

# Estudo litogeoquímico dos granitóides do norte do Mato Grosso (Brasil), litogênese do sistema plutônico granítico pós-colisional a intraplaca na porção sul do cráton amazônico

Said Abdallah

Serviço Geológico do Brasil  
CPRM SUREG GO  
Rua 148 - Setor Marista  
Goiânia, GO - Brasil  
CEP 74170-110

said.abdallah@cprm.gov.br

## RESUMO

Através do estudo de litogeoquímica dos granitos localizados no norte do Mato Grosso (Brasil) permitiu identificar características geoquímicas, em relação aos elementos menores e maiores, de séries magmáticas cálcio-alcálica alto K, semelhantes aos granitos tipo A2, possivelmente com origem mantélica contaminado por elementos crustais. A assinatura geoquímica assemelha-se aos granitos de sistemas Pós-colisionais a Pós-orogênicos, alguns tendendo para características geoquímicas de ambiente de sistemas Intraplaca a Anorogênicos. As idades geocronológicas U-Pb situam-se entre o Orosiriano (Paleoproterozóico) até o Calimiano (Mesoproterozóico) e em função da distribuição multielementar e o padrão de elementos terras raras, aplicando-se vários modelos discriminantes, estes apresentam uma mesma origem ou fonte primordial para estas granitogêneses.

**Palavras Chave:** Litogeoquímica, Granitos, Magmatismo pós-colisional

## ABSTRACT

The geochemistry of the granites located in the north of Mato Grosso (Brazil) allowed the identification of geochemical characteristics, in relation to the smaller and larger elements, of high K-calcium alkaline series, similar to type A2 granites, possibly of mantle origin contaminated by crustal elements. The geochemical pattern resembles the granites of post-collision or post-orogenic systems, some of them tending to the geochemical characteristics of the environment of systems Intraplate and Anorogenics. The U-Pb (isotopic geochemistry) geochronological ages are located between the Orosirian (Paleoproterozoic) and the Calymnian (Mesoproterozoic), which suggests, as a function of the multielementar distribution and the pattern of rare earth elements (REE), the same origin or source primordial for these granitogeneses.

**Keywords:** Litogeochemistry, Granites, Pos-collisional magmatism

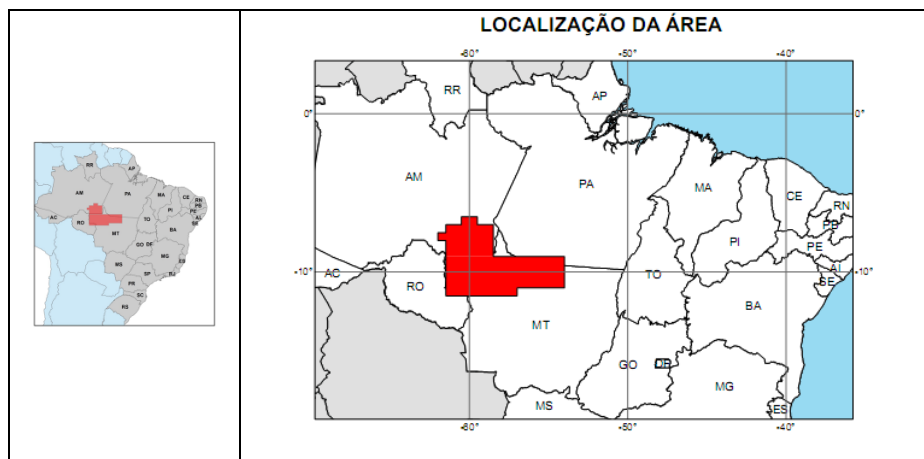
## 1. INTRODUÇÃO

A região de pesquisa abrange o centro-norte e noroeste do Mato Grosso, o extremo sudoeste do Amazonas, indo até a fronteira de Rondônia e Amazonas, constituída pelos interflúvios dos rios Juruena, Teles Pires, Roosevelt, indo até a confluência dos rios Madeirinha, sendo constituído por dados geoquímicos gerados nos projetos Promin Alta Floresta e Arim Metalogenia Jurena - Teles Pires-Aripuanã, aqui designado de Arim PJTP, mapa de

localização figura 1. A amostragem litogeoquímica obtida do projeto Promin abrangeu escala regional 1:250.000, enquanto no projeto Arim foi mais localizada nas proximidades de regiões garimpeiras, escala próxima de 1:750.000. As amostras foram plotadas no mapa da figura 2, com amostras do Promin em preto e Arim em círculo azul, todas georeferenciadas e checadas com outros temas.

O objetivo é estudar as rochas graníticas através da litogeoquímica dos granitos, de modo que há um amplo predomínio de granitoides isótopos, que permitem uma melhor interpretação com aspectos petrográficos. Na primeira etapa trataram-se as análises realizadas no projeto Promin Alta floresta, executada pela CPRM, e

posteriormente foram adicionadas as análises da etapa regional do ARIM Juruena-Teles Pires. A totalização de informações permitiram uma melhor interpretação e definição de situações e aspectos geotectônicos e geoquímicos que podem subsidiar modelos geológicos de mineralização.



**Figura 1**  
Localização da área de estudo que abrange os projetos executados pela CPRM, nos projetos Promin e Arim Juruena-Teles Pires (PJTPA).

Desta forma pretende-se definir e abordar aspectos geológicos e petrogenéticos através dos resultados analíticos de 202 amostras de granitoides, milonitos e ortognaisses, sendo 142 tipicamente isótopas, abrangendo os litotipos

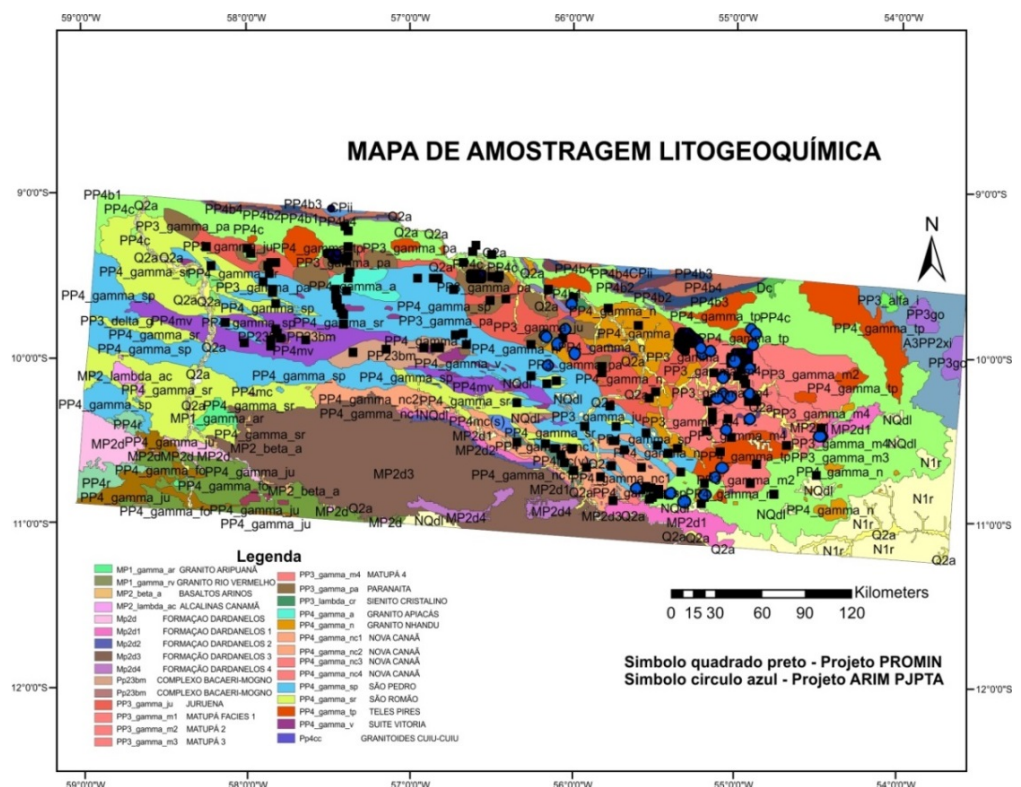
principais de todas as suítes graníticas cartografadas. Assim objetiva-se correlacionar com os dados já existentes e propondo um modelo geoquímico para esta região.

## 2. CONTEXTO GEOLÓGICO

Os terrenos graníticos representam em torno de 70% das litologias cartografadas, e, portanto, constituem o principal material rochoso presentes no extremo norte do Mato Grosso, Brasil. Assim, seu entendimento permite evoluir no conhecimento da geologia regional e na evolução geológica e da ambiência geotectônica. O restante é representado pelas bacias tipo Rift Intracontinental, como exemplo a bacia dos Caiabis; em seguida as vulcânicas ácidas e metassedimentos do grupo Roosevelt, e finalizando as rochas máficas e metamáficas associadas a metassedimentos de alto grau (paraderivadas?), entre 2-5% do total das rochas mapeadas, vide figura 3. A região de estudo distingue-se pela abundância de litotipos graníticos, com amplo predomínio de suítes graníticas, com as seguintes designações litoestratigráficas; Granitoides Cuiu-Cuiu, Suite Matupa, Suite Juruena, Teles Pires,

Granito Nhandu, Paranaita, Apiacás, São Pedro, São Romão, Nova Canaa, Suite Vitória, Sienito Rio Cristalino, e os granitos tipo Rio Vermelho e Aripuanã. As idades destes terrenos graníticos não ultrapassam idades paleoproterozóicas de 1.9 Ga.

