



# MAGMATISMO GRANÍTICO DE SÉRIE ALCALINA NA EXTREMIDADE ORIENTAL DA PROVÍNCIA BORBOREMA – O PLÚTON CAXEXA: GEOLOGIA E GEOQUÍMICA

M.A.L. Nascimento, Z.S. Souza, A.C. Galindo

Departamento de Geologia – UFRN, Caixa Postal 1596, CEP 59078-970, Natal, RN

Recebido em 02/00; aprovado para publicação em 10/00

## ABSTRACT

*The Caxexa Pluton is located in the southern border of the São José de Campestre Massif, northeastern portion of the Borborema Province. It comprises a body of the N-S direction with approximately 50 km<sup>2</sup>. The granite intruded along the mylonitic interface between the tonalitic to granodioritic orthogneisses of the basement and garnet-biotite schists of the metapelitic unit. It is composed of hololeucocratic rocks, with fine- to medium-grained texture. Based on its petrographic composition, it is classified as an alkali feldspar granite, in which feldspars (microcline + albite) and quartz comprise greater than >90%. The accessory are clinopyroxene (aegirine-augite and hedenbergite), andradite, sphene, allanite, zircon, apatite and opaque. Chemically, the rocks show similarities with granites of high silica (>70%) and high alkali systems. They are metaluminous to slightly peraluminous and Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O is greater than 10%. These geochemical features are typical of the classical alkaline granitic suites. On the other hand, the low amounts of Nb, Ga, Y, Rb and Zr, as well as the very high Sr and positive Eu anomalies (Eu/Eu\*=1,46-2,04) are not compatible with the traditional alkaline magmas. The integration of petrographic and geochemical data suggests the fractional crystallization as the main petrogenetic process. Some mass balance calculations and trace element modeling point to less than 10% of fractionation, the cumulate being composed of combinations of clinopyroxene, plagioclase, magnetite and zircon.*

## RESUMO

*O Plúton Caxexa, localizado na porção sul do Maciço São José de Campestre, extremo NE da Província Borborema, compreende uma intrusão de direção N-S com cerca de 50 km<sup>2</sup>. Este corpo encontra-se encaixado na interface milonítica entre ortogneisses tonalíticos a granodioríticos do substrato gnáissico-migmatítico e granada-biotita xistos da unidade metassedimentar, sendo constituído de rochas hololeucocráticas, de granulação fina a média e textura equigranular. Corresponde a álcali feldspato granito com quantidades elevadas de feldspatos (microclina e albita) e quartzo, que perfazem acima de 90% da composição modal, além de clinopiroxênio (aegirina-augita, hedenbergita), granada, titanita, allanita, zircão, apatita e opacos. Quimicamente, as rochas classificam-se como alcalinas de alta sílica (>70% em peso), metaluminosas a fracamente peraluminosas e altas quantidades de Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O (>10% em peso). Entretanto, as baixas quantidades de Nb, Ga, Y, Rb e Zr, altos teores de Sr e anomalias positivas de Eu (Eu/Eu\*=1,46-2,04) não são condizentes com magmas alcalinos clássicos. A integração de dados petrográficos e geoquímicos sugere a ação de mecanismos de cristalização fracionada, com cumulados de clinopiroxênio, plagioclásio, magnetita e zircão, sob condições pelo menos parcialmente oxidantes.*

