



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 573

**GRANITO SERRA DA QUEIMADA, SUÍTE INTRUSIVA
VELHO GUILHERME, PROVÍNCIA CARAJÁS: TIPOLOGIA,
ASPECTOS PETROLÓGICOS E AFINIDADES
METALOGENÉTICAS**

Dissertação apresentada por:

LUCAS MAURÍCIO CONDURU MELO
Orientador: Prof. Dr. Claudio Nery Lamarão (UFPA)

**BELÉM
2019**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará

Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M528G Melo, Lucas Maurício Condurú

Granito Serra da Queimada, Suíte Intrusiva Velho Guilherme, Província Carajás : tipologia, aspectos petrológicos e afinidades metalogenéticas / Lucas Maurício Condurú Melo. — 2019.

xii, 51 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Claudio Nery Lamarão

Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

1. Paleoproterozoico. 2. Cráton Amazônico. 3. Granito Serra Da Queimada. 4. Química Mineral. 5. Geoquímica - Pará.
I. Título.

CDD 551.908115



Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**GRANITO SERRA DA QUEIMADA, SUÍTE INTRUSIVA
VELHO GUILHERME, PROVÍNCIA CARAJÁS: TIPOLOGIA,
ASPECTOS PETROLÓGICOS E AFINIDADES
METALOGENÉTICAS**


**DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR
LUCAS MAURÍCIO CONDURU MELO**


**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de
GEOLOGIA E GEOQUÍMICA, linha de pesquisa PETROLOGIA E EVOLUÇÃO
CRUSTAL**

Data de Aprovação: 18 / 11 / 2019

Banca Examinadora:


Prof. Dr. Cláudio Nery Lamarão
(Orientador – UFPA)


Prof.ª Dr.ª Maria de Lourdes da Silva Rosa
(Membro-UFS)


Prof. Dr. Dayis Carvalho de Oliveira
(Membro-UFPA)

AGRADECIMENTOS

- À Deus;
- Aos meus pais e irmã, pelo amor e incentivo na busca de conhecimento.
- Ao meu amor, Elisama Almeida, por todos os conselhos e força durante a produção deste trabalho.
- À Universidade Federal do Pará (UFPA), ao Instituto de Geociências, ao Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, pela infraestrutura e aprendizagem.
- O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001.
- Ao professor Claudio Lamarão pela dedicada orientação, confiança, paciência e conhecimento repassado ao longo desta etapa.
- Ao Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitoides (GPPG) do Instituto de Geociências e aos colegas Amanda Suany, Vanisse Rodrigues, Renata Veras, pelas ajudas, discussões e sugestões.
- Ao Laboratório de Microanálises do IG-UFPA, principalmente à Msc. Gisele Tavares Marques e a Química Industrial Ana Paula Picanço Correa pelo suporte na organização, preparação de amostras e sessões de MEV e Microsonda Eletrônica.
- A todos que de alguma forma contribuíram para a confecção deste trabalho.

RESUMO

O Granito Serra da Queimada (GSQ) é um batólito anorogênico paleoproterozoico, de formato subcircular, com aproximadamente 20 km² de área, situado ao norte da cidade de São Félix do Xingu, nos domínios da Província Carajás, sudeste do Cráton Amazônico. Secciona unidades arqueanas do Grupo São Félix e paleoproterozoicas do Grupo Iriri, Supergrupo Uatumã. É formado por três fácies petrográficas distintas: biotita sienogranito (BSG), biotita monzogranito (BMG) e sienogranito porfirítico (SGP), todas com conteúdos de máficos < 10%. A ocorrência frequente de intercrescimentos esferulítico e granofírico sugere que as rochas do GSQ cristalizaram em níveis crustais rasos. Análises de microsonda eletrônica mostraram que as biotitas do GSQ são predominantemente magmáticas, ferrosas e enriquecidas em Al. Análises geoquímicas de rocha total mostraram que o GSQ possui natureza peraluminosa a fracamente metaluminosa, razões FeO_t/(FeO_t+MgO) entre 0,75 e 0,99 e K₂O/Na₂O entre 0,6 e 2,33; mostra afinidades geoquímicas com granitos intraplaca do tipo A, do subtipo A2, e granitos ferrosos, sugerindo uma fonte crustal para sua origem. Possui conteúdos de elementos terras raras leves mais elevados que os de elementos terras raras pesados, com padrão sub-horizantalizado para esses últimos, além de anomalias negativas de Eu crescentes no sentido dos BSG, fácies mais evoluída. Os dados geoquímicos mostram que os BSG apresentam conteúdos médios mais elevados de K₂O, Y, Rb, W e Sn e mais baixos de TiO₂, Fe₂O₃, MgO, CaO, Ba e Sr em relação às outras fácies, características típicas de granitos especializados. Temperaturas de cristalização baseadas no geotermômetro de saturação em Zr indicaram intervalos entre 754 °C e 870 °C, similar a de outros granitos anorogênicos da Província Carajás. Os estudos geológicos, petrográficos, de química mineral e geoquímicos comparativos entre o GSQ e outros granitos especializados pertencentes à Suíte Intrusiva Velho Guilherme, indicam que as rochas sienograníticas do GSQ mostram potencial para mineralização em W e Sn e que ele pode ser enquadrado no contexto geológico desta importante suíte granítica.

Palavras-chave: Paleoproterozóico. Cráton Amazônico. Granito Serra da Queimada. Química mineral. Geoquímica-Pa. Granito tipo-A.

ABSTRACT

The Serra da Queimada Granite (GSQ) is a subcircular paleoproterozoic anorogenic batholith, approximately 20 km² in area, located north of the city of São Félix do Xingu, in the Carajás Province, southeast of the Amazonian Craton. It splits archaic units of the São Félix Group and paleoproterozoic groups of the Iriri Group, Uatumã Supergroup. It is formed by three distinct petrographic facies: syenogranite biotite (BSG), monzogranite biotite (BMG) and porphyritic syenogranite (SGP), all with graphics content <10%. The frequent occurrence of spherulitic and granopyric intergrowths suggests that GSQ rocks crystallized at shallow crustal levels. Electron probe analysis showed that GSQ biotites are predominantly magmatic, ferrous and Al-enriched. Total rock geochemical analyzes showed that GSQ is peraluminous to weakly metaluminous, FeO_t/(FeO_t +MgO) ratios between 0.75 and 0.99 and K₂O/Na₂O between 0.6 and 2.3; shows geochemical affinities with intra-plate A type granites, of subtype A2, and ferrous granites, suggesting a crustal source for their origin. It has higher light rare earth element contents than heavy rare earth elements, with a sub-horizontal pattern for the latter, as well as increasing negative Eu anomalies towards the more evolved BSG facies. The geochemical data show that BSG have higher average K₂O, Y, Rb, W and Sn content and lower TiO₂, Fe₂O₃, MgO, CaO, Ba and Sr than other facies, typical characteristics of specialized granites. Crystallization temperatures based on the Zr saturation geothermometer indicated ranges between 754 °C and 870 °C, similar to other anorogenic granites in the Carajás Province. Comparative geological, petrographic, mineral chemistry and geochemical studies between the GSQ and other specialized granites belonging to the Velho Guilherme Intrusive Suite indicate that sienogranitic rocks of the GSQ show potential for mineralization in W and Sn and that it can be framed in the geological context of this important granite suite.

Keywords: Paleoproterozoic. Amazonian Craton. Serra da Queimada Granite. Mineral Chemistry. Pa-Geochemistry. A-type Granite.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Capítulo 1

- Figura 1 - (A) Mapa esquemático do Cráton Amazônico com a localização da área de estudo.
 (b) Mapa geológico simplificado da Província Carajás com a distribuição das suítes graníticas anorogênicas do Cráton Amazônico. DRM=Domínio Rio Maria. XR=Região do Xingu. B=Bacia Carajás. Em negrito, Granito Serra da Queimada. Fonte: Modificado de Dall’Agnol *et al.* (2005).....2
- Figura 2 - Mapa de acesso e localização à área de estudo.....3
- Figura 3 - Províncias geocronológicas do Cráton Amazônico. (A) Fonte: Tassinari & Macambira (2004) e (B) Santos et al. (2006).....6
- Figura 4 - Mapa geológico Granito Serra da Queimada Fonte: (CPRM 2008).....7

Capítulo 2

- Figura 1 - (A) Serras irregulares responsáveis pelo relevo positivo da região envolvendo o GSQ. (B) e (C) Lajedos e blocos rolados, principais formas de afloramento na região. (D) lajedos de biotita sienogranito recorrentes na base das serras. (E) Pequena cava de atividade garimpeira.....12
- Erro! Indicador não definido.12**
- Figura 2 - (A) Mapa geológico do GSQ, mostrando a distribuição espacial de suas rochas e dos pontos estudados. (B) Imagem aerogeofísica da região de ocorrência do GSQ mostrando sua delimitação.....13
- Figura 3 - Diagramas Q-A-P e Q-A+P-M’ Fonte: (Streckeisen 1976), mostrando a distribuição das rochas do GSQ.....14
- Figura 4 - (A-C) Biotita sienogranitos (BSG): (A) aspecto das texturas hipidiomórfica e granofírica mostrando cristais de plagioclásio (Pl) e feldspato potássico (Kfs) intensamente sericitizados e argilizados, respectivamente. (B) Cristais de biotita (Bt) alterados para clorita. (C) Cristais de plagioclásio em contato com cristais de feldspato potássico (Kfs).: (D- E) Textura granular hipidiomórfica dominante nos BMG. (F) Detalhe de cristais de Bt e Kfs intensamente cloritizados e argilizados, respectivamente. Abreviações segundo Fonte: Whitney & Evans (2010).....18

- Figura 5 - (A) Aspectos texturais dos SGP: (A) destaque para os fenocristais subarredondados de quartzo (Qz) e feldspato potássico (Kfs) argilizados imersos em matriz felsítica; pseudomorfo de anfibólio (Anf) transformado para epidoto (Ep). (B) aglomerado de cristais de anfibólio transformados para epidoto imersos em matriz quartzo-feldspática. (C) Aspecto texturais dos BMG. (D) cristais de biotita cloritizados, recorrentes nestas rochas. Abreviações segundo Whitney & Evans (2010).....20
- Figura 6 - Imagens de ERE de minerais acessórios de GSQ. (A) e (B) mineralogia acessória característica dos sienogranitos. (C) Cristais de ilmenita, apatita e zircão comuns nos SGP. (D) e (E) Mineralogia acessória dos BMG, com cristais de magnetita e titanita primária típicas dos monzogranitos. (F) Titanita secundária, rutilo e cristais de apatita. Ap= apatita, Ilm= Ilmenita, Kfs= feldspato potássico, Mag= magnetita, Fl=fluorita, Rt= rutilo, Ttn= titanita, Th= thorita, Zrn= zircão; Abreviações segundo Fonte: Whitney & Evans. (2010).....21
- Figura 7 - (A) Cristais de biotita dos BSG intensamente cloritizados. (B) Imagem ERE evidenciando o grau de intensa cloritização de cristais de biotita dos BSG (não utilizados). (C) cristais de biotita representantes dos BMG com características morfológicas e composicionais preservadas. (D) Fotomicrografia da fácies BMG com cristais de biotita bem preservados, porém parcialmente cloritizados. BMG=biotita monzogranito; BSG=biotita sienogranito; Bt=biotita; Chl=clorita; Qz=quartzo; Ap=apatita. Abreviações segundo Fonte: Whitney e Evans (2010).....22
- Figura 8 - (A) Diagrama $Fet/(Fet+Mg)$ vs $IVAl$ Fonte: (Deer *et al.* 1992) mostrando a distribuição das biotitas do GSQ. Notar leve trend anita-siderofilita. (B) Diagrama $VIAI+Fe^{3++}Ti - Mg - Fe^{2++}Mn$ (Foster 1960) mostrando o enriquecimento em Fe das biotitas do GSQ. A=anfibólio. B=biotita. MG=monzogranito. SG=sienogranito. L=leuco. AFG=álcali-feldspato granito. IAlt=intensamente alterado. LBLMG=biotita leucomonzogranito tardio. Dados compilados de: Granito Jamon= Dall’Agnol *et al.* (1999, 2005); Granito Bannach= Fonte: Mesquita (2017); Granito Antônio Vicente= Fonte: Teixeira (1999; Nery 2019); Granito Serra da Queimada= este trabalho.....23
- Figura 9 - Diagrama $FeO+MnO-10*TiO_2-MgO$ Fonte: (Nachit *et al.* 2005) mostrando a distribuição dominante das biotitas dos BMG do GSQ no campo magmático. Campos com a composição de biotitas de granitos selecionados para comparação. Legenda conforme a Figura 8.....24

- Figura 10 - Diagramas Al_2O_3 x MgO e $FeO - MgO - Al_2O_3$ Fonte: (Abdel-Rahman *et al.* 1994) mostrando a afinidade das biotitas do Granito Serra da Queimada com granitos anorogênicos e peraluminosos. Campos com a composição de biotitas de granitos selecionados para comparação.....25
- Figura 11 - Diagramas de Harker para os elementos maiores do GSQ. (A) TiO_2 x SiO_2 . (B) Al_2O_3 x SiO_2 . (C) CaO x SiO_2 . (D) FeO x SiO_2 . (E) MgO x SiO_2 . (F) K_2O+Na_2O x SiO_2 . BSG=biotita sienogranito. BMG= biotita monzogranito. SGP= sienogranito porfirítico.....29
- Figura 12 - Diagramas de Harker utilizando elementos traços do Granito Serra da Queimada. (A) Rb x Ba . (B) Sr x Ba . (C) Rb x Sr . (D) Rb/Sr x Ba/Sr . BSG=biotita sienogranito. BMG= biotita monzogranito. SGP= sienogranito porfirítico.....30
- Figura 13 - Diagramas geoquímicos mostrando a distribuição das amostras do Granito Serra da Queimada e de outros granitos pertencentes à SIVG. (A) Diagrama A/NK x A/CNK (Shand *et al.* 1951). (B) Diagrama $FeOt/(FeOt+MgO)$ x SiO_2 Fonte: (Frost *et al.* 2001). Análises químicas dos granitos Velho Guilherme (GVG), Antônio Vicente (GAV) e Mocambo (GM) Fonte: compiladas de Teixeira (1999). Análises químicas do Granito Bom Jardim (GBJ) Fonte: compiladas de Lamarão *et al.* (2012). $A/NK=Al_2O_3/Na_2O+K_2O$; $A/CNK=Al_2O_3/CaO+Na_2O+K_2O$31
- Figura 14 - (A) Padrão de distribuição dos elementos terras raras do Granito Serra da Queimada, normalizado segundo Fonte: Evensen *et al.* (1978), em comparação com outros granitos da Suíte Intrusiva Velho Guilherme (Velho Guilherme e Mocambo) (B), Antônio Vicente (C) e Bom Jardim (D). Análises químicas dos Granitos Velho Guilherme, Mocambo e Antônio Vicente compiladas de Teixeira (1999). Análises químicas do Granito Bom Jardim Fonte: compiladas de Lamarão *et al.* (2012).....32
- Figura 15 - Diagramas geoquímicos mostrando ambiente tectônico e tipologia das amostras do Granito Serra da Queimada. (A) $Y + Nb$ x Rb (Pearce *et al.* 1984). (B) $(Zr + Nb + Y + Ce)$ x $FeOt/MgO$ (Whalen *et al.* 1987) M, I e S: média dos granitos tipo I, M e S; FG: granitos félsicos fracionados (C) $Nb-Y-Ga$ e $Nb-Y-Ce$ (Eby 1992); BSG=biotita sienogranito. BMG= biotita monzogranito. SGP= sienogranito porfirítico. Análises químicas dos granitos Velho Guilherme (GVG), Mocambo (GM) e Antônio Vicente (GAV) compiladas de Teixeira (1999). Análises químicas do Granito Bom Jardim (GBJ) Fonte: compiladas de Lamarão *et al.* (2012).....34

- Figura 16 - (A) Diagrama $\text{FeOt}/(\text{FeOt}+\text{MgO}) \times \text{Al}_2\text{O}_3$ (Dall’Agnol & Oliveira 2007) mostrando os campos característicos de granitos tipo A reduzidos, oxidados e cálcio-alcalinos. (B) Diagrama Rb-Ba-Sr (El-Bouseily & El-Sokkary 1975) individualizando granitos anômalo, normais e fortemente fracionados. BSG=biotita sienogranito. BMG= biotita monzogranito. BMGO= biotita monzogranito orientado. SGP= sienogranito porfirítico. Análises químicas dos granitos Velho Guilherme, Mocambo e Antônio Vicente compiladas de Teixeira (1999). Análises químicas do Granito Bom Jardim compiladas de Lamarão *et al.* (2012). Legenda conforme a Figura 15.....35
- Figura 17 - Diagrama $\text{K/Rb} \times \text{SiO}_2$ (Blevin 2003) mostrando os estados de diferenciação do GSQ. Dados do campo da Suíte Intrusiva Velho Guilherme compilados de Teixeira *et al.* (2005) e Lamarão *et al.* (2012). BSG=biotita sienogranito. BMG= biotita monzogranito. SGP= sienogranito porfirítico.....38
- Figura 18 - Diagrama $\text{Sr} \times \text{Rb/Sr}$ (Lehmann & Mahawat 1989) mostrando a distribuição das rochas do Granito da Serra da Queimada. Dados do campo da Suíte Intrusiva Velho Guilherme Fonte: compilados de Teixeira *et al.* (2005) e Lamarão *et al.* (2012) Dados dos campos dos granitos Hernyingyi e Pilok (Lehmann & Mahawat 1989). BSG=biotita sienogranito. BMG= biotita monzogranito. SGP= sienogranito porfirítico. Os círculos pretos indicam as composições médias dos granitos com alto e baixo cálcio Fonte: (conforme Turekian & Wedepohl 1961).....39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição modal das rochas do Granito Serra da Queimada.....	7
Tabela 2 - Composições químicas (WDS) representativas e fórmula estrutural das biotitas do Granito Serra da Queimada.	30
Tabela 3 - Amostras selecionadas para análises de rocha total.....	31
Tabela 4 - Composição química média do Granito Serra da Queimada e de outros granitos da Suíte Intrusiva Velho Guilherme.....	32
Tabela 5 - Estimativas de temperatura para as diferentes fácies do GSQ segundo o geotermômetro experimental do Zr de Fonte: Watson & Harrison (1983).....	41

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE LUSTRAÇÕES	vii
LISTA DE TABELAS	xi
CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	1
1.1 APRESENTAÇÃO	1
1.2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO AO CORPO	3
1.3 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	3
1.3.1 Cráton Amazônico	3
1.3.2 Província Carajás	5
1.3.3 Suíte Intrusiva Velho Guilherme	6
1.3.4 Granito Serra da Queimada	7
1.4 PROBLEMÁTICA.....	8
1.5 OBJETIVOS	8
1.6 MATERIAIS E MÉTODOS	9
1.6.1 Pesquisa bibliográfica	9
1.6.2 Viagem de campo	9
1.6.3 Estudo petrográfico	9
1.6.4 Química mineral	10
1.6.5 Geoquímica	10
CAPÍTULO 2 RESULTADOS	11
2.1 MAPEAMENTO GEOLÓGICO E AMOSTRAGEM.....	11
2.2 PETROGRAFIA.....	13
2.2.1 Composição modal e classificação petrográfica	14
2.2.2 Biotita Sienogranitos (BSG)	16
2.2.3 Biotita Monzogranitos (BMG)	16
2.2.4 Sienogranito Porfiríticos (SGP)	19
2.2.5 Minerais Acessórios	20
2.3 QUÍMICA MINERAL	22
2.3.1 Biotitas	22
2.3.2 Tipologia	24

2.4 GEOQUÍMICA DO GRANITO SERRA DA QUEIMADA	27
2.4.1 Procedimentos analíticos.....	27
2.4.2 Elementos Maiores e Menores.....	27
2.4.3 Elementos Traço	29
2.4.4 Elementos Terras Raras.....	32
2.4.5 Tectônica e Tipologia	32
3 DISCUSSÕES	35
3.1 QUÍMICA DAS BIOTITAS	35
3.2 TIPOLOGIA E AMBIENTE DE FORMAÇÃO.....	36
3.3 ESTIMATIVA DA TEMPERATURA DE CRISTALIZAÇÃO	36
3.4 AFINIDADES METALOGENÉTICAS	37
3.5 ESTUDO COMPARATIVO COM OUTROS GRANITOS DA SIVG.....	39
4 CONCLUSÕES.....	41
REFERÊNCIAS.....	43

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

Granitos do tipo A foram definidos pela primeira vez por Loiselle & Wones (1979) para identificar um grupo de granitoides enriquecidos em ferro que ocorrem em ambientes intra-continentais e apresentam elevados conteúdos de $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$, K_2O e $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$, REE, Zr, Nb e Ta. Collins *et al.* (1982) propuseram que suítes graníticas do sudeste da Austrália com altas razões $(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$, Nb, Ga, Y e REE fossem também classificadas como do tipo A. Whalen *et al.* (1987) utilizaram diagramas envolvendo a razão Ga/Al e os elementos Zr, Nb, Ce e Y para separar granitos tipo A dos tipos I e S. Eby (1992) subdividiu granitos tipo A nos subtipos A1 e A2 com base nas relações entre Y, Nb, Ga e Ce. Anderson e Bender (1989) identificaram a presença de magnetita na maioria dos granitoides do tipo A do sudoeste dos EUA. Dall'Agnol & Oliveira (2007) denominaram esses granitos com magnetita de “granitoides oxidados do tipo A”. Esses granitos são mais magnesianos do que os tipo A fortemente reduzidos e cristalizados em uma maior fugacidade de oxigênio. Alguns granitos tipo A exibem textura rapakivi característica (Haapala & Rämö 1992). Como a composição ferrosa é uma característica comum de todos os granitos tipo A, Frost & Frost (2011) sugeriram o termo ferroso como sinônimo de granitos tipo A.

O elevado potencial metalogenético dos granitos tipo A foi identificado pela primeira vez em granitos mesozóicos da Nigéria (Bowden *et al.* 1987, Kinnaird 1985), portadores de mineralizações de nióbio e estanho. Grandes depósitos de Sn geneticamente associados a granitos meso-neoproterozóicos do tipo A têm sido explorados nas Províncias Estaníferas de Rondônia (Bettencourt & Dall'Agnol 1995, Bettencourt *et al.* 1999, 2005) e do Pitinga, no Amazonas (Borges *et al.* 2009, Costi *et al.* 2000, Horbe *et al.* 1991, Lenharo *et al.* 2002).

Na Província Carajás, o intenso magmatismo granítico paleoproterozoico foi marcado pela geração de três importantes suítes tipo A (Dall'Agnol *et al.* 2005): Jamon e Velho Guilherme, inseridas ao Domínio Rio Maria, e Serra dos Carajás, no Domínio Carajás. Além dessas três suítes, existem os granitos Seringa (Paiva Jr. *et al.* 2011, Teixeira *et al.* 2018), São João (Lima *et al.* 2014, Teixeira *et al.* 2018), Gradaús (Carvalho 2017, Nery 2019) e Rio Branco (Santos *et al.* 2013) que fazem parte deste importante magmatismo anorogênico, porém ainda não foram incluídos em nenhuma das três suítes e permanecem como granitos indiferenciados.

A Suíte Intrusiva Velho Guilherme (Abreu & Ramos 1974, Dall'Agnol *et al.* 1993, CPRM/DNPM 1997, Teixeira *et al.* 2002a), onde está inserido o Granito Serra Queimada

(GSQ), ocorre predominantemente na região do Xingu, porção noroeste do Cráton Amazônico. Dentre os maciços que compõem esta suíte, apenas o GSQ ainda não possuía estudos petrográficos, geoquímicos e de química mineral que permitissem compará-lo aos demais granitos desta e das outras duas suítes graníticas do Cráton Amazônico.

A Figura 1 mostra o mapa geológico simplificado da Província Carajás com a distribuição das suítes graníticas anorogênicas.

