones are (SGS)	

São Gabriel Suture, (CS) Caçapava Suture and (PAS) Porto Alegre Suture, with their respective superficial projections (PASSL) Porto Alegre Suture Superficial Limit and (CSSL) Caçapava Suture Superficial Limit. The main regional structures include (IL) Ibaré Lineament and (DCTSZ) Dorsal de Canguçu Transcurrent Shear Zone. Domains from this thesis are Taquarembó Domain in black, São Gabriel Domain in purple, Tijucas Domain in orange, Pelotas Domain in red and Paraná Domain in green. First vertical derivative map background..... 52

RESUMO

O levantamento aerogeofísico de alta resolução executado pela LASA Prospecções S.A. por solicitação da CPRM - Serviço Geológico do Brasil - abrangeu a porção Pré-Cambriana do Estado do Rio Grande do Sul, além de parte da Bacia Paleozóica do Paraná. Interessantes feições magnéticas do ponto de vista tectônico e estrutural são salientadas, fazendo-se a interpretação dos lineamentos magnéticos necessária para uma análise estrutural regional, auxiliando assim no conhecimento geológico local. Esta tese apresenta a interpretação de lineamentos dos mapas magnetométricos (amplitude do sinal analítico e primeira derivada vertical) produzidos.

Interpretação manual dos lineamentos magnéticos em mapas na escala 1:500.000 foi executada, sendo refinada em ambiente GIS na escala 1:250.000 e integrada com mapas geológicos regionais. Perfis regionais foram executadas para validar alguns pontos da interpretação, além da correlação com mapas de detalhe cedidos pela Votorantim Metais.

Cinco domínios geofísicos são delimitados por lineamentos magnéticos regionais: Domínio Taquarembó, Domínio São Gabriel, Domínio Tijucas, Domínio Pelotas e Domínio Paraná. Cada domínio representa fragmentos litosféricos caracterizados por padrões estruturais e deformacionais próprios. Os principais resultados são colocados nos itens abaixo:

- Empurrões com componente transcorrente conduzem o cavalgamento do Domínio São Gabriel contra o Domínio Taquarembó, dada na morfologia dos lineamentos magnéticos, além da revisão de dados de campo de trabalhos de cunho regional.

- O cavalgamento do Domínio São Gabriel contra o Domínio Taquarembó causa dobramento regional de eixo EW no Domínio Taquarembó, marcado pela geometria curvilínea dos lineamentos magnéticos.

- Os lineamentos magnéticos de direção NE e NW do Domínio Tijucas são relacionados com falhas normais de componente direcional, Mapas geológicos de detalhe, revisão dos dados do Distrito das Minas do Camaquã e revisão de trabalhos anteriores corroboram este comportamento.

- Zonas de transcorrência na porção Sul do Domínio Pelotas foram identificadas e são dadas na geometria de lineamentos magnéticos sigmoidais balizados por falhas transcorrentes NE, evidenciando assim zonas transpressivas do cisalhamento regional. Mapeamento geológico corrobora esta interpretação.

- Fortes anomalias magnéticas semi-circulares do Domínio Paraná podem estar relacionadas com diques anelares que marcam vulcões do magmatismo basáltico da Formação Serra geral.

A definição de domínios geofísicos no Escudo Sul-Rio-Grandense e a determinação mais precisa de seus limites regionais são ferramentas que nos ajudam a entender o arcabouço estrutural e tectônico da região, servindo de suporte para a geração de novos modelos de evolução crustal.

Palavras-chave: Aeromagnetometria, Interpretação Estrutural, Domínios Magnéticos.

ABSTRACT

The geophysical high resolution airborne survey executed by LASA Prospecções S.A. and supported by CPRM - Brazil Geological Survey - had herein its magnetic products interpreted. The products are first vertical derivative and analytic signal amplitude. The Pre-Cambrian Sul Rio-Grandense Shield and part from Paraná Paleozoic Basin in Rio Grande do Sul State (south Brazil) were covered with airborne.

Manual interpretation in 1:500.000 scale maps was refined in GIS environment in 1:250.000 scale, also being integrated with regional geology maps. Geological profiles and detail geological maps were used to correlate with magnetic interpretation.

Five magnetic domains were established with structural interpretation, all of them being limited by regional lineaments: Taquarembó Domain, São Gabriel Domain, Tijucas Domain, Pelotas Domain and Paraná Domain. Each geophysical unit are associated with lithospheric fragments individualized by structural and deformational patterns. The main findings are listed below:

- Thrusting fronts against Taquarembó Domain are related with São Gabriel Domain accretion with transcurrent component.

- The thrusting from São Gabriel Domain against Taquarembó Domain causes regional folding in Taquarembó Domain, marked by fold lineaments geometry with EW axis.

- The NE and NW magnetic lineaments from Tijucas Domain are related with normal faults with directional component, corroborated by detail geological mapping, review from Camaquã Mines District data and previous papers.

- Internal transcurrent shear zones from Pelotas Domain south portion were identified in sigmoid lineaments geometry enclosed by major NE transcurrent faults, marking transpressive zones in regional shearing. Field data from detail geological mapping corroborates this fact.

- Semi-circular magnetic anomalies in Paraná domain could be related with ring-dikes related to volcanic structures from Serra Geral Formation basalt flows.

Delimitating geophysical domains are fundamental tools to understand the tectonic and structural features that help in crustal evolution models.

Keywords: Aerogeophysical Survey, Structural Interpretation, Magnetic Domains.

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1. APRESENTAÇÃO E OBJETIVOS

O Escudo Sul-Rio-Grandense (Hartmann *et al.*, 2007) é caracterizado pelo conjunto de rochas Pré-Cambrianas e Cambrianas, as quais compõem a parte sul da Província Mantiqueira (Almeida & Hasui, 1984). O escudo constitui-se de rochas metamórficas, ígneas e sedimentares vinculadas aos estágios pré, sin e pós colisionais da Orogênese Brasileira no Neoproterozóico.

Os objetivos do trabalho são delimitar domínios magnéticos com base em seus lineamentos regionais limítrofes e analisar o padrão de lineamentos de cada domínio. Desta forma, em conjunto com a integração de dados regionais e de campo, sugerimos a história deformacional em cada bloco geofísico, além de contribuir no melhoramento dos modelos tectônicos propostos para o Escudo Sul-Rio-Grandense.

Os produtos magnetométricos do levantamento utilizados foram a amplitude do sinal analítico e a primeira derivada vertical, interpretados em escala 1:500.000 e 1:250.000. A interpretação manual foi digitalizada e integrada em plataforma GIS para análise em conjunto com outros dados relevantes como geologia regional, limites tectônicos, outros produtos geofísicos do levantamento, entre outros.

O mais novo levantamento aerogeofísico contratado pela CPRM - Serviço Geológico do Brasil - cobriu o Pré-Cambriano do estado do Rio Grande do Sul (Escudo Sul-rio-grandense), além de parte da Bacia do Paraná (Milani *et al.*, 2007).

1.2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE PESQUISA

A área de pesquisa compreende a porção centro-sul do estado do Rio Grande do Sul, conforme a figura abaixo.

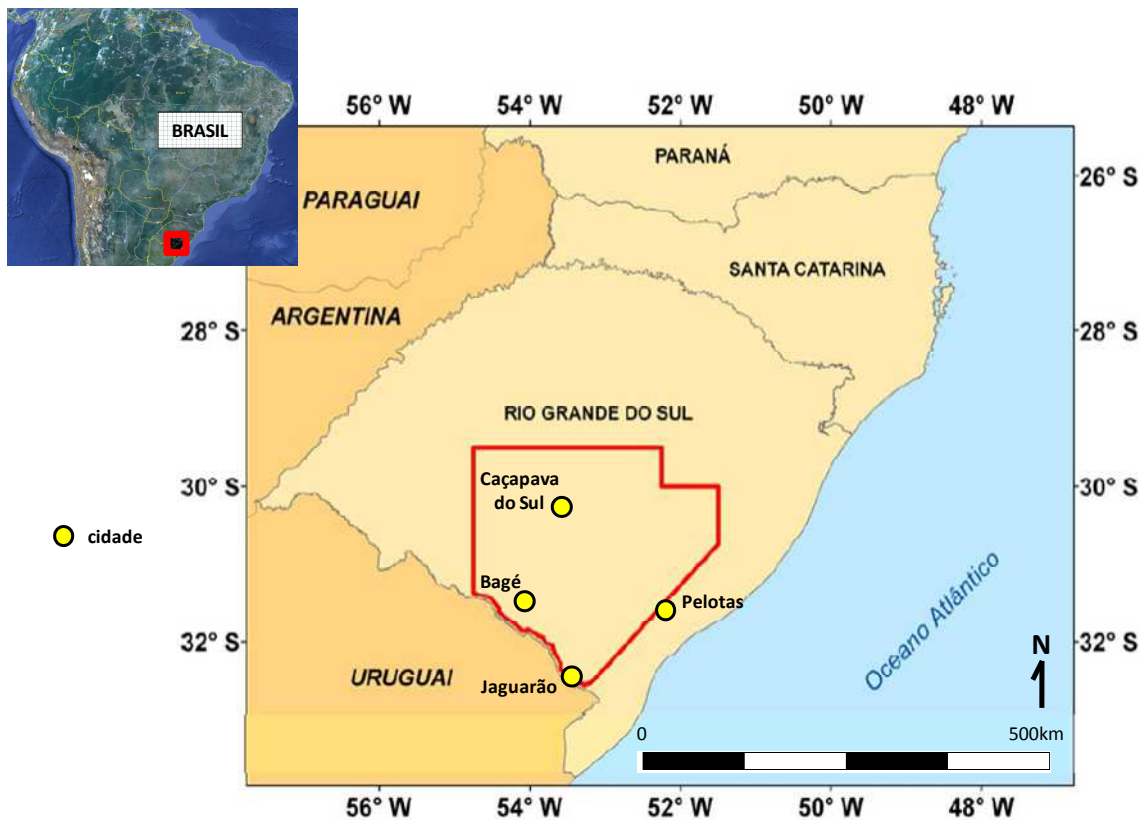


Figura 1 - Área do aerolevantamento geofísico (polígono vermelho) no estado do Rio Grande do Sul. Modificado de Lasa Prospecções S.A. (2010).

1.3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia aplicada na interpretação dos produtos magnetométricos baseou-se em revisão bibliográfica de trabalhos com proposição similar desenvolvidos na região e da produção feita em trabalhos de geologia regional, além da revisão de trabalhos em diversos locais do mundo que abordaram a interpretação de mapas geofísicos na delimitação de domínios. Executou-se a interpretação manual dos mapas da primeira derivada vertical e amplitude do sinal analítico na escala 1:500.000 e 1:250.000 (figura 2), com posterior digitalização, georeferenciamento e refinamento dos traçados dos lineamentos para a correlação com outras informações disponíveis em ambiente GIS. As principais feições da interpretação foram validadas em campo para os domínios Taquarém, Tijucas, Pelotas e Paraná, tanto com a realização de perfis regionais, quanto com o trabalho desenvolvido pelo autor como geólogo de exploração da Votorantim Metais.

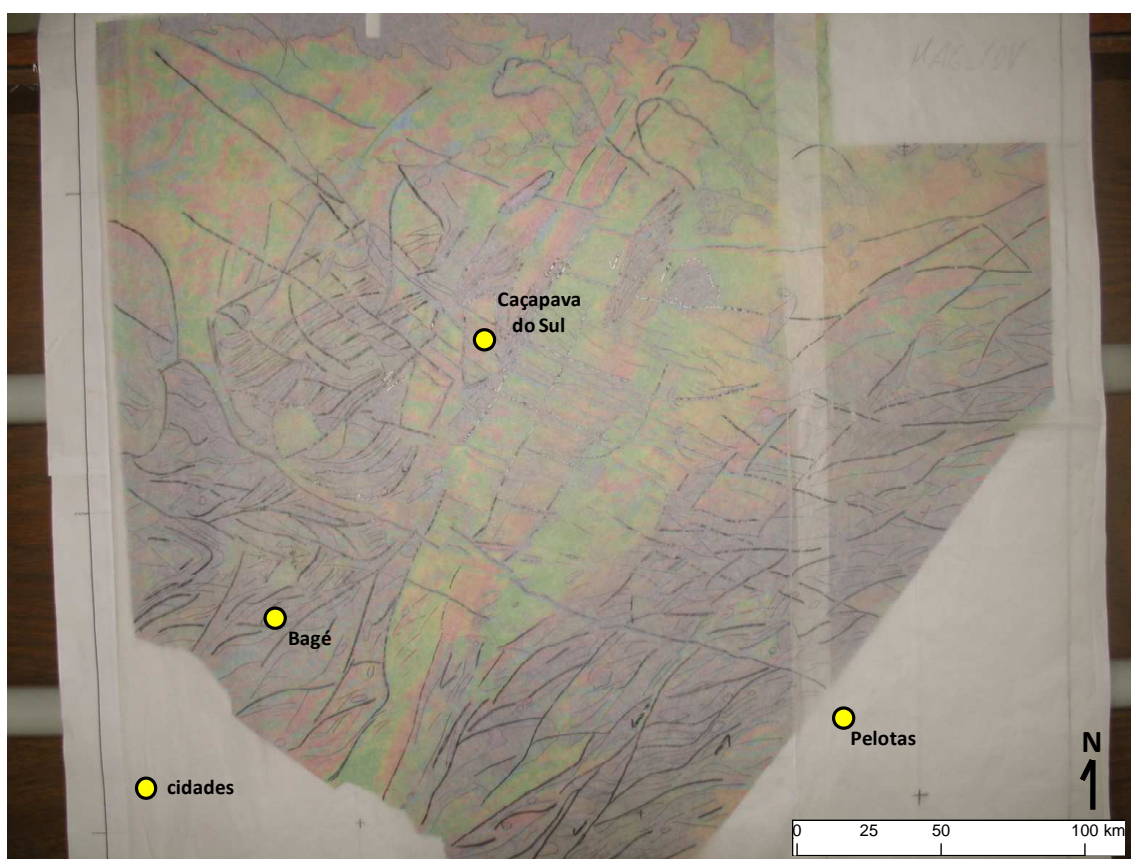


Figura 2 - Fotografia da interpretação inicial em escala 1:500.000, tendo o mapa da primeira derivada vertical ao fundo como base para interpretação manual em papel transparente na mesa de luz.

CAPÍTULO 2 - REVISÃO GEOLÓGICA E GEOFÍSICA

2.1. GEOLOGIA REGIONAL

O Escudo Sul-Rio-Grandense (Chemale Jr., 2000) é caracterizado pelo conjunto de rochas Pré-Cambrianas no sul do Estado do Rio Grande do Sul, constituindo-se da parte sul da Província Mantiqueira (Almeida & Hasui, 1984). O escudo é formado por rochas metamórficas, ígneas e sedimentares vinculadas aos estágios pré, sin e pós colisionais da Orogênese Brasileira no Neoproterozóico.

Segundo Hartmann *et al.* (2007), o escudo (figura 3) é o resultado dos processos de geração e deformação de crosta continental, cuja contribuição maior ocorreu em dois ciclos orogênicos, o primeiro de idade Paleoproterozóica (2,26 - 2,00 Ga), seguido do ciclo Neoproterozóico definido como Ciclo Brasileiro (900 - 535 Ma). Em cada ciclo orogênico é registrada a construção de crosta oceânica com a presença de micro-continentes migrando nestes oceanos e a formação de arcos de ilhas e margens ativas. O anteparo Arqueano contra o qual estabeleceu-se a colisão continental Paleoproterozóica não está registrado no estado, porém para os processos vinculados à colisão Neoproterozóica do Brasileiro temos como referência o Cráton La Plata.

Quatro unidades tectono-estratigráficas são individualizadas (figura 3), sendo uma representante do Cráton La Plata e o restante vinculadas aos momentos pré, sin e pós-colisionais da Orogênese Brasileira, pertencentes ao Cinturão Dom Feliciano. O Terreno Taquarembó (Paleoproterozóico) é o representante do Cráton La Plata. Os terrenos São Gabriel, Tijucas e o Batólito Pelotas são constituintes do Cinturão Dom Feliciano e vinculados aos momentos pré, sin e pós-colisionais do choque entre os crátons La Plata e Kalahary no Neoproterozóico. Também relacionada com os momentos colisional e pós colisional do ciclo Brasileiro, servindo como uma "calha tectônica" ou molassa da cadeia de montanhas estabelecida com a colisão Neoproterozóica, temos a Bacia do Camaquã, com suas unidades englobadas no Supergrupo Camaquã de Frago-Cesar *et al.* (2003).

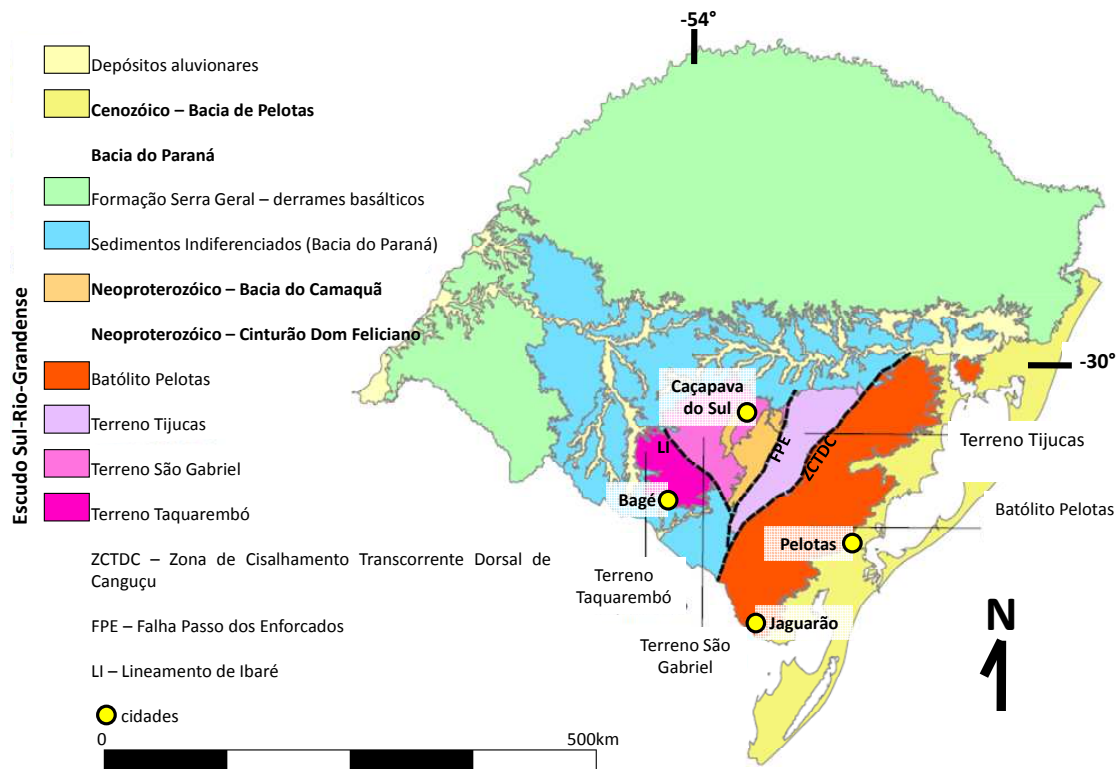


Figura 3 - Mapa dos domínios geotectônicos do Rio Grande do Sul, modificado de CPRM (2008). As linhas tracejadas indicam as estruturas regionais limítrofes das unidades tectono-estratigráficas.

O Terreno Taquarembó, exposto na porção SW do Rio Grande do Sul, é constituído pelo Complexo Santa Maria-Chico, sendo este composto por piroxenitos, harzburgitos, silimanita gnaisses, mármore e gnaisses cálcio-silicáticos. (Hartmann *et al.*, 2007). A foliação metamórfica de alto grau é subvertical e próxima da direção EW, sendo estas condições de metamorfismo dadas por volta de 800°C e 10Kbar. SHRIMP de zircões mostra idades de acreção dos magmas do complexo granulítico entre 2,5 - 2,1 Ga, sendo o evento colisional/metamórfico gerador dos granulitos em torno de 2,02Ga (Hartmann *et al.*, 1999, 2000). Uma série de intrusões graníticas batolíticas, subvulcânicas e derrames vulcânicos associados de idade Neoproterozóica afetam as rochas Paleoproterozóicas do Terreno Taquarembó.