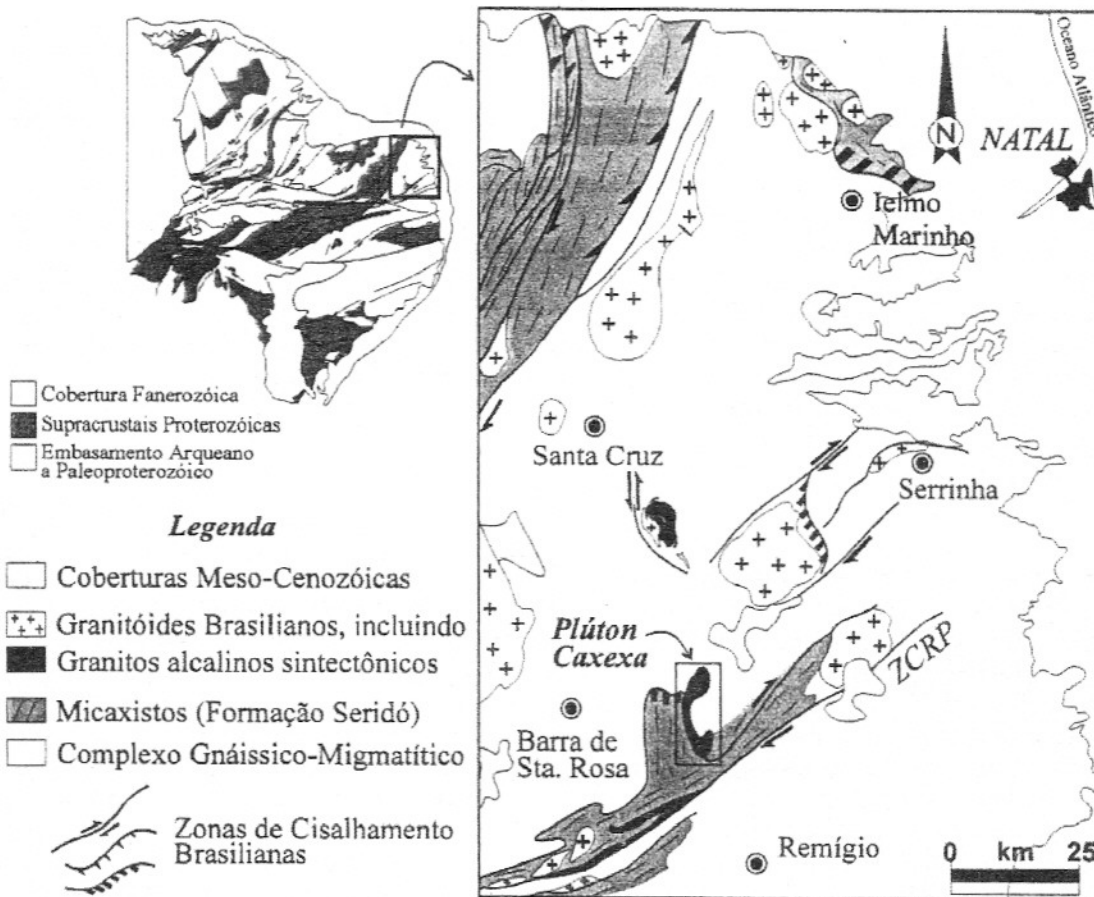
## INTRODUÇÃO

Os granitos de série alcalina são considerados, classicamente, como sendo rochas de províncias anorogênicas e/ou com características tardia pós-orogênicas. No extremo NE da Província Borborema (NE do Brasil), a orogenia de idade Neoproterozóica (Brasiliana) é caracterizada por um intenso magmatismo e uma grande quantidade de zonas de cisalhamento transcorrentes, predominantemente com direção NE-SW e cinemática dextrógira. Nesta região, mais precisamente no domínio da Faixa Seridó, diferentes tipos de granitóides foram documentados através de

dados petrográficos e geoquímicos (Jardim de Sá, 1994; Ferreira *et al.*, 1998; entre outros). Os mais comuns e volumosos possuem afinidade subalcalina/monzonítica, regionalmente conhecidos como granitos porfíricos tipo Itaporanga (Almeida *et al.*, 1967). Suítes de afinidades shoshonítica e cálcio-alcalina também são representativas desse intenso magmatismo. Recentemente, na porção oriental desta faixa, na região denominada Maciço São José de Campestre (adiante referido como MSJC) (Fig. 1), foram identificadas rochas alcalinas que compõem diversos plútons no referido maciço. Estes são representados pelos corpos

Caxexa, Serra do Algodão, Serra do Boqueirão e Japi (Nascimento *et al.*, 1997; Galindo *et al.*, 1997; M.A.L. Nascimento, 1998; R.S.C. Nascimento, 1998; Hollanda, 1998). Correspondem a intrusões sintectônicas, controladas por zonas de cisalhamento transcorrentes/extensionais (Jardim de Sá *et al.*, 1999).

Esta contribuição tem como finalidade apresentar e discutir dados de campo, petrográficos e geoquímicos referentes ao Plúton Caxexa, com o intuito de melhor posicioná-lo dentro do cortejo alcalino do MSJC. Esses dados são provenientes da dissertação de mestrado do primeiro autor.