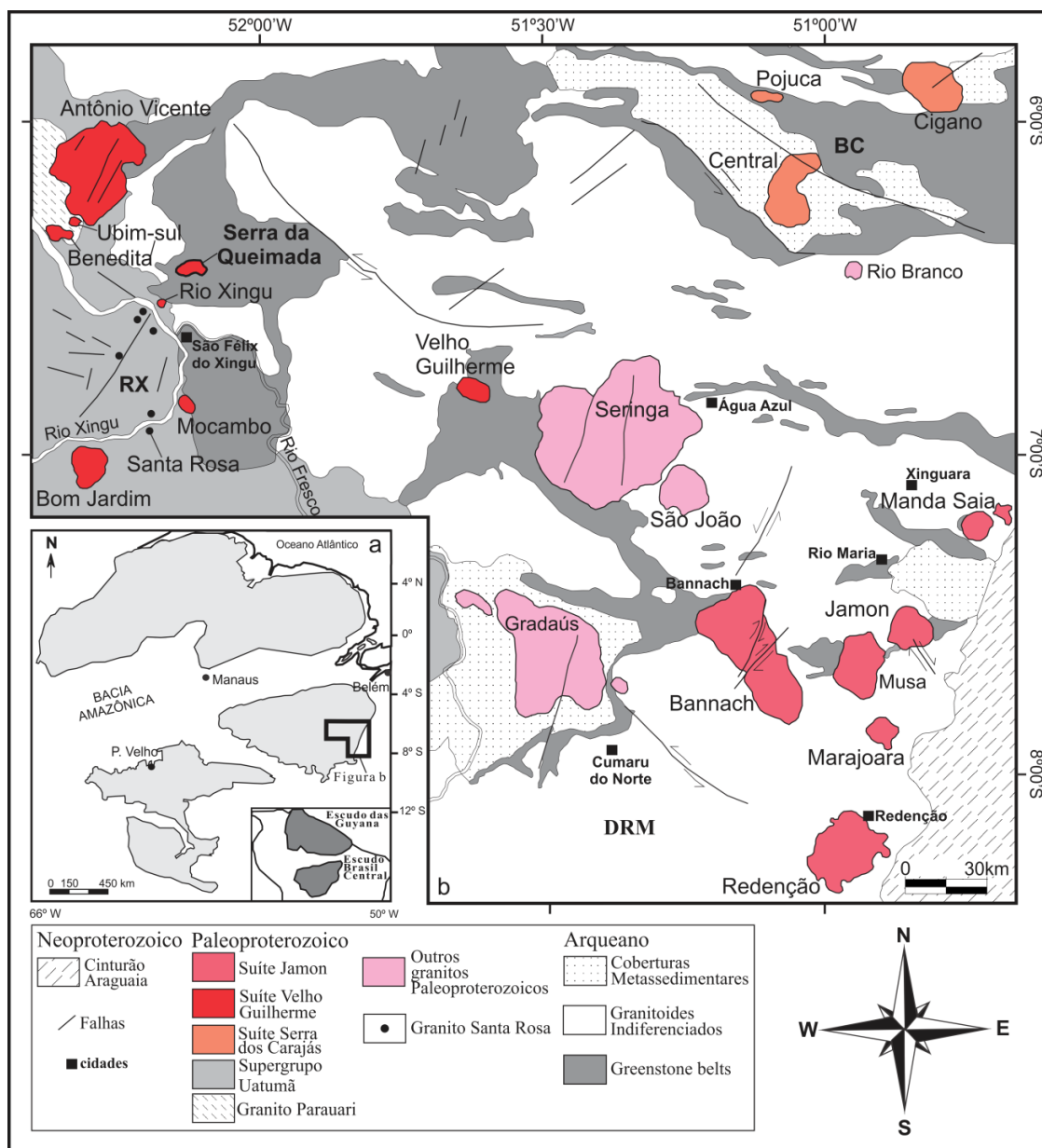


Figura 1- (A) Mapa esquemático do Cráton Amazônico com a localização da área de estudo. (b) Mapa geológico simplificado da Província Carajás com a distribuição das suítes graníticas anorogênicas do Cráton Amazônico. DRM=Domínio Rio Maria. XR=Região do Xingu. B=Bacia Carajás. Em negrito, Granito Serra da Queimada. Fonte: Modificado de Dall'Agnol *et al.* (2005).

1.2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO AO CORPO

O GSQ está situado nos domínios da Província Amazônia Central (Tassinari & Macambira 2004) ou Província Carajás (Santos 2003), pertencendo à folha SB-22-Y-B (Folha São Felix do Xingu), localizado aproximadamente a 20 km a norte do município de São Felix do Xingu (Figura 2).

O acesso à área pode ser feito partindo de Belém via PA-150 (Alça Viária), até a cidade de Xinguara e a partir daí pela PA-279, passando pelos municípios de Ourilândia do Norte e Tucumã até a cidade de São Felix do Xingu, percorrendo um total de 1039 km de distância. Após a travessia do Rio Fresco, afluente do Rio Xingu, o acesso à área onde afloram as rochas do GSQ é feito por vicinais existentes na região.

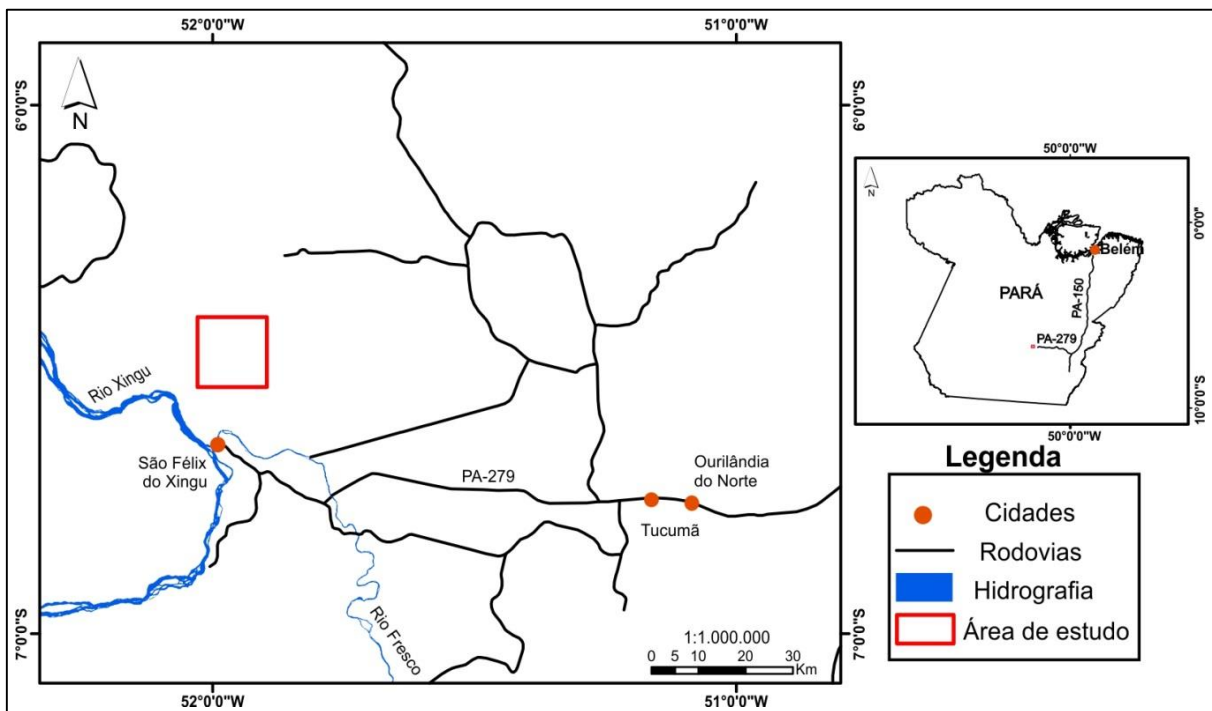


Figura 2 – Mapa de acesso e localização à área de estudo.

1.3 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

1.3.1 Cráton Amazônico

O Cráton Amazônico (CA) localiza-se na região norte da América do Sul, apresentando uma área de aproximadamente 4.500.000 km²; abrange a porção norte do Brasil e outros países como Guiana Francesa, Suriname, Venezuela, Colômbia e Bolívia (Tassinari & Macambira 1999, 2004). O CA é dividido em duas grandes unidades geotectônicas: O

Escudo das Guianas, a norte das bacias do Solimões e Amazonas, e o Escudo Brasil Central a sul. A leste e a sul, é limitado por faixas orogênicas brasileiras e bacias de antepaís da Província Tocantins; a noroeste e sudoeste é recoberto pelas bacias subandinas (Santos *et al.* 2000, 2006, Vasquez 2006).

Os processos responsáveis pela formação do CA estão relacionados a eventos de acreção e amalgamação de microplacas tectônicas, sendo constituído por terrenos arqueanos e paleoproterozoicos individualizados em seis províncias geocronológicas, segundo Tassinari & Macambira (1999, 2004): Amazônia Central (> 2,5 Ga), Maroni-Itacaiúnas (2,2 – 1,95 Ga), Ventuari-Tapajós (1,95 – 1,8 Ga), Rio Negro-Juruena (1,8 – 1,55 Ga), Rondoniana – São Ignácio (1,5 – 1,3 Ga) e Sunsás (1,25 – 1,0 Ga) (Figura 3 A). Esta subdivisão foi feita com base em idades geocronológicas, *trends* estruturais, assembleias litológicas, evidências geofísicas e histórias geológicas particulares em relação às províncias adjacentes.

Algumas províncias podem incluir núcleos antigos mais preservados e porções com rochas metamórficas mais jovens, formadas em eventos posteriores (Tassinari & Macambira 2004). O limite entre estas províncias é definido com base, principalmente, em dados geocronológicos, com apoio em dados geológicos e geofísicos. Entretanto em algumas áreas este limite ainda é pobremente conhecido.

Neste trabalho serão abordados os aspectos geológicos regionais da Província Amazônia Central, com ênfase maior para a Suíte Intrusiva Velho Guilherme, tendo em vista que o GSQ está inserido em seu contexto geológico. Tassinari & Macambira (2004) caracterizam a Província Amazônia Central como a porção mais antiga do Cráton Amazônico não afetada pelo ciclo Transamazônico; é circundada pelas províncias Maroni-Itacaiúnas, a norte e nordeste, Ventuari-Tapajós, a oeste, e pelo cinturão neoproterozoico Araguaia, a leste.

A Província Amazônia Central foi subdividida em dois grandes blocos tectônicos: O bloco Carajás, caracterizado por regiões com embasamento arqueano onde está inserida a Província Mineral de Carajás, e o bloco Xingu-Iricoumé, onde o embasamento raramente aflora, mas durante o paleoproterozoico foi palco de expressivos eventos magmáticos. Santos *et al.* (2000), com base em novos dados U-Pb e Sm-Nd, obtidos nas porções ocidental e central do Cráton Amazônico, bemcomo na reavaliação de dados geocronológicos disponíveis na literatura, consideraram o bloco Carajás como uma província independente formada durante o arqueano e com extensão até o estado do Amapá.

1.3.2 Província Carajás

A Província Carajás está situada na porção sudeste do Cráton Amazônico (Almeida *et al.* 1981) e é considerada um núcleo central preservado e estável desde o final do Arqueano (2,5 Ga) que integra o contexto geológico da Província Amazônia Central (Tassinari & Macambira 1999, 2004), ou alternativamente, é considerada uma Província arqueana independente (Santos 2003). Ela engloba diversos tipos de depósitos minerais arqueanos e paleoproterozoicos como os depósitos de ferro, cobre, ouro e metais de base, onde estudos de detalhe possibilitaram a caracterização dos diferentes processos geológicos responsáveis pela sua formação, bem como o entendimento de sua evolução crustal.

Vasquez *et al.* (2008), seguindo a proposta de Santos *et al.* (2003), definiram dois domínios para Província Carajás: o Domínio Rio Maria (DRM), de idade mesoarqueana (3,0 – 2,86 Ga), e o Domínio Carajás, formado por rochas meso a neoarqueanas (3,0 – 2,76 Ga) e comparativamente menos estudado (Figura 3B). Feio (2011) admitiu a existência de um Subdomínio de Transição (SDT) entre a Bacia Carajás e o DRM. O limite do SDT com o DRM estaria situado a sul da cidade de Xinguara ou a norte do *Greenstone belt* de Sapucaia (Dall’Agnol *et al.* 2006, Vasquez *et al.* 2008) e se prolongaria lateralmente até a região de São Félix do Xingu. Dall’Agnol *et al.* (2013) adotaram as denominações de Domínio Canaã dos Carajás (DCC) e Domínio Sapucaia (DS) para as porções norte e sul deste Subdomínio por entenderem que os mesmos não corresponderiam a uma crosta arqueana homogênea.

Os domínios identificados acima são limitados por grandes discontinuidades regionais de direção E-W e apresentam significativas diferenças em sua evolução geológica, reconhecidas a partir das associações litológicas presentes nestes blocos. O DCC seria caracterizado pela dominância de granitos *stricto sensu* (granitos Canaã dos Carajás, Bom Jesus, Cruzadão e Serra Dourada) e associações charnoquíticas neoarqueanas (Suíte Planalto e Diopsídio-Norito Pium), com raras ocorrências de TTG (Trondhjemito Rio Verde e Tonalito Campina Verde) e granitos anorogênicos (Feio *et al.* 2012, Santos *et al.* 2013). O DS seria formado por granitoides tipo TTG (Tonalito São Carlos, Granodiorito Pantanal e similares), rochas sanukitoides (granodioritos Água Azul e Água Limpa) e leucogranitos diversos, análogos àqueles identificados no DRM, sendo, porém, afetados por eventos neoarqueanos (Gabriel & Oliveira, 2014, Silva 2013, Santos *et al.* 2013, Teixeira *et al.* 2013, Leite-Santos & Oliveira 2016).

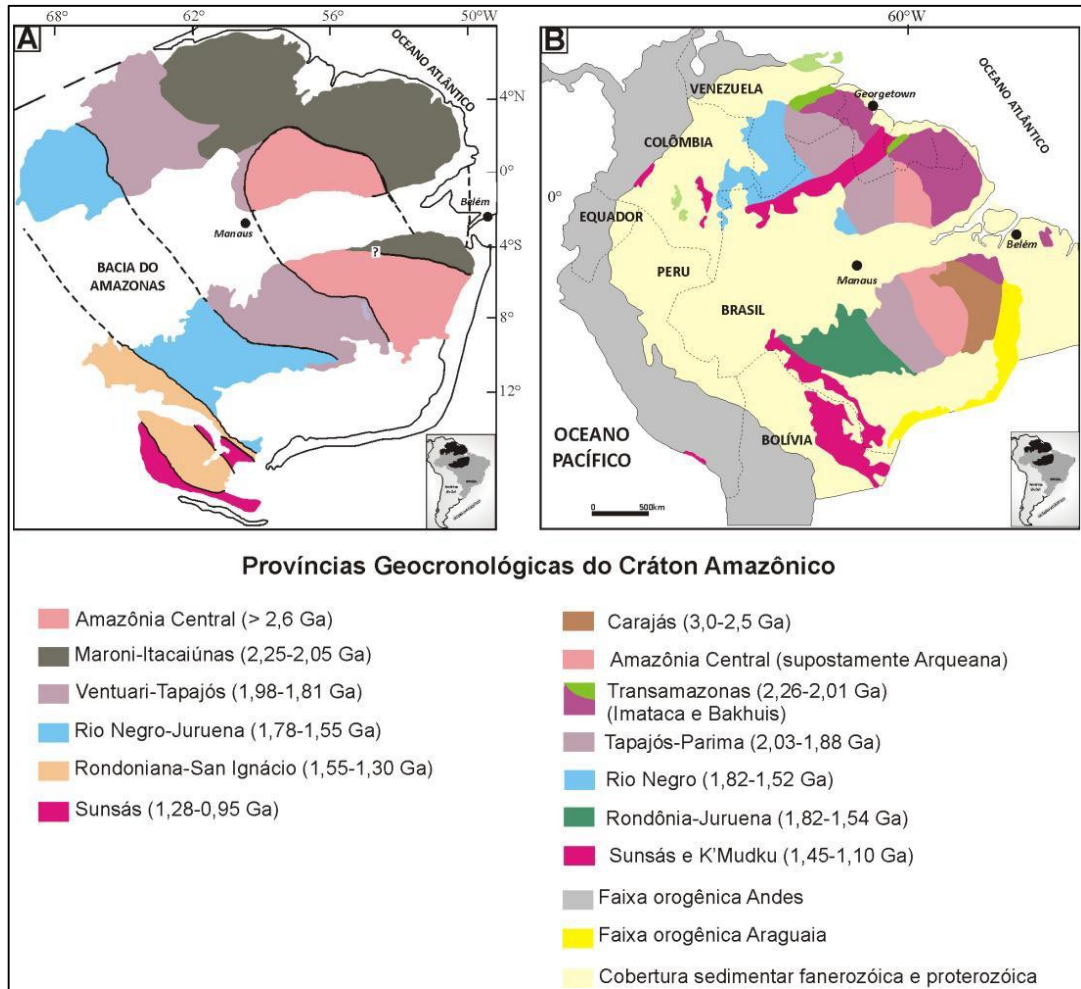


Figura 3 - Províncias geocronológicas do Cráton Amazônico. Fonte: (A) Tassinari & Macambira (2004) e (B) Santos *et al.* (2006).

1.3.3 Suíte Intrusiva Velho Guilherme

A Suíte Intrusiva Velho Guilherme é composta por diversos maciços graníticos, intrusivos tanto em rochas arqueanas do Domínio Rio Maria e do Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas, como em rochas paleoproterozoicas do Grupo São Felix e no Granito Parauarí. Alguns desses granitos foram individualizados e caracterizados em detalhe, como os maciços Antônio Vicente, Mocambo, Velho Guilherme, Benedita, Ubim-Norte, Ubim-Sul, Bom Jardim e Rio Xingu (Figura 1), todos com idades de cristalização em torno de 1,88 – 1,86 Ga (Dall'Agnol *et al.* 1993, 2005; Teixeira 1999; Teixeira *et al.* 2002, 2005; Lamarão *et al.* 2012) e inseridos na Província Estanífera do Sul do Pará (Abreu & Ramos 1974; CPRM/DNPM 1997). Por fim, o Granito Serra da Queimada, diferentemente dos outros corpos citados, ainda apresenta carência de estudos petrográficos e geoquímicos em escala de semidetalhe.

De modo geral, as rochas graníticas que constituem a Suíte Intrusiva Velho Guilherme são isotrópicas, metaluminosas a peraluminosas, com composição sienogranítica a álcali-feldspato granítica, caracterizadas como anorogênicas e com assinaturas de granitos do tipo A intraplaca (Whalen *et al.* 1987, Pearce *et al.* 1984, Eby 1992). Mineralizações de cassiterita, wolframita, fluorita, molibdenita e topázio são comuns nesses corpos, geralmente acompanhando as rochas mais evoluídas e intensamente hidrotermalizadas e a corpos de *greinsens* associados (Teixeira 1999, Teixeira *et al.* 2002, 2005, Lamarão *et al.* 2012).

1.3.4 Granito Serra da Queimada.

O Granito Serra da Queimada (GSQ) foi estudado preliminarmente por CPRM/DNPM (1997) e Pinho (2005). Corresponde a um plúton granítico intrusivo em rochas supracrustais do Grupo São Félix, forma subcircular, aflorando em uma área de cerca de 20 km² e formando serras (Figura 4). Segundo Pinho (2005) as rochas que constituem o GSQ são isotrópicas, com textura fanerítica média a grossa e coloração variando de rosa-acinzentada a cinza levemente esverdeada, com vênulas milimétricas que seccionam a rocha em diversas direções, indicando, muito provavelmente, a movimentação de fluídos posteriores a sua cristalização.

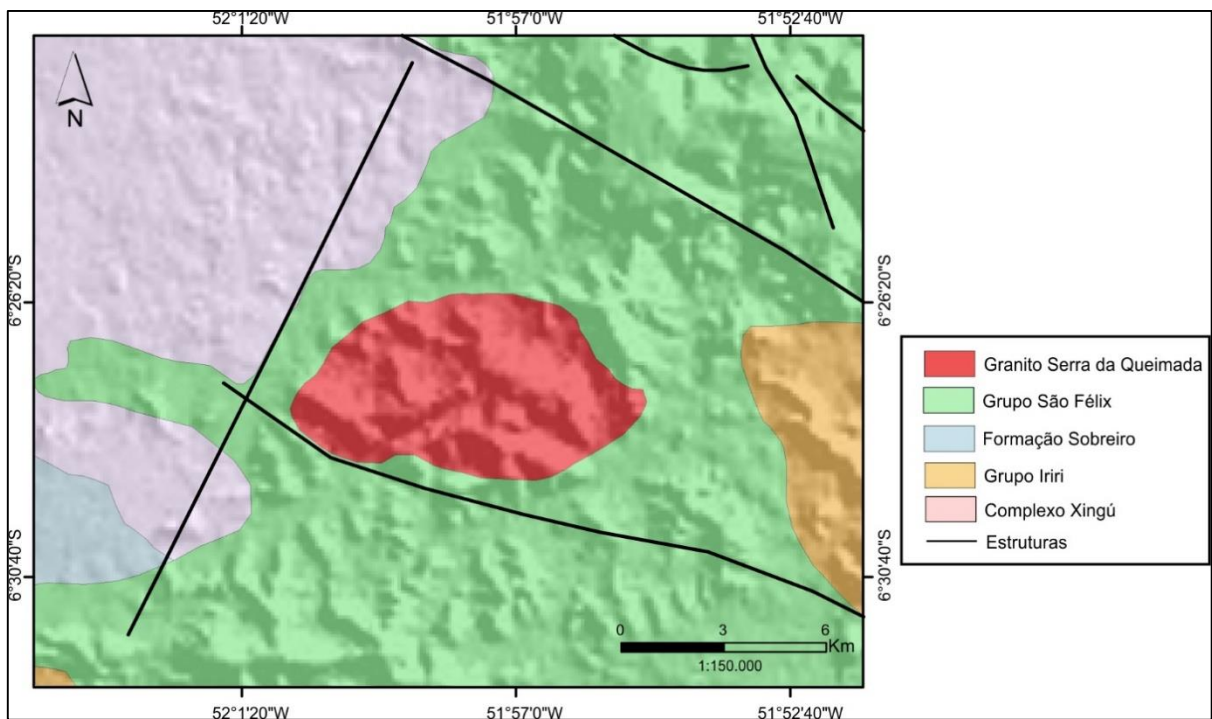


Figura 4: Mapa geológico Granito Serra da Queimada, Fonte: (CPRM 2008).

1.4 PROBLEMÁTICA

Os avanços científicos acerca do magmatismo anorogênico na região da Província Carajás aconteceram de forma significativa ao longo das últimas décadas, com a obtenção de dados petrológicos, geocronológicos e isotópicos que definiram assinaturas geoquímicas características, aspectos evolutivos e, no caso da SIVG, metalogenéticos dessas rochas (Dall’Agnol *et al.* 1993,1999b, Teixeira 1999, Teixeira *et al.* 2002, 2005, Almeida *et al.* 2006, Lamarão *et al.* 2007, 2012, 2013, 2014, 2018; Oliveira *et al.* 2009, 2010, Paiva Jr. *et al.* 2011, Lima *et al.* 2014, Carvalho 2017, Melo & Lamarão 2017, Teixeira *et al.* 2018). Entretanto, mesmo com uma série de trabalhos já desenvolvidos, ainda existem granitos que carecem de estudos geológicos, petrográficos e geoquímicos de detalhe, como o GSQ.

O GSQ foi inserido na Suíte Intrusiva Velho Guilherme com base em estudos petrográficos limitados às suas bordas e em uma datação pelo método de evaporação de Pb em zircão (1888 ± 12 Ma), interpretada como sua idade de cristalização (Pinho 2005). Lamarão *et al.* (2007) mostraram que zircões do GSQ são similares morfológica e geoquimicamente a zircões de outros corpos mineralizados em Sn da Suíte Intrusiva Velho Guilherme; com base neste estudo, sugeriram que o GSQ possui potencial para mineralização e poderia ser incluído nesta suíte. Entretanto, o mapeamento geológico detalhado deste corpo, somado a estudos geoquímicos de rocha total e de química mineral em biotitas, contribuíram para definir de modo mais claro sua distribuição espacial (fácies), assinatura geoquímica, tipologia, evolução magmática e suas afinidades metalogenética, além de confirmar sua inclusão na Suíte Intrusiva Velho Guilherme.