O Terreno São Gabriel está localizado na porção centro-oeste do Rio Grande do Sul, limitando-se à SW com o Terreno Taquarembó através do Lineamento de Ibaré (Hartmann *et al.*, 2007) e a leste com as unidades da Bacia do Camaquã através da Sutura de Caçapava (Costa, 1997). Constitui-se de gnaisses cálcio-alcálicos juvenis (Babinski *et al.*, 1996) cortados por metagranitóides, todos incluídos no Complexo Cambaí e intrusivos nas sequências vulcanosedimentares dos complexos Palma e Bossoroca. O Complexo Cambaí possui idades de zircão (TIMS e SHRIMP) em torno de 735 - 680 Ma (Babinski *et al.*, 1996). O Complexo Bossoroca é constituído de rochas vulcânicas e vulcanoclásticas andesíticas e dacíticas, representando a parte vulcânica principal do arco magmático desenvolvido no Terreno São Gabriel. Essa implicação para o Complexo Bossoroca é corroborada pelas idades de cristalização de metadacitos (U-Pb zircão, TIMS e SHIRMP) em torno de 753 ± 2 Ma, próximas das idades dos granitóides do Complexo Cambaí. O

Complexo Palma é constituído por rochas meta-vulcânicas máficas e ultramáficas, intercaladas com xistos e paragneisses pelíticos e quartzíticos. Representa uma associação de bacia *back-arc* e ofiolitos relacionados com a tectônica de subducção geradora das rochas juvenis do Terreno São Gabriel (Hartmann *et al.*, 2007). A idade modelo TDM para os isótopos de Nd das rochas máficas e ultramáficas do Complexo Palma é Neoproterozóica, entre 1,3 e 0,6 Ga. A presença de um platô oceânico na Mina da Palma (Lopes e Hartmann, 2003) indica idade de 704 ± 2 Ma em zircão (SHRIMP), corroborando para a presença de ofiolitos associados à subducção formadora do Terreno São Gabriel. O Cinturão Metamórfico Vacacaí (Laux *et al.*, 2010) é uma importante faixa meta-vulcanossedimentar do Terreno São Gabriel, a qual bordeja toda a associação de rochas juvenis desta unidade, sendo constituída por metassedimentos, metavulcânicas e metaultramáficas com idade em torno de 760 a 730 Ma. A faixa não está contemplada no trabalho de Hartmann *et al.* (2007) e pode constituir uma associação de bacia Neoproterozóica amalgamada contra a associação de arcos juvenis do Terreno São Gabriel.

O Terreno Tijucas, localizado na porção centro-sul do estado, é limitado com o Batólito Pelotas a leste pela Zona de Cisalhamento Transcorrente Dorsal de Canguçu (Philipp *et al.*, 2003) e pela zona de cisalhamento Passo do Marinheiro, sendo representado em grande parte pelo Complexo Porongos, uma sequência meta-vulcanossedimentar Neoproterozóica, e pelos gnaisses Paleoproterozóicos do Complexo Encantadas, embasamento do Complexo Porongos. O Complexo Encantadas é constituído por gnaisses tonalíticos, trondhjemiticos e dioríticos, com presença subordinada de anfibolitos e rochas meta-ultramáficas ricas em hornblenda (Lusa, *et al.*, 2010). Ainda de acordo com Lusa *et al.* (2010), "os metagranitos apresentam enriquecimento em ETRL e empobrecimento em ETRP, com valores elevados de Ba, Rb, Sr, U e Th, anomalias negativas de Nb e Ti, dispondo-se no campo das rochas geradas em ambientes de arco magmático", sendo a idade disponível em dados geocronológicos próxima de 2,1 Ga do metamorfismo de fácies anfibolito de um possível evento orogênico colisional (Lusa *et al.*, 2010). O Complexo Encantadas associa-se ao Micro-contidente Encantadas, amalgamado contra a margem leste do Cráton La Plata. O Complexo Metamórfico Porongos é constituído por pacotes de metassedimento e meta-vulcânicas, onde nos metassedimentos os zircões detríticos mais jovens de quartzitos têm idade de 1.998 Ma (Hartmann *et al.*, 2007), delimitando uma idade máxima de deposição Paleoproterozóica. Entretanto, idades de 780 - 770 Ma em zircão de metariolito (SHRIMP e TIMS) obtidas de Chemale Jr. (2000) e Hartmann *et al.*, (2000) são consideradas ígneas, sendo este pacote vulcânico paralelo aos metassedimentos e mostrando a mesma deformação. Em decorrência disto, estipula-se que a idade aproximada do magmatismo de 780 Ma fornece a idade da atividade vulcânica sin-deposicional e a idade aproximada da bacia. O ambiente tectônico para o Complexo Metamórfico Porongos sugere a deposição de uma bacia intra-cratônica em crosta continental distendida do Micro-contidente Encantadas de idade Paleoproterozóica (zircões detríticos de 1.998 Ma), sendo esta bacia retrabalhada num arco magmático continental em conjunto com seu embasamento.

O Batólito Pelotas, localizado na porção SE do estado do Rio Grande do Sul, constitui-se de forma predominante por rochas graníticas de idades entre 650 e 550 Ma. Philipp *et al.* (2003) reconhecem um complexo granítico e seis suítes graníticas que compõem o Batólito Pelotas: o

Complexo Pinheiro Machado e as suítes intrusivas Erval, Viamão, Encruzilhada do Sul, Cordilheira, Dom Feliciano e Piquiri. Dentro destas unidades, apenas o Complexo Pinheiro Machado seria relacionado com um ambiente de margem continental ativa na margem oeste do Micro-contidente Encantadas, anterior à colisão entre os crátons La Plata e Kalahary (Hartmann *et al.*, 2007). O restante das suítes graníticas está associada às fases sin a pós-orogênicas, com suas ascensões vinculadas à movimentação de grandes zonas de cisalhamento verticais de direção geral NE. Xenólitos de para e ortognaisses Paloproterozóicos ocorrem em muitas das unidades do Batólito Pelotas, em dimensões decimétricas e, como reportado em Philipp & Machado (2002), até quilométricas. Ainda em Philipp & Machado (2002), de acordo com dados petrológicos, geoquímicos e estruturais, estes xenólitos assemelham-se muito com unidades do embasamento Paleoproterozóico encontradas fora do batólito Pelotas, como o Complexo Encantadas do Terreno Tijucas. São presentes no batólito evidências de dois eventos deformacionais dúcteis (D1 e D2) e um rúptil (D3). D1 é caracterizado por zonas de cisalhamento em baixo a médio ângulo para NW com indicadores cinemáticos marcando movimentação de topo para leste (Philipp & Machado, 2002). O evento D2 é marcado por zonas de cisalhamento de alto ângulo de direção NE e com indicadores cinemáticos de movimentação sinistral, enquanto que D3 é relacionado com a reativação das antigas zonas de cisalhamento dúctil D1 e D2 em regime extensional e nível crustal mais raso (Philipp *et al.*, 2002). A Suíte Pinheiro Machado é afetada pelos eventos D1 e D2, enquanto que o restante das suítes graníticas do Batólito tem suas colocações intimamente relacionadas com os cisalhamentos subverticais do evento D2 (Philipp & Machado, 2005).

A evolução tectônica entre os terrenos descritos por Hartmann *et al.* (2007) é apresentada na figura 4, onde no processo de aproximação entre os grandes blocos continentais La Plata e Kalahary temos a formação de zonas de subducção associadas aos dois arcos magmáticos formados no momento pré-colisional, arcos Passinho e Vila Nova (arco de ilha e margem ativa, respectivamente), mergulhando para leste. A zona de subducção formada pela extensão da Bacia Porongos em sua margem oeste e mergulhando também para leste, gera movimento migratório do Micro-contidente Encantadas em direção à margem do continente La Plata (Hartmann *et al.*, 2007). A colisão do Micro-contidente Encantadas (embasamento da Bacia Porongos) com o Cráton La Plata gera deformação com zonas de empurrão na pilha de rochas supracrustais da Bacia Porongos. Enquanto que o continente Kalahary se aproxima das sequências amalgamadas contra a margem leste do Cráton La Plata no fechamento do Oceano Charrua, forma-se uma zona de subducção na margem leste do Micro-contidente Encantadas, responsável pela formação dos granitóides do Complexo Pinheiro Machado, com mergulho para oeste. O quadro evolutivo encerra-se com a colisão continental entre os crátons La Plata e Kalahary, com o desenvolvimento de grandes zonas de cisalhamento transcorrentes e seguidas de esforços de relaxamento pós-colisional responsáveis pela deposição das unidades da Bacia do Camaquã em tectônica extensional e direcional (Almeida, 2010).

A Bacia do Camaquã, definida por Fragoso-Cesar *et al.* (2003) como Supergrupo Camaquã, é constituída por rochas sedimentares siliciclásticas e vulcanogênicas aflorantes em três sub-bacias alongadas no sentido NNE-SSW, denominadas Sub-Bacias Camaquã Ocidental, Camaquã Central e Camaquã Oriental. As sub-bacias são segmentadas pelos altos do embasamento denominados Altos

de Caçapava do Sul e Serra das Encantadas. A estratigrafia das sub-bacias foi definida em trabalhos recentes pelo grupo da Universidade de São Paulo em cinco unidades do Supergrupo Camaquã da base para o topo: Grupo Maricá, Grupo Bom Jardim, Formação Acampamento Velho, Grupo Santa Bárbara e Grupo Guaritas. Segundo Almeida (2010), a Bacia do Camaquã apresenta um registro estratigráfico de eventos deformacionais correlacionados com falhas direcionais e extensionais.

A Bacia do Paraná é uma bacia intracratônica com uma área de aproximadamente 1.500.000km² (Milani *et al.*, 2007). O registro sedimentar-magmático da bacia do Paraná apresenta espessura aproximada de 7.000m em seu principal depocentro (Milani *et al.*, 2007). Seis grandes sequências deposicionais compõem o registro magmático-sedimentar da bacia, todas limitadas por discordâncias regionais. São as supersequências: Rio Ivaí, Paraná, Gondwana I, Gondwana II, Gondwana III e Bauru (Milani, 2000). As três primeiras sequências são definidas por ciclos regressivos-transgressivos do Paleozóico, enquanto que o restante associa-se com sedimentos continentais e rochas ígneas (Milani *et al.*, 2007). No estado do Rio Grande do Sul, ocorrem as supersequências Gondwana I (Carbonífero - Permiano), Gondwana II (Triássico) e Gondwana III (Jurássico - Cretáceo).

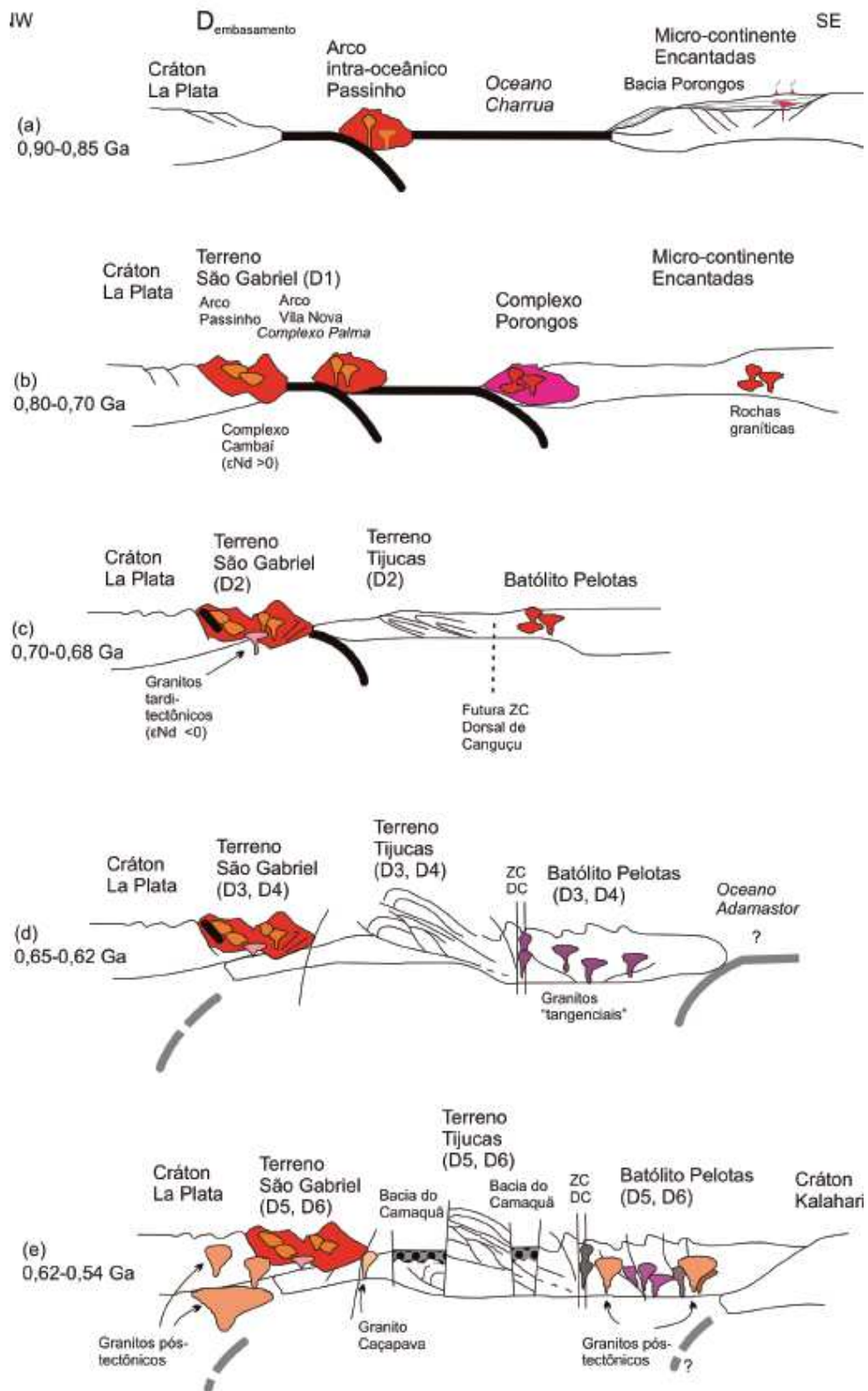


Figura 4 - Evolução tectônica do Escudo Sul-río-grandense, extraído de Hartmann et al., 2007.

2.2. GEOFÍSICA REGIONAL

Costa (1997) abordou o levantamento aerogeofísico como ferramenta para o entendimento do Pré-Cambriano do Rio Grande do Sul. Em sua tese, Costa (1997) trabalhou com dois levantamentos aéreos: Projeto Aerogeofísico Camaquã (Jackson *et al.*, 1973) e Projeto Aerogeofísico do Sudoeste do Brasil (Anjos & Mourão, 1987). O primeiro levantamento foi solicitado em convênio pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais - Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), sendo executado pela Texas Instrumentos Eletrônicos do Brasil Ltda. Foram levantados magnetometria e gamaespectrometria em arranjo de linhas de vôo de direção N45°W, com espaçamento entre linhas de 1km, além de altitude média de vôo de 125m. O segundo levantamento aéreo, suportado pelo convênio DNPM/CPRM, envolveu magnetometria e gamaespectrometria com arranjo de vôo em linhas de orientação NS, com espaçamento de 1km e altitude média de vôo de 140m. Os levantamentos utilizados por Costa (1997) apresentam resolução inferior ao levantamento utilizado na presente tese.

Costa (1997) definiu três domínios geofísicos (figura 5): Domínio Leste, Domínio Central e Domínio Oeste. Cada domínio foi individualizado por grandes estruturas profundas marcadas na geofísica e dadas por eixos de anomalias magnéticas e gravimétricas, correspondentes com suas projeções em superfície e correlacionadas com estruturas mapeadas conhecidas ou não. As grandes estruturas geofísicas denominadas suturas entre terrenos geológicos (Fernades *et al.*, 1995), foram designadas de leste para oeste da seguinte forma: Sutura de Porto Alegre, Sutura de Caçapava e Sutura de São Gabriel.

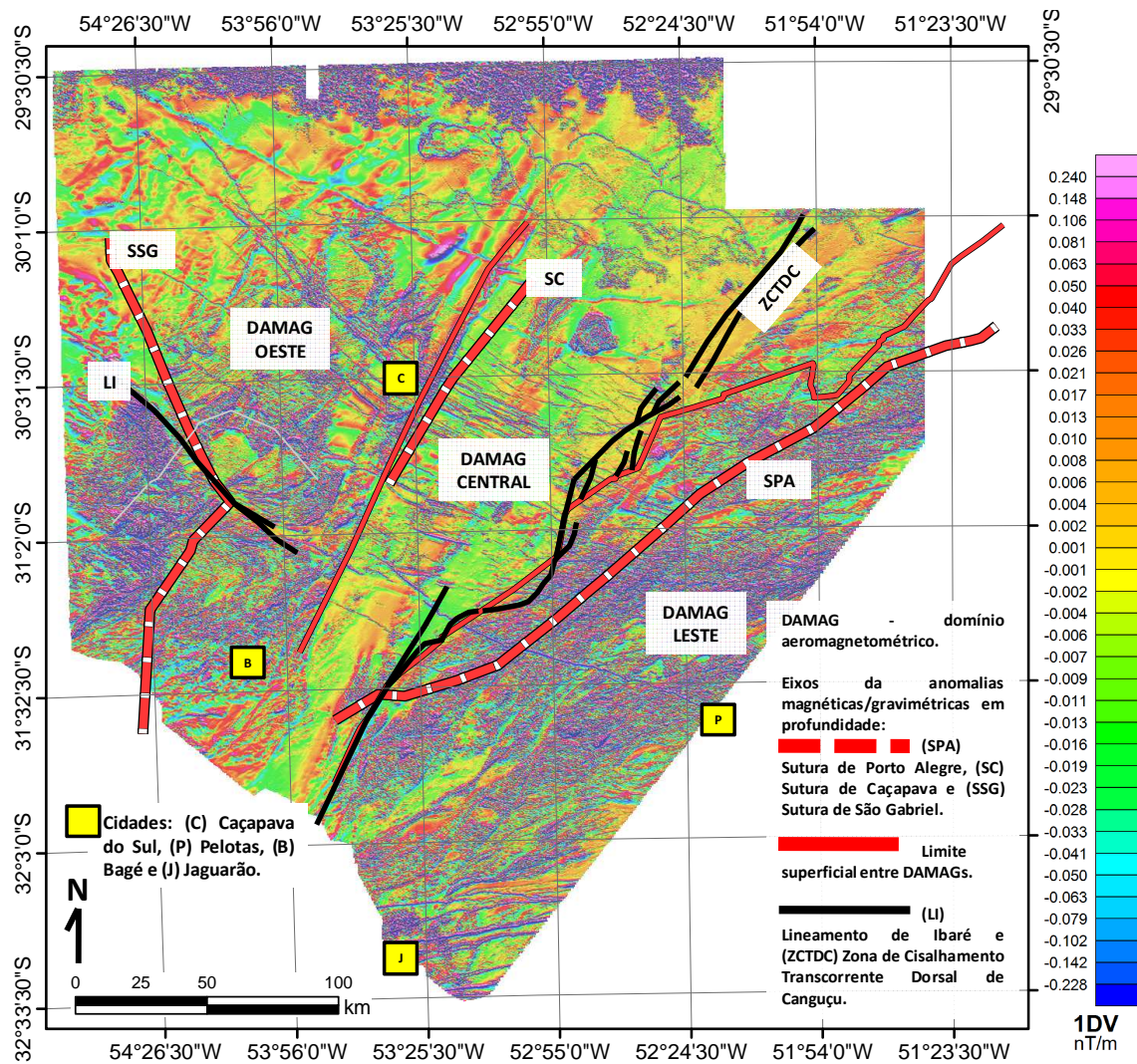


Figure 5 - Domínios geofísicos de Costa (1997) em mapa da primeira derivada vertical do levantamento da Lasa Prospecções S.A. (2010). São eles: Domínio Leste, Domínio Central e Domínio Oeste, individualizados por eixos de anomalias geofísicas profundas com seus respectivos rebatimentos em superfície, coincidentes ou não com grandes estruturas aflorantes.

CAPÍTULO 3. GEOFÍSICA

Os produtos geofísicos utilizados na interpretação estrutural foram processados e desenvolvidos pela Lasa Prospecções S.A., como parte do voo contratado pela CPRM. São eles a amplitude do sinal analítico e a primeira derivada vertical (figura 7). Todos as etapas inerentes à aquisição, processamento e disponibilização dos produtos geofísicos encontram-se no relatório da Lasa Prospecções S.A. (2010).

Abaixo (figura 6), fluxograma de todo o processo de desenvolvimento dos produtos magnetométricos utilizados, desde a aquisição dos dados até a confecção dos mapas geofísicos.