O expressivo magmatismo plutônico félsico, de quimismo calcioalcalino de alto potássio, com idades de cristalização no intervalo de 1,9 a 1,54 Ga, (Silva e Abram, 2008), (Souza et al., 2007), é amplamente distribuído por uma área aproximada de 300.000 km<sup>2</sup>, e está invariavelmente, associados a expressivo vulcanismo de aspecto explosivo e contemporâneos, formando pares de plutonismo e vulcanismo subaéreos continental. Desta maneira, os granitos paleoproterozóicos, representado pelas unidades estratigráficas cartografadas como granitoides do Complexo Cuiu-Cuiu, Granito Nhandu, Suite Matupa, Granito São Pedro, Granito



**Figura 2**

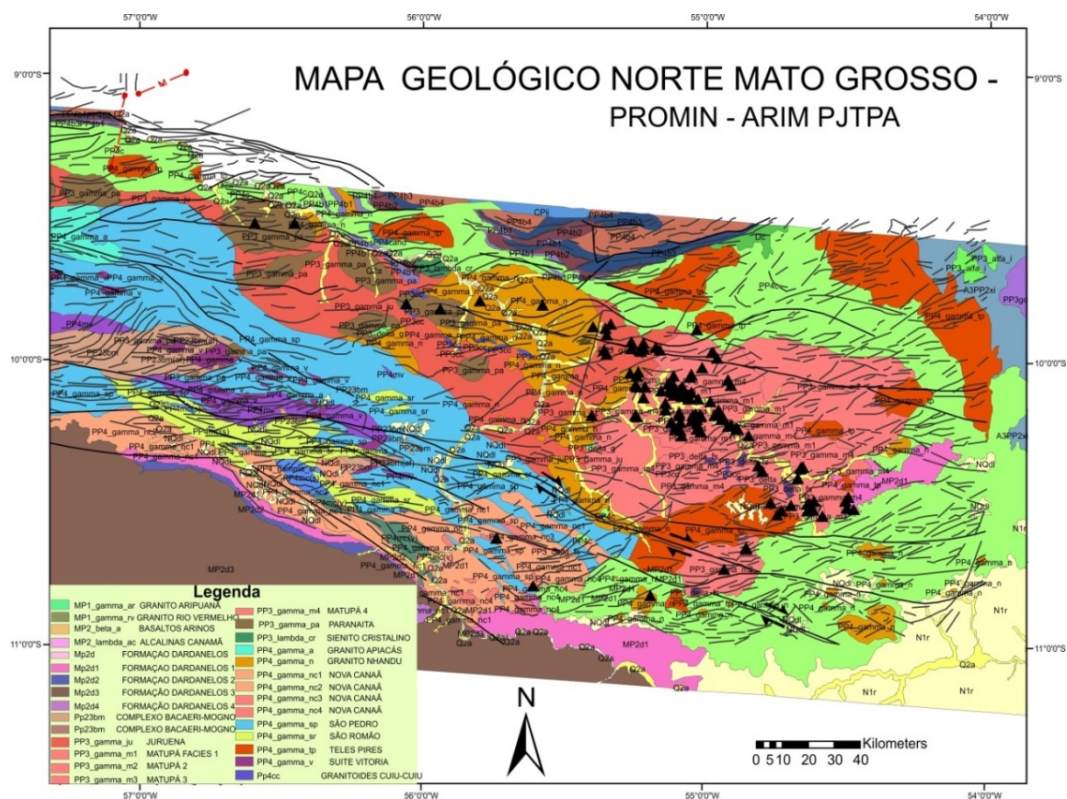
Mapa geológico regional da região estudada, plotadas as amostras geoquímicas na escala 1:250.000 individualizando-se as do Promin e Arim PJTPA (fase reconhecimento, em azul, total de 142 amostras de rochas graníticas típicas das suítes estudadas predominando as texturas isotrópicas.

São Romão, Suíte Paranaíta, Suíte Juruena, Granito Nova Canaã foram englobados na Suíte Intrusiva Juruena. Essas unidades litoestratigráficas mostram relações de contato transicionais, difusas entre um tipo e outro, e composicionalmente, não foram identificadas grandes variações entre elas, contudo é nítida a distinção textural e, conseqüentemente, de intensidade deformacional e metamórfica (Rizzotto et. al., 2015).

Em função disso, os tipos vão desde isotrópicos, amplamente dominantes, áqueles com foliação de fluxo ígneo. A foliação milonítica é oriunda de zonas de cisalhamento dúctil-ductil métricas a quilométricas, formando tipos fracamente foliados a metagranitos com foliação penetrativa até augen gnaisses. Predominam amplamente os monzogranitos subacalinos, mas granodioritos até tonalitos não são raros. Feições de mistura de magmas podem ocorrer e constitui uma característica desses litotipos, além de enclaves microgranulares de composição intermediária e aglomerados de biotita (restitos de fusão?). Além das características similares na petrografia, composição química, feições de trama estrutural e idade de cristalização, exibem também uma mesma assinatura isotópica indicativa de origem por anatexia parcial de crosta pretérita

(Paleoproterozóica e/ou Arqueana) com participação do manto litosférico, (Silva e Abram, 2008).

Dados geocronológicos contidos nos projetos, (Silva e Abram, 2008), (Souza et al., 2007) (Abdallah e Martins, 2007), permitiram categorizar eventos magmáticos de granitogênese. O evento magmático Orosiriano 1 corresponde aos granitos mais antigos da região, compreendendo rochas gnáissicas ortoderivadas, com distribuição localizada, além de granitos foliados e milonitos (zonas de cisalhamentos dúctil a rúptil) e granitoides não deformados, de idade entre 2.1-1.9Ga, que provavelmente representam remanescentes de sistema Sin-colisional. O segundo evento magmático designado Orosiriano 1 tardio é representado, principalmente, pelos granitoides tipo Nhandu e Suíte Matupá. Estudos geocronológicos realizados no Granito Nhandu apontam idades U-Pb entre 1,89 e 1,88 Ga, interpretadas como idade de cristalização magmática. O Evento magmático Estateriano 1, idades de 1,80-1,81Ga, está associado a um plutonismo tipicamente alcalino e anorogênico, representado pelos granitos Paranaíta e sienitos Rio Cristalino e Canamã. Segue-se pelo Evento



**Figura 3**

Dados geocronológicos permitiu individualização três pulsos magmáticos de granitogênese de idade paleoproterozoica (orosiriano a estateriano), geradores de magma félsico com alto K calci-alcálico, discriminados alguns potencialmente com mineralização aurífera (símbolos triângulo são áreas garimpeiras).

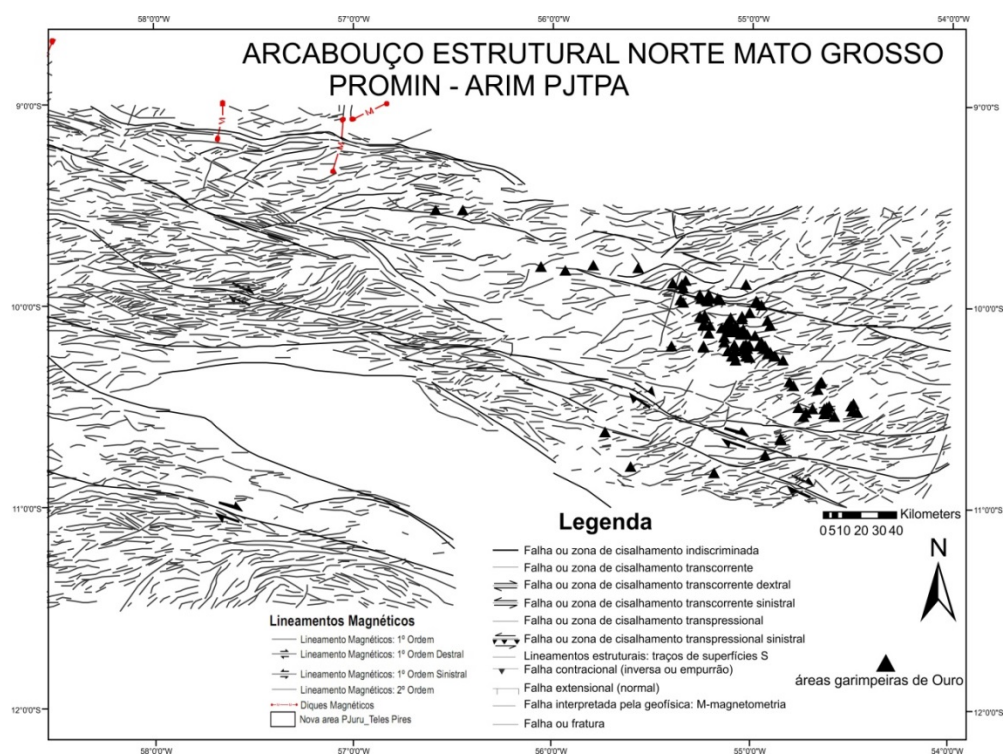
Estateriano 2 mais intenso e expressivo, com idades desde 2,1 até 1,50Ga. Sobreposto a estes ocorrem as bacias mesoproterozóicas intracratônicas continentais; como exemplo a Bacia do Caiabis, representado pela formação Dardanelos nas folhas Aripuanã e Tapaiunas, que possui rochas com estratos sub-horizontalizados e caracterizada por ausência de metamorfismo. Ocorre vulcanismo basáltico na base e sobrepostos por sequência psamo-pelítica, ausência de metamorfismo e deformação dúctil. Possui correlação regional com outras bacias ou sequências e sucessões sedimentares continentais mesoproterozoicas a neoproterozóicas, como as Formações Prainha e Palmeiral no sul do Amazonas.

