



**GEOLOGIA E PETROGRAFIA DO PICRITO DO BOQUEIRÃO E SUA
CORRELAÇÃO COM OUTRAS ROCHAS MÁFICAS-ULTRAMÁFICAS NO SW
DO ESCUDO SUL-RIOGRANDENSE**

Porto Alegre, 2014

ARIEL ROCHA GOULART

**GEOLOGIA E PETROGRAFIA DO PICRITO DO BOQUEIRÃO E SUA
CORRELAÇÃO COM OUTRAS ROCHAS MÁFICAS-ULTRAMÁFICAS NO SW
DO ESCUDO SUL-RIOGRANDENSE**

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

Orientadores: Prof.^a Dr^a Maria do Carmo Pinto Gastal
Prof. Dr. Edinei Koester

Porto Alegre, 2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Rui Vicente Oppermann

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Goulart, Ariel Rocha

Geologia e petrografia do picrito do Boqueirão e sua correlação com outras rochas máficas-ultramáficas no SW do Escudo Sul-riograndense . / Ariel Rocha Goulart. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2014.
[84 f.] il.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso).- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Graduação em Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2014.

Orientador(es): Maria do Carmo Pinto Gastal
Coorientador(es): Edinei Koester

1. Picrito 2. Magmatismo máfico Mesozóico 3. Petrografia 4. Lineamento tectônico I. Título.

CDU 55

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Miriam Alves

CRB 10/1947

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso “**Geologia e petrografia do picrito do Boqueirão e sua correlação com outras rochas máficas-ultramáficas no SW do Escudo Sul-riograndense**”, elaborado por “**ARIEL ROCHA GOULART**”, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Léo A. Hartmann

Prof. Dr. André S. Mexias

Doutoranda Rossana V. Goulart

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família, que sempre esteve ao meu lado e me apoiou durante todos esses anos de vida de graduando, nos momentos bons e ruins, na alegria e na tristeza. À minha mãe, Nelma, meu pai, Leodoro, minha irmã, Ariane... à vocês eu dedico o esforço final desta longa e prazerosa viagem.

Aos meus orientadores, Caia e Edinei, pela ótima conduta ao longo da elaboração deste trabalho, pelo aprendizado e experiência inestimáveis. Muito obrigado por tornarem este sonho possível.

Aos amigos, colegas e professores da Unisinos, onde toda esta jornada começou. Especialmente ao pessoal do antigo Laboratório de Micropaleontologia pela amizade, companheirismo e parceria.

Aos profissionais, professores e amigos da CPRM – Serviço Geológico do Brasil, pela oportunidade e experiência compartilhada.

A Sílvia Rolim, minha madrinha geológica, por me apresentar este maravilhoso mundo.

Aos professores Wilson Wildner e Andrea Sander, por, de fato, despertarem minha paixão e amor por esta fantástica ciência.

Aos professores, colegas e funcionários da UFRGS.

E finalmente, à minha namorada Pâmela, a mais bela dádiva que a Geologia poderia ter me dado durante todos esses anos. Obrigado por me aguentar durante estes últimos meses – sei que não foi fácil – e por estar sempre do meu lado em todos os momentos durante os últimos cinco anos. Te amo!

A todos com quem tive a oportunidade de cruzar nessa estrada, minha mais sincera gratidão.

"Onde não falta vontade existe sempre um caminho"

J. R. R. Tolkien

RESUMO

Picritos são rochas ultramáficas vulcânicas a hipabissais que contêm abundante olivina, são ricas em MgO (>12%) e empobrecidas em álcalis (< 3%). Representam a cristalização de magma mantélico produzido por alto grau de fusão parcial e/ou descompressão a maior profundidade, ocorrendo em platôs basálticos continentais e oceânicos, ilhas e dorsais oceânicas, bem como sequências komatiíticas. O trabalho trata do mapeamento e petrografia do picrito do Boqueirão, a fim de estabelecer sua relação com os principais lineamentos tectônicos regionais, as rochas encaixantes, e com outras ocorrências de rochas máficas-ultramáficas distribuídas ao longo do Lineamento de Ibaré, sudoeste do Escudo Sul-riograndense. O picrito está localizado no município de Bagé, cerca de 20 km ao sul da cidade de Lavras do Sul. É um corpo com pequena área aflorante (40 x 200 m), orientado segundo direção N88°E, concordante com a foliação nos metassedimentos encaixantes do Complexo Metamórfico Arroio Marmeleiro. O picrito está posicionado próximo à intersecção de estruturas rúpteis equivalentes a zonas de falha de direção ENE-WSW (Zona de Falha da Porteira) e NNE-SSW (Zona de Falha Graciano), que marcam o contato entre unidades metassedimentares e a Formação Hilário. A análise de alinhamentos e lineamentos revela que o picrito está posicionado segundo lineamentos E-W, que são as estruturas mais antigas da região, próximo a intersecção dessas com os lineamentos ENE-WSW, equivalentes à Zona de Falha da Porteira. Essa falha afetou mais intensamente os metassedimentos, foi reativada posteriormente e serviu de conduto para magmas traquiandesíticos da Formação Hilário. O picrito é uma rocha de granulação média a fina, composta de olivina cumulada serpentizada (80-63%), ortopiroxênio e diopsídio em grãos poiquilíticos a subédricos (23-12%) e material *intercumulus*, composto de diopsídio tardio, kaersutita (< 2,5%), flogopita (< 1%) e vidro intersticial alterado (9-2%), além de apatita acessória. Os minerais opacos ($\approx 10\%$) incluem Mg-cromita abundante e escassa magnetita. Os silicatos máficos possuem composições extremamente magnesianas como mostra a olivina (FO_{84-83}), o ortopiroxênio ($En_{84}Wo_2$ a $En_{80}Wo_7$) e o diopsídio ($En_{51}Wo_{41}$ a $En_{48}Wo_{43}$). As variações texturais e composicionais nesta rocha são consistentes com um modelo de fluxo de magma toleítico primitivo ao longo de corpo tabular, com líquido residual levemente alcalino. Sua comparação com as rochas regionais estudadas corrobora que todos (picrito, olivina-gabro, gabro norítico e diabásios) pertencem a uma mesma associação vinculada aos eventos iniciais do magmatismo basáltico mesozóico da Província Paraná.

Palavras-chave: Picrito. Magmatismo máfico Mesozóico. Petrografia. Lineamento tectônico.

ABSTRACT

Picrites are ultramafic, volcanic or hypabyssal rocks, which contain abundant olivine and have high MgO (> 12wt. %) and low alkalis (< 3 wt. %) contents. These rocks represent the crystallization of mantle-derived primitive magmas produced by a high degree of partial melting and/or by decompression of deeper sources. They commonly occur in oceanic and continental basaltic plateaus, ocean islands, middle ocean ridges and in komatiitic sequences. This monography is focused on the geologic and petrographic features of the Boqueirão picrite, in order to investigate its relationships with the main tectonic lineaments, the enclosing rocks and the other mafic-ultramafic bodies occurring along the Ibaré Lineament, southwest of the Sulriograndense Shield. The Boqueirão picrite, placed in the Bagé municipal district, is about 20 km to the south of the Lavras do Sul town. This picrite forms a small tabular body (40 m x 200 m), aligned in the direction N88°E that is concordant with the foliation of the enclosing metasedimentary rocks of the Arroio Marmeleiro metamorphic complex. It is emplaced near the intersection of two important fault zones, Porteira (ENE-WSW) and Graciano (NNE-SSW), which marks the limits between these metasedimentary rocks and the volcanogenic ones of the Hilário Formation. The analysis of tectonic alignments and lineaments shows that the picrite is placed along the E-W older tectonics structure, near its intersection with the Porteira fault zone (ENE-WSW). The latter, which had affected intensely the metasediments, was later reactivated and acted as a conduct for trachyandesitic magmas of the Hilário Formation. The Boqueirão picrite is a medium to fine-grained rock, consisting of partially serpentinised, cumulate olivine (80-63 vol. %), subhedral or poikilitic grains of orthopyroxene and diopside (23-12 vol. %) and intercumulus material including diopside, kaersutite (< 2.5 vol. %), phogopite (< 1 vol. %), partially altered interstitial glass (9-2 vol. %) and accessory apatite. The opaque minerals (\approx 10 vol. %) include common Mg-chromite and very rare magnetite. Mafic minerals have magnesian composition, as shown by olivine (Fo₈₄₋₈₃), orthopyroxene (En₈₄Wo₂ to En₈₀Wo₇) and diopside (en₅₁Wo₄₁ to En₄₈Wo₄₃). Textural and compositional variations in the picrite are consistent with a model involving a tholeiitic primitive magma flowing in a tabular body, with a mildly alkalic residual melt. Comparing this rock with the other regional ones, it is possible to suggest that all (picrite, olivine gabbro, noritic gabbro and diabase) belong to a same rock association formed during the initial events of the mesozoic basaltic magmatism of the Paraná Province.

Keywords: Picrite. Mesozoic mafic magmatism. Petrography. Tectonic lineament.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Localização e vias de acessos à área de estudo no Rio Grande do Sul. Modificado de DAER (2013).....17
- Figura 2 – a) Gráfico representando o campo composicional de picritos e komatiitos, de acordo com as definições da IUGS (Le Maitre, 2002). O diagrama 3D é baseado no diagrama TAS (plano de fundo), com a adição do teor de MgO numa terceira dimensão; b) Gráfico simplificado de álcalis *versus* MgO para rochas picricas (Le Maitre, 2002).....25
- Figura 3 - a) Picritos toleíticos de Vancouver Island, Platô Oceânico de Wrangellia – Canadá-Alaska; b) Fotomicrografia de lâmina de picrito mostrando pseudomorfos de olivina em matriz hipohialina composta de plagioclásio e piroxênio (LXP). Fonte: Greene *et al.* (2008).....26
- Figura 4 – a-b) Localização e mapa simplificado dos Traps Siberianos (251-252 Ma; lavas, rochas piroclásticas e soleiras), no noroeste da plataforma homônima, com a localização da Província Maimecha Kotui coeva, no leste do platô basáltico (Elkins-Tanton, 2011). C) Diagrama da classificação dos gabros segundo IUGS – Le Maitre (2002), exibindo a correlação dos nomes empregados para rochas máficas no distrito de Noril'sk (Czamanske *et al.*, 2002).....28
- Figura 5 – Fotomicrografias (LXP) de intrusivas moderadamente alcalinas (a e b) e subalcalina (c-f), Traps Siberianos (Ryabov *et al.*, 2014b): a) Traquidolerito com arranjo ofítico de augita, plagioclásio e olivina intergranular; b) Olivina traquidolerito, grãos finos de olivina cumulada e augita subofítica; c) Dolerito poiquilofítico; d) Gabro dolerítico contendo olivina, com augita ofítica; e) Olivina gabro dolerítico; e f) Gabro dolerítico picrítico; g-h) Meimechito (Sobolev *et al.*, 2009), em amostra de mão (g) e ao microscópio em LPP (h), exibindo fenocristais de olivina em matriz vítrea a microcristalina com olivina, titano-augita e flogopita.....29
- Figura 6 – Mapa esquemático simplificado da região sul de Etendeka, NW da Namíbia, mostrando os diques e *sills* de picritos e basaltos que ocorrem na região (extraído de Thompson *et al.*, 2001).....31
- Figura 7 – Mapa de localização dos *sills* básicos detectados em furos de sondagem na Região Metropolitana de Porto Alegre (extraído de CPRM, 2000).....32
- Figura 8 – Mapa simplificado das principais unidades e estruturas geotectônicas do Escudo Sul-riograndense (modificado de Hartmann *et al.*, 2007). Retângulo vermelho para a área da figura 10.....35
- Figura 9 – Porção centro-oeste do escudo, exibindo os principais domínios geotectônicos segundo Fernandes *et al.* (1995): Bacia do Camaquã (Ediacarano ao Cambriano) e ocorrências menores da Formação Serra Geral. Retângulo vermelho para a área da figura 10, e números para ocorrências de rochas máficas ao longo do lineamento de direção WNW-ESE, que corresponde ao prolongamento do Lineamento de Ibaré para leste (veja figura 12): 1 – Diques da região de Piratini (Ribeiro, 1980; Zanon *et al.*, 2006); 2 – Dique Rondina (Viero, 1998); 3 – Gabro

Estância do Tigre (Viero, 1998; Camozzato & Lopes, 2013); 4 – Gabro Três Passos (neste trabalho).....36

Figura 10 – Geologia regional da área de estudo e coluna estratigráfica proposta (modificado de Ramgrab & Wildner, 1999; UFRGS, 2004; CPRM, 2007; Camozzato & Lopes, 2013). Os dados geocronológicos seguem os trabalhos de Leite *et al.*, 1998; Hartman *et al.*, 2000; Borba *et al.*, 2008; Janikian *et al.*, 2008; Gastal *et al.*, 2010; e Bicca *et al.*, 2013. Retângulo vermelho para a área da figura 19, círculo vermelho para a localização do picrito do Boqueirão e estrela azul para o Carbonatito Joca Tavares (Toniolo, 2011; Senhorinho, 2012). Linha contínua fina para contatos; linha contínua grossa para principais lineamentos; linha tracejada grossa para lineamentos descontínuos. GTP: área de ocorrência do Gabro Três Passos; FAM: antiga Formação Arroio Marmeleiro; FAP: antiga Formação Arroio da Porteira.....38

Figura 11 – Modelo digital de elevação derivado do (MDE-SRTM), realçado por filtros de iluminação direcional (azimute 0° e 70°), exibindo alinhamentos e lineamentos tectônicos respectivamente para as direções NW-SE e NE-SW. Diagrama de rosetas para alinhamentos; círculos internos a intervalo de 20 km. Zonas de falha (modificado de Ribeiro, 1966; Jackson *et al.*, 1973 e Ribeiro, 1978): 1 – Suspiro Linhares, 2 – Arroio Marmeleiro, 3 – do Cambará, 4 – da Porteira, 5 – do Graciano, 6 – Cerro Alegre, 7 – Passo dos Enforcados, e 8 – Lixiguana. Tracejado fino para o *grid* de coordenadas UTM, *datum* SAD69.....44

Figura 12 – Mapa do campo magnético anômalo reduzido ao polo (CMA-RTP) para o Escudo Sul-riograndense, destacando a continuidade do lineamento WNW-ESE observado por Ribeiro (1980). Retângulo delimita a área da figura 10 (Dados do projeto).....45

Figura 13 – Mapas aerogeofísicos da região (CPRM, 2010; como nas figuras 9 e 10): a e b) Mapas magnéticos, respectivamente, do gradiente horizontal total e da primeira derivada vertical, ambos reduzidos ao polo e continuados 300 m; c e d) Mapas gamapesctrométricos do K (%) e eTh (ppm), respectivamente. São realçadas as ocorrências do picrito do Boqueirão (PB), carbonatito Joca Tavares (CJT), faixa de rochas sedimentares ou vulcanoclásticas carbonatadas (SC) e os gabros Estância do Tigre (GET) e Três Passos (GTP); e números para principais zonas de falha, como na figura 9..... 48

Figura 14 - Diques no sudeste da cidade de Piratini: a) Imagem do *Google Earth* exibindo as três populações de diques (N-S, NE-SW e NW-SE) em relação à Zona de Cisalhamento Dúctil de Piratini (ZCDP), e os três pontos amostrados; b-c) Fotografias do afloramento PR 02: b) PR-02, corte da RS-702, mostrando dique máfico N80°E com 2,0 m de espessura, encaixado em monzogranito foliado (044;70 a 048;62) mostrado em c; d) Fotografias do afloramento PR-03, na forma de blocos soltos em crista N70°W com 20 m de espessura; e e) Foliação milonítica N40-50°E em granito seccionado por este dique.....50

Figura 15 – Fotomicrografias de diques máficos, sudeste de Piratini: a-b – NE-SW (PR-02), milonitizados, com actinolita estirada, plagioclásio e piroxênio (LPP e LXP, respectivamente); c-d – NW-SE (PR-03), de granulação fina contendo plagioclásio, augita, pigeonita e vidro intersticial em arranjo intergranular e intersertal (LPP e d, respectivamente).....51

Figura 16 – a) Imagem do *Google Earth* com a localização do Dique Rondina, que ocorre como cristas *en échelon* orientados segundo direção N70°W; b) Fotomicrografia mostrando cristal muito grosso de titano-augita zonada e inclusões de plagioclásio em arranjo ofítico a subofítico53

Figura 17 – a) Imagem do *Google Earth* com a localização e pontos coletados do Gabro Estância do Tigre, aflorando de forma descontínua na forma de lajeados, blocos e matacões (b); c) Fotomicrografia mostrando cristais grossos de titano-augita zonado com inclusões de plagioclásio e olivina em arranjo subofítico (LXP).....54

Figura 18 – a-b) Fotomicrografias do Gabro Três Passos, de granulação média e textura intergranular, com plagioclásio, clinopiroxênio, ortopiroxênio, hornblenda marrom e clorita (LPP e LXP, respectivamente).....55

Figura 19 – a) Mapa geológico do entorno do picrito do Boqueirão, onde se destacam a Formação Hilário e o Complexo Metamórfico Arroio Marmeleiro (CMAM); b) Estereograma com os polos e contornos dos polos da foliação principal nos metapelitos do CMAM (Rede de Schmidt, hemisfério inferior; contorno segundo distribuição de Fisher para $k = 100$; $n = 240$; densidade e percentagem de polos); Círculos para foliação: vermelho: metapelitos num raio de 500 m ao redor do picrito, azul na porção leste e verde para os demais.....56

Figura 20 – Feições de campo e litologias predominantes do Complexo Metamórfico Arroio Marmeleiro: a-b) Metapelitos com xistosidade bem marcada; c) Cristas de metarenitos e quartzitos alinhados segundo direção E-W; d) Matacão típico das ocorrências de quartzitos; e) Detalhe de quartzito com grau avançado de silicificação.....57

Figura 21 – Amostras das rochas sedimentares ou vulcanoclásticas carbonatadas que ocorrem ao leste do picrito.....58

Figura 22 – a) Região do Cerro do Cachimbo, onde afloram metarenitos e quartzitos; b) plano de falha estriado (064;34 / 02;094) que evidencia cinemática dextral.....59

Figura 23 – Feições de campo no contato entre o Complexo Metamórfico Arroio Marmeleiro e a Formação Hilário, marcado pela zona de falha da Porteira (a). Na Formação Hilário ocorrem fraturas e brechas (b), além de lavas e tufo, enquanto que nos metassedimentos do Complexo Metamórfico Arroio Marmeleiro ocorre intensa cataclase, dobras de arrasto (c) e basculamento de blocos.....59

Figura 24 – a) Aspecto geral dos afloramentos da Formação Hilário na área; b) amostra de mão de tufo-brecha com fragmentos líticos diversos; c) amostra de lava traquiandesítica vesiculada; d) trincheira na ocorrência da Porteira.....60

Figura 25 – Feição de campo e detalhe do carbonatito Joca Tavares (a), constituído predominantemente por carbonatos e magnetita (b).....61

Figura 26 – a) Imagem do *Google Earth* exibindo o corpo tabular do picrito e a localização das amostras coletadas. Linha preta marca a falha subsidiária transversal, e seta branca a crista de filito a leste, onde se observa o picrito de granulação mais fina intrusivo segundo os planos de foliação; b) Vista panorâmica

da área aflorante deste picrito a partir de nordeste. (c) Intensa serpentinização ao longo de planos de fratura; e d) plano de falha sinistral com lineação fibrosa, ambos no ponto BQ-131B.....62

Figura 27 – Gráfico com teores de olivina (Ol), piroxênio (Px) e vidro intersticial (Vi) nas amostras analisadas, demonstrando um maior percentual de olivina nas amostras do centro do picrito do Boqueirão, enquanto que na borda o piroxênio e o vidro são mais frequentes.....64

Figura 28 – Pseudo-foliação dada pelo alinhamento de minerais opacos em microfraturas nas olivinas, que pode ser observado tanto em amostras macroscópicas (a) quanto em microscopia (b – LPP).....65

Figura 29 – Características gerais das olivinas, que ocorrem como cumulos intensamente fraturados e serpentinizados (a e b em LXP), ou como inclusões arredondadas em piroxênios (c e d em LXP).....66

Figura 30 – Imagens BSEM e espectros representativos das análises de olivinas, demonstrando elevado conteúdo de Mg.....66

Figura 31 – Características gerais observadas nos piroxênios: a-b) Oikocristais de ortopiroxênio subédricos (a em LPP, b em LXP) e (c-d) diopsídio intersticial e tardio na cristalização (c em LPP, d em LXP) que ocorrem no centro do corpo; e (e) oikocristais de diopsídio (LXP) e (f) agregados de piroxênios (LXP) que caracterizam a borda.....67

Figura 32 – Imagens BSEM e espectros de oikocristais de ortopiroxênio.....68

Figura 33 – Imagens BSEM e espectros representativos das análises de diopsídio intersticial.....68

Figura 34 – Fotomicrografias do material *intercumulus*, constituído por (a-b) kaersutita (a em LPP, b em LXP), (c-d) flogopita (c em LPP, d em LXP) e (e-f) vidro alterado (e em LPP, f em LXP).....69

Figura 35 – Imagens BSEM e espectros representativos das análises de kaersutita.....70

Figura 36 – Figura 36 – Imagens BSEM e espectros representativos das análises de vidro intersticial, evidenciando um líquido residual rico em Al e Ca.....70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultado da contagem modal das amostras coletadas do picrito do Boqueirão. Ol = olivina; Px = piroxênios; Ka = kaersutita; Fl = flogopita; Vi = vidro; Op = opacos.....	63
---	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1. Objetivos e metas	15
1.2. Problema, premissas e hipóteses	16
1.3. Localização	16
2. METODOLOGIA	18
2.1. Revisão Bibliográfica	18
2.2. Alinhamentos e lineamentos tectônicos	18
2.3. Trabalho de campo	20
2.4. Análise petrográfica	21
2.5. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	22
3. ESTADO DA ARTE	24
3.1. Definição e ambientes de ocorrência dos picritos	24
3.2. Picritos toleííticos do Platô Oceânico de Wrangellia	25
3.3. Picritos da Plataforma Continental Siberiana	26
3.4. Picritos na Província Paraná-Etendeka	30
3.5. O Picrito do Boqueirão	32
4. GEOLOGIA REGIONAL	34
4.1. Contexto geotectônico	34
4.2. Unidades litoestratigráficas	37
5. RESULTADOS.....	43
5.1. Lineamentos tectônicos	43
5.2. Assinaturas geofísicas	46
5.3. Rochas máficas regionais	49
5.4. Geologia Local	55
5.5. Petrografia	63
6. DISCUSSÃO.....	71
6.1. Evidências sobre a natureza do picrito do Boqueirão	71
6.2. Comparação com as demais rochas regionais	73
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75
8. REFERÊNCIAS.....	76

1. INTRODUÇÃO

Picritos são rochas ultramáficas vulcânicas a hipabissais que contêm abundante olivina, são ricas em MgO (> 12%) e empobrecidas em álcalis (< 3%). Representam a cristalização de magma mantélico produzido por alto grau de fusão parcial e/ou descompressão a maior profundidade, ocorrendo em platôs basálticos continentais e oceânicos, ilhas e dorsais oceânicas, bem como sequências komatiíticas. Os principais exemplos ocorrem na Baía de Baffin (Cretáceo-Terciário, Canadá-Groelândia) e na Província Maimecha- Kotui (Permo-Triássico, norte da Sibéria), onde estão associados à meimechitos (>30% olivina, >25% MgO, <2% álcalis e >1% TiO₂) e rochas alcalinas. Nos dois casos, tais rochas pré-datam os basaltos de platô e sua origem é atribuída ao impacto da pluma mantélica.

O picrito do Boqueirão está situado no município de Bagé, sudoeste do Escudo Sul-riograndense. Consiste de um corpo com pequena área aflorante (cerca de 40 x 200 m), orientado segundo direção N88°E, a norte do Lineamento de Ibaré (NW-SE). Este picrito foi correlacionado a diferentes rochas máfico-ultramáficas, como olivina-gabros e diabásios mesozóicos (Ribeiro, 1980), ou ainda a metaperidotitos neoproterozóicos (Ruppel, 2010; Camozzato & Lopes, 2013). Com o objetivo de esclarecer melhor esta discussão, foi efetuada uma comparação desta rocha com outras ocorrências máfico-ultramáficas descritas ao longo do Lineamento de Ibaré (e.g. Gabro Estância do Tigre e Dique Rondina).

Outro ponto ainda controverso na bibliografia diz respeito à caracterização estratigráfica da sequência epimetamórfica pelito-arenosa encaixante, a qual é

designada ora de Formação Arroio da Porteira (Iglesias *et al.*, 1980), ora incorporada à Formação Arroio Marmeleiro (CPRM, 2007) ou ao Complexo Metamórfico Arroio Marmeleiro (Camozzato & Lopes, 2013).

O picrito estudado está posicionado próximo à intersecção de estruturas rúpteis equivalentes a zonas de falha de direção ENE-WSW (Zona de Falha da Porteira) e NNE-SSW (Zona de Falha Graciano), que marcam o contato dos metassedimentos com a Formação Hilário ao norte.

Rochas picríticas representam magmas primitivos ou cumulados derivados destes, tornando o estudo destas rochas de vital importância para o entendimento da geodinâmica do manto litosférico/astenosférico. Considerando o provável vínculo com o magmatismo mesozóico, esta rocha poderia ser a primeira ocorrência registrada de rochas picríticas vinculadas a Formação Serra Geral no estado do Rio Grande do Sul. Espera-se também, com este trabalho, contribuir para o detalhamento da geologia na região, onde recentemente foram descritos ocorrências de possíveis carbonatitos (Toniolo *et al.*, 2011; Senhorinho, 2012).

1.1. Objetivos e metas

Este trabalho tem como objetivos: (a) estabelecer a relação espacial do picrito com os principais lineamentos tectônicos regionais e (b) sua relação de intrusão com os metassedimentos encaixantes para que se forneçam informações sobre seu alojamento; além de (c) comparar esta rocha com outras ocorrências máficas-ultramáficas associadas à Formação Serra Geral, visando definir o evento ígneo a qual este picrito está vinculado. Para tal, as metas realizadas foram o mapeamento da área do entorno do picrito do Boqueirão, além de sua caracterização mineralógica e variações texturais.