**Figura 1** – Arcabouço geológico do Maciço São José de Campestre, NE do Brasil, e localização da área pesquisada.

## GEOLOGIA REGIONAL

O Plúton Caxexa (Fig. 1) está alojado no contato entre o substrato gnáissico-migmatítico Paleoproterozóico *ca.* 2.15 Ga (Dantas *et al.*, 1995) e um pacote de metassedimentos pelíticos. O substrato Paleoproterozóico compõe-se de ortognaisses quartzo dioríticos, granodioríticos a graníticos, variavelmente gnaissificados e migmatizados (Souza *et al.*, 1999). Os metassedimentos são correlacionados a micaxistos petrográfica e estruturalmente similares aos da Formação Seridó, sendo constituídos, basicamente, de granada-biotita xistos e raras lentes de rochas calciossilicáticas. As estruturas relativas ao evento dúctil  $D_2$  estão registradas em ambos, substrato gnáissico-migmatítico e pacote metapelítico, mas são ausentes nos granitóides Brasileiros. Por outro lado, as estruturas Brasileiras  $D_3$ , que controlam o posicionamento daqueles granitóides, desenvolveram-se sob condições de alta temperatura e baixa pressão, nas fácies anfíbolito e granulito hidratado, com fusão parcial freqüente de micaxistos e ortognaisses tonalíticos a granodioríticos do substrato gnáissico-migmatítico (Souza & Jardim de Sá, 1993).

Na área de ocorrência do Plúton Caxexa, a SE de Barra de Santa Rosa (PB), as estruturas Brasileiras sincrônicas, presentes nas encaixantes, possuem um comportamento particular. Observa-se que as mesmas são geometricamente variadas, de acordo com posição, em relação às zonas de maior intensidade da deformação transcorrente. As estruturas de baixo ângulo, tangenciais extensionais, são progressivamente verticalizadas, aproximando-se

da Zona de Cisalhamento Remígio-Pocinhos (ZCRP), onde adquirem direção NE-SW e alto ângulo de mergulho, mas com lineações mantendo obliquidade baixa, caracterizando uma geometria em flor negativa e cinemática transtracional dextrógira (Jardim de Sá, 1994; Trindade *et al.*, 1995).

## ASPECTOS DE CAMPO DO PLÚTON CAXEXA

### Feições Estruturais

O Plúton Caxexa (Fig. 2) tem uma forma alongada na direção N-S, com pequena inflexão para NE na sua porção norte, com aproximadamente 50 km<sup>2</sup> de área aflorante (Nascimento *et al.*, 1997; M.A.L. Nascimento, 1998). O seu caráter intrusivo é comprovado pela presença de xenólitos angulosos, de dimensões decimétricas a métricas, de micaxistos (especialmente nas partes SW e sul do plúton) e ortognaisses (na parte NE do maciço), bem como soleiras e diques de granitos em micaxistos, a SE, e ortognaisses, a leste.

Embora não muito proeminentes, efeitos de contato são marcados na diminuição de granulação de micaxistos do contato oeste/SW e variação na atitude de estruturas planares pré-Brasileira ( $S_2$ ) de micaxistos, que se amoldam à geometria do corpo.

O plúton em tela apresenta tramas magmáticas plano-lineares definidas por orientação de feldspato alcalino, quartzo e clinopiroxênio, as quais são concordantes com tramas similares, referidas como  $D_3$  ( $S_3$ ,  $L_3$ ), do substrato gnáissico-migmatítico e do pacote metapelítico. Em linhas gerais, as tramas plano-

lineares têm direção aproximada N-S, vergando para NNE-SSW no domínio NE do maciço (Fig. 2). A trama planar  $S_7$  mostra vergências para leste, com mergulhos moderados a subverticais, as últimas na zona de cisalhamento sinistrógira do contato oeste. A trama linear ( $L_7$ ) possui direção N-S, exceto na porção NE do corpo, e mergulhos sub-horizontais.

O regime extensional associado a transcorrência sinistrógira, provavelmente, controlaram o alojamento do plúton. A criação de espaço para o seu posicionamento pode ser explicada pela geometria extensional a NW da ZCRP, que originou cavidades em forma de cunha na interface entre os micaxistos e o substrato gnáissico (M.A.L. Nascimento, 1998; Jardim de Sá *et al.*, 1999). O posicionamento do plúton entre o substrato gnáissico e os micaxistos, bem como a imposição da trama  $D_3$  Neoproterozóica, no maciço granítico, são argumentos sugestivos de intrusão sintectônica. Atividades hidrotermais tardias, representadas por veios de quartzo, com mergulhos moderados, sugerem que a fase final de resfriamento do plúton envolveu episódios tangenciais, extensionais, com topo para sul e NW, respectivamente nas porções sul e norte do plúton.