### 3. METODOLOGIA

As análises químicas foram realizadas nos laboratórios da Acme Analytical Ltd e na SGS Geosol, onde a determinação dos óxidos de elementos maiores realizados por ICP-ES (referência analítica) utilizando-se digestão multiácida, enquanto os elementos menores e traços analisados foram analisados por ICP-MS com ataque por fusão com metaborato de lítio, e

O arcabouço estrutural-geofísico da região pode ser resumido em três direções, segundo trend estrutural preferencial, E-W, NW-SE e NE. As intersecções de estruturas extraídas da análise de lineamentos magnetométricos foram classificadas segundo suas direções, cujas relações de superposição entre lineamentos principais e secundários, sugerem que os lineamentos NE são interceptados pelos E-W, e os leste-oeste são truncados pelos NW. Na figura 4 mostram a configuração estrutural da região de estudo. Localmente, observam-se algumas inversões nessas relações, por exemplo, alguns lineamentos NE que truncam lineamentos E-W.

Au, Pt, Pd por método fire Assay, ICP-ES e ICP-MS. Todas as análises estabelecidas segundo padrões específicos para elementos maiores e elementos menores e traços, onde efetuou-se também testes de duplicata e replicata em algumas amostras. Visando melhor a confiabilidade na interpretação litoquímica utilizou-se dos estudos



**Figura 4**

Arcabouço estrutural da região de estudo, com informações extraídas de aeromagnetometria e imagens sensores radar e SRTM, símbolos triângulos correspondem a áreas extrativas de ouro.

de petrografia e cartografia geológica para subsidiar as pesquisas laboratoriais. Um das técnicas de pesquisa foi a combinação de geofísica gamaespectrometria (canais K,U,Th) com geoquímica de rocha, principalmente na definição de corpos graníticos e sua individualização. Com o apoio de software de geoprocessamento permite-se verificar a acuidade da amostragem no campo e sua relação com parâmetros geofísicos, por exemplo, anomalias de alto K, sempre se relacionam à fácies monzogranito, de modo que todas as amostras foram georeferenciadas.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. ANÁLISE LITOGEOQUÍMICA

A seleção de amostras para estudo esteve sujeitas a critérios rígidos de análise observando-se, principalmente, aspectos texturais dos granitos que indiquem condições estritamente magmáticas, enfatizando-se as paragêneses minerais em equilíbrio, além do grau de intemperismo, metamorfismo e alterações hidrotermais secundárias. Estudos petrográficos dos granitos também contribuem para esclarecimento da evolução geoquímica. Efetuando-se esta correlação pode-se afirmar que a classificação química está coerente em termos de composição modal dos granitos.

Inicialmente, utilizando-se o parâmetro multielementar P x Q no diagrama de classificação química de Debon e Lefort (1982), figura 6, observou-se uma ampla maioria das amostras situadas no campo dos granitos, com a predominância da composição granítica *sensu strictu*, correspondendo a litotipos com alta concentração de K<sub>2</sub>O. O mesmo resultado foi

obtido aplicando-se os parâmetros R1 x R2, segundo De la Roche (1980), figura 7, onde verifica-se que os litotipos apresentam composição química predominante de granitos *sensu strictu*, estes também não modificaram das composições obtidas nos estudos petrográficos.

Informações químicas da aluminosidade dos granitos, conforme gráfico com parâmetros A x B, modificado por Villaseca et al. (1998), figura 8, para classificar rochas plutônicas aplicou-se os parâmetros A e B que se relacionam, respectivamente, com a aluminosidade e a quantidade de minerais máficos (série cafêmica) e expressa, assim o balanço entre os minerais tipicamente peraluminosos e metaluminosos, mostrando claramente a fraca aluminosidade das rochas estudadas. Assim, verifica-se predomínio de características metaluminosas, com leve tendência peraluminosa a fraca peraluminosidade, o mesmo verificado no índice alumina A/CNK, figura 9. Conforme o parâmetro A/(CNK), através

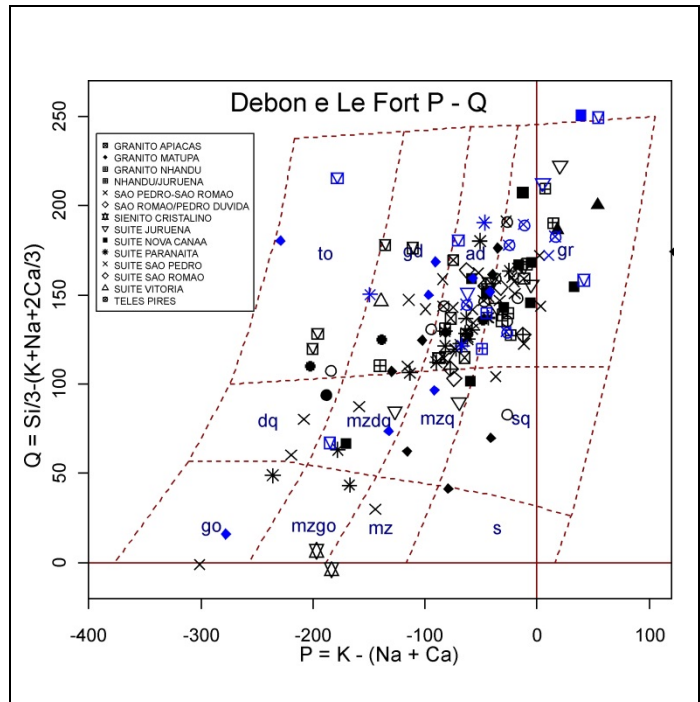


Figura 6

Parâmetros P vs Q segundo Debon e Le Fort (1982) resalta a composição química predominante de granitos “sensu strictu” com dominância de monzogranitos e sienogranitos subordinados por granodioritos. Neste gráfico as rochas sieníticas insaturadas não são classificadas nos campos discriminantes. Estes parâmetros são resultados de fórmula com elementos alcalinos, alcalinos terrosos e silício. O campo dos granitos englobam sienogranitos e monzogranitos.

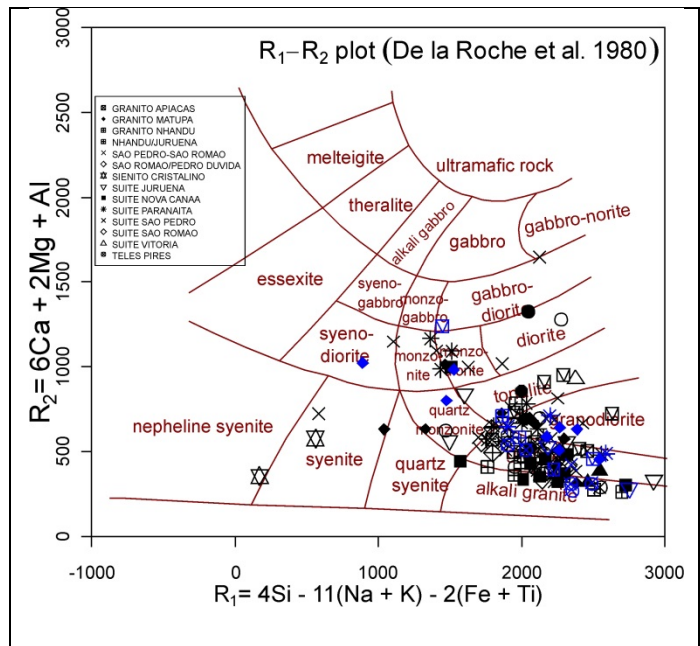


Figura 7

Classificação química de De la Roche et al. (1980), parâmetros R1 e R2 para as rochas graníticas, onde verifica-se que os litotipos apresentam composição química compatível com granitos *sensu strictu*. Aqui as amostras também apresentam composição de tonalitos e granodioritos. Rochas plutônicas insaturadas sieníticas projetam nos campos de sienitos e nefelina sienitos.

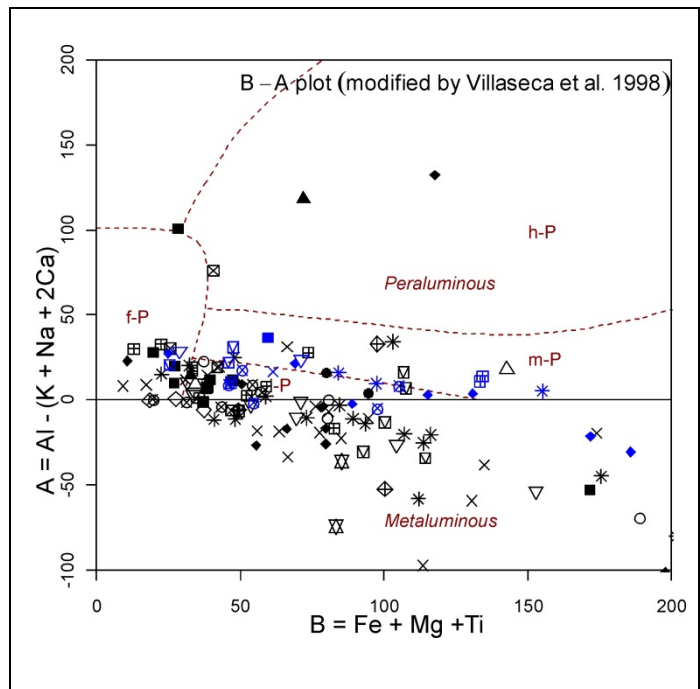


Figura 8

Gráfico de parâmetros B-A modificado Villaseca (1998), individualiza com melhor definição a característica predominante no domínio metaluminoso a fraca aluminosidade, correspondendo a associação cafêmica tipo IV de Lebon e Lefort (1982), onde a fase máfica representada por hornblenda e piroxênio, e campo III com presença de biotita como máfico, indica fraca a média aluminosidade.