1.5 OBJETIVOS

O objetivo principal foi avançar na caracterização do GSQ sob seus aspectos geológicos, petrográficos, geoquímicos e de química mineral, definindo sua assinatura geoquímica, séries magmática, tipologia, características evolutivas e sua relação com a mineralização estanífera. Como objetivos específicos destacam-se:

- Definir com maior precisão os limites espaciais do GSQ;
- Identificar e classificar suas variedades faciológicas;
- Caracterizar suas fases acessórias primárias;
- Definir os tipos de anfibólio e biotita através de análises de microsonda, classificando-os em diagramas específicos;

- Relacionar a composição de suas biotitas com a natureza do magma (tipologia, fO_2) a partir do qual elas cristalizaram;
- Definir através do geotermômetro do Zr os intervalos de temperatura de sua cristalização;
- Caracterizar as diferentes fácies do GSQ, discutindo suas afinidades geoquímicas, tipologia, processos magmáticos que contribuíram para sua evolução e sua afinidade metalogenética;
- Comparar os dados obtidos com outros corpos das três suítes graníticas anorogênicas do Cráton Amazônico.

1.6 MATERIAIS E MÉTODOS

1.6.1 Pesquisa Bibliográfica

Foram realizados levantamentos bibliográficos referentes à geologia da região estudada (Abreu & Ramos 1974, CPRM/DNPM 1997, Dall’Agnol *et al.* 1993, 1999b, 2005, Teixeira 1999, Teixeira *et al.* 2002a, 2005, Almeida *et al.* 2006) e trabalhos que utilizaram petrografia, geoquímica e química mineral na tipologia, assinatura geoquímica e potencial metalogenético dos granitos anorogênicos do Cráton Amazônico (Lamarão *et al.* 2007, 2012, 2018, Oliveira *et al.* 2009, 2010). Esta etapa se desenvolveu até o final da pesquisa, sendo atualizada na medida em que novos dados foram publicados. Foram consultados também, artigos e livros sobre a temática abordada, bem como os aspectos texturais, morfológicos e composicionais de minerais como anfibólio e biotita.

1.6.2 Viagem de Campo

A etapa de campo foi realizada no período de 13 a 19 de julho de 2018 com o objetivo de mapear em escala de semidetalhe o GSQ e complementar sua amostragem.

1.6.3 Estudo Petrográfico

Foram utilizadas inicialmente lâminas delgadas do acervo do Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitoides (GPPG) do Instituto de Geociências (IG) da UFPA. Amostras cedidas pela CPRM-Belém e aquelas coletadas na viagem de campo foram descritas e confeccionadas novas lâminas polidas. Foi realizado o estudo por microscopia de luz transmitida em um microscópio ótico convencional que contou com a caracterização de feições mineralógicas e aspectos texturais das diferentes rochas (Bard 1980, Deer *et al.* 1992, Hibbard 1995, Kerr 1959, Mackenzie *et al.* 1982). As proporções dos minerais foram calculadas com um contador eletrônico de pontos Stageledge, da marca Endeeper, pertencente ao GPPG. A quantidade de pontos por lâmina foi de 1500 a 1800 (cf. Chayes 1956, Hutchison

1974). Os dados modais foram alocados no diagrama QAP (Streckeisen 1976, Le Maitre *et al.* 2002). Os estudos petrográficos foram realizados no Laboratório de Petrografia do Programa de Pós Graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG).

1.6.4 Química Mineral

Biotitas e anfibólios das diferentes fácies de Granito Serra da Queimada (GSQ) foram selecionados para análises de química mineral após estudo petrográfico. Foi utilizada uma microsonda eletrônica JEOL, modelo JXA-8230, do Laboratório de Microanálises do Instituto de Geociências (IG) da UFPA, sob as seguintes condições de operação: voltagem de aceleração 15 kV, corrente elétrica 20nA, diâmetro do feixe 10 μ m. O tempo de análise foi de 20s ou 40s, a depender do mineral e elementos analisados. O efeito de matriz foi corrigido pelo método ZAF (Armstrong 1988). Os cristais usados na análise foram TAP para Si, Al, Mg e Na; PETJ para Cr, Ca, K, Sr; LIF para Ni, Fe, Mn, Ba e Ti; PETH para Cl e V; e LDE1 para F. Os padrões utilizados para os diferentes elementos foram: ortoclásio (Si e K), anortita (Al), wollastonita (Ca), FeO₃O₄ (Fe), diopsídio (Mg), sodalita (Na e Cl), rutilo (Ti), rodonita (Mn), vanádio (V), Cr₂O₃ (Cr), biotita (F). Os dados obtidos foram tratados em planilhas do Excel e os diagramas geoquímicos no programa GCDkit 4.3 (Janoušek *et al.* 2006) e editados no CorelDraw 2018.

1.6.5 Geoquímica

A partir dos estudos petrográficos foram selecionadas 16 amostras representativas das diferentes fácies do GSQ para análises químicas. Essas amostras foram trituradas, pulverizadas, homogeneizadas e quarteadas. Após, foram enviadas para análises químicas de rocha total no Laboratório ALS Minerals para análises dos elementos maiores e menores (SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO, MnO, Na₂O, K₂O, P₂O₅) por ICP-ES e, dos elementos traço (Rb, Sr, Ba, Ga, Y, Zr, Nb, U, Th, Cr, Ni, V), incluindo os Terras Raras (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Er, Yb e Lu) por ICP-MS. Os resultados foram tratados no *software* GCDkit 4.0 e em diagramas específicos, objetivando a classificação geoquímica, definição de processos e séries magmáticas envolvidas, tipologia e assinaturas geotectônica e metalogenética do GSQ (cf. Shand 1950, El-Bouseily & El-Sokkary 1975, Pearce *et al.* 1984, Whalen *et al.* 1987, Eby 1992, Dall'Agnol *et al.* 1999, Dall'Agnol & Oliveira 2007). A interpretação das análises geoquímicas foi baseada em livros-textos como Ragland (1989) e Rollinson (1993). Os dados obtidos permitiram discriminar e classificar com maior segurança as rochas do GSQ, bem como compará-las com outros granitos anorogênicos do Cráton Amazônico.

CAPÍTULO 2 RESULTADOS

2.1 MAPEAMENTO GEOLÓGICO E AMOSTRAGEM

O Granito Serra da Queimada foi descrito preliminarmente por CPRM/DNPM (1997) e Pinho (2005). Corresponde a um plúton granítico intrusivo em rochas supracrustais do Grupo São Félix; apresenta forma subcircular e área aflorante de cerca de 20 km². Forma serras irregulares com orientação E-W (Figura 1A) e aflora como lajedos e blocos isolados ao longo das vicinias de acesso ao corpo (Figuras 1B, C), bem como blocos rolados na base das serras (Figura 1D). Outro ponto importante observado é a ocorrência de pequenas áreas de atividades garimpeiras dentro dos limites do GSQ e ao longo de suas rochas encaixantes (Figura 1E).

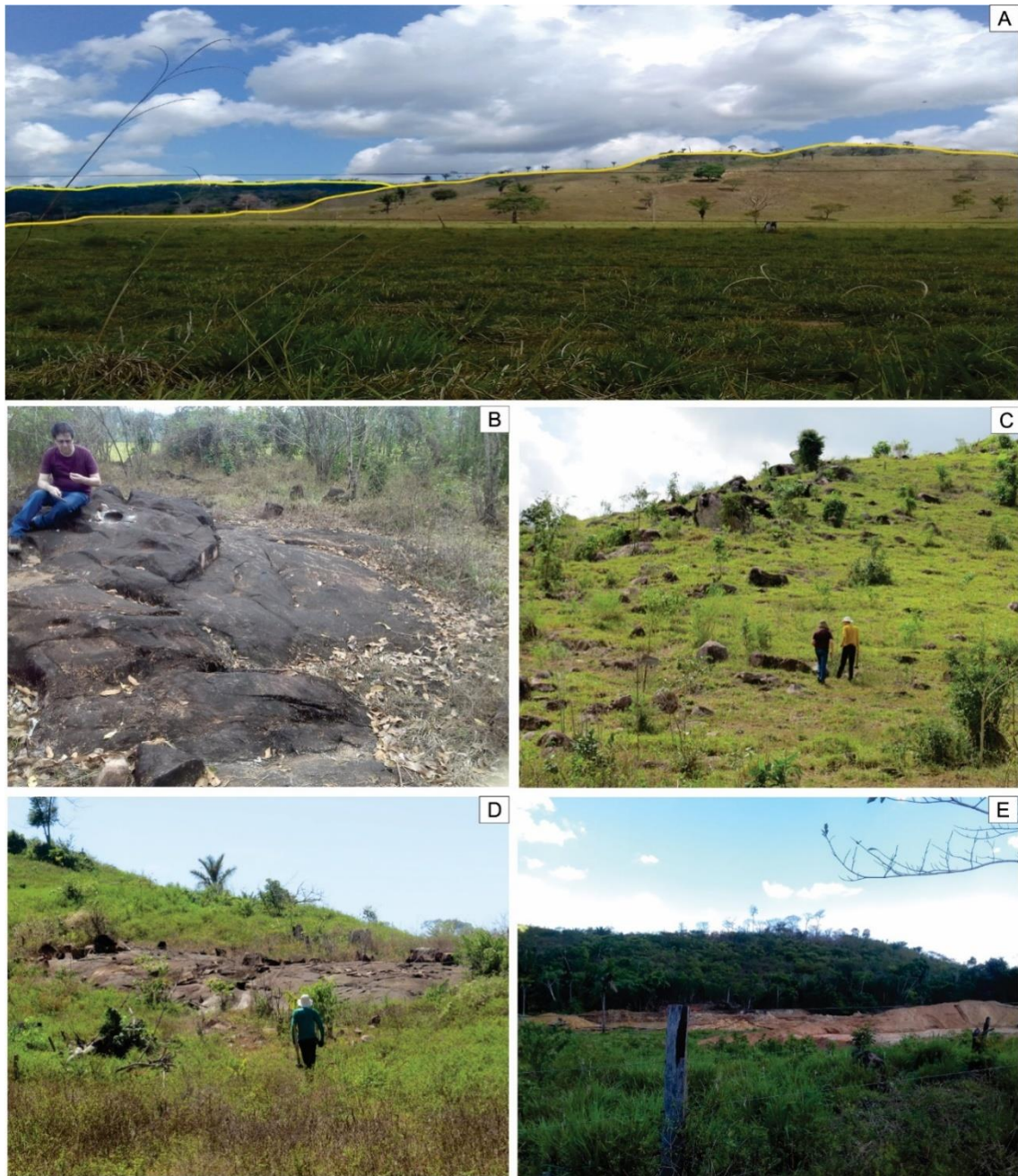


Figura 1. (A) Serras irregulares responsáveis pelo relevo positivo da região envolvendo o GSQ. (B) e (C) Lajedos e blocos rolados, principais formas de afloramento na região. (D) lajedos de biotita sienogranito recorrentes na base das serras. (E) Pequena cava de atividade garimpeira ligada a extração de cassiterita.

O mapeamento de semidetalhe realizado neste estudo, associado com avaliação de imagens geofísicas que demarcam bem a anomalia gerada por rochas graníticas (Figura 2A, B), mostraram que a variação de rochas do GSQ é bem maior do que a descrita anteriormente. Na porção N-NW do corpo ocorrem rochas porfíricas ricas em K-feldspato e com pórfiros de plagioclásio e k-feldspato bem desenvolvidos e parcialmente alterados; biotita monzogranitos orientados ocorrem nesta porção, porém estão restritos às bordas do granito.

Nas porções leste e sul ocorrem rochas mais características e dominantes do maciço, representadas por sienogranitos ricos em biotitas fortemente alteradas. Por fim, na porção mais ao sul foram identificados biotita monzogranitos com mineralogia acessória semelhante a dos sienogranitos, porém com a presença de titanitamagmática, incomum em granitos reduzidos e especializados, em algumas de suas amostras.

O mapa geológico do GSQ resultante deste mapeamento é mostrado na Figura 2.

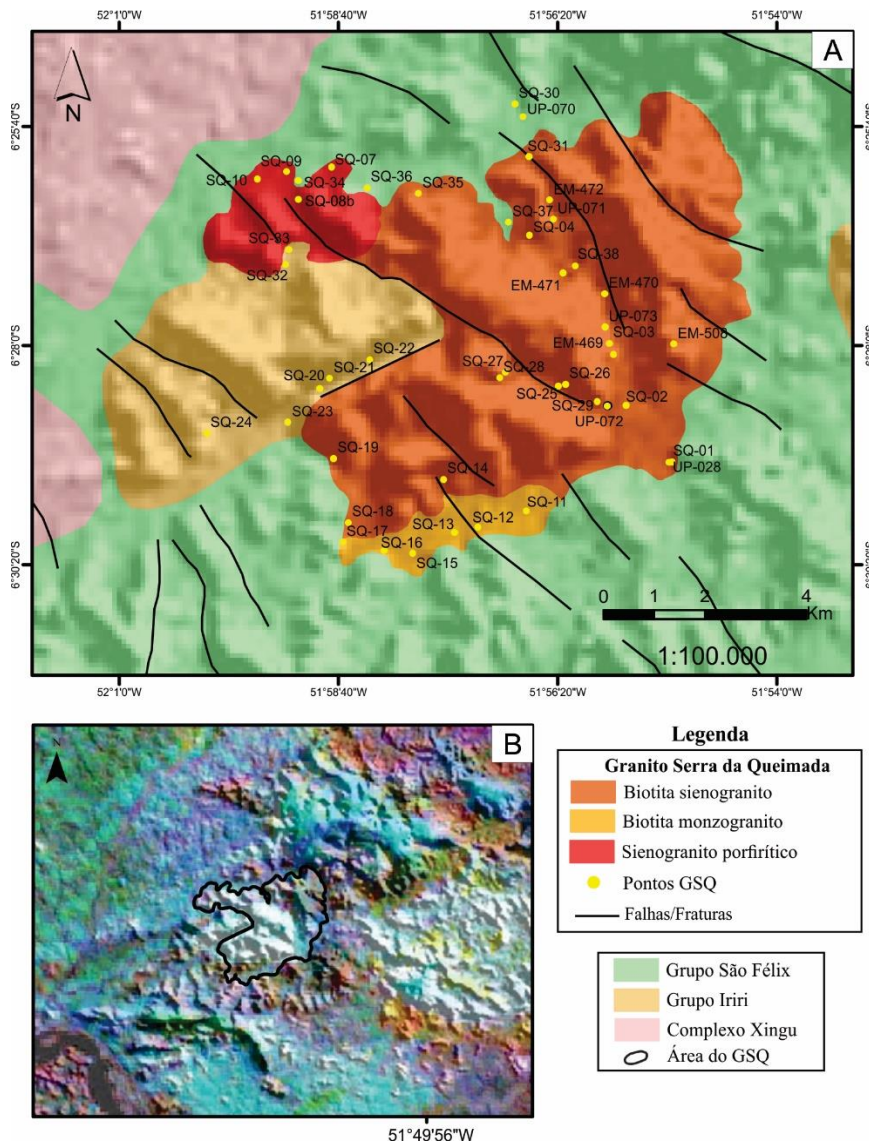


Figura 2. (A) Mapa geológico do GSQ, mostrando a distribuição espacial de suas rochas e dos pontos estudados. (B) Imagem aerogeofísica da região de ocorrência do GSQ mostrando sua delimitação.

2.2 PETROGRAFIA

O estudo por luz transmitida foi realizado com auxílio de um microscópio petrográfico LEICA, modelo DM4500 P LED, equipado com câmera fotográfica, com o objetivo de

descrever e identificar as associações minerais presentes nas diferentes fácies do Granito Serra da Queimada. As lâminas polidas utilizadas neste trabalho fazem parte do acervo do Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitoides (GPPG), do Serviço Geológico do Brasil (CPRM-Belém), além de novas amostras coletas na fase de mapeamento geológico.

2.2.1 Composição modal e classificação petrográfica.

Vinte e nove (29) amostras das diferentes fácies do GSQ foram selecionadas para o estudo petrográfico. Para a composição modal foram utilizadas vinte e três (21) lâminas petrográficas e contabilizados em média 1800 pontos/lâmina. As rochas foram classificadas com base no estabelecido pela IUGS - *International Union of Geological Sciences* (Streckeisen 1976, Le Maitre *et al.* 2002).

No diagrama Q-A-P (Figura 3), constata-se que não existe grande variação composicional, com as amostras do GSQ concentrando-se nos campos dos sienogranitos e monzogranitos. No diagrama Q-A+P-M' percebe-se o caráter leucocrático dessas rochas ($M' < 10\%$), o que sugere um caráter evoluído ao seu magma gerador. A presença de dois feldspatos (Pl e Kfs) caracteriza essas rochas como tipicamente *subsolvus* (Tuttle & Bowen 1958). A ocorrência de intercrescimentos esferulíticos e granofíricos demonstra que as rochas do GSQ cristalizaram, provavelmente, em níveis rasos da crosta (Pitcher 1979, 1983).

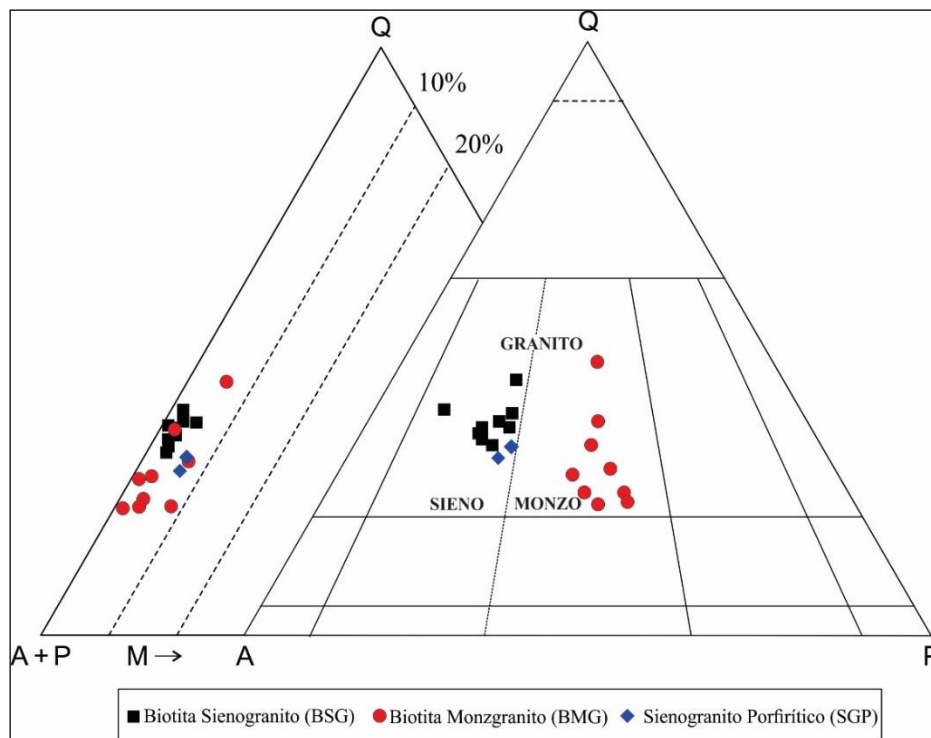


Figura 3. Diagramas Q-A-P e Q-A+P-M' (Streckeisen 1976), mostrando a distribuição das rochas do GSQ.

Tabela 1. Composição modal das rochas do Granito Serra da Queimada.

<i>Unidades</i>	<i>Fácies</i>	<i>Amostra</i>	<i>Qz</i>	<i>kfs</i>	<i>Pl</i>	<i>Anf</i>	<i>Bt</i>	<i>Ttn</i>	<i>Opq</i>	<i>Ms</i>	<i>Ap</i>	<i>Zr</i>	<i>Ep</i>	<i>Total</i>	<i>Q</i>	<i>A</i>	<i>P</i>	<i>A+P</i>	<i>M'</i>	
GSO	BSG	SQ-02	35,7	40,10	19,70	nd	2,00	nd	0,50	nd	nd	0,30	nd	100,0	37,0	42,0	20,0	62,0	2,80	
		SQ-27	34,1	46,30	15,70	nd	2,80	nd	0,10	nd	nd	nd	nd	100,0	35,0	48,0	17,0	65,0	2,90	
		SQ-38	34	43,00	20,00	nd	2,80	nd	nd	nd	nd	nd	0,10	nd	100,0	35,0	44,0	21,0	65,0	2,90
		SQ-29	35,6	44,30	17,10	nd	0,30	nd	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	nd	100,0	36,0	45,0	19,0	64,0	0,90
		SQ-26	38,7	37,60	21,40	nd	1,50	nd	0,10	nd	0,20	0,20	nd	nd	100,0	39,0	38,0	23,0	61,0	1,80
		SQ-19	30,8	46,60	19,00	nd	nd	nd	2,30	nd	0,40	0,30	nd	nd	100,0	32,0	48,0	20,0	68,0	3,00
		NC-SQ-18*	30,9	42,20	8,10	nd	5,00	nd	nd	12,60	nd	nd	nd	nd	100,0	38,0	52,0	10,0	62,0	5,00
		NC-SQ-10*	34,1	42,70	18,10	nd	2,10	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	100,0	36,0	45,0	19,0	64,0	2,10
		NC-SQ-11*	31	45,30	16,00	nd	2,80	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	100,0	33,0	49,0	18,0	67,0	2,80
	NC-SQ-22*	33,3	40,30	8,60	nd	2,10	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	100,0	34,0	49,0	0,2	49,2	2,10	
	BMG	SQ-17	34,4	28,60	33,40	nd	3,00	nd	nd	0,60	nd	nd	nd	nd	100,0	36,0	30,0	34,0	64,0	3,00
		SQ-13	27,3	30,10	40,90	nd	0,03	nd	0,80	2,20	nd	0,40	0,60	nd	100,0	24,0	32,0	44,0	76,0	1,23
		SQ-35	24,5	28,00	35,50	nd	3,00	0,90	0,50	2,00	nd	nd	nd	nd	100,0	28,0	32,0	40,0	72,0	4,40
		SQ-11	29	29,80	30,00	nd	7,70	nd	0,60	2,90	nd	nd	nd	nd	100,0	32,0	33,0	35,0	68,0	8,30
		SQ-12	22	28,50	42,70	nd	3,30	nd	0,50	1,60	0,50	nd	nd	nd	100,0	23,0	32,0	45,0	77,0	4,30
		NC-SQ-08*	19	31,00	34,70	nd	0,85	nd	0,70	9,60	0,40	nd	0,60	nd	100,0	22,0	37,0	41,0	78,0	1,95
		NC-SQ-8A*	20,5	32,80	33,20	nd	0,60	nd	0,75	7,80	0,30	0,30	0,30	nd	100,0	24,0	38,0	38,0	76,0	9,75
		NC-SQ-19*	39,6	22,00	25,40	nd	6,80	nd	0,95	2,70	nd	nd	0,30	nd	100,0	46,0	25,0	29,0	54,0	6,80
	NC-SQ-12*	24	34,50	31,60	nd	1,80	nd	nd	3,20	nd	nd	nd	nd	100,0	27,0	38,0	35,0	73,0	1,80	
	SGP	SQ-07	30,6	39,90	21,60	5,80	1,60	0,75%	1,05	nd	0,70	0,40	2,10	nd	100,0	32,0	45,0	23,0	68,0	5,86
SQ-08B		27,3	42,80	20,80	2,50	0,50	nd	1,60	nd	nd	0,70	3,80	nd	100,0	30,0	48,0	22,0	70,0	6,60	

BSG=biotita sienogranito; BMG=biotita monzogranito; SGP=sienogranito porfirítico; Q= quartzo; A= álcalifeldspato; P= plagioclásio; A+P= soma álcali feldspato+ plagioclásio; M'= somatória de máficos *=dados compilados de Pinho (2005)

2.2.2 Biotita Sienogranitos

Os biotita sienogranitos (BSG) apresentam texturas granular hipidiomórfica média, pertítica e localmente granofírica representada por intercrescimentos de quartzo em cristais de feldspato potássico (Figura 4A). De modo geral, essas rochas são compostas essencialmente por feldspato potássico, quartzo e plagioclásio. A fase varietal corresponde à biotita fortemente cloritizada, enquanto os acessórios são representados por zircão, apatita, epidoto, allanita e minerais opacos.