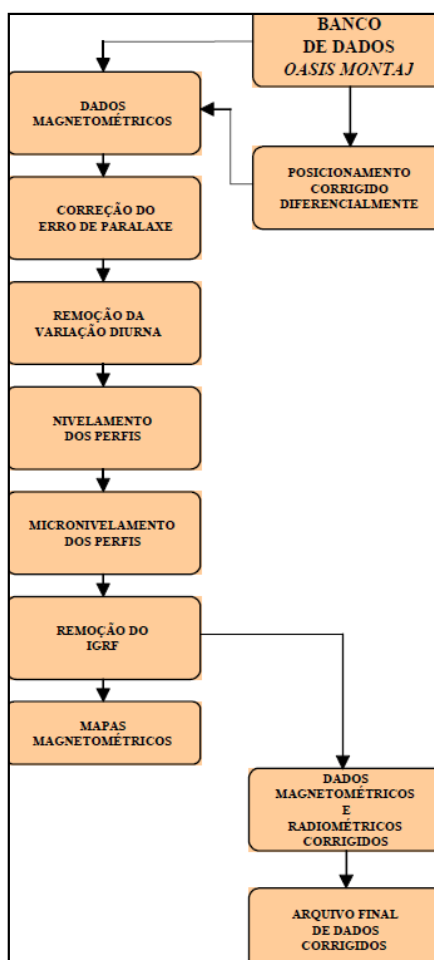


Figura 6 - Fluxograma do processamento dos dados magnetométricos, modificado de Lasa Prospecções S.A. (2010).

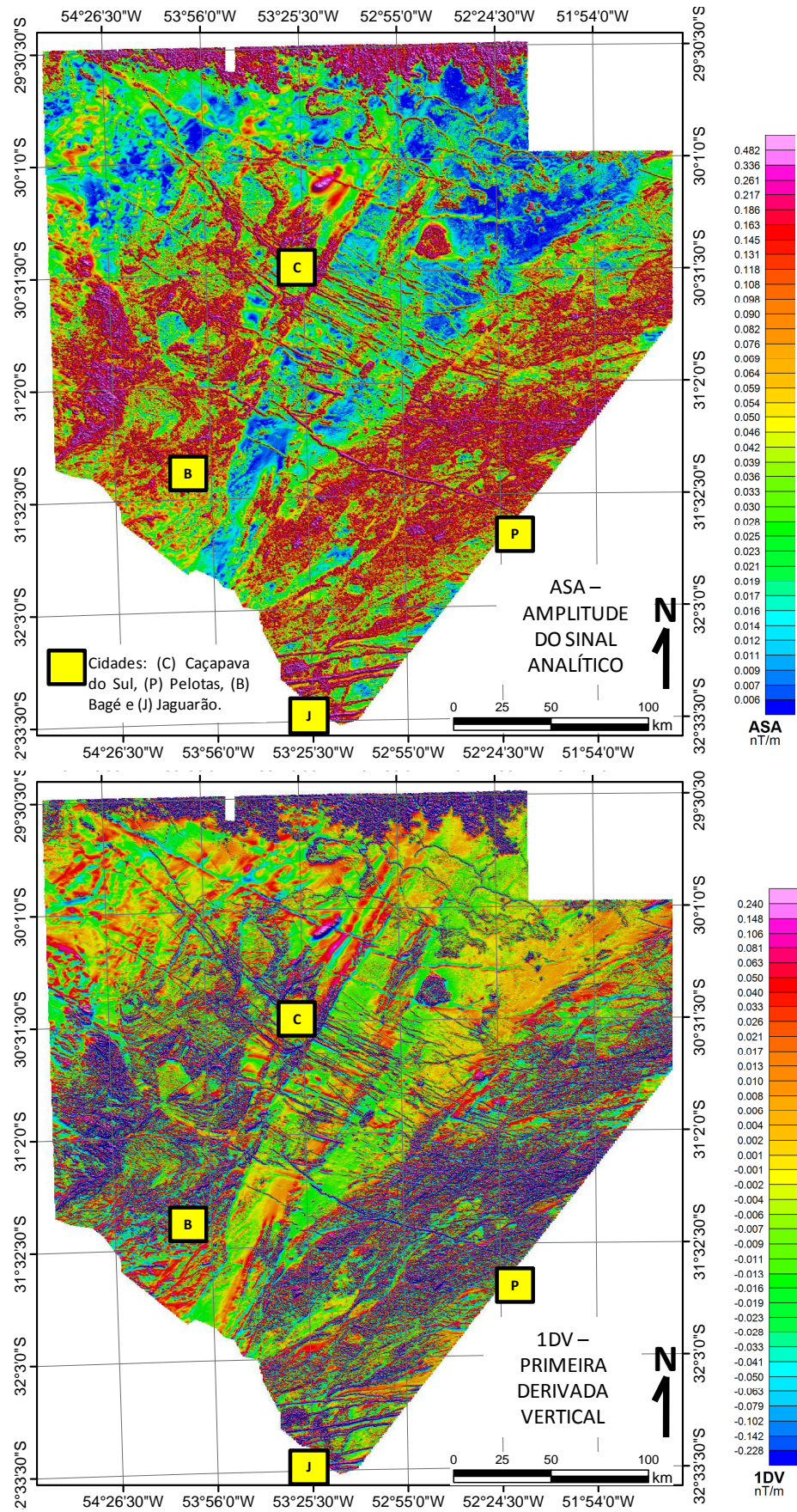


Figura 7 - Produtos geofísicos utilizados na interpretação estrutural: mapa da amplitude do sinal analítico (acima) e primeira derivada vertical (abaixo), reduzidos do IGRF.

CAPÍTULO 4

REGIONAL STRUCTURAL INTERPRETATION FROM SUL-RIO-GRANDENSE SHIELD, BRAZIL, BASED ON AEROMAGNETIC DATA

(artigo submetido a *Journal of South American Earth Sciences*)

Rodrigo Piraine Travassos^{1,2}, Elton Luiz Dantas¹, João Henrique Boniatti²

¹ Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 70910-900 Brasília, Brazil

² Votorantim Metais, 13212-161 Jundiaí, Brazil

ABSTRACT

The geophysical high resolution airborne survey executed by LASA Prospecções S.A. and supported by CPRM - Brazil Geological Survey - had herein its magnetic products interpreted. The products are first vertical derivative and analytic signal amplitude. The Pre-Cambrian Sul Rio-Grandense Shield and part from Paraná Paleozoic Basin in Rio Grande do Sul State (south Brazil) were covered with airborne.

Manual interpretation in 1:500.000 scale maps was refined in GIS environment in 1:250.000 scale, also being integrated with regional geology maps. Geological profiles and detail geological maps were used to correlate with magnetic interpretation.

Five magnetic domains were established with structural interpretation, all of them being limited by regional lineaments: Taquarembó Domain, São Gabriel Domain, Tijucas Domain, Pelotas Domain and Paraná Domain. Each geophysical unit are associated with lithospheric fragments individualized by structural and deformational patterns. The main findings are listed below:

- Thrusting fronts against Taquarembó Domain are related with São Gabriel Domain accretion with transcurrent component.

- The thrusting from São Gabriel Domain against Taquarembó Domain causes regional folding in Taquarembó Domain, marked by fold lineaments geometry with EW axis.

- The NE and NW magnetic lineaments from Tijucas Domain are related with normal faults with directional component, corroborated by detail geological mapping, review from Camaquã Mines District data and previous papers.

- Internal transcurrent shear zones from Pelotas Domain south portion were identified in sigmoid lineaments geometry enclosed by major NE transcurrent faults, marking transpressive zones in regional shearing. Field data from detail geological mapping corroborates this fact.

- Semi-circular magnetic anomalies in Paraná domain could be related with ring-dikes related to volcanic structures from Serra Geral Formation basalt flows.

Delimitating geophysical domains are fundamental tools to understand the tectonic and structural features that help in crustal evolution models.

Keywords: Aerogeophysical Survey, Structural Interpretation, Magnetic Domains.

Cover Letter

Dear Editor,

I am writing to submit our manuscript "REGIONAL STRUCTURAL INTERPRETATION FROM SUL-RIO-GRANDENSE SHIELD, BRAZIL, BASED ON AEROMAGNETIC DATA" for publication in this great scientific journal.

The purpose of the study described in the manuscript was to refine south Brazil's regional geology knowledge, with the new high resolution geophysical airborne. Five new magnetic domains were established, also identifying important features as thrust zones, transcurrent shear zones, circular structures and ring dykes complex. The findings will help in terrane delimitation, tectonics and economic geology.

The manuscript describes original work and all authors approved the manuscript and this submission.

We would like to thank your time receiving this manuscript and considering it for review. We look forward for your response.

Best regards,

Rodrigo Piraine Travassos.

Porto Alegre, August 15, 2014.

1. Introduction

Airborne surveys are fundamental tools to identify distinct geological terranes in mobile belts, based on the major regional structures and geological provinces (Denham, 1997). The integration of field observations and geophysical data associated to regional scale structural and lithological maps permit characterize distinct geological or geophysical domains. Also in poorly exposed or overlain by regolith cover areas, aeromagnetic data permit to interpret continuity of geological units and structures in deep and possibility to recognize regional suture zones and internal geophysical features (Baratoux et al., 2011). The interpretation of large magnetic lineaments and their association with different shear systems in areas of thrust or strike slip zones, define very specific geophysical signatures (Rabeh et al., 2008) related to deep or shallow sources. Basaltic floods and sedimentary basins, also shows features that could be well individualized in geophysical data (Ebbing et al., 2009; Duarte, 2011)

The Neoproterozoic Sul-Rio-Grandense Shield (Hartmann et al., 2007) and part of the Paleozoic Paraná Basin in south Rio Grande do Sul State, Brazil, were flown by the Brazil Geological Survey (CPRM) to refine aerogeophysical information. The purpose of the survey was to improve our understanding of Sul-Rio-Grandense Shield geology and to support mineral exploration in south Brazil.

In this study we produced a structural interpretation from first vertical derivative and analytic signal amplitude maps, defining five magnetic domains. Each magnetic domain is limited by regional magnetic lineaments and internal lineaments pattern distinguishable from each other.

2. Geological Setting

2.1. Regional Geology

The study area (figure 1) is in the geomorphological unit Sul-Rio-Grandense Shield (Hartmann et al., 2007), which belongs to the southern portion of Mantiqueira Province mobile belt (Hasui et al., 1975, Almeida et al., 1981). Also included in study area is found the south part from intra-cratonic Paraná Paleozoic Basin (Milani, 2007). The shield is composed of igneous, metamorphic and sedimentary rocks from ancient Paleoproterozoic and Neoproterozoic orogenic cycles. The Sul-Rio-Grandense Shield (figure 1) is a Neoproterozoic mobile belt related to continental collision between La Plata and Kalahary Cratons during the Brasiliano Orogeny. The Sul-Rio-Grandense Shield is divided into four tectonic units: Taquarembó Terrane, São Gabriel Terrane, Tijucas Terrane and Pelotas Batholithe (Hartmann et al., 2007). Also included in shield history we have the Camaquã Basin, related with sin to post-collisional Neoproterozoic events.

The Taquarembó Terrane represents part of Rio de La Plata craton in the SW Sul-Rio-Grandense Shield and outcrops mainly in Uruguay. The granulite complex designated Santa Maria-Chico represents the oldest rocks composed of acidic and basic granulites, pyroxenites, anorthosites and lherzolites (Tickyj et al., 2004). Magmatic age of ortho derived rocks range from 2.55 to 2.35 Ga, while the metamorphism is recorded on 2.02 Ga (Hartmann et al., 1999). Sm-Nd data (Soliani Jr. et

al., 2000) gives ages between 2.6 to 2.3 Ga for ortho derived rocks, also showing Paleoproterozoic juvenile accretion. The Taquarembó Terrane is still affected by Neoproterozoic magmatism from Santo Afonso Suit and Taquarembó acidic volcanic plateau (Chemale Jr., 2000). According with Hartmann et al. (2007) it is limited by the Ibaré Lineament with Neoproterozoic units from Sul Rio-Grandense Shield.

The São Gabriel Terrane is Neoproterozoic in age with juvenile signature, representing two magmatic arcs accreted along the eastern margin of La Plata Craton. The Cambaí Complex is composed of ortho derived rocks from São Gabriel Terrane characterized by TTG granitoids with magmatic age of 879 ± 14 and 703 ± 13 Ma (Leite et al., 1998). Supracrustal rocks from São Gabriel Terrain are represented by the Vacacaí Complex, which has an average age of 705 ± 2 Ma (Hartmann et al., 2003). Its east limit with Neoproterozoic Camaquã Basin units is give by the Caçapava Suture (Costa, 1997), meanwhile its south limit with Taquarembó Terrain is the Ibaré Lineament (Hartmann et al., 2007).

The Tijucas Terrane represents a micro-continent (Encantadas Micro-continent, Hartmann et al., 2007) accreted against the eastern margin of La Plata Craton and is Paleoproterozoic in age. Paleoproterozoic orthogneisses from the Encantadas Complex with Rb-Sr isochronous of 2.27 Ga to 2.16 Ga (Soliani Jr., 1986) are the basement from Neoproterozoic Porongos Complex supracrustal rocks (783 ± 6 Ma, Porcher et al., 1999) in Tijucas Terrane, an intra-cratonic Neoproterozoic basin from Encantadas Micro-continent. The limit to the west with Camaquã Basin rocks is marked by Aberta dos Cerros Fault (Ribeiro, 1978) and its east limit with Pelotas Batholite is the Dorsal de Canguçu Transcurrent Shear Zone (Hartmann et al., 2007).

The Pelotas Batholithe is composed of extensive magmatism related to pre, sin and post-collision of the Brasiliano Orogeny (640 - 540 Ma) in the Neoproterozoic (Philipp & Machado, 2005), showing a Sm-Nd signature indicative of mixing between juvenile mantle and older crustal components. Xenoliths of Paleoproterozoic ortho and paragneisses occur in all granitic suites. The first plutonic suite (Pinheiro Machado) represents a magmatic arc that developed on the eastern margin of the Encantadas Micro-Continent with later migration west of Kalahary Craton. The other suites are associated with sin to post-collisional magmatism (Phillip et al., 2007).

The Camaquã Basin is a Neoproterozoic molasse related to the mountain ridge which originated during the continental collision between La Plata and Kalahary Cratons. The Camaquã Basin was defined by Fragoso-César et al. (2003) as being the Camaquã Supergroup, composed of siliciclastic and volcanogenic rocks in three main sectors: Ocidental, Central and Oriental Camaquã Sub-basins. From the base to the top there are four groups and one formation: Maricá Group, Bom Jardim Group, Acampamento Velho Formation, Santa Bárbara Group and Guaritas Group. According with Almeida (2010), the Camaquã Basin records in its unit's evidences for deformational events related with strike-slip faults and normal faults.

The intracratonic Paraná Basin (Paleozoic) covers an area of 1.500.000km² (Milani et al., 2007). Its sedimentary and magmatic rocks expose thickness reaching 7.000m in its main depositional site (Milani et al. 2007). Six super-sequences compose the Paraná Basin, all of them limited by regional discordances, being them: Rio Ivaí, Paraná, Gondwana I, Gondwana II, Gondwana III e

Bauru (Milani, 2000). The three first one are defined by transgressions and regressions cycles meanwhile the last ones records continental sediments and igneous rocks (Milani et al, 2007). In Rio Grande do Sul State we have the Gondwana I (Carboniferous - Permian), Gondwana II (Triassic) e Gondwana III (Jurassic - Cretaceous) super-sequences.

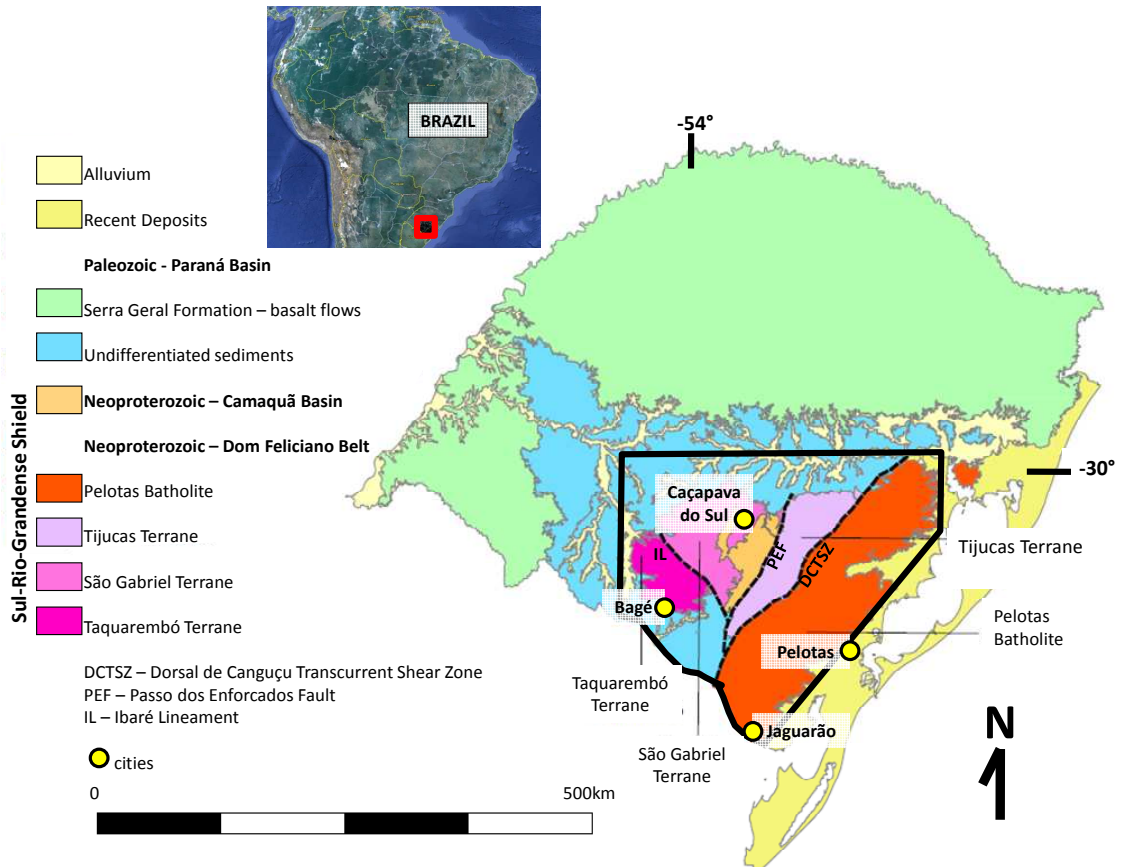


Fig. 1 - Main tectonic units from Sul-Rio-Grandense Shield in simplified geological map from CPRM (2008). Tectonic units are Taquarembó Terrane, São Gabriel Terrane, Tijucas Terrane e Pelotas Batholithe (Hartmann et al., 2007). The dashed black lines represent regional structures (DCTSZ) Dorsal de Canguçu Transcurrent Shear Zone, (PEF) Passo dos Enforcados Fault and (IL) Ibaré Lineament. The black polygon shows the study area. The study area are represented in Brazil's inset map by small red polygon.

2.2. Regional Geophysics

Geophysical domains for Sul-Rio-Grandense-Shield was proposed by Costa (1997). In this time, Costa (1997) did his thesis based on two aerogeophysical projects: Camaquã Aerogeophysical Project (Jackson et al., 1973) and the Southwestern most Brazil Aerogeophysical Project (Anjos & Mourão, 1987). The first project was supported by National Department of Mineral Production / Geological Survey of Brazil (DNPM/CPRM) and Brazilian Nuclear Energy Commission / Geological Survey of Brazil (CNEM/CPRM) and was carried out by Texas Instrument Inc. (TI) and Texas Instrumentos Eletrônicos do Brasil Ltda - TIEB (Costa, 1997). The projects consisted of magnetic and

radiometric surveys with lines oriented N45°W, 1km spacing and the survey was flown at 125m height. The aerogeophysical survey supported by DNPM/CPRM executed by Levantamentos Aerogeofísicos S.A. (LASA, currently Fugro) involved magnetic and radiometric survey where NS oriented lines were flown at 1km spacing with an average height of 140m.

Costa (1997) defined 3 geophysical domains (figure 2): East Domain, Central Domain and West Domain, all of which are separated by regional magnetic/gravimetric deep axis anomalies and their respective surface projections with or without correlation to the regional structures that have been mapped. The deeper suture zones between domains, as described by Costa (1997) from east to west are: Porto Alegre Suture, Caçapava Suture and São Gabriel Suture.

