

# PETROGRAFIA E LITOGEOQUÍMICA DAS ROCHAS DO EMBASAMENTO CRISTALINO DA REGIÃO DE GRANJA – CE

*Ticiano José Saraiva dos Santos<sup>1,2</sup>; José de Araújo Nogueira Neto<sup>1,2</sup>;  
Allen H. Fetter<sup>3</sup>; Peter Christian Hackspacher<sup>3</sup>.*

## Resumo

*O embasamento do Domínio Médio Coreaú, porção extremo noroeste da Província Borborema, é caracterizado com base em estudos petrográficos e análise química de elementos maiores, em três seqüências. A primeira corresponde a ortognaisses de natureza tonalítica-trondhjemítica-granodiorítica, a segunda é formada por granulitos de natureza orto e paraderivada, respectivamente correspondendo aos granulitos máficos e enderbitos e aos kondalitos (sillimanita granada gnaisses). A terceira seqüência é formada pelos migmatitos resultantes da anatexia dos gnaisses da suíte TTG.*

## Abstract

*The basement of the Médio Coreaú, situated in the northwest part of the Borborema Province, is characterized by three sequences, with based petrographic and geochemical analyse of major elements: a) ortho e paraderived gneiss tonalite-granodiorite-trondhjemite affinity; b) granulites, enderbite and kondalites (sillimanite- garnet gneiss); c) migmatites, partial melting resulting from TTG suite.*

## Introdução

O embasamento da região de Granja é formado por gnaisses de diferentes composições, migmatitos e granulitos. A cartografia em semi-detalle mostra que três unidades podem ser individualizadas de acordo com suas características petrográficas e litogeoquímicas.

De maneira geral, as principais rochas do embasamento correspondem a: biotita gnaisses, anfibólio gnaisses, anfibolitos, leucogranitos, granulitos máficos e enderbíticos, kinzigitos/kondalitos, migmatitos e uma associação particular de muscovitas quartzitos milonitizados e quartzitos cataclasados. É adotado aqui para o embasamento da região noroeste do Ceará, um agrupamento de famílias de rochas englobando gnaisses, granulitos e migmatitos.

A região é cortada por grandes zonas de cisalhamento transcorrente NE-SW e de cavalgamentos para NW e retroempurrões para SE, que possibilitaram um posicionamento lateral de rochas de diferentes idades e grau metamórfico. Estas zonas de cisalhamento podem também marcar limites de terrenos no interior do embasamento com diferentes afinidades geoquímicas e geocronológicas.

1 Instituto de Geociências - UNICAMP - Cx. Postal 6152 CEP - 13.083 - 970 Campinas - SP. E-mail: [ticiano@ige.unicamp.br](mailto:ticiano@ige.unicamp.br)

2 Pós graduação em Geologia Regional IGCE/UNESP

3 Departamento de Petrologia e Metalogenia IGCE/UNESP. Cx. Postal 178 - Rio Claro (SP) 13.506-900

Neste trabalho é abordado uma caracterização petrogenética das rochas constituintes do embasamento da região de Granja, baseado em dados petrográficos e de análise química de elementos maiores.

## Geologia Regional

A Província Borborema, recentemente dividida em domínios geotectônicos neoproterozóicos, é formada por blocos crustais amalgamados durante a orogênese (colagem) brasileira. A porção norte da Província, acima do Lineamento Patos, é subdividida em três grandes Domínios, a saber: Médio Coreau, Ceará Central e Rio Grande do Norte (Brito Neves, 2000). Nesta Província, destacam-se diversos maciços de idade Arqueana-Paleoproterozóica (Rio Piranhas – São José de Campestre e Pernambuco-Alagoas) (Brito Neves 1983; Van Schmus *et al.*, 1995; Dantas *et al.* 1995; Dantas *et al.*, 1998; Santos *et al.*, 1998). Destarte, tem-se no Domínio Ceará Central rochas gnaissicas de idade arqueana (Terrenos Mombaça e Maciço de Tróia-Pedra Branca) (Fetter, 1999) e paleoproterozóica inferior a médio (Tauá-Santa Quitéria) (Fetter, 1999; Martins, 2000). Rochas metavulcanossedimentares de idade Mesoproterozóica, estão registradas na Faixa Orós-Jaguaribe (Sá, 1991; Van Schmus *et al.*, 1995) (Figura 1).

Nesse contexto geotectônico da Província Borborema, insere-se o Domínio Médio Coreau, situado na porção extremo noroeste do Estado do Ceará. O embasamento cristalino deste Domínio tem recebido várias denominações, porém, sempre representando uma associação de rochas ortoderivadas constituída por gnaisses diversos, migmatitos e granulitos.

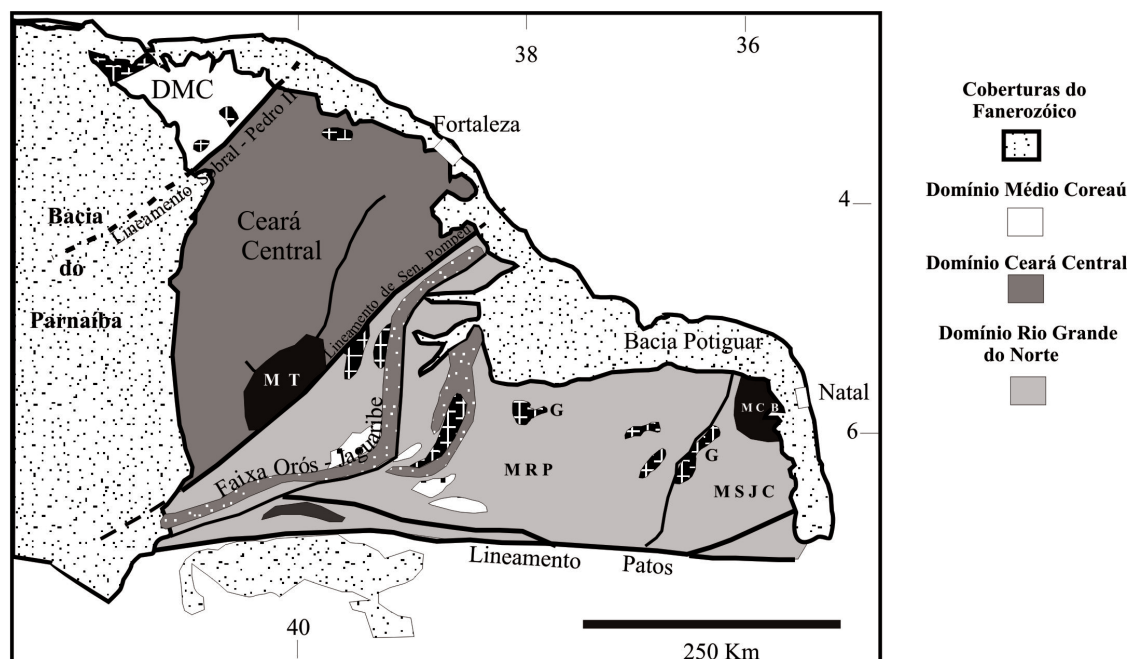


Figura 1 – Domínios geológicos da porção norte da Província Borborema (modificado de Fetter, 1999)

As idades mais antigas para o embasamento do Domínio Médio Coreau foram determinadas por Hackspacher *et al.* (1991) e Santos (1993), em ortognaisses próximos ao distrito de General Tibúrcio (isócrona Rb/Sr de  $3.134 \pm 94$  Ma.) e migmatitos da localidade de Estreito (isócrona Rb/Sr de  $2.235 \pm 71$  Ma). Os autores interpretam que a evolução inicial destas rochas ocorreu na orogênese liberiana (3,1 a 3,3 Ga) e a idade de 2.300 Ma. poderia representar tanto acreção no Paleoproterozóico como também um retrabalhamento crustal.