O feldspato potássico ocorre como cristais subédricos, de aspecto granular, por vezes prismáticos, com granulação média de aproximadamente 1 mm; cristais mais finos (0,5 mm) preenchem os interstícios intercristalinos. Os cristais estão moderadamente fraturados e apresentam alto grau de argilização (Figura 4B, C), além de alteração para carbonatos; inclusões de minerais acessórios como zircão e apatita estão presentes. Intercrescimentos pertíticos são recorrentes.

Os cristais de quartzo possuem formas anédricas, granulação média (~1 mm), localmente finos (< 0,3 mm). Apresentam-se moderada a intensamente fraturados e com extinção ondulante fraca a moderada; normalmente mostram contatos irregulares com outros minerais.

Os cristais de plagioclásio são prismáticos subédricos a anédricos, de granulação média (2 mm). Apresentam maclamentos albita e albita-carlsbad, porém em alguns cristais essas feições estão parcial a totalmente obliteradas pela intensa sericitização (Figura 4B, C); normalmente mostram contatos retos, por vezes irregulares ou curvos. Algumas inclusões de quartzo e minerais opacos foram identificadas.

A biotita apresenta cristais lamelaressubédricos, médios a finos (1 a < 0,4 mm), com pleocroísmo variando de amarelo claro (X) para marrom esverdeado (Z), comumente cloritizados. Inclusões de zircão, apatita, minerais opacos e fluorita são comuns.

Zircão, allanita, apatita e fluorita são os minerais acessórios inclusos ou associados preferencialmente nas biotitas.

2.2.3 Biotita Monzogranitos

Os biotita monzogranitos (BMG) possuem textura granular hipidiomórfica fina (Figura 4D), formada essencialmente por plagioclásio, feldspato potássico e quartzo, além das texturas mirmequítica e granofírica localizadas. A fase máfica é representada

por finos cristais de biotita fortemente cloritizados. Como minerais acessórios ocorrem zircão, apatita e opacos.

O feldspato potássico ocorre como cristais euédricos a subédricos granulares, por vezes prismáticos, com granulação média a fina dominante. Os cristais estão moderadamente fraturados e com inclusões de zircão e apatita.

O quartzo é anédricos e com hábito granular médio (~1 mm), localmente finos (< 0,1 mm), onde preenchem os espaços intercristalinos. Apresentam-se moderada a intensamente fraturados e com extinção ondulante fraca a moderada; normalmente mostram contatos irregulares com outros minerais.

Os cristais de plagioclásio, com maclamento albita e albita-Carlsbad, são prismáticos, subédricos a anédricos parcialmente alterados para sericita, principalmente em suas porções centrais. Inclusões de biotita, muscovita (alteração da biotita), quartzo e apatita foram observados nos cristais mais desenvolvidos.

Cristais lamelares subédricos, médios a finos de biotita apresentam-se fortemente alterados para clorita, muscovita e, localmente, titanita; comumente formam finos aglomerados de cristais; inclusões de zircão, apatita e minerais opacos são comuns (Figura 4E, F).

Os acessórios identificados são titanita euédrica, apatita e zircão, geralmente associados aos cristais de biotita.

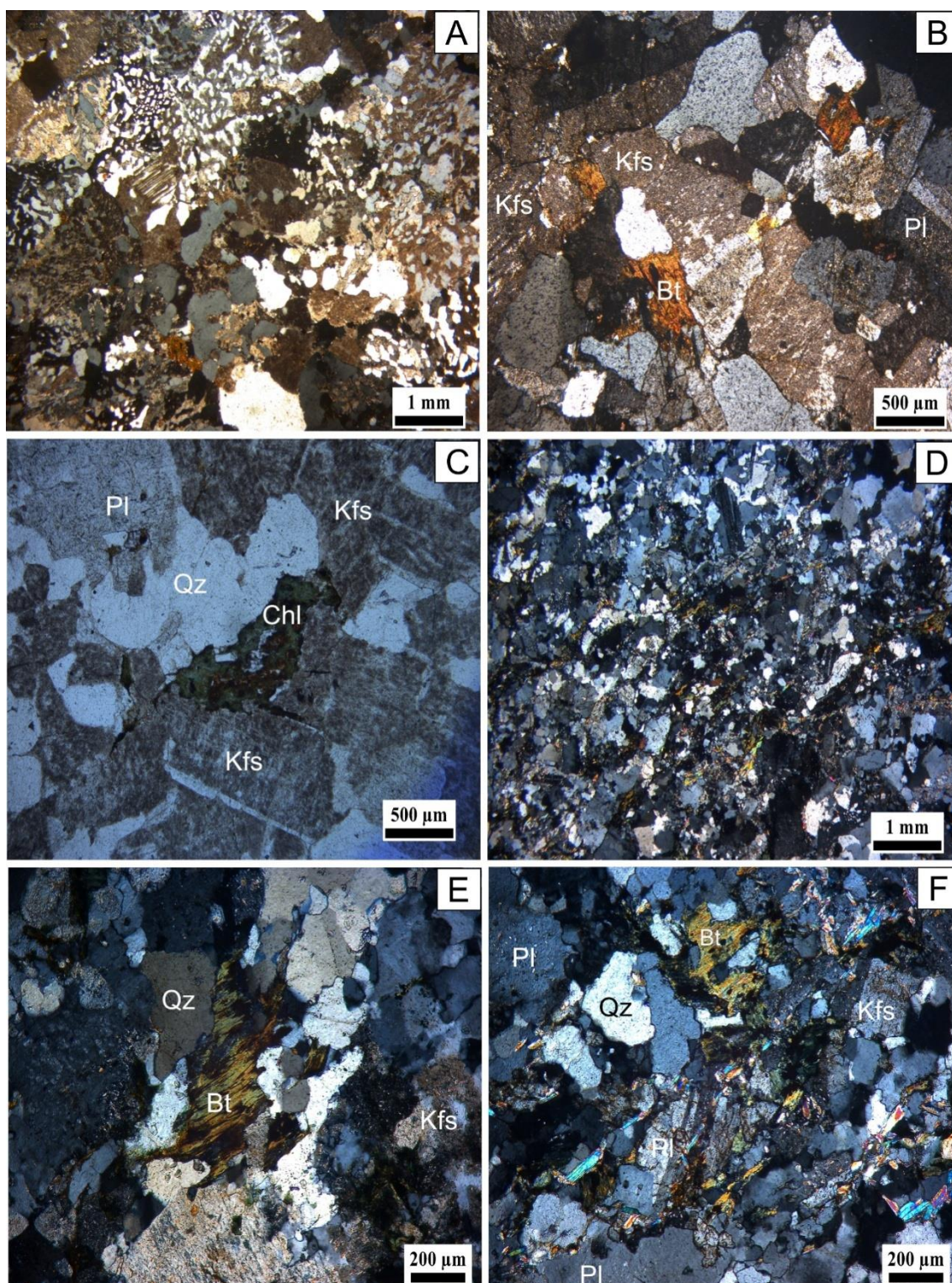


Figura 4. (A-C) Biotita sienogranitos (BSG): (A) aspecto das texturas hipidiomórfica e granofírica mostrando cristais de plagioclásio (Pl) e feldspato potássico (Kfs) intensamente sericitizados e argilizados, respectivamente. (B) Cristais de biotita (Bt) alterados para clorita. (C) Cristais de plagioclásio em contato com cristais de feldspato potássico (Kfs). (D- E) Textura granular hipidiomórfica dominante nos BMG. (F) Detalhe de cristais de Bt e Kfs intensamente cloritizados e argilizados, respectivamente. Fonte: Abreviações segundo Whitney & Evans (2010).

2.2.4 Sienogranito Porfirítico

Os sienogranitos porfiríticos (SGP) são formados por rochas faneríticas, de granulação média a grossa e textura porfirítica, caracterizada pela presença de fenocristais médios a grossos de quartzo, K-feldspato e plagioclásio com formatos tabulareripiforme imersos em matriz fina heterogranular, constituída principalmente por quartzo, K-feldspato, plagioclásio e biotitas cloritizadas; textura granofírica, representada pelo intercrescimento de quartzo e K-feldspato é comum; pontualmente ocorre a textura micrográfica.

O K-feldspato ocorre como cristais subédricos, de aspecto granular, por vezes prismático, moderadamente fraturados, com granulação média (2 mm) a grossa (6 - 8 mm); está presente também como cristais mais finos (0,5 mm) preenchendo interstícios. Apresenta maclamento albita-periclina parcialmente obliterado devido ao alto grau de argilização presente (Figura 5A). Observam-se inclusões de minerais como plagioclásio, epidoto, zircão e apatita.

Cristais de quartzo são anédricos, finos a grossos (0,1 - 5 mm) e localmente preenchem os espaços intercristalinos. Apresentam-se fortemente fraturados e com extinção ondulante variável; normalmente mostram contatos irregulares ou ondulados com outros minerais.

O plagioclásio apresenta hábito prismático, cristais subédricos a anédricos de granulação média (2 mm) a grossa (> 5 mm). Mostram maclamento albita e albita-Carlsbad, porém em alguns cristais essas feições estão parcial ou totalmente obliteradas pela sericitização e argilização; normalmente mostram contatos retos, por vezes irregulares ou curvos. Raras inclusões de quartzo e minerais opacos foram observadas.

Anfibólio e biotita estão afetados por intensa alteração. Os cristais de anfibólio (pseudomorfo) estão transformados para epidoto, enquanto as biotitas estão totalmente cloritizadas (Figuras 5 B, C e D)

Zircão, apatita e fluorita são os minerais acessórios presentes nos SGP. Estes minerais formam agregados entre os minerais máficos e na forma de inclusões.

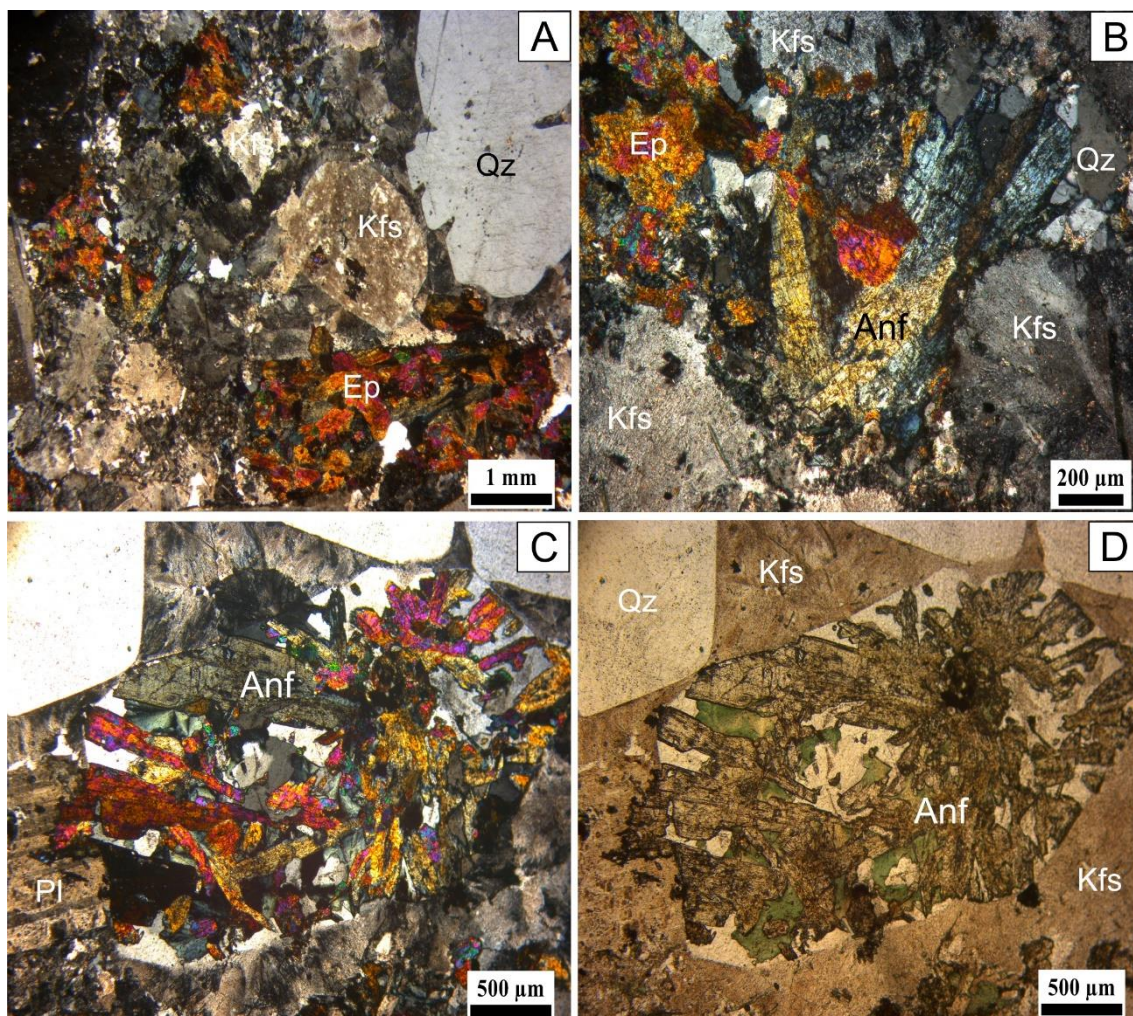


Figura 5. (A) Aspectos texturais dos SGP: (A) destaque para os fenocristais subarredondados de quartzo (Qz) e feldspato potássico (Kfs) argilizados imersos em matriz felsítica; pseudomorfo de anfibólio (Anf) transformado para epidoto (Ep). (B) aglomerado de cristais de anfibólio transformados para epidoto imersos em matriz quartzo-feldspática. (C-D) Detalhes da alterações recorrentes nos cristais de anfibólio dos SGP. Fonte: Abreviações segundo Whitney & Evans (2010).

2.2.5 Minerais Acessórios

Os principais minerais acessórios do GSQ foram identificados, além do estudo por luz transmitida, por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análises semiquantitativas por espectroscopia de dispersão de energia (do inglês, EDS; Figura 6). Todas as lâminas polidas foram recobertas com carbono (*carbon-coated*). Ilmenita, thorita, rutilo, allanita, apatita, fluorita e titanita secundária (alteração da ilmenita) predominam nos biotita sienogranitos (BSG) e nos sienogranitos porfiríticos (SGP). A presença comum de fluorita, juntamente com conteúdos de ilmenita >

magnetita sugere, respectivamente, processos hidrotermais mais intensos e caráter mais redutor nas rochas sienograníticas do GSQ (Figuras 6A, B e C). Por outro lado, nos biotita monzogranitos (BMG) a magnetita é o principal mineral opaco e a titanita magmática aparece com certa frequência (Figura 6D, E e F), sugerindo caráter mais oxidado em relação aos BSG.

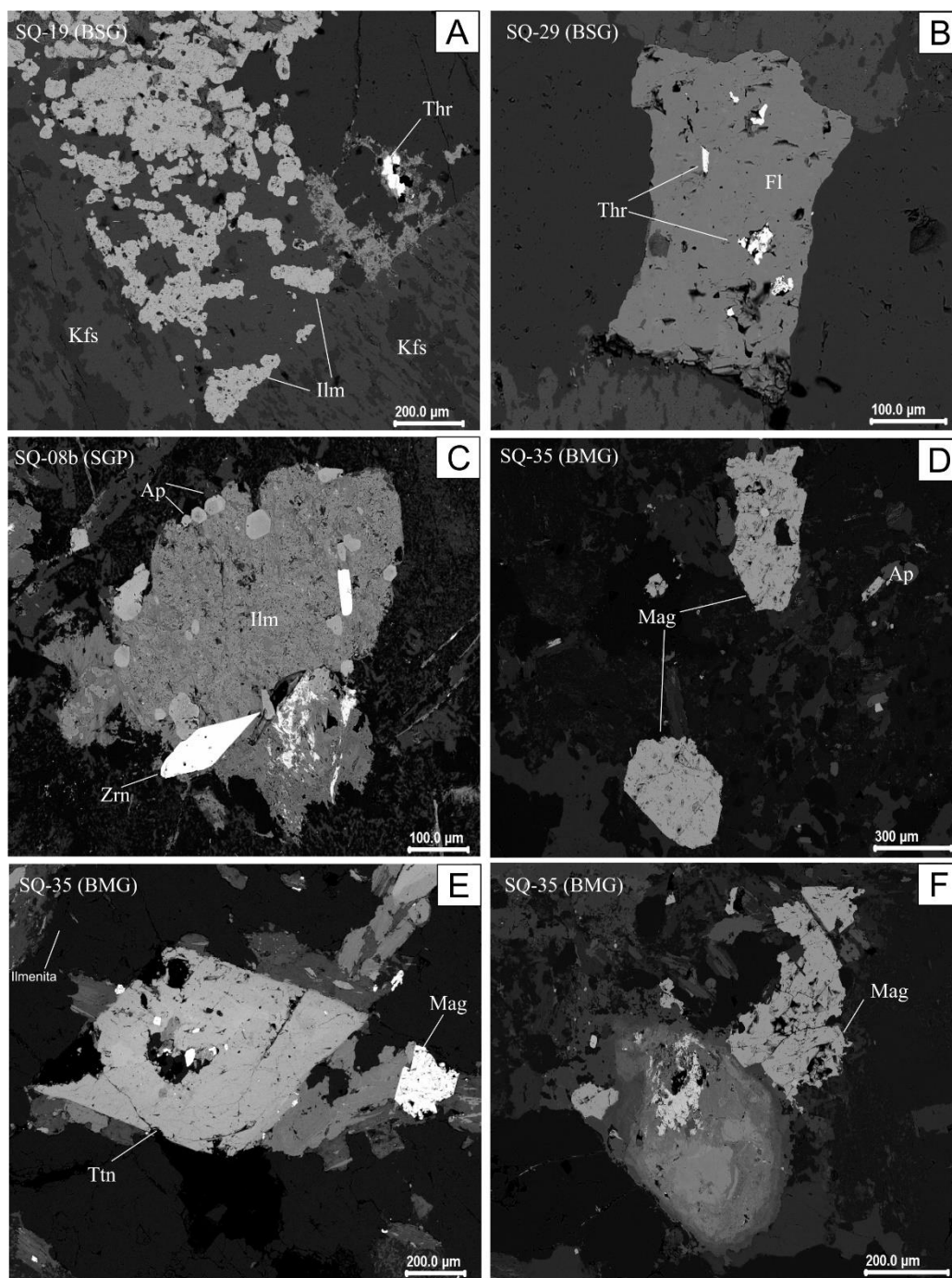


Figura 6. Imagens de ERE de minerais acessórios de GSQ. (A) e (B) mineralogia acessória característica dos sienogranitos. (C) Cristais de ilmenita, apatita e zircão comuns nos SGP. (D) e (E) Mineralogia acessória dos BMG, com cristais de magnetita e titanita primária típicas dos monzogranitos. (F) Titanita secundária, rutilo e cristais de apatita. Ap= apatita, Ilm= Ilmenita,

Kfs= feldspato potássico, Mag= magnetita, Fl=fluorita, Rt= rutilo, Ttn= titanita, Th= thorita, Zrn= zircão; Fonte: Abreviações segundo Whitney & Evans. (2010).

2.3 QUÍMICA MINERAL

As análises de WDS (*Wavelength Dispersive Spectroscopy*) de anfibólios e biotitas foram realizadas em seis (6) lâminas polidas representativas das quatro fácies do GSQ. Entretanto, em decorrência do alto grau de alteração apresentado por esses minerais, apenas uma das lâminas selecionadas pertencente aos BMG apresentou resultados satisfatórios para biotita; as análises de anfibólio não foram aproveitadas.

2.3.1 Biotitas

As análises de biotita foram realizadas em setenta e um (71) cristais (Tabela 2), subédricos a anédricos, que ocorrem preenchendo espaços intersticiais e comumente associadas a zircão, fluorita, allanita e apatita. De modo geral, as biotitas do GSQ apresentam-se intensamente cloritizadas, mesmo nas rochas preservadas (Figuras 7A, B); desta forma, apenas na fácies BMG foram encontrados cristais primários que forneceram dados químicos confiáveis (Figuras 7C, D).

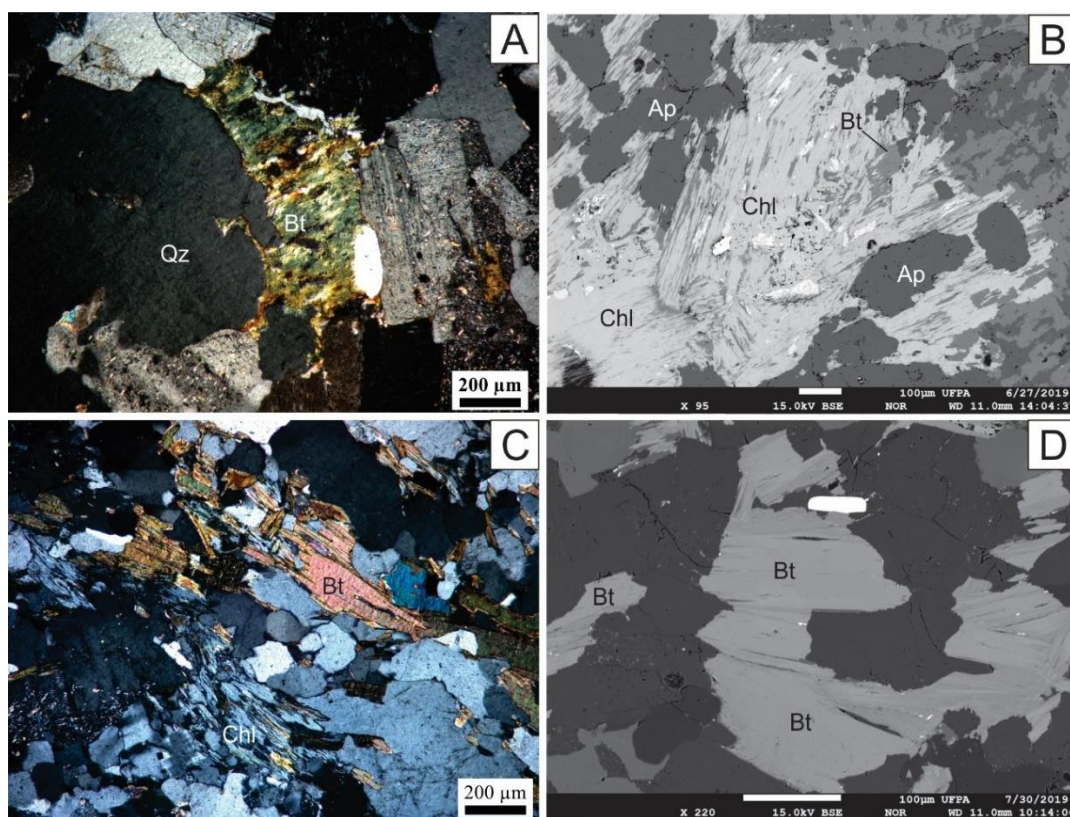


Figura 7. (A) Cristais de biotita dos BSG intensamente cloritizados. (B) Imagem ERE evidenciando o grau de intensa cloritização de cristais de biotita dos BSG. (C) cristais de biotita representantes dos BMG com características morfológicas e composicionais preservadas. (D)

Fotomicrografia da fácies BMG com cristais de biotita bem preservados, porém parcialmente cloritizados. BMG=biotita monzogranito; BSG=biotita sienogranito; Bt=biotita; Chl=clorita; Qz=quartzo; Ap=apatita. Fonte: Abreviações segundo Whitney e Evans (2010).