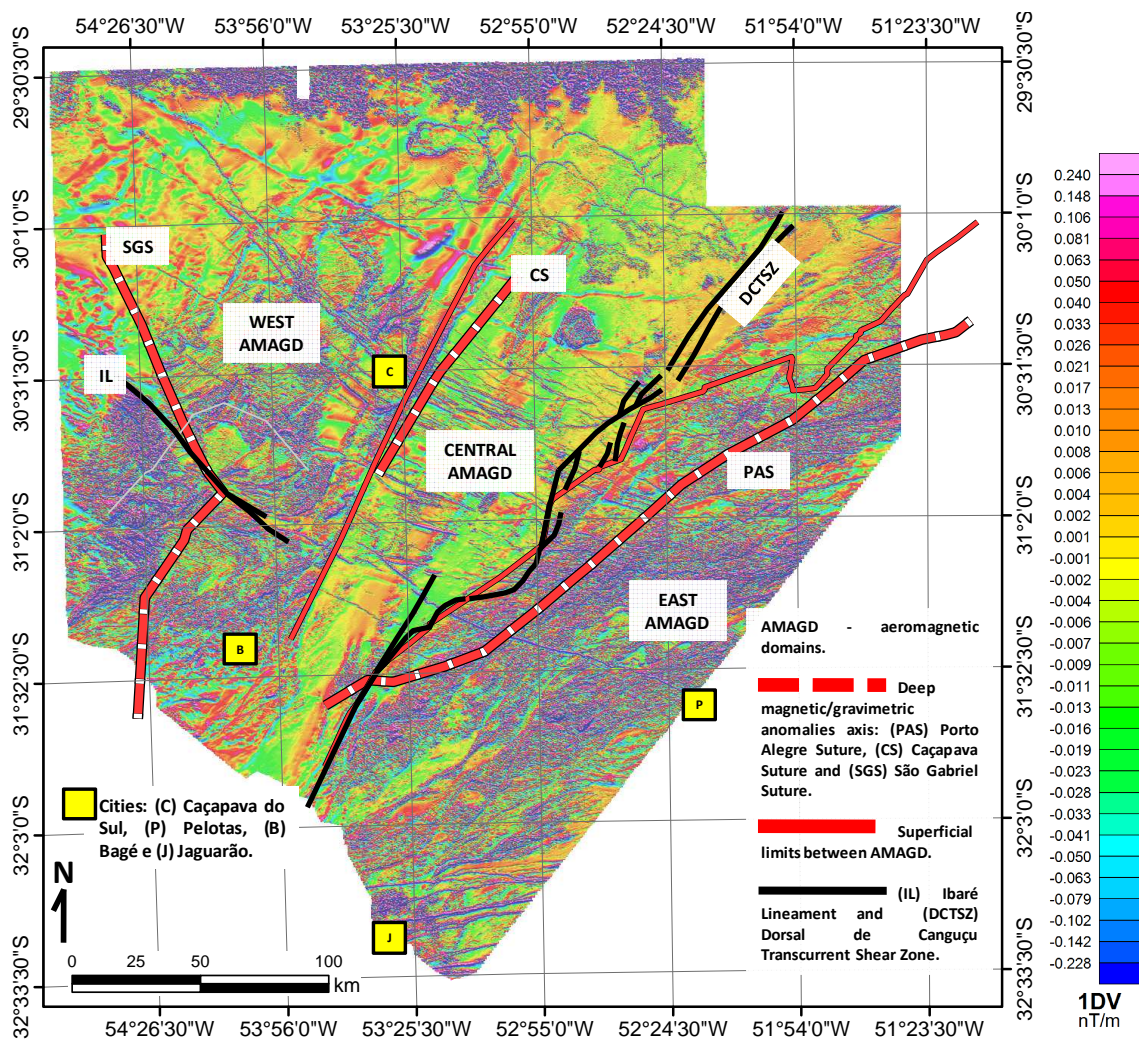


Fig. 2 - Geophysical domains from Sul-Rio-Grandense Shield defined by Costa (1997) in first vertical derivative map (Lasa Prospecções S.A., 2010). The aeromagnetic domains (AMAGD) individualized by deep magnetic gravimetric anomalies axis are: East Domain, Central Domain and West Domain.

3. Methodology and Data Use (High-resolution airborne data)

Geophysical and airborne magnetic surveys are fundamental to the practice of defining geological domains. They are particularly useful in regions where field information is not detailed enough, or must be refined, also to map regional structures or suture zones between terranes based on comparison with field data and magnetic data. It also brings lithological information and structural framework from which we can suggest kinematic relationships (Betts et al., 2003, 2007; Direen et al., 2005; Aitken and Betts, 2009a, b).

In late 2010, Brazilian Geological Survey (CPRM) carried out a high-resolution airborne magnetic (HRAM) and radiometric survey over the Sul-Rio-Grandense Shield as a way to encourage mineral exploration and improve geological knowledge in southern Brazil. To acquisition were used 3 fixed-wing aircrafts that flew a total of 159,789 line-km covering an area of approximately 75,600 km² (Lasa Prospecções S.A., 2010). The mag-radio data were obtained along NS flight lines spaced 500m apart and EW tie lines with 10km spacing at a flight height of 100m.

The equipments consist of Scintrex CS-2 cesium vapor magnetometer, stinger-mounted single-sensor, sensitivity of 0.01 nT and sampling rate of 0.1 sec (around 6,5 – 7,5m in terrain). Exploranium GR-820 / Radiation Solutions RS-500 256-channel gamma-ray spectrometers with sampling rate of 1.0 sec (65 – 75m in terrain), featuring the system employed. For spatial location of the data was used the Trimble AgGPS 132 with real-time DGPS satellite correction and FASDAS™ (Fully Automated Data Acquisition System) to storage all datasets (Lasa Prospecções S.A., 2010).

The geophysical data (figure 3) were made available by CPRM and used as main tool to understanding the geophysical and structural setting of the study area. The gridded and processed total magnetic field data was used to calculate the derivative products, as amplitude of the analytic signal, tilt, first vertical derivative and total horizontal gradient, according to information obtained from Lasa Prospecções S.A. (2010) report. First vertical derivative and amplitude of the analytic signal were used to interpret magnetic domains and its internal magnetic lineaments pattern.

3.1 First Vertical Derivative

The first vertical derivative (FVD) is a high-pass filter and can be computed by multiplying the amplitude spectra of the magnetic field by a factor “n” related to order of differentiation of the vertical derivative (n = 1, 1.5, 2) (Milligan and Gunn, 1997):

$$\frac{1}{n} = [(u^2 + v^2)^{1/2}]^n$$

Where the downward continuation achieves spatial resolution by increasing the amplitude of the high frequencies (shallow sources) the derivative filter suppresses the long wavelengths. Thus there is not such a severe problem with noise and a role off filter is usually not necessary unless the original data is particularly noisy. In practice the filter tend to produce narrower anomalies that the original, better defining several features present in the data.

Regional effects related to long wavelength, deep magnetic sources and interference between adjacent anomalies are eliminated (Milligan and Gunn, 1997). In particular, first vertical derivative is well suited to map linear magnetic features, as dikes, faults and deformation standards related with Pre-Cambrian terrains. First vertical derivative maps can highlight problems in data, as flight line leveling, cultural noise and variations in flying height.

3.2 Analytic Signal Amplitude

The analytic signal corresponds to many automatic and semi-automatic methods based on horizontal and vertical gradients of potential field (Roest et al. 1992). The initial concept was developed by Nabighian (1972) to 2-D structures, featuring the technique by having no dependence on the direction of the magnetization, assuming direct relationship with intensity of magnetization of the source. The direction of magnetization, which may vary depending on the level of induced magnetization, remanent magnetization and magnetic anisotropy, is removed by the process of calculating the signal analytical (MacLeod et al., 1993).

Through an simple transformation on frequency domain, produces an analytic function whose the real part is a horizontal derivative of the total field and the imaginary part would the vertical derivative (Hsu et al. 1996). Other great contribution from Nabighian (1972) was realize that it is possible to calculate a derivative from another. The horizontal and vertical gradients forming a pair of Hilbert transform or analytic signals. An important characteristic from these gradients is to locate the maximum peak of amplitude of the analytic signal immediately over top of edges of the magnetized bodies and geologic structures, particularly where remanence and/or low magnetic latitude complicate the interpretation (Nabighian, 1984; Roest et al., 1992; MacLeod et al., 1993).

The amplitude (absolute value) of the 3-D analytic signal in any point with coordinates (x,y) can be obtained from three orthogonal gradients of the total magnetic field using the following expression (Roest et al, 1992):

$$|AS(x,y)| = \sqrt{\frac{\partial M^2}{\partial x} + \frac{\partial M^2}{\partial y} + \frac{\partial M^2}{\partial z}}$$

where $|AS(x,y)|$ is the amplitude of the analytic signal in coordinate point (x,y) and M is the magnetic anomaly of total intensity in coordinate point (x,y). Compared to reduction to the pole filter, show advantages when applied to locate magnetic sources at low magnetic latitudes, where the phase transformation operator is known to be unstable (MacLeod et al 1993, Blakely, 1996). Furthermore, for the transformation the pole has a good geological significance must incorporate the remanent magnetization that is always present in geological materials; however, the real mapping of this physical property is enough task difficult, which makes the incomplete phase transformation (Blakely, 1996).

The amplitude of the analytic signal (ASA) and first vertical derivative (FVD) maps of the aeromagnetic anomaly of Sul-Riograndense Shield are presented in figure 3.

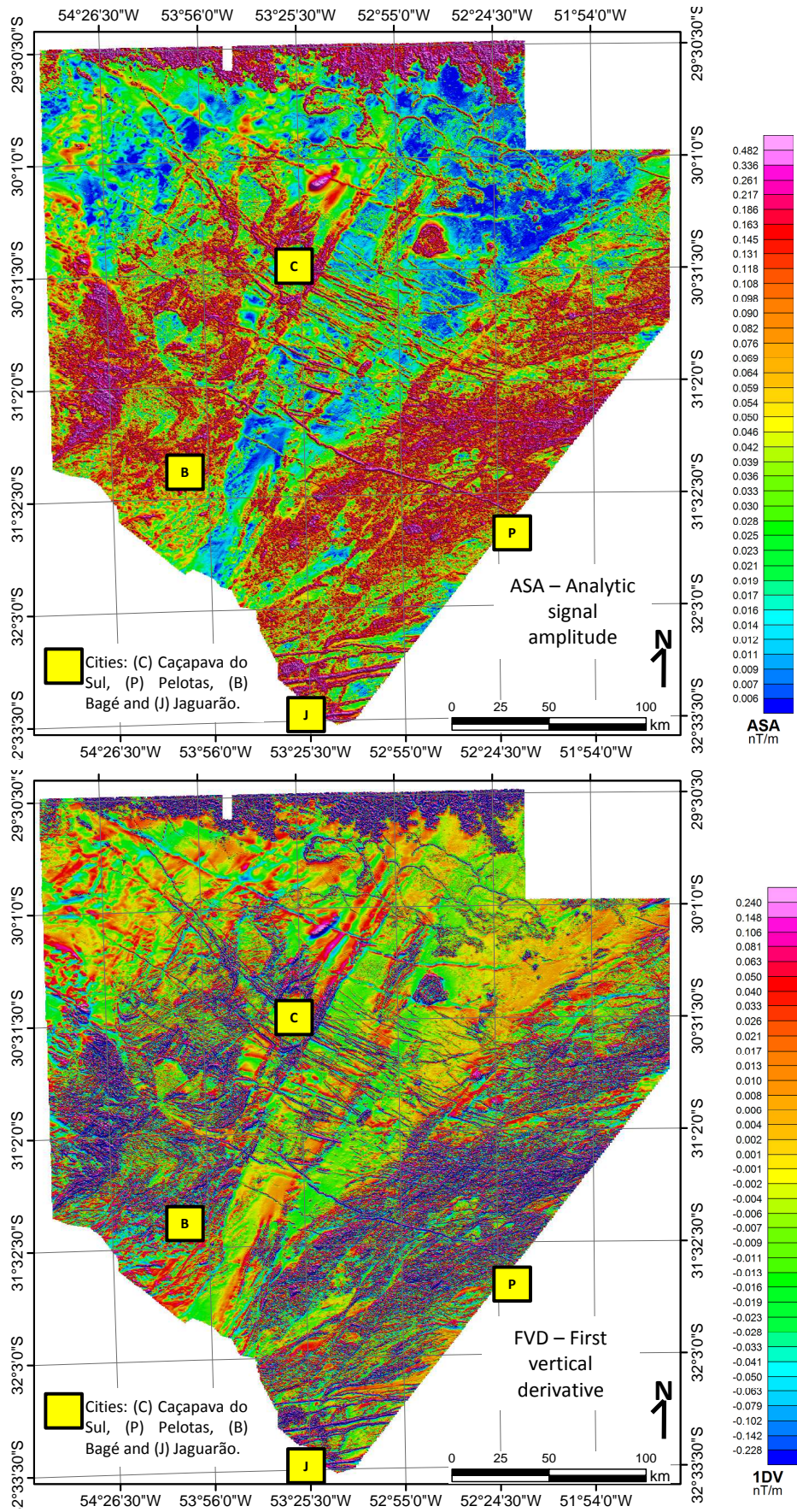


Fig. 3 - Amplitude of the analytic signal (ASA) and first vertical derivative maps used to interpret magnetic domains.

4. Magnetic Domains

Five magnetic domains were defined through structural interpretation from the geophysical maps (figure 4). The domains have similar locations to the Pre-Cambrian terranes proposed by Hartmann et al. (2007). Thus, we propose it is as follow: Taquarembó Domain, São Gabriel Domain, Tijucas Domain and Pelotas Domain. The Paraná Domain is proposed herein this thesis as the unit dominated by the Paraná Basin Paleozoic rocks.

Each domain is separated from the others by regional magnetic lineaments (table 1, figure 5), coincident or not with regional shear zones or faults systems, and structural magnetic lineaments internal pattern. In some cases these regional structures are coincident with regional mapped structures or with regional geophysical anomalous axis proposed by Costa (1997), and so we maintain both designations. Some domains are not limited by known mapped structures or regional geophysical lineaments from Costa (1997), so we propose names for these geophysical lineaments when necessary (table 1) and we show their locations when detailing each geophysical domain.

DOMAIN	LIMIT	MAPPED OR GEOPHYSICAL LINEAMENT
Taquarembó Domain	East	CS - Caçapava Suture (Costa, 1997)
	North	BML - Bagé Magnetic Lineament - Ibaré Lineament (Ribeiro, 1978)
São Gabriel Domain	East	CS - Caçapava Suture (Costa, 1997)
	North	FML - Formigueiro Magnetic Lineament
	West	SGML - São Gabriel Magnetic Lineament
Tijucas Domain	West	CS - Caçapava Suture (Costa, 1997)
	East	DCTSZ - Dorsal de Canguçu Transcurrent Shear Zone (Philipp, 2002)
	North	PML - Piquiri Magnetic Lineament
Pelotas Domain	North	FML - Formigueiro Magnetic Lineament
	West	DCTSZ - Dorsal de Canguçu Transcurrent Shear Zone (Philipp, 2002)
Paraná Domain	South	SGML - São Gabriel Magnetic Lineament
	South	PML - Piquiri Magnetic Lineament
	South	FML - Formigueiro Magnetic Lineament

Table 1 - Main regional lineaments that separate magnetic domains.

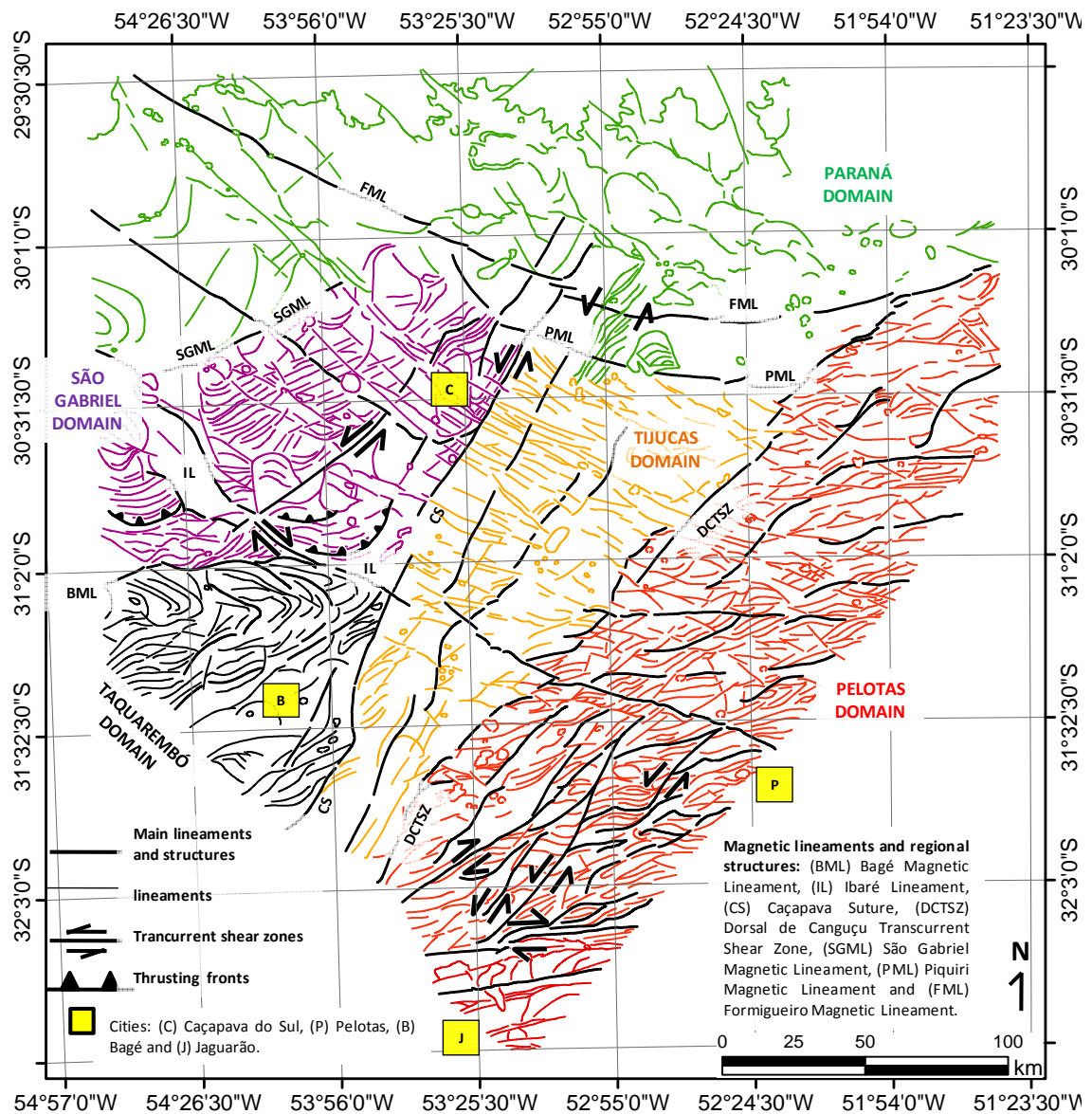


Fig. 4 - Magnetic domains and structural interpretation from Sul-Rio-Grandense Shield. Taquarémbo Domain in black, São Gabriel Domain in purple, Tijucas Domain in orange, Pelotas Domain in red, and Paraná Domain in green, all of them individualized by regional magnetic lineaments indicated in figure above.