Novos dados pelos métodos U/Pb e Sm/Nd mostraram que as rochas, ou seus protólitos, do embasamento do Domínio Médio Coreau foi cristalizado ao redor de 2.28 - 2.35 Ga, a partir da fusão de um manto empobrecido como indicado pelos valores de epsilon Nd positivo (Santos, 1999; Fetter *et al.*, 2000)

## Petrografia

O embasamento da região de Granja pode ser dividido em três seqüências, com base em dados de campo, geocronologia Rb/Sr, associados ao estudo geoquímico e petrográfico aqui apresentado. Deste modo, tem-se a Seqüência I, representada por uma suíte de rochas com afinidade TTG; a Seqüência II, composta de granulitos, kondalitos e kinzigitos e; Seqüência III, formada pelos migmatitos (Figura 2).

a) *Ortognaisses do Tipo TTG* - Este conjunto é composto por ortognaisses com afinidade tonalítico-trondjemítico-granodiorito (TTG) aflorante nas regiões de Pitimbú, Adrianópolis, Tabainha e principalmente entre Gal. Tibúrcio e Viçosa do Ceará (Figura 2). Esta seqüência já havia sido individualizada por Korpershoek *et al.* (1979), como embasamento da área da Mina Pedra Verde, denominando-a de Formação Tope, a sul de Viçosa do Ceará.

A maior parte das rochas dessa seqüência são classificadas como biotita gnaisses e anfibólio gnaisses, apresentando coloração cinza claro a cinza escuro. A deformação nessas rochas nem sempre é intensa, tendo-se em alguns locais uma foliação bem incipiente. Corpos anfibolíticos com espessura inferior a 3 metros ocorrem intercalados concordantemente ao pacote gnaíssico.

De forma geral, nos gnaisses a foliação (bandamento gnaíssico) é dada principalmente pela alternância de minerais como biotita e anfibólio com quartzo e feldspato. Fraturas preenchidas por epidoto, e em alguns locais por pseudotaquilites, aparecem cortando discordantemente o bandamento gnaíssico.

Petrograficamente, o caráter trondjemítico dos leucognaisses é denotado pela predominância modal de plagioclásio do tipo andesina-oligoclásio (teor de anortita entre 15-45%) em relação ao quartzo e feldspato potássico. Alguns litótipos apresentam plagioclásio do tipo labradorita; entretanto, é possível que esse enriquecimento em cálcio seja reflexo dos eventos tectonometamórficos posteriores a sua cristalização.

No grupo dos anfibólios gnaisses, destacam-se hornblenda gnaisse e ferrohastingita gnaisse. Geralmente, esses minerais apresentam-se em agregados xenomórficos ou, dependendo da deformação atuante, como cristais prismáticos fortemente orientados segundo a direção de fluxo tectônico. Microscopicamente, essas rochas mostram uma textura variando de granoblástica a granolepidoblástica e, em função de sua aproximação com zonas transcorrentes regionais, a textura evolui de protomilonítica a ultramilonítica.

b) *Granulitos* - Esta Seqüência tem origem orto e paraderivada, sendo formada por granulitos máficos, gnaisses enderbíticos, e silimanita-granada gnaisses (kinzigitos/kondalitos). As principais ocorrências de rochas granulíticas estão restritas a uma faixa de orientação NE-SW a E-W, desde a porção norte de Granja até imediações de Adrianópolis e Curral Grande (Figura 2).

Macroscopicamente, os granulitos compreendem rochas com uma coloração cinza a castanho, chegando a termos máficos. Via de regra, ocorrem protomilonitizados ou milonitizados.

A presença de hiperstênio e diopsídio associados a feldspato, quartzo, biotita, hornblenda e granada atesta as condições de alta temperatura a que as rochas foram submetidas. Dados geobarométricos obtidos por Nogueira Neto (1996, 2000) para esses granulitos indicam condições de temperatura de 750 a 840 °C e pressão intermediária, de 7 a 8 kbar.

O termo gnaíse “khondalito/kinzigítico” é empregado aqui para caracterizar as rochas com uma composição aluminosa, evidenciado pela presença de cianita, silimanita e granada almandina e o termo enderbítico para gnaíse com ortopiroxênio de composição tonalítica. Gnaíse enderbítico e gnaíse khondalítico/kinzigítico apresentam microscopicamente textura granolepidoblástica a granoblástica milonitizada. Neste trabalho foram analisados rochas granulíticas que ocorrem entre as regiões de Adrianópolis e Granja, bordejando a zona de Cisalhamento de Granja.

Nos granulitos máficos, o retrometamorfismo das associações de alto grau para a fácies anfibolito é denotada pela desestabilização de diopsídeo para hornblenda ao longo da foliação milonítica S<sub>2</sub> (Santos, 1999). Gama Jr. (1992) estudando em detalhe os granulitos de Granja, descreve cristais de orto e clinopiroxênios deformados pela deformação cisalhante. O referido autor, cita a presença de estruturas de intercrescimento hiperstênio-plagioclásio resultantes da desestabilização de granada, caracterizando um metamorfismo progressivo, que posteriormente é retrometamorfizado, para anfibolito alto em função da presença das mesmas estruturas de intercrescimento bordejadas por granadas nos corpos mais deformados.

Conforme Nogueira Neto (2000), feições como simplectitos e lamelas constituídas de ortopiroxênio e plagioclásio, originadas às expensas de granada, e bordas de ortopiroxênio em clinopiroxênio nos gnaíses enderbíticos e granulitos máficos da região de Granja, demonstram trajetória metamórfica por decompressão isotérmica (ITD), enquanto texturas formadas por molduras de granada em plagioclásio e ortopiroxênio/clinopiroxênio, nas mesmas rochas, indicam resfriamento isobárico (IBC). Dessa forma, a trajetória ITD representaria um estágio inicial, associado aos mecanismos tectônicos de soterramento rápido (tectônica tangencial/transpressional) seguida de arrefecimento (IBC) em níveis crustais menos profundos (tectônica transcorrente).

c) *Migmatitos* - Compreendem migmatitos bandados e estromáticos distribuídos por toda área do embasamento. Estas rochas foram consideradas por Santos (1993) como a unidade mais nova do embasamento, com base principalmente em idades Rb/Sr. Os migmatitos evoluem de estromáticos e dicioníticos até tipos schilieren e nebulíticos. Essa progressão da migmatização está bem exemplificada a partir de Granja; no sentido sul, até a localidade de Paracua e em diversos outros locais, como nos arredores de Senador Sá, Tabainha, Uruoca e Moraújo.

A estrutura estromática frequentemente é cortada por pequenos planos de cisalhamento que também desenvolvem incipientes processos de migmatização. A presença de um leucossoma grosseiro, de composição granítica, e com relativa quantidade de anfibólio, atesta, respectivamente, condições com grande percolação de fluidos e alta temperatura durante o cisalhamento.

Foram identificadas duas fases de migmatização na área. A primeira é caracterizada pelo aumento progressivo de estruturas estromáticas até nebulíticas, ao passo que a segunda, menos intensa, exibe injeção de níveis graníticos tardios. Para os migmatitos do Domínio Médio Coreá, os dados geocronológicos disponíveis na literatura, principalmente aqueles obtidos pelos métodos Rb/Sr, Pb/Pb e Ar/Ar (Hackspacher et al. 1991; Abreu & Lafon, 1991; Gaudete, 1993; Monié et al., 1997; Nogueira Neto, 2000), adicionados aos dados U/Pb e Sm/Nd (Fetter, 1999; Santos, 1999; Fetter et al. 2000), levam a crer que estas rochas foram originadas tanto no Paleoproterozóico, quanto no Neoproterozóico. No embasamento a leste do Lineamento Sobral- Pedro II, mais precisamente nos migmatitos da região de Forquilha, dados geocronológicos têm confirmado essa proposição de duas migmatizações (Fetter, 1999).