As fórmulas estruturais das biotitas do GSQ foram calculadas com base em 22 átomos de oxigênio equivalentes em base anidra, assumindo-se todo o ferro presente como Fe^{2+} (cf. Dymek 1983). Todas as biotitas são moderadamente enriquecidas em Fe (Figura 8A), com razões $Fe/(Fe+Mg)$ entre 0,69 a 0,73, e se aproximam dos polos anita-siderofilita (Deer *et al.* 1992). Na (Figura 8B) elas confirmam seu enriquecimento em Fe e plotam predominantemente no campo das biotitas ferrosas.

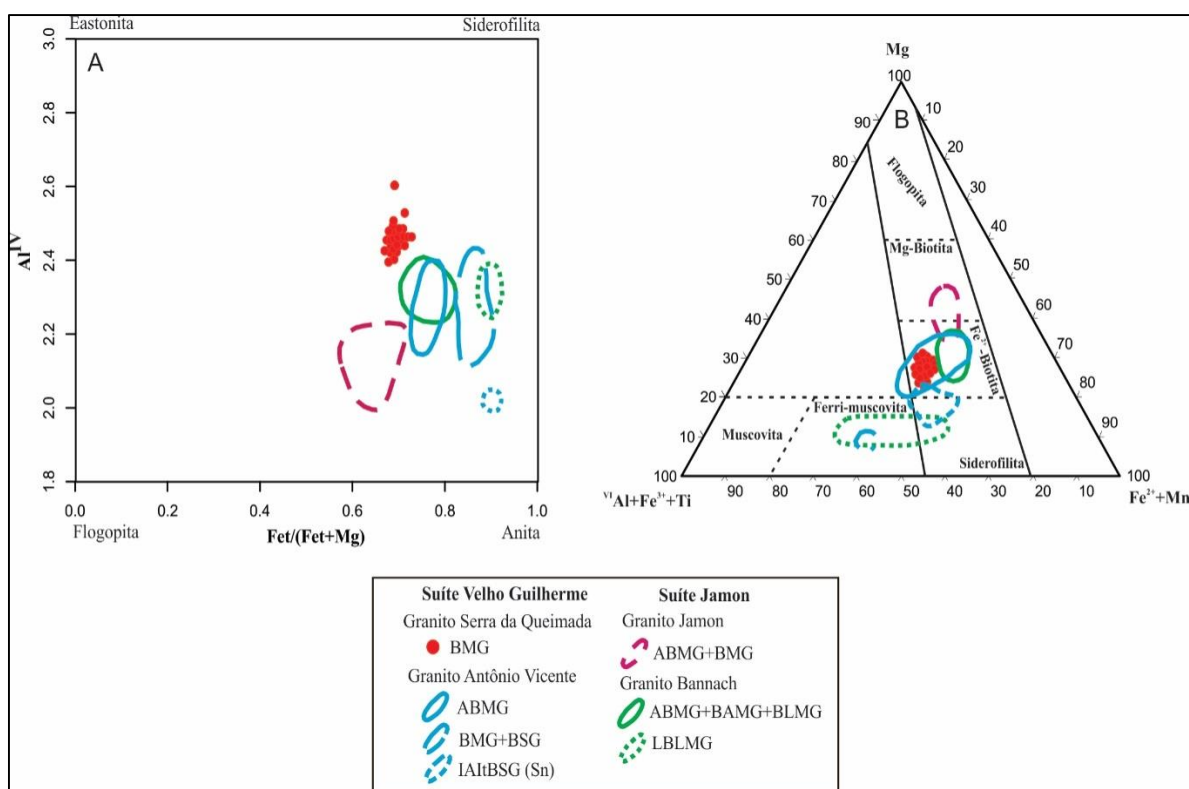


Figura 8. (A) Diagrama $Fe_t/(Fe_t+Mg)$ vs ^{IV}Al Fonte: (Deer *et al.* 1992) mostrando a distribuição das biotitas do GSQ. Notar leve *trend* anita-siderofilita. (B) Diagrama $^{VI}Al+Fe^{3+}+Ti - Mg - Fe^{2+}+Mn$ Fonte: (Foster 1960) mostrando o enriquecimento em Fe das biotitas do GSQ. A=anfíbólio. B=biotita. MG=monzogranito. SG=sienogranito. L=leuco. AFG=álcali-feldspato granito. IAlt=intensamente alterado. LBLMG=biotita leucomonzogranito tardio. Dados compilados de: Granito Jamon= Fonte: Dall’Agnol *et al.* (1999, 2005); Granito Bannach= Fonte: Mesquita (2017); Granito Antônio Vicente= Fonte: Teixeira (1999; Nery 2019); Granito Serra da Queimada= este trabalho.

Segundo (Speer 1984) biotitas de rochas plutônicas evidenciam características de reequilíbrio pós-magmático. No diagrama $FeO+MnO - 10*TiO_2 - MgO$ (Figura 9), as biotitas do GSQ plotam predominantemente no campo das biotitas magmáticas, com uma pequena porção migrando para o campo das biotitas reequilibradas.

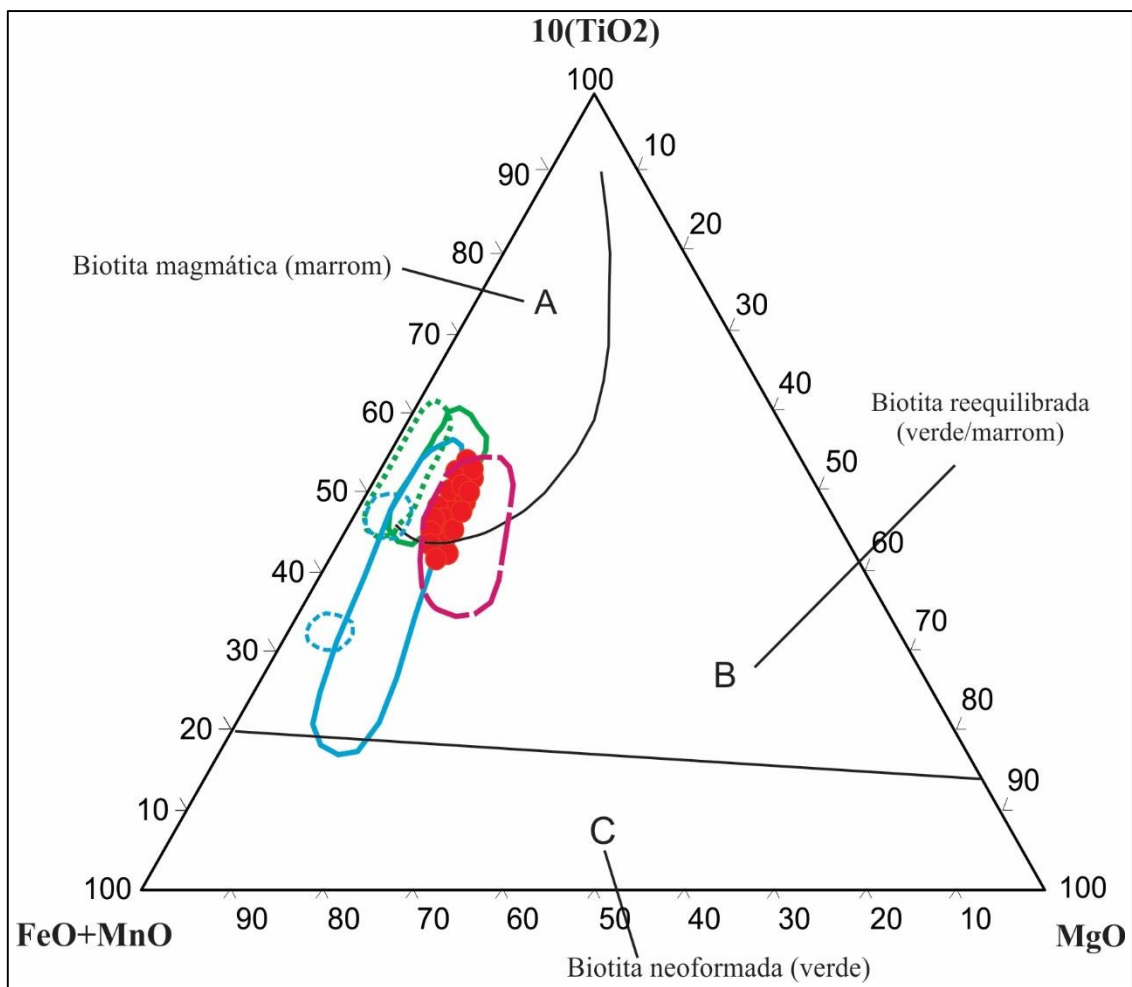


Figura 9. Diagrama $\text{FeO}+\text{MnO}-10*\text{TiO}_2-\text{MgO}$ (Nacht *et al.* 2005) mostrando a distribuição dominante das biotitas dos BMG do GSQ no campo magmático. Campos com a composição de biotitas de granitos selecionados para comparação. Legenda conforme a Figura 8.

2.3.2 Tipologia

Biotitas de rochas plutônicas têm sido utilizadas como bons indicadores das condições físico-químicas e da natureza e ambiente tectônico de cristalização de seu magma hospedeiro (Nacht *et al.* 1985, 2005, Abdel-Rahman *et al.* 1994, Abdel-Fattah & Abdel-Rahman 1996, Lalonde *et al.* 1996, Bónová *et al.* 2010, Gao *et al.* 2016). No diagrama $\text{FeO} - \text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3$ (Figura 10A), as biotitas do GSQ plotam no campo dos granitos anorogênicos, comportamento consistente com as análises de rocha total. Por outro lado, no diagrama Al_2O_3 vs MgO (Figura 10B), em decorrência dos conteúdos elevados de Al_2O_3 (Tabela 2), as biotitas ocupam o campo dos granitos peraluminosos.

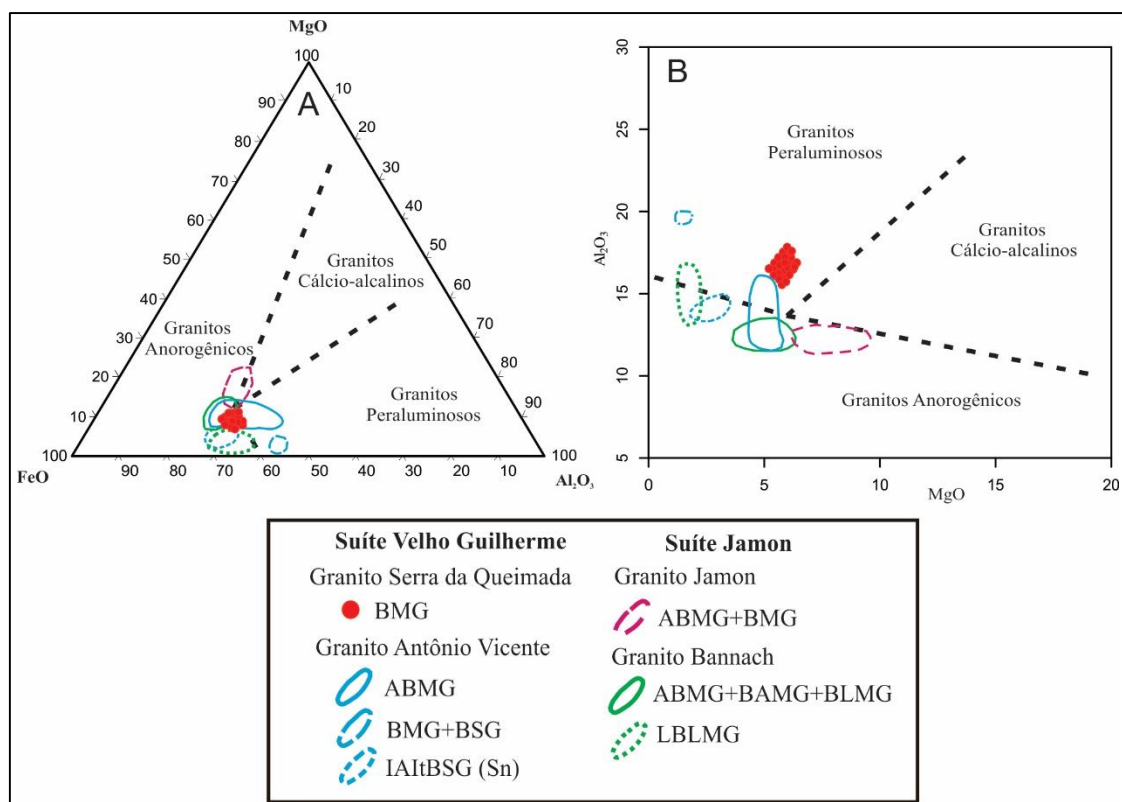


Figura 10. Diagramas Al_2O_3 vs MgO e $\text{FeO} - \text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3$ (Abdel-Rahman *et al.* 1994) mostrando a afinidade das biotitas do Granito Serra da Queimada com granitos anorogênicos e peraluminosos. Campos com a composição de biotitas de granitos selecionados para comparação.

Tabela 2. Composições químicas (WDS) e fórmula estrutural representativas das biotitas dos biotita-monzogranitos do Granito Serra da Queimada.

Amostra	SQ-11					
Nº Análises	71					
Cristal/Spot	1-1	5-2	5-4	8-7	10-6	11-3
SiO ₂	35,18	35,15	34,20	35,30	34,77	35,28
TiO ₂	2,36	2,62	2,82	2,38	2,66	2,96
Al ₂ O ₃	16,76	16,86	16,33	16,83	16,51	16,97
FeO	23,89	24,37	25,56	24,96	25,27	23,80
MgO	5,95	5,98	5,61	5,79	5,35	5,79
MnO	0,39	0,45	0,43	0,43	0,41	0,42
CaO	0,03	0,00	0,04	0,03	0,04	0,01
Na ₂ O	0,09	0,11	0,07	0,08	0,08	0,08
K ₂ O	8,94	8,89	8,56	8,71	8,65	9,17
F	0,00	0,08	0,00	0,03	0,00	0,05
Cl	0,12	0,11	0,09	0,17	0,10	0,09
H ₂ O	6,18	5,20	6,21	5,24	6,03	5,39
Subtotal	99,90	99,81	99,92	99,93	99,89	100,00
O=F,Cl	0,03	0,06	0,02	0,05	0,02	0,04
Total	99,87	99,75	99,90	99,88	99,87	99,96
Fórmula estrutural calculada na base de 22 átomos de oxigênio						
Si	5,57	5,53	5,47	5,56	5,54	5,54
^{IV} Al	2,43	2,47	2,53	2,44	2,46	2,46
Sítio tetraedro	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
^{VI} Al	0,70	0,66	0,55	0,68	0,64	0,67
Ti	0,28	0,31	0,34	0,28	0,32	0,35
Fe total	3,16	3,21	3,42	3,29	3,37	3,12
Mg	1,40	1,40	1,34	1,36	1,27	1,36
Mn	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Sítio octaédrico	5,61	5,63	5,71	5,66	5,65	5,56
Ca	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
Na	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03
K	1,81	1,78	1,75	1,75	1,76	1,84
Sítio A	1,84	1,82	1,78	1,78	1,79	1,86
F	0,00	0,04	0,00	0,02	0,00	0,02
OH	6,53	5,45	6,63	5,51	6,40	5,64
Cl	0,03	0,03	0,02	0,04	0,03	0,02
Fe/(Fe+Mg)	0,69	0,70	0,72	0,71	0,73	0,70
Mg/(Mg+Fet)	0,31	0,30	0,28	0,29	0,27	0,30

2.4 GEOQUÍMICA DO GRANITO SERRA DA QUEIMADA

2.4.1 Procedimentos analíticos

Após o estudo petrográfico foram selecionadas quatorze (14) amostras representativas das quatro (3) fácies que formam o GSQ para análises geoquímicas de rocha total (Tabela 3). As amostras foram preparadas na Oficina de Preparação de Amostras (OPA) pertencente ao IG-UFGA. As análises químicas (Tabela 4) foram realizadas no Laboratório ALS Minerals usando ICP-ES (*Inductively Coupled Plasma-Emission Spectrometry*) para a determinação dos elementos maiores e menores e ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry*) para a caracterização de elementos traço, incluindo os terras raras. Diagramas geoquímicos foram confeccionados utilizando os *softwares* GCDKit e Excel.

Tabela 3. Amostras selecionadas para análises de rocha total.

Fácies	Amostra
BSG	SQ-01, SQ-02, SQ-19, SQ-25, SQ-29, SQ-31 e SQ-38
BMG	SQ-11, SQ-13, SQ-15, SQ-17 e SQ-35
SGP	SQ-07 e SQ-08b

2.4.2 Elementos Maiores e Menores

As análises em rocha total do GSQ mostram que suas rochas são enriquecidas em sílica, com concentrações de SiO₂ entre 71,35-76,90% (Tabela 3). Todas as análises mostraram conteúdos moderados a elevados de Al₂O₃ (12,4-13,78%), com valores semelhantes aos descritos por Whalen *et al.* (1987). O K₂O varia de 3,66 a 5,32%, o Na₂O de 2,17 a 4,53% e o Fe₂O₃ de 1,50 a 4,34%. Por outro lado, são observados baixos valores de MgO, TiO₂ e CaO (0,03-0,71%, 0,06-0,62% e 0,51-2,39, respectivamente).

Nos diagramas de Harker (Figura 11) nota-se uma relação negativa entre SiO₂ e TiO₂, Al₂O₃, CaO, Fe₂O₃ e MgO no sentido SGP – BMG – BSG, com um enriquecimento em K₂O+Na₂O no sentido inverso. Tal comportamento se deve, provavelmente, ao maior conteúdo de anfibólio (pseudomorfos) e biotita fortemente alterados para epidoto e clorita nas duas primeiras fácies e ao caráter mais evoluído dos BSG.

Tabela 4. Composição química média do Granito Serra da Queimada e de outros granitos da Suíte Intrusiva Velho Guilherme.

Granito	Serra da Queimada			Mocambo			Antônio Vicente					Velho Guilherme			Bom Jardim		
	BSG	BMG	SGP	PSMG	SGMv	AAFG	BASMG	BMG	BSG	BSGA	BSGLA	BSGEm	SGH	MSG	BMZG-BLMZG	BSG	GREISEN
Fácies	7	5	2	2	2	1	3	3	5	4	6	4	5	1	9	4	4
nº análises	7	5	2	2	2	1	3	3	5	4	6	4	5	1	9	4	4
SiO ₂ (wt,%)	76,90	73,22	71,35	75,91	75,95	76,76	68,38	75,41	76,34	77,12	75,06	75,90	76,42	77,41	75,02	76,30	74,07
TiO ₂	0,06	0,33	0,62	0,04	0,06	0,04	0,78	0,18	0,14	0,09	0,05	0,05	0,05	0,03	0,12	0,03	0,03
Al ₂ O ₃	12,04	13,59	13,10	12,94	12,62	12,64	14,02	12,30	12,27	12,36	12,84	12,40	12,37	12,61	13,09	13,44	13,87
Fe ₂ O ₃	1,54	2,45	4,34	2,40	3,05	1,02	1,99	1,52	0,34	0,35	0,26	1,54	1,14	0,48	1,45	0,72	5,44
FeO	1,38	2,20	3,90	nd	nd	nd	2,80	1,29	1,36	1,09	0,90	nd	nd	nd	nd	nd	nd
MnO	0,04	0,04	0,16	0,06	0,09	0,02	0,06	0,01	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	nd	0,05	0,02	0,29
MgO	0,03	0,54	0,71	0,02	0,01	0,02	0,81	0,18	0,12	0,05	0,02	0,01	0,03	0,03	0,10	0,04	0,02
CaO	0,51	1,13	2,39	0,57	0,58	0,43	1,67	0,48	0,73	0,77	1,02	0,49	1,01	0,53	0,56	0,15	0,46
Na ₂ O	2,90	3,24	2,17	3,25	2,59	2,03	3,93	3,34	3,28	3,50	3,27	3,60	3,78	3,25	3,46	4,35	0,05
K ₂ O	5,32	4,70	4,76	4,03	4,53	6,38	4,12	5,13	4,74	4,76	4,72	4,63	4,27	5,66	4,99	4,35	3,14
P ₂ O ₅	0,01	0,09	0,18	0,01	0,01	0,01	0,24	0,06	0,03	0,02	0,02	0,01	<0,01	0,03	0,03	0,01	0,02
P,F,	0,96	1,00	1,47	0,85	1,14	0,89	0,88	0,69	0,81	0,68	0,84	0,70	0,50	0,52	1,04	0,60	2,52
Total	100,31	100,60	101,25	100,08	100,63	100,24	99,68	100,59	100,19	100,81	99,62	99,32	99,12	100,57	99,91	100,00	99,91
Rb (ppm)	363,7	169,4	235,8	835,0	786,0	871,0	248,0	296,0	306,0	433,0	539,0	511,0	433,0	365,0	525,8	797,8	1354,9
Ba	106,9	2209,0	1475,0	310,0	28,0	32,0	1170,0	447,0	245,0	129,0	29,0	16,0	175,0	264,0	345,8	18,0	14,7
Sr	25,2	170,8	177,5	21,0	18,0	19,0	148,0	42,0	34,0	25,0	11,0	9,0	70,0	49,0	51,2	6,7	20,2
Zr	128,4	196,0	394,0	118,0	164,0	152,0	327,0	201,0	167,0	132,0	118,0	130,0	121,0	161,0	153,4	111,1	66,2
Nb	42,8	13,3	27,3	126,0	76,0	120,0	17,0	21,0	25,0	42,0	51,0	38,0	41,0	52,0	37,9	55,3	54,0
Y	94,2	28,6	42,3	151,0	170,0	79,0	112,0	25,0	57,0	83,0	148,0	107,0	122,0	237,0	51,3	35,3	39,2
Sn	7,4	4,2	5,0	19,9	63,1	10,5	6,7	5,8	2,6	7,1	303,5	3,5	9,9	2,2	7,8	12,7	159,5
W	294,3	192,8	204,0	182,6	81,8	88,9	51,7	65,6	134,9	55,0	50,2	78,2	60,5	715,0	58,4	45,0	87,8
Ta	3,64	1,44	2,00	16,29	10,68	18,38	1,65	2,13	7,63	6,22	9,51	5,98	5,30	8,90	nd	nd	nd
A/CNK	1,15	1,10	0,96	1,20	1,24	1,15	1,00	1,03	1,04	1,00	1,04	1,05	0,98	1,01	1,08	1,11	3,21
K ₂ O/Na ₂ O	1,93	1,71	1,55	1,24	1,75	3,14	1,05	1,54	1,45	1,36	1,44	1,29	1,13	1,74	1,44	1,00	62,80
FeOt/FeOt+MgO	0,98	0,81	0,86	0,99	1,00	0,98	0,77	0,88	0,92	0,95	0,97	0,99	0,97	0,94	0,93	0,94	1,00
K/Rb	184,00	336,12	251,75	58,57	70,24	88,97	205,45	210,48	188,97	132,56	107,49	109,93	118,91	185,22	114,74	65,06	29,74
Rb/Sr	19,33	1,81	0,78	39,76	43,67	45,84	1,68	7,05	9,00	17,32	49,00	56,78	6,19	7,45	10,27	118,54	67,01
Ba/Rb	0,29	13,04	6,26	0,37	0,04	0,04	4,72	1,51	0,80	0,30	0,05	0,03	0,40	0,72	2,30	0,06	0,01
ΣREE	333,38	321,66	719,83	324,76	354,69	275,07	519,67	486,03	420,72	306,44	69,80	157,33	171,84	155,03	717,6	538,9	373,9
ΣREE L	103,76	201,58	564,04	259,75	274,16	225,62	460,26	454,88	374,59	259,59	170,55	102,91	109,00	61,70	521,2	274,05	215,55
ΣREE P	229,62	120,08	155,80	65,01	80,44	49,34	57,94	30,42	45,51	47,45	69,80	54,35	62,75	93,28	166,35	251,25	147,25
Eu/Eu*	0,02	0,34	0,39	0,03	0,02	0,03	0,26	0,20	0,19	0,12	0,06	0,03	0,03	0,01	0,3	0,1	0,2