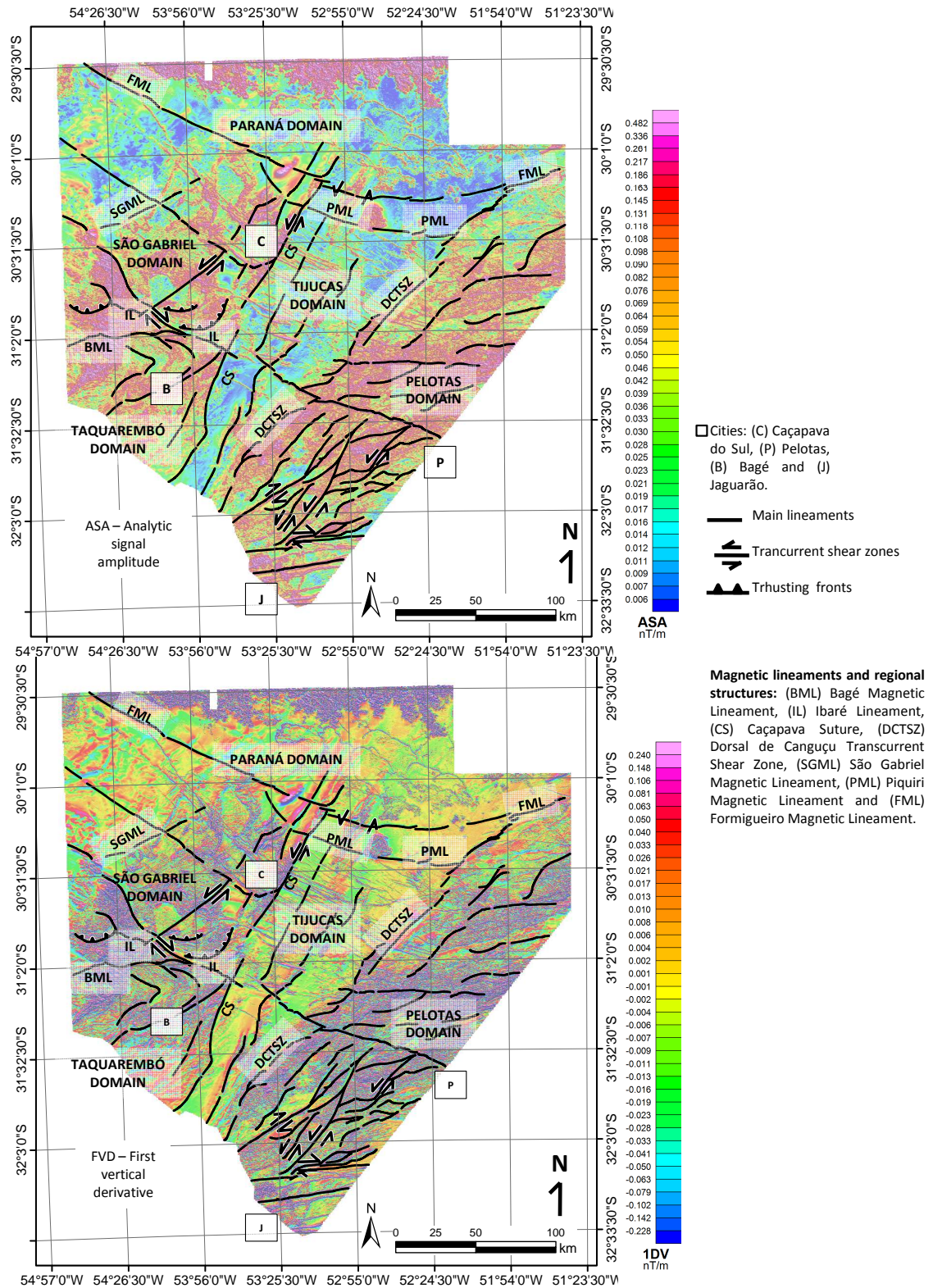


Fig. 5 - Main lineaments and structures from Sul-Rio-Grandense Shield's interpreted airborne.

4.1 - Taquarembó Domain

The Taquarembó Domain (figure 6), correlated with the Taquarembó Terrane (Hartmann et al., 2007), is composed of the Granulite Paleoproterozoic Santa Maria-Chico Complex and younger granites from the post collisional phases of the Brasiliano Orogeny. Expressive portions from Taquarembó Domain are covered by the sediments from the Paleozoic Paraná Basin.

The limit to the east between the Taquarembó Domain and the Tijucas Domain is the Caçapava Suture (Costa, 1997). To the north the limit is defined by a proximal EW magnetic lineaments system developed between the Taquarembó and the São Gabriel domains, that we call Bagé Magnetic Lineament. Also to the north, part from the limit between the Taquarembó and the São Gabriel domains are given by the Ibaré Lineament (Ribeiro, 1978), a mapped structure recognizable in both field and aero photos.

The curvilinear magnetic lineaments pattern and morphology of the Taquarembó Domain suggest a ductile tectonic fabric responsible for the lineaments geometry, probably recorded into the Paleoproterozoic basement units. After observing the structural pattern from the Taquarembó Domain we suggest a regional folding with an EW axis. The south part of the Taquarembó Domain, which is recovered by the Paraná Basin units and recent deposits, shows deep magnetic lineaments, which anomalies geometry are related to the continuity of crystalline basement units.

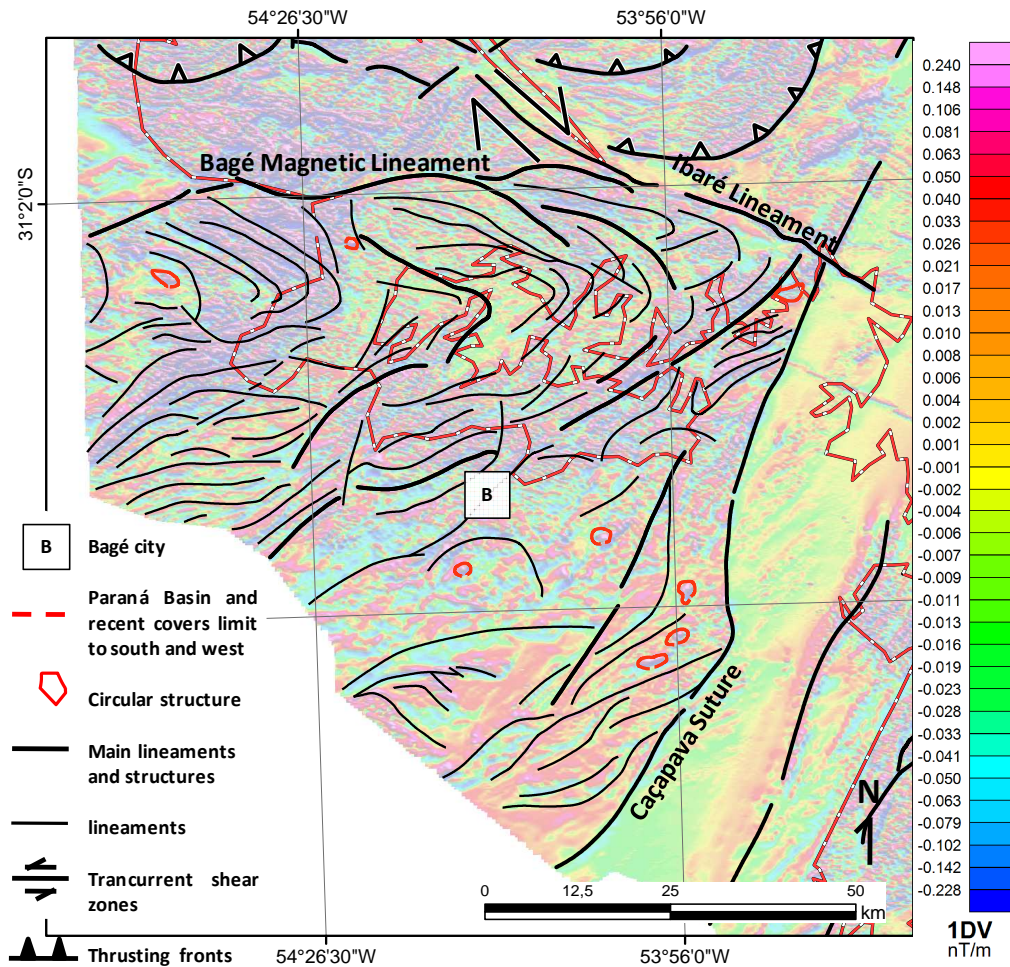


Fig. 6 - Taquarembó Domain limited by Bagé Magnetic Lineament / Ibaré Lineament to the north, and with Caçapava Suture to the east, showing its fold lineament geometry. The limit with Paraná Basin and recent covers is marked to the south, west and central central portion. First vertical derivative map background.

4.2 - São Gabriel Domain

The São Gabriel Domain (figure 7) is composed of juvenile TTG Neoproterozoic granites and related meta volcano-sedimentary belts from São Gabriel Terrane (Hartmann et al., 2007), includes the Neoproterozoic sedimentary package of the Camaquã Basin and sin to post collisional granites from Brasiliano Orogeny. Minor parts from São Gabriel Terrane are composed of the Paraná Basin units.

The domain limits are the Caçapava Suture (Costa, 1997) to the east, the Bagé Magnetic Lineament and part from Ibaré Lineament (Ribeiro, 1978) to the south, the Piquiri Magnetic Lineament to the north and the São Gabriel Magnetic Lineament to the west.

The São Gabriel Domain lineaments are well aligned in a NE direction, and are associated to the main regional foliation in the area, dipping to NW with moderate do high angles (Remus, 1998). NW linear lineaments cross cut the main NE foliation direction.

The São Gabriel Domain shows a NW-EW lineaments trend close to the contact with Taquarembó Domain. Magnetic anomalies are characterized by curved lineaments and suggest thrust tectonics with directional component, which is corroborate by structural field data from Fernandes et al. (1995). This tectonic event could be responsible for the regional fold geometry found in the Taquarembó Domain as it responded to the arc association accretion against an older Paleoproterozoic block.

Four principal Neoproterozoic post-collisional granites are well marked in magnetic data as circular structures, they are the Caçapava, Lavras, Jaguari and São Sepé granites. Granulites from São Gabriel and Taquarembó Domain, also ultramafic rocks in São Gabriel Domain, are marked by strong magnetic anomalies. Other expressive circular structures are covered by Paraná Basin units.

An important feature is the NE Cerro dos Cabritos Fault (Ribeiro, 1978), that marks an expressive intra-terrane transcurrent shear zone with left-lateral displacement for almost 9 km, separating the south part from the north part of the Jaguari Granite. In the same way, an important strike slip fault is the Ibaré Lineament with right-lateral movement (Remus, 1998) that separate the lineaments continuity from north to south São Gabriel Domain portions, especially in its SW part. The Ibaré Lineament is probably reactivated as normal fault, when we analyze the deposition from Paraná Basin sediments in it.

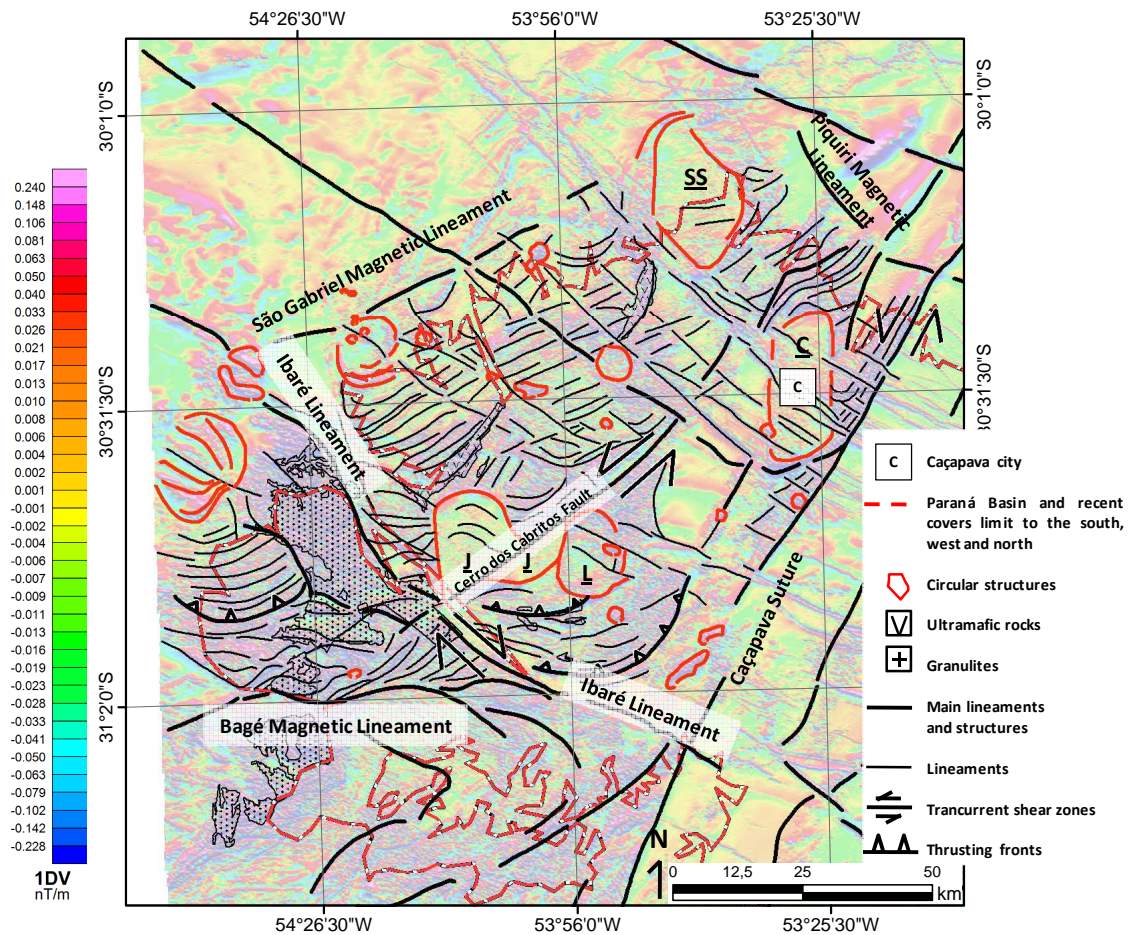


Fig. 7 - São Gabriel Domain limited by Bagé Magnetic Lineament (south), Ibaré Lineament (south), São Gabriel Magnetic Lineament (NW), Piquiri Magnetic Lineament (north) and Caçapava Suture (east), with its NE lineament strike inflecting to WNW direction in south portion. Paraná Basin limit to the south, west and north figure portion. Well marked Neoproterozoic granites in airborne are (C) Caçapava Granite, (SS) São Sepé Granite, (J) Jaguari Granite and (L) Lavras Granite. First vertical derivative map background.

4.3 - Tijucas Domain

The Tijucas Domain (Figure 8) is the central block of Sul-Rio-Grandense Shield, which boundaries are the Dorsal de Canguçu Transcurrent Shear Zone (Philipp et al., 2003) and the Caçapava Suture (Costa, 1997). The domain is mainly composed by the volcano-sedimentary sequences of the Camaquã Basin that recover the units of the Tijucas Terrane, and its east part composed of granitoids from the Pelotas Batholithe. The magnetic lineaments structural pattern from Tijucas Domain is composed by first order NE linear lineaments. A second order lineaments with NW trending are present between the major NE lineaments. This linear pattern suggests predominant brittle structures related to normal NE-NW faults with directional component, as we confirm with field data and previous work (Almeida, 2010). Despite the variety of igneous, sedimentary and metamorphic rocks present in Tijucas Domain, including non deformed and deformed rocks of

amphibolite facies, the presence of shallow lineaments signature is dominant. Circular structure clusters are present in both NE and NW lineaments

Geological mapping was carried out in 1:12.500 and 1:7.500 scales (figure 9) in two areas located at the limit between the Tijucas Domain and the São Gabriel Domain. The main objective was to identify targets as part of an exploration program from Votorantim Metais, looking for base-metals in Sul-Rio-Grandense Shield in 2011 and 2012. The maps and sections presented below were integrated with our geophysical data to understand the relationship between regional interpretation and its response in bigger scales as a fractal analysis (figure 9).

In the Cerro dos Martins and Cerro da Angélica targets (figures 10 and 11) we observe clear influence of NE and NW normal faults with directional component (Votorantim Metais, 2011 - 2012). The same extensional behavior for NE-NW faults is verified in the Camaquã Mines District in Santa Bárbara Group, an uplifted area surrounded by the sediments from Guaritas Group, top of the Camaquã Basin. Despite the position from Cerro dos Martins and Cerro da Angélica targets in the limit from Tijucas Domain with São Gabriel Domain, we can suggest a clear extensional and directional brittle behavior for NE-NW lineaments in the same way we observe in Camaquã Mines District.

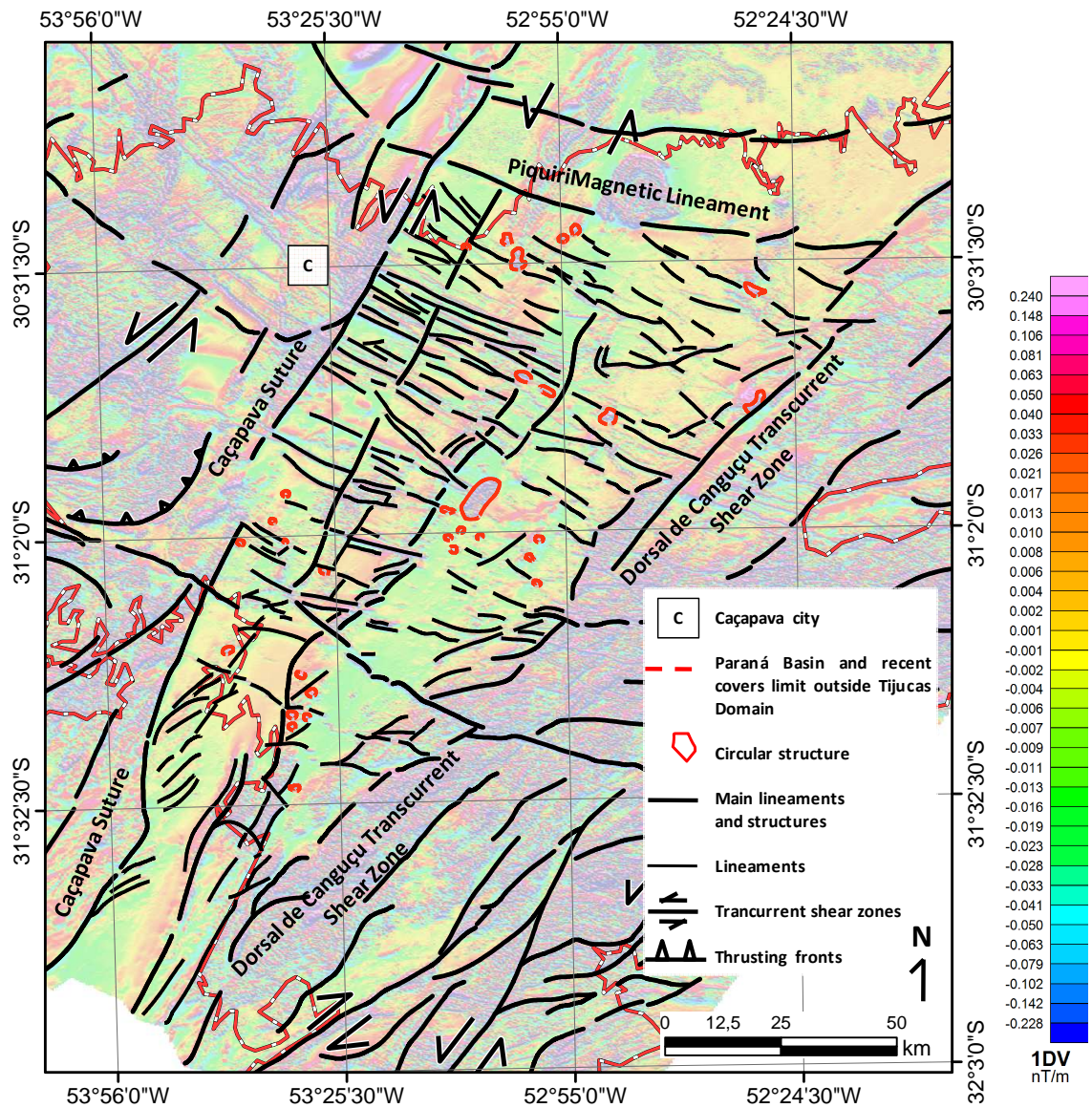


Fig. 8 - Tijucas Domain limited by Caçapava Suture (west), Piquiri Magnetic Lineament (north) and Dorsal de Canguçu Transcurrent Shear Zone (east), showing its linear lineaments pattern. Paraná Basin and recent covers surrounding Tijucas Domain. First vertical derivative map background.