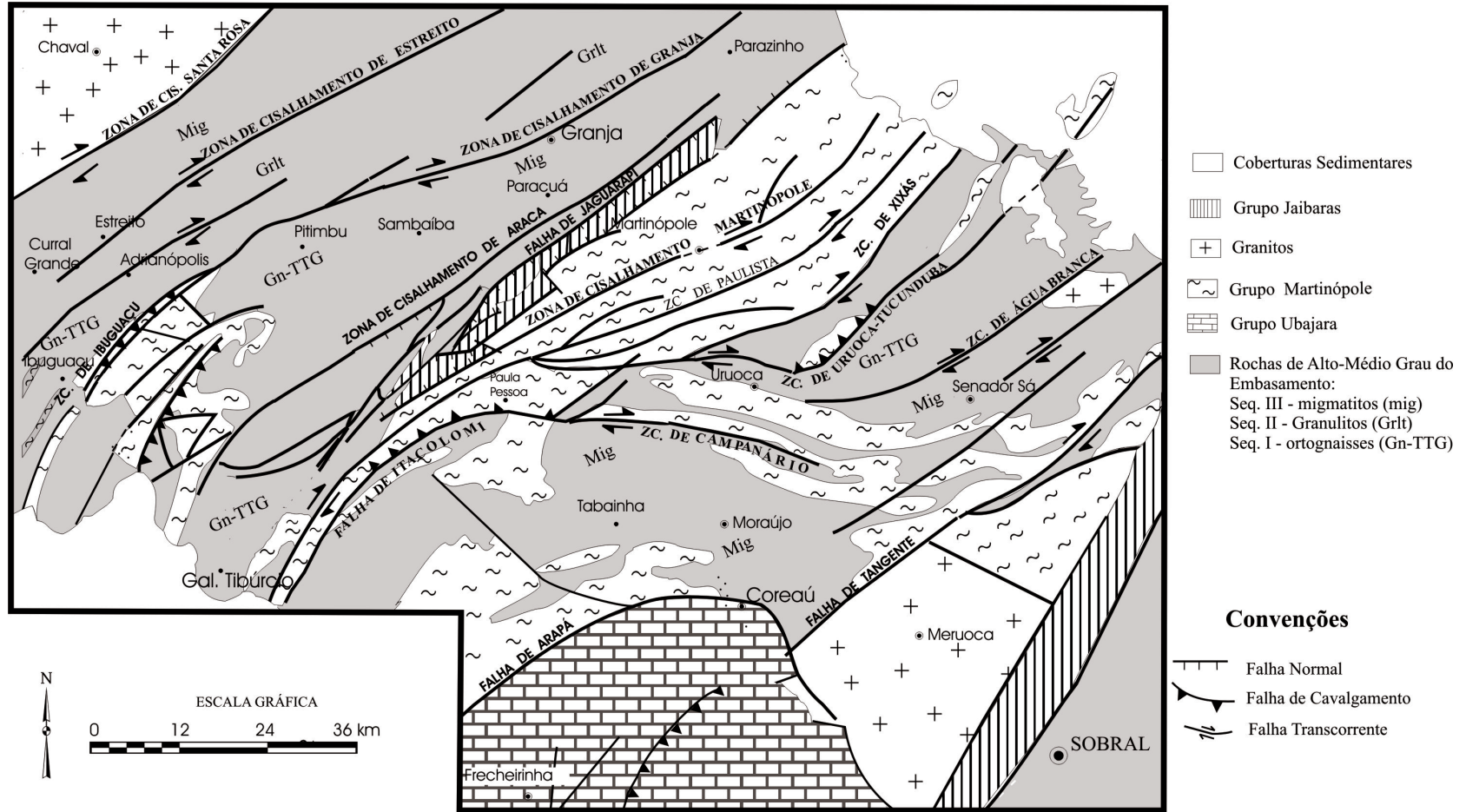


Figura 2 – Principais unidades litoestratigráficas do Domínio Médio Coreáú. Seqüências do embasamento indicadas na figura

Vários autores (Costa *et al.*, 1973; Nascimento *et al.*, 1981; Prado *et al.*, 1981; entre outros) têm citado a presença de quartzitos puros, ferruginosos e micáceos no embasamento, resultantes de processos metamórficos em rochas sedimentares. Os corpos quartzíticos ocorrem sempre alongados paralelos ao “trend” regional, via de regra, destacando-se na topografia. O contato dos quartzitos com os gnaisses e migmatitos normalmente ocorre de maneira abrupta por falha, porém em algumas porções verifica-se uma passagem gradativa do gnaisse para muscovita quartzito.

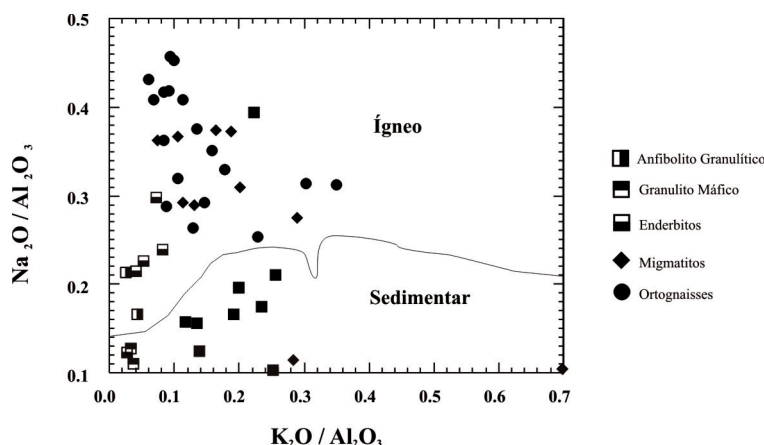
Os muscovita quartzitos fortemente milonitizados, em alguns locais fortemente cataclados, correspondem a uma litologia, que se destaca principalmente por sua associação com as zonas de alta deformação. Esta feição leva à interpretação dessa rocha ser resultante de rochas gnáissicas, cujo processo de milonitização é responsável pela transformação dos feldspatos em muscovita e concentração de fluidos silicosos nas zonas de maior deformação. Processos similares estão amplamente descritos na literatura (O’Hara, 1988; Bell & Cuff, 1989; Hippert, 1998).

## Geoquímica

O estudo geoquímico tem como intuito caracterizar e individualizar quimicamente, a partir da análise de elementos maiores (Tabela 1), as rochas ou grupos de rochas do embasamento. Os resultados foram lançados em diagramas discriminantes, tendo um enfoque essencialmente classificatório. Foram analisadas 47 amostras, compreendendo neossoma e paleossoma dos migmatitos, amostras dos gnaisses granulíticos e ortognaisses.

A natureza ígnea ou sedimentar das rochas pré-metamórficas pode ser discriminada por meio de relação  $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$  (Garrels & Mackenzie, 1971) (Figura 3), dentro da qual os silimanita-granada gnaisses ocupam o campo das rochas sedimentares, enquanto enderbitos, granulitos máficos, gnaisses e migmatitos estão situados no campo ígneo. Quando submetidos aos parâmetros ACF (Miyashiro, 1973), aquelas primeiras enquadram-se como folhelhos e grauvacas (Figura 4a). Adicionalmente, conforme o diagrama  $\text{MgO}-\text{K}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}$  (La Roche, 1965), correspondem a grauvacas em sua maioria (Figura 4b). Assim os dados convergem no sentido de origem paraderivada para os Silimanita-Granada gnaisses.