1.2. Problema, premissas e hipóteses

A correlação deste picrito a outros eventos ígneos reconhecidos no escudo é controversa. Ribeiro & Teixeira (1970) sugerem uma rocha de natureza intrusiva e textura tipicamente ígnea, além de apresentarem duas datações em rocha total pelo método K-Ar de 292 ± 10 Ma (3 m do contato) e 119 ± 10 Ma (centro do corpo). Posteriormente, Ribeiro (1980), apesar de considerar as idades com reserva, posiciona esta rocha no Mesozóico. Este autor descreve uma rocha com olivina globular e euédrica, oikocristais de piroxênio magnésiano, vidro intersticial e biotita, além de rara presença de plagioclásio. Com base na mineralogia e texturas, é sugerida a possibilidade de este corpo ser correlacionado aos meimechitos russos. Por outro lado, Ruppel (2010) e Camozzato & Lopes (2013) interpretam esta rocha como um provável remanescente ofiolítico imbricado tectonicamente no Complexo Metamórfico Arroio Marmeleiro. Ruppel (2010) o descreve como um metaperidotito com texturas blastoequigranular e blastocumulática.

A presença de kaersutita sugere afinidade moderadamente alcalina. Uma das possibilidades seria a sua associação com basaltos do tipo CFB (*Continental Flood Basalts*) da Formação Serra Geral (≈ 130 Ma), como os que ocorrem no Platô Siberiano (Kogarko & Ryabchikov, 2000; Sobolev *et al.*, 2009). Estas possibilidades tornam a caracterização estratigráfica, petrográfica e geoquímica deste picrito, e de outras rochas máfico-ultramáficas a ele relacionadas, de importância fundamental para o entendimento da evolução mantélica do Escudo Sul-riograndense, uma vez que este tipo de rocha é derivado de magmas de alta T ($> 1400^\circ\text{C}$), originadas por fusão parcial do manto litosférico.

1.3. Localização

O picrito do Boqueirão localiza-se no município de Bagé, cerca de 20 km ao sul da cidade de Lavras do Sul, precisamente nas coordenadas UTM 22J 229537/6566502, *datum* Córrego Alegre. A área da região está representada no

extremo norte da Folha Passo do Tigre (SH22-Y-C-I-1) e extremo sul da Folha Lavras do Sul (SH22-Y-A-IV-3).

O acesso principal à área é feita através de estrada municipal não pavimentada que liga as rodovias RS-357 na cidade de Lavras do Sul, e a BR-293, no município de Bagé. Para acessar o interior da área usaram-se estradas e caminhos de propriedades rurais (Fig. 1).

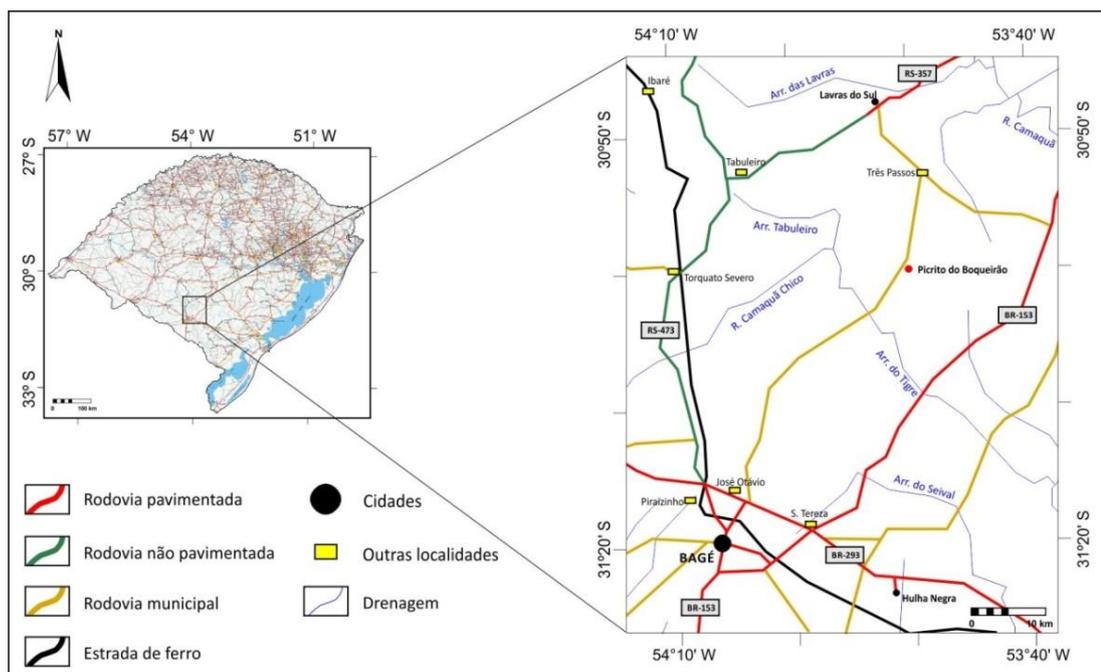


Figura 1 – Localização e vias de acessos à área de estudo no Rio Grande do Sul. Modificado de DAER (2013).

2. METODOLOGIA

2.1. Revisão Bibliográfica

Esta etapa de pesquisa consiste na compilação de dados de geologia regional da área de estudo, com ênfase nas rochas metassedimentares encaixantes, além de outras ocorrências de rochas máficas-ultramáficas alcalinas no Escudo Sul-riograndense, assim como nas estruturas regionais que afetam as mesmas. Por fim, uma revisão geral sobre a ocorrência e a caracterização de picritos, em nível mundial, visando suas principais associações e ambientes geotectônicos em que este tipo de rocha é gerado.

2.2. Alinhamentos e lineamentos tectônicos

Os alinhamentos e lineamentos tectônicos foram extraídos manualmente a partir do modelo digital de elevação derivado do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*, resolução de 90 m, NASA 2000). Entende-se como alinhamento qualquer feição linear do terreno, retilínea ou curva, ao passo que lineamento foi definido

pela maior densidade e extensão dos alinhamentos e por feições de campo (Veneziani & Anjos, 1982). O modelo digital de terreno (MDE) realçado pelo filtro de gradiente de relevo foi processado no *software Global Mapper v10.02*, onde foram pseudo-iluminadas com fontes em diferentes azimutes (0° e 70°). Os resultados foram checados e detalhados com a imagem de satélite ASTER (AST-LIB-003-05112002134359-05222002151 702), utilizando as bandas do visível ao infravermelho de ondas curtas (VNIR-SWIR, resolução de 15 m).

Estes dados foram checados também com dados aeromagnetométricos e gamaespectrométricos do “Projeto Aerogeofísico do Escudo do Rio Grande do Sul” (CPRM, 2010), obtidos segundo linhas de voo N-S (espaçamento médio de 500 m, altitude média de 100 m e intervalo de amostragem de 6-7 m e 65-75 m, respectivamente). O tratamento e processamento destes dados foram produzidos pelo Prof. Francisco F. Ferreira (LPGA/DEGFEOL-UFPR). Os dados foram previamente micronivelados e interpolados em malha regular com espaçamento de 100 m (1/5 da separação das linhas de voo) pelo método da curvatura mínima.

O mapa do campo magnético anômalo (CMA), resultado da remoção do modelo do IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*) para a época do levantamento, foi reduzido ao polo (RTP). Esta técnica visa posicionar as anomalias magnéticas sobre a fonte, corrigindo distorções decorrentes da orientação do campo magnético da Terra e do vetor magnetização. Com isto, elimina a natureza dipolar e minimiza a assimetria das anomalias magnéticas. Aos dados resultantes CMA e CMA-RTP, foi aplicado o filtro de continuação para cima (300 m e 500 m) que, ao remover os sinais de pequeno comprimento de onda, reduz o ruído e salienta estruturas mais profundas. Após, foram aplicadas técnicas de realce visando à interpretação qualitativa, tais como derivadas verticais e gradiente horizontal total (GHT), as quais salientam as principais feições estruturais.

Os dados aeromagnéticos reúnem os sinais superpostos oriundos de fontes em níveis crustais acima da isoterma de Curie. Quando gradientes e anomalias de diferentes níveis são separados e comparados, em mapas continuados, é possível avaliar a distribuição, geometria e natureza de estruturas e litologias diversas. Zonas de falha e de cisalhamento dúctil representam fraquezas crustais onde ocorrem transformações variadas decorrentes do deslocamento e da circulação de fluidos, que podem acarretar tanto a alteração e destruição como a cominuição, neoformação e concentração dos minerais ferromagnéticos, responsáveis pelas

anomalias. Então, zonas de falhas maduras são comumente expressas por anomalias alongadas, entretanto, feições análogas resultam da justaposição tectônica de estratos com propriedades magnéticas contrastantes. Além disso, intercalações vulcânicas dificultam a distinção de lineamentos magnéticos de natureza tectônica daqueles que refletem diques, paleovales com lava e pequenas intrusões.

2.3. Trabalho de campo

A logística dos trabalhos de campo foi planejada a partir de mapas geológicos pré-existentes (UFRGS, 1981; Ramgrab & Wildner, 1999; Porcher & Lopes, 2000; UFRGS, 2004; CPRM, 2007; Camozzato & Lopes, 2013), cartas planialtimétricas e demais dados de sensores remotos. Estes dados foram organizados em um sistema SIG (Sistema de Informação Geográfica), elaborado no *software* ILWIS 3.4 (*Integrated Land and Water Information System*) (52° North / Faculty of Geo-information Science and Earth Observation, University of Twente, Holanda).

Os trabalhos de campo foram divididos em três etapas. A primeira foi realizada entre os dias 16 a 24 de janeiro de 2014, objetivando o levantamento, identificação e amostragem de ocorrências similares ao longo dos principais lineamentos tectônicos regionais, nas regiões de Piratini, Bagé e Pinheiro Machado. A segunda foi realizada entre os dias 06 a 19 de março de 2014, juntamente com os trabalhos de campo da disciplina GEO02019 – Mapeamento Geológico Básico I de 2014/1, com o objetivo de detalhar as rochas encaixantes do picrito do Boqueirão, equivalentes ao Complexo Metamórfico Arroio Marmeleiro. A terceira foi realizada entre os dias 30 de julho e 02 de agosto de 2014, com o objetivo de detalhar as litologias presentes no contato entre o Complexo Metamórfico Arroio Marmeleiro e a Formação Hilário.

As estruturas medidas em campo foram processadas em estereogramas com o contorno dos polos e foliações segundo distribuição de Fisher, produzido nos

softwares Stereonet 8.6.6 (Allmendinger *et al.*, 2013; Cardozo & Allmendinger, 2013) e OpenStereo 0.1.2 (Grohmann & Campanha, 2010). Ao contrário dos métodos estatísticos tradicionais para traçar os contornos de polos de estruturas em estereogramas, a distribuição de Fisher fornece a densidade das direções em relação ao valor médio. O parâmetro de precisão k determina o grau de dispersão em relação a esta média (*i.e.*, altos valores de k tendem a dispersão zero).

2.4. Análise petrográfica

Foram selecionadas sete amostras coletadas das ocorrências de rochas máficas para a confecção de lâminas delgadas no Laboratório de Preparação de Amostras do Instituto de Geociências (IGeo) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Estas lâminas, juntamente com outras oito do picrito do Boqueirão já prontas e cedidas pelo projeto, foram analisadas petrograficamente para a definição de sua composição mineral, caracterização textural e classificação modal. As descrições e fotomicrografias foram realizadas com uma lupa petrográfica com polarização Zeiss modelo Stemi SV 6 e microscópio petrográfico de luz transmitida *Leica* modelo *DMLP* com o *software Leica IM50*. Para determinar os valores percentuais de cada mineral foi realizada uma contagem modal em oito lâminas representativas do picrito.

As lâminas do picrito foram fotografadas e scaneadas, utilizando dois filtros polarizadores para a realização da análise modal, além do reconhecimento de minerais e texturas para estudos no MEV.

O termo diabásio era usado para rochas basálticas de grão médio, que de acordo com as escolas da França, Alemanha e Estados Unidos seria uma rocha com textura intermediária entre o basalto e o gabro de granulação grossa, exibindo normalmente arranjo ofítico. No entanto, de acordo com a IUGS, diabásios, ou doleritos, são hoje entendidos como sinônimo aprovado de microgabro (Le Maitre *et al.*, 2002, p. 72-73).

Já para a textura ofítica, era comumente aceito que o plagioclásio euédrico crescia livremente no magma, seguido pela cristalização de piroxênio anédrico. Entretanto, esta é apenas uma das três diferentes opções para interpretar esta textura que envolve o intercrescimento de plagioclásio e piroxênio. Uma pequena taxa de nucleação pode permitir o crescimento precoce de piroxênios, seguido de intensa nucleação do plagioclásio e crescimento de ambas as fases, mas o piroxênio e o plagioclásio também podem nuclear e crescer ao mesmo tempo. Nos três casos, o resultado final é a textura ofítica (Best & Christiansen, 2001, p. 163-164).

2.5. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Na microscopia eletrônica de varredura, uma amostra é irradiada com um feixe focalizado de elétrons com energias de tipicamente 10 a 20 keV. O feixe varre a amostra sequencialmente, linha por linha, e em cada pixel da região percorrida na amostra são determinados o número de elétrons secundários e elétrons retro-espalhados. As imagens feitas com elétrons secundários geram um contraste topográfico, e as imagens com elétrons retro-espalhados geram imagens com contraste de número atômico. Os elétrons retro-espalhados são utilizados para o modo de imageamento denominados BSE (*Backscattered Electrons*), que fornece informações sobre o número atômico médio na superfície da amostra.

A microanálise é a determinação da composição elementar de um volume micrométrico na amostra. A emissão de raios X característicos da pera de ionização na interação elétron-amostra é muito apropriada para esta microanálise. Os raios X gerados no volume de ionização podem ser detectados por dois tipos de espectrômetros denominados EDS (*Energy Dispersive Spectrometer*) e WDS (*Wavelength Dispersive Spectrometer*). São identificados a energia dos fótons e a

quantidade de fótons de cada energia. O resultado da medida é um espectro, que na abcissa mostra a energia dos fótons e na ordenada a intensidade de contagem.

As imagens de BSE e análises semi-quantitativas por EDS foram obtidas no Laboratório de Geologia Isotópica (LGI) do IGeo da UFRGS, com um microscópio eletrônico de varredura JEOL modelo JSM-6610LV. Para tal foi utilizado uma lâmina representativa do picrito, sendo feito o reconhecimento da mineralogia e da composição do vidro do mesmo durante um turno de cinco horas. Foram também obtidas imagens de BSEM dos minerais/materiais analisados. Apesar de algumas análises apresentarem um fechamento de até 115%, os dados permitiram uma primeira aproximação da composição dos minerais.

O procedimento para o cálculo da fórmula química consiste em determinar a composição química de cada mineral expresso em porcentagem de peso dos elementos. Com estes dados é determinada a proporção molecular dos elementos, assim como a proporção atômica do ânion para cada molécula e o número de cátions com base no número de oxigênios para cada mineral. Por fim, com base nesses cálculos é possível recalcular a análise química de acordo com a fórmula estrutural padrão de cada mineral.

3. ESTADO DA ARTE

3.1. Definição e ambientes de ocorrência dos picritos

Os picritos são rochas ultramáficas vulcânicas a hipabissais contendo abundante olivina, alto teor de MgO (> 12%) e baixo conteúdo de álcalis (< 3%). Além da olivina, contém piroxênio e plagioclásio, restrito e tardio na cristalização. A *International Union of Geological Sciences* (IUGS) procurou estabelecer uma distinção entre komatiítos e picritos em critérios puramente químicos (Le Bas, 2000; Le Maitre, 2002). Suas definições composicionais complexas são representadas em forma gráfica simplificada na figura 2.

São comuns os picritos toleííticos que ocorrem em platôs vulcânicos continentais (CFB), como na Baía de Baffin – Canadá-Groenlândia (Larsen & Pedersen, 2009), uma das maiores ocorrências de basaltos picríticos no mundo, na Província Magmática do Atlântico Norte (Canadá-Groenlândia-Reino Unido) e do Platô Siberiano (Rússia). Na Sibéria, estas rochas estão associadas à picritos alcalinos, caracterizados pela ausência de plagioclásio, e à meimechitos.

Ocorrem também em platôs oceânicos, como exemplificado no Platô Oceânico de Wrangellia – Canadá-Alaska (Greene *et al.*, 2008).

Outro ambiente tradicional de ocorrência de picritos são as ilhas oceânicas, como exemplificados no Hawaí. Por fim, existem os picritos associados a seqüências komatiíticas e a complexos alcalino-carbonatíficos.

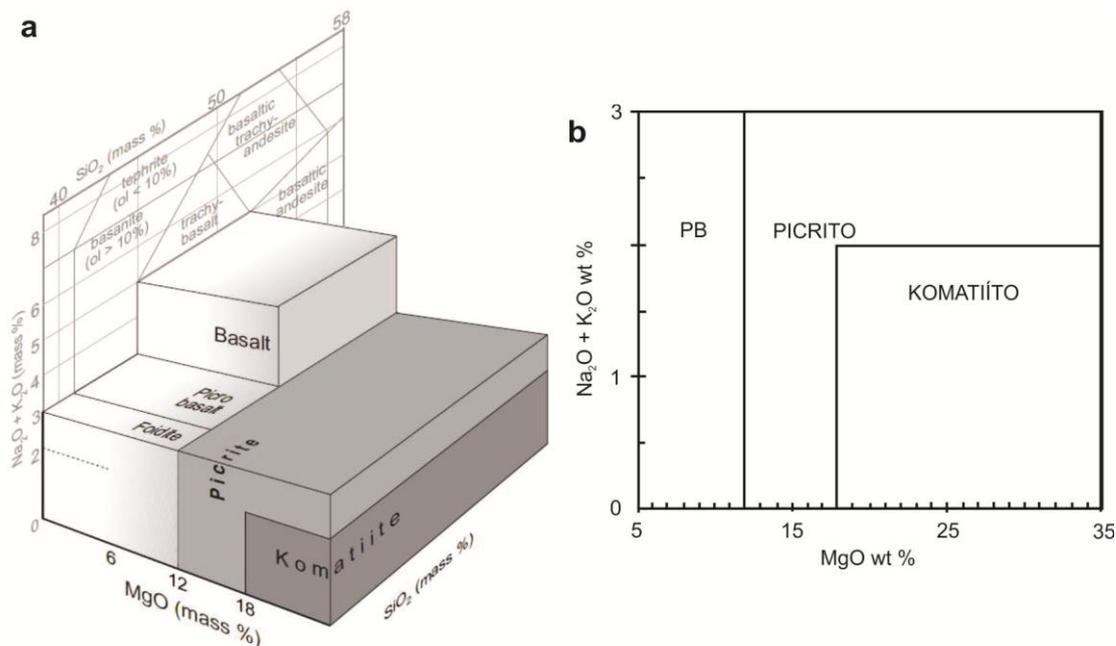


Figura 2 – a) Gráfico representando o campo composicional de picritos e komatiitos, de acordo com as definições da IUGS (Le Maitre, 2002). O diagrama 3D é baseado no diagram TAS (plano de fundo), com a adição do teor de MgO numa terceira dimensão; b) Gráfico simplificado de álcalis versus MgO para rochas picríticas (Le Maitre, 2002).

3.2. Picritos toleióticos do Platô Oceânico de Wrangellia

Segundo Greene *et al.* (2008), os basaltos do Platô Oceânico de Wrangellia, situado no noroeste da América do Norte, são, talvez, os mais extensos remanescentes de uma plataforma oceânica totalmente exposta. Foram formados como uma Grande Província Ígnea (LIP) do Triássico, acrescidas ao oeste da América do Norte no Jurássico Superior ou Cretáceo Inferior. Estas rochas estão expostas em uma estreita faixa ao longo de 2300 km de comprimento, que se estende do sul da Colúmbia Britânica, através de Yukon até o Alaska (Fig. 3a). O

acréscimo da plataforma oceânica de Wrangellia no oeste da América do Norte foi um grande evento tectônico e representa uma adição significativa de material derivado do manto oceânico. Uma sucessão de rochas vulcanoclásticas, derrames subaéreos e *sills* máficos estão expostos na Formação Karmutsen, na Ilha de Vancouver, onde ocorrem basaltos toleiíticos, picritos e pillow-lavas picríticas originadas a partir de uma fonte de pluma mantélica. Os resultados de modelagem em picritos indicam fusão de um manto anormalmente quente ($\sim 1500^{\circ}\text{C}$) e altos graus de fusão parcial (23-27%), consistente com um modelo inicial de pluma. Os picritos contêm abundantes fenocristais de olivina (acima de 42%) e matriz composta de plagioclásio, clinopiroxênio e vidro alterado (Fig. 3b).

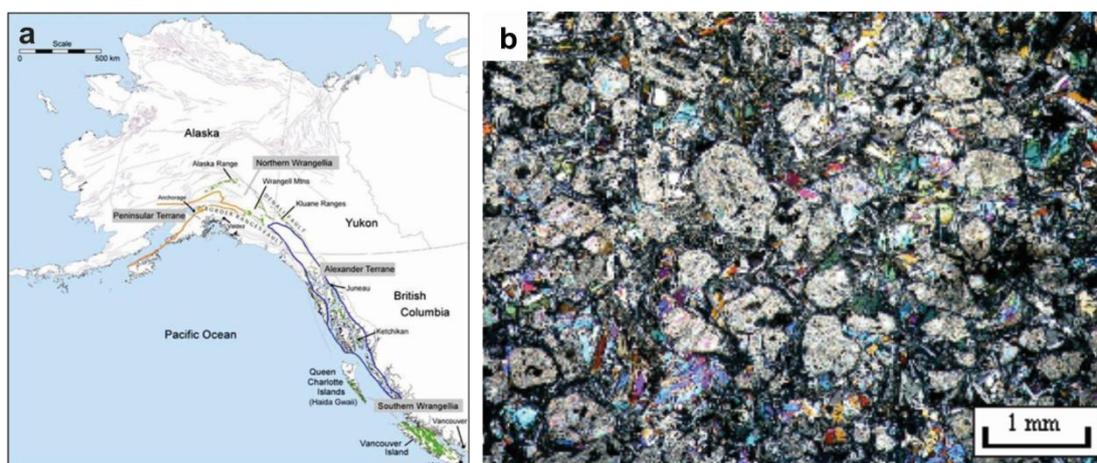


Figura 3 - a) Picritos toleiíticos de Vancouver Island, Platô Oceânico de Wrangellia – Canadá-Alaska; b) Fotomicrografia de lâmina de picrito mostrando pseudomorfos de olivina em matriz hipohialina composta de plagioclásio e piroxênio (LXP). Fonte: Greene *et al.* (2008).

3.3. Picritos da Plataforma Continental Siberiana

Os Traps Siberianos constituem um extenso vulcanismo de platô de idade permo-triássico, no noroeste da plataforma homônima (Fig. 4a-b). São também frequentes complexos alcalino-carbonatíficos, e a leste ocorrem sequências vulcânicas e intrusivas de afinidade alcalina potássica, que compõem a Província Maimecha-Kotui.

As intrusões máfico-ultramáficas associadas a basaltos, traquibasaltos e basaltos picríticos, muito frequentes nos Traps Siberianos, são classificados segundo o grau de diferenciação magmática. Com o aumento do grau de diferenciação, passam de maciças a acamadadas (Ryabov *et al.*, 2014a). Dentre as inúmeras propostas petrogenéticas discutidas para esta província, que inclui magmas altamente magnesianos e de alta temperatura (1600°C), cita-se o vínculo com o impacto de pluma mantélica na base da litosfera estável.

Da mesma forma que as vulcânicas, as rochas intrusivas incluem tipos subalcalinos dominantes (toleítico) e também moderadamente alcalinos. Exibem conteúdo variável de olivina (0 a 60%), havendo também tipos com quartzo. O restante da mineralogia inclui augita (titano-augita) e plagioclásio frequentes, ortopiroxênio e hornblenda marrom subordinados, óxidos de Fe-Ti, cromita e apatita. Em função da variedade de texturas e do conteúdo de olivina nestas rochas, a nomenclatura utilizada difere um pouco da proposta pela IUGS (Fig. 4c), cuja correlação é discutida por Czamanske *et al.* (2002). Em termos da percentagem modal de olivina, são utilizados os seguintes termos (Ryabov *et al.*, 2014a): contendo olivina (<10%), olivina-gabro (10-20%) e gabro picrítico (20-60%). Outro termo muito utilizado é o gabro taxítico, que é normalmente leucocráticos, no qual a textura taxítica é definida pela ampla variação da granulação e da composição mineralógica em pequena escala (cm).

Além disso, para rochas subvulcânicas com granulação média ou grossa, o termo gabro dolerítico (ou gabro diabásio) é proposto pela escola russa, com a finalidade de se adequar as proposições anteriores à IUGS/2002. A figura 5 exhibe os principais tipos texturais e composicionais de rochas máfico-ultramáficas nesta província, enfatizando as variações no conteúdo de olivina.