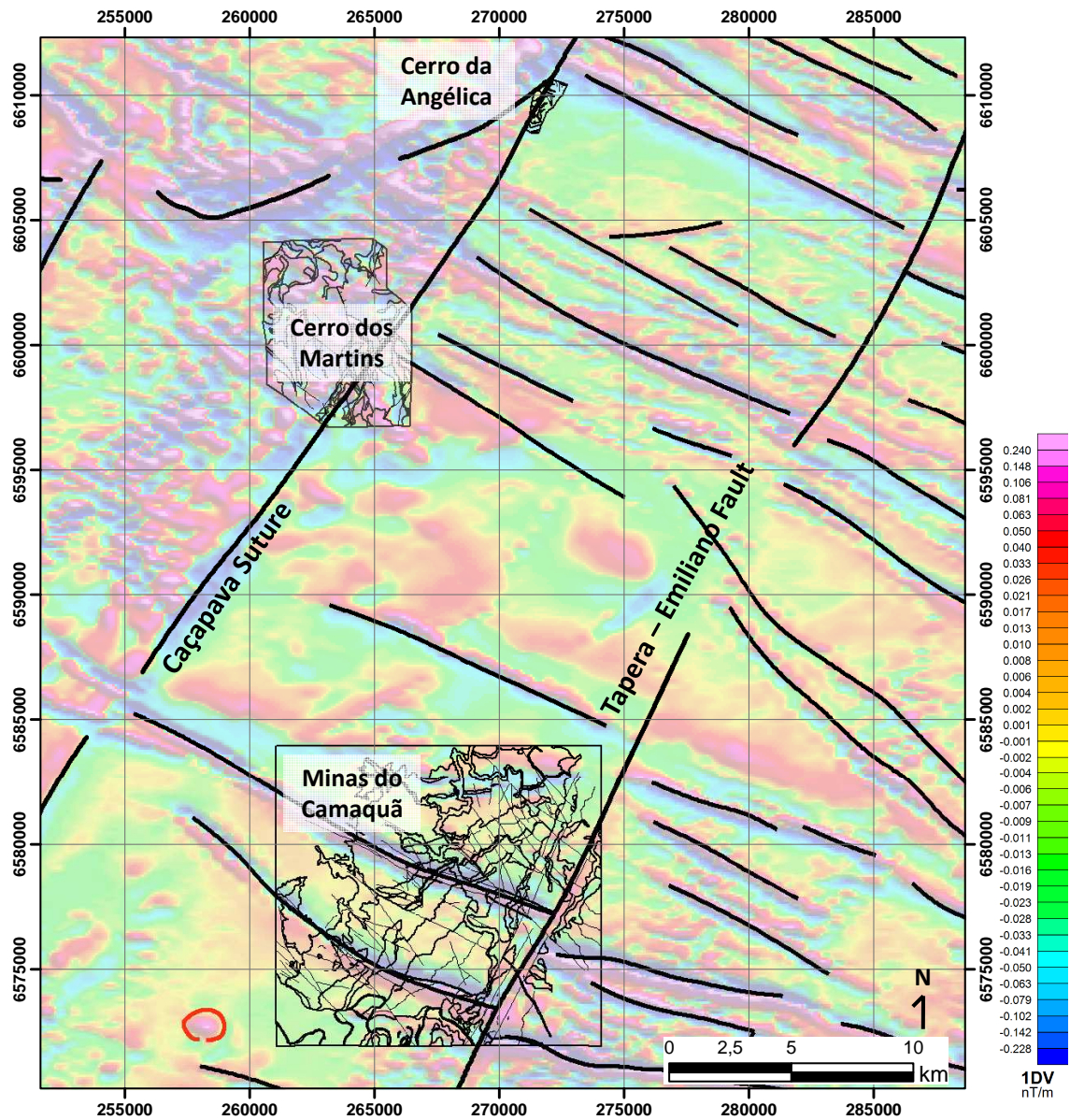


Fig. 9 - Minas do Camaquã District, Cerro dos Martins e Cerro da Angélica targets position in Tijucas Domain. First derivative map background. UTM coordinate system, DATUM Córrego Alegre, 22S zone.

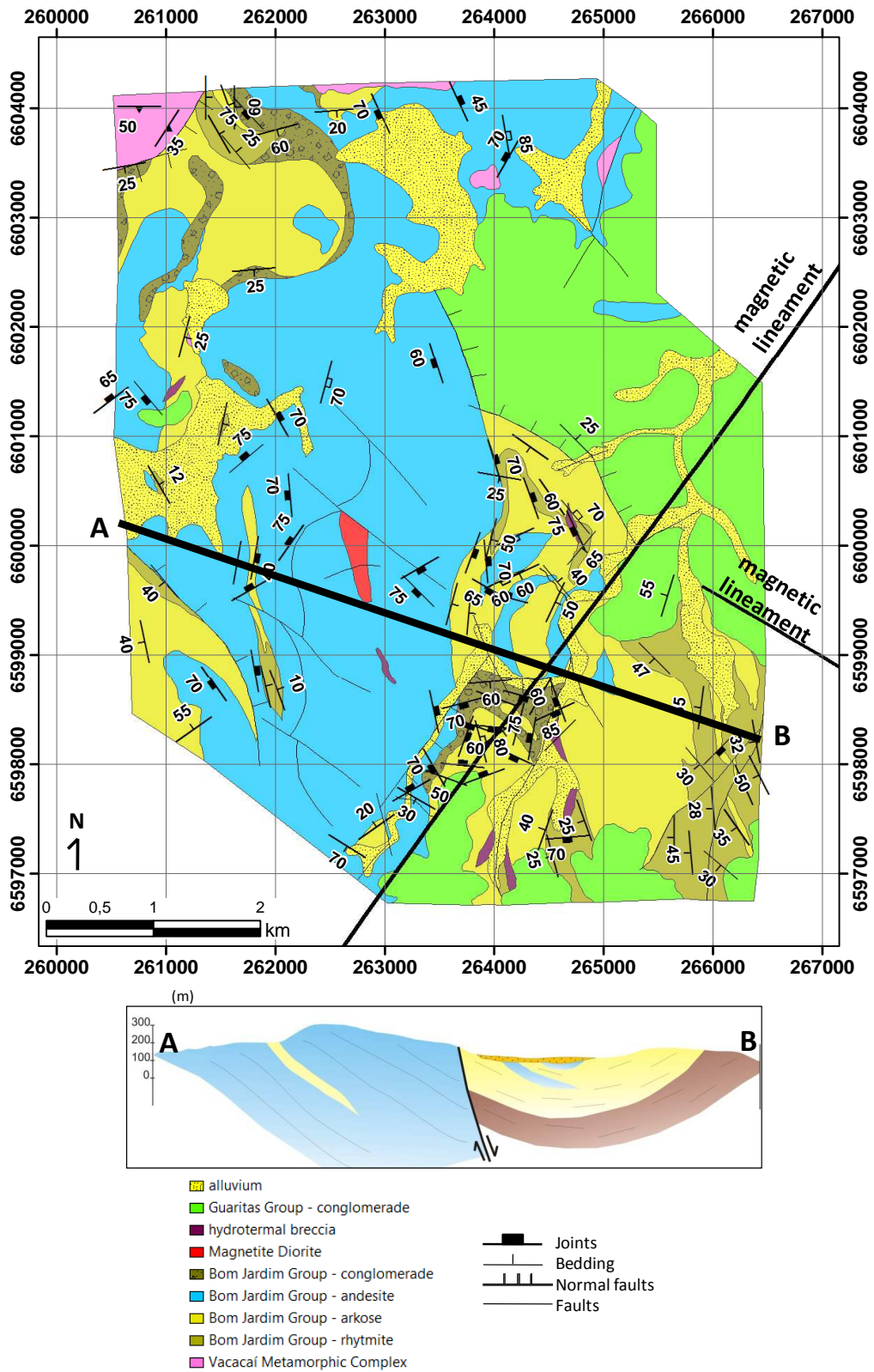


Fig. 10 - Geological map (above) and cross section (below) from Cerro dos Martins target (Votorantim Metais, 2012). NE and NW normal faults in geological map putting the Guaritas Group (top of basin) in contact with Bom Jardim Group (bottom of basin). Cross section showing bedding drag associated with NE normal faults. UTM coordinate system, DATUM Córrego Alegre, 22S zone.

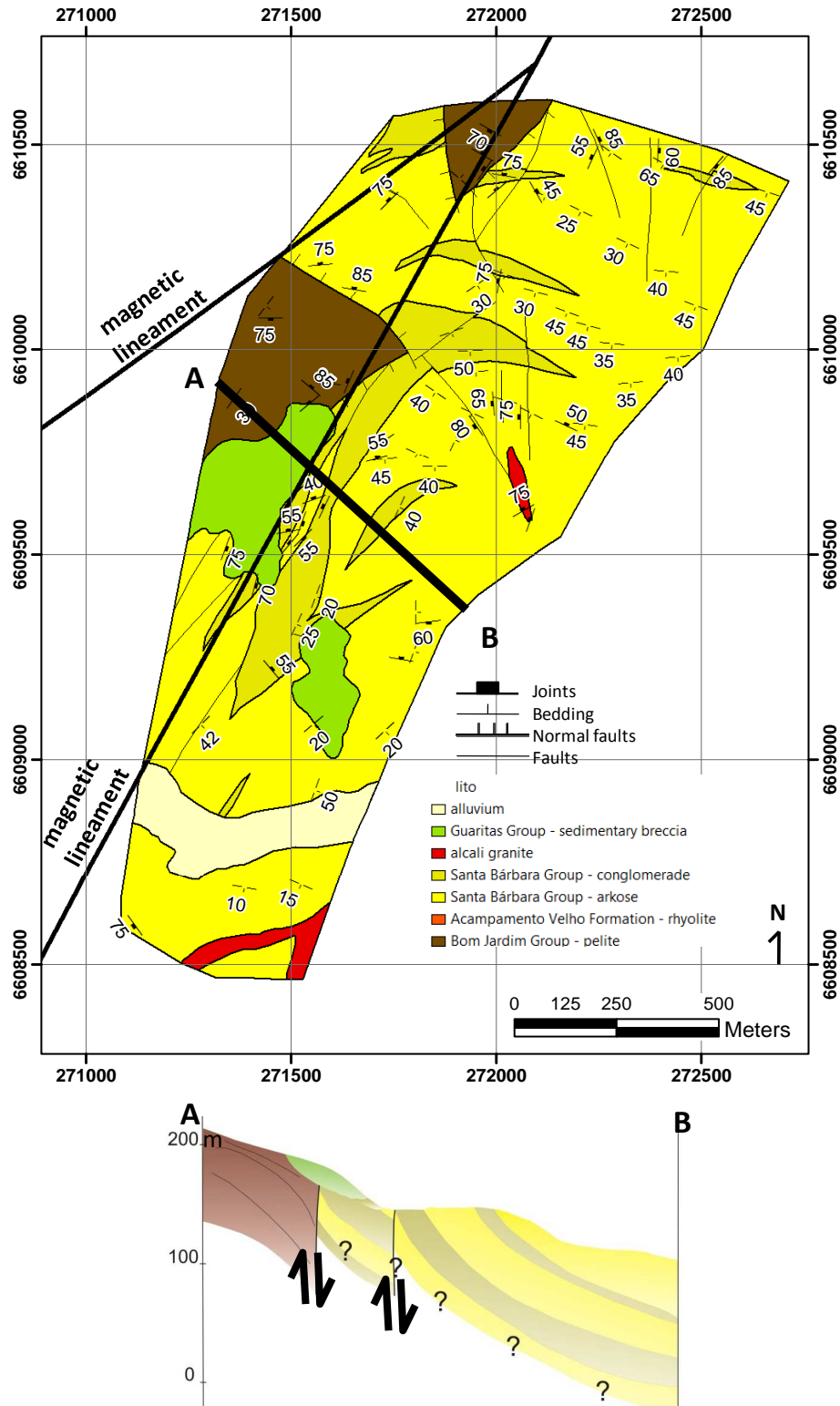


Fig. 11 - Geological map (above) and cross section (below) from Cerro da Angélica target (Votorantim Metais, 2011). NE and NW normal faults in geological map putting the Santa Bárbara Group in contact with Bom Jardim Group rocks from Camaquã Basin bottom. Cross section showing bedding drag associated with NE normal faults. UTM coordinate system, DATUM Córrego Alegre, 22S zone.

4.4 – Pelotas Domain

The Pelotas Domain (figure 12) is composed by a huge variety of granites related to pre, sin and post-collisional tectonic setting of the Brasiliano Orogeny, with minor volcanic and sub-volcanic components (Philipp et al., 2003). The limit of the Pelotas Domain to the west is defined by the Dorsal de Canguçu Transcurrent Shear Zone (Philipp et al., 2003). To the north the limit with Paraná Domain is defined by the Formigueiro Magnetic Lineament.

The magnetic lineaments structural pattern from Pelotas Domain shows predominant NE trend associated with sigmoid geometry anomalies, reflecting the kinematic of strike slip shear zones. Most of them display left-lateral displacement and some with right-lateral displacement. This ductile fabric seems to be strongly interrupted in central and northern parts of the Pelotas Domain by a young phase of shallow ENE, NE and NW magnetic lineaments, that we interpreted as relate to brittle faults.

Geological mapping was carried out in 1:20.000 scales in an area located at one of these sigmoid lineaments between major shear zones. The main objective was to identify targets as part of the exploration program from Votorantim Metais, looking for base-metals in Sul-Rio-Grandense Shield in 2012. In the same way as the maps presented in Tijucas Domain, the map and section presented below were integrated with our geophysical data to understand the relationship between regional interpretation and its response in bigger scales as a fractal analysis. The Ferraria target (figure 13) is hosted in a transpressive shear system defined in magnetic map as a sigmoid lineament between major NE shear zones. A NE mylonitic shear zone dipping to NW is developed as part of the transpressive system, also corroborated by strength lineation, mineral lineation and isoclinal fold axis dipping to the NW and NE, showing thrusting and transcurrent components with medium to low angles dips.

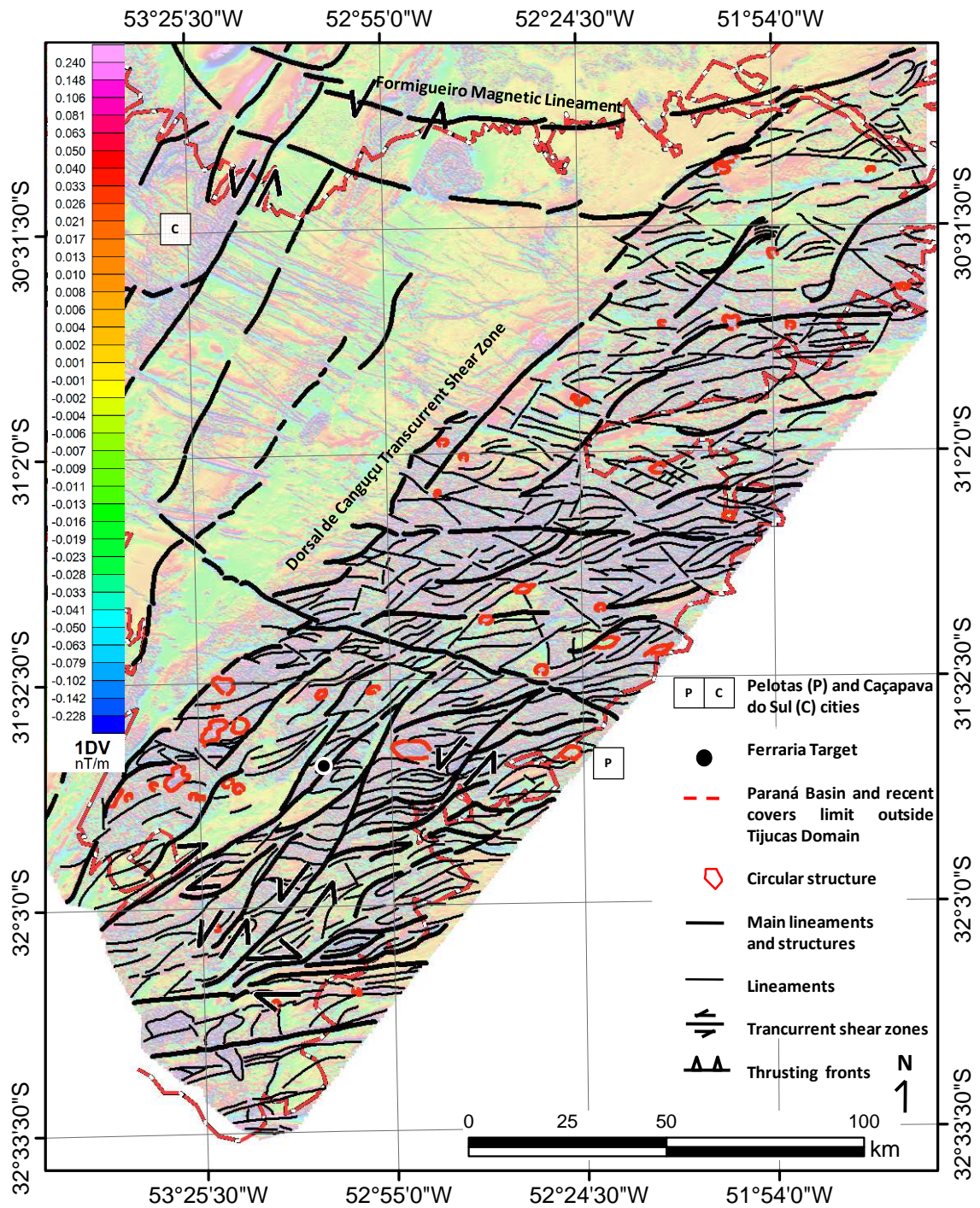


Fig. 12 - Pelotas Domain limited by Dorsal de Canguçu Transcurrent Shear Zone (west) and Formigueiro Magnetic Lineament (north), showing its sigmoid lineaments pattern interrupted in its central-north parts by NE, NW and EW linear lineaments. Paraná Basin and recent covers surrounding Pelotas Domain. First vertical derivative map background.

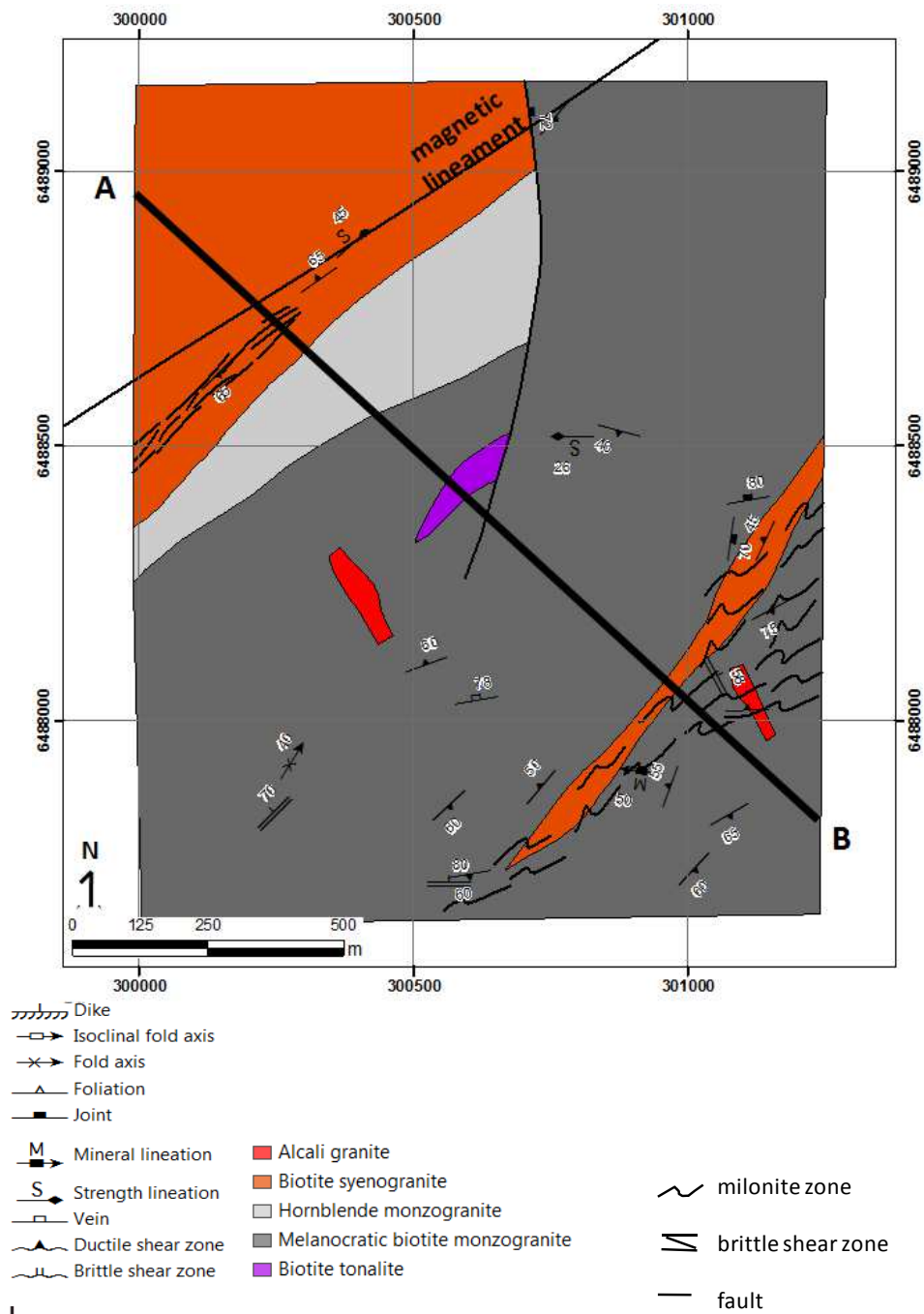


Fig. 13 - Geological map (above) and cross section (below) from Ferrara Target. Linear structures in geological map dipping in medium angle to NW and NE, showing transcurrent and thrusting components as part from a transpressive system. Foliations in cross section dipping to A (NW) and B (SE). UTM coordinate system, DATUM Córrego Alegre, 22S zone.