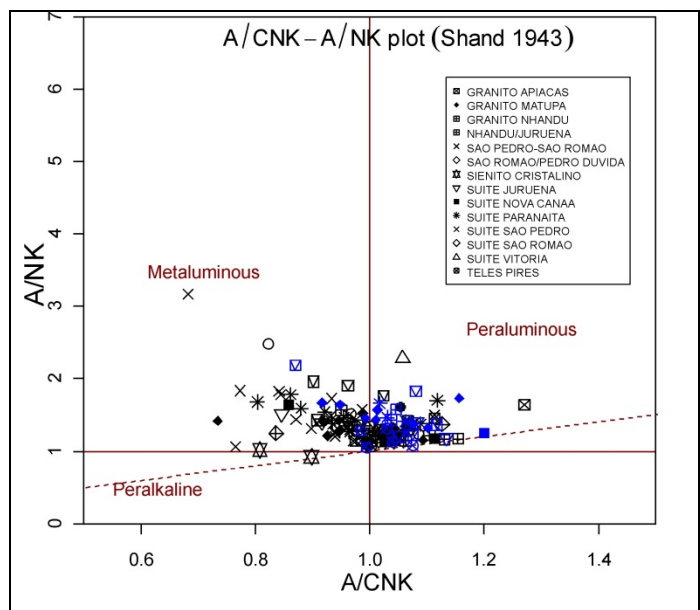


Figura 9

A figura ao lado que reúne a informação relativa à aluminosidade, índice de Shand original, de acordo com o parâmetro  $A/(CNK)$ , e através da classificação alfabética de Chappell e White (1974) para granitóides considera-se o valor de 1,1 como limite de granitos tipo I e tipo S ( $>1,1$ ), e corrobora o carácter metaluminoso a ligeiramente peraluminoso das rochas estudadas.

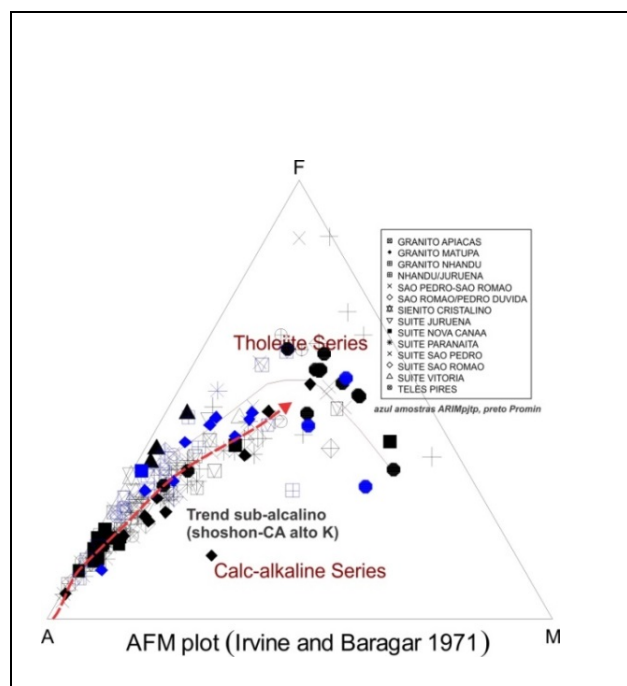


Figura 10

Gráfico AFM, limite de Irvine e Baragar (1971), onde fica individualizado as series magmáticas tipo cálcio-alcálico alto K, com enriquecimento de elemento alcalino ( $K_2O$ ), e com semelhança á série álcali-cálcica de Frost. Este magmatismo, não apresenta características de ambiente Cálcio-alcálico normal, que ocorre em ambientes convergentes de arco magmático. Isto fica exemplificado no AFM quando as amostras tangenciam o limite da curva da série toleítica.

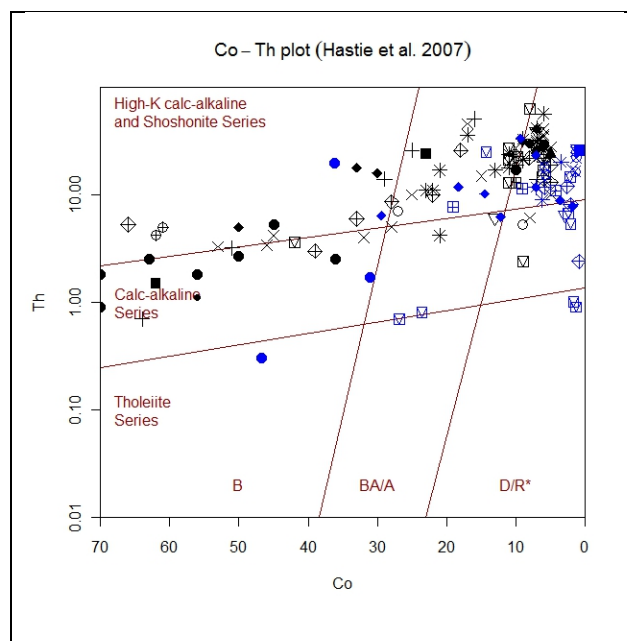


Figura 11

O diagrama das séries magmáticas, Hastie et al.(2007), o limite do cálcio-alcálico a cálcio-alcálico alto K e shoshonítica, corresponde ao limite das rochas granodioríticas – quartzo monzoníticas - graníticas de TAS. O gráfico Co-Th, este último HFSE incompatível, onde confirma-se a característica transicional da série magmática cálcio-alcálico alto K, com aumento de  $K_2O$  em relação a  $SiO_2$  é geralmente típico.



da classificação alfabética de Chappell e White (1974) para granitóides considera-se o valor de 1,1 como limite de granitos tipo I e tipo S (>1,1), corroborando o carácter metaluminoso a ligeiramente peraluminoso das rochas estudadas.

O aspecto da aluminosidade em granitos é relacionado à paragénese de minerais máficos (anfíbólios e piroxênios) e minerais aluminosos (micas e cordierita), segundo Debon e Le Fort (1982) com os parâmetros A/B. Neste modelo as amostras correspondem à associação cafêmica tipo IV, onde a fase máfica representada por hornblenda e piroxênio, e campo III com predomínio de biotita como máfico, e indica fraca a média aluminosidade. As rochas plutônicas insaturadas em relação à sílica, como sienitos com riebeckita (anfíbólio alcalino), e aegerina como

#### 4.2 DIAGRAMAS DE AMBIENTES TECTÔNICO

Os diagramas discriminantes têm utilização muito generalizada em pesquisa geoquímica, como tentativa de definir o provável ambiente geotectônico das rochas graníticas. No entanto, a sua utilização requer alguns cuidados, principalmente, quando se trata de aplicá-los em rochas graníticas, assim, mecanismos que ocorrem em magmas muito diferenciados como mistura de magmas, acumulação de minerais, redistribuição ou perda de elementos por fluxo de voláteis (metassomatismo e hidrotermalismo) e cristalização de fases acessórias ricas em elementos vestigiais, podem encobrir aspectos geoquímicos importantes, (Hanson, 1978; Pearce et al., 1984; Rollinson, 1993). Twist e Hamer (1987) salientam ainda que diferenças na geoquímica oligoelementar podem resultar na característica da fonte (assinatura herdada) e não na diferença entre ambientes tectônicos.

Outro fator crítico, segundo Pearce et al. (1984), que salienta para o fato dos efeitos da diluição elementar pela acumulação gravitacional de plagioclásio em granitos ou seja cumulos em granitos poderem deslocar os campos intraplaca (GIP) e crista-ocêânica (GCO) para o campo de arco-vulcânico (GAV). Ao contrário, os campos GAV e sin-colisionais podem ser deslocados para o campo de GIP ou GCO por acumulação de minerais ferro-magnesianos ou fases acessórias. De modo que a aplicação desta modelagem geoquímica não apresenta obstáculos tendo em