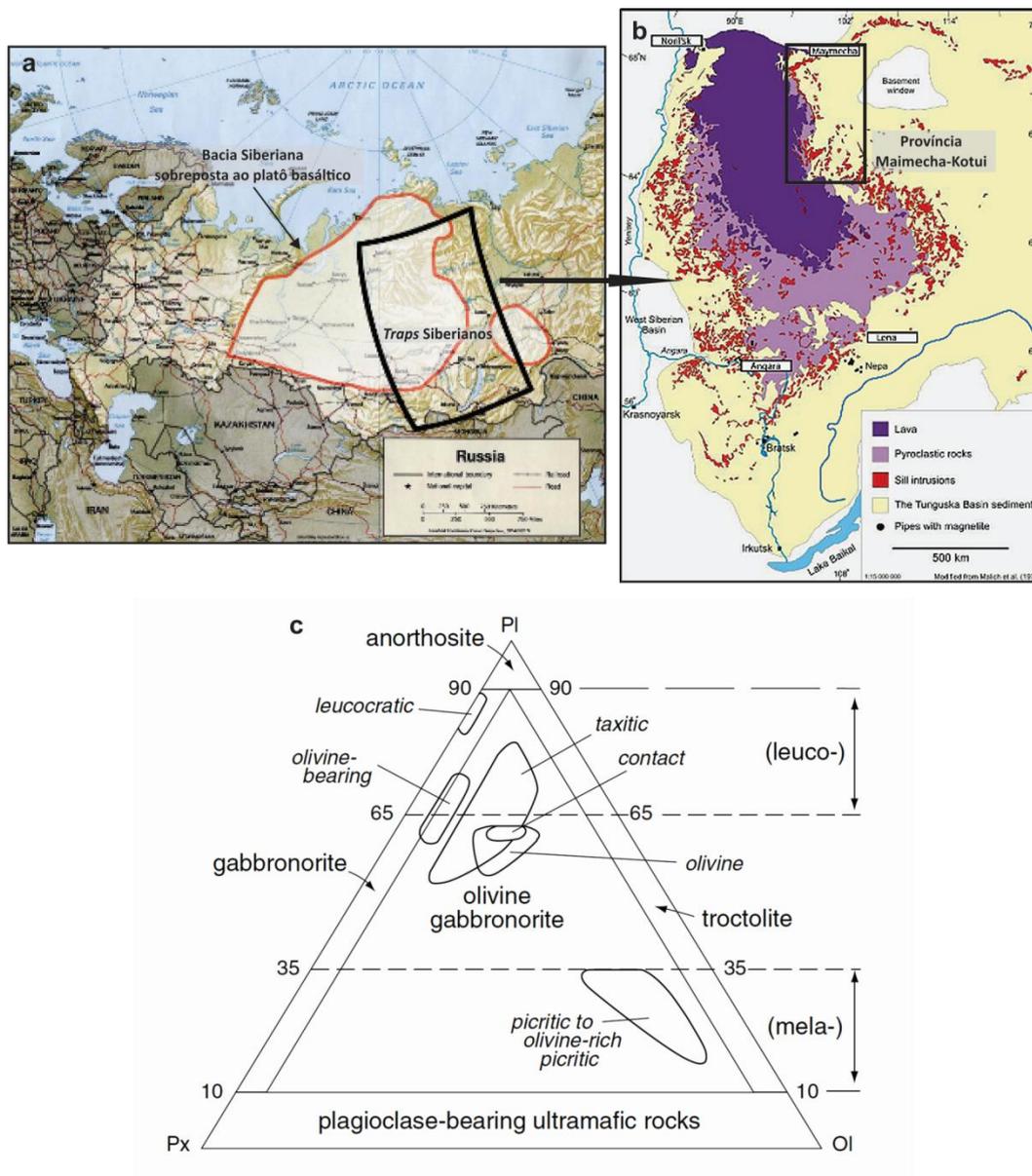


Figura 4 – a-b) Localização e mapa simplificado dos Traps Siberianos (251-252 Ma; lavas, rochas piroclásticas e soleiras), no noroeste da plataforma homônima, com a localização da Província Maimecha Kotui coeva, no leste do platô basáltico (Elkins-Tanton, 2011). C) Diagrama da classificação dos gabros segundo IUGS – Le Maitre (2002), exibindo a correlação dos nomes empregados para rochas máficas no distrito de Noril'sk (Czamanske *et al.*, 2002).

Uma das principais ocorrências de picritos alcalinos, associados à meimechitos, está situada na Província Maimecha-Kotui, extremo norte da Sibéria – Rússia (Kogarko & Ryabchikov, 2000; Sobolev *et al.*, 2009). Estes são caracterizados pela textura porfirítica, contendo abundantes fenocristais de olivina e matriz fina formada por olivina, clinopiroxênio, ilmenita e vidro alterado.

Comparados com os meimechitos, os picritos alcalinos contém flogopita e olivina menos abundante. Kogarko & Ryabchikov (2000) salientam que o estudo destas rochas é de grande interesse porque sua existência indica que magmas de alta temperatura ricos em Mg, comparáveis a komatiitos pré-cambrianos, surgiram novamente no final do Mesozóico, pré-datando o vulcanismo de platô (Fig. 5g-h).

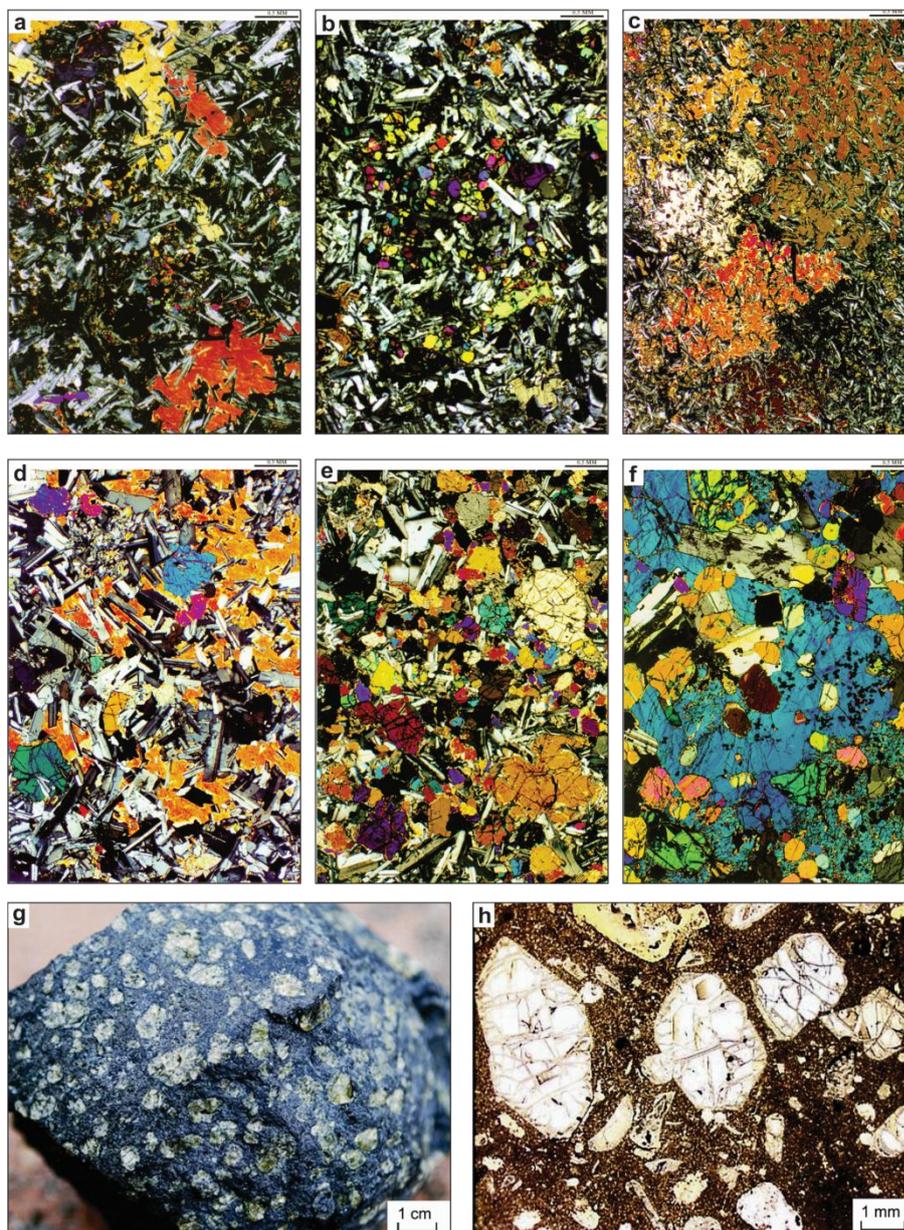


Figura 5 – Fotomicrografias (LXP) de intrusivas moderadamente alcalinas (a e b) e subalcalina (c-f), Traps Siberianos (Ryabov *et al.*, 2014b): a) Traquidolerito com arranjo ofítico de augita, plagioclásio e olivina intergranular; b) Olivina traquidolerito, grãos finos de olivina cumulada e augita subofítica; c) Dolerito poiquilofítico; d) Gabro dolerítico contendo olivina, com augita ofítica; e) Olivina gabro dolerítico; e f) Gabro dolerítico picrítico; g-h) Meimechito (Sobolev *et al.*, 2009), em amostra de mão (g) e ao microscópio em LPP (h), exibindo fenocristais de olivina em matriz vítrea a microcristalina com olivina, titano-augita e flogopita.

3.4. Picritos na Província Paraná-Etendeka

As rochas intrusivas na Província Ígnea Paraná-Etendeka são representadas predominantemente por diques, *sills* e subordinadamente por complexos intrusivos. No entanto, a ocorrência de rochas picríticas nesta província é rara. No lado africano, Thompson *et al.* (2001, 2007) descrevem diques de picritos ricos em cumulos de olivina na região NW da Namíbia (Fig. 6). Estas rochas contêm de 8 a 20% de MgO, porém são mais silicosos que os picritos siberianos e da Baía de Baffin. Estas rochas contêm olivinas extremamente magnesianas (Fo_{91-93}), indicando que estão associados a magmas magnesianos (MgO ~ 24%). Estes autores também apresentam datações de cerca de 133-131 Ma (K-Ar) para estas intrusões, sugerindo que são contemporâneas com as rochas extrusivas de Etendeka e tomadas como seus equivalentes hipabissais. São descritos como gabros grossos, com abundante olivina englobando pequenos cristais de cromita, plagioclásio, clinopiroxênio e ortopiroxênio formando cristais poiquilíticos e vestígios de biotita intersticial.

No Brasil, a ocorrência de picritos é muito escassa. No estado do Rio Grande do Sul, destaca-se o Complexo Básico Lomba Grande (Viero, 1991), localizado no município de Gravataí, Região Metropolitana de Porto Alegre. De idade mesozóica, o corpo apresenta forma elíptica e abrange uma área de aproximadamente 7 km². A maior parte da massa rochosa corresponde a um olivina-gabro de textura média a grossa, consistindo de olivina (0 a 35%; Fo_{74-64}), plagioclásio (An_{81-50}), clino e ortopiroxênio, além de óxidos de Fe-Ti e apatita como acessórios. Estudos geocronológicos, pelo método K-Ar em plagioclásios, apontam idades de até aproximadamente 160 Ma, representando, provavelmente, uma das manifestações magmáticas mais precoces da Bacia do Paraná. Além deste corpo, o Projeto Platina e Associados, desenvolvido pela CPRM (2000), identificou *sills* espessos (55-84 m) na Região Metropolitana de Porto Alegre e na área de Iruí-Leão (Fig. 7) ricos em olivina cumuladas (10-50%), dando características picríticas a essas rochas. São petrogeneticamente relacionados à intrusão picrítica de Lomba Grande e representam as intrusões mais primitivas da Bacia do Paraná, sendo similares as intrusões mineralizadas de Noril'sk – Talnakh, Rússia.

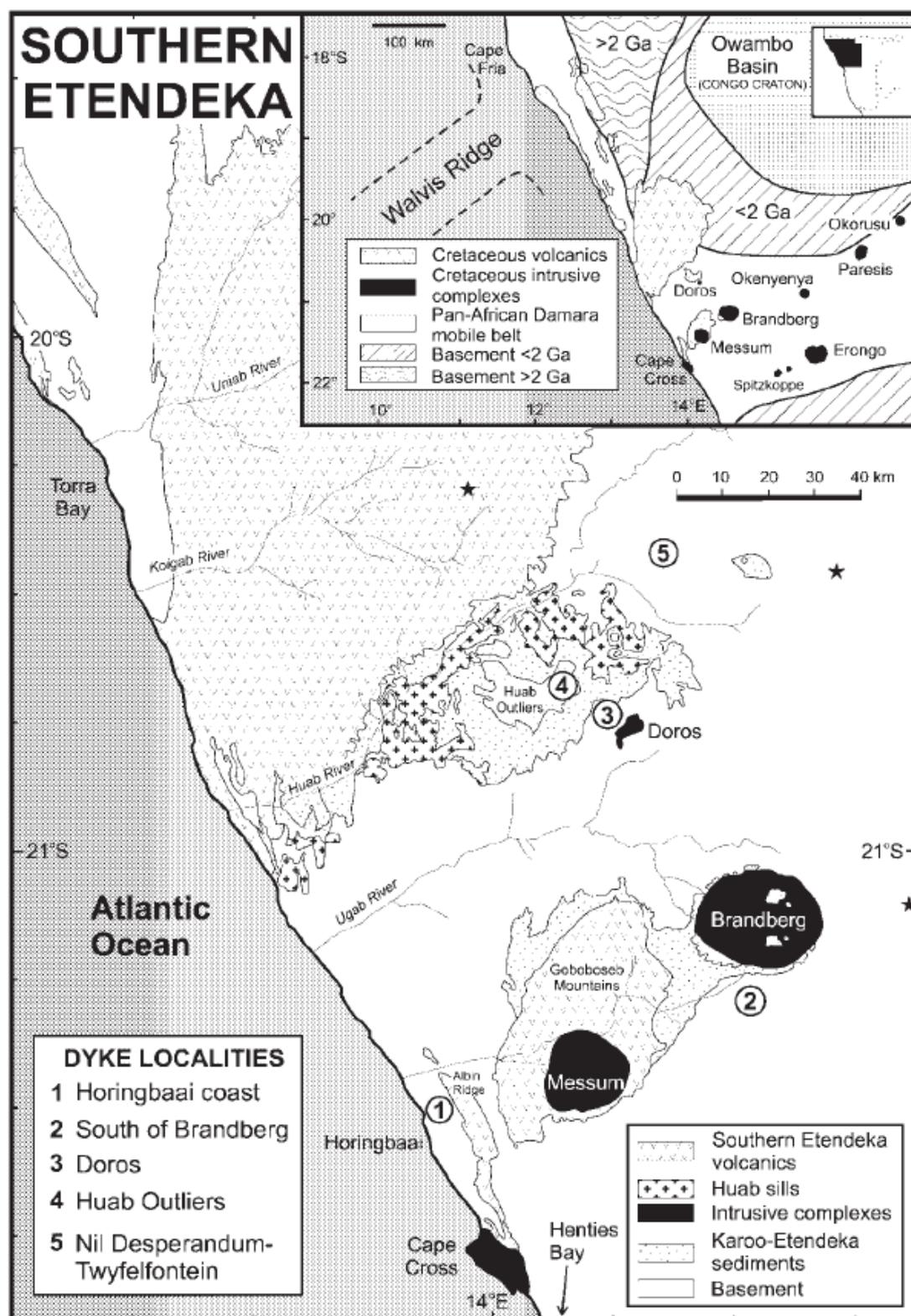


Figura 6 – Mapa esquemático simplificado da região sul de Etendeka, NW da Namíbia, mostrando os diques e *sills* de picritos e basaltos que ocorrem na região (extraído de Thompson *et al.*, 2001).

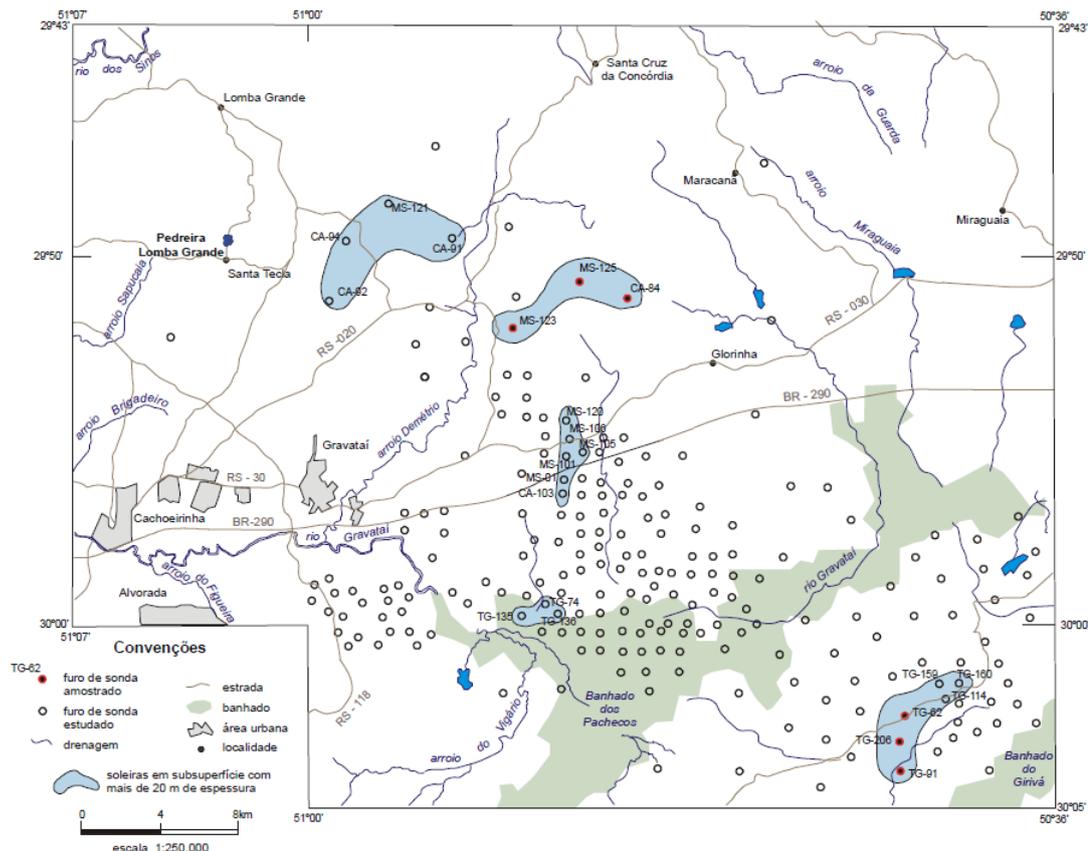


Figura 7 – Mapa de localização dos *sills* básicos detectados em furos de sondagem na Região Metropolitana de Porto Alegre (extraído de CPRM, 2000).

3.5. O Picrito do Boqueirão

O picrito do Boqueirão foi citado pela primeira vez na literatura por Ribeiro & Teixeira (1970), como uma rocha de composição próxima a de um Iherzolito. De acordo com os autores, é uma rocha ultramáfica, intrusiva em metassedimentos areno-pelíticos, apresentando granulação mais fina junto ao contato. Descrevem a textura como tipicamente ígnea, com cristais euédricos de olivina e piroxênio serpentinizados, imersos numa matriz intersertal alterada. O corpo aflorante teria forma elipsóide, e teria sido posicionado numa zona de falha.

Posteriormente, Ribeiro (1980) cita tal intrusão ultramáfica, relacionando-a a zonas de falha segundo direção N50°W. Com base em dados regionais e nas

datações K-Ar (rocha total) o autor posicionou a intrusão no Mesozóico. Salienta ainda a afinidade desta rocha com os meimechitos russos, acreditando que não seja um picrito diferenciado dos diabásios.

Os trabalhos desenvolvidos no âmbito dos projetos Agrominerais do Rio Grande do Sul (CPRM) e Fosfato do Brasil, revelaram carbonatitos na região (Toniolo *et al.*, 2011). Segundo os autores, as relações de campo, a presença significativa de apatita, além dos elevados teores de Ba, Ca, Ga, Hf, Nb, Sr, Ta, Th, Tl, U, W e Terras Raras confirmaram serem rochas carbonatíticas. Além destes autores, Senhorinho (2012) identifica duas ocorrências de rochas aparentemente carbonatíticas, localizadas nas imediações do Lineamento de Ibaré. De acordo com as relações de campo, as duas ocorrências tem idades distintas. O Carbonatito Três Estradas, situado a oeste, é do tipo linear, ocorrendo em bandas ou lentes intercaladas a gnaisses granulíticos. O corpo Joca Tavares é um carbonatito do tipo central, encaixado no contato entre os metamorfitos Arroio Marmeleiro e siliciclásticas da Formação Cerro do Bugio, com aproximadamente 300 m de diâmetro. Forma um corpo circular evidente em mapas aeromagnetométricos e gamaespectrométricos.

4. GEOLOGIA REGIONAL

4.1. Contexto geotectônico

O Escudo Sul-riograndense (ESRG) congrega rochas que registram diferentes processos de geração e deformação de crosta continental, cuja contribuição maior se deu durante os ciclos orogênicos Transamazônico (2,26-2,00 Ga) e Brasileiro (900-535 Ma). Cada um destes ciclos incluiu a extração de magmas e de porções do manto, com a decorrente construção de crosta oceânica, de microcontinentes intraoceânicos e de arcos magmáticos oceânicos e continentais. As associações de rochas nestes dois ciclos foram acrescidas sucessivamente, promovendo o crescimento da porção sul do continente sulamericano. O anteparo arqueano de colisão durante o primeiro ciclo não está registrado no estado, mas todos os processos orogênicos do Neoproterozóico tiveram como referencial esse continente antigo, denominado de Cráton Rio de La Plata. No extremo sudoeste do estado a borda retrabalhada deste cráton recebe o nome de Terreno Taquarembó. No Neoproterozóico, o escudo é descrito em termos dos terrenos São Gabriel, Tijucas e Batólito Pelotas (Hartmann *et al.*, 2007) (Fig. 8). Estes terrenos geológicos foram separados com base em discontinuidades gravimétricas e magnéticas por Fernandes *et al.* (1995), como mostrado na figura 9.

Os dois terrenos no oeste do estado, Taquarembó (sul) e São Gabriel (norte), são delimitados pelo Lineamento de Ibaré (NW-SE), e estão cobertos pela Bacia do Paraná de idade Paleozóica, respectivamente, a norte e a oeste e sul. O limite entre os terrenos São Gabriel e Tijucas (leste) é marcado por zonas de falha NNE-SSW (Sistema de falhas Irapuá), e está recoberto por rochas vulcanossedimentares da Bacia do Camaquã.

A área de estudo encontra-se localizada na porção sudoeste do escudo, sobre os terrenos Taquarembó, São Gabriel e Tijucas, e a Bacia do Camaquã.

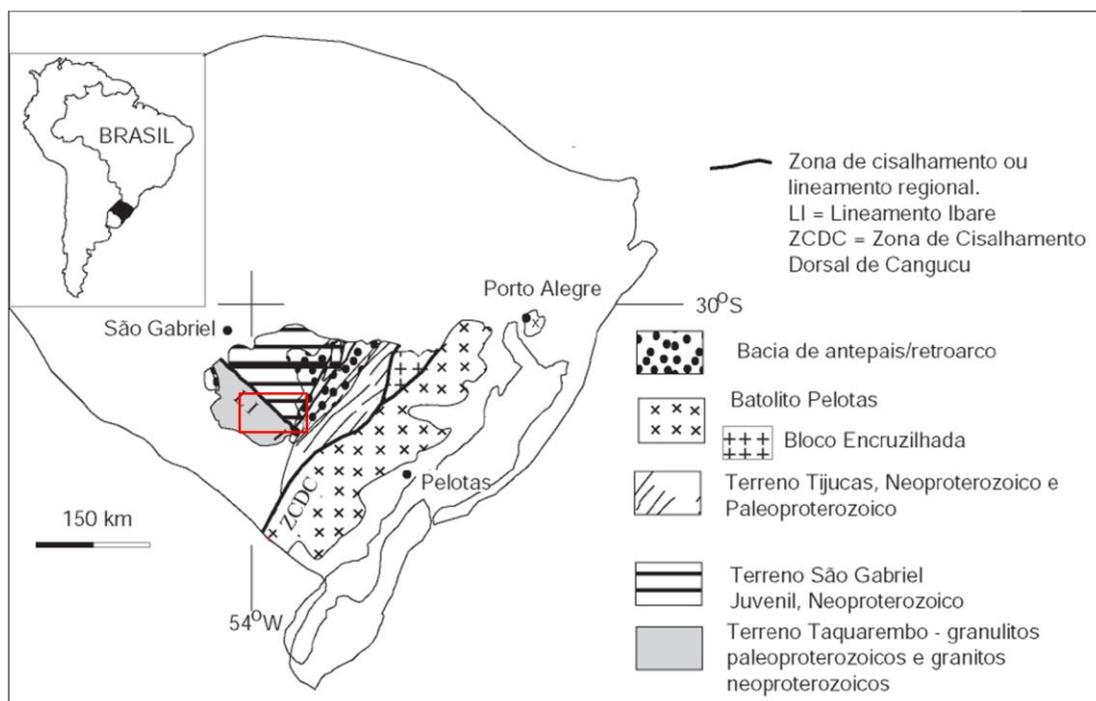


Figura 8 – Mapa simplificado das principais unidades e estruturas geotectônicas do Escudo Sul-riograndense (modificado de Hartmann *et al.*, 2007). Retângulo vermelho para a área da figura 10.

O Terreno Taquarembó (TTa) consiste de rochas do Complexo Granulítico Santa Maria Chico (CGSMC), de idade paleozóica (2,02 Ga). Este foi retrabalhado parcialmente durante o Brasiliano, com a intrusão de inúmeros granitos e está coberto por rochas vulcanossedimentares coevas. As rochas intrusivas incluem a Suíte Intrusiva Santo Afonso (Hartmann & Nardi, 1982), que formam batólitos com xenólitos do CGSMC, e corpos graníticos menores e mais jovens, como o Faz. Saibro e Cerro das Marcas.

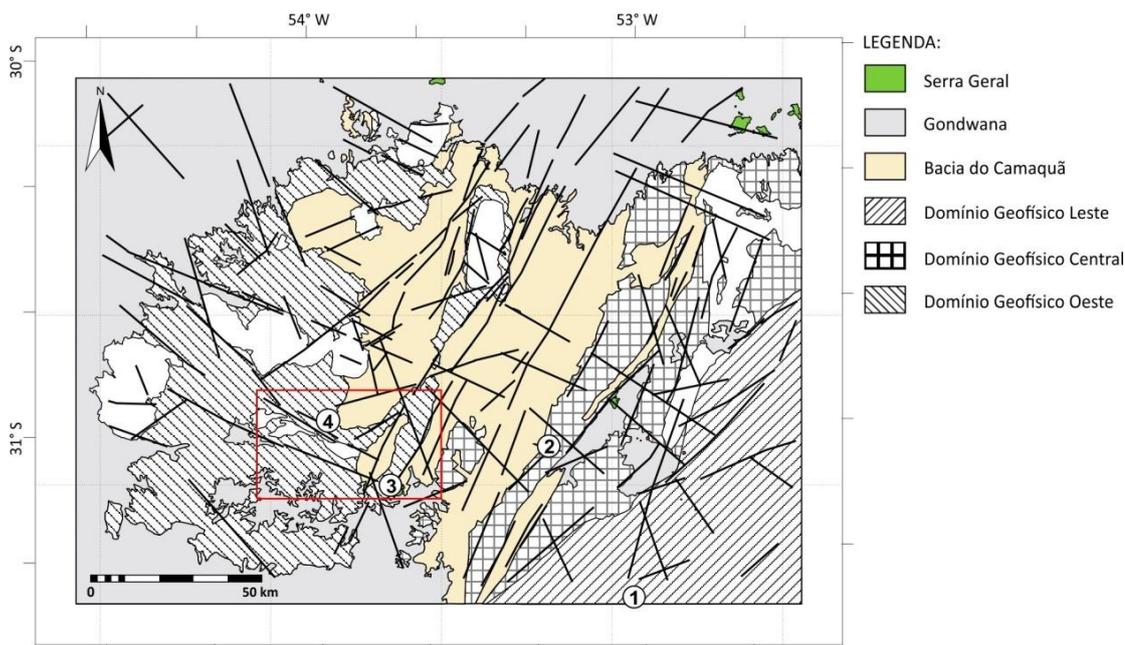


Figura 9 – Porção centro-oeste do escudo, exibindo os principais domínios geotectônicos segundo Fernandes *et al.* (1995): Bacia do Camaquã (Ediacarano ao Cambriano) e ocorrências menores da Formação Serra Geral. Retângulo vermelho para a área da figura 10, e números para ocorrências de rochas máficas ao longo do lineamento de direção WNW-ESE, que corresponde ao prolongamento do Lineamento de Ibaré para leste (veja figura 12): 1 – Diques da região de Piratini (Ribeiro, 1980; Zanon *et al.*, 2006); 2 – Dique Rondina (Viero, 1998); 3 – Gabro Estância do Tigre (Viero, 1998; Camozzato & Lopes, 2013); 4 – Gabro Três Passos (neste trabalho).