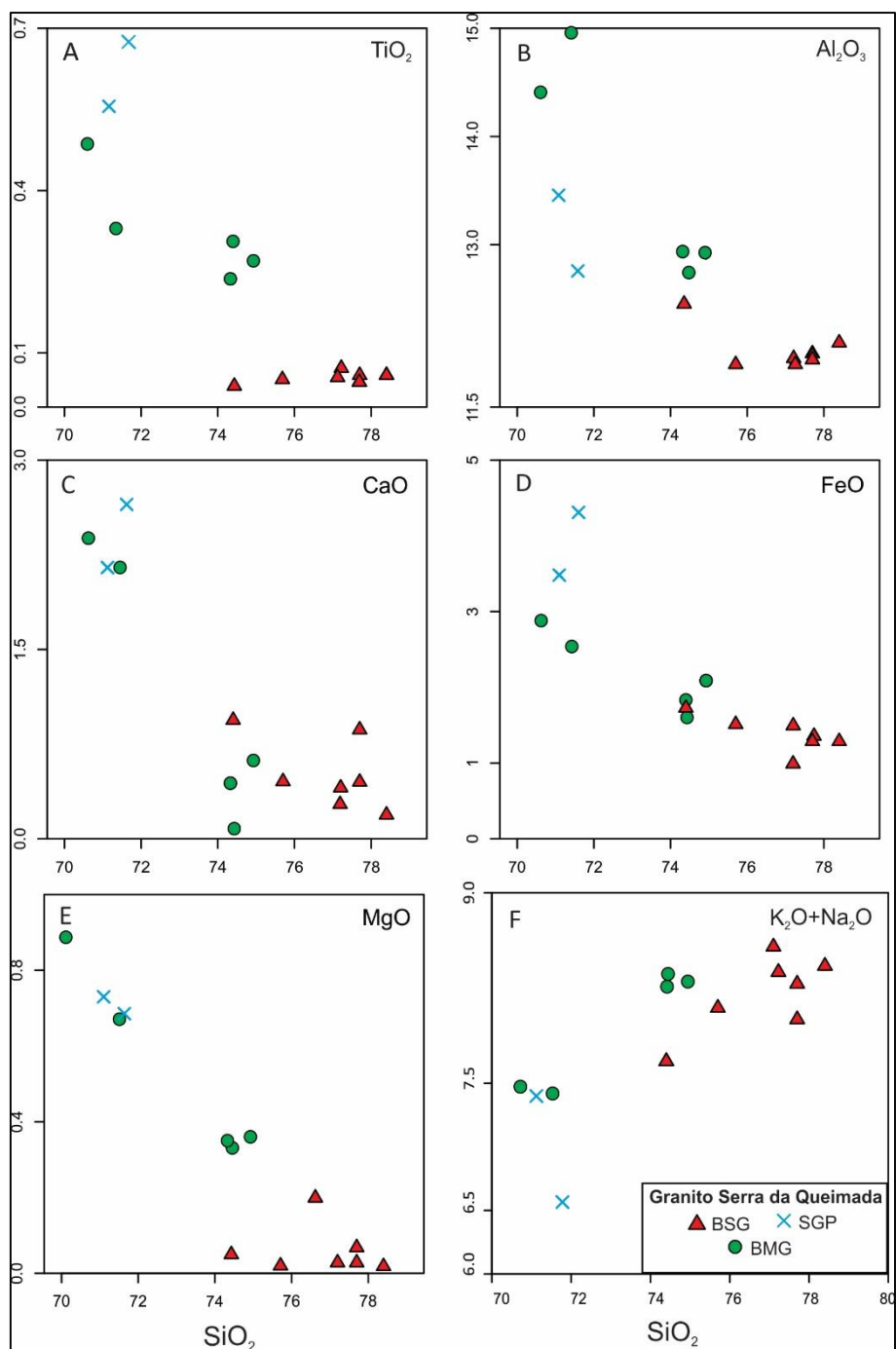


Figura 11. Diagramas de Harker para os elementos maiores do GSQ. (A) TiO_2 x SiO_2 . (B) Al_2O_3 x SiO_2 . (C) CaO x SiO_2 . (D) FeO x SiO_2 . (E) MgO x SiO_2 . (F) $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ x SiO_2 . BSG=biotita sienogranito. BMG= biotita monzogranito. SGP= sienogranito porfirítico.

2.4.3 Elementos Traço

Os BSG são as rochas mais enriquecidas em Rb (292 a 597 ppm) e as mais empobrecidas em Sr (15,6 a 71,7 ppm, com média de 25,2 ppm) e Ba (29,3 a 159,7 ppm, com média de 106,9 ppm), gerando razões Rb/Sr mais elevadas (média de 19,33)

e Ba/Rb mais baixas (média de 0,29 pm) (Tabela 4; Figura 12). Por outro lado, BMG, BMGO e SGP mostram conteúdos de Sr e Ba comparativamente mais elevados (Tabela 4).

O Sn possui concentrações baixas a moderadas (3-18 ppm) no Granito Serra da Queimada, com os BSG apresentando as maiores variações (entre 4 e 18 ppm, média de 7,4 ppm), similar às fácies dos granitos estaníferos Velho Guilherme e Bom Jardim (Tabela 4). Os BMG e SGP são mais empobrecidos e apresentam conteúdos de Sn entre 3 e 6 ppm e 5 ppm, respectivamente.

O W, elemento sempre presente nos granitos especializados da Província Estanífera do Sul do Pará (Tabela 4), apresentou valores comparativamente altos nas rochas do GSQ (entre 122 - 447 ppm), sendo mais elevado nos BSG (196 - 447 ppm, média de 294,3 ppm). Nas outras fácies, o W é mais baixo e varia de 122-261 ppm nos BMG e de 127-281 ppm nos SGP (Tabela 4).

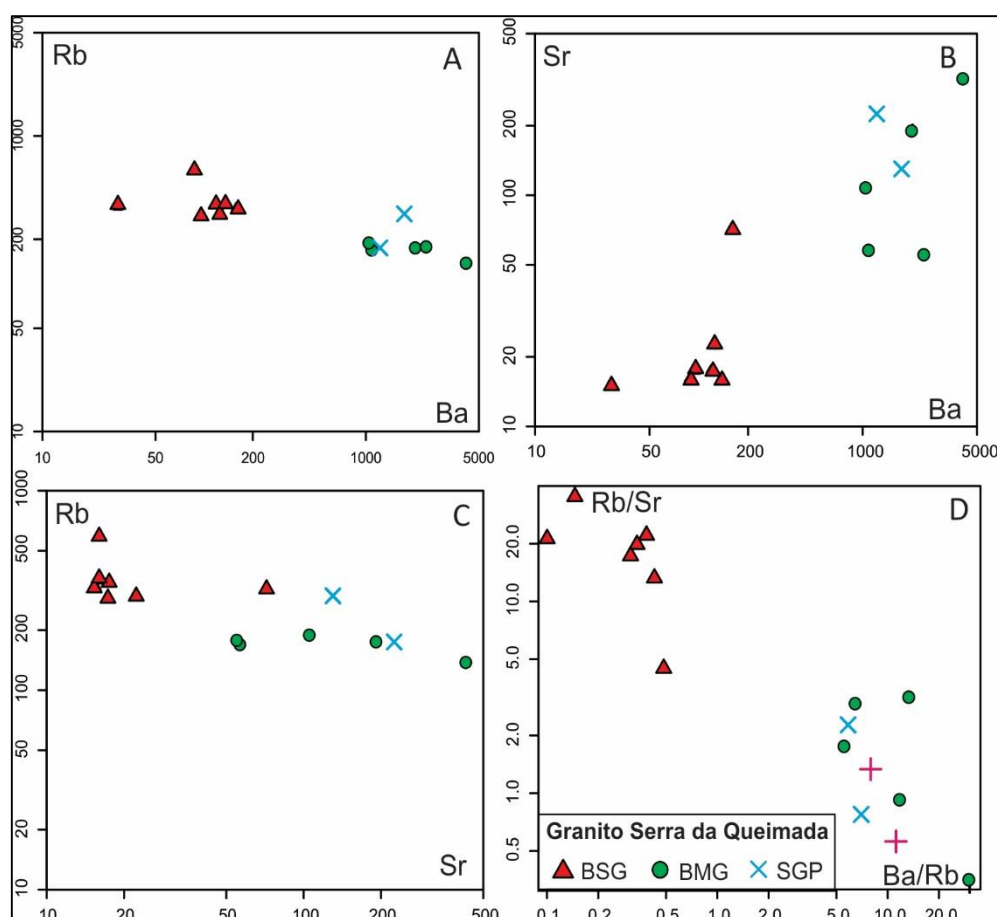


Figura 12. Diagramas de Harker utilizando elementos traços do Granito Serra da Queimada. (A) Rb x Ba. (B) Sr x Ba. (C) Rb x Sr. (D) Rb/Sr x Ba/Sr. BSG=biotita sienogranito. BMG=biotita monzogranito. SGP= sienogranito porfirítico.

No diagrama A/NK x A/CNK (Figura 13A) o GSQ mostra assinatura peraluminosa a fracamente metaluminosa, e se assemelha a outros granitos da SIVG. No diagrama $\text{FeO}_t/(\text{FeO}_t+\text{MgO})$ x SiO_2 (Frost *et al.* 2001) plota predominantemente no campo dos granitos tipo A ferrosos, com exceção de algumas amostras dos BMG (Figura 13B).

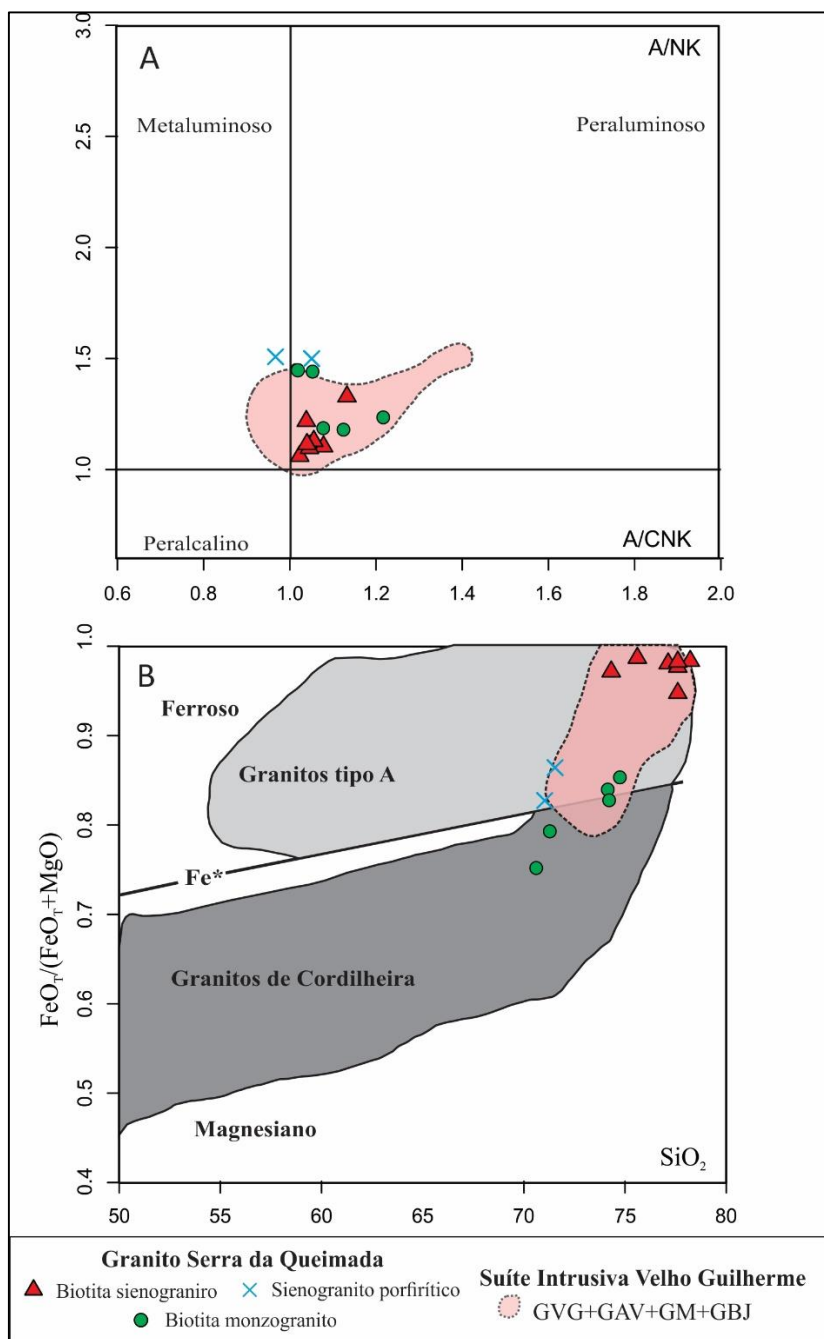


Figura 13. Diagramas geoquímicos mostrando a distribuição das amostras do Granito Serra da Queimada e de outros granitos pertencentes à SIVG. (A) Diagrama A/NK x A/CNK (Shand *et al.* 1951). (B) Diagrama $\text{FeO}_t/(\text{FeO}_t+\text{MgO})$ x SiO_2 (Frost *et al.* 2001). Análises químicas dos granitos Velho Guilherme (GVG), Antônio Vicente (GAV) e Mocambo (GM) Fonte: compiladas de Teixeira (1999). Análises químicas do Granito Bom Jardim (GBJ) Fonte: Lamarão *et al.* (2012). $\text{A/NK}=\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$; $\text{A/CNK}=\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$.

2.4.4 Elementos Terras Raras

As análises de elementos terras raras (ETR) do GSQ (Tabela 4) foram normalizadas segundo Evensen *et al.* (1978). A Σ ETR varia de 252,47 - 719,83 ppm, com os SGP sendo as rochas mais enriquecidas nesta somatória. Os elementos terras raras leves (ETRL) são mais enriquecidos em relação aos elementos terras raras pesados (ETRP), apresentando razões (La/Yb) moderadas (2,91 - 12,31 ppm), o que caracteriza um fracionamento fraco a moderado dos ETRP em comparação aos ETRL (Figura 14 A). Isso indica uma tendência ao decréscimo gradual dos ETRL para as fácies mais evoluídas e ricas em sílica, paralelamente ao aumento relativo dos conteúdos de ETRP. Além disso, o GSQ apresenta forte anomalia negativa de Eu ($Eu/Eu^* = 0,02 - 0,52$), resultando no padrão em gaiivota característico de granitos tipo A (Figura 14).

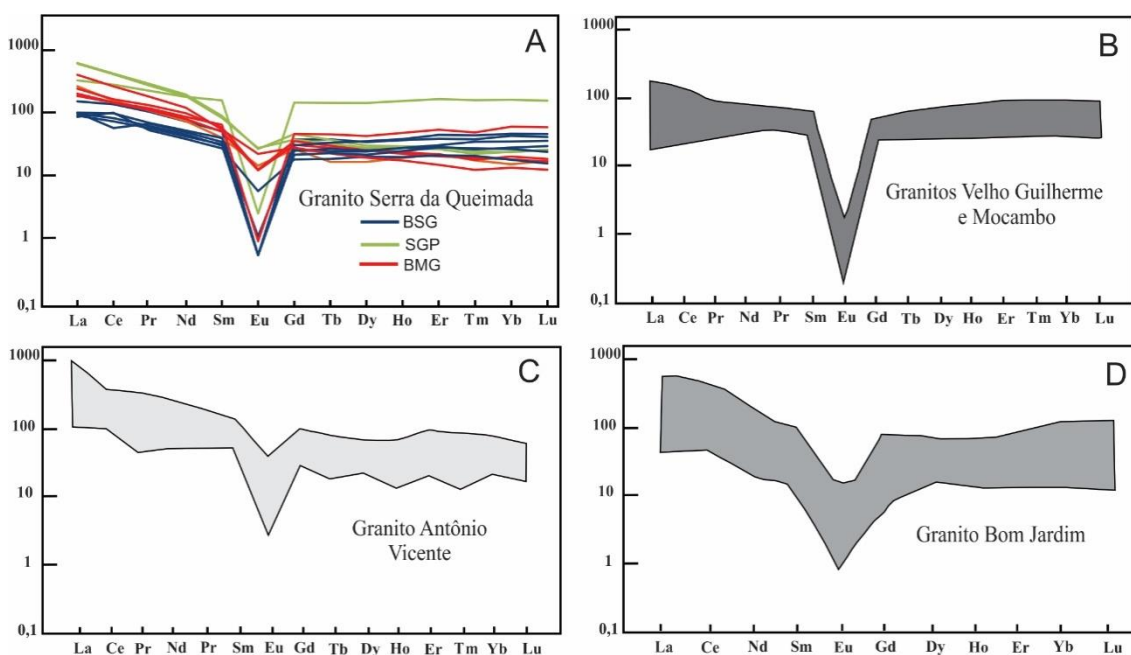


Figura 14. (A) Padrão de distribuição dos elementos terras raras do Granito Serra da Queimada, normalizado segundo Evensen *et al.* (1978), em comparação com outros granitos da Suíte Intrusiva Velho Guilherme (Velho Guilherme e Mocambo) (B) Antônio Vicente (C) e Bom Jardim (D). Análises químicas dos Granitos Velho Guilherme, Mocambo e Antônio Vicente compiladas de Teixeira (1999). Análises químicas do Granito Bom Jardim compiladas de Fonte: Lamarão *et al.* (2012).

2.4.5 Tectônica e Tipologia

Pearce *et al.* (1984) propuseram diagramas para discriminar granitos de ambientes sin-colisionais, arco vulcânico, cordilheiras oceânicas e intraplacas utilizando dados de Nb, Y, Ta, Yb e Rb. Análises químicas no diagrama Y + Nb x Rb (Figura

15A), mostram que as rochas do Granito Serra da Queimada são geoquimicamente semelhantes a granitos intraplaca.

As análises do GSQ quando plotadas no diagrama FeO_t/MgO_x ($Zr+Nb+Y+Ce$) de Whalen *et al.* (1987), incidem predominantemente no campo dos granitos tipo A e são coincidentes com outros granitos da Suíte Intrusiva Velho Guilherme. Os BMG e BMGO plotam no limite entre o campo dos granitos tipo A e granitos tipo M, S e I e granitos félsicos fracionados (Figura 15B).

Granitos tipo A podem ser divididos geoquimicamente nos subtipos A1 e A2 com base em seus conteúdos de Y, Nb, Ce e Ga (Eby 1992). O tipo A1 corresponderia aos diferenciados magmáticos derivados de uma fonte semelhante a basaltos de ilhas oceânicas (OIB), porém colocados em ambiente de *rift* continental ou de magmatismo intraplacas (*hot spot*). O tipo A2 representaria magmas derivados parcial ou totalmente de fontes da crosta continental ou de magmatismo de arco de ilha (IAB). As rochas do GSQ apresentam típica semelhança com granitos do Tipo A₂, sugerindo, assim, uma forte participação crustal no magma que deu origem a essas rochas (Figuras 15C).

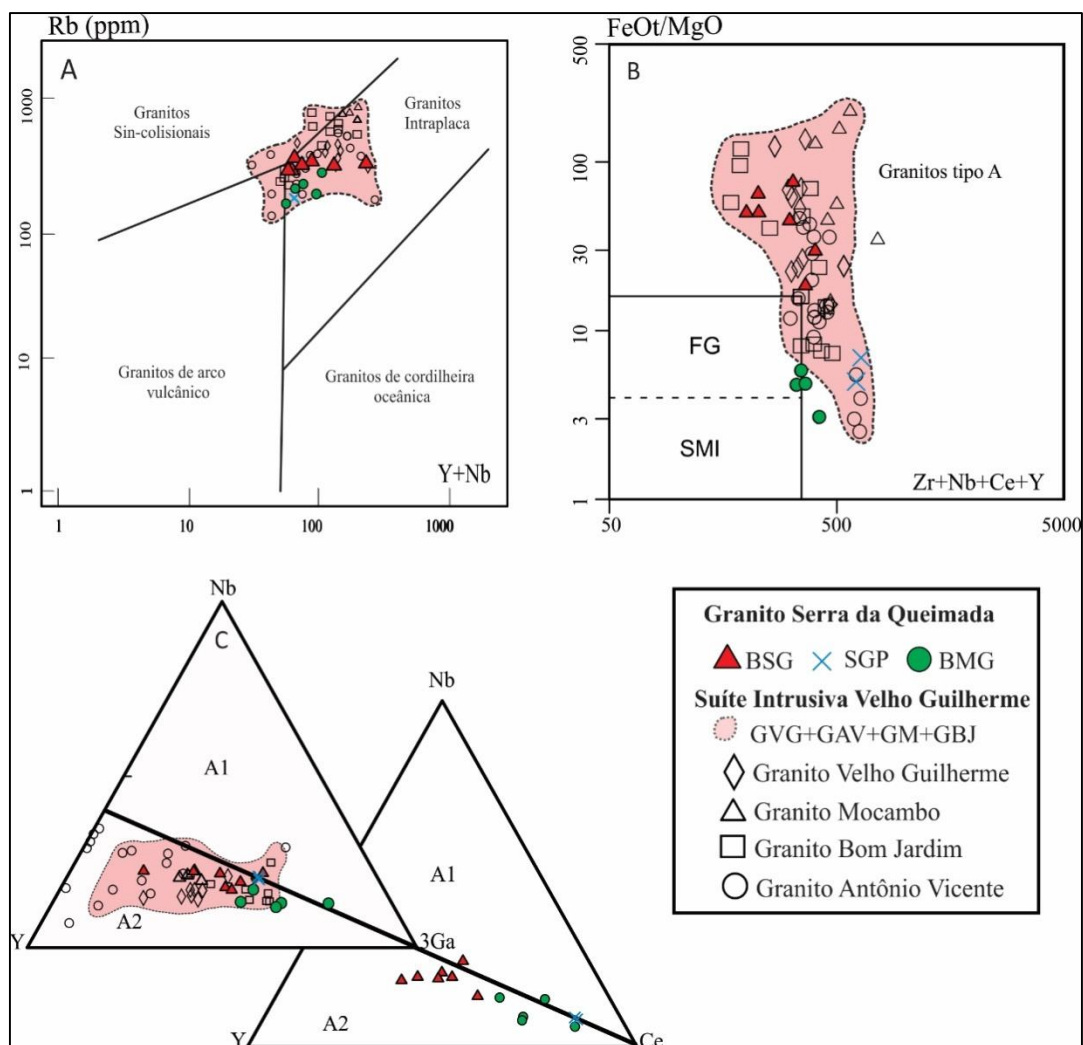


Figura 15. Diagramas geoquímicos mostrando ambiente tectônico e tipologia das amostras do Granito Serra da Queimada. (A) $Y + Nb \times Rb$ (Pearce *et al.* 1984). (B) $(Zr + Nb + Y + Ce) \times FeO_t/MgO$ (Whalen *et al.* 1987) M, I e S: média dos granitos tipo I, M e S; FG: granitos félsicos fracionados (C) Nb-Y-Ga e Nb-Y-Ce (Eby 1992); BSG=biotita sienogranito. BMG= biotita monzogranito. SGP= sienogranito porfirítico. Análises químicas dos granitos Velho Guilherme (GVG), Mocambo (GM) e Antônio Vicente (GAV) compiladas de Fonte: Teixeira (1999). Análises químicas do Granito Bom Jardim (GBJ) compiladas de Fonte:Lamarão *et al.*(2012).

No diagrama $FeO_t/(FeO_t+MgO) \times Al_2O_3$, que utiliza elementos maiores na forma de óxidos para diferenciar granitos tipo A reduzidos e oxidados (Dall'Agnol & Oliveira 2007), as análises do GSQ plotam nos campos de granitos tipo A, com os BSG incidindo no campo dos granitos tipo A reduzidos; algumas amostras dos BMG e SGP apresentam razões $FeO_t/(FeO_t+MgO)$ inferiores e incidem no campo dos granitos tipo A oxidados e cálcico-alcálicos (Figura 16A).

O enriquecimento em Rb nos BSG é ressaltado no diagrama Rb-Ba-Sr (El-Bouseily & El-Sokkary 1975), que discrimina granitos anômalos, normais e altamente diferenciados (Figura 16B). Essas rochas incidem neste último campo, comumente

pertencente às rochas mineralizadas. Os BMG e SGP ocupam o campo dos granitos normais, geralmente não mineralizados.