Figura 3 – Diagrama discriminatório  $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$  mostrando a natureza paraderivada e ortoderivada das rochas do embasamento. (Garrels & Mackenzie, 1971)



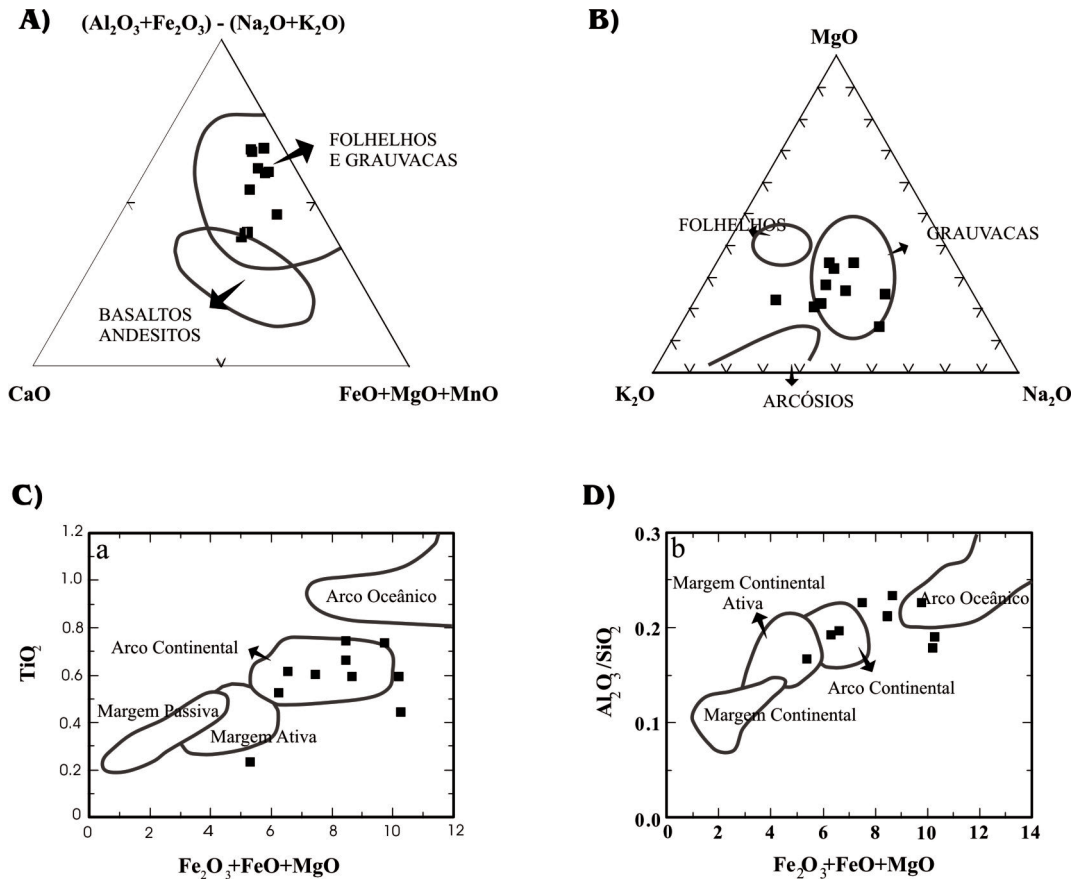


Figura 4 – a) Diagrama ACF mostrando a disposição dos khondalitos (silimanita-granada gnaisses) no campo dos folhelhos e grauvacas (Miyashiro, 1973); b) relação  $MgO \times K_2O \times Na_2O$  indicando predomínio composicional de grauvacas nos khondalitos (La Roche, 1965); c-d) Diagrama discriminante de ambientes geotectônicos para sedimentos clásticos situando os khondalitos com provenientes de arco continental (Bhatia, 1983).

Os silimanita-granada gnaisses (Tabela 1) apresentam ampla variação de  $SiO_2$ , entre 66,27 e 72,50%, e elevados teores de  $Al_2O_3$  (11,91 a 15,60%). Esses refletem uma mineralogia com silimanita, e levam a presença de corindon normativo (1,54 a 7,13%). Os óxidos  $K_2O$  e  $Na_2O$ , importantes na definição de quais as relações entre metapelitos e meta-grauvacas nos sedimentos originais, têm comportamento diferenciado, ou seja, algumas das amostras possuem razão  $K_2O/Na_2O > 1$  (tendência para metapelitos), ao passo que outras têm  $K_2O/Na_2O < 1$  (metagrauvas). Assim, a despeito tanto em nível modal, quanto pelo caráter normativo (Or: 7 - 23%; Ab: 13 - 24%; An: 4 - 10%) do alto conteúdo em feldspatos, sugerindo forte contribuição originária de grauvacas, as diferenças nas razões  $K_2O/Na_2O$  indicam a possibilidade de mistura (alternância) entre grauvacas e pelitos. Os baixos valores de CaO (0,96 - 2,29%) provêm dos plagioclásios detríticos da rocha original, e excluem processos pretéritos de sedimentação química.

Pertinente a proveniência dos sedimentos originais e seus respectivos ambientes, os diagramas



discriminatórios para sedimentos clásticos de Bhatia (1983),  $TiO_2 \times Fe_2O_3 + FeO + MgO$  e  $Al_2O_3 / SiO_2 \times Fe_2O_3 + FeO + MgO$ , revelam proveniência para os khondalitos de sedimentos associados a arco continental (Fig. 4c,d), resultando originalmente em sedimentos imaturos, os quais foram submetidos a taxas elevadas de transporte e sedimentação, e cuja área(s) fonte estivesse próxima do ambiente deposicional.

Genericamente, os dados de elementos maiores se mostram coerentes com as médias de grauvacas Proterozóicas apresentadas por diversos autores (Condie, 1993; Wederpohl, 1995; McDonough & Sun, 1995), no caso ora abordado, com proveniência de arcos continentais (Nogueira Neto, 2000).

Ortognaisses, migmatitos e gnaisses kondalíticos, quando lançadas no diagrama de Harker, em sua grande maioria, apresentam uma composição predominantemente ácida a intermediária,  $SiO_2$  variando entre 62 a 75%. A relação  $TiO_2 \times SiO_2$  mostra um *trend* negativo, similar ao observado na relação de  $SiO_2$  com  $P_2O_5$ , FeO, MgO e MnO (figura 5).

No intervalo de 65 a 69% de  $SiO_2$ , para as rochas ortoderivadas (gnaisses, migmatitos, granulitos máficos, gnaisses enderbíticos), do diagrama  $SiO_2 \times FeO^*$  há uma ausência de litologias (gap), caracterizando um vazio no *trend* de diferenciação da suíte (Figura 5). Isto levou a considerar a evolução das rochas em grupos separados, e possivelmente originados a partir de mais de uma suíte magmática com diferentes gêneses. Dessa forma, essas rochas são tratadas de maneira separada, descrito anteriormente.

No diagrama  $FeO^* \times SiO_2$  é possível caracterizar dois grupos de rochas distintas (Figura 5). O primeiro grupo corresponde às rochas com um teor de ferro total entre 3,5 -4,0 e sílica entre 62-66%. Predominantemente, incluem-se neste grupo as porções mais básicas dos migmatitos, um xenólito básico encontrado no ortognaisse granítico e biotita gnaisse da seqüência TTG. Estas rochas também mostram um elevado teor de MgO, CaO e  $P_2O_5$ . As análises de granulitos máficos (Tabela 1) exibem  $SiO_2$  entre 47,10% (Q = 0%) e 51,50% (Q = 0,63%), com expressivos valores de CaO (7,90% a 13,60%). Esses últimos traduzem tanto a presença de Ca-clinopiroxênio modal, quanto a composição de plagioclásios mais ricos em anortita. Possuem MgO que varia de 5,79% a 17,60%, e podem ser enquadrados como toleítos de alto Mg, contudo uma das amostras exibe afinidade komatiítica.