### Variações Faciológicas

Macroscopicamente, as variações faciológicas são muito restritas no Plúton Caxexa. Predominam amplamente rochas hololeucocráticas, de composição granítica, textura equigranular, coloração cinza esbranquiçada a rósea e granulação fina a média. De ocorrência localizada, registram-se bandas esverdeadas, de espessura milimétrica a centimétrica, enri-

LITOESTRATIGRAFIA

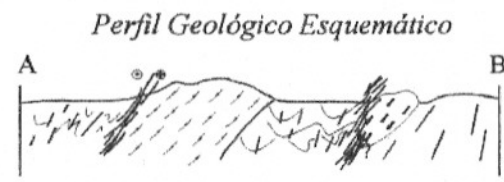
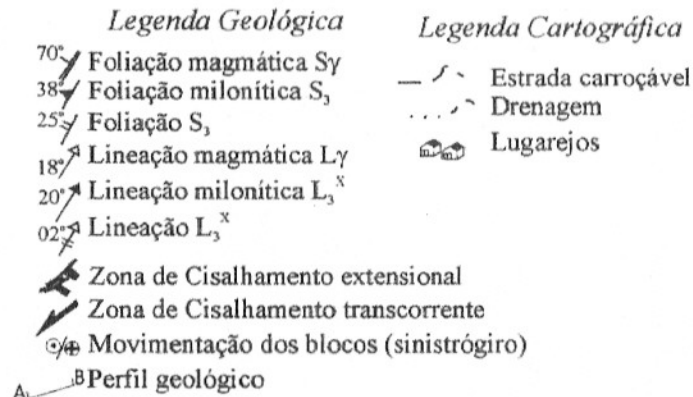
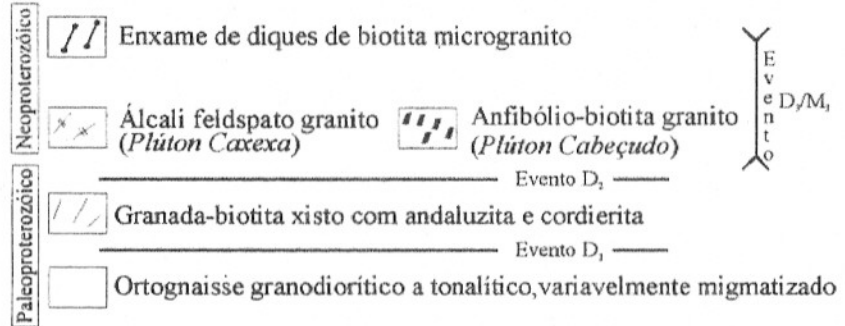
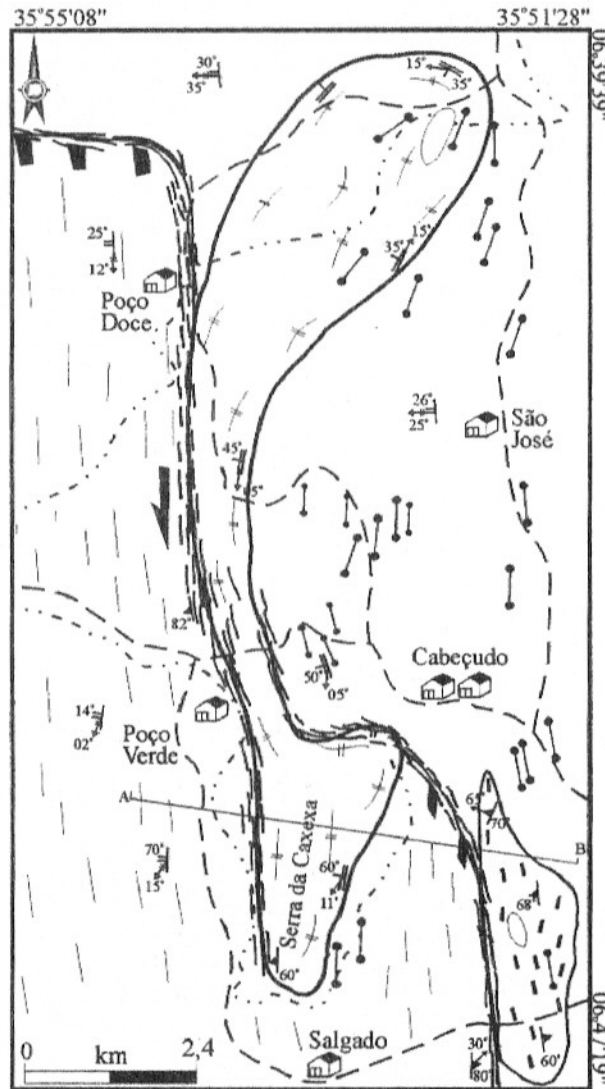