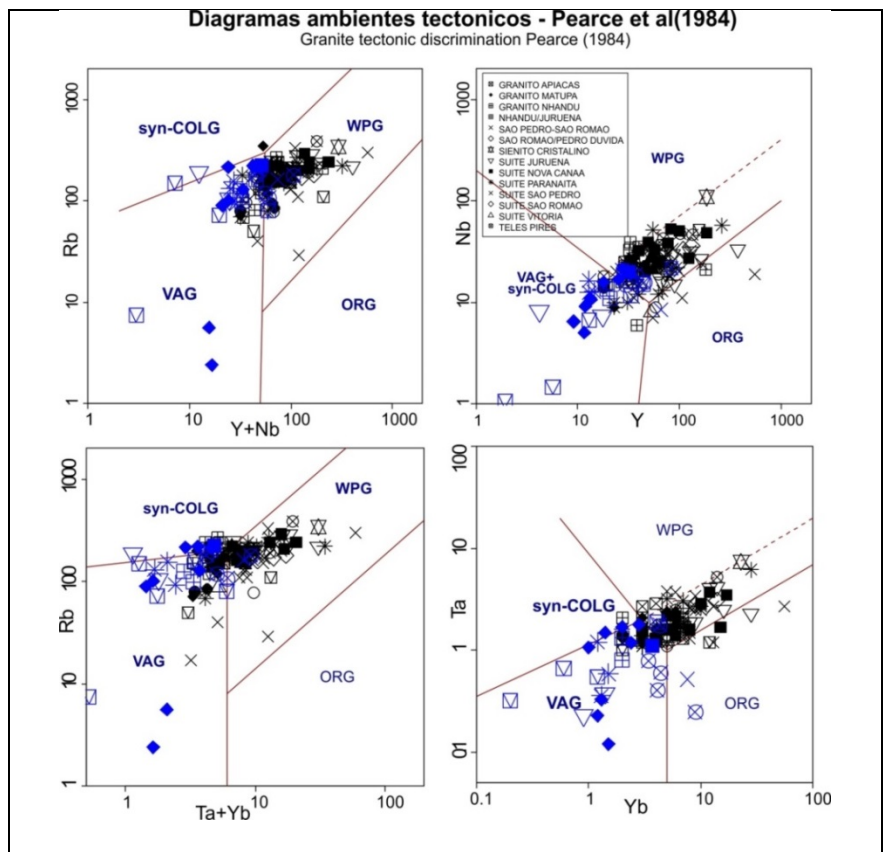
piroxênio, que se situam no limite do campo peralcalino, posicionam no limite do campo IV-V.

Segundo modelos petroquímicos de séries magmáticas, estes granitóides no diagrama clássico AFM, limite toleito - cálcio-alcalino, segundo Irvine e Baragar (1971), projeta-se preferencialmente, no campo cálcio-alcalino alto potássio (figura 10), seguindo um trend subalcalino. Confirmou-se também nos gráficos de Pecerilo e Taylor (1976) e Hastie et. al (2007), figura 11, que correspondem ao campo dos granitóides da série cálcio-alcalina alto K/e shoshoníticos. Estes granitos em outras classificações, como a de Frost, correspondem a uma série alcali-cálcica a alcalina, que é muito próximo ou equivalente ao cálcio-alcalino alto K<sub>2</sub>O.

vista a inexistência de algum tipo alteração mineralógica mais severa e também a inexistência de acumulação de minerais ferromagnesianos nos granitóides.

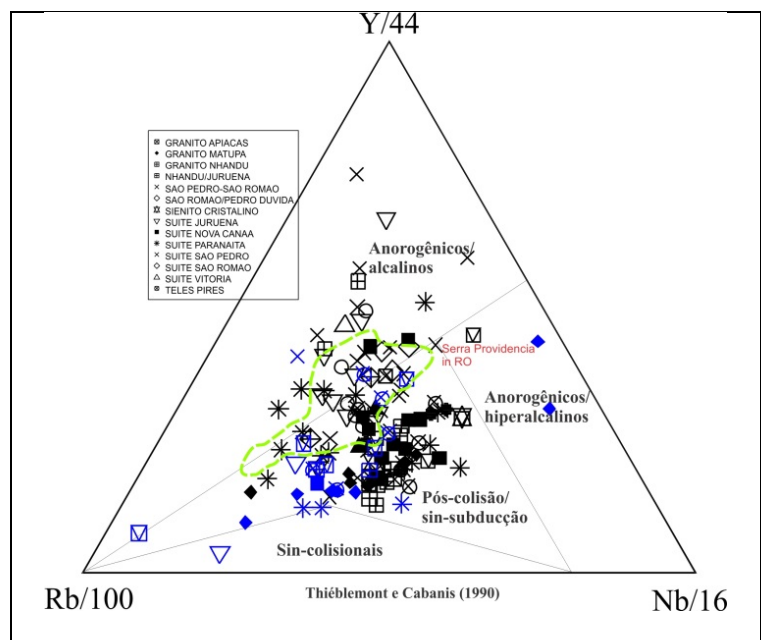
No diagrama discriminante de ambientes tectônicos proposto por Pearce et al. (1984); e redefinido por Pearce (1996), as amostras estudadas se posicionam predominantemente no campo pós-colisional, tendendo para o campo de granitos Intraplaca (figura 12).

Esta hipótese pode ser confirmada pelos diagramas apresentados adiante, Thieblemont e Cabanis (1990), figura 13, que mostra a projeção dos vários litótipos félsicos no campo dos granitóides pós-colisionais, com várias amostras situadas no campo anorogênico alcalino. Como para todos os diagramas discriminantes, as séries de rochas graníticas não podem ser usadas sem uma análise cuidadosa da mobilidade dos elementos. Em particular o Rb, que é um elemento muito usado para diagramas discriminantes em granitóides (e.g. Pearce et al., 1984; Harris et al., 1986, e Brown et al., 1984), sendo no entanto, um elemento facilmente remobilizado na presença de fluidos aquosos, como nos processos de alteração hidrotermal tardimagmática. Porém, este elemento foi utilizado considerando-se que estes efeitos são menos intensos em rochas graníticas do que em rochas básicas; e também pela ausência de alterações hidrotermais significativas.



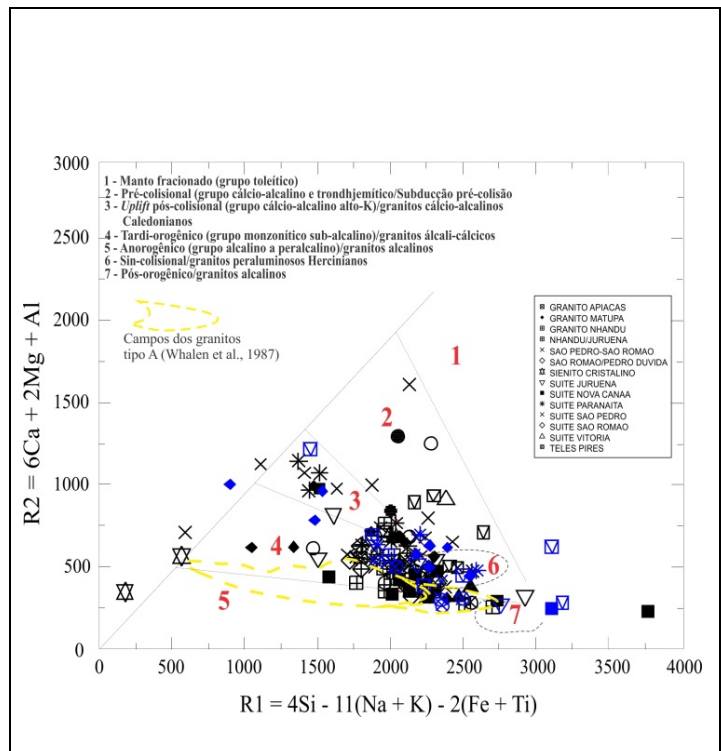
**Figura 12**

Diagrama discriminante de ambiente tectônico (Pearce et al., 1984), com as amostras plotando predominantemente no campo Pós-colisional a Intraplaca.



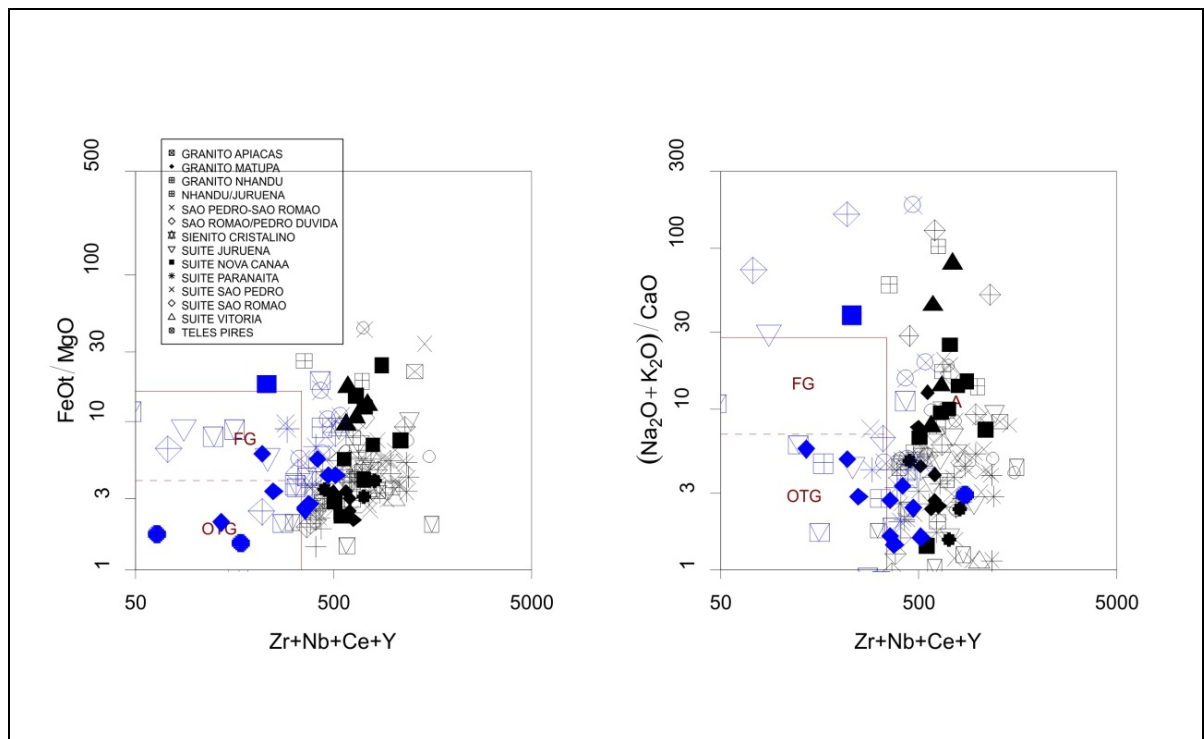
**Figura 13**

Gráfico ternário de Thiéblemont e Cabanis (1990) individualiza-se o campo de granitos Pós-colisional, com o campo Sin-colisional mais enriquecido em Rb e Nb em relação aos Anorogênicos, mais enriquecidos em Y. A modelagem geoquímica dos campos é semelhante aos propostos por Pearce, sendo que aqui se ressalta o ambiente Pos-colisional.