No segundo grupo enquadram-se as rochas mais diferenciadas, com teor de sílica entre 66 a 75% e ferro total entre 1-3%. Esse teor de ferro total ( $FeO^* + MgO$ ) relaciona-se petrograficamente à presença da biotita e hornblenda na rocha. O teor de  $K_2O$  aparece em média, inferior a 1,8%, concentrando-se, em sua maior parte, nos feldspatos potássicos e biotita. O CaO apresenta um teor médio na faixa de 1,8% e o  $Na_2O$  com 5,5%. O caráter mais sódico desse grupo é corroborado, em lâmina delgada pela presença de plagioclásio do tipo oligoclásio. A relação  $SiO_2 \times Al_2O_3$  mostra-se predominantemente com um teor de  $Al_2O_3$  superior a 15% e sílica acima de 70%. De maneira geral, são bem sódicas e aluminosas, com baixo teor de MgO, MnO e  $P_2O_5$ . A maioria corresponde a porção neossomática dos migmatitos e aos ortognaisses TTG da região de Gal. Tibúrcio. A seqüência evolutiva mais diferenciada, com um teor de  $SiO_2$  na faixa de 75%, quando representadas no diagrama QAP situam-se no campo dos monzogranitos e sienogranitos (Figura 6).

Quando lançadas no diagrama classificatório normativo An-Ab-Or (O'Connor, 1965. modificado por Baker, 1979) (Figura 7), as rochas exibem uma distribuição bem compatível, com relação à individualização dos conjuntos de rochas para o embasamento. Ocorrendo ainda dentro do campo dos trondhemitos, tem-se a presença de migmatitos, cujo paleossoma mostra uma composição tonalítica -granodiorítica, que evolui para rochas de composição granítica.

As associações trondhemíticas têm sido empregadas para rochas de composição tonalítica e granodiorítica, geradas a partir de um magma profundo; no caso, corresponderiam a granitos cálcio-



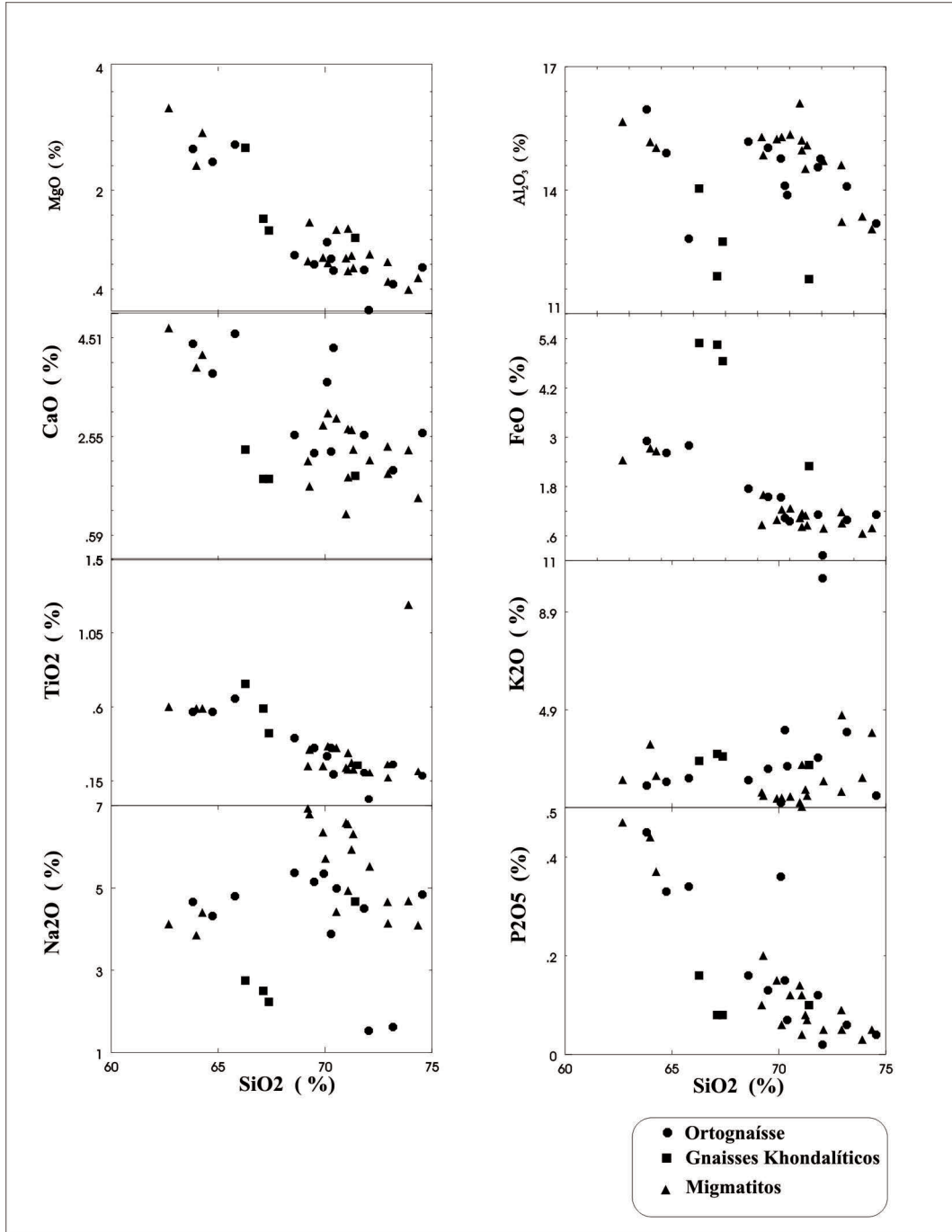


Figura 5 – Diagrama de Harker mostrando a relação entre sílica e os demais óxidos.

alcalinos baixo  $K_2O$  (Lameyre & Bowden, 1982). As séries trondjemíticas e cálcio-alcalinas (alto a médio  $K_2O$ ) são diferenciadas através de diagramas ternários. No diagrama  $Na_2O-K_2O-CaO$  (Figura 8) verifica-se uma evolução segundo dois *trends*. O primeiro mostra uma tendência evolutiva para o vértice sódico, evidenciando o caráter trondjemítico, ao passo que o segundo *trend*, é definido por uma tendência de migração para o vértice potássico com características cálcio-alcalina. No diagrama AFM há uma nítida caracterização para um alinhamento segundo a linhagem trondjemítica (Figura 9).

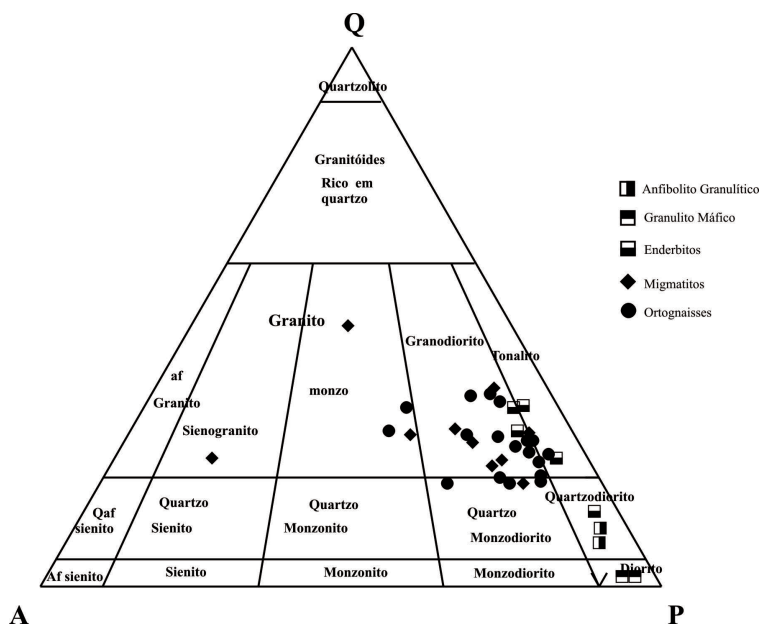


Figura 6 – Diagrama QAP dispondo as rochas ortoderivadas predominantemente no campo dos tonalitos-granodioritos, Le Maitre (1989).