O Terreno São Gabriel (TSG), interpretado como um arco magmático juvenil criogeniano (900-700 Ma), consiste de associações petrotectônicas de ambientes de arco magmático juvenil, incluindo sequências metassedimentares, metaultramafitos, ortognaisses e granitóides cálcio-alcalinos de baixo K. Na porção sul deste terreno, essas associações incluem o Complexo Metamórfico Arroio Marmeleiro (CMAM), o Complexo Máfico-Ultramáfico Cerro Mantiqueira (CMUCM), o Complexo Imbicuí (CI) e granitóides variados cálcio-alcalinos de baixo K (UFRGS, 2004). O CMAM e o CMUCM são as unidades mais antigas, as quais estão tectonicamente imbricadas a ortognaisses do CI. Esse, por sua vez, é intrudido por metagranitóides. Todos são caracterizados por trama desenvolvida segundo zonas de cisalhamento dúctil E-W e ENE-WSW de médio ângulo que evoluem a dúctil-rúptil subverticais (Fernandes *et al.*, 1995).

O Terreno Tijucas (TTi), reconhecido como uma margem passiva, consiste de uma associação de rochas metassedimentares e metavulcânicas de fácies xisto verde a anfíbolito, que recobrem os ortognaisses do Complexo Encantadas e estão grandemente coberto pelas rochas da Bacia do Camaquã.

A Bacia do Camaquã (Ediacarano – Cambriano) pode ser interpretada como um *locus* deposicional, no qual se superpuseram diferentes eventos de deposição e vulcânicos (Paim *et al.*, 2000). Inclui, na base, sedimentos fluviais a marinho raso, passando a transicionais (deltáicos) e continentais (eólicos) no topo. As unidades basais, grupos Maricá e Bom Jardim, são associadas aos eventos finais da Orogênese Dom Feliciano (Borba *et al.*, 2008).

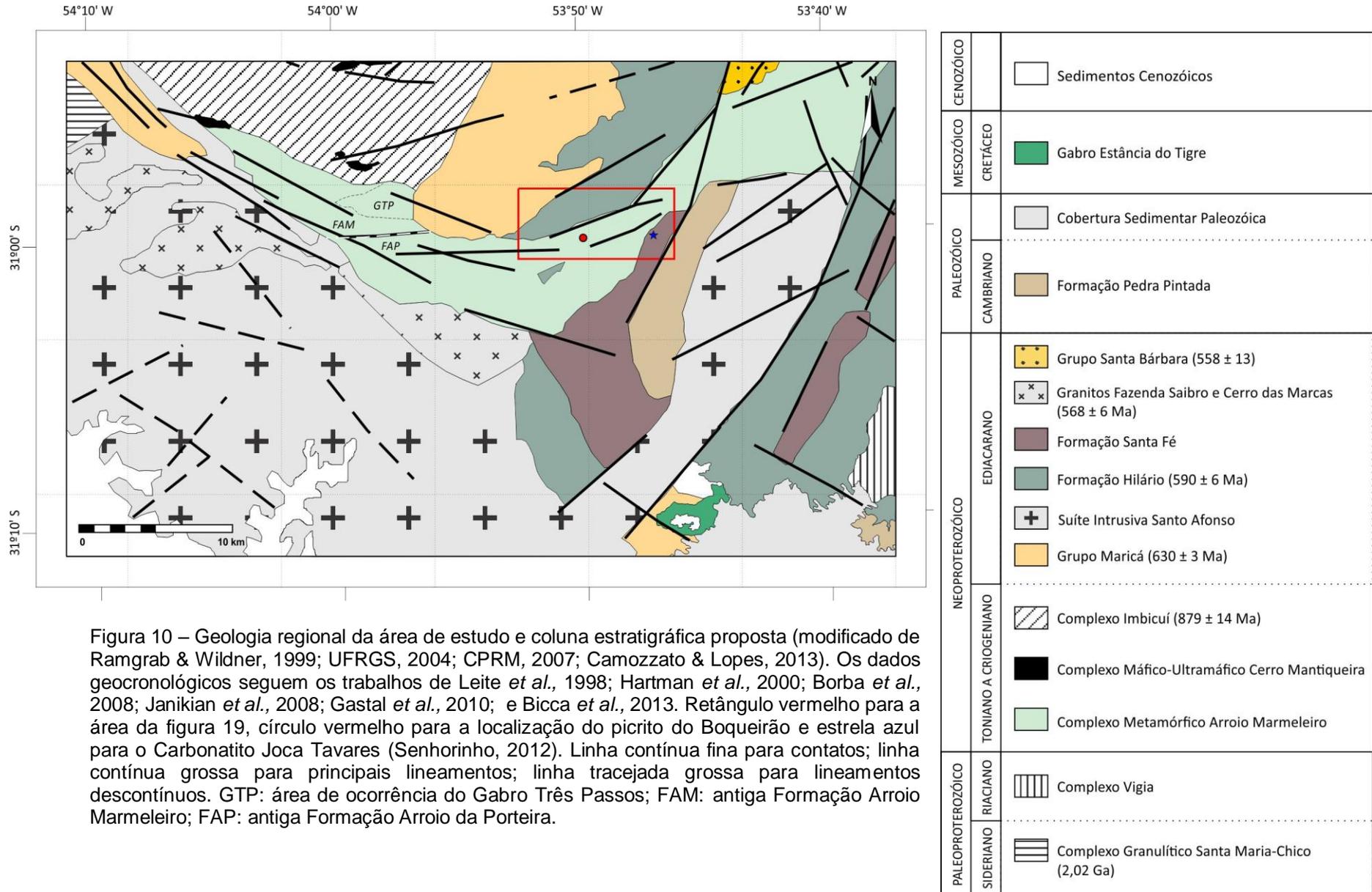
4.2. Unidades litoestratigráficas

A coluna estratigráfica adotada, mostrada na figura 10, inclui dados de Ramgrab & Wildner (1999), UFRGS (2004), CPRM (2007) e Camozzato & Lopes (2013). As principais unidades regionais da área de estudo são:

Terreno Taquarembó

- **Complexo Granulítico Santa Maria Chico** ocorre no extremo noroeste. De acordo com Nardi & Hartmann (1979), consiste de granulitos félsicos (trondhjemíticos) e máficos, além de piroxenitos, sillimanita gnaisses, mármore e gnaisses cálcio-silicáticos. Exibe bandamento e foliação subvertical de alto grau segundo direção E-W, que grada para NW-SE ao norte.

- **Suíte Intrusiva Santo Afonso** ocorre em toda a porção sul-sudoeste e a leste. Definida por Hartmann & Nardi (1982), inclui monzogranitos, granodioritos e sienogranitos, que foram posicionados por Ramgrab & Wildner (1999) como anterior à Formação Hilário.



- **Granitos Fazenda Saibro e Cerro das Marcas** ocorrem como pequenos corpos alongados segundo o Lineamento de Ibaré, a oeste e na porção central. O Granito Cerro das Marcas foi definido por UFRGS (1981), enquanto que Hartmann & Nardi (1982) incluíram ambas na Suíte Intrusiva Saibro. Posteriormente, Nardi & Bonin (1991) e Gastal & Lafon (1998) interpretaram esta suíte como consistindo de granitóides metaluminosos de afinidade alcalina. O Granito Fazenda Saibro é composto por monzogranitos de granulação fina, e o Granito Cerro das Marcas por biotita sienogranitos médios a grossos.

Terreno Tijucas

- **Complexo Vigia (Terreno Tijucas)**, situado no extremo leste, é composto predominantemente por gnaisses tonalíticos, trondhjemíticos e granodioríticos, com bandamento irregular e descontínuo, seccionados por dioritos, tonalitos e monzogranitos, todos metamorfizados na fácies anfíbolito médio a superior (Camozzato & Lopes, 2013).

Terreno São Gabriel

- **Complexo Metamórfico Arroio Marmeleiro** ocorre como um corpo alongado paralelo ao Lineamento de Ibaré, no centro-oeste. Neste trabalho, é utilizada a atual denominação proposta por Camozzato & Lopes (2013), que reúne as antigas formações Arroio Marmeleiro (CPRM, 2007) e Arroio da Porteira (Iglesias *et al.*, 1980), como indicado na figura 10.

É constituído por metapelitos ora límpidos, ora carbonoso, associados com mármores, rochas calcissilicáticas, talco xistos, anfíbolitos e metavulcanoclásticas.

Subordinadamente ocorrem serpentinitos, xistos magnesianos e metabásicas. Estas rochas exibem foliação com direção NW-SE e estão metamorfolizadas no fácies xisto-verde a anfibolito (Siviero, 2001). A abrangência e extensão desta unidade é ponto ainda controverso, merecendo algumas considerações.

Os metamorfitos de baixo grau no escudo foram reunidos na Série Porongos (Carvalho, 1932), a qual foi denominada de Grupo por Goñi *et al* (1962). Este autor agrupou os metassedimentos na Formação Vacacaí, e as metavulcanoclásticas e metaultramáficas na Formação Cerro do Ouro. Fragoso-Cesar (1980) restringiu o termo Vacacaí às sequências metamórficas de baixo a médio grau da porção oeste do Escudo, reunindo metamorfitos vulcanossedimentares e máfico-ultramáficos. A partir de então, diversas denominações locais tem sido utilizadas, como é o caso dos Metamorfitos Arroio da Porteira, Complexo Marmeleiro e Complexo Máfico-Ultramáfico Cerro da Mantiqueira.

Os metamorfitos da Formação Arroio da Porteira (FAP – Fig. 10), que ocorrem em continuidade ao Complexo Arroio Marmeleiro para leste, foram individualizados por Iglesias *et al* (1980). Estes autores o descrevem como uma sequência epimetamórfica de ardósias, filitos e quartzitos, interestratificados, com estruturas sedimentares primárias preservadas e foliação metamórfica principal com direção E-W de alto ângulo a subvertical. Atualmente, Camozzato & Lopes (2013) reúnem estas duas unidades no Complexo Metamórfico Arroio Marmeleiro.

- **Complexo Máfico-Ultramáfico Cerro Mantiqueira**, cuja principal ocorrência está a norte, consiste de corpos estreitos imbricados nos gnaisses e granitóides do Complexo Imbicuí. Inclui anfibolitos, metaultramafitos como harzburgitos serpentinizados e serpentinitos, além de xistos magnesianos de fácies anfibolito médio. Estes são interpretados como lascas de ofiolitos de supra-subducção (Chemale Jr, 2000; Hartmann *et al.*, 2007).

- **Complexo Imbicuí** ocorre ao norte e consiste de uma sequência de gnaisses dioríticos, tonalíticos e trondhjemíticos, com relações de intrusões concordantes e discordantes, sobrepostas por bandamento gnáissico e textura granoblástica. Este é intrudido por metatonalitos e hornblenda dioritos (UFRGS, 2004).

- **Gabro Estância do Tigre** está situado na porção sul-sudeste. Foi definido por Viero (1998) como *Sill* Palmas, sendo composto por gabros alcalinos de granulação média a grossa, e designado por Camozzato & Lopes (2013) como Gabro Estância do Tigre. Viero (1998) data estas rochas em cerca de 130 Ma, correlacionando-as à Formação Serra Geral.

- **Cobertura sedimentar paleozóica** está representada, a noroeste e sudeste, pelas formações Rio Bonito (Grupo Guatá) e Taciba (Grupo Itararé) da Bacia do Paraná (CPRM, 2007), as quais não foram diferenciadas no mapa mostrado na figura 10.

- **Sedimentos cenozóicos**, com área de ocorrência a sudoeste e sudeste, incluem a Formação Santa Tecla e depósitos aluviais quaternários.

Bacia do Camaquã e rochas vulcânicas e plutônicas coevas

- **Grupo Maricá**, situado ao norte e extremo noroeste, é a unidade basal da Bacia do Camaquã, compostas por arenitos e arenitos conglomeráticos de origem fluvial na base e no topo, separados por uma camada de pelitos laminados de sistema marinho raso (Borba *et al.*, 2008). Idades de 630 ± 3 Ma foram obtidas por Borba *et al.* (2008) com análises de U-Pb em zircões.

- **Formação Hilário** ocorre a norte, leste e sul. Consiste de lavas traquibasálticas a traquiandesíticas de afinidade shoshonítica, além de rochas piroclásticas e sedimentos vulcanogênicas (Lima *et al.*, 2007). Janikian *et al.* (2008) obtiveram idades de 590.5 ± 5.7 Ma pelo método U-Pb em zircões de depósitos de lápili-tufo.

- **Formação Santa Fé** ocorre na porção centro-sudeste e leste. É composta por conglomerados aluviais, ricos em clastos vulcânicos e plutônicos de composição ácida, que gradam verticalmente para ritmitos areno-pelíticos. Essas litologias são interpretadas como sistemas aluviais entrelaçados tanto de caráter

transversal (leques deltaicos conglomeráticos) com longitudinal (deltas de planície entrelaçada conglomerática) (Paim *et al.*, 2000);

- **Grupo Santa Bárbara** constitui uma pequena área no extremo norte, composto por pelitos na base, gradando para arenitos e conglomerados no topo, sendo interpretado como um sistema deltaico entrelaçado arenoso a areno-conglomerático (Paim *et al.*, 2000).

- **Formação Pedra Pintada** ocorre a leste, sendo composta de sedimentos de origem desértica (Paim *et al.*, 2000), incluindo, próximo a sua base, rochas vulcânicas de composição básica a intermediária (vulcanismo Rodeio Velho) de afinidade alcalina (Lima *et al.*, 2007).

- **Carbonatito Joca Tavares** ocorre a leste, formando um corpo circular com aproximadamente 300 m de diâmetro intrudindo rochas sedimentares da Formação Santa Fé (Toniolo *et al.*, 2011; Senhorinho, 2012).

5. RESULTADOS

5.1. Lineamentos tectônicos

Os lineamentos tectônicos expressivos na área correspondem a zonas de falha distribuídas segundo três direções principais (Fig. 11): WNW-ESE (N60°-70°W), NNE-SSW (N15°-20°E) e ENE-WSW (N70°-90°E).

Os lineamentos de direção NNE-SSW são longos e contínuos, e estão concentrados no leste. Delimitam os contatos entre unidades da Bacia do Camaquã e dessas com os granitóides da Suíte Intrusiva Santo Afonso e os metassedimentos do Complexo Metamórfico Arroio Marmeleiro (CMAM). São representadas pelas zonas de falha Lichiguana (N25°E), Passo dos Enforcados (NNE a N20°E) e Cerro Alegre (N15°-25°E). Lineamentos N40°E são subordinados como aquele da Zona de Falha do Graciano.

Os lineamentos WNW-ESE a NW-SE são contínuos e irregulares, com orientação variando de N30°W até N80°W. Correspondem às zonas de falha Suspiro-Linhares (N30°-45°W), Arroio Marmeleiro (N60°-70°W) e do Cambará (N70°-80°W), que condicionam os limites do Complexo Imbicuí e do CMAM, a norte, com os granitoides brasileiros, a sul. A leste são interrompidos pelos lineamentos de direção NNE-SSW. Estas estruturas coincidem com o Lineamento de Ibaré, caracterizada como uma zona de cisalhamento dúctil-rúptil subvertical dextral, reativada com cinemática sinistral em nível crustal mais raso (Fernandes *et al.*,

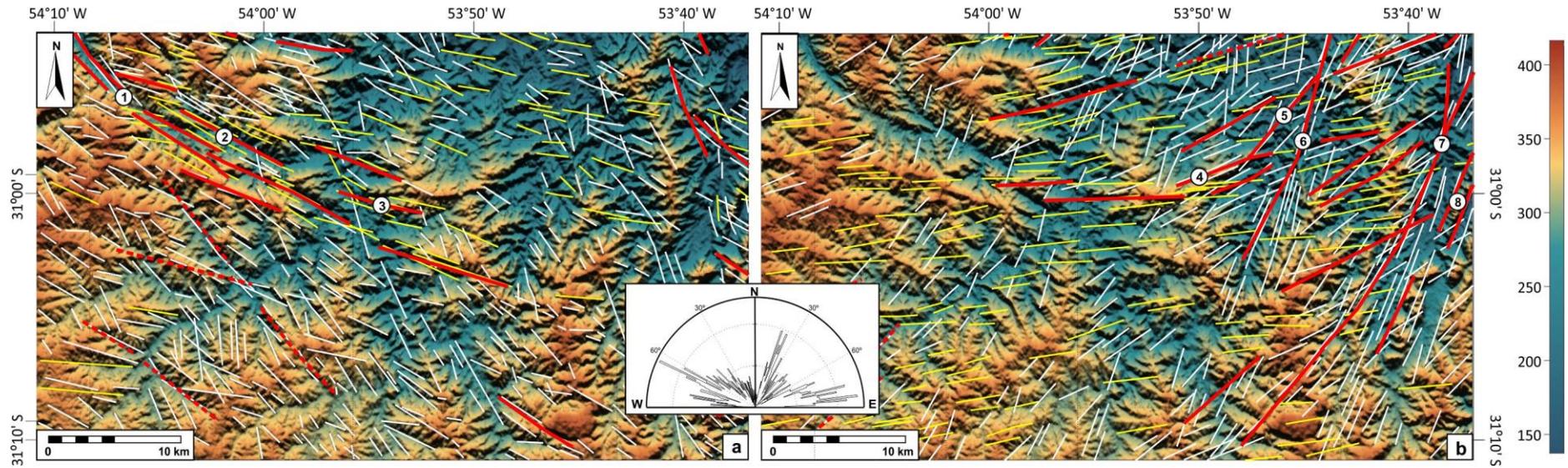


Figura 11 – Modelo digital de elevação derivado do (MDE-SRTM), realçado por filtros de iluminação direcional (azimute 0° e 70°), exibindo alinhamentos e lineamentos tectônicos respectivamente para as direções NW-SE e NE-SW. Diagrama de rosetas para alinhamentos; círculos internos a intervalo de 20 km. Zonas de falha (modificado de Ribeiro, 1966; Jackson *et al*, 1973 e Ribeiro, 1978): 1 – Suspiro Linhares, 2 – Arroio Marmeleiro, 3 – do Cambará, 4 – da Porteira, 5 – do Graciano, 6 – Cerro Alegre, 7 – Passo dos Enforcados, e 8 – Lichiguana. Tracejado fino para o *grid* de coordenadas UTM, *datum* SAD69.

1992). A continuidade deste lineamento é observada por Ribeiro (1980), citando diques de olivina diabásio, possivelmente mesozóicos, nesta direção. A leste ocorre como um alto mais irregular, sendo bem marcados no mapa do campo magnético anômalo (CMA-RTP) da porção centro sul do escudo (Fig. 12).

Os lineamentos de direção ENE-WSW são curtos e descontínuos, com direções $N85^{\circ}-90^{\circ}E$ e interrompidos pelos lineamentos NNE-SSW e WNW-ESE. Concentram-se principalmente no domínio do Terreno Taquarembó. A norte e leste predominam lineamentos de direção $N65^{\circ}-75^{\circ}E$, representado a Zona de Falha da Porteira, que controla (ou condiciona) o contato dos metassedimentos com as rochas vulcanoclásticas.

As relações de intersecção entre os lineamentos permitem inferir que aqueles de direção NNE-SSW são os mais jovens, uma vez que cortam e interrompem as demais estruturas. Os lineamentos WNW-ESE, que são as estruturas mais evidentes na porção central, seccionam os de direção ENE-WSW, que são aparentemente as mais antigas.

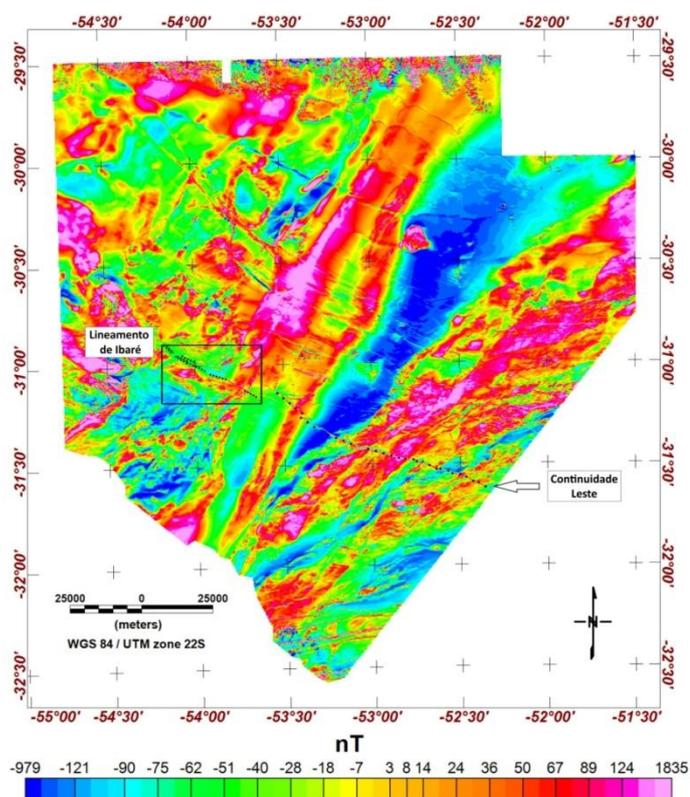


Figura 12 – Mapa do campo magnético anômalo reduzido ao polo (CMA-RTP) para o Escudo Sul-riograndense, destacando a continuidade do lineamento WNW-ESE observado por Ribeiro (1980). Retângulo delimita a área da figura 10 (Dados do projeto).

5.2. Assinaturas geofísicas

São descritos, a seguir, as assinaturas magnéticas e gamaespetrométricas de algumas unidades litológicas e dos principais lineamentos tectônicos.

Magnetometria

O mapa magnético do gradiente horizontal total (GHT-RTP 300 m) realça mudanças litológicas laterais abruptas, e também é efetivo na localização e análise de falhas em escala regional. Na primeira derivada vertical (DV1-RTP 300 m), os filtros de gradiente vertical realçam os sinais magnéticos de pequeno comprimento de onda, sendo úteis para delimitar descontinuidades, contatos e lineamentos.

As feições de direção N65-75°E (Fig. 13a-b) são anomalias lineares de moderada a alta amplitude (750 a 860 nT), que coincidem com a Zona de Falha da Porteira e estruturas paralelas a leste. Essas correspondem a anomalias de maior amplitude e profundidade (comprimento de onda ~ 2,2 km), as quais estão deslocadas com movimento lateral esquerdo por falha de direção NW-SE. A Zona de Falha da Porteira equivale à estrutura mais rasa, expressa por um alto na forma de crista linear, o que é consistente com um conduto de magma durante o vulcanismo da Formação Hilário. Altos similares ocorrem a norte, ao longo da Zona de Falha Cerro Alegre (NNE-SSW). A Zona de Falha Cerro Alegre para sul, bem como a Zona de Falha do Graciano, são marcadas por gradientes lineares de amplitude moderada a baixa, mais irregulares. As zonas de falha Suspiro-Linhares, Marmeleiro e Cambará correspondem a baixo magnético linear, que é largo, e está interrompido por pequenos altos dispostos ao longo de lineamento de direção E-W. A continuidade destas zonas de falha NW-SE para leste é caracterizada por cristas lineares contínuas, o que poderia ser um indicativo de condutos de magma ou diques.

As duas intrusões gabróicas – Gabro Estância do Tigre (GET) e Gabro Três Passos (GTP) – são realçadas por altos em cristas que delimitam seus limites. O GET está posicionado ao longo de estrutura NNE-SSW (entre as zonas de falha Passo dos Enforcados e Lichiguana), a sul do lineamento WNW-ESE, porém seus

limites N e S são controlados por estruturas E-W e WNW-ESE (Fig. 13b). O GTP, a julgar por estes mapas, estaria condicionado pelas direções E-W a sul e NE-SW a norte.

O Picrito do Boqueirão (PB) está posicionado segundo a continuidade desta estrutura E-W, em cujo prolongamento leste está a pequena anomalia circular que corresponde ao Carbonatito Joca Tavares (CJT) (Fig. 13a). Esta estrutura também delimita o sul da ocorrência de rochas vulcanoclásticas ou sedimentares carbonatados (SC), marcada por alto magnético. O picrito, entretanto, não é realçado nestes mapas em face do baixo valor de suscetibilidade magnética aparente ($0,7-1,8 \cdot 10^{-3}$ SI) e do pequeno contraste com os metassedimentos encaixantes ($<0,02$ a $0,7 \cdot 10^{-3}$ SI).

A Formação Hilário exibe um padrão magnético distinto, com sinal heterogêneo e relevo mais acentuado no mapa da derivada vertical (Fig. 13b). Rochas supracrustais e ortognaisses a norte da Zona de Falha do Marmeleiro exibem um padrão destacado, caracterizado por lineamentos WNW-ESE estreitos, pouco espaçados e contínuos, os quais são interrompidos pelos de direção NE-SW no leste. (Fig. 13b).

Gamaespectrometria

A feição mais saliente nos mapas do K e eTh (Fig. 13c-d) diz respeito a assinatura distinta dos metassedimentos, anteriormente denominados de Formação Arroio da Porteira, das supracrustais a norte da Zona de Falha do Marmeleiro. Os primeiros exibem valores mais baixos de K, e elevados de Th. Embora não sejam conclusivas, tais feições reavivam a discussão sobre a separação destas sequências supracrustais, cujo limite parece controlado pelas estruturas de direção WNW-ESE e E-W a ENE-WSW.