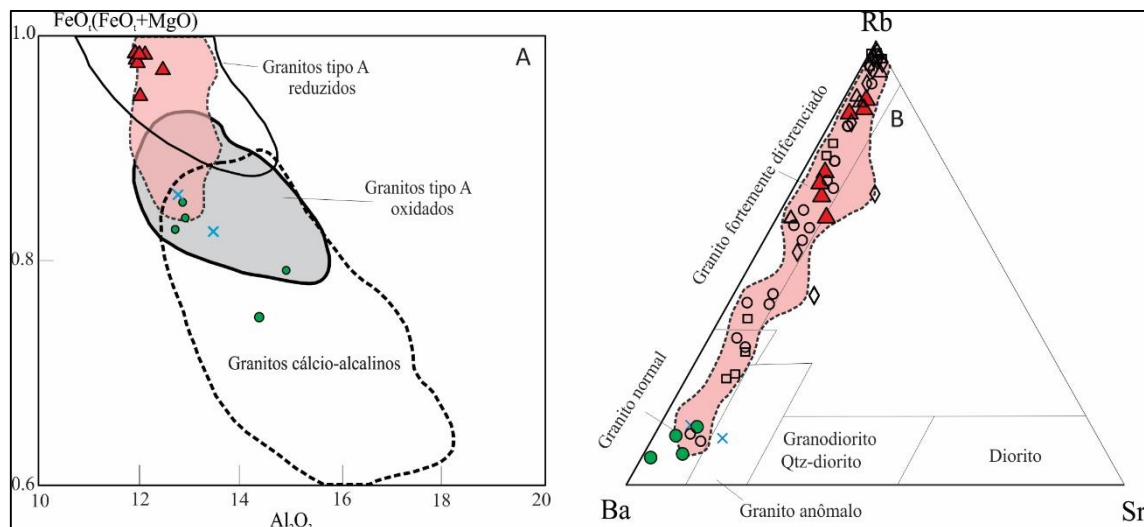


Figura 16. (A) Diagrama $\text{FeO}_t/(\text{FeO}_t+\text{MgO}) \times \text{Al}_2\text{O}_3$ (Dall'Agnol & Oliveira 2007) mostrando os campos característicos de granitos tipo A reduzidos, oxidados e cálcio-alcinos. (B) Diagrama Rb-Ba-Sr (El-Bouseily & El-Sokkary 1975) individualizando granitos anômalos, normais e fortemente fracionados. BSG=biotita sienogranito. BMG= biotita monzogranito. SGP= sienogranito porfirítico. Análises químicas dos granitos Velho Guilherme, Mocambo e Antônio Vicente compiladas de Fonte: Teixeira (1999). Análises químicas do Granito Bom Jardim compiladas de Fonte: Lamarão *et al.* (2012). Legenda conforme a Figura 15.

3 DISCUSSÕES

3.1 QUÍMICA DAS BIOTITAS

Os resultados da Tabela 2 mostram que as biotitas dos BMG do GSQ apresentam concentrações de MgO entre 5,61-5,98%, K_2O entre 8,56-9,17% e enriquecimento em Al_2O_3 , com valores variando de 16,37-16,86%. Suas razões $(\text{Fe}_t/\text{Fe}_t+\text{Mg})$ variam de 0,69- 0,73 e seus conteúdos de $^{\text{IV}}\text{Al}$ de 2,43 a 2,53, o que permite classificá-las como biotitas ferrosas, próximas do polo anita-siderofilita (Figura 8A).

No diagrama $\text{Mg}-(\text{Fe}^{2+} + \text{Mn})-(\text{Fe}^{3+} + \text{Al}^{\text{VI}} + \text{Ti})$, utilizado para classificação de biotitas segundo Foster (1960), plotam no campo das Fe-biotitas (Figura 8B). As análises químicas de biotitas dos BMG do GSQ indicam que, apesar de apresentarem cloritização parcial, preservam características de biotitas predominantemente primárias, tendo sofrido reequilíbrio magmático apenas localmente (Figura 9), além de confirmarem o caráter anorogênico e peraluminoso de suas rochas hospedeiras.

3.2 TIPOLOGIA E AMBIENTE DE FORMAÇÃO

O Granito Serra da Queimada (GSQ) é formado por sienogranitos a monzogranitos (Figura 3) peraluminosos a fracamente metaluminosos (Figura 13A), classificado como tipo A ferroso (Figura 13B), com suas rochas mais evoluídas (BSG) apresentando caráter fortemente reduzido, diferindo de suas outras fácies (BMG e SGP), as quais apresentam razões $FeO_t/(FeO_t+MgO)$ variando entre 0,75 - 0,90, refletindo um comportamento semelhante ao de granitos tipo A oxidados (Figura 16A).

Além disso, essas rochas mais oxidadas são dominadas por magnetita e possuem titanita primária como fases acessórias, enquanto nos BSG a ilmenita predomina sobre a magnetita e a titanita primária está ausente.

As características geoquímicas do GSQ mostram que ele se enquadra na classificação de granitos tipo A (Figura 15A), de ambiente de intraplaca continental (Figura 15B) e do subtipo A₂, (Figura 15C) segundo os diagramas de Eby (1992), sugerindo que seu magma gerador passou por processos de interação crustal. Além disso, as análises de elementos terras raras (Figura 14A) mostram que suas rochas apresentam maior enriquecimento em ETRL em relação aos ETRP e uma acentuada anomalia negativa de Eu ($Eu/Eu^* = 0,02 - 0,42$), refletindo o clássico padrão em “gaiivota” apresentado por granitos especializados e altamente fracionados da Província Carajás (Teixeira 1999; Teixeira *et al.* 2002a, 2005; Dall’Anol *et al.* 2005; Lamarão *et al.* 2012).

3.3 ESTIMATIVA DA TEMPERATURA DE CRISTALIZAÇÃO

Watson & Harrison (1983) definiram um modelo experimental para estimar as temperaturas de saturação do zircão, admitindo que este mineral não pode corresponder a cumulado, restito ou xenocristal. As temperaturas de cristalização do zircão podem, assim, ser utilizadas para estimar condições do *liquidus*, quando este for uma fase precoce na sequência de cristalização, ou do *solidus* quando tardio (Anderson 1996). O modelo de saturação do zircão é válido para temperaturas entre 1020 e 750 °C e pressões de 6,0 a 1,2 kbar, sendo a temperatura de saturação dada pela fórmula:

$$\ln D_{Zr} = (-3,80 - [0,85(M - 1)]) + 12900/T \quad (1)$$

Onde DZr é o coeficiente de distribuição de Zr entre zircão e líquido magmático (~476,000 ppm); M é a proporção catiônica $(Na + K + (2Ca)/(Al \cdot Si))$ em rocha total; e (T) a temperatura dada em graus Kelvin.

Miller *et al.* (2003) admitiram que a temperatura de saturação em zircônio apresenta estimativas mínimas caso o magma seja subsaturado, e máximas se o magma for saturado e propuseram um novo geotermômetro:

$$TZr = 12,900 / [2.95 + 0.85M + \ln(496,000/Zr \text{ melt})] \quad (2)$$

Com base nesta equação, foram obtidas temperaturas entre 871°-754 °C para o Granito Serra da Queimada (Tabela 5). O valor máximo de 871°C seria consistente com temperaturas próximas do *liquidus* para granitos tipo-A (King *et al.* 1997, Dall’Agnol *et al.* 1999b, Frost *et al.* 1999, Klimm *et al.* 2003). Além disso, os cristais de zircão do GSQ são euédricos a subédricos e ocorrem inclusos em biotitas e plagioclásios, evidenciando sua cristalização precoce na evolução magmática deste corpo.

Temperaturas similares foram obtidas em outros granitos anorogênicos da Província Carajás. Dall’Agnol *et al.* (1999) estimaram temperaturas de 870°C e 700°C para o *liquidus* e *solidus*, respectivamente, do Granito Jamon. Segundo esses autores, as rochas mais evoluídas e isentas anfíbolios do Granito Antônio Vicente (Suíte Intrusiva Velho Guilherme) teriam cristalizado a temperaturas mais baixas (<~800 °C) do que aquelas menos evoluídas e portadoras de anfíbólio.

Tabela 5. Estimativas de temperatura para as diferentes fácies do GSQ segundo o geotermômetro experimental do Zr de Watson & Harrison (1983).

Fácies	BSG		BMG		SGP	
Temperatura °C	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Watson and Harrison (1983)	754	798	807	827	869	871

3.4 AFINIDADES METALOGENÉTICAS

Análises de química mineral e rocha total são fundamentais para caracterizar o potencial metalogenético de rochas graníticas, bem como o tipo de magma a partir do

qual elas se formaram (Teixeira *et al.* 2005, Lamarão *et al.* 2004, 2012, Fernandes *et al.* 2006, Karimpour *et al.* 2011, Dong *et al.* 2014).

Na Figura 16B, os BSG são as únicas rochas do GSQ que acompanham outros granitos estaníferos da Suíte Intrusiva Velho Guilherme e plotam inteiramente no campo dos granitos fortemente diferenciados e especializados.

De acordo com Blevin (2003), características como o grau e tipo de diferenciação e estado de oxidação de magmas graníticos podem determinar o potencial e o tipo de mineralização dessas rochas. A razão K/Rb é utilizada para determinar o estado de transição de fusões graníticas. Segundo Rossi *et al.* (2011) razões com valores inferiores a 100 indicam que o granito é altamente evoluído; isto se deve ao fato do Rb se enriquecer no líquido magmático durante o processo de diferenciação (Clarke 1992).

No diagrama K/Rb x SiO₂ (Figura 17), o GSQ apresenta valores de K/Rb variando entre 119,72 - 420,21, com os BSG incidindo na transição entre os campos moderado a fortemente evoluído, e seguem o *trend* das rochas fortemente evoluídas e fracionadas; as outras rochas do GSQ plotam entre os campos moderadamente evoluído a não evoluído.

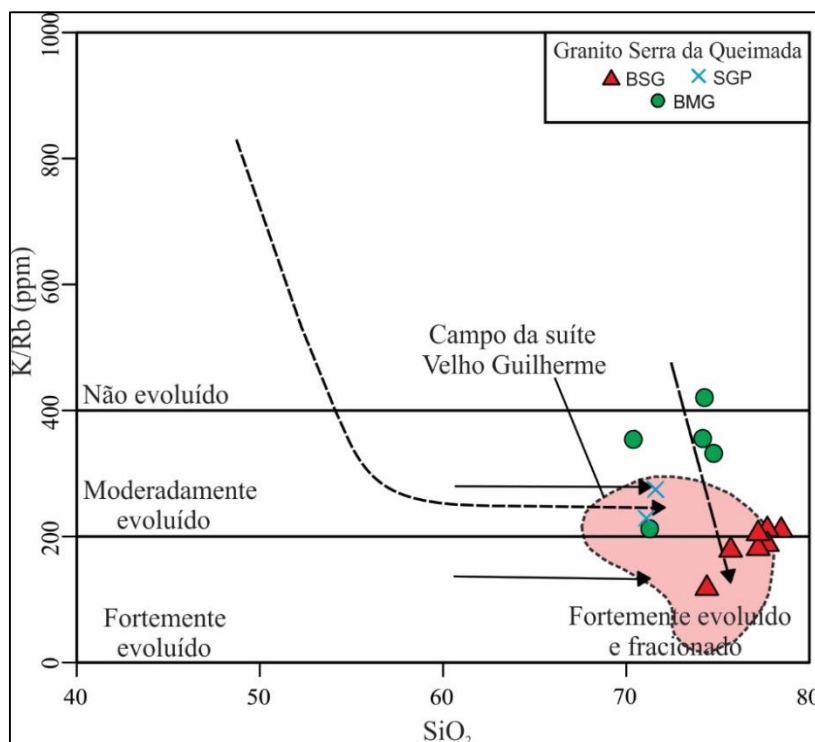


Figura 17. Diagrama K/Rb x SiO₂ (Blevin 2003) mostrando os estados de diferenciação do GSQ. Dados do campo da Suíte Intrusiva Velho Guilherme compilados de Fonte: Teixeira *et al.* (2005) e Lamarão *et al.* (2012). BSG=biotita sienogranito. BMG= biotita monzogranito. SGP= sienogranito porfirítico.

Lehmann & Mahawat (1989) propuseram o diagrama Sr x Rb/Sr que define campos para rochas graníticas estaníferas e estéreis. Na Figura 18, as amostras dos BSG do GSQ, empobrecidas em Sr e com elevadas razões Rb/Sr, plotam predominantemente no campo das rochas portadoras de Sn, juntamente com outras rochas estaníferas da Suíte Intrusiva Velho Guilherme e com os granitos Hernyingyi e Pilok (Lehmann & Mahawat 1989). As demais fácies (BMG e SGP) apresentam valores comparativamente mais elevados de Sr e mais baixos de Rb/Sr e incidem no campo das rochas não mineralizadas, similar ao observado em algumas amostras de fácies não mineralizadas do GVG, GBJ e GAV.

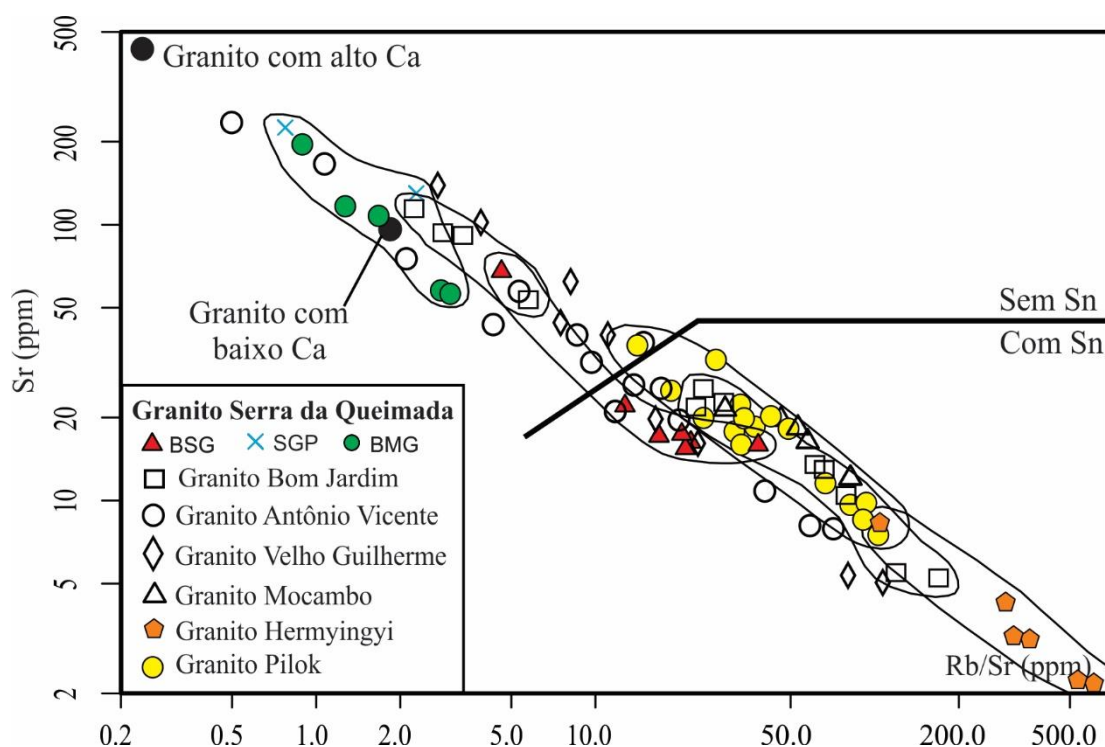


Figura 18. Diagrama Sr x Rb/Sr (Lehmann & Mahawat 1989) mostrando a distribuição das rochas do Granito da Serra da Queimada. Dados do campo da Suíte Intrusiva Velho Guilherme compilados de Teixeira *et al.* (2005) e Lamarão *et al.* (2012) Dados dos campos dos granitos Hernyingyi e Pilok (Lehmann & Mahawat 1989). BSG=biotita sienogranito. BMG= biotita monzogranito. SGP= sienogranito porfirítico. Os círculos pretos indicam as composições médias dos granitos com alto e baixo cálcio (conforme Turekian & Wedepohl 1961).

3.5 ESTUDO COMPARATIVO COM OUTROS GRANITOS DA SIVG

O Granito Serra da Queimada (GSQ) foi estudado preliminarmente por CPRM/DNPM (1997), Pinho (2005) e Lamarão *et al.* (2007). Tais autores desenvolveram estudos envolvendo petrografia, geocronologia Pb-Pb por evaporação em zircão e potencial metalogenético com base na composição de cristais de zircão. O GSQ, estudado em maior detalhe neste trabalho, apresentou similaridades quanto ao

modo de ocorrência, petrografia, química mineral de biotita e geoquímica de rocha total com outros granitos anorogênicos que integram a Suíte Intrusiva Velho Guilherme. Neste sentido, fez-se necessário uma comparação entre o GSQ e outros corpos desta suíte.

Em termos petrográficos, o GSQ é formado predominantemente por rochas sienograníticas e monzograníticas, com conteúdo de minerais máficos <10%, características semelhantes às observadas nos granitos da Suíte Intrusiva Velho Guilherme (SIVG). Nesta suíte, rochas sienograníticas enriquecidas em ilmenita, fluorita, monazita e siderofilita, pobres em magnetita e isentas de titanita magmática são dominantes. Magnetita>ilmenita e anibólio são encontrados apenas nas fácies menos evoluídas do Granito Antônio Vicente (Dall'Agnol *et al.* 2005). Os BSG do GSQ apresentam conteúdos de ilmenita>magnetita e ausência de titanita magmática, permitindo classificá-los como pertencentes à série ilmenita (Ishihara 1981). Por outro lado, nas rochas menos evoluídas, como os BMG, cristais de anfibólio (pseudomorfos) e titanita magmática ocorrem localmente e a magnetita>ilmenita, indicando que essas rochas mostram maior similaridade com a série magnetita (Ishihara 1981).

O GSQ foi comparado geoquimicamente com os granitos Antônio Vicente, Mocambo, Velho Guilherme (Teixeira 1999; Teixeira *et al.* 2005) e Bom Jardim (Lamarão *et al.* 2012) pertencentes à SIVG (Tabela 4). Todos são peraluminosos a fracamente metaluminosos (Figura 13A), ferrosos, possuem assinatura intraplaca do tipo A (Whalen *et al.* 1987, Pearce *et al.* 1984, Frost *et al.* 2001, Dall'Anol & Oliveira 2007, Frost & Frost 2011), do subtipo A2 (Eby 1992), sugerindo que seus magmas derivaram parcial ou totalmente da crosta continental ou de magmatismo de arco de ilha (IAB).

No diagrama $\text{FeO}_t/(\text{FeO}_t+\text{MgO}) \times \text{Al}_2\text{O}_3$ (Figura 16A), apenas os BSG do GSQ acompanham os granitos mais evoluídos da SIVG e incidem inteiramente no campo dos granitos tipo A reduzidos. As outras fácies plotam predominantemente no campo dos granitos tipo A oxidados, juntamente com as rochas menos evoluídas usadas comparativamente.

De modo geral, o GSQ mostra padrões de ETR (Figura 14) análogos aos demais granitos anorogênicos da Suíte Intrusiva Velho Guilherme (Tabela 4; Teixeira *et al.* 2005, Lamarão *et al.* 2012), com conteúdos de ETRL mais elevados que os ETRP, padrão sub-horizantalizado dos ETRP e anomalias negativas de Eu acentuadas.

Os BSG do GSQ são rochas enriquecidas em Rb, pobres em Sr e com baixas razões K/Rb; tais características permitem classificá-los como granitos fortemente diferenciados (Figuras 16B), evoluídos e fracionados e portadores de mineralização em Sn (Figura 18), similar aos outros granitos estaníferos da SIVG. Por outro lado, as rochas menos evoluídas e com caráter oxidado (BMG e SGP) do GSQ incidem predominantemente no campo dos granitos normais (Figura 16B), moderadamente evoluídos a não evoluídos (Figura 17) e isentas de mineralização de Sn (Figura 18), similar às rochas menos evoluídas e estéreis dos granitos Antônio Vicente, Velho Guilherme e Mocambo.

4. CONCLUSÕES

O GSQ, localizado ao norte da cidade de São Félix do Xingú, sudoeste do estado do Pará, é composto por três fácies petrográficas: biotita sienogranito (BSG), biotita monzogranito (BMG) e sienogranito porfirítico (SGP), dispostas como serras irregulares, com orientação E-W e aflorando na forma de lajedos e blocos isolados.

Suas biotitas e anfibólios apresentam-se intensamente alteradas e apenas as biotitas das rochas monzograníticas forneceram resultados que puderam ser utilizados neste trabalho. De modo geral, essas biotitas são moderadamente enriquecidas em Fe, com razões (Fe/Fe+Mg) entre 0,69 e 0,73, primárias e ferrosas, incidindo no campo de granitos tipo A e peraluminoso.

O GSQ possui natureza peraluminosa a fracamente metaluminosa, razões K_2O/Na_2O e $FeO_V/(FeO_I+MgO)$ crescentes no sentido dos BSG e assinatura geoquímica de granitos ferrosos, intraplacas, do tipo A, subtipo A2, com suas rochas mais evoluídas (BSG) apresentando caráter fortemente reduzido, se comportando como rochas da série ilmenita; as fácies BMG e SGP possuem caráter oxidado e se assemelham a rochas da série magnetita. Apresentam conteúdos de ETRL mais elevados em relação aos ETRP e acentuadas anomalias negativas de Eu, com um padrão de fracionamento dos ETR indicativo de processos de cristalização fracionada dominante durante sua evolução.

O estudo comparativo com outras rochas mineralizadas da Suíte Intrusiva Velho Guilherme, Província Estanífera do Sul do Pará, indica que apenas os BSG do GSQ apresentam potencial metalogenético para Sn e W, enquanto suas fácies menos

evoluídas mostram comportamento de granitos normais, pouco diferenciados e evoluídos, e com baixo potencial metalogenético.

Os dados de mapeamento geológico, petrográficos, química mineral e geoquímicos obtidos neste trabalho indicam que o GSQ mostra similaridades com os granitos da Suíte Intrusiva Velho Guilherme e pode ser incluído nesta importante suíte magmática.

REFERÊNCIAS

- Abdel-Rahman A.M. 1994. Nature of biotites from alkaline, calc-alkaline, and peraluminous magmas. *Journal of Petrology*, **35**: 525-541.
- Abdel-Fattah M. & Abdel-Rahman A.M. 1996. Discussion on the Comment on Nature of Biotites in Alkaline, Calc-alkaline and Peraluminous Magmas. *Journal of Petrology*, **37**(5): 1031-1035.
- Abreu F.A.M. & Ramos C.R. 1974. Estanho do Sul do Pará. In: SBG 28º Congresso Brasileiro de Geologia, Porto Alegre. *Anais do 28º Congresso Brasileiro de Geologia*, v.5, p. 11-23.
- Almeida F.F.M., Hasui Y., Brito Neves B.B., Fuck R.A. 1981. Brazilian Structural Provinces: An introduction. *Earth Science Review*, **17**:1-29.
- Almeida J.A.C., Dall'Agnol R., Oliveira D.C. 2006. Geologia, Petrografia e Geoquímica do granito anorogênico Bannach, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, **36**(2): 282-295.
- Anderson J.L. & Bender E.E. 1989. Nature and origin of Proterozoic A-type granitic magmatism in the southwestern United States of America. *Lithos*, **23**:19-52.
- Anderson J.L. 1996. Status of thermobarometry in granitic batholiths. *Transactions of the Royal Society of Edinburg: Earth Sciences*, **87**: 125-138.
- Armstrong J.T. 1988. Quantitative analysis of silicate and oxide minerals: Comparison of Monte Carlo, ZAF, and $\phi(\rho z)$ procedures, in *Microbeam Analysis – D.E. Newbury, ed., San Francisco Press*, 239-246.
- Bard J.P. 1980. *Microtextures of igneous and metamorphic rocks*. D. Reidel Publishing Company. Tokyo. 246p.
- Bettencourt J.S. & Dall'Agnol R. 1987. The Rondonian tin-bearing anorogenic granites and associated mineralization. In: Intern. Symp. Granites and Assoc. Mineraliz., Salvador, *Excursion Guides*, p.49-87.
- Bettencourt J.S. & Dall'Agnol R. (Eds.). 1995. *Excursion Guide: The Rapakivi Granites of Rondônia Tin Province and Associated Mineralization*. Symposium Rapakivi Granites and Related Rocks, Belém, Brazil. Federal University of Pará, Center of Geosciences. 48 p.
- Bettencourt J.S., Tosdal R.M., Leite Jr. W.B., Payolla B.L. 1999. Mesoproterozoic rapakivi granites of the Rondônia Tin Province, southwestern border of the Amazonian craton, Brazil - I. Reconnaissance U-Pb geochronology and regional implications. *Precambrian Research*, **95**:41-67.
- Bettencourt J.S., Leite Jr. W.B., Goraieb C.L., Sparrenberger I., Bello R.M.S., Payolla B.L. 2005. Sn-polymetallic greisen type deposits associated with late stage rapakivi granites, Brazil: fluid inclusion and stable isotope characteristics. *Lithos*, **80**:363-386.