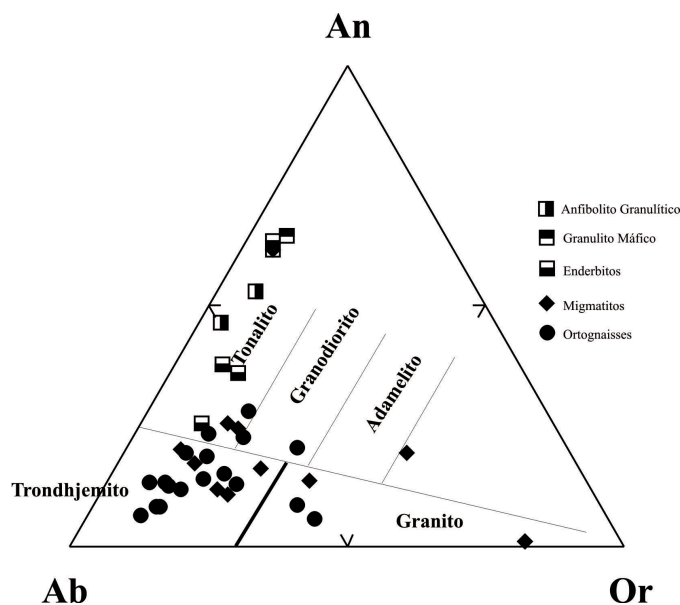


Figura 7 – Classificação de rochas graníticas de acordo com a composição molecular normativa An-Ab-Or, após Braker (1979).

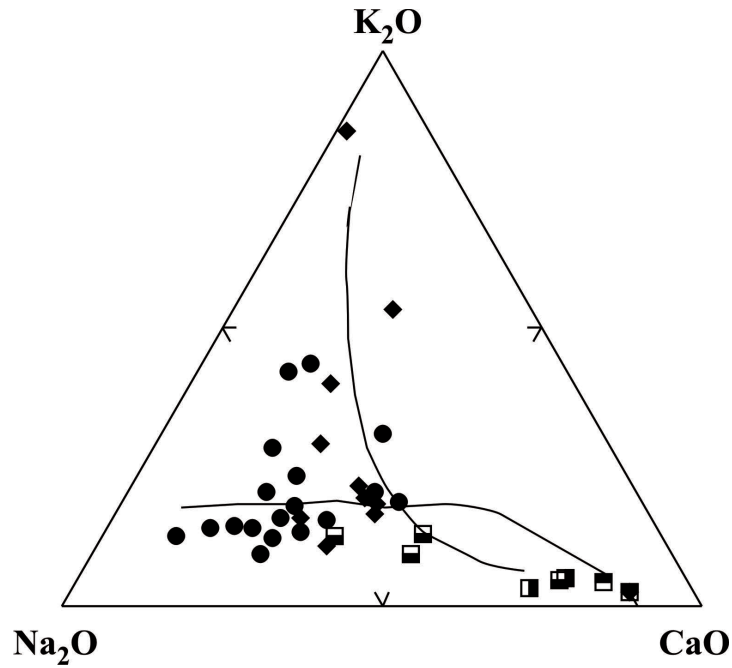


Figura 8 – Diagrama de variação Na-K-Ca mostrando a evolução segundo o “trend” trondhjemítico e cálcio-alcálico para os gnaisses e migmatitos do embasamento.

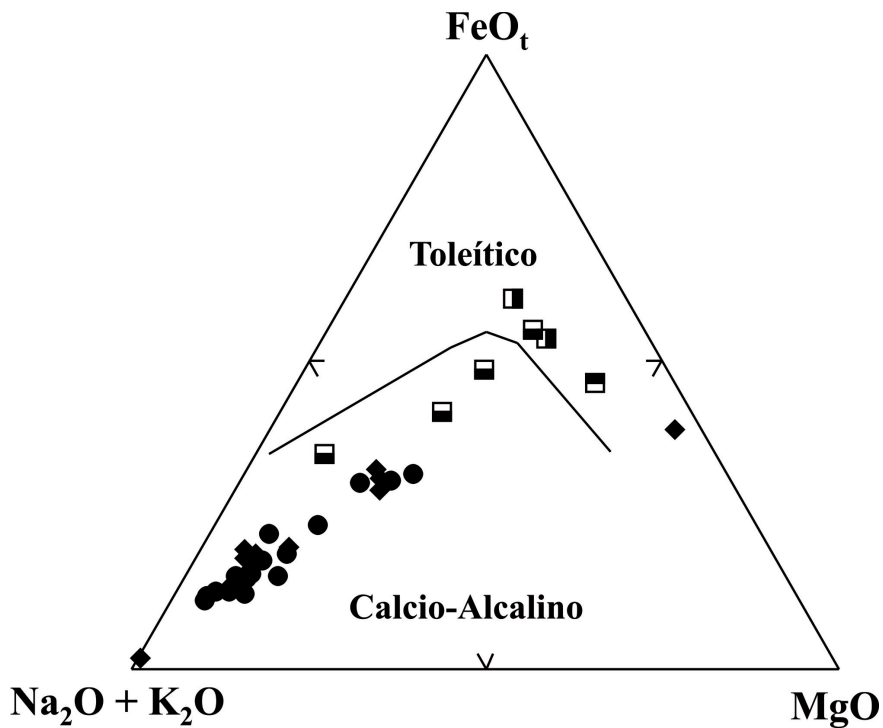


Figura 9 – Diagrama AFM com alinhamento das amostras segundo a linhagem trondhjemítica (Irvine & Baragar, 1971).

Ortognaisses - Sequência I																									
	119A	119B	119C	118	161	160	35A	35B	35C	36A	36B	36C	JN53	JN58	JN15	JN18	JN33b	JN40	JN54	162A	162B	162C	162D	256A	256B
SiO <sub>2</sub>	69,90	69,2	71,07	71,24	64,26	62,69	70,53	72,92	70,13	69,27	71,08	71,32	51,60	52,10	53,30	65,20	70,10	64,90	61,50	72,94	63,98	74,35	73,90	70,98	72,09
TiO	0,24	0,24	0,22	0,26	0,59	0,60	0,35	0,25	0,36	0,34	0,32	0,22	1,20	1,50	1,30	0,61	0,38	0,69	0,90	0,17	0,59	0,21	1,22	0,23	0,20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,24	15,2	15,21	14,52	15,03	15,66	15,35	14,61	15,29	14,85	14,97	15,09	14,50	13,60	17,90	14,60	15,10	14,10	17,70	13,23	15,17	13,05	13,36	16,11	14,71
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,52	0,75	0,71	0,51	1,71	2,16	1,03	0,72	1,03	0,70	0,51	0,39	4,60	4,60	2,70	2,20	0,82	1,40	1,90	0,36	1,63	0,48	0,25	0,57	0,42
FeO	0,99	0,87	0,82	1,10	2,66	2,44	1,27	0,87	1,24	1,60	1,15	0,86	7,00	8,20	7,10	3,60	2,80	6,20	5,20	0,91	2,73	0,79	0,66	1,04	0,78
MnO	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07	0,08	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,20	0,23	0,17	0,10	0,08	0,10	0,10	0,04	0,07	0,04	0,02	0,03	0,02
MgO	0,91	0,85	0,69	0,94	2,93	3,33	1,36	0,84	0,82	1,48	1,38	0,74	6,60	4,90	5,00	3,10	1,00	3,90	1,70	0,52	2,40	0,58	0,39	0,90	0,96
CaO	2,77	2,06	2,70	2,68	4,17	4,70	2,91	2,35	3,01	1,56	1,74	2,29	9,60	8,20	8,30	4,70	3,20	3,90	5,50	1,81	3,92	1,33	2,28	1,01	2,08
Na <sub>2</sub> O	6,35	6,93	6,55	5,93	4,40	4,12	4,42	4,66	5,53	6,79	4,93	6,31	2,40	2,90	2,20	3,50	4,50	3,20	3,80	4,14	3,85	4,09	4,68	6,58	5,52
K <sub>2</sub> O	1,27	1,52	0,93	1,63	2,20	2,03	1,35	1,55	1,29	1,38	2,65	1,38	0,62	0,35	0,49	1,20	1,10	0,73	0,72	4,63	3,48	3,96	2,12	1,10	1,98
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,15	0,10	0,12	0,08	0,37	0,47	0,12	0,09	0,06	0,20	0,04	0,07	0,12	0,22	0,35	0,11	0,08	0,05	0,25	0,05	0,44	0,05	0,03	0,14	0,05
PF	1,51	2,05	0,86	0,93	1,31	1,40	1,12	0,99	1,06	1,60	1,07	1,20	0,50	0,44	0,20	0,34	30,24	0,01	0,05	1,04	1,42	0,99	1,02	1,19	1,10
Total	99,88	99,89	99,91	99,86	99,70	99,68	99,85	99,88	99,86	99,81	99,87	99,90	99,06	97,30	99,08	99,34	99,43	99,22	99,32	99,89	99,68	99,92	99,93	99,88	99,91