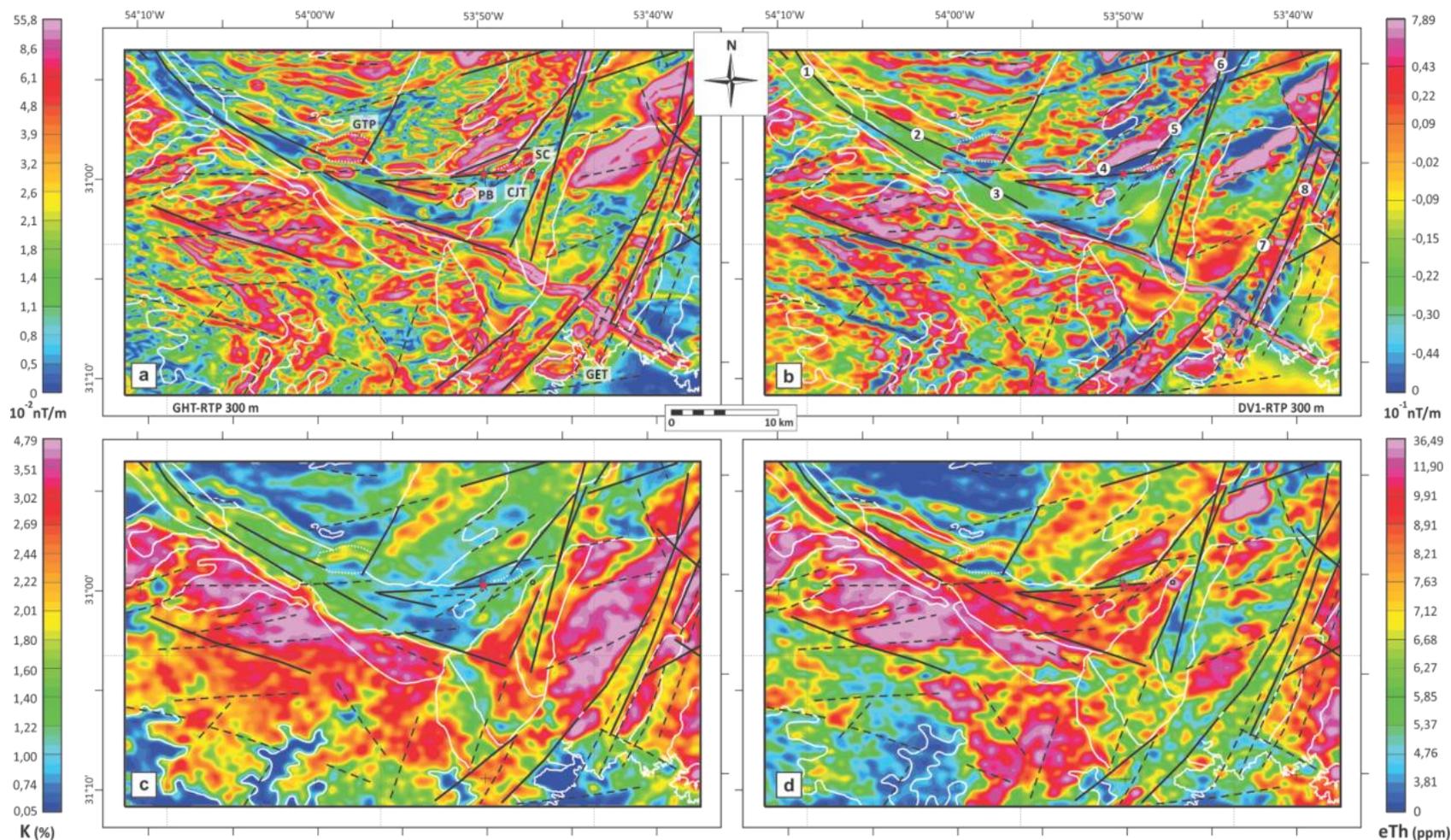


Figura 13 – Mapas aerogeofísicos da região (CPRM, 2010; como nas figuras 9 e 10): a e b) Mapas magnéticos, respectivamente, do gradiente horizontal total e da primeira derivada vertical, ambos reduzidos ao polo e continuados 300 m; c e d) Mapas gamapesctrométricos do K (%) e eTh (ppm), respectivamente. São realçadas as ocorrências do picrito do Boqueirão (PB), carbonatito Joca Tavares (CJT), faixa de rochas sedimentares ou vulcanoclásticas carbonatadas (SC) e os gabros Estância do Tigre (GET) e Três Passos (GTP); e números para principais zonas de falha, como na figura 9.

5.3. Rochas máficas regionais

Foram amostradas rochas máficas, anteriormente referidas, dispostas ao longo ou nas imediações da estrutura magnética de direção NW-SE de dimensão regional no Escudo, que correspondem em linhas gerais ao Lineamento de Ibaré (Fig. 12).

A oeste do picrito em estudo está localizado o Gabro Três Passos, identificado neste trabalho, o qual merece ser estudado em detalhe em trabalhos futuros. Para leste, está o Gabro Estância do Tigre e o dique Rondina (direção N80°W), o qual dista cerca de 30 km a norte desta estrutura. Os diques máficos de Piratini, também de direção NW-SE, estão posicionados no extremo leste desta estrutura.

Diques na região de Piratini

A região de Piratini está localizada na porção leste do Escudo Sul-riograndense, no Batólito Pelotas (Fig. 8). Nesta região ocorrem vários enxames de diques félsicos e máficos encaixados na Suíte Granítica Dom Feliciano – Granito Cerro Grande, com destaque para o Riolito Asperezas, de direção N-S (CPRM, 2007). Além destes, ocorrem diques máficos de direção NE-SW posicionados em ângulo com a Zona de Cisalhamento Piratini (N50°-60°E) (Zanon *et al.*, 2006), e de direção NW-SE (Ribeiro, 1980). Foi coletada uma amostra representativa dos diques de direção NE-SW (PR-02) e duas dos diques de direção NW-SE (PR-03 e PR-04) (Fig. 14a).

Os diques de direção NE-SW ($Az = 260^\circ$) estão extremamente afetados pela zona de cisalhamento. Apresentam contato lobado com granitóides que exibem foliação milonítica NE (048;62 / 044;70 / 072;76) de alto ângulo (Fig. 14b-c). Consistem de rochas de granulação fina e estrutura milonítica, contendo plagioclásio, piroxênio e actinolita (Fig. 15a-b).

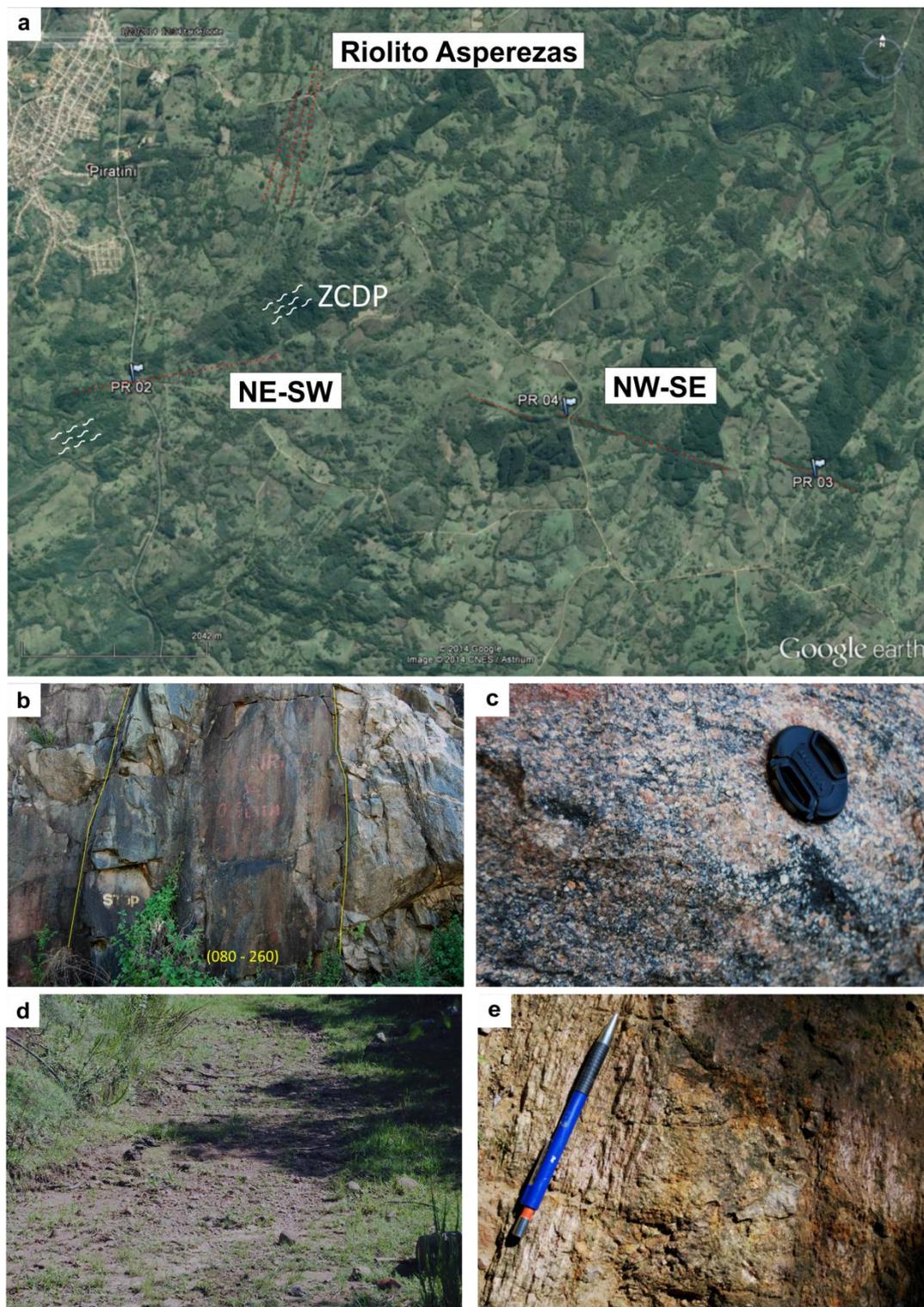


Figura 14 - Diques no sudeste da cidade de Piratini: a) Imagem do *Google Earth* exibindo as três populações de diques (N-S, NE-SW e NW-SE) em relação à Zona de Cisalhamento Dúctil de Piratini (ZCDP), e os três pontos amostrados; b-c) Fotografias do afloramento PR 02: b) PR-02, corte da RS-702, mostrando dique máfico N80°E com 2,0 m de espessura, encaixado em monzogranito foliado (044;70 a 048;62) mostrado em c; d) Fotografias do afloramento PR-03, na forma de blocos soltos em crista N70°W com 20 m de espessura; e e) Foliação milonítica N40-50°E em granito seccionado por este dique.

Os diques de direção NW-SE (N70°W) formam cristas *en échelon*, com espessura média de 20 metros, que afloram na forma de blocos e matacões soltos (Fig. 14d). São caracterizados por rochas isotrópicas que cortam os granitóides milonitizados (Fig. 14e). Consistem em rochas de granulação fina contendo plagioclásio, augita, pigeonita e vidro intersticial. O arranjo entre os minerais é dado por cristais anédricos a subédricos de augita e pigeonita preenchendo espaços entre o plagioclásio, caracterizando textura intergranular (Fig. 15c-d). São frequentes vesículas preenchidas por argilominerais (celadonita) (PR-04), que formam localizadamente textura diktaxítica.

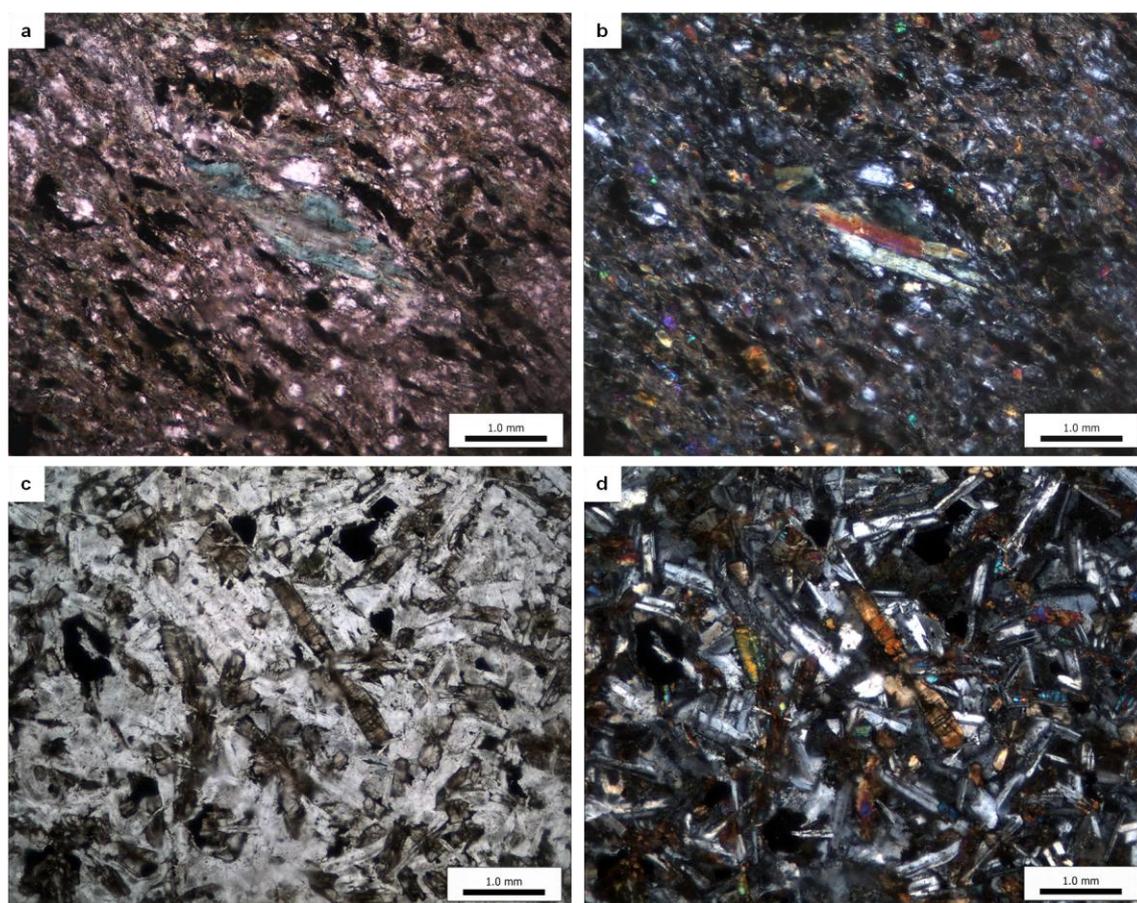


Figura 15 – Fotomicrografias de diques máficos, sudeste de Piratini: a-b – NE-SW (PR-02), milonitizados, com actinolita estirada, plagioclásio e piroxênio (LPP e LXP, respectivamente); c-d – NW-SE (PR-03), de granulação fina contendo plagioclásio, augita, pigeonita e vidro intersticial em arranjo intergranular e intersertal (LPP e d, respectivamente).

Olivina gabros

O **Gabro Estância do Tigre (GET)** e o **Dique Rondina (DR)**, estudados por Viero (1998), consistem de olivina gabros alcalinos de granulação média (GET), e grossa a muito grossa (DR). Originalmente o dique Rondina foi classificado como diabásio, contudo, segundo proposição atual da IUGS o mesmo seria classificado como um gabro.

O DR possui granulação média a grossa, com cristais grossos a muito grossos de titano-augita com inclusões de plagioclásio e olivina (Fo_{57-28}) que compõe cerca de 4% da rocha (Fig. 16b). Comparativamente, o GET é mais fino e contém olivina (Fo_{75-49}) compondo até 27% da rocha (Fig. 17c-d). Os resíduos de cristalização destes dois corpos são compostos por feldspato alcalino, albita, nefelina e analcita.

O DR localiza-se a cerca de 5 km ao sul do Rio Camaquã, no município de Piratini, possuindo aproximadamente 16 km de extensão e direção N80°W (Fig. 16a). Apresenta contato nítido com quartzo-milonitos do Grupo Porongos e sedimentitos dos grupos Camaquã e Bom Jardim. Foram coletadas cinco amostras dos pontos RD-12, RD-13 e RD-14, dos quais dois foram selecionados para confecção de lâminas delgadas (RD-13A e RD-13B).

O Gabro Estância do Tigre, definido por Viero (1998) como *Sill Palmas*, está localizado a cerca de 40 km a nordeste da cidade de Bagé. Forma um corpo grosseiramente circular de aproximadamente 8 km², intrusivo em arenitos do Grupo Maricá e vulcanoclásticas da Formação Hilário ao norte (Fig. 17a-b). Foram coletadas três amostras (GT-07, GT-08 e GT-09), e também utilizadas duas lâminas disponibilizadas pelo projeto (LV-19 e LV-19A).

Gabro Três Passos

Foi identificada uma ocorrência de rocha gabróica denominada, neste trabalho, de Gabro Três Passos. São formados por blocos em valetas de estrada, com relação de intrusão clara em filitos e recobertos por sedimentos e metassedimentos. Anteriormente esta rocha foi classificado como um ultramafito associado ao Complexo Máfico-Ultramáfico Cerro Mantiqueira (Siviero, 2001). Em

função da textura ígnea em uma amostra, acredita-se que representa intrusão distinta, como sugerem os dados magnéticos. Apresenta granulação média, contendo plagioclásio, clinopixênio, ortopiroxênio, hornblenda marrom e clorita. A textura predominante é a intergranular, com algumas porções formando cumalados de plagioclásio (Fig. 18a-b).

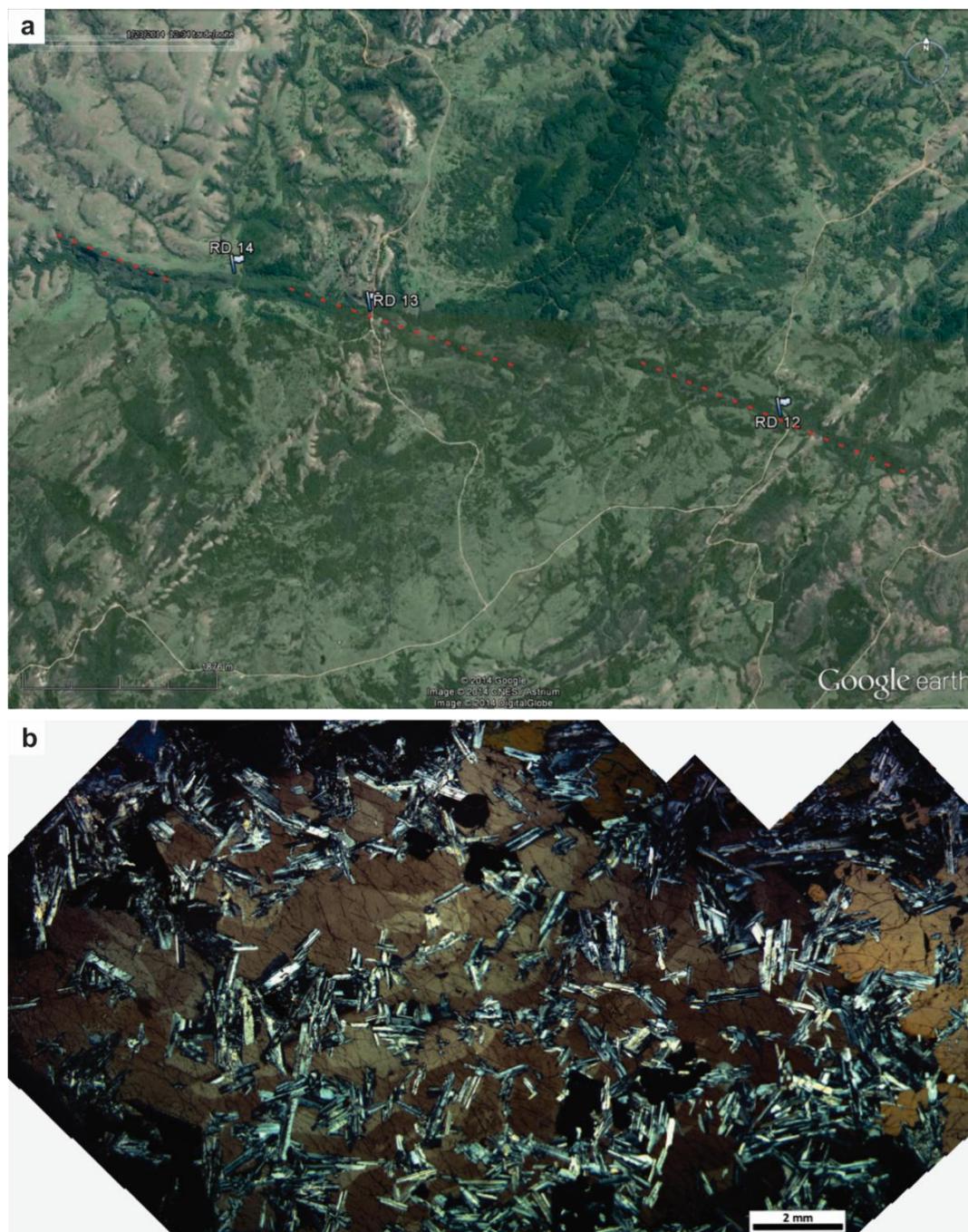


Figura 16 – a) Imagem do *Google Earth* com a localização do Dique Rondina, que ocorre como cristas *en échelon* orientados segundo direção N70°W; b) Fotomicrografia mostrando cristal muito grosso de titano-augita zonada e inclusões de plagioclásio em arranjo ofítico a subofítico (LXP).

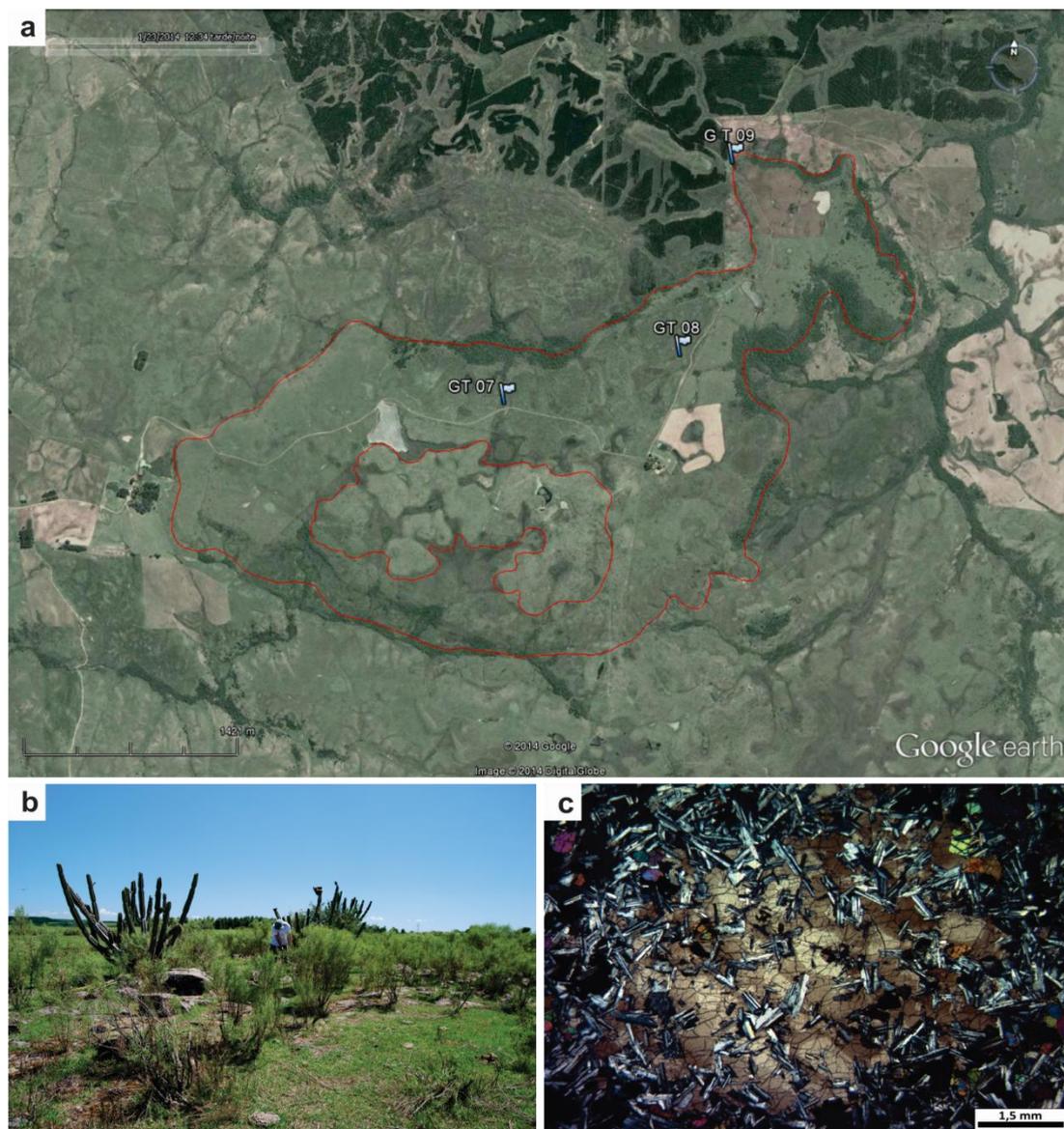


Figura 17 – a) Imagem do *Google Earth* com a localização e pontos coletados do Gabro Estância do Tigre, aflorando de forma descontínua na forma de lajeados, blocos e matacões (b); c) Fotomicrografia mostrando cristais grossos de titanogita zonado com inclusões de plagioclásio e olivina em arranjo subofítico (LXP).