- Blevin P. 2003. Metallogeny of granitic rocks, The Ishihara Symposium, Granites and Associated metallogenesis, 14, 5–8.
- Bónová K., Broska I., Petřík I. 2010. Biotite from Cierna hora Mountains granitoids (Western Carpathians, Slovakia) and estimation of water contents in granitoid melts. *Geologica Carpathica*, **61**(1): 3-17.
- Borges R.M.K., Villas R.N.N., Fuzikawa K., Dall'Agnol R., Pimenta M.A. 2009. Fluid immiscibility, fluid–rock interactions and origin of the greisens and potassic episyenites associated with the Água Boa Granite, Pitinga Tin Province, Amazonian Craton. *Journal of South American Earth Sciences*, **27**:161–183.
- Bowden P., Black R., Martin R.F., Ike E.C., Kinnaird J.A., Batchelor R.A. 1987. Niger-Nigeria alkaline ring-complexes: a classic example of African Phanerozoic mid-platemagmatism. In: Fitton J.G., Upton B.J.G. (eds.). *Alkaline igneous rocks*. Geological Society London Special Publication, v.30, p.357–379.
- Carvalho T.A. 2017. *Petrografia, geoquímica e suscetibilidade magnética do Granito Gradaús, Província Carajás, SE do Pará*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 63 p.
- Chayes F. 1956. *Petrographic modal analysis: an elementary statistical appraisal*. New York, John Wiley e Sons. 113 p.
- Clarke D.B. 1992. *Granitoid Rocks*: Chapman and Hall, pp. 238.
- Collins W.J., Beams D., White J.R., Chappell B.W. 1982. Nature and origin of A-type granites with particular reference to south-eastern Australia. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **80**:189–200.
- Costi H.T., Dall'Agnol R., Moura C.A.V. 2000. Geology and Pb/Pb geochronology of Paleoproterozoic volcanic and granitic rocks of the Pitinga Province, Amazonian craton, northern Brazil. *International Geology Review*, **42**:832–849
- CPRM/DNPM. 1997. *Projeto especial mapas de recursos minerais, de solo e de vegetação para a área do Projeto Grande Carajás – Sub Programa Mapas metalogenéticos e de previsão de recursos minerais*. Folha São Felix do Xingu-SB-22-Y-B. CPRM, Superintendência Regional de Belém (Relatório Final).
- Dall'Agnol R., Teixeira N.P., Magalhães M.S. 1993. Diagnostic features of the Tin-specialized anorogenic granites of the Eastern Amazonian Region. *Anais Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, **65**(1): 33-50.
- Dall'Agnol R., Lafon J.M., Macambira M.J.B. 1994. Proterozoic anorogenic magmatism in the Central Amazonian province, Amazonian Craton. Geochronological, Petrological and Geochemical aspects. *Mineralogy and Petrology*, **50**: 113-138.
- Dall'Agnol R., Costi H.T., Leite A.A. da, Magalhães M.S. de, Teixeira N.P. 1999a. Rapakivi granites from Brazil and adjacent areas. *Precambrian Research*, **95**:9-39.

- Dall'Agnol R., Rämö O.T., Magalhães M.S., Macambira M.J.B. 1999b. Petrology of the anorogenic, oxidised Jamon and Musa granites, Amazonian craton: implications for genesis of Proterozoic A-type granites. *Lithos*, **46**: 431-462.
- Dall'Agnol R., Teixeira N.P., Rämö O.T., Moura C.A.V., Macambira M.J.B., Oliveira D.C. 2005. Petrogenesis of the Paleoproterozoic rapakivi A-type granites of the Archean Carajás metallogenic province, Brazil. *Lithos*, **80**: 101-129.
- Dall'Agnol R., Oliveira M. A., Almeida J.A.C., Althoff F.J., Leite A.A. da S.L., Oliveira D.C., Barros C.E.M. 2006. Arquean and Paleoproterozoic granitoids of the Carajás Metallogenic Province, eastern Amazonian Craton. *In*: Symposium on magmatism, crustal evolution, and metallogenesis of the Amazonian Craton. Belém, PRONEX-UFGA/SBG-NO, p 97-150.
- Dall'Agnol R. & Oliveira D.C. 2007. Oxidized, magnetite-series, rapakivi-type granites of Carajás, Brazil: Implications for classification and petrogenesis of A-type granites. *Lithos*, **93**:215–233.
- Dall'Agnol R., Oliveira D.C., Guimarães F.V., Gabriel E. O., Feio G.R.L., Lamarão C.N., Althoff F. J., Santos P. A., Teixeira M. F. B., Silva A. C., Rodrigues D.S., Santos M.J.P., Silva C.R.P., Santos R.D., Santos P.J.L. 2013. Geologia do Subdomínio de Transição do Domínio Carajás – Implicações para a evolução arqueana da Província Carajás – Pará. *In*: Simpósio de Geologia da Amazônia, 13, Belém (PA), CD-rom.
- Deer W.A., Howie R.A., Zussman J. 1992. *Rock-forming minerals*. 2^a ed. London, Longmans, 696 p.
- Dong Q., Du Y., Pang Z., Miao W., Tu, W. 2014. Composition of biotite within the Wushan granodiorite, Jiangxi Province, China: Petrogenetic and metallogenetic implications. *Earth Sciences Research Journal*.18. 10.15446/esrj.v18n1.40830.
- Dymek R.F. 1983. Titanium, aluminium and interlayer cation substitutions in biotite from high-grade gneisses, West Greenland. *American Mineralogist*, **68**:880-889.
- Eby G.N. 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenese and tectonic implications. *Geology*, **20**: 641-644.
- El-Bouseily A.M., El-Sokkary A.A. 1975. The relation between Rb, Ba and Sr in granitic rocks. *Chemical Geology*, **16**(3): 207–219.
- Evensen N.M., Hamilton P.T., O'niions R.K. 1978. Rare earth abundances in chondritic meteorites. *Geochemical and Cosmochimica Acta*, **39**:55-64. doi:10.1016/0016-7037(78)90114-x.
- Feio G.R.L. 2011. *Magmatismo granitóide arqueano da área de Canaã dos Carajás: implicações para a evolução crustal da Província Carajás*. PhD Thesis, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 199 p.
- Feio G.R.L. & Dall'Agnol R. 2012. Geochemistry and petrogenesis of the Mesoarchean granites from the Canaã dos Carajás area, Carajás Province, Brazil: Implications for the origin of Archean granites. *Lithos*, **154**:33-52.

- Fernandes C.M.D., Teixeira N.P., Borges R.M.K., Bettencourt J.S. 2006. Química mineral da muscovita de rochas graníticas e greisens da Suíte Intrusiva Velho Guilherme, Província Estanífera do Sul do Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, **36**(1): 26-33.
- Foster M.D. 1960. Interpretation of the composition of trioctahedral micas. *U. S. Geol. Surv., Prof. Paper*, **354**:1-49.
- Frost B.R. 1991. Introduction to oxygen fugacity and its petrologic importance. *In*: Lindsley D.H. (Ed.), *Oxide Minerals: Petrologic and Magnetic Significance*. Mineralogical Society of America, *Reviews in Mineralogy*, **25**:1-9.
- Frost C.D., Frost B.R., Chamberlain K.R., Edwards B. 1999. Petrogenesis of the 1.43 Ga Sherman Batholith, SE Wyoming, USA: a reduced, rapakivi-type anorogenic granite. *Journal of Petrology*, **40**:1771-1802. DOI: 10.1093/petrology/40.12.1771
- Frost C.D. & Frost B.R. 2011. On ferroan (A-type) granitoids: their compositional variability and modes of origin. *Journal of Petrology*, **52**:39–55.
- Gabriel E.O., Oliveira D.C. 2014. Petrologia magnética dos granodioritos Água Azul e Água Limpa, porção sul do Domínio Carajás – Pará. *Boletim IG-USP. Série Científica*, **13**(4): 89-110.
- Gao P., Zhao Z., Zheng Y. 2016. Magma mixing in granite petrogenesis: Insights from biotite inclusions in quartz and feldspar of Mesozoic granites from South China. *Journal of Asian Earth Science*, **123**:142-161.
- Haapala I. & Rämö O.T. 1992. Tectonic setting and origin of the Proterozoic rapakivi granites of southeastern Fennoscandia. *Geological Society of America Special Paper*, **72**:165–171.
- Harker A. 1965. *The natural history of igneous rocks*. New York, Macmillan, 384p.
- Hawthorne F.C., Oberti R., Harlow G.E., Maresch W.V., Martin R.F., Schumacher J.C., Welch M.D. 2012. Nomenclature of amphibole supergroup. *American Mineralogist*, **97**(11-12): 2031-2048.
- Hibbard M. J. 1995. *Petrography to petrogenesis*. New Jersey, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 587p.
- Horbe M.A., Horbe A.C., Costi H.T., Teixeira J.T. 1991. Geochemical characteristics of cryolite–tin-bearing granites from the Pitinga mine, northwestern Brazil: a review. *Journal of Geochemical Exploration*, **40**:227–249.
- Hutchison C.S. 1974. *Laboratory handbook of petrography techniques*. London, John Wiley e Sons. 527 p.
- Ishihara S. 1981. The granitoid series and mineralization. *In*: Skinner B. J. (ed.) *Economic geology, 75th anniversary volume*:458-484.7

- Janousek V., Farrow, C.M., Erban, V. 2006. Interpretation of whole-rock geochemical data in igneous geochemistry: introducing Geochemical Data Toolkit (GCDkit). *Journal of Petrology* **47**:1,255-1,259.
- Kerr P. 1959. *Optical mineralogy*. Third Edition. New York, McGraw-Hill Book Co. 492 p.
- Karimpour M. H., Stern C., Mouradi, M. 2011. Chemical composition of biotite as a guide to petrogenesis of granitic rocks from Maherabad, Dehnow, Gheshlagh, Khajehmourad and Najmabad, Iran. *Iranian Journal of Mineralogy & Crystallography*, **18**(4): 89-100.
- King P.L., White A.J.R., Chappell B.W., Allen C.M. 1997. Characterization and origin of aluminous A-type granites from the Lachlan Fold Belt, southeastern Australia. *Journal of Petrology*, **38**: 371-391.
- Kinnaird J.A. 1985. Hydrothermal alteration and mineralization of the alkaline anorogenic ring complexes in Nigeria. *Journal of African Earth Sciences*, **3**:229–251.
- Klimm K., Holtz F., Johannes W., King P.L. 2003. Fractionation of metaluminous A-type granites: an experimental study of the Wangrah Suite, Lachlan Fold Belt, Australia. *Precambrian Research*, **124**:327-341.
- Lalonde A.E., Rancourt D.G., Chao G.Y. 1996. Fe-bearing trioctahedral micas from Mont Saint-Hilaire, Québec, Canada. *Mineralogical Magazine*, **60**:447-60.
- Lamarão C.N., Dall’Agnol R. 2004. Química mineral de anfibólios e biotitas e condições de cristalização de granitoides paleoproterozoicos da região de Vila Riozinho, Província Aurífera do Tapajós, Cráton Amazônico. *Revista Brasileira de Geociências*, **34**:95-108.
- Lamarão C.N., Dall’Agnol R., Soledade G.L., Silva J.S. 2007. Variações composicionais de zircão em granitos anorogênicos proterozóicos do Cráton Amazônico: implicações metalogenéticas. *Revista Brasileira de Geociências*, **37** (4): 693-704.
- Lamarão C.N., Pinho S.C.C., Paiva-Junior A.L., Toro M.A.G. 2012. Mineralogy and geochemistry of the Paleoproterozoic, tin-mineralized Bom Jardim Granite of the Velho Guilherme Suite, eastern Amazonian Craton. *Journal of South American Earth Science*, **(38)**:159-173.
- Lamarão C.N., Rocha K.K.N., Marques G.T., Borges R.M.K. 2013. Quartzo e zircão como marcadores de evolução magmático-hidrotermal do Granito Antônio Vicente, Suíte Intrusiva Velho Guilherme, Província Carajás. *Revista do Instituto de Geociências da USP, Série Científica*, **13**(2):49-68.

- Lamarão C.N., Silva J., Borges R.M.K., Dall'agnol R. 2014. Morphological and compositional variations of zircon and their metallogenic implications: The example of the Jamon, Serra dos Carajás and Velho Guilherme suites, Amazonian Craton. *Brazilian Journal of Geology*, 44. 10.5327/Z2317-4889201400010009.
- Lamarão C.N., Marques G.T., Oliveira D.C., Costi H.T., Borges R.M.K., Dall'Agnol R. 2018. Morphology and composition of zircons in rare metal granites from Brazilian tin provinces. *Journal of South American Earth Science*, **84**: 1-15.
- Lehmann B. & Mahawat C. 1989. Metallogeny of tin in central Thailand: A genetic concept. *Geology*, **7**:426-429.
- Lenharo S.L., Moura M.A., Botelho N.F. 2002. Petrogenetic and mineralization processes in Paleo- to Mesoproterozoic rapakivi granites: examples from Pitinga and Goiás, Brazil. *Precambrian Research*, **119**:277-299.
- Le Maitre R.W. 2002. A classification of igneous rocks and glossary of terms. 2nd Edition, London, 193 p.
- Leite-Santos P.J & Oliveira D.C. 2016. Geologia, Petrografia e Geoquímica das Associações Leucograníticas Arqueanas da Área de Nova Canadá – Província Carajás. *Geologia USP. Série Científica*, **16**(2):37-66
- Lima P.H.A., Lamarão C.N. & Santos M.J.P. 2014. Petrografia, geoquímica e suscetibilidade magnética do Granito Paleoproterozóico São João, Sudeste do Cráton Amazônico, Província Carajás. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências Naturais*, **9**:47-72.
- Loiselle, M.C. & Wones, D.R., 1979. Characteristics and origin of anorogenic granites. In: 11, Geological Society of America, *Abstracts with Programs*, p. 468.
- Mackenzie W.S.; Donaldson C.H.; Guilford C. 1982. *Atlas of igneous rocks and their textures*. New York: Longman Scientific & Technical, John Wiley & Sons, 148p.
- Miller C.F., McDowell S.M., Mapes R.W. 2003. Hot and cold granites? Implications of zircon saturation temperatures and preservation of inheritance. *Geology*, **31**:529-532.
- Melo L.M.C. & Lamarão C.L. 2017. Estudo de cristais de zircão do Granito Rio Xingu, Suíte Intrusiva Velho Guilherme, Província Carajás, por MEV-EDS e suas implicações metalogenéticas. In: SBG, 15º Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém, *Um olhar diferenciado das geociências para a sustentabilidade da Amazônia: Anais* p. 617-621.
- Mesquita C.J.S. 2018. *Química Mineral e Parâmetros de Cristalização do Granito Tipo A Paleoproterozoico Bannach, Província Carajás, Pará*. MS Dissertation, Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, 150p.
- Nachit H., Razafimahefa N., Stussi J.M., Carron J.P. 1985. Composition chimique des biotites et typologie magmatique des granitoides. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, **301**:813-818.

Nachit H., Ibhi, A., Abia, E.H., Ohoud, M.B. 2005. Discrimination between primary magmatic biotites, reequilibrated and neofomed biotites. *C.R. Geosciences*, **337**:1415-1420.

Nery P.H.S. 2019. *Química mineral e condições de cristalização do Granito Gradaús, sul do Pará, Província Carajás*. MS Dissertation, Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, 86 p.

Oliveira D.C., Dall'Agnol R., Barros C.E.M., Oliveira M.A., 2009. Geology, geochemistry and magmatic evolution of the Paleoproterozoic, anorogenic oxidized A-type Redenção granite of the Jamon Suite, eastern Amazon Craton, Brazil. *Can. Mineral*, **47** (6): 1441-1468.

Oliveira D.C., Santos P.J.L., Gabriel E.O., Rodrigues D.S., Faresin A.C., Silva M.L.T., Sousa S.D., Santos R.V., Silva A.C., Souza M.C., Santos R.D., Macambira M.J.B. 2010. Aspectos geológicos e geocronológicos das rochas magmáticas e metamórficas da região entre os municípios de Água Azul do Norte e Canaã dos Carajás – Província Mineral de Carajás, *In: SBG, 45º Congresso Brasileiro de Geologia*, Belém (PA), CD-rom.

Paiva Jr. A.L., Lamarão C.N., Lima P.H.A. 2011. Geologia, Petrografia e Geoquímica do batólito Seringa, Província Carajás, SSE do Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, **41**(2):185-202.

Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, **25**:956-983.

Pinho S.C.C. 2005. *Petrografia e geocronologia da borda ENE do Granito Serra da Queimada e da borda SE do Granito Bom Jardim, Província Estanífera do Sul do Pará*. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.

Pitcher W.S. 1979. The nature, ascent and emplacement of granitic magmas. *J. Geol. Soc. London*, **136**:627-662

Pitcher W.S. 1983. Granite type and tectonic environment. *In: Hsu K. (ed.), Mountain building process*. London, Academic Press, p.19-40.

Rieder M., Cavazzini G., D'yakonov Yu.S., Frank-Kamenetskii V.A., Gottardi G., Guggenheim S., Koval P.V., Muller G., Neiva A.M.R., Radoslovich E.W., Robert J.L., Sassi F.P., Takeda H., Weiss Z., Wones D.R. 1998. Nomenclature of the micas. *The Canadian Mineralogist*, **36**: 905-912.

Rollinson H. (eds.). 1993. *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*. Zimbabwe, Pearson Education Asia. 355p.

Ragland P.C. 1989. *Basic analytical petrology*. Oxford: Oxford University Press, 369 p.

Rossi J.N., Toselli A.J., Basei M.A., Sial A.N., Baez M. 2011. Geochemical indicators of metalliferous fertility in the Carboniferous San Blas pluton, Sierra de Velasco,

Argentina, in: Sial A.N., Bettencourt J.S., De Campos C.P. & Ferreira V.P. (eds). Granite-Related Ore Deposits, Geological Society, London, Special Publications, **350**:175-186.

Santos J.O.S., Hartmann L.A., Gaudette H.E., Groves D.I., Mcnaughton N.J., Fletcher I.R. 2000. A new understanding of the provinces of the Amazon Craton based on integration of field mapping and U-Pb and Sm-Nd geochronology. *Gondwana Research*, **3**(4): 453-488.

Santos J.O.S. 2003. Geotectônica do Escudo das Guianas e Brasil-Central. In: Bizzi, L.A. ET al. (Ed.). Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas e SIG. Brasília: CPRM Serviço Geológico do Brasil, p. 169-226, il.

Santos J.O.S., Hartmann L.A., Faria M.S., Riker S.R., M.M. Souza, M.E. Almeida, N.J. McNaughton 2006. A compartimentação do Cráton Amazonas em Províncias: avanços ocorridos no período 2000–2006. *Anais. 9º Simpósio de Geologia da Amazônia, 2006, CD-ROM*.

Santos P.A., Feio G.R.L., Dall'Agnol R., Costi H.T., Lamarão C.N., Galarza M.T., 2013. Petrography, magnetic susceptibility and geochemistry of the Rio Branco granite, Carajás province, southeast of Pará, Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, **43**: 2-15.

Shand S.J. 1951. *Eruptive rocks their genesis, composition, classification and their relation to ore deposit*. 4ed., London, 488p.

Speer J.A. 1984. Mica in igneous rocks. In: Bailey SW (ed) *Micas. Rev. Mineral. Soc. Am.*, **13**:299-356.

Streckeisen A. 1976. To each plutonic rocks its proper name. *Earth Sci. Rev.*, **12**:1-33.

Tassinari C.C.G. & Macambira M.J.B. 1999. Geochronological provinces of the Amazonian craton. *Episodes*, **22**:174–182.

Tassinari C.C.G. & Macambira M.J.B. 2004. A evolução tectônica do Cráton Amazônico. In: Manteso-neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, C. D. R.; Brito neves, B.B. (orgs.) *Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Beca, 471-485.

Teixeira N.P. 1999. *Contribuição ao estudo das rochas granitoides e mineralizações associadas da Suíte intrusiva Velho Guilherme, Província Estanífera do Sul do Pará*. Universidade de São Paulo (USP). Tese de Doutorado. 508 p.

Teixeira N.P., Bettencourt J.S., Moura C.A.V., Dall'Agnol R., Macambira E.M.B. 2002a. Archean crustal sources for paleoproterozoic tin granites in the Carajás Province, SSE Pará, Brazil: Pb-Pb geochronology and Nd isotope geochemistry. *Precambrian Research*, **119**(1- 4):2257-2275.

Teixeira N.P., Bello R.M.S., Bettencourt J.S. 2002b. Inclusões fluidas do maciço Antônio Vicente, Suíte Intrusiva Velho Guilherme, Província Estanífera do Sul do Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, **32**(1):135-146.

Teixeira N.P., Bettencourt J.S., Dall'Agnol R., Moura, C.A.V., Fernandes C.M.D.F., Pinho S.C.C. 2005. Geoquímica dos granitos paleoproterozóicos da Suíte Intrusiva Velho Guilherme, Província Estanífera do Sul do Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, **35**(2):217-226.

Teixeira M.F.B., Dall'Agnol R., Santos J.O.S., Oliveira, D. C., Lamarão C.N., McNaughton N. J. 2018. Crystallization ages of Paleoproterozoic A-type granites of Carajás province, Amazon craton: Constraints from U-Pb geochronology of zircon and titanite. *Journal of South American Earth Sciences*, **88**:312-331.

Turekian K.K & Wedepohl K.H. 1961. Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust. *GSA. Bull.* (**72**):172-202.

Tuttle O.F. & Bowen N.L. 1958. Origin of granite in the light of experimental studies in the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$. *GSA Memoir*, **74**:1-153p.

Vasquez M.L., Rosa-costa L.T., Silva C.M.G., Ricci P.S.F., Barbosa J.P.O.B., Klein E.L., Lopes E.C.S., Macambira E.M.B., Chaves C.L., Carvalho J.M.A., Oliveira J.G.F., Anjos G.C., Silva H.R. Capítulo 3: Unidades Litoestratigráficas. In: Vasquez, M. L.; Rosa-costa, L. T. da (orgs.) 2008. *Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará: Sistema de Informações Geográficas – SIG: texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico de Recursos Minerais do Estado do Pará*. Belém: CPRM, p. 113-216.

Vasquez M.L. 2006. *Geocronologia em zircão, monazita e granada e isotópos de nd das associações litológicas da porção oeste do Domínio Bacajá: evolução crustal da porção meridional da província maroni-itacaiúnas – sudeste do Cráton Amazônico*. Universidade Federal do Pará (UFPA). Tese de Doutorado. 219 p.

Whalen J.W., Currie K.L., Chappell B.W. 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, **95**:407-419.

Whitney D.L. & Evans B.W. 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, **95**:185-187.

Watson E.B. & Harrison T.M. 1983. Zircon saturation revisited: temperature and composition effects in a variety of crustal magma types. *Earth and Planetary Science Letters*, **64**:295-304.