**Figura 14**

Parâmetros R1 versus R2 para ambientes tectônicos, segundo Batchelor e Bowden (1985), com a sobreposição de séries magmáticas graníticas. As amostras analisadas posicionam-se, amplamente nos campos 4 e 3, ou seja, no campo Tardi-orogénico, (grupo monzonítico sub-alcálico) e no sistema Pós-colisional Uplift, ou Pós-soergimento (Grupo cálcio-alcálico alto K, tipo Caledoniano). Observa-se pequena sobreposição com tipo 6 Sin-colisional, como vimos nos gráficos anteriores.



**Figura 15**

Diagrama discriminante de granitos tipo I (I), granitos tipo S (S) e anorogénicos (A) de acordo com Whalen et al. (1987).

No diagrama discriminante de Batchelor & Bowden (1985), figura 14, aplicaram-se os parâmetros R1 e R2, onde os granitoides são semelhantes aqueles cujo magmatismo foi gerado nos estágios finais e tardios do ciclo orogênico. No contexto geotectônico de relaxamento crustal ou no magmatismo intraplaca, a fonte mantélica pode apresentar variações no grau de contaminação crustal ou afetado por reciclagem orogênica crustal.

O enriquecimento dos granitos tipo A em  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  observado por Collins et al. (1982) e Whalen et al. (1987), é também considerado como parâmetro definidor deste tipo de granito, que também se associa a altos teores de Zr, Nb, W, Mo e ETRs, com elevada razão Ga/Al. Na figura 15, as rochas graníticas estudadas possuem características geoquímicas que podem ser considerados como granitoides tipo A de origem infracrustal. No entanto, utilizando-se na coordenada X a razão Ga/Al, esta característica tipo

A não fica evidente, posicionando-se no limite dos campos dos granitoides tipo I e S fraccionados e tipo A.

Exemplos de estudos da gênese de granitos e de ortogneisse do tipo A2, de idade neoproterozóicos são bastante citados na literatura. Segundo este modelo geoquímico, verificou-se que esta característica híbrida entre IS e A também ocorre, sendo que os mesmos plotam neste limite, não ficando bastante evidente a característica do aumento da razão Ga/Al, como nos do tipo A tipicamente alcalinos. Daí reforça-se também, a tese de granitogênese com forte contaminação de material crustal, no caso o alumínio, ou seja, mostram que os granitos tipo A2, posicionam na transição de tipos IS fraccionados para A, dada esta mistura de material crustal e mantélico. Destaca-se que a suite Serra da Providência, do evento Calimiano, também apresenta este caráter híbrido nestes diagramas de Whalen, invariavelmente, plotando na transição entre os tipos IS e A alcalino.

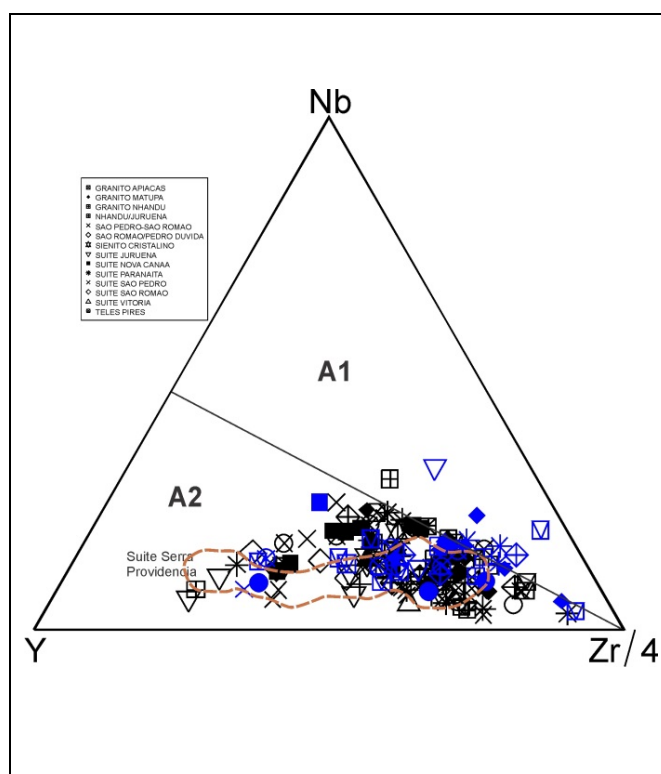


Figura 16

Diagrama triangular Y:Nb:Zr/4, segundo Eby (1992), utilizados para discriminar entre os granitos do tipo A: A1 (derivado de fonte derivada do manto) e A2 (fonte crustal). Nesse diagrama, a linha corresponde à taxa  $Y/Nb = 1,2$ . Discriminamos aqui o campo dos granitos Serra da Providência em linha tracejada, sobrepondo aos granitos do Paleoproterozoico, contendo as mesmas características do tipo A2. De fato, o tipo A2 são enriquecidos em HFSE, principalmente Y e Zr.

Segundo Eby (1992) granitoides do tipo A podem ser divididos em dois grupos químicos com base na abundância de elementos traços incompatíveis HFSE e em especial a razão Y/Nb. O grupo A1 tem razões  $Y/Nb < 1,2$  e representam diferenciados de fontes como aquelas de basaltos de ilhas oceânicas, mas posicionados em ambiente

Intra-placa ou Rift continental. O grupo A2, tem  $Y/Nb > 1,2$  que é o caso das amostras estudadas, e representa diferenciado de magmas derivados de crosta continental ou crosta *underplated* que passou por um ciclo de colisão continente-continente ou magmatismo de arco de ilha. As amostras plotadas nos diagramas de classificação

proposto por Eby (1992)  $Y:Nb:Ce$  e  $Y:Nb: 3*Ga$ , figura 16, caem todas no campo de granitos tipo A2 revelando que sua fonte foi afetada por

contaminação crustal, ou seja, plotam como rochas provenientes de magmatismo de fonte mantélica com assimilação de material crustal.

## 5. DISCUSSÃO

### 5.1 ASPECTOS GEOQUÍMICOS DE GRANITOS TIPO A

A designação clássica de granitos tipo A está associado a granitos e sienitos alcalinos a peralcalinos, anorogênicos e anidros (Loiselle and Wones 1979, Pitcher 1983 e Brown et al. 1984). O enriquecimento dos granitos tipo A em  $Na_2O+K_2O$  observado por Collins et al. (1982) e Whalen et al. (1987), é também considerado como parâmetro definidor deste tipo de granito, que também se associa a altos teores de Zr, Nb, W, Mo e ETRs com elevada razão Ga/Al.

O enriquecimento de HFSE (High Field-Strength Elements) foi enfatizado por Eby (1992), que identificou dois grupos de rochas de granitos tipo A: tipo A1, relacionado a fontes do tipo OIB (Ocean Island Basalts), e A2, relacionado a fontes afetadas por subducção ou fonte com contaminação crustal. Por sua vez, King et al. (2001) reconheceu também granitos tipo A baseados nas altas concentrações de  $Fe/(Fe + Mg)$ , de elementos terras raras e de alguns elementos traço, tais como Ga e Zn. Granitos tipo A são classicamente reconhecidos como rochas anorogênicas. No entanto, os dados apresentados por diversos autores nas últimas décadas (Harris et al., 1986; Sylvester 1989; Bonin, 1990; Bonin, 2007; Nardi & Bonin, 1991; Bitencourt & Nardi, 2000) indicam que a maioria dessas rochas são formadas também em cenários Pós-

colisionais. Granitos tipo A são em geral descritos como produtos de fusão da crosta (Haapala & Rämö 1992, Dall'Agnol et al., 2006), ou fusão de crosta metassomatizada (Martin, 2006).

Interpretações produzidas por Silva e Abram (2008) ressaltaram que o granito Teles Pires situa-se no campo intraplaca e do tipo A, já as características das alcalinas do Rio Cristalino, representam rochas com alto teor de  $Na_2O$ , alto alumina, índice agpático inferior a 1 e baixos teores de MgO interpretada como granitos Pós-colisionais. Nos diagramas multi-elementares, normalizados em relação ao manto superior, revelam um enriquecimento nos elementos de alto campo de força HFSE (Zr, P, Nb, Th e U) e um empobrecimento em Ti e elementos LILE, como Sr e Ba. O diagrama de ETR normalizados ao manto primitivo mostra enriquecimento de ETRL e empobrecimento acentuado de ETRP. Ambiente do tipo arco magmático é indicado apenas para a Suite intrusiva Paranaita, que do ponto de vista geoquímico observa-se que as rochas descrevem um trend de afinidade cálcio-alcalina e possuem padrão de ETR similar ao de granitos de arcos vulcânicos, enquanto o diagrama multielementar dessas rochas, MORB-normalizado, exibem pronunciada anomalia negativa de Nb, o que sustentaria a hipótese de arco magmático.