4.5 - Paraná Domain

The Paraná Domain (figure 14) is mainly composed of the sediments and volcanic rocks from the Paleozoic Paraná Basin, with minor Proterozoic rock components. Its boundaries with the São Gabriel, Tijucas and Pelotas domains are represented by the São Gabriel, Piquiri and Formigueiro Magnetic Lineaments, respectively.

Regional curvilinear lineaments with EW general direction mark Paraná Domain, where several circular magnetic anomalies are located. The most expressive circular anomaly are related to the Piquiri Syenite, a 15km circular concentric anomaly, and another one described by Ribeiro (1978) as one of the strongest magnetic anomalies from geophysical survey in Sul-Rio-Grandense Shield. The Piquiri Syenite, mapped as a semi-circular body by CPRM (2008), shows in magnetic survey semi-circular structures associated to concentric magmatic evolution similar to the alkaline complexes as the Cretaceous Catalão Alkaline Complex, Goiás state, Brazil (Votorantim, 2012). However, field evidences of these magmatic patten was not found, despite the strong anomaly. We suggest a deep and non-outcropping magnetic source.

Another strong magnetic anomaly from the geophysical survey of Sul-Rio-Grandense Shield (Ribeiro, 1978) is located in Formigueiro Magnetic Lineament and was drilled as a part of a coal project by CRM - Companhia Rio-Grandense de Mineração (Ribeiro, 1978). The drill hole cross over the Paraná Basin sediments and intersected a body of serpentinite with elevated cromite levels (Ribeiro, 1978). Ribeiro (1978) do not suggest the genesis of the ultramafic body, but we analyse it as making part of a suite derivate from the Proterozoic basement or as intrusion/magmatic chamber associated with the basalts from Serra Geral Formation.

Field check was carried out in two strong semi-circular magnetic anomalies located to the south of the Serra Geral flood basalts and hosted by the sediments from Paraná Basin (figure 15). The first one was a non outcropping locality and in the second one we found basalts with columnar joints typical of shallow basic intrusions. According to the second occurrence we strongly suggest that these magnetic anomalies are ring dikes from the Serra Geral Formation, hosted by the older sedimentary package of the Paraná Basin, similar to described by O' Driscoll et al. (2005), that describe ring dikes as sub-volcanic intrusions with circular sheeted shapes that forms due to ascent of magma along a steep dipping ring fracture. These kind of structures could be related to the volcanic centers of the Serra Geral Formation Cretaceous basalts in southern Brazil.

Minor ductile lineaments are present in the south-central portion of the Paraná Domain related to the Neoproterozoic Porongos Complex, marking strike slip shearing displaying left-lateral displacement.

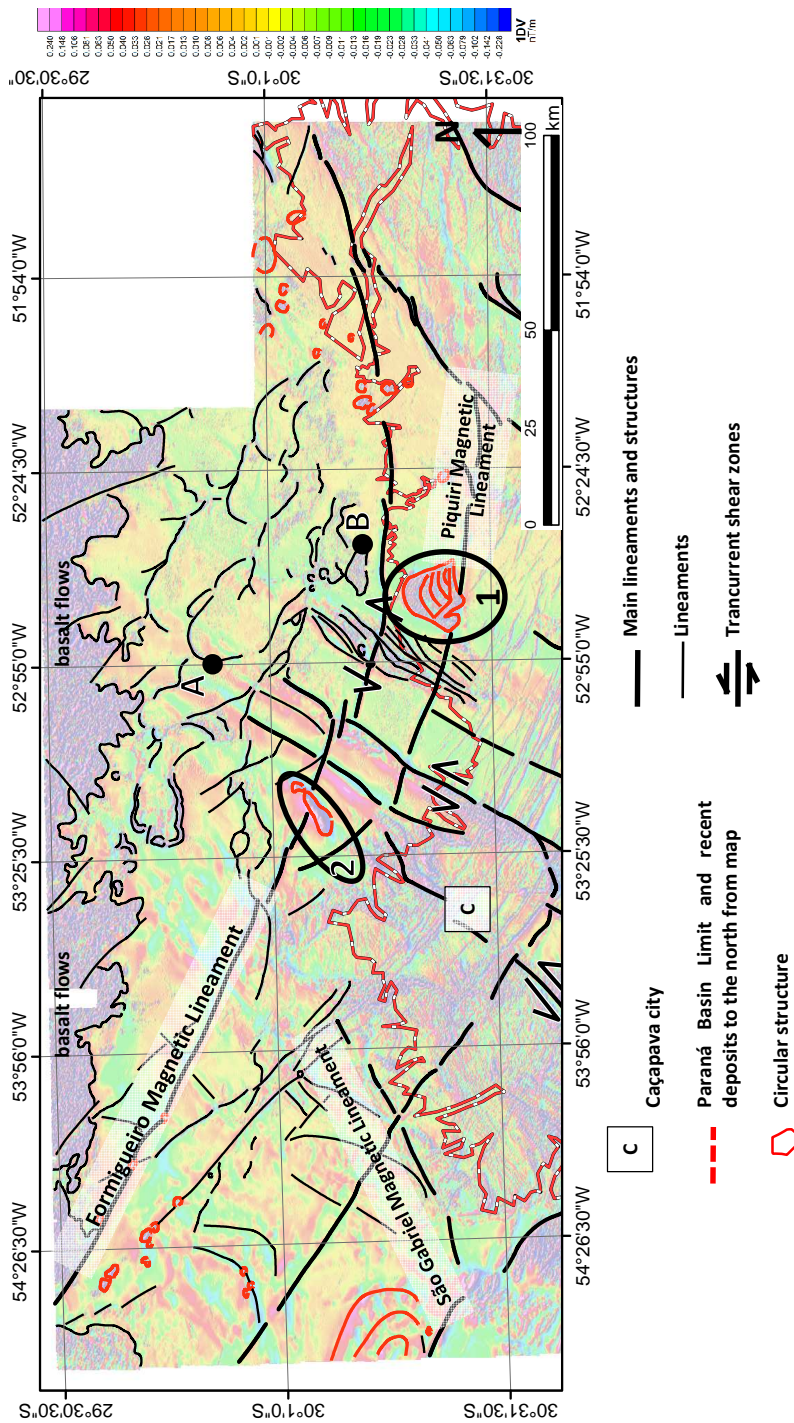


Fig. 14 - Paraná Domain limited by São Gabriel Magnetic Lineament, Formigueiro Magnetic Lineament and Piquiri Magnetic Lineament. Piquiri Syenite magnetic signature in ellipse #1. Strong magnetic anomaly related with non outcropping serpentinite body in ellipse #2. Black points (A and B) indicate strong semi-circular anomalies related with ring-dikes. First vertical derivative map background.

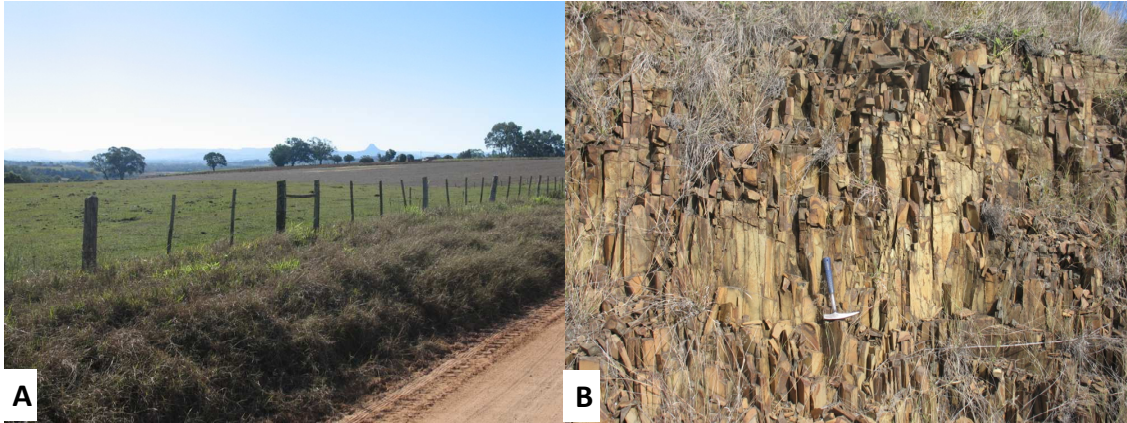


Fig. 15 - Non outcropping semi-circular magnetic anomaly (A photo). Columnar joints from magnetite basalt ring dike in (B photo).

5 -. Discussion

The structural interpretation of Sul-Rio-Grandense Shield is described in more detailed than the previous geophysical surveys used by Costa (1997) which allowed for the recognition of five magnetic domains (figure 16): Taquarembó Domain, São Gabriel Domain, Tijucas Domain, Pelotas Domain, and Paraná Domain. All of which were limited by regional magnetic lineaments and distinguished magnetic lineament geometry/structural patterns.

We interpreted the inflected lineaments into São Gabriel Domain as related to a thrusting event that transport it over the Taquarembó Domain, and developed a large regional folding of EW trend. The thrusting occur contemporaneous with the Ibaré right-lateral transcurrent shear zone, probably involving oblique accretion of São Gabriel rocks with the Paloproterozoic block.

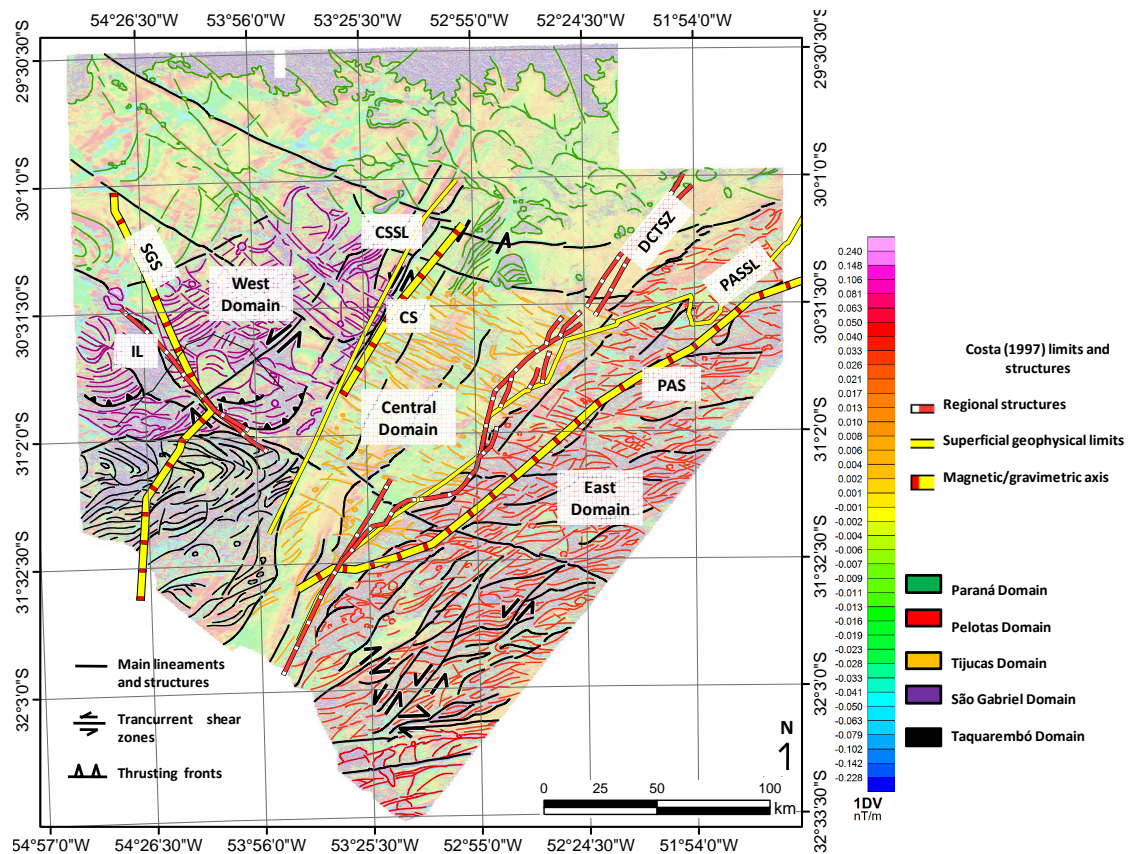


Fig. 16 - Geophysical domains from Costa (1997) in comparison with the magnetic domains from the present thesis. Costa (1997) domains are West, Central and East. The suture zones are (SGS) São Gabriel Suture, (CS) Caçapava Suture and (PAS) Porto Alegre Suture, with their respective superficial projections (PASSL) Porto Alegre Suture Superficial Limit and (CSSL) Caçapava Suture Superficial Limit. The main regional structures include (IL) Ibaré Lineament and (DCTSZ) Dorsal de Canguçu Transcurrent Shear Zone. Domains from this thesis are Taquarembó Domain in black, São Gabriel Domain in purple, Tijucas Domain in orange, Pelotas Domain in red and Paraná Domain in green. First vertical derivative map background.

6 - Conclusions

In this paper we present new delimitation from magnetic domains with their regional structures limits, also analyzing their structural framework based on lineaments geometry, field data and regional geology papers review. Important findings were obtained:

- 1 - Five magnetic domains were delimited with the new high-resolution airborne magnetic survey.
- 2 - Thrusting fronts against Taquarembó Domain related with São Gabriel Domain accretion in oblique component.
- 3 - The thrusting from São Gabriel Domain against Taquarembó Domain causes regional folding in Taquarembó Domain, marked by fold lineaments geometry with EW axis.
- 4 - The NE and NW magnetic lineaments from Tijucas Domain are related with normal faults with directional component, corroborated by detail geological mapping, review from Camaquã Mines District data and previous papers.

5 - Internal transcurrent shear zones from Pelotas Domain south portion were identified with sigmoid lineaments geometry, enclosed by major NE transcurrent structures marking transpressive zones in regional shearing. Field data from detail geological mapping corroborates this fact.

6 - Semi-circular magnetic anomalies in Paraná domain could be related with ring-dikes as volcanic structures from Serra Geral Formation basalt flows.

7 - Acknowledgements

We acknowledge Universidade de Brasília (UnB), Votorantim Metais and Anglo American for supporting the paper project. We also acknowledge the geophysicist Antônio Flávio Uberti Costa for the short thesis discussion in the III Simpósio Brasileiro de Metalogenia - Gramado (2013), which was fundamental to encourage us to carry on with the new ideas.

8 - References

Almeida R. P. De, 2010. Recurring extensional and strike-slip tectonics after the Neoproterozoic collisional events in the southern Mantiqueira province. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 347 p.

Almeida F. F. M.; Hasui, Y.; Brito Neves, B. B.; Fuck, R. A., 1981. Brazil structural provinces: an introduction. *Earth Science Review*, 17: 1-29.

Almeida, E.F.M. & Hasui, Y., 1984. *O Pré-Cambriano do Brasil*. São Paulo, Blücher, 378p.

Anjos, I. L. S. & Mourão, L. M., 1987. Projeto Extremo Sudeste do Brasil. Relatório Final. V. 1. CPRM.

Babinski, M.; Chemale Jr.; Hartmann, L. A.; Van Schumus, W. R.; Da Silva, L. C., 1996. Juvenile accretion at 750-700 Ma in Southern Brazil. *Geology*, 24: 439-442.

Baratoux, L., Metelka, V., Naba, S., Jessell, W. M., Grégoire, M., Ganne, J., 2011. Juvenile Paleoproterozoic crust evolution during the Eburnean orogeny (~2.2–2.0 Ga), western Burkina Faso. *Precambrian Res.* DOI:10.1016/j.precamres.2009.03.006.

Betts, P., Williams, H., Stewart, J., Ailleres, L., 2007. Kinematic analysis of aeromagnetic data: Looking at geophysical data in a structural context. *Gondwana Res.* 11, 582–583.

Betts, P. G., Valenta, R. K., Finlay, J., 2003. Evolution of the Mount Woods inlier, northern Gawler Craton, Southern Australia: an integrated structural and aeromagnetic analysis. *Tectonophysics* 366, 83–111.

Blakely J. B., 1996. *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Cambridge University Press New York, 441 p.

Chemale Jr. F., 2000. *Evolução Geológica do Escudo Sul-rio-grandense*. In: Holz, M. & De Ros, L.F. (Ed.): *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: CIGO/Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 13-52.

Cordani U. G., Halpern M., Berenholc M., (1974) *Comentários sobre as determinações geocronológicas da Folha de Porto Alegre*. In: *Carta Geológica do Brasil ao Milonésimo, texto explicativo da Folha de Porto Alegre e Lagoa Mirim*. DNPM, Brasília, pp 70–84.

Costa A. F. U., 1997. *Teste e modelagem geofísica das associações litotectônicas précambrianas no Escudo Sul-rio-grandense*. Porto Alegre. 2v., 257p. Tese de Doutorado em Ciências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Denham D., 1997. *Airborne geophysics in Australia: The Government Contribution*. AGSO J. Aust. Geol. Geophys. 17, 3-9.

Direen N. G., Cadd, A. G., Lyons, P., Teasdale, J. P., 2005. *Architecture of Proterozoic shear zones in the Christie Domain, western Gawler Craton, Australia: Geophysical appraisal of a poorly exposed orogenic terrane*. *Precambrian Res.* 142, 28–44.

Fernandes, L. A. D., Menegat, R.; Costa, A. F. U.; Koester, E.; Porcher, C. C.; Tommasi, A.; Kraemer, G.; Ramgrab, G. E. & Camozzato, E., 1995. *Evolução Tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-rio-grandense: Parte I - uma contribuição a partir do registro geológico*. *Revista Brasileira de Geociências*, 25(4): 375-384.

Fragoso-Cesar A. R. S., Paes-de-Almeida R., Fambrini G. L., Pelosi A. P. M. R., Janikian L., 2003. *A Bacia Camaquã: um sistema de intracontinental anorogênico de rifts do Neoproterozóico III Eopaleozóico no Rio Grande do Sul*. In: *Encontro sobre a Estratigrafia do RS: Escudo e Bacias*, 1, Anais, pp:139-144.

Frantz, J. C.; McNaughton, N. J.; Marques, J. C.; Hartmann, L. A.; Botelho, N. F. e Caravaca, G. *Shrimp U-Pb zircon ages of granitoids from southernmost Brazil: constraints on the temporal evolution of the Dorsal de Canguçu transcurrent shear zone and the eastern Dom Feliciano belt*. *Short Papers - 2003, Anais...IV South American Symposium on Isotope Geology*.

Grupo Maricá (Neoproterozóico III), Bacia do Camaquã,

Hartmann, L. A.; Porcher, C. C.; Remus, M. V. D., 2000. Evolução das rochas metamórficas do Rio Grande do Sul. In: Holz, M. & De Ros, L. F. (ed). Geologia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, CIGO/UFRGS, p. 13-52.

Hartmann, L. A.; Chemale Jr., F.; Philipp, R. P., 2007. Evolução Geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano. In: Iannuzzi, R. & Frantz, J.C. (Ed.): 50 ANOS de Geologia: Instituto de Geociências. Contribuições, p. 97-123.

Hartmann, L. A.; Leite, J. A. D.; Silva, L. C.; Remus, M. V. D.; McNaughton, N. J.; Groves, D. I.; Fletcher, I. R.; Santos, J. O. S. & Vasconcellos, M. A. Z., 2000. Advances in SHRIMP geochronology and their impact on understanding the tectonic and metallogenic evolution of southern Brazil. Australian Journal of Earth Sciences, 47:829-844.

Hartmann, L. A.; Nardi, L. V. S.; Formoso, L. L.; Remus, M. V. D.; Lima, E. F. & Mexias, A. S., 1999. Magmatism and metallogeny in the crustal evolution of Rio Grande do Sul shield, Brazil. Pesquisas, 26:45-63.

Hasui, Y.; Carneiro, C. D. R.; Coimbra, A. M., 1975. The Ribeira Folded Belt. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo: SBG. 5 (4): 257-266.

Hsu, S. K., Sibuet, J. C., Shyu, C. T., 1996. High-resolution detection of geological boundaries from potential-field anomalies: an enhanced analytical signal technique. Geophysics, 62 (2): 373-386.

J. Ebbing, M. Aarset, R. F. Reynisson, T. Vattekar, 2009. Inversion of Magnetic and Gravity Fields Applied to the Sub-Basalt Imaging Problem. 11th Biennial Technical Meeting and Exhibition Swaziland, 16 - 18 September 2009, pages 296 - 299.

Jackson, V. N., Ramos, V. A., Terry, S. A.; Zuzek, A. B., 1973. Projeto Aerogeofísico Camaquã - Estado do Rio Grande do Sul. Texas Instrumentos do Brasil LTDA. Convênio DNPM-CPRM/CNEN-CPRM. Relatório Final. I/II/III/IV: 224p.