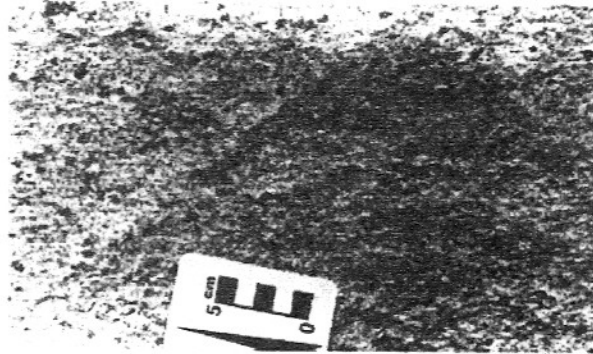
Figura 2 – Esboço geológico da área de ocorrência do Plúton Caxexa.

quecidas em clinopiroxênio, denotando, às vezes, um acamamento magmático, bem como nódulos milimétricos de granada vermelho-amarelada (Fig. 3).

Volumetricamente subordinadas e sem localização preferencial ao longo do maciço, destacam-se as seguintes fácies: i)

tipos inequigranulares, com textura de granulação média, microporfíricos, com fenocristais milimétricos de feldspato alcalino, ocorrendo como soleiras ou diques (truncam, em baixo ângulo, tramas de litologias prévias) de espessura decimétrica a métrica nos leucogranitos alcalinos descritos acima ou

em micaxistos e ortognaisses do substrato; ii) duas gerações de diques de pegmatito médio a grosso, de composição álcali granítica (com turmalina), a mais antiga anterior aos microgranitos, e outra posterior, sendo que todas as fácies apresentam as mesmas tramas lineares magmáticas.



**Figura 3** – Aspecto de campo dos nódulos milimétricos de granada nas rochas alcalinas do Plúton Caxexa.

## PETROGRAFIA E TEXTURAS

A composição modal (Tabela 1) e as texturas das rochas que compõem o maciço em questão são bastante homogêneas, em acordo com seus aspectos macroscópicos. A mineralogia essencial é representada por feldspatos (microclina e albita pura) e quartzo, os quais perfazem entre 90,2% e 98,8% em volume do conjunto de minerais, enquanto as fases máficas variam entre 1,2% e 9,8%. O mineral máfico dominante é o clinopiroxênio (pode atingir 7%), ocorrendo, ainda, outros acessórios, tais como titanita, granada (pode chegar a 4%, em algumas amostras), opacos, e raros allanita, zircão e apatita. Algumas amostras de borda do corpo

mostram maior proporção de minerais secundários (carbonatos) provenientes de alteração de feldspatos e clinopiroxênio. Modalmente, as rochas do Plúton Caxexa são classificadas, segundo Streckeisen (1976), como álcali-feldspato granitos. No diagrama Q-A-P (Fig. 4), onde também foram plotadas as tendências definidas por Lameyre & Bowden (1982), nota-se que as amostras analisadas situam-se na parte mais evoluída da linhagem de diferenciação da série alcalina.

A textura observada é normalmente equigranular a ligeiramente inequigranular, com frequentes mosaicos poligonais de feldspatos. Via de regra, os grãos de feldspatos e quartzo possuem formas alongadas ou definem laminações que produ-

zem uma trama planar em praticamente todas as amostras descritas. Nas rochas contendo granada, tem-se, adicionalmente, a textura esquelética deste mineral.