### 5.2 GRAU DE FRACCIONAMENTO DE HFSE (High Fields Strength elements)

A utilização de elementos incompatíveis, tanto o LILE (Large Ion Litophile elements) como HFSE (High Fields Strength elements) nos estudos geoquímicos, deve-se por constituírem elementos que nos processos de cristalização fraccionada, tendem a permanecer estáveis no líquido magmático. No entanto, o comportamento geoquímico em relação aos processos pós-magmáticos são distintos, os HFSE são, normalmente, de baixa mobilidade em relação aos processos metamórficos e alterações hidrotermais, assim, podendo ser aplicado com maior grau de confiabilidade.

Os resultados obtidos neste trabalho, aplicando-se este grupo de elementos químicos no estudo dos granitos, indicaram, amplamente, condições de geração de magma granítico em ambientes de Pós-colisão, isto indistintamente,

para a maioria das suítes e granitoides analisados. Nos gráficos do grau de fraccionamento de elementos HFSE, proposto por Thiéblemont & Tegye (1994), figuras 17A e 17B, dentro da abordagem de elementos incompatíveis HFSE utilizou-se as razões de Nb/Zr e Ta/Zr, normalizados ao manto primitivo de McDonough & Sun (1995). Assim, os resultados caracterizaram, preponderantemente, o ambiente de magmatismo Cálcio-alcalino com contaminação crustal e geração de magma granítico pós-colisional do tipo A2, e subordinadamente tipo A1.

Nas razões Ta/Zr, gráfico figura 17B, as amostras tendem a posicionar mais no limite do campo C, ou seja, os clássicos granitoides A1, Alcalino e Intraplaca, possivelmente indicando um maior enriquecimento em Ta, devido a maior incompatibilidade deste elemento neste tipo de

magma, com tendência em fixar em líquidos magmáticos. O maior fracionamento de Ta indica um aumento na quantidade de álcalis, daí,

refletindo no aumento da alcalinidade destes granitos, haja vista esta tendência já mostrada em interpretações anteriores.

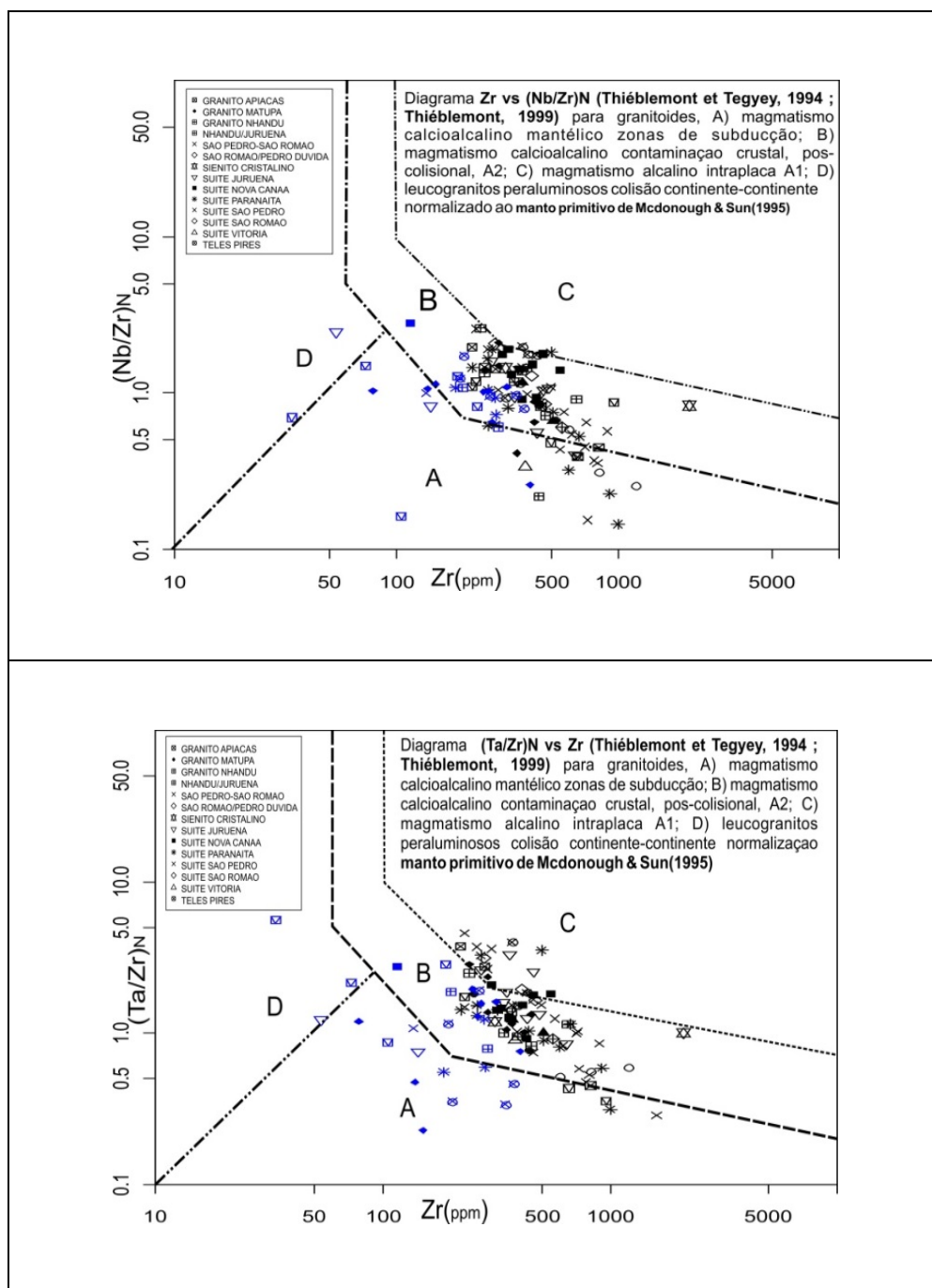


Figura 17 (A e B)

Diagramas do grau de fracionamento de HFSE (segundo Thiéblemont e Tegye (1994) aplicados nos granitos estudados. Confirma-se as condições de formação de magma em ambiente pós-colisional.

### 5.3 GRAU DE FRACIONAMENTO DE ETRS

Os estudos da aplicação petrogenética dos elementos terras, designados de ETRS, são considerados como os últimos elementos traços solúveis e relativamente imóveis durante o metamorfismo de baixo grau, intemperismo e alteração hidrotermal. Além disso, estudos mostraram que soluções hidrotermais possuem

menos quantidades de ETR em relação às rochas fontes reservatórios, sendo assim, atividades pós-magmáticas, como alteração hidrotermal não é esperada ter efeito expressivo na química original da rocha. Entretanto, os ETRS não são totalmente imóveis e deve-se ter atenção na interpretação dos padrões de ETRS de rochas fortemente alteradas ou

metamorfizadas. Contudo padrões de ETRs, mesmo em rochas levemente alteradas, podem indicar a composição original da fonte inalterada e um consistente grau de confiabilidade pode ser aplicado no significado dos picos e inclinações dos padrões espectrais de ETRs.

Os resultados mostraram que comparando-se os padrões de ETR do projeto Promin (cor preto), e em azul da etapa ARIM, exceto duas amostras em azul, que encontra-se em áreas de intenso hidrotermalismo, os padrões observados estão concordantes, observando-se padrões semelhantes detectados em ambos projetos. Os

padrões de ETR dos granitoides estudados, normalizados ao manto primordial figura 18, mostram semelhanças nas duas amostragens e apresentando padrões ligeiramente subparalelos e mais enriquecidos em ETRL em relação aos ETRP e com acentuadas anomalias negativas de Eu. Apresentam fraco a moderado fracionamento de etr, figura 19, sendo estes padrões ou assinatura geoquímica semelhante àquelas observadas em rochas oriundas de magmatismo pós-orogênico a anorogênico. Nos diagramas multielementares as amostras exibem discreta anomalia de Nb e acentuada anomalia negativa de Ti.