Janikian, L.; Almeida, R. P.; Fragoso-Cesar, A. R. S.; and Fambrini, G., 2003. Redefinição do Grupo Bom Jardim (Neoproterozóico III) em sua área-tipo: litoestratigrafia, paleogeografia e significado tectônico das sucessões vulcano-sedimentares do Supergrupo Camaquã, RS. Ver. Bras. Geoc. 33: 349-362.

K. S. Duarte (2011) Levantamentos Exploratórios da ANP na Bacia do Acre. Revista Técnico Científica da ANP, nº 1.

Kaul, P. F. T. Geologia. In: Geografia do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, v.2: Região Sul, 1990. p.29-54.

Lasa Prospecções S.A., 2010. Relatório Final do Levantamento e Processamento dos Dados Magnetométricos e Gamaespectrométricos, Volume I, 83 p.

Laux, J. H.; Bongioiolo, E. M.; Chemale Jr, F.; Santos, T. C. 2010. U-Pb of Cerro Batovi Metamorphic Complex. First record of statherian rocks in the Rio Grande do Sul state – Brazil. In: South American Symposium on Isotope Geology, 7. Brasília. CD-ROM.

Lopes, A. P. & Hartmann, L. A., 2003. Geoquímica de Rochas Metabasálticas da Mina da Palma, Bloco São Gabriel, Escudo Sul-rio-grandense: Um Possível Platô Oceânico. Pesquisas em Geociências, 30(1): 27-39.

Lusa, M.; Philipp, R. P.; Nardi, L. V. S., 2010. 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.

MacLeod, I. N., Jones, K., Dai, T. F., 1993. 3D Analytic signal in the interpretation of total magnetic field data at low magnetic latitudes. Exploration Geophysics, 24: 679-687.

Milligan, P. R. and Gunn, P. J., 1997. Enhancement and presentation of airborne geophysical data. AGSO Journal of Geology and Geophysics, 17: 63-75.

Nabighian, M. N., 1972. The analytical signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: its properties and use for automated anomaly interpretation. Geophysics, 37: 507-517.

Nabighian, M. N., 1984. Toward a three-dimensional automatic interpretation of potential field data via generalized Hilbert transforms: fundamental relations. Geophysics, 49: 780-786.

Roest, W. E., Verhoef, J., Pilkington, M., 1992. Magnetic interpretation using 3D analytical signal. Geophysics, 57: 116-125.

Neawsuparpa, K.; Charusiria, P.; Meyersb, J. New Processing of Airborne Magnetic and Electromagnetic Data and Interpretation for Subsurface Structures in the Loei Area, Northeastern Thailand. ScienceAsia 31 (2005): 283-298.

O'Driscoll, B., Troll, V. R., Reavy, R. J., and Turner, P. 2006. The great Eucrite intrusion of Ardnamurchan, Scotland: re-evaluating the ring-dike concept. Geology, 34 (3), p 189-192.

Pelosi, A. & Fragoso-Cesar, A. R. S.; 2003. Proposta litoestratigráfica e considerações paleoambientais sobre o Grupo Maricá (Neoproterozóico III), Bacia do Camaquã, Rio Grande do Sul. *Rev Bras Geoc* 33: 137-148.

Philipp, R. P.; Machado, R.; Chemale Jr., F. Reavaliação e Novos Dados Geocronológicos (Ar/Ar, Rb/Sr e Sm/Nd) do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul: Implicações Petrogenéticas e Idade de Reativação das Zonas de Cisalhamento. *Geol. USP Sér. Cient.*, São Paulo, v. 3, p. 71-84, agosto 2003.

Porcher C. C., McNaughton N. J., Leite J. A. D., Hartmann L. A., Fernandes L. A. D., (1999) Idade Shrimp em zircão: vulcanismo ácido do Complexo Metamórfico Porongos. In: Simpósio sobre Vulcanismo e Ambientes Associados. Abstracts, Gramado, 110.

Rabeh T., Abdallatif T., Mekkawi M., Khalil A. and El-emam A., 2008. Magnetic Data Interpretation and Depth Estimation Constraints: A Correlative Study On magnetometer and Gradiometer Data. *NRIAG Journal of Geophysics Special Issue*, PP. 185 – 209.

Remus M. V. D., McNaughton N. J., Hartmann L. A., Koppe J. C., Fletcher I. R., Groves D. I., Pinto V. M., 1999. Gold in the Neoproterozoic juvenile Bossoroca Volcanic Arc of southernmost Brazil: isotopic constraints on timing and sources. *J. South Am. Earth Sc.*, 12: 349-366.

Ribeiro, M. J. 1978. Mapa Previsional do Cobre no Escudo Sul-Riograndense: nota explicativa. Porto Alegre, DNPM. 104 p. (Série Geologia, n. 3, Seção Geologia Econômica, n.1) Rio Grande do Sul. *Rev. Bras. Geo.* 33: 137-148.

Roest, W. R., Verhoef, J. and M. Pilkington., 1992. Magnetic interpretation using the 3D analytic signal. *Geophysics*, 57, p. 116-125.

Serviço Geológico do Brasil - Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM), 2008. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul.

Soliani Jr., E., 1986. Os dados geocronológicos do Escudo Sul-rio-grandense e suas implicações de ordem geotectônica. São Paulo, 425 p. Teses (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

Soliani Jr., E.; Koester, E.; Fernandes, L. A. D., 2000. A Geologia Isotópica do Escudo Sul-rio-grandense – Parte II: os dados isotópicos e interpretações petrogenéticas. In: Holz, M.; De Ros, L. F. (Eds.) *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, Editora UFRGS, p.175-230.

Tickyj, H.; Hartamn, L. A.; Vasconcellos, M.; Philipp, R. P.; Remus, M. V. D., 2004. Electronmicroprobe dating of monazite substantiates ages of major geological events in the southern Brazilian Shield. *Journal of South American Earth Science*.

Votorantim Metais, 2011. Relatório Interno.

Votorantim Metais, 2012. Relatório Interno.

Wildner, W.; Hartmann, L. A.; Lopes, R. C., 2008. Serra Geral Group in the Paraná Basin: an optimized volcanic stratigraphy. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 44, 26-31. Curitiba, PR.

Zerfass, H. História tectônica e sedimentar do triássico da Bacia do Paraná (Rio grande do Sul, Brasil) e comparação geológica com as Bacias de Ischigualasto e de Cuyo (Argentina). 2003. 191 f. Tese Doutorado em Ciências - Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES

O novo aerolevanteamento geofísico de alta resolução, possibilitou a delimitação de cinco domínios magnéticos limitados por estruturas regionais. Também analisou-se os padrões de deformação internos em cada domínio tendo em vista a geometria dos lineamentos magnéticos, dados de campo e revisão de trabalhos de cunho regional. Pontos importantes do trabalho são colocados abaixo:

- 1 - Cinco domínios magnéticos foram delimitados com base no levantamento areogeofísico de alta resolução.
- 2 - Frentes de empurrão com componente transcorrente parecem jogar as unidades do Domínio São Gabriel contra o Domínio Taquarembó, tendo em vista a morfologia curvilínea dos lineamentos magnéticos e a revisão de dados de campo de trabalhos de cunho regional.
- 3 - O empurrão dado pela acresção do Domínio São Gabriel causa dobramento regional de eixo com tendência a direção EW no Domínio Taquarembó, sendo este dobramento marcado pela geometria curvilínea dos lineamentos magnéticos.
- 4 - Os lineamentos magnéticos de direção NE e NW do Domínio Tijucas são relacionados com falhamentos normais com componente direcional, sendo este comportamento corroborado por mapeamentos geológicos de detalhe, revisão dos dados do Distrito das Minas do Camaquã e revisão de trabalhos anteriores.
- 5 - Zonas de transcorrência na porção Sul do Domínio Pelotas foram identificadas, baseadas na geometria de lineamentos magnéticos sigmoidais balizados por zonas de transcorrência NE, numa feição típica de zonas transpressivas de cisalhamento regional. Mapeamento geológico corrobora esta interpretação.
- 6 - Fortes anomalias magnéticas semi-circulares do Domínio Paraná podem estar relacionadas com diques anelares que marcam antigos vulcões, responsáveis pela formação das lavas basálticas da Formação Serra geral.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida R. P. De, 2010. Recurring extensional and strike-slip tectonics after the Neoproterozoic collisional events in the southern Mantiqueira province. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 347 p.
- Almeida F. F. M.; Hasui, Y.; Brito Neves, B. B.; Fuck, R. A., 1981. Brazil structural provinces: an introduction. *Earth Science Review*, 17: 1-29.
- Almeida, E.F.M. & Hasui, Y., 1984. *O Pré-Cambriano do Brasil*. São Paulo, Blücher, 378p.
- Anjos, I. L. S. & Mourão, L. M., 1987. Projeto Extremo Sudeste do Brasil. Relatório Final. V. 1. CPRM.
- Babinski, M.; Chemale Jr.; Hartmann, L. A.; Van Schumus, W. R.; Da Silva, L. C., 1996. Juvenile accretion at 750-700 Ma in Southern Brazil. *Geology*, 24: 439-442.
- Baratoux, L., Metelka, V., Naba, S., Jessell, W. M., Grégoire, M., Ganne, J., 2011. Juvenile Paleoproterozoic crust evolution during the Eburnean orogeny (~2.2–2.0 Ga), western Burkina Faso. *Precambrian Res.* DOI:10.1016/j.precamres.2009.03.006.
- Betts, P., Williams, H., Stewart, J., Ailleres, L., 2007. Kinematic analysis of aeromagnetic data: Looking at geophysical data in a structural context. *Gondwana Res.* 11, 582–583.
- Betts, P. G., Valenta, R. K., Finlay, J., 2003. Evolution of the Mount Woods inlier, northern Gawler Craton, Southern Australia: an integrated structural and aeromagnetic analysis. *Tectonophysics* 366, 83–111.
- Blakely J. B., 1996. *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Cambridge University Press New York, 441 p.
- Chemale Jr. F., 2000. *Evolução Geológica do Escudo Sul-rio-grandense*. In: Holz, M. & De Ros, L.F. (Ed.): *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: CIGO/Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 13-52.
- Cordani U. G., Halpern M., Berenholc M., (1974) *Comentários sobre as determinações geocronológicas da Folha de Porto Alegre*. In: *Carta Geológica do Brasil ao Milonésimo, texto explicativo da Folha de Porto Alegre e Lagoa Mirim*. DNPM, Brasília, pp 70–84.
- Costa A. F. U., 1997. *Teste e modelagem geofísica das associações litotectônicas précambrianas no Escudo Sul-rio-grandense*. Porto Alegre. 2v., 257p. Tese de Doutorado em Ciências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Denham D., 1997. Airborne geophysics in Australia: The Government Contribution. AGSO J. Aust. Geol. Geophys. 17, 3-9.

Direen N. G., Cadd, A. G., Lyons, P., Teasdale, J. P., 2005. Architecture of Proterozoic shear zones in the Christie Domain, western Gawler Craton, Australia: Geophysical appraisal of a poorly exposed orogenic terrane. Precambrian Res. 142, 28–44.

Fernandes, L. A. D., Menegat, R.; Costa, A. F. U.; Koester, E.; Porcher, C. C.; Tommasi, A.; Kraemer, G.; Ramgrab, G. E. & Camozzato, E., 1995. Evolução Tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-rio-grandense: Parte I - uma contribuição a partir do registro geológico. Revista Brasileira de Geociências, 25(4): 375-384.

Fragoso-Cesar A. R. S., Paes-de-Almeida R., Fambrini G. L., Pelosi A. P. M. R., Janikian L., 2003. A Bacia Camaquã: um sistema de intracontinental anorogênico de rifts do Neoproterozóico III-Eopaleozóico no Rio Grande do Sul. In: Encontro sobre a Estratigrafia do RS: Escudo e Bacias, 1, Anais, pp:139-144.

Frantz, J. C.; McNaughton, N. J.; Marques, J. C.; Hartmann, L. A.; Botelho, N. F. e Caravaca, G. Shrimp U-Pb zircon ages of granitoids from southernmost Brazil: constraints on the temporal evolution of the Dorsal de Canguçu transcurrent shear zone and the eastern Dom Feliciano belt. Short Papers - 2003, Anais...IV South American Symposium on Isotope Geology. Grupo Maricá (Neoproterozóico III), Bacia do Camaquã,

Hartmann, L. A.; Porcher, C. C.; Remus, M. V. D., 2000. Evolução das rochas metamórficas do Rio Grande do Sul. In: Holz, M. & De Ros, L. F. (ed). Geologia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, CIGO/UFRGS, p. 13-52.

Hartmann, L. A.; Chemale Jr., F.; Philipp, R. P., 2007. Evolução Geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano. In: Iannuzzi, R. & Frantz, J.C. (Ed.): 50 ANOS de Geologia: Instituto de Geociências. Contribuições, p. 97-123.

Hartmann, L. A.; Leite, J. A. D.; Silva, L. C.; Remus, M. V. D.; McNaughton, N. J.; Groves, D. I.; Fletcher, I. R.; Santos, J. O. S. & Vasconcellos, M. A. Z., 2000. Advances in SHRIMP geochronology and their impact on understanding the tectonic and metallogenic evolution of southern Brazil. Australian Journal of Earth Sciences, 47:829-844.

Hartmann, L. A.; Nardi, L. V. S.; Formoso, L. L.; Remus, M. V. D.; Lima, E. F. & Mexias, A. S., 1999. Magmatism and metallogeny in the crustal evolution of Rio Grande do Sul shield, Brazil. Pesquisas, 26:45-63.

Hasui, Y.; Carneiro, C. D. R.; Coimbra, A. M., 1975. The Ribeira Folded Belt. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo: SBG. 5 (4): 257-266.

Hsu, S. K., Sibuet, J. C., Shyu, C. T., 1996. High-resolution detection of geological boundaries from potential-field anomalies: an enhanced analytical signal technique. *Geophysics*, 62 (2): 373-386.

J. Ebbing, M. Aarset, R. F. Reynisson, T. Vattekar, 2009. Inversion of Magnetic and Gravity Fields Applied to the Sub-Basalt Imaging Problem. 11th Biennial Technical Meeting and Exhibition Swaziland, 16 - 18 September 2009, pages 296 - 299.

Jackson, V. N., Ramos, V. A., Terry, S. A.; Zuzek, A. B., 1973. Projeto Aerogeofísico Camaquã - Estado do Rio Grande do Sul. Texas Instrumentos do Brasil LTDA. Convênio DNPM-CPRM/CNEN-CPRM. Relatório Final. I/II/III/IV: 224p.

Janikian, L.; Almeida, R. P.; Fragoso-Cesar, A. R. S.; and Fambrini, G., 2003. Redefinição do Grupo Bom Jardim (Neoproterozóico III) em sua área-tipo: litoestratigrafia, paleogeografia e significado tectônico das sucessões vulcano-sedimentares do Supergrupo Camaquã, RS. *Ver. Bras. Geoc.* 33: 349-362.

K. S. Duarte (2011) Levantamentos Exploratórios da ANP na Bacia do Acre. *Revista Técnico Científica da ANP*, nº 1.

Kaul, P. F. T. Geologia. In: *Geografia do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, v.2: Região Sul, 1990. p.29-54.

Lasa Prospecções S.A., 2010. Relatório Final do Levantamento e Processamento dos Dados Magnetométricos e Gamaespectrométricos, Volume I, 83 p.

Laux, J. H.; Bongioiolo, E. M.; Chemale Jr, F.; Santos, T. C. 2010. U-Pb of Cerro Batovi Metamorphic Complex. First record of statherian rocks in the Rio Grande do Sul state – Brazil. In: *South American Symposium on Isotope Geology*, 7. Brasília. CD-ROM.

Lopes, A. P. & Hartmann, L. A., 2003. Geoquímica de Rochas Metabasálticas da Mina da Palma, Bloco São Gabriel, Escudo Sul-rio-grandense: Um Possível Platô Oceânico. *Pesquisas em Geociências*, 30(1): 27-39.

Lusa, M.; Philipp, R. P.; Nardi, L. V. S., 2010. 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.

- MacLeod, I. N., Jones, K., Dai, T. F., 1993. 3D Analytic signal in the interpretation of total magnetic field data at low magnetic latitudes. *Exploration Geophysics*, 24: 679-687.
- Milligan, P. R. and Gunn, P. J., 1997. Enhancement and presentation of airborne geophysical data. *AGSO Journal of Geology and Geophysics*, 17: 63-75.
- Nabighian, M. N., 1972. The analytical signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: its properties and use for automated anomaly interpretation. *Geophysics*, 37: 507-517.
- Nabighian, M. N., 1984. Toward a three-dimensional automatic interpretation of potential field data via generalized Hilbert transforms: fundamental relations. *Geophysics*, 49: 780-786.
- Roest, W. E., Verhoef, J., Pilkington, M., 1992. Magnetic interpretation using 3D analytical signal. *Geophysics*, 57: 116-125.
- Neawsuparpa, K.; Charusiria, P.; Meyersb, J. New Processing of Airborne Magnetic and Electromagnetic Data and Interpretation for Subsurface Structures in the Loei Area, Northeastern Thailand. *ScienceAsia* 31 (2005): 283-298.
- O'Driscoll, B., Troll, V. R., Reavy, R. J., and Turner, P. 2006. The great Eucrite intrusion of Ardnamurchan, Scotland: re-evaluating the ring-dike concept. *Geology*, 34 (3), p 189-192.
- Pelosi, A. & Fragoso-Cesar, A. R. S.; 2003. Proposta litoestratigráfica e considerações paleoambientais sobre o Grupo Maricá (Neoproterozóico III), Bacia do Camaquã, Rio Grande do Sul. *Rev Bras Geoc* 33: 137-148.
- Philipp, R. P.; Machado, R.; Chemale Jr., F. Reavaliação e Novos Dados Geocronológicos (Ar/Ar, Rb/Sr e Sm/Nd) do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul: Implicações Petrogenéticas e Idade de Reativação das Zonas de Cisalhamento. *Geol. USP Sér. Cient.*, São Paulo, v. 3, p. 71-84, agosto 2003.
- Porcher C. C., McNaughton N. J., Leite J. A. D., Hartmann L. A., Fernandes L. A. D., (1999) Idade Shrimp em zircão: vulcanismo ácido do Complexo Metamórfico Porongos. In: *Simpósio sobre Vulcanismo e Ambientes Associados. Abstracts*, Gramado, 110.
- Rabeh T., Abdallatif T., Mekkawi M., Khalil A. and El-emam A., 2008. Magnetic Data Interpretation and Depth Estimation Constraints: A Correlative Study On magnetometer and Gradiometer Data. *NRIAG Journal of Geophysics Special Issue*, PP. 185 – 209.

Remus M. V. D., McNaughton N. J., Hartmann L. A., Koppe J. C., Fletcher I. R., Groves D. I., Pinto V. M., 1999. Gold in the Neoproterozoic juvenile Bossoroca Volcanic Arc of southernmost Brazil: isotopic constraints on timing and sources. *J. South Am. Earth Sc.*, 12: 349-366.

Ribeiro, M. J. 1978. Mapa Previsional do Cobre no Escudo Sul-Riograndense: nota explicativa. Porto Alegre, DNPM. 104 p. (Série Geologia, n. 3, Seção Geologia Econômica, n.1) Rio Grande do Sul. *Rev. Bras. Geo.* 33: 137-148.

Roest, W. R., Verhoef, J. and M. Pilkington., 1992. Magnetic interpretation using the 3D analytic signal. *Geophysics*, 57, p. 116-125.

Serviço Geológico do Brasil - Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM), 2008. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul.

Soliani Jr., E., 1986. Os dados geocronológicos do Escudo Sul-rio-grandense e suas implicações de ordem geotectônica. São Paulo, 425 p. Teses (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

Soliani Jr., E.; Koester, E.; Fernandes, L. A. D., 2000. A Geologia Isotópica do Escudo Sul-rio-grandense – Parte II: os dados isotópicos e interpretações petrogenéticas. In: Holz, M.; De Ros, L. F. (Eds.) *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, Editora UFRGS, p.175-230.

Tickyj, H.; Hartmann, L. A.; Vasconcellos, M.; Philipp, R. P.; Remus, M. V. D., 2004. Electronmicroprobe dating of monazite substantiates ages of major geological events in the southern Brazilian Shield. *Journal of South American Earth Science*.

Votorantim Metais, 2011. Relatório Interno.

Votorantim Metais, 2012. Relatório Interno.

Wildner, W.; Hartmann, L. A.; Lopes, R. C., 2008. Serra Geral Group in the Paraná Basin: an optimized volcanic stratigraphy. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 44, 26-31. Curitiba, PR.

Zerfass, H. História tectônica e sedimentar do triássico da Bacia do Paraná (Rio grande do Sul, Brasil) e comparação geológica com as Bacias de Ischigualasto e de Cuyo (Argentina). 2003. 191 f. Tese Doutorado em Ciências - Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.