A **microclina** ocorre como grãos subeuédricos a anédricos, por vezes micropertíticos, tendo as geminações albita-periclina em padrão xadrez, associada, por vezes, Carlsbad. Os cristais podem atingir até 2,5 mm de comprimento, nestes casos, definindo localmente texturas microporfíricas. Possuem inclusões de minerais precoces do tipo plagioclásio, titanita e clinopiroxênio. Os **plagioclásios** foram subdivididos em dois tipos texturais; i) **Pl<sub>1</sub>** – subeuédricos, com geminação polisintética e tamanhos menores que 0,4 mm, estando incluídos em cristais maiores de micro-

**Tabela 1** – Composição modal das rochas do Plúton Caxexa.

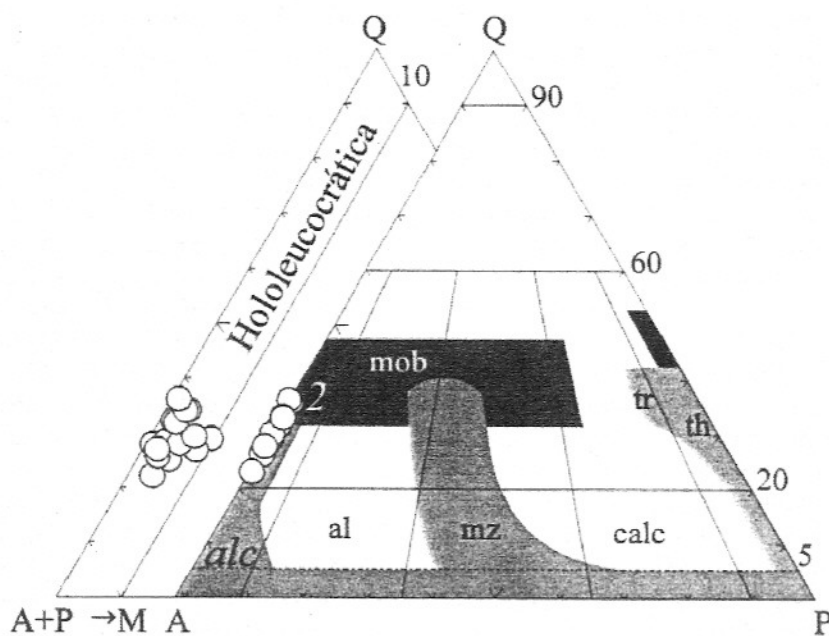
rochas com granada									
Amostra	MA-01A	MA-01B	MA-112	MA-125	MA-18	MA-98	MA-23A	MA-66	X ±1σ
Qz	25,0	25,1	26,5	27,9	28,7	31,6	34,0	34,0	29,1±3,5
Alb	39,0	40,0	25,4	38,0	34,2	27,2	32,4	32,3	33,6±5,0
Kf	31,1	31,6	43,8	28,8	27,3	38,5	30,5	30,2	32,7±5,2
CPX	0,2	1,4	3,4	2,9	5,6	2,0	Tr	2,1	2,2±1,7
Tit	0,3	0,4	0,4	0,6	0,1	Tr	Tr	0,2	0,3±0,2
Alan	–	–	Tr	–	0,1	–	–	–	Tr
Op	–	Tr	–	0,2	0,4	–	2,2	0,4	0,4±0,7
Gran	4,0	1,0	0,1	1,6	2,7	0,4	0,8	0,8	1,4±1,2
Ac	Tr	0,4	–	Tr	0,2	0,3	0,1	Tr	0,1±0,1
Sec	0,4	Tr	Tr	–	Tr	–	Tr	–	Tr
Total	100,0	99,9	99,6	100,0	99,3	100,0	100,0	100,0	99,9±0,2
Qz+Feld	95,1	96,7	95,3	94,7	90,2	97,3	96,9	96,5	95,3±2,1
ΣM	4,9	3,2	4,3	5,3	9,8	2,7	3,1	3,5	4,6±2,1