Granulitos - Sequência II													Migmatitos - Sequência III											
	209A	209B	209C	209D	JN-11	JN-12	JN02c	JN40B	JN42	JN23b	JN23c	JN29-b	208A	208B	208C	208D	208E	210B	210C	207A	207B	207C	207D	
SiO <sub>2</sub>	66,2	67,11	67,37	71,41	66,90	68,70	67,40	48,01	51,50	72,00	72,50	69,20	65,79	63,82	70,28	71,83	72,04	69,49	73,18	64,75	70,09	70,39	74,55	
TiO	0,74	0,59	0,44	0,23	0,59	0,60	0,73	0,64	0,46	0,61	0,52	0,66	0,65	0,57	0,35	0,20	0,04	0,35	0,25	0,57	0,30	0,19	0,18	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,0	11,91	12,75	11,84	15,60	15,50	15,20	16,30	7,20	14,10	13,9	14,60	12,82	15,96	14,11	14,56	14,72	15,03	14,09	14,90	14,77	13,88	13,19	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,52	3,46	4,14	1,83	3,70	2,40	2,40	3,30	2,80	2,00	3,20	2,50	1,76	1,21	1,08	0,72	0,06	0,57	0,53	1,47	0,39	0,25	0,29	
FeO	5,29	5,25	4,85	2,30	2,90	3,50	5,3	7,10	9,40	3,20	1,80	4,10	2,80	2,91	1,04	1,12	0,13	1,55	0,99	2,62	1,54	1,02	1,12	
MnO	0,09	0,07	0,08	0,07	0,12	0,11	0,09	0,18	0,29	0,09	0,11	0,11	0,07	0,06	0,03	0,03	0,01	0,04	0,03	0,06	0,04	0,03	0,03	
MgO	2,69	1,54	1,35	1,23	2,10	1,60	2,10	9,10	17,6	1,40	1,30	2,10	2,74	2,67	0,89	0,71	0,06	0,80	0,48	2,46	1,16	0,70	0,75	
CaO	2,29	1,71	1,71	1,77	1,80	0,96	1,70	11,40	7,90	1,60	2,00	2,10	4,59	4,39	2,25	2,58	0,19	2,22	1,88	3,80	3,63	4,31	2,62	
Na <sub>2</sub> O	2,75	2,50	2,23	4,67	2,60	1,60	1,90	1,80	0,92	2,20	2,70	2,30	4,80	4,66	3,88	4,50	1,53	5,15	1,62	4,32	5,35	5,17	4,84	
K <sub>2</sub> O	2,81	3,06	2,99	2,64	3,00	3,90	2,10	0,61	0,23	1,90	1,30	1,70	2,10	1,80	4,07	2,94	10,28	2,48	3,99	1,95	1,09	2,59	1,39	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,16	0,08	0,08	0,10	0,07	0,07	0,12	0,06	0,09	0,06	0,07	0,05	0,34	0,45	0,15	0,12	0,02	0,13	0,06	0,33	0,36	0,07	0,04	
PF	1,75	2,11	1,47	1,65	0,01	0,38	0,01	30,23	0,19	0,13	0,07	0,07	1,22	1,16	1,76	0,81	0,89	2,11	2,79	2,47	1,10	1,27	0,87	
Total	99,40	99,42	99,46	99,74	99,46	99,35	99,08	99,09	98,76	99,26	99,51	99,34	99,68	99,66	99,89	100,12	99,97	99,92	99,89	99,70	99,82	99,87	99,87	

Tabela 1 - Dados de análise química de elementos maiores

## Conclusão

Com base nos dados apresentados, conclui-se que:

- a) As rochas formadoras do embasamento do Domínio Médio Coreaú apresentam origens para e ortoderivadas. O primeiro caso é representado pelos gnaisses khondalíticos/kinzigíticos (silimanita-granada gnaiss) que ocorrem bordejando a Zona de Cisalhamento de Granja. Estas rochas apresentam paragênese granulítica e são originadas de grauvacas, possivelmente com alguma contribuição pelítica. Já as rochas ortoderivadas predominam e estão representadas por gnaisses diversos, migmatitos e granulitos máficos e anfibolíticos possivelmente originados de basaltos e dioritos, respectivamente.
- b) Há uma associação de rochas com afinidade geoquímica trondjemítica, cuja variação de tonalitos a granodioritos caracteriza-a como uma suíte TTG (Martin, 1987; Barker, 1979)
- c) Os migmatitos resultaram dos processos de anatexia das rochas da suíte TTG, como pode ser observado em afloramento, pela fusão progressiva dos gnaiss. Nestes migmatitos, o paleossoma mostra uma composição predominantemente trondjemítica, com uma migmatização que não teria afetado a química original da rocha. O neossoma é de caráter tonalítico a granodiorítico, chegando a granítico para as porções mais diferenciadas. Localmente, os kondalitos apresentam-se migmatizados originando remobilizados quartzo-feldspáticos.
- d) As rochas pegmatóides, associadas aos migmatitos, são consideradas como produto da fusão parcial dos gnaisses tonalíticos a graníticos.
- e) Existe a possibilidade das rochas do embasamento do Domínio Médio Coreaú terem sofrido dois eventos de migmatização, um no Paleoproterozóico e outro no Neoproterozóico. Entretanto, é necessário a obtenção de dados geocronológicos refinados, por exemplo datação U/Pb em monazita do leucossoma.

## Bibliografia

- ABREU, F.A.M. & LAFON, J.M. - 1991 - Granulitos Transamazônicos no Cinturão de Cisalhamento Noroeste do Ceará . Atas do XIV Simp. de Geol. do NE. Recife.
- BARKER, F. - 1979 - Trondhjemit: definition, environment and hypothesis of origin. Amsterdam, Elsevier.
- BELL, T.H.; CUFF, C. - 1989 - Dissolution, solution transfer, diffusion versus fluid flow and volume loss during deformation/metamorphism. *Journal of Metamorphic Geology*, 7. 425-448.
- BHATIA, M. R. & CROOK, K. A. W., 1986 - Trace element geochemistry and sedimentary provinces: a study from the Tasman Geosyncline, Australia. *Chemical Geology*, v. 33, p. 115.
- BRITO NEVES, B. B., SANTOS, E.J.; VAN SCHMUS, W. R., 2000- Tectonic history of the Borborema Province. In *Tectonic evolution of South America* Ed.: U.G. CORDANI; E.J. MILANI; THOMAZ FILHO; D.A. CAMPOS. 31. International geological congress - RJ 151-182 p.
- BRITO NEVES, B.B. de, 1983. O mapa geológico do Nordeste Oriental (escala 1/1.000.000). Tese de Livre Docência. IG/USP. São Paulo. 177 p.