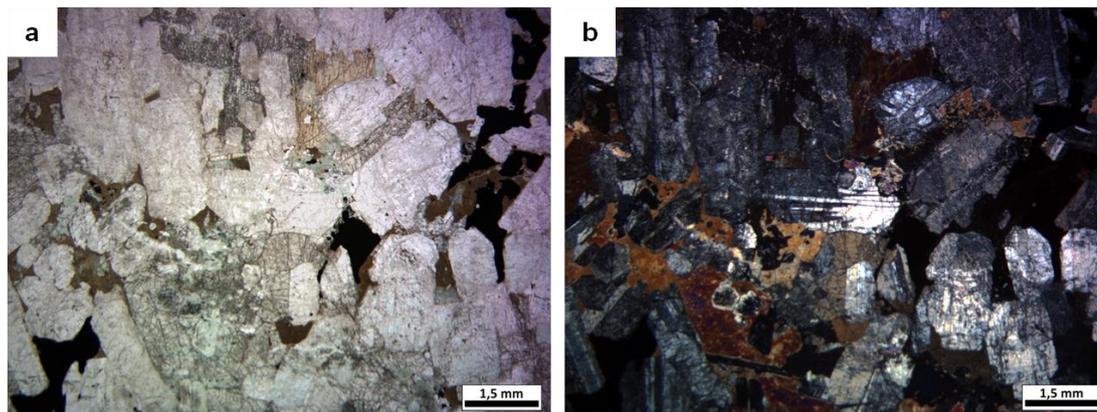
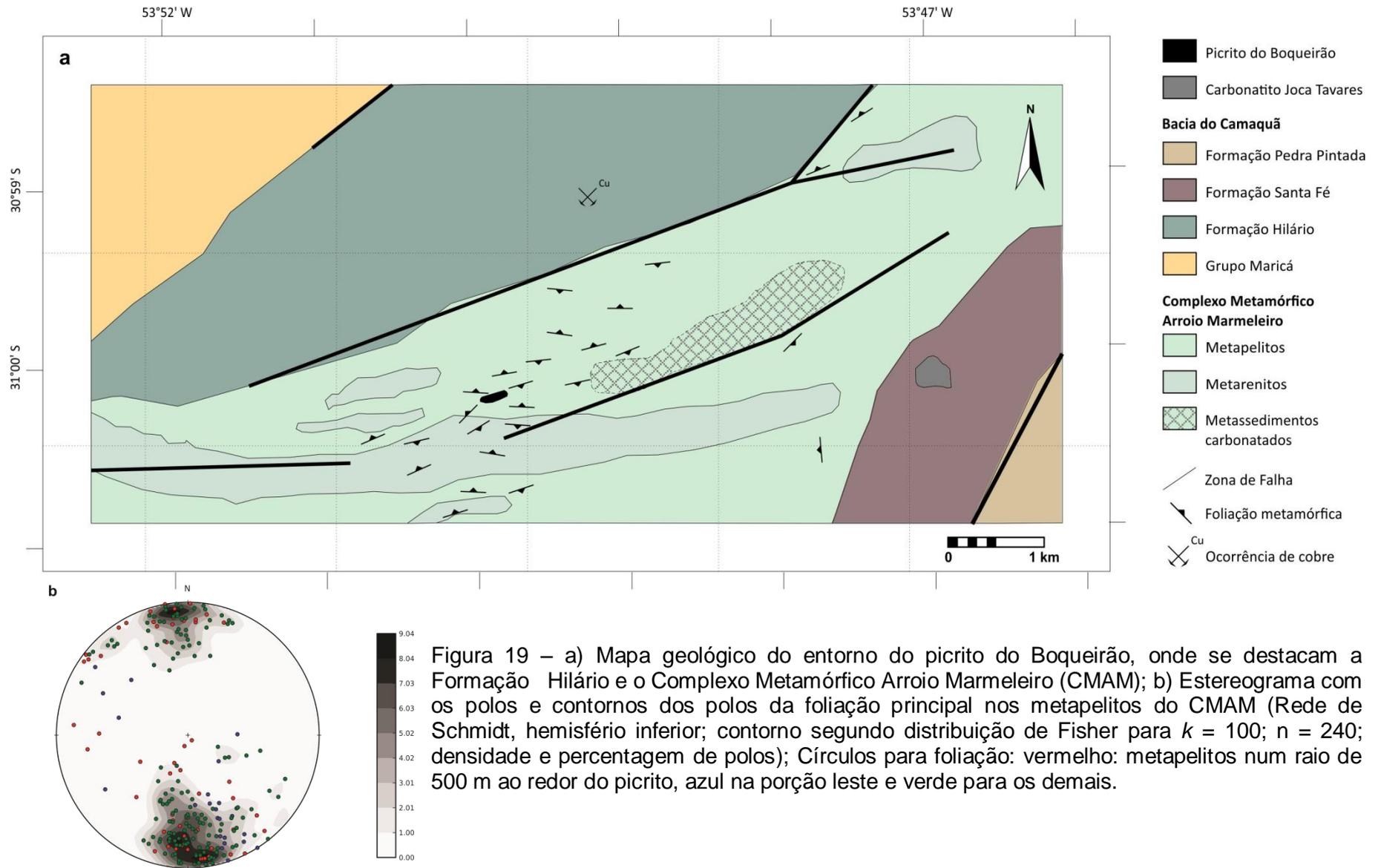


Figura 18 – a-b) Fotomicrografias do Gabro Três Passos, de granulação média e textura intergranular, com plagioclásio, clinopiroxênio, ortopiroxênio, hornblenda marrom e clorita (LPP e LXP, respectivamente).

5.4. Geologia Local

A geologia da área no entorno do picrito do Boqueirão está inteiramente contida no Terreno São Gabriel, onde afloram predominantemente rochas do **Complexo Metamórfico Arroio Marmeleiro** e da **Formação Hilário**, além da ocorrência do **Carbonatito Joca Tavares** (Fig. 19a).



O **Complexo Metamórfico Arroio Marmeleiro (CMAM)** é formado predominantemente por metapelitos foliados e metarenitos ao redor do picrito, cristas alongadas segundo direção E-W de quartzitos a sul e oeste (Fig. 20), além de rochas sedimentares ou vulcanoclásticas e carbonatadas, que ocorrem a leste.

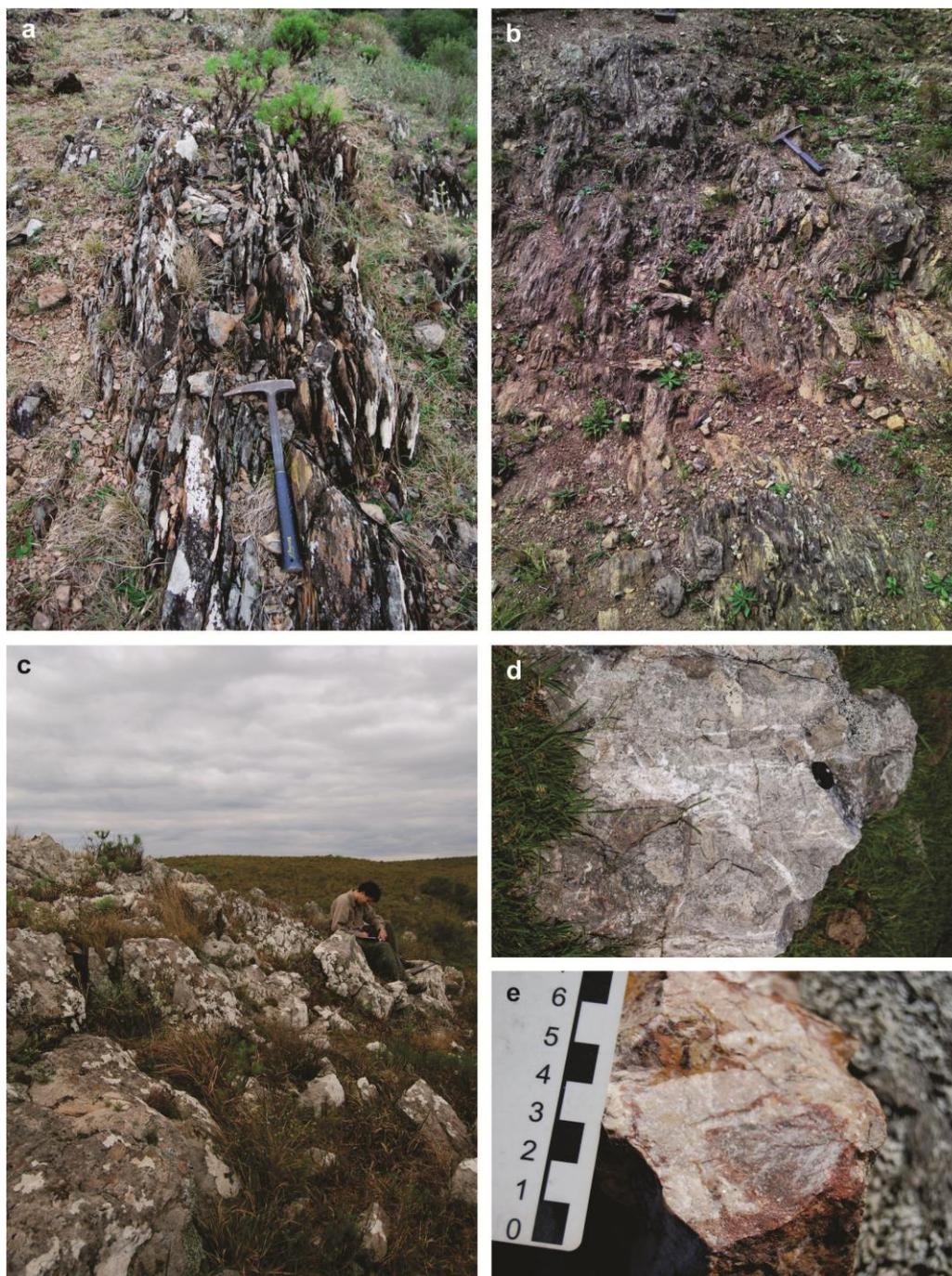


Figura 20 – Feições de campo e litologias predominantes do Complexo Metamórfico Arroio Marmeleiro: a-b) Metapelitos com xistosidade bem marcada; c) Cristas de metarenitos e quartzitos alinhados segundo direção E-W; d) Matacão típico das ocorrências de quartzitos; e) Detalhe de quartzito com grau avançado de silicificação.

Nos metapelitos predominam filitos com xistosidade bem marcada (Fig. 20a-b), que por vezes intercalam-se milimétrica a centimetricamente com metarenitos quartzosos a arcoseanos finos a médios. Subordinadamente ocorrem pequenas cristas de ardósias com clivagem ardosiana bem nítida. Os metapelitos apresentam foliação principal dada por uma xistosidade e uma clivagem ardosiana bem desenvolvida em filitos e ardósias, respectivamente. Esta foliação, em geral, possui direção E-W ($N50^{\circ}$ - 70° E a $N70^{\circ}$ - 80° W) e mergulho de alto ângulo a subvertical, a qual se mantém no entorno do corpo de picrito. Desvios da foliação principal nos arredores do picrito indica foliação anastomosada incipiente (Fig. 19b). A foliação principal é subparalela ao acamadamento primário, $N60^{\circ}$ W a $N70^{\circ}$ E subvertical, dado pela alternância de camadas de metapelitos e metarenitos. Na porção leste do CMAM, porém, esta foliação inflete para direção NE-SW, com mergulho de médio a alto ângulo (Fig. 19b). A leste do picrito ocorre uma zona de cerca de 3 km de extensão alinhada segundo direção NE-SW, paralela à Zona de Falha da Porteira, composta por um baixo topográfico quem contém rochas sedimentares e/ou vulcanoclásticas maciças e intensamente carbonatadas (Fig. 21).

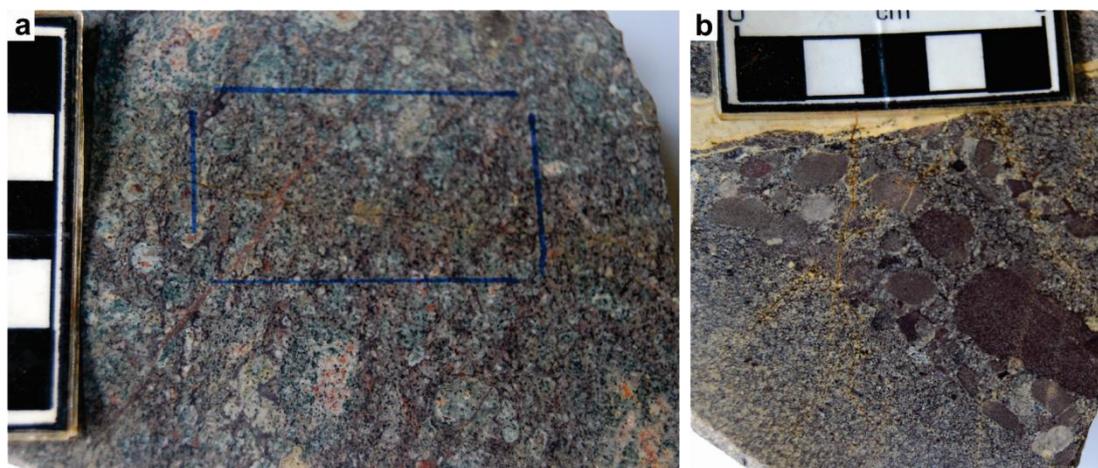


Figura 21 – Amostras das rochas sedimentares ou vulcanoclásticas carbonatadas que ocorrem ao leste do picrito.

Metarenitos e quartzitos, com grau avançado de silicificação, formam cristas de largura variável e centenas de metros de extensão, alongadas segundo direção E-W (Fig. 20c-e). Uma das cristas mais evidentes constituí o Cerro do Cachimbo, situado próximo à intersecção das zonas de falha do Graciano e da Porteira, onde afloram predominantemente quartzitos muito fraturados e cataclasados. São também

frequentes planos de falha estriados de baixo a moderado ângulo, direção variável (224;11 / 11;303), (100;02 / 2;280) a (064;34 / 02;094) e cinemática normal e dextral, respectivamente (Fig. 22).



Figura 22 – a) Região do Cerro do Cachimbo, onde afloram metarenitos e quartzitos; b) plano de falha estriado (064;34 / 02;094) que evidencia cinemática dextral.

A zona de contato entre o CMAM e a Formação Hilário é marcada pela Zona de Falha da Porteira, onde os metapelitos estão mais intensamente afetados por esta falha, com a ocorrência de cataclase, dobras de arrasto e basculamento de pequenos blocos (Fig. 23).



Figura 23 – Feições de campo no contato entre o Complexo Metamórfico Arroio Marmeleiro e a Formação Hilário, marcado pela zona de falha da Porteira (a). Na Formação Hilário ocorrem fraturas e brechas (b), além de lavas e tufo, enquanto que nos metassedimentos do Complexo Metamórfico Arroio Marmeleiro ocorre intensa cataclase, dobras de arrasto (c) e basculamento de blocos.

A **Formação Hilário** ocorre como lajeados e blocos escassos próximos as zonas de falha da Porteira e Graciano. Consiste de lápili-tufos líticos à cristal e tufo-brechas com fragmentos de lavas andesíticas, e raros cristaloclastos de feldspatos. Subordinadamente ocorrem lavas traquiandesíticas maciças e vesiculares (Fig. 24a-c). Próximo a intersecção entre as zonas de falha da Porteira e Graciano ocorre um plano de falha discreto de atitude 264/66, sub-vertical e estrias de atitude 25;242, evidenciando cinemática sinistral. A ocorrência da Porteira (Fig. 24d) consiste numa trincheira de pesquisa da Rio Doce Geologia e Mineração (Docegeo) em rochas vulcanoclásticas, onde ocorrem oxidados de cobre (azurita e malaquita) na forma de disseminações e filonetes em estruturas rúpteis paralelas a zona de falha da Porteira (Ribeiro, 1978).

A Zona de Falha da Porteira, que corresponde à estrutura mais antiga, afetou mais intensamente os metassedimentos e, posteriormente, foi reativada e serviu de conduto para os magmas traquiandesíticos.



Figura 24 – a) Aspecto geral dos afloramentos da Formação Hilário na área; b) amostra de mão de tufo-brecha com fragmentos líticos diversos; c) amostra de lava traquiandesítica vesiculada; d) trincheira na ocorrência da Porteira.

O **Carbonatito Joca Tavares** ocorre a leste, encaixado nos sedimentos da Formação Santa Fé, que estão endurecidas no contato. É uma rocha de cor rosada, a base de carbonato, magnetita e apatita (Fig. 25a-b). Porém nas imediações são encontradas rochas sedimentares e/ou vulcanoclásticas intensamente, muito similares às encontradas a leste-nordeste do picrito.

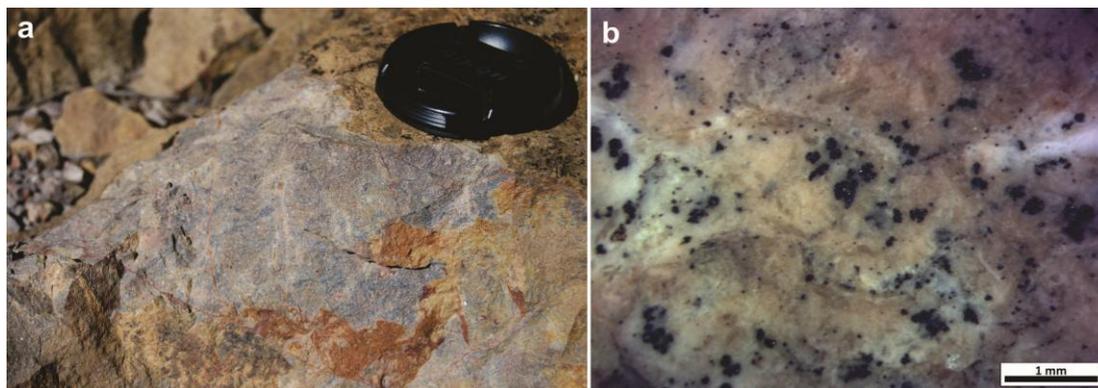


Figura 25 – Feição de campo e detalhe do carbonatito Joca Tavares (a), constituído predominantemente por carbonatos e magnetita (b).

O **picrito do Boqueirão** forma um corpo tabular com dimensões de 40 x 200 m, orientado na direção N88°E, que intrude os metassedimentos segundo a foliação principal. (Fig. 26a-b). Trata-se de uma rocha média a fina, em que se destacam grãos de piroxênio (3-4 mm) e de olivina (\leq 1-2 mm), que lhe conferem aspecto porfirítico. Em direção à borda do corpo, observa-se a redução no tamanho do grão e o alinhamento de zonas microfraturadas que, em locais, lembram uma foliação. Na porção central, este corpo é seccionado por falha subsidiária NNW-SSE, onde o picrito está intensamente serpentizado, de modo pervasivo ou ao longo de fraturas (Fig. 26a e c). Planos de falha com lineação fibrosa, discretos e localizados, exibem cinemática sinistral (340;71 / 41;142 – Fig. 26d).



Figura 26 – a) Imagem do *Google Earth* exibindo o corpo tabular do picrito e a localização das amostras coletadas. Linha preta marca a falha subsidiária transversal, e seta branca a crista de filito a leste, onde se observa o picrito de granulação mais fina intrusivo segundo os planos de foliação; b) Vista panorâmica da área aflorante deste picrito a partir de nordeste. (c) Intensa serpentinização ao longo de planos de fratura; e d) plano de falha sinistral com lineação fibrosa, ambos no ponto BQ-131B.

5.5. Petrografia

O picrito do Boqueirão é uma rocha de granulação média a fina, composta por olivina cumulada serpentizada, ortopiroxênio, diopsídio e material *intercumulus* composto de diopsídio tardio, kaersutita, flogopita e vidro alterado, além de apatita acessória. Minerais opacos incluem Mg-cromita abundante e escassa magnetita. A percentagem modal para as amostras representativas do picrito é apresentada na tabela 1. O gráfico mostrado na figura 27 evidencia que o centro do corpo (BQ-1) é mais rico em olivina, enquanto que na borda (LV-131) o piroxênio e o vidro intersticial são mais frequentes.

Tabela 1 – Resultado da contagem modal das amostras coletadas do picrito do Boqueirão. Ol = olivina; Px = piroxênios; Ka = kaersutita; Fl = flogopita; Vi = vidro; Op = opacos.

	Ol	Px	Ka	Fl	Vi	Op
LV-131	63	23	2,3	0,4	9	2,7
LV-131A	69	22	1	0,1	7	1
BQ-1-1	79,5	13,2	0,6	0,3	4,7	1,7
BQ-1-2	78,7	14,1	0,8	0,3	4,7	1,6
BQ-1A	80	13	1,5	0,2	2,8	2,5
BQ-1B	74,7	14,4	1,1	0,4	3,7	5,7
BQ-1C1	70,5	15	1,7	0,6	2,3	10
BQ-1C2	70	12,3	2,5	0,9	7,5	7

As análises macroscópicas e microscópicas demonstram uma pseudo-foliação dada pelo alinhamento de minerais opacos em microfraturas nas olivinas, sendo que estas fraturas não atingem os piroxênios. Portanto, esta pseudo-foliação não caracteriza uma foliação de natureza metamórfica (Fig. 28).

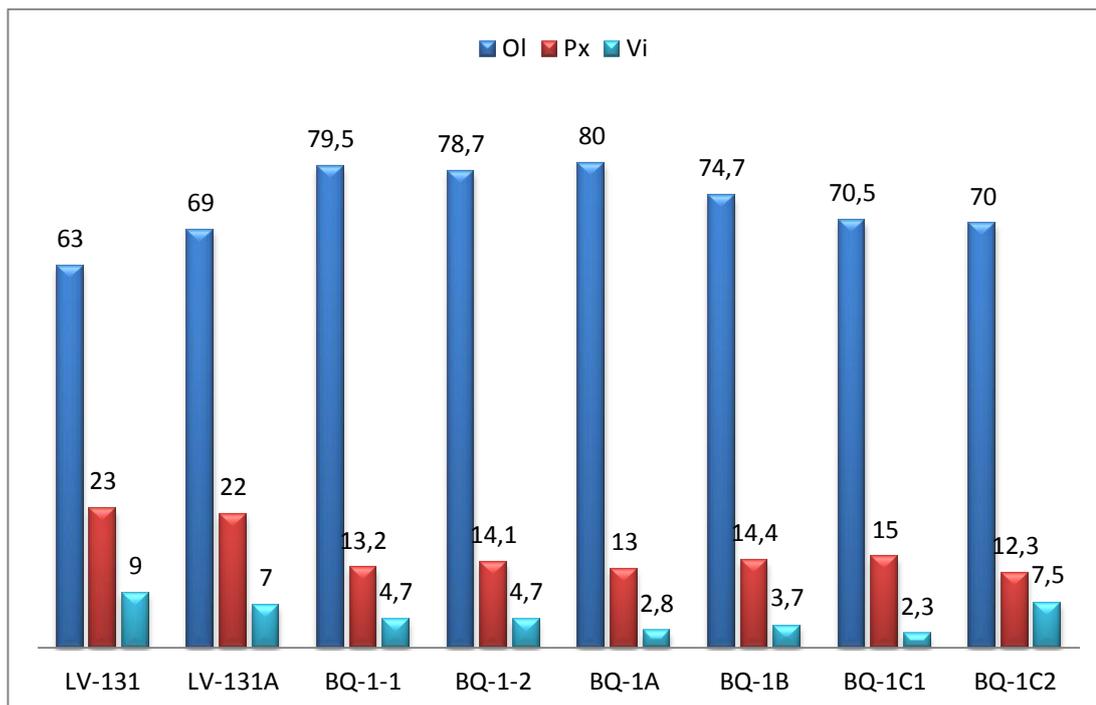


Figura 27 – Gráfico com teores de olivina (Ol), piroxênio (Px) e vidro intersticial (Vi) nas amostras analisadas, demonstrando um maior percentual de olivina nas amostras do centro do picrito do Boqueirão, enquanto que na borda o piroxênio e o vidro são mais frequentes.

A olivina é caracterizada por cristais finos a médios (1-3 mm) arredondados a subédricos, fraturados e alterados para serpentina. Ocorrem como cumulos intensamente fraturados e serpentinizados (Fig. 29a-b), ou como inclusões em cristais de diopsídio e ortopiroxênio, caracterizando uma textura poiquilítica (Fig. 29c-d). Mais raramente se encontram alteradas para boulingita e idingsita.

As análises no MEV-EDS revelam que tanto as olivinas cumuladas quanto as que se encontram dentro dos oikocristais de piroxênio contêm aproximadamente a mesma composição, evidenciando teores elevados de Mg (Fe_{84-83}) (Fig. 30).

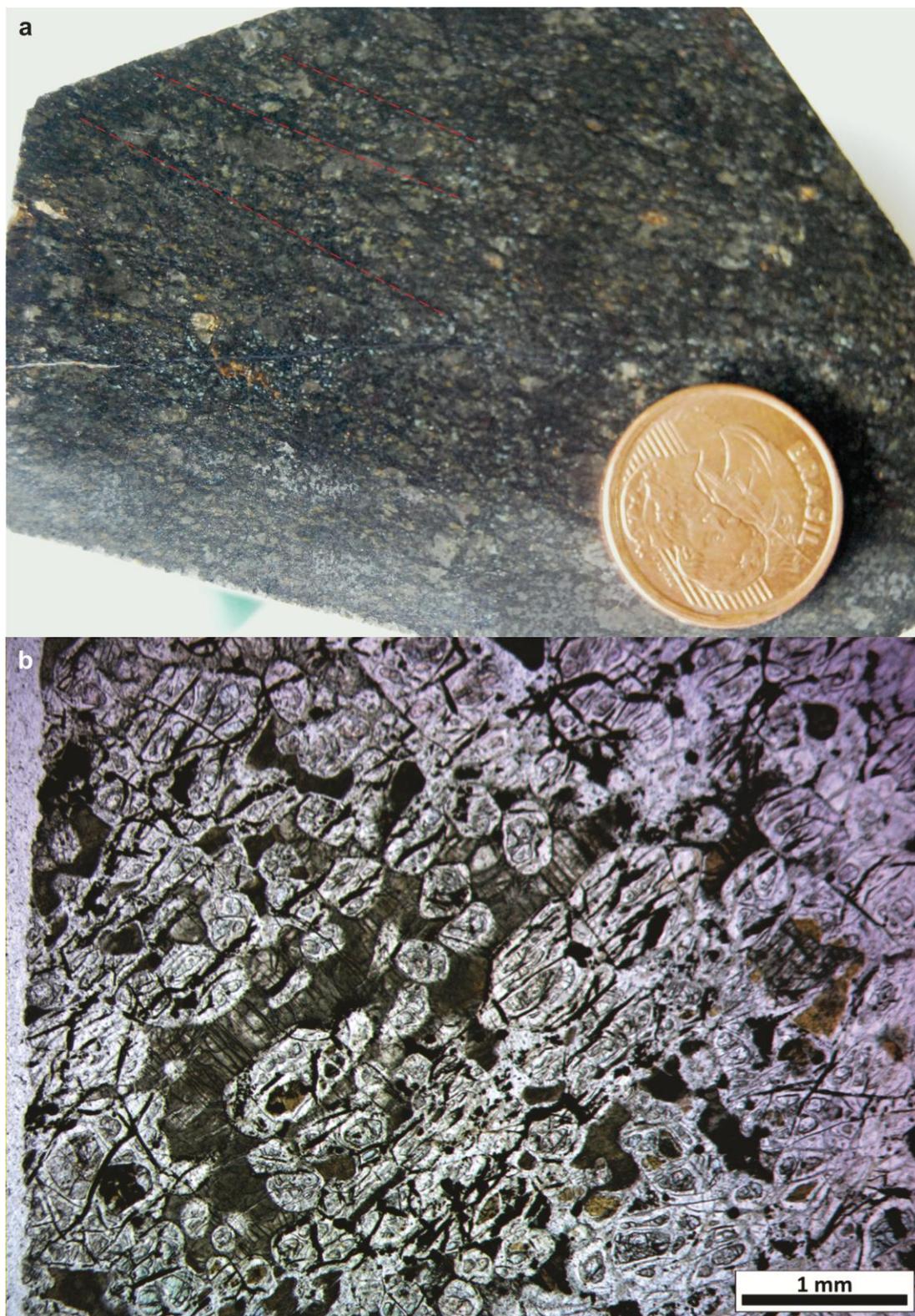


Figura 28 – Pseudo-foliação dada pelo alinhamento de minerais opacos em microfraturas nas olivinas, que pode ser observado tanto em amostras macroscópicas (a) quanto em microscopia (b – LPP).