**Tabela 1** – (continuação)

rochas sem granada							
Amostra	MA-08	MA-21	MA-102	MA-99	MA-12	MA-100	X ±1σ
Qz	22,0	26,4	27,6	28,2	29,0	32,0	27,5±3,0
Alb	40,5	30,5	31,0	28,6	33,5	32,5	32,8±3,8
Kf	33,6	34,7	40,0	40,1	30,3	33,2	35,3±3,6
CPX	0,6	6,9	Tr	2,8	5,7	2,0	3,0±2,5
Tit	1,0	0,2	0,4	–	0,4	0,2	0,4±0,3
Alan	–	–	–	–	–	–	–
Op	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	Tr	0,2±0,1
Gran	–	–	–	–	–	–	–
Ac	Tr	0,1	0,2	Tr	0,7	0,1	0,2±0,2
Sec	1,8	0,9	0,4	–	–	–	0,5±0,7
Total	100,0	100,0	99,8	99,9	99,8	100,0	99,9±0,1
Qz+Feld	96,1	91,6	98,6	96,9	92,8	97,7	95,6±2,6
ΣM	3,9	8,4	1,2	3,0	7,0	2,3	4,3±2,6

Obs.: Foram contados em média 1200 pontos por cada seção delgada.

Legenda: Qz = quartzo; Alb = albita; Kf = feldspato potássico; CPX = clinopiroxênio; Tit = titanita; Alan = alanita; Op = opacos; Gran = Granada; Ac = acessórios (apatita + zircão); Sec = secundários (carbonatos); Qz = quartzo; Feld = feldspatos; SM = somatório de máficos; Tr = Traços.



**Figura 4** – Diagrama Q-A-P e Q-A+P-M (Streckeisen 1976) para amostras representativas do Plúton Caxexa, com os campos das séries magmáticas, de acordo com Lameyre & Bowden (1982). Legenda: 2. álcali-feldspato granito; tr. trondhjemítico; th. tholeítico; calc. cálcio-alcalino; mz. monzonítico; al. granitóides aluminosos em províncias alcalinas; alc. alcalino; mob. mobilizados crustais.

clina, e possuem teores de anortita inferiores a 4%; ii) **Pl<sub>2</sub>** – exibem formas subeuédricas a anédricas, geminações polisintéticas, dimensões entre 0,2 e 0,7 mm, sendo encontrados na matriz da rocha, e podendo conter inclusões de zircão, titanita e apatita. Os tipos **Pl<sub>2</sub>** têm composição de albita pura (An<sub>0,2</sub>). Cristais anédricos de **quartzo** ocorrem com dimensões que variam de 0,2 a 0,5 mm, apresentando extinção ondulante e localmente desenvolvem textura em mosaico poligonal. Possui inclusões de zircão, titanita, apatita, opacos e plagioclásio.

O **clinopiroxênio** é individualizado em dois tipos de acordo com a presença ou não de granada nas rochas: i) **aegirina-augita** – ocorre nas fácies cujas associações minerais não possuem granada, apresentando-se com coloração verde

acastanhada a verde escura, forte absorção e ângulo de extinção (Z<sup>^</sup>a) entre 5 e 16°; ii) **hedenbergita** – ocorre nas rochas portadoras de granada, possuindo coloração verde escura e ângulo de extinção (Z<sup>^</sup>c) de 40-50° (Fig. 5a).

A **granada** é encontrada sob duas formas texturais. A primeira está associada com hedenbergita, com a qual exibe contatos interdigitados ou interlobados, tem cor amarelo clara, hábito euédrico e tamanho inferior a 0,6 mm. Nestes casos, sugere-se que a granada formou-se por reações envolvendo o clinopiroxênio (Fig. 5a). O segundo tipo tem cor amarelo escura, hábito tipicamente intersticial, esquelético ou em atol (Fig. 5b), com frequentes inclusões de plagioclásio e quartzo, e atinge dimensões milimétricas, destacando-se do conjunto de outros minerais.

A **titanita** é euédrica a subeuédrica, de tamanho inferior a 0,5 mm, tendo seção losangular, cor castanho escura, podendo mostrar geminação simples; aparece como inclusões em quartzo, Pl<sub>2</sub> e microclina. Os minerais **opacos** são, predominantemente, magnetita, encontrada como grãos subeuédricos de seção quadrática e tamanho inferior a 0,4 mm. Um outro tipo, com borda de titanita, deve representar ilmenita. **Zircão** e **apatita** definem cristais euédricos, menores que 0,2 mm, encontrados como inclusões em quartzo, feldspatos e clinopiroxênio.

A **allanita** é muito rara, sendo encontrada como cristais euédricos a subeuédricos, alcançando até 0,4 mm; apresenta cor amarelo acastanhada. Em geral aparece como cristais zonados, estando comumente inclusos no quartzo. **Carbonato** é produto de transformação de clinopiroxênio e plagioclásio, onde preenche fraturas ou acomoda-se em planos cristalográficos e terminações destes minerais.