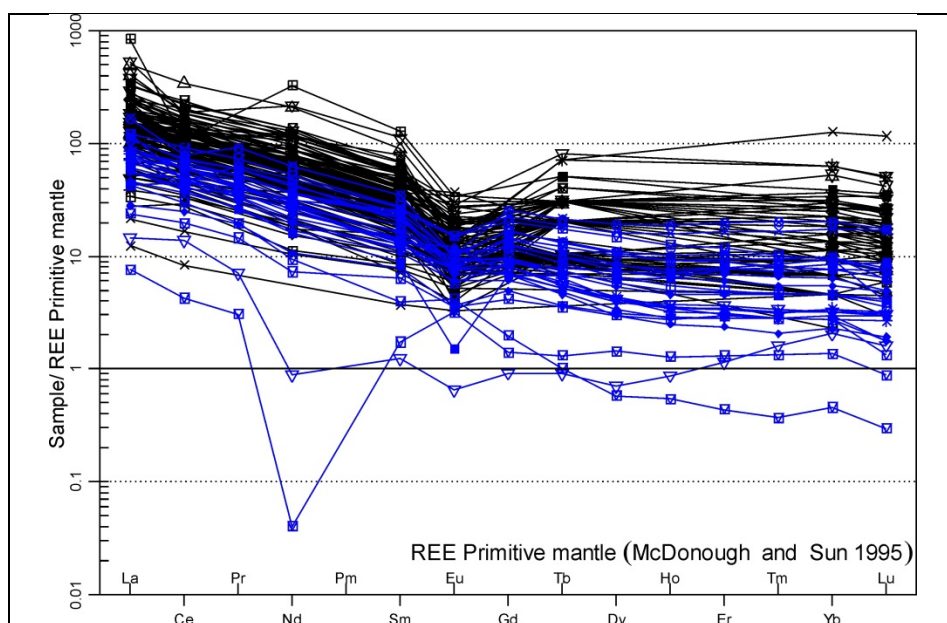


Figura 18

Padrão de ETRs para granitoides estudados, nos projetos Promin (preto) e Arim (azul).

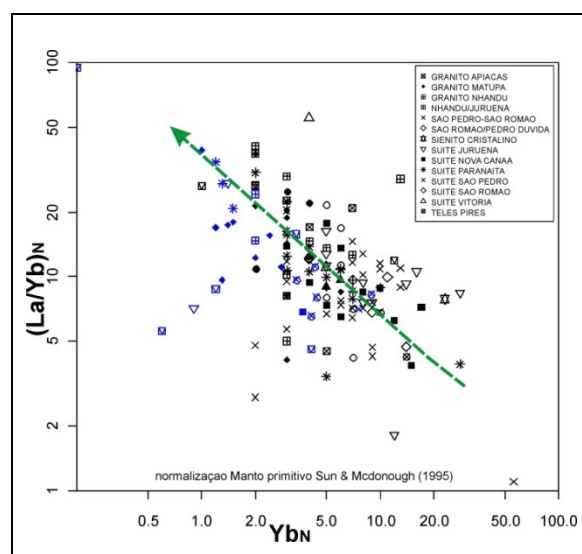


Figura 19

Gráfico do grau de fracionamento de ETR expresso pela concentração de um ETR leve(La) dividida pela concentração de ETR pesado (Yb). Ambos elementos são normalizados ao manto primitivo de Sun & Mcdonough(1995). A razão  $(La/Yb)_N$  é plotada contra  $Yb_N$  num gráfico bivariente que representa a medida do grau de fracionamento do ETR com a variação no conteúdo ETR pesado. Assim, observa-se fraco a moderado enriquecimento dos elementos terras raras leves em relação aos elementos terras raras pesados com  $(La/Yb)_N$ , sugerindo fracionamento durante cristalização magmática.

## 6. CONCLUSÕES

A partir dos estudos litogeoquímicos associados a estudos de petrografia de rochas e dados de campo, permitiram sugerir que os sucessivos eventos magmáticos formadores de magma granítico, provavelmente, tiveram processos geológicos e geoquímicos bastante semelhantes, no tocante à análise dos elementos incompatíveis HFSE e elementos terras raras (etr). Os granitos formados no evento mais antigo (Orosiriano) até os de idade Calimiano (Mesoproterozóico) apresentam semelhanças geoquímicas bastante significativas, principalmente, em relação à fonte do magma e processos evolutivos de cristalização magmática. Estas características elencadas permitiram sugerir como principal ambiente geotectônico à semelhança com ambientes Pós-colisionais tendendo para situação de magma geradora em condições Intraplaca.

Desta forma, muito provável, que os eventos magmáticos graníticos, apresentam distribuição regional por toda porção sul e sudoeste do cráton amazônico, cujas semelhanças geoquímicas e petrogenéticas transcendem aos limites das províncias estruturais e

geocronológicas e são identificadas nos eventos ou períodos geocronológicos, deste Orosiriano, Estateriano até o Calimiano. Comparando-se os eventos graníticos ocorrentes nos projetos ARIM Tapajós e ARIM Aremca, corresponde a província geocronológica pré-Tapajós. Nestes identificaram-se eventos magmáticos graníticos semelhantes em idades e geoquímica de elementos traços incompatíveis, permitindo sugerir um modelo geotectônico bastante semelhante.

Desta forma, sugere-se que o mesmo processo geoquímico pode ter se repetido em períodos geológicos distintos e estiveram impressos nas regiões comparadas, sendo possível afirmar em um aumento nas idades em direção ao ARIM Renca. De modo que não seria erro algum afirmar tratar-se de evento com possibilidades de fusões sucessivas, gerando pulsos magmáticos após colisões, ou subsequente ao sistema de arco magmático Orosiriano e Sideriano. Este modelo gera granitos Pós-colisionais nas fases de relaxamento e soerguimento crustal e representam processos magmáticos que consolidaram a infracrosta do cráton paleoproterozóico.

## 7. REFERÊNCIAS

- Abdallah, S., 2008. Distribuição e ocorrência do Magmatismo Serra da Providência uma associação tipo AMCG na porção oeste do Cráton Amazônico. Anais do Congresso Brasileiro de Geologia (SBG), Curitiba, p. 517.
- Abdallah, S., Martins, E.G., 2007. Geologia e recursos minerais da Folha Juína (SC.21-Y-C). Folha Juína, escala 1:250.000., Convênio CPRM/SICME-MT), 98p.
- Batchelor, R.A., Bowden, P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid series using multicationic parameter. *Chem. Geol.* 48:43-55.
- Bonin, B., 1990. From orogenic to anorogenic settings: evolution of granitoid suites after a major orogenesis. *Geological Journal (W.S. Pitcher Special Issue)*, 25, 261-270.
- Bonin, B., 2007. A-type granites and related rocks: Evolution of a concept, problems and prospects. *Lithos*, 97 (2007), pp. 1-29.
- Boynton, W.V., 1984. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: Henderson P. (Ed.), *Rare earth element geochemistry*, Elsevier, 63-114.
- Brown, G.G.C., Thorpe, R.R.S., 1984. The geochemical characteristics of granitoids in contrasting arcs and comments on magma sources. *Journal of Geological Society*. 141, 413- 426.
- Debon F., LeFort, P. 1988. A cationic classification of common plutonic rocks and their magmatic associations: principles, method, applications, *Bull. of Mineral.*, 111:493-510.
- De La Roche, H., Leterrier, J., Grandclaude, P., Marchal, M. 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1-R2 diagrams and major elements analysis its relationships with current nomenclature. *Chemical Geology*, 29:183-210.
- Eby, G.N., 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications. *Geology* 20, 641-644.
- Frost, C.D., & Frost, B.R., 2011. On Ferroan (A-type) Granitoids: their Compositional Variability and Modes of Origin. *Journal of Petrology*, Volume 52; 1, 39-53.
- Irvine, T.N., Baragar, W.R.A., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal Earth Science* 8, 523-548.
- Loiselle, M.C., Wones, D.R., 1979. Characteristics and origin of anorogenic granites. *Geological Society Amsterdam*, Abstract Programs 11, 468.
- Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks, *J. Petrol.*, 25:956-983.
- Peccerillo A. & Taylor S.R. 1976. Geochemistry of Eocene calcalkaline volcanic rocks from the Kastamanu Area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58:63-81.



- Rizotto e Oliveira (2015) Relatório da 1ª fase do Projeto Geologia e Metalogenia da Província Juruena - Teles Pires - Aripuanã, relatórios internos de campo, Goiânia, CPRM, 75p.
- Sun, S.S., McDonough, W.F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A.D. & Norry, M.J. (Eds.), *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society Special Publication 42, 313–345.
- Silva M.G. & Abram M.B. 2008. Projeto Metalogenia da Província Aurífera Juruena-Teles Pires. Informe de Recursos Minerais. Série Ouro, 16. Programa Geologia do Brasil - PGB. CPRM Goiânia.
- Souza, J.O., Frasca, A.A.S., Oliveira, C.C. 2004. Projeto Província Mineral de Alta Floresta. Geologia e Recursos Minerais das folhas Rio São João da Barra (SC.21-V-D), Alta Floresta (SC.21-X--C), Ilha 24 de Maio (SC.21-Z-A); Vila Guarita (SC.21-ZB), estados de Mato Grosso e Pará. Escala 1: 250.000. Brasília: CPRM.
- Souza, J.O., Oliveira, C.C., Albuquerque, M.C., Abreu Filho, W., Martins, E.G., Abdallah, S., Araújo, E.S., Lacerda Filho, J. V. 2007. Projeto Noroeste de Mato Grosso. Folhas Juina, Aripuanã, Tapaiunas. Escala 1:250.000. Brasília: CPRM
- Thiéblemont D., Cabanis B., 1990. Utilisation d'un diagramme (Rb/100)-Tb-Ta pour la discrimination géochimique et l'étude pétrogénétique des roches magmatiques acides. *Bull. Soc. Géol. France*, 8:23-35.
- Thiéblemont, D. and Tegye, M. 1994. Geochemical discrimination of differentiated magmatic rocks attesting for the variable origin and tectonic setting of Calc-alkaline magmas. *Comptes rendus de l'Académie des sciences. Serie 2, Mécanique, physique, chimie, sciences de l'univers, sciences de la terre*, 319(1), pp. 87-94.
- Whalen, J.B., Currie, K.L., Chappell, B. 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology.*, 95,407-419