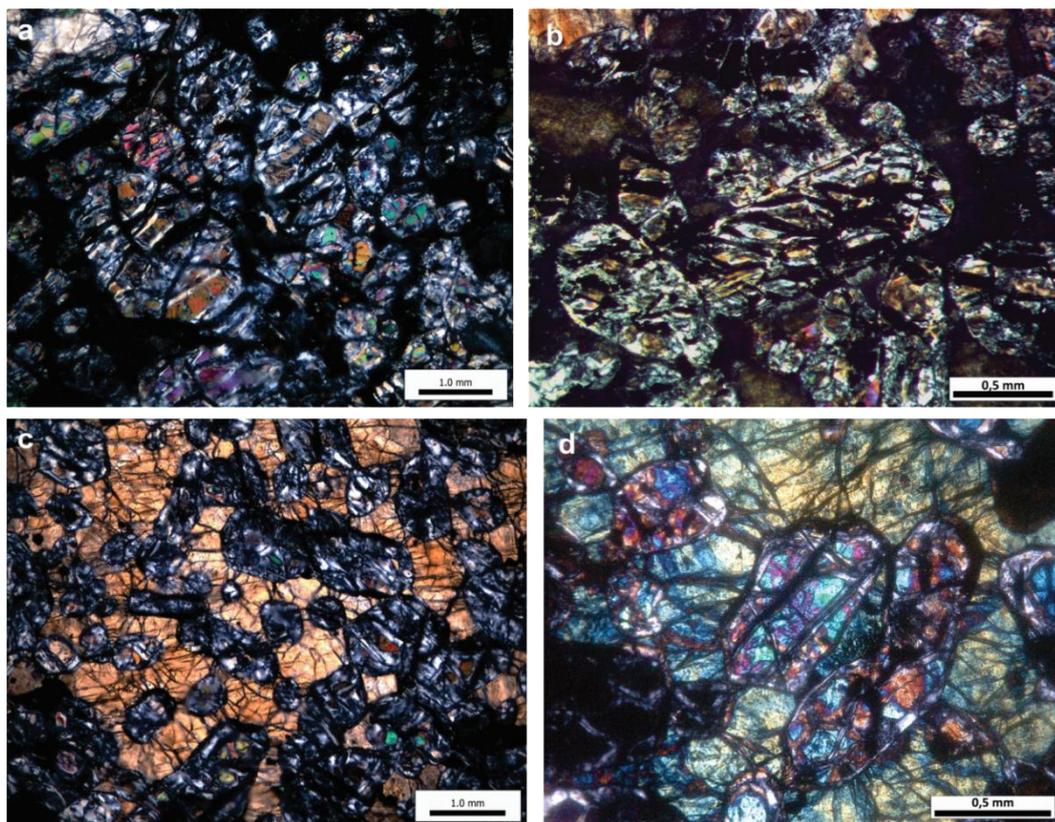


Figura 29 – Características gerais das olivinas, que ocorrem como cumulados intensamente fraturados e serpentinizados (a e b em LXP), ou como inclusões arredondadas em piroxênios (c e d em LXP).

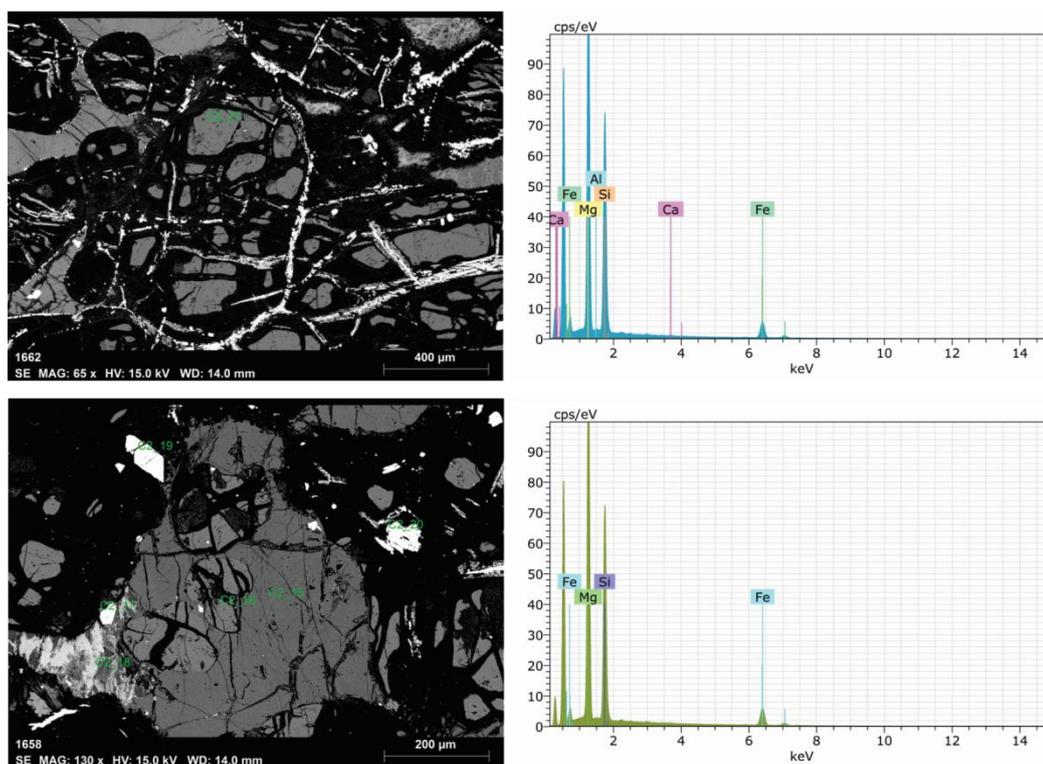


Figura 30 – Imagens BSEM e espectros representativos das análises de olivinas, demonstrando elevado conteúdo de Mg.

Os piroxênios representativos do centro do corpo são constituídos por oikocristais de ortopiroxênio subédricos englobando olivinas, caracterizando a textura poiquilítica (Fig. 31a-b). Ocorre também clinopiroxênio, identificado como diopsídio, intersticial e tardio na cristalização (Fig. 31c-d). Na borda do corpo, os piroxênios são caracterizados por oikocristais de diopsídio (Fig. 31e) e agregados de grãos subédricos de diopsídio e ortopiroxênio (Fig. 31f).

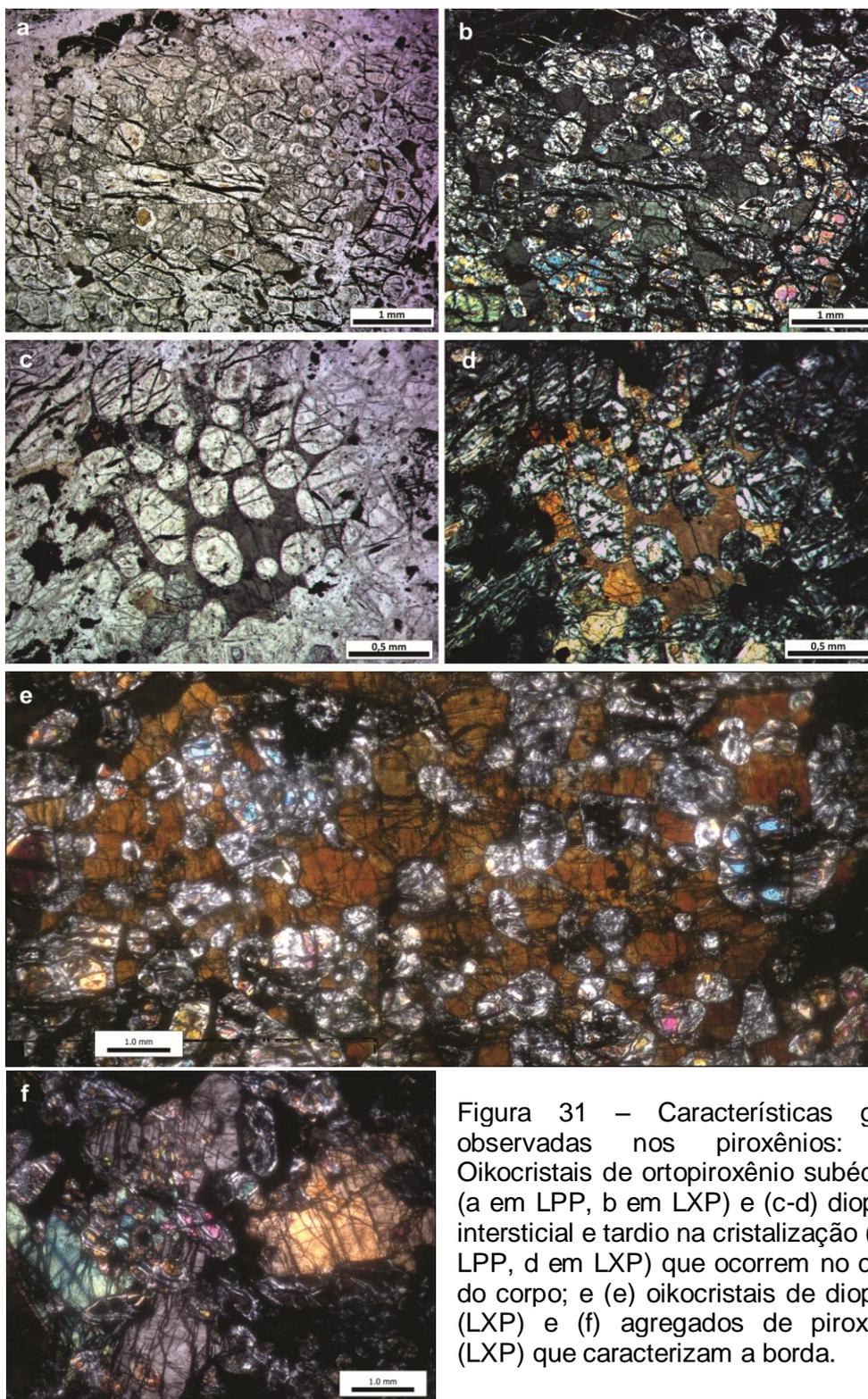


Figura 31 – Características gerais observadas nos piroxênios: a-b) Oikocristais de ortopiroxênio subédricos (a em LPP, b em LXP) e (c-d) diopsídio intersticial e tardio na cristalização (c em LPP, d em LXP) que ocorrem no centro do corpo; e (e) oikocristais de diopsídio (LXP) e (f) agregados de piroxênios (LXP) que caracterizam a borda.

As figuras 32 e 33 mostram imagens BSEM e espectros representativos de oikocristais de ortopiroxênio e de diopsídios intersticiais, respectivamente. O cálculo da fórmula estrutural destes minerais revelou teores de $En_{84}Wo_2$ a $En_{80}Wo_7$ para os ortopiroxênios, e $En_{51}Wo_{41}$ a $En_{48}Wo_{43}$ para os diopsídios.

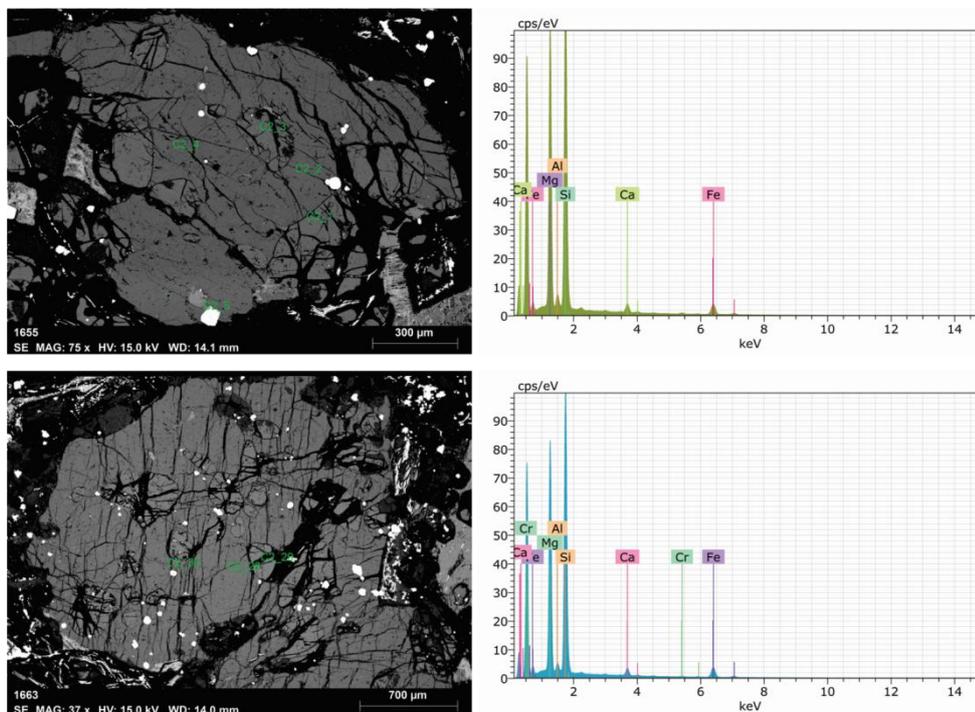


Figura 32 – Imagens BSEM e espectros de oikocristais de ortopiroxênio.

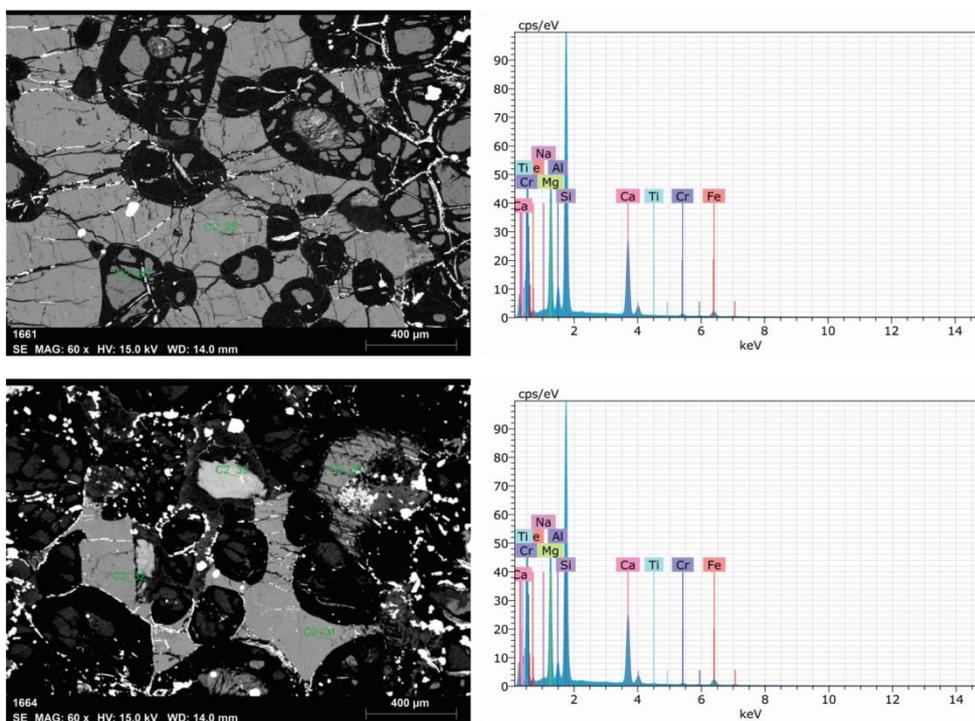


Figura 33 – Imagens BSEM e espectros representativos das análises de diopsídio intersticial.

A kaersutita ocorre de forma anédrica, com até 2 mm de dimensão, de forma disseminada ou formando agregados de grãos. Inclusões de olivinas são comuns (Fig. 34a-b). Imagens BSEM e espectros da kaersutita são mostrados na figura 35. A flogopita é rara, e ocorre como cristais muito finos (até 0,5 mm) de maneira euédrica a subédrica (Fig. 34c-d). O vidro alterado ocorre de maneira intersticial, ocupando os espaços entre os demais cristais (Fig. 34e-f). As análises no MEV evidenciam que o vidro é rico em Al e Ca, indicando que a composição do líquido residual é rica nestes elementos, o qual poderia ser equivalente à cristalização de plagioclásio e/ou clinopiroxênio cálcico, ou até mesmo da kaersutita (Fig.36).

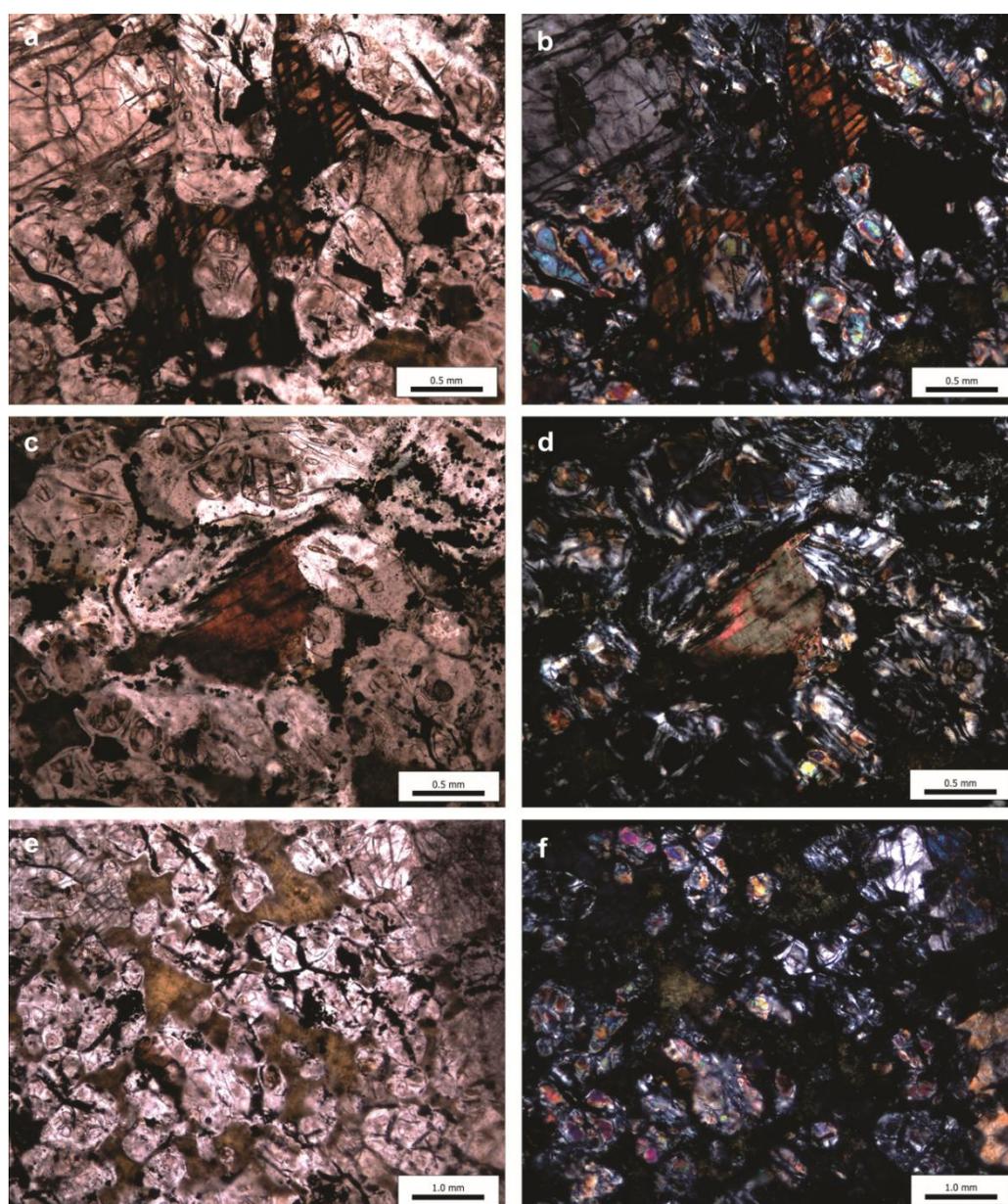


Figura 34 – Fotomicrografias do material *intercumulus*, constituído por (a-b) kaersutita (a em LPP, b em LXP), (c-d) flogopita (c em LPP, d em LXP) e (e-f) vidro alterado (e em LPP, f em LXP).

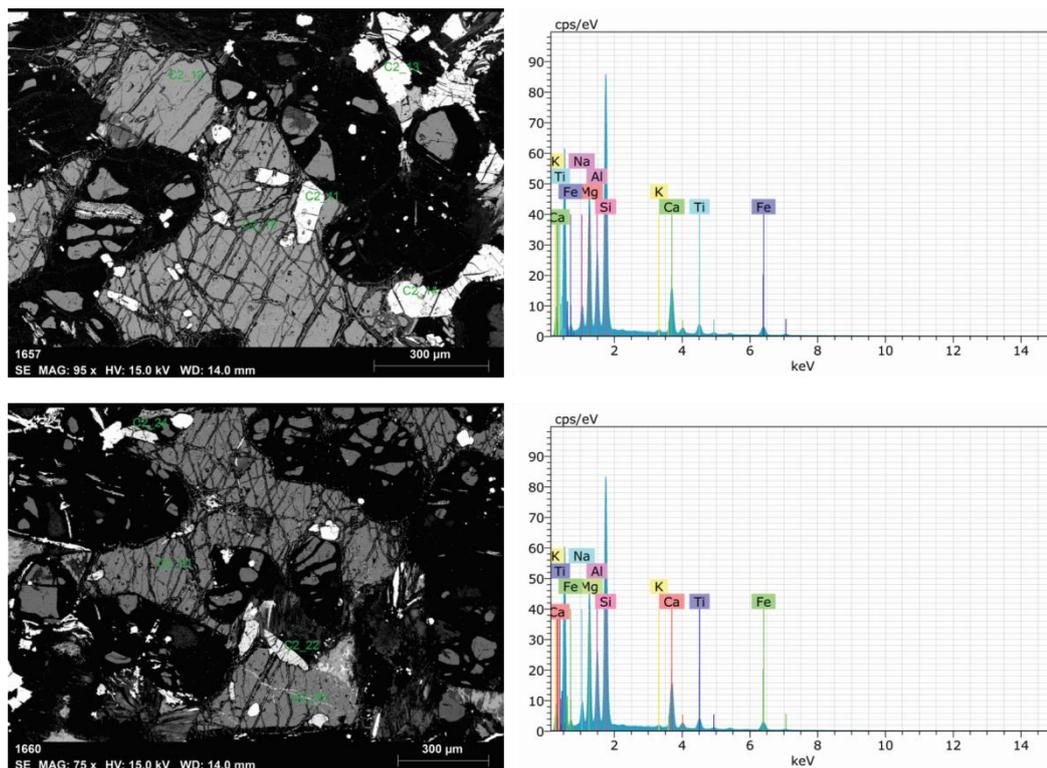


Figura 35 – Imagens BSEM e espectros representativos das análises de kaersutita.

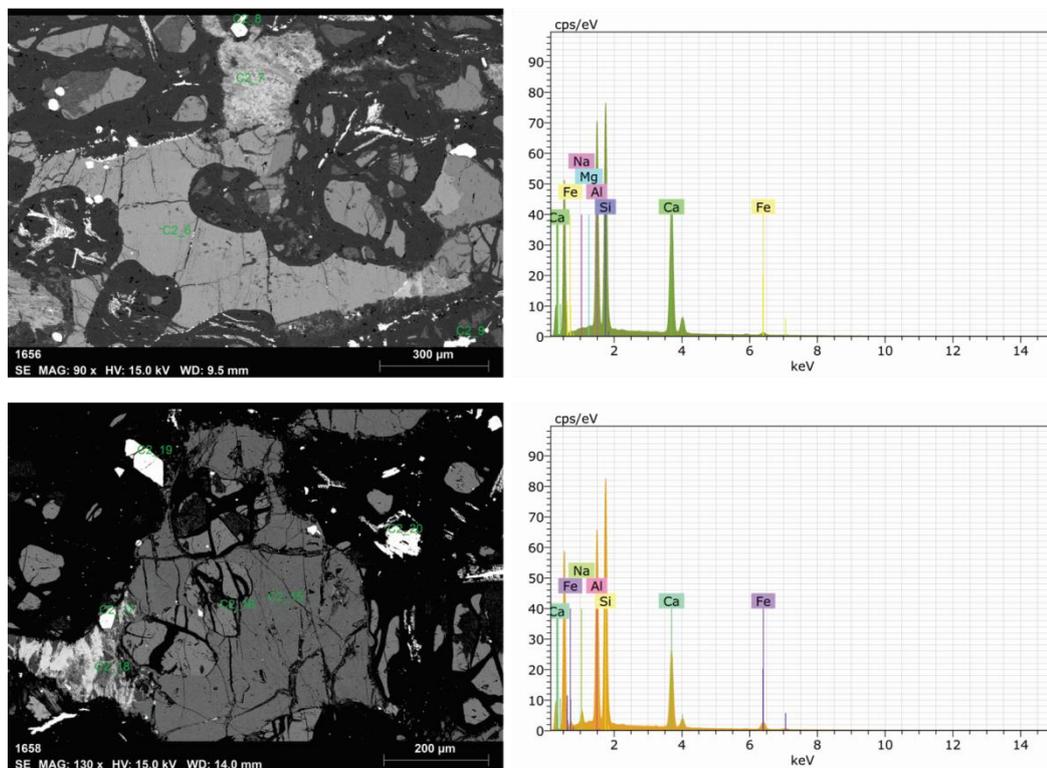


Figura 36 – Imagens BSEM e espectros representativos das análises de vidro intersticial, evidenciando um líquido residual rico em Al e Ca.