CONDIE, K.C. – 1993- Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales. *Chemical Geology*, 104: pp 1-37

COSTA, M.J.; FRANÇA, J.B. de.; BACCIEGGA, I.F.; HABEKOST, C.R.; CRUZ, W.B. da, 1973. *Geologia da Bacia Jaibaras; Ceará, Piauí e Maranhão. Projeto Jaibaras. DNPM/CPRM. Recife. Relatório final (5 vol).*

DANTAS, E.L.; HACKSPACHER, P.C.; VAM SCHMUS, W.R.; BRITO NEVES, B.B. – 1998 – Archean accretion in the São José de Campestre Massif, Borborema Province, Northeast Brazil. *Revista Brasileira de Geociências* 28(2): 221-228

FETTER, A.H.–1999–U/Pb and Sm/Nd Geochronological constraints on the crustal framework and geological history of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications goes the assembly of Gondwana. University of Kansas, Thesis of Doutorado, 164 pp.

FETTER, A.H.; VAN SCHMUS, W.R.; SANTOS, T.J.S.; NOGUEIRA NETO, J.A.; ARTHAUD, M.H. - 2000 - U-Pb and Sm/Nd geochronological constraints on the crustal evolution and basement architecture of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the existence of the Paleoproterozoic supercontinent “Atlantica” . *Revista Brasileira de Geociências*, vol. 30, n 1,2,3 versão CD.

GAMA Jr, T. 1992. *Geologia do setor nordeste da zona de cisalhamento de Granja - noroeste do Ceará. Curso de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Pará. Tese de Doutorado. 109 p.*

GARRELS, R.M.; MACKENZIE, F.T. – 1971 – *Evolution of sedimentary rocks*. 1.ed., New York, W.W. Norton, 397 p.

GAUDETTE, H. E.; ABREU, F. de A. M. de, ; LAFON, J. M. ; GORAYEB, P. S. de S. 1993. *Evolução transamazônica do cinturão de cisalhamento noroeste do Ceará: Novas evidências geocronológicas*. In: *Simp. Geol. do Nordeste*. 15. Natal, 1993. *Atas... Natal, Bol. Núcleo Nordeste da SBG*. v. 13. p. 317-319.

HACKPACHER, P. C.; SANTOS, T. J. S.; LAFON, J. M. 1991. *Evolução geocronológica do complexo gnássico-migmatítico do NW do Ceará*. In: *14º Simp. Geol. Nordeste, Atas. Recife, SBG. Bol. 14*, p. 226-228

HACKSPACHER, P. C.; SANTOS, T. J. S.; LAFON, J. M. 1991. *Evolução geocronológica do complexo gnássico-migmatítico do NW do Ceará*. In: *Atas XIV Simp. Geol. Nordeste, Atas. Recife, SBG. Bol. 14*, p. 226-228

HIPPERT, J. F. - 1998 - Breakdown of feldspar, volume gain and lateral transfer during mylonitization of granitoid in a low metamorphic grade shear zone. *Journal Structural Geology*, 19 (3): 175 - 194

IRVINE, T.N.; BARAGAR, W.R.A. - 1971 – *A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks*. *Canadian J. Earth Sci.*, 8, 523-548

KOPERSHOEK, H. R.; MENDONÇA, J. A. C.; TORQUATO, J. R. –1979 - *A geologia da região de Pedra Verde (Ceará)*. In: *Simpósio de Geologia do Nordeste*, 9. Atas... Natal, SBG. Núcleo Nordeste.

P. 349 – 363. (Boletim 7).

LAMEYRE, J. & BOWDEN, P. - 1982 - Classification of plutonic rocks: discrimination of various granitic series by their modal composition. *Magmatology, spec. Publication of Int. Geol. Congress.*

LE MAITRE, R. W.-1989- A classification of igneous rocks and glossary of terms. Blackwell Sci. Publ.193p.

McDONOUGH, W.F.; SUN, S.S. – 1995 – The composition of the Earth. *Chemical Geology*, 120: 223-253.

MARTIN, H. -1987- Petrogenesis of Archean trondhjemites, tonalites and granodiorites from eastern Finland: Major and trace element geochemistry. *J. Petrol.*, 28: 921-953.

MARTINS, G., (2000) *Litogeoquímica e controles geocronológicos da suíte metamórfica Algodões-Choró*. Tese de Doutorado UNICAMP. 218p. Campinas-SP.

MONIÉ, P., CABY, R., and ARTHAUD, M.H., 1997, The Neoproterozoic Brazilian orogeny in northeast Brazil:  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  and petrostructural data from Ceará. *Precambrian Research*, v. 81, p. 241-264.

MIYASHIRO, A. – 1973 – *Metamorphism and metamorphic belts*. George allen & Unwin. London, 492p.

NASCIMENTO, D.A.; GAVA, A.; PIRES, J.L.; TEIXEIRA, W. 1981. *Geologia da folha sa 24 - Fortaleza*. In : Projeto Radam Brasil. DNPM, Rio de Janeiro. Vol. 21 : 23-212.

NOGUEIRA NETO, J.A. – 2000 – *Evolução geodinâmica das faixas granulíticas de Granja e Cariré, extremo noroeste da província Borborema*. Tese de doutoramento IGCE-UNESP inédito 171pp

NOGUEIRA NETO, J.A. 1996. *Evolução Metamórfica das Faixas Granulíticas de Granja e Cariré (NW do Ceará)*. In: Seminário de Pós-Graduação em Geociências, Rio Claro. IGCE/UNESP. Res. Exp. p. 328-333.

O'CONNOR, J.T. - 1965 - A classification of quartz-rich igneous rocks based on feldspar ratios. *U.S. Geol. Survey. Prof. Paper, Washington, DC. 525-B, p. 79-84.*

O'HARA, K. - 1988 - Fluid flow and volume loss during mylonitization: an origin for phyllonite in an overthrust setting, North Carolina, USA - *Tecton.*, 156, 21-36.

PRADO, F.S.; MENDONÇA, J.C.G.S.; MORAIS, J.B.A; MEDEIROS, M.F.; ASSUNÇÃO, P.R.S.; ANDRADE, V.A.; MEDEIROS, R.P. - 1981 - *Geologia da região NW do Estado do Ceará - Projeto Martinópolis - DNPM/CPRM - Série geologia básica 17 - Brasília- 59 pp, incluindo mapa.*

SÁ, J.M. – 1991 – *Evolution geodynamique de la Ceinture Proterozoic d'Orós, Nord-Est du Brésil*. Nancy, 177p. (tese de doutoramento) Universidade de Nancy, França

SANTOS, T.J.S.; FETTER, A.H.; NOGUEIRA NETO, J.A.; HACKSPACHER, P.C.; VAN SCHMUS, W.R - 1998 - *Geochronology and geochemistry of the Médio Coreau Domain, NW Borborema*



*Santos T. J. S et al.*

Province. Ann. do XL Congresso Bras. de Geologia. Belo Horizonte, MG , p 29

SANTOS,T.J.S. 1993. Aspectos geológicos de uma área a sudoeste de Granja, região noroeste do Ceará. Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Estadual Paulista. Dissertação de Mestrado. 159 p.

SANTOS,T.J.S. 1999– Evolução tectônica e geocronológica do extremo noroeste da Província Borborema. Curso de Pós Graduação em Geociências – IGCE/UNESP. Tese de doutorado, 186 p. inédito.

VAN SCHMUS, W. R.; BRITO NEVES, B. B.; HACKSPACHER, P. C. & BABINSK, M- 1995- U/Pb and Sm-Nd geochronologic studies of the eastern Borborema Province, Northeastern Brazil: initial conclusions. Journal of South American Earth Sciences. vol 8; 3/4; p.267-288.

WEDERPOHL, K.H. – 1995 – The composition of the continental crust. *Geochemica et cosmochimica Acta*, 59 (7) ; 1217-1232.