6. DISCUSSÃO

6.1. Evidências sobre a natureza do picrito do Boqueirão

O picrito do Boqueirão é um corpo tabular alongado segundo lineamento que equivale a estruturas mais antigas (E-W), as quais foram interrompidas pelas zonas de falha Suspiro-Linhares, Marmeleiro e do Cambará (NW-SE a WNW-ESE). Ocorre próximo à intersecção destes lineamentos E-W com os ENE-WSW, que corresponde à Zona de Falha da Porteira (Fig. 11). Esta zona de falha também representa estrutura mais antiga, que afetou mais intensamente os metassedimentos do Complexo Metamórfico Arroio Marmeleiro (CMAM), foi reativada posteriormente e serviu de conduto para o vulcanismo traquiandesítico da Formação Hilário, marcando o limite entre as duas unidades. O picrito está situado na região em que estes sistemas de lineamentos, E-W e ENE-WSW, são interrompidos e/ou desviados por estruturas de direção NNE-SSW (zonas de falha do Graciano e Cerro Alegre). Talvez tal intersecção seja a explicação para falhas de baixo a moderado ângulo em quartzitos no Cerro do Cachimbo (Fig. 22). Os lineamentos E-W poderiam representar estruturas rúpteis paralelas à foliação nos filitos e à orientação das cristas de quartzito do CMAM.

As evidências que apontam a natureza intrusiva deste corpo tabular de picrito são:

- 1) Este é paralelo à foliação dos filitos, intrudindo-os como cristas soerguidas a leste do corpo (Fig. 26a).
- 2) Ao longo da borda do corpo, ocorre redução da granulação e a variação de texturas e moda da rocha, sugerindo o desenvolvimento de margem resfriada (Tab. 1 e Fig. 27).
- 3) As microfraturas em grãos de olivina, na fácies da borda (Fig. 28), podem ser interpretadas como devido ao fluxo de magma contendo grãos de olivina, dado que os oikocristais de piroxênios que os envolvem não estão fraturados.
- 4) Não se observam fraturas ou falhas no contato com os filitos que possam corroborar o imbricamento tectônico sugerido por Ruppel (2010).

A possibilidade de metamorfismo no picrito é descartada pelas seguintes razões:

- 1) A serpentinização é comum em eventos metamórficos de temperaturas relativamente baixas com fluídos aquosos (Pirajno, 2013). No picrito, porém, a olivina está parcialmente serpentinizada, com grãos menos alterados preservados como inclusões nos piroxênios.
- 2) A intensa serpentinização está restrita à falha subsidiária (NNW-SSE; Fig. 26c-d), que não tem expressividade nas rochas encaixantes.
- 3) Os piroxênios e anfibólios não estão alterados, e o vidro está apenas argilizado.
- 4) Portanto, a serpentinização da olivina foi de caráter seletivo, o que não é consistente com metamorfismo regional.

Como os filitos encaixantes fazem parte de uma sequência epimetamórfica, o picrito poderia ter coexistido com os filitos durante o evento deformacional. Esta opção, porém, é descartada pelo fato da foliação nos filitos manter o *trend* regional, sem desvios significativos ao redor do picrito (Fig. 19a-b).

As variações texturais e composicionais (proporção modal olivina-piroxênios, e percentual de vidro) no picrito são consistentes com o fluxo de magma em um corpo tabular. Na porção central, a olivina cumulada é mais abundante (Tab. 1 e Fig. 27), o ortopiroxênio é poiquilítico e o diopsídio forma grãos tardios *intercumulus* (com textura que lembra a textura ofítica; Fig. 31d). Na borda do corpo, os

cumulados de olivina são menos abundantes, o ortopiroxênio forma cristais subédricos, eventualmente em agregados, o diopsídio é poiquilítico e o vidro é mais abundante (Tab. 1 e Fig. 27). Estas feições implicam no fluxo de magma primitivo (alto MgO), de alta temperatura, o qual assim teria baixa viscosidade para sustentar o acúmulo de olivina no centro, o que é comum em magmas picríticos (Drever & Johnston, 1967). Neste contexto, o líquido magmático residual ligeiramente alcalino poderia ser resultado: (a) de extenso fracionamento de olivina a partir de magma primitivo toleítico, ou (b) da interação com magma de composição distinta, mais alcalino. O modelo de fluxo em um corpo tabular, no entanto, sugere que o picrito do Boqueirão corresponda a um corpo maior em profundidade, transparente em termos magnéticos e gamaespectrométricos (Fig. 13a-b).

6.2. Comparação com as demais rochas regionais

As rochas máficas amostradas ao longo da continuidade do lineamento NW-SE, como mostrado nas figuras 9 e 12, contêm uma assembléia mineral que denotam termos toleíticos a alcalinos, que poderiam ser correlatos ao magmatismo mesozóico da Bacia do Paraná, representado pela Formação Serra Geral (~ 130 Ma).

Os diques de direção NW-SE de Piratini contêm uma paragênese mineral composta por plagioclásio + augita + pigeonita, demonstrando seu caráter toleítico. O Gabro Três Passos tem afinidade toleítica ou cálcio-alcalina, evidenciado pela paragênese de ortopiroxênio + clinopiroxênio + anfibólio. Já o Gabro Estância do Tigre e o Dique Rondina são caracterizados como olivina-gabros com quantidades variadas de olivina e titano-augita, e resíduos de cristalização (nefelina e analcita em pequeno percentual) que denotam líquidos magmáticos próximo do limite de saturação em sílica. Estas rochas de natureza moderadamente alcalina estão relacionadas às zonas de maior extensão da crosta, sendo correlacionadas ao magmatismo alcalino coevo ou anterior ao extenso magmatismo toleítico mesozóico (Viero, 1998).

Em termos petrográficos, o picrito é mais semelhante às rochas do Complexo Básico Lomba Grande (Viero, 1992) e dos *sills* da Região Metropolitana de Porto Alegre (CPRM, 2000). A composição das olivinas (Fe_{84-83}) e presença de Mg-cromita no picrito indica uma fonte derivada de magma primitivo, assim como nos gabros de Lomba Grande, e a kaersutita e apatita sugerem um líquido residual já ligeiramente alcalino.

Com base nas informações citadas acima, estas rochas que ocorrem encaixadas ou nas imediações do lineamento NW-SE poderiam pertencer a uma mesma associação vinculada ao magmatismo da Formação Serra Geral.

Na região dos Traps Siberianos, esta associação de rochas picríticas e gabróicas toleíticas a alcalinas é mais comum do que na Bacia do Paraná. Além disso, os picritos alcalinos e meimechitos da Província Maimecha-Kotui também estão associados a zonas de extensão de crosta (Fig. 5). Esta associação de rochas observadas na Sibéria, portanto, referenciam a proposição acima.

As rochas carbonatadas que ocorrem a leste do picrito (Fig. 21) podem ter sido geradas pela própria intrusão do corpo, pois magmas primitivos como este são ricos em voláteis contendo CO_2 , o que poderia ter causado intenso hidrotermalismo nessa região. Estas rochas também podem estar associadas à Formação Hilário, pois sua área de ocorrência é paralela a Zona de Falha da Porteira. O Carbonatito Joca Tavares (Fig. 25), que ocorre mais a leste, também poderia estar associado a estas rochas. A hipótese de que este se trata de um carbonatito é corroborada pelas assinaturas aerogeofísicas, *i.e.*, um alto magnético circular e um alto de Th-U (Fig. 13c-d), entretanto, assinaturas similares podem ocorrer em *pipes* de alteração.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A integração dos dados apresentados apontam que o picrito do Boqueirão é um corpo ígneo tabular alongado segundo lineamento E-W, que corresponde às estruturas regionais mais antigas. Este picrito intrude os metassedimentos do Complexo Metamórfico Arroio Marmeleiro segundo sua foliação principal, apresentando evidências de margem resfriada.

As variações texturais e composicionais são consistentes com um modelo de fluxo de magma toleítico primitivo de alta temperatura e rico em MgO, com líquido residual ligeiramente alcalino gerado pelo fracionamento da olivina ou interação de magma alcalino.

As rochas máficas regionais abordadas neste trabalho poderiam, então, pertencer a uma mesma associação vinculada aos eventos iniciais do magmatismo mesozóico da Bacia do Paraná, apresentando analogias àquelas dos Traps Siberianos.

Já as rochas carbonatadas e o Carbonatito Joca Tavares, que ocorrem ao leste do picrito, podem estar vinculadas à intrusão do picrito em questão, visto que os magmas que formam este tipo de rocha são ricas em voláteis contendo CO₂, ou teriam origem diversa.

8. REFERÊNCIAS

52° North-ITC. ILWIS 3.4. Faculty of Geo-information Science and Earth Observation, University of Twente, Netherlands.

Allmendinger, R. W.; Cardozo, N. C. & Fisher, D. 2013. *Structural geology algorithms: vectors & tensors*. Cambridge, England, Cambridge University Press, 289 p.

Best, M. G. & Christiansen, E. H. 2001. *Igneous petrology*. Malden, Blackwell Science, 458 p.

Bicca, M. M.; Chemale JR, F.; Jelinek, A. R.; Oliveira, C. H. E. de.; Guadagnin, F. & Armstrong, R. 2013. Tectonic evolution and provenance of the Santa Bárbara Group, Camaquã Mines region, Rio Grande do Sul, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 48, p. 173-192.

Borba, A. W.; Mizusaki, A. M. P.; Santos, J. O. S.; Mcnaughton, N. J.; Onoe, A. T. & Hartmann, L. A. 2008. U-Pb zircon and ^{40}Ar - ^{39}Ar K-feldspar dating of syn-sedimentary volcanism of the Neoproterozoic Maricá Formation: constraining the age of foreland basin inception and inversion in the Camaquã Basin of southern Brazil. *Basin Research*.

Camozzato, E. & Lopes, R. da C. *Mapa geológico da Folha Hulha Negra – SH.22-Y-C-I*. Porto Alegre: CPRM, 2013. Escala 1:100.000.

Cardozo, N. & Allmendinger, R. W. 2013. Spherical projections with OSXStereonet. *Computers & Geosciences*, v. 51, n. 0, p. 193-205.

Carvalho, P. F. de. 1932. *Reconhecimento geológico do Rio Grande do Sul*. Boletim do Instituto Geológico de Mineração Brasileira. Rio de Janeiro, v. 66, p. 1-72.

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: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, CIGO, 2000. p. 13-52.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 2000. *Projeto Platina e Associados: Aspectos geológicos, geoquímicos e potencialidade em depósitos de Ni-Cu-EGP do magmatismo da Bacia do Paraná*. Superintendência Regional de Porto Alegre: CPRM, 2000.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 2007. *Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: CPRM, 2007. Escala 1:750.000.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 2010. *Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: CPRM, 2010.

Czamanske, G. K.; Zenko, T. E.; Fedorenko, V. A.; Calk, L. C.; Budahn, J. R.; Bullock Jr., J. H.; Fries, T. L.; King, B. W. & Siems, D. F. 2002. Petrographic and geochemical characterization of ore-bearing intrusions of the Noril'sk type, Siberia: With discussion of their origin. *Resource Geology*, Special Issue, 18:1-48.

DAER. Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem. 2013. *Mapa Rodoviário do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, Diretoria de Gestão e Projetos, Superintendência de Programação Rodoviária. Escala 1:1.100.000.

Danni, J.C.M. 1994. Os picritos alcalinos da região de Iporá: implicações na gênese dos complexos do tipo central do sul de Goiás. *Revista Brasileira de Geociências*, 24(2): 112-119.

Deer, W. A.; Howie, R. A.; Zussman, J. 1992. *An Introduction to the Rock-Forming Minerals*. 2nd ed. London, Longman Group Limited, 696 p.

Drever, H. I. & Johnston, R. 1967. Picritic minor intrusions. In: Wyllie, P. J. (ed.) *Ultramafic and related rocks*. New York, John Wiley & Sons, Inc., p. 71-82.

Elkins-Tanton, L. T. 2011. The Siberian Large Province and the End-Permian Extinction: Coincidence and Causality. *International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior. Large Igneous Provinces Commission*. Disponível em: <<http://www.largeigneousprovinces.org/aug11>> . Acesso em: 21 nov. 2014.

Fernandes, L. A. D.; Tommasi, A. & Porcher, C. C. 1992. Deformation patterns in the Southern Brazilian branch of the Dom Feliciano belt: a reappraisal. *Journal of South American Earth Sciences*, 5:76-84.

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): 351-374.

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 II – Uma contribuição a partir das assinaturas geofísicas. *Revista Brasileira de Geociências*, 25(4): 375-384.

Fragoso-Cesar, A. R. S. 1980. O Cráton do Rio de la Plata e o Cinturão Dom Feliciano no Escudo Uruguaio-Sul Riograndense. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 31., 1980, Balneário Camboriú. *Anais...* Balneário Camboriú, SBG, v. 5, p. 2879-2892.

Gastal, M. C. P. & Lafon, J. M. 1998. Gênese e evolução dos granitóides metaluminosos de afinidade alcalina da porção oeste do Escudo Sul-riograndense: geoquímica e isótopos de Rb-Sr e Pb-Pb. *Revista Brasileira de Geociências*, 28(1): 11-28, março de 1998.

Gastal, M. C. P.; Lafon, J. M. & Chemale Jr, F. 2010. U-Pb and Pb-Pb zircon ages of Neoproterozoic-Eopaleozoic granites from the western portion of the southern Brazilian Shield. *In: South American Symposium on Isotope Geology*, 7.

Gastal, M. C. P.; Maciel, L.A.C. & Gomes, M.E.B. 2010. Geologia e petrografia do picrito alcalino Boqueirão, Bagé, RS. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 45., 2010, Belém. *Anais...* Belém, SBG.

Gill, R. 2010. *Igneous rocks and processes: a practical guide*. Department of Earth Sciences, Royal Holloway, University of London: John Wiley & Sons, 2010. 428 p.

Goñi, J. C.; Goso, H. & Issler, R. S. 1962. Estratigrafia e geologia econômica do Pré-Cambriano e Eopaleozóico uruguaio e sul-rio-grandense. *In: Avulso da Escola de Geologia*. Porto Alegre: UFRGS.

Greene, A. R.; Scoates, J. S. & Weis, D. 2008. The accreted late triassic Wrangellia Oceanic Plateau in Alaska, Yukon, and British Columbia. *Pacific Centre for Isotopic and Geochemical Research, Department of Earth and Ocean Sciences, University of British Columbia, Vancouver, Canada*.

Grohmann, C. H. & Campanha, G. A. C. 2010. *OpenStereo: open source, cross-platform software for structural geology analysis*. Presented at the AGU 2010 Fall Meeting, San Francisco, CA.

Hartmann, L. A. & Nardi, L. V. S. 1982. Os granitos Santo Afonso, Saibro e Vauthier da região do Arroio Santa Maria Chico, Dom Pedrito, RS – Geologia, petrografia e química de elementos maiores, com interpretação geotectônica. *Acta Geologia Leopoldensia*, São Leopoldo, Universidade do Vale do Rio dos Sinos. v. 6, n. 12, p. 153-178.

Hartmann, L. A.; Leite, J. A. D.; Silva, L. C. da; 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.; 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 no Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Editora Comunicação e Identidade, 2007. p. 97-123.

Iglesias, C. M. da F.; Macêdo, D. & Chiarelli, F. 1980. *Projeto Lavras do Sul – RS, Geologia da Faixa IV*. Porto Alegre, 290 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Jackson, V. N.; Ramos, V. A.; Terry, S. A. & Zuzek, A. B. 1973. Projeto aerogeofísico Camaquã, Estado do Rio Grande do Sul. *Relatório final, Texas Instruments INC, DNPM-CNEM/CPRM*, 223 p.

Janikian, L.; Almeida, R. P. de; Trindade, R. I. F. da; Fragoso-Cesar, A. R. S.; D'Agrella-Filho, M. S.; Dantas, E. L. & Tohver, E. 2008. The continental record of Ediacaran volcano-sedimentary successions in southern Brazil and their global implications. *Terra Nova*, 20, p. 259-266.

Kogarko, L. N. & Ryabchikov, I. D. 2000. Geochemical evidence for meimechite magma generation in the subcontinental lithosphere of Polar Siberia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18 (2000). 195-203.

Le Bas, M. J. 2000. IUGS classification of the high-Mg and picritic volcanic rocks. *Journal of Petrology*. 41, 2467-2470.

Le Maitre, R. W. 2002. *Igneous rocks – a classification and glossary of terms. Recommendations of the IUGS subcommission on the Systematics of Igneous Rocks*. Cambridge: Cambridge University Press. 2nd edn.

Leinz, V.; Barbosa, A. F. & Teixeira, E. A. 1941. Mapa Geológico Caçapava-Lavras. *Boletim da Secretaria de Agricultura, Indústria e Comércio do Estado do Rio Grande do Sul*, Porto Alegre, 90:1-39.

Leite, J. A. D.; Hartmann, L. A.; Mcnaughton, N. J. & Chemale Jr, F. 1998. SHRIMP U/Pb zircon geochronology of Neoproterozoic juvenile and crustal-reworked terranes in southernmost Brazil. *International Geology Review*, v. 40, p. 688-705.

Lima, E. F. de.; Sommer, C. A. & Nardi, L. V. S. 2007. O vulcanismo Neoproterozóico-Ordoviciano no Escudo Sul-rio-grandense: os ciclos vulcânicos da Bacia do Camaquã. In: Iannuzzi, R. & Frantz, J. C. (Ed.) *50 Anos de geologia no Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Editora Comunicação e Identidade, 2007. p.79-95.

Luzardo, R & Fernandes, L. A. D. 1990. Análise estrutural do Lineamento de Ibaré, Parte I – filitos de Ibaré: greenstone belt ou cobertura cratônica deformada? *Acta Geológica Leopoldensia*, São Leopoldo, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 13:25-36.

Nardi, L. V. S. & Bonin, B. 1991. Post-orogenic and non-orogenic alkaline granite associations: the Saibro intrusive suite, southern Brazil – A case study. *Chemical Geology*, 92 (1991), 197-211.

Nardi, L. V. S. & Hartmann, L. A. 1979. O Complexo Granulítico Santa Maria Chico do Escudo Sul-Riograndense. *Acta Geologica Leopoldensia*, São Leopoldo, Universidade do Vale do Rio dos Sinos. 6:45-75.

Nardi, L. V. S. & Lima, E. F. de. 2000. O magmatismo shoshonítico e alcalino da Bacia do Camaquã – RS. In: Holz, M. & De Ros, L. F. (Ed.) *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, CIGO, 2000. p. 119-131.

Oliveira, A. S. de; Pulz, G. M.; Bongioiolo, E. M. & Calarge, L. M. 2003. Isótopos de carbono em filitos carbonosos da Sequência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro, sul de Ibaré, Rio Grande do Sul. *Pesquisas em Geociências*, 30(1): 41-52, 2003. Instituto de Geociências, UFRGS. Porto Alegre, RS – Brasil.

Paim, P. S. G.; Chemale Jr, F. & Lopes, R. da C. 2000. A Bacia do Camaquã. In: Holz, M. & De Ros, L. F. (Ed.) *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, CIGO, 2000. p. 231-274.

Philipp, R.P. & Viero, A.P. 2005. Mesozoic alkaline rocks of Rio Grande do Sul. In: Comin-Chiaramonti, P. & Gomes, C.B. (Ed.). *Mesozoic to Cenozoic Alkaline Magmatism in the Brazilian Plataform*. São Paulo: Edusp: Fapesp, 2005. P. 573-590.

Pirajno, F. 2013. Effects of metasomatism on mineral systems and their host rocks: alkali metasomatism, skarns, greisens, tourmalinites, rodingites, black-wall alteration and listvenites. In: Harlov, D. E. & Austrheim, H. (Ed.). *Metasomatism and the chemical transformation of rock*. Berlim

Porcher, C. A. & Lopes, R. da C. 2000. *Cachoeira do Sul: Folha SH.22-Y-A*. Brasília: CPRM, 2000. Escala 1:250.000.

Ramgrab, G. E. & Wildner, W. 1999. *Pedro Osório, Folha SH.22-Y-C*. Rio de Janeiro: CPRM, 1999. Escala 1:250.000.

Reichow, M. K.; Pringle, M. S.; Al'Mukhamedov, A. I.; Allen, M. B.; Andreichev, V. L.; Buslov, M. M.; Davies, C. E.; Fedoseev, G. S.; Fitton, J. G.; Inger, S.; Medvedev, A. Ya.; Mitchell, C.; Puchkov, V. N.; Safonova, I. Yu.; Scott, R. A. & Saunders, A. D. 2009. The timing and extent of the eruption of the Siberian Traps large igneous province: Implications for the end-Permian environmental crisis. *Earth and Planetary Science Letters*: 277 (2009) 9-20.

Ribeiro, M. 1966. Geologia da quadrícula de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. *Boletim da Divisão de Fomento da Produção Mineral*, Rio de Janeiro, Departamento Nacional de Produção Mineral, Ministério de Minas e Energia, vol. 127, 232 p.

Ribeiro, M. & Teixeira, C.A.S. 1970. Datações de rochas do Rio Grande do Sul e sua influência nos conceitos estratigráficos e geotectônicos locais. *Iheringia*, Série Geologia 3: 109-120. Porto Alegre.

Ribeiro, M. J. 1978. Mapa previsual do cobre no Escudo Sul-Riograndense. Nota Explicativa. *Departamento da Produção Mineral, Brasília. Série Geologia*, 3: 104 p.

Ribeiro, M. 1980. Geossuturas do Escudo do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., 1980, Balneário Camboriú. *Anais...* Balneário Camboriú, SBG, v. 5, p. 2709-2718.

Ruppel, L. M. V. 2010. *Evolução tectônica do Complexo Arroio da Porteira, Bagé – RS*. Porto Alegre, 84 f. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Ryabov, V. V.; Shevko, A. Ya. & Gora, M. P. 2014a. Trap and ore formation in the Siberian Noril'sk region. Vol. 1. Trap petrology, Springer, 407 p.

Ryabov, V. V.; Shevko, A. Ya. & Gora, M. P. 2014b. Trap magmatism and ore formation in the Siberian Noril'sk region. Vol. 2. Atlas of magmatic rocks. Springer, 600 p.

Saalmann, K.; Gerdes, A.; Lahaye, Y.; Hartmann, L. A.; Remus, M. V. D. & Läufer, A. 2011. Multiple accretion at the eastern margin of the Rio de la Plata craton: the prolonged Brasiliano orogeny in southernmost Brazil. *Earth Sci (Geol Rundsch)*, 100:355-378.

Santos, E. L.; Maciel, L. A. C. & Zir Filho, J. A. 1998. Distritos Mineiros do Estado do Rio Grande do Sul. Queiroz, E. T. & Schobbenhaus, C. (coord.). Porto Alegre, DNPM, 35 p.

Seer, H. J.; Baldissera, I. & Moura, Y. A. 1981. *Projeto Torcato Severo – Passo do Tigre: geologia da Faixa 1*. Porto Alegre, 166 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Senhorinho, E. M. 2012. *Controle estrutural dos carbonatitos no Rio Grande do Sul: Análise de produtos de sensoriamento remoto e aerogeofísicos*. Porto Alegre, 180 f. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Siviero, R. S. 2001. *Petrografia e geoquímica aplicada ao aproveitamento industrial do mármore da região do Arroio Marmeleiro, Torquato Severo, RS*. Porto Alegre. 131 p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Sobolev, A. V.; Sobolev, S. V.; Kuzmin, D.V.; Malitch, K.N. & Petrunin, A.G. 2009. Siberian meimechites: origin and relation to flood basalts and kimberlites. *Russian Geology and Geophysics*: 50 (2009) 999-1033.

Thompson, R. N.; Gibson, S. A.; Dickin, A. P. & Smith, P. M. 2001. Early Cretaceous basalt and picrite dykes of the southern Etendeka region, NW Namibia: windows into the role of the Tristan Mantle Plume in Paraná-Etendeka magmatism. *Journal of Geology*, v. 42, n. 11, p. 2049-2081.

Thompson, R. N.; Riches, A. J. V.; Antoshechkina, P. M.; Pearson, D. G.; Nowell, G. M.; Ottley, C. J.; Dickin, A. P.; Hards, V. L.; Nguno, A. K. & Niku-Paavola, V. 2007. Origin of CFB Magmatism: Multi-tiered intracrustal picrite-rhyolite magmatic plumbing at Spitzkoppe, western Namibia, during Early Cretaceous Etendeka Magmatism. *Journal of Petrology*, v. 48, n. 6, p. 1119-1154.

Toniolo, J.A.; Grazia, C.A.; Parisi, G. & Pinto, L.G. 2011. Carbonatitos do Rio Grande do Sul. 2011. *In: V Simpósio de Vulcanismo e Ambientes Associados (01 a 05 de agosto de 2011 – Goiás, Brasil)*.

UFRGS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1981. *Projeto: Torquato Severo – Passo do Tigre*. Trabalho de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

UFRGS. Universidade Federal do Rio Grande Do Sul. 2004. *Mapeamento geológico 1:25.000 de parte da folha Lavras dos Sul (MI2995/3): Projeto Lavras do Sul*. Trabalho de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Vasil'ev, Y. R. & Gora, M. P. 2014. Meimechite-picrite associations in Siberia, Primorye, and Kamchatka (comparative analysis and petrogenesis). *Russian Geology and Geophysics*: 55 (2014) 959-970.

Veneziani, P. & Anjos, C. E. 1982. Metodologia e interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia. São Paulo, Publicação n-INPE-2227-MD/014, 61 p.

Viero, A. P. & Roisenberg, A. 1992. Petrologia e geoquímica do Complexo Básico de Lomba Grande, RS. *Pesquisas em Geociências*, v. 19, n. 1, p. 41-54. Instituto de Geociências, UFRGS. Porto Alegre, RS – Brasil.

Viero, A. P. 1998. Petrogênese do magmatismo básico alcalino Mesozóico do Rio Grande do Sul. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40., 1998, Belo Horizonte. Anais...* Belo Horizonte, SBG, p. 486.

Viero, A. P. 1998. *O magmatismo máfico alcalino Mesozóico do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, 249 f. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul,

Wernick, E. 2004. *Rochas magmáticas: conceitos fundamentais e classificação modal, química, termodinâmica e tectônica*. São Paulo: Ed. UNESP, 2004. 655 p.

Zanon, C.; Machado, R. & Philipp, R. P. 2006. Petrografia e geoquímica dos diques félsicos e máficos associados ao Batólito Pelotas na região de Piratini, RS. *Revista Brasileira de Geociências*, 36(1): 23-34.