As relações texturais observadas possibilitam deduzir uma seqüência de cristalização, onde a associação mineral mais precoce é formada por zircão, apatita, magnetita, titanita e, provavelmente, clinopiroxênio, que são encontrados como inclusões nas demais fases. Os feldspatos, juntamente com o quartzo, compõem o maior volume de minerais cristalizados, com o quartzo posterior a microclina e ao plagioclásio. Em etapa subsequente, os feldspatos reequilibraram-se em mosaicos poligonais, revelando efeitos de altas temperaturas (ao nível da fácies anfíbolito superior), e formaram-se grãos esqueléticos de granada. Possivelmente neste estágio, foram impressas as tramas

plano-lineares de estado sólido vistas em campo. A ação de uma fase fluida na etapa final de resfriamento do plúton reflete-se na formação de carbonatos, bem como venulações pegmatóides, contendo turmalina em várias partes do corpo.

## CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA

### Técnicas Analíticas

Efetuiu-se um estudo litogeoquímico de 14 amostras representativas do corpo Caxexa. As composições em elementos maiores e traço encontram-se na Tabela 2. O ferro total é reportado como  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Os dados analíticos de elementos maiores e menores foram determinados por fluorescência de raios X, no Laboratoire de Pétrologie et Tectonique da Universidade Claude Bernard I (Lyon, França), bem como no Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques – CRPG/CNRS (Vandœuvre, França). Os elementos traço e os terras raras foram obtidos por espectrometria de plasma de fonte gasosa (ICP-MS), no CRPG/CNRS. A precisão analítica para os elementos maiores é inferior a 2%, podendo alcançar 10% para aqueles de baixas abundâncias ( $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ). Para os elementos traço, a precisão é superior a 5%, chegando a 10% para os elementos com concentrações menores que 30 ppm.

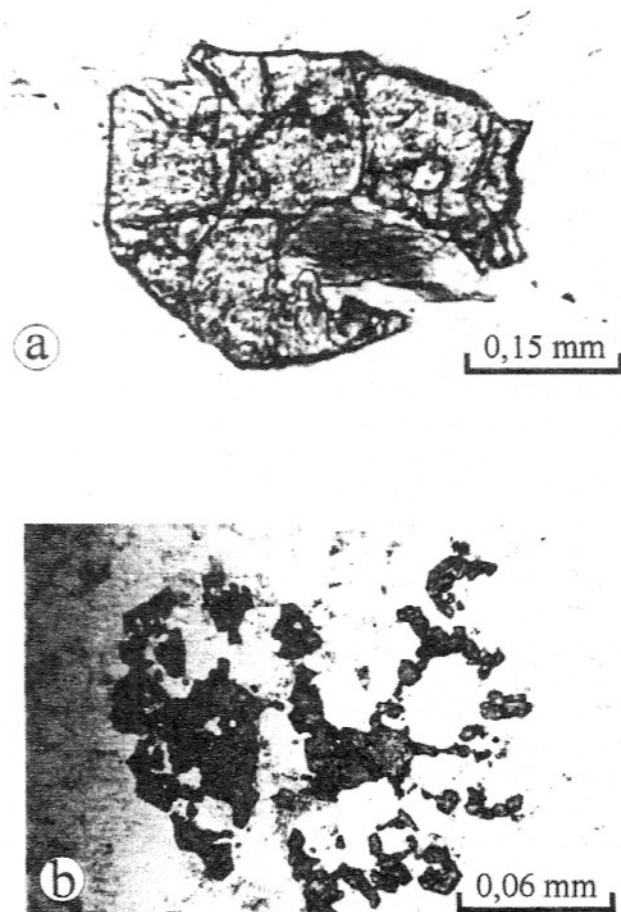
### Geoquímica

O Plúton Caxexa constitui-se de rochas bastante evoluídas, com concentrações de  $\text{SiO}_2$  dispostas no estreito intervalo de 70,8% a 76,3%. Podem ser, portanto, consideradas como composições graníticas afins a sis-

temas de alta sílica, que são de difícil enquadramento, com respeito a sua filiação magmática. Apenas a integração de dados geológicos, petrográficos e geoquímicos permite elucidar a que série magmática pertencem tais líquidos muito diferenciados (Collins *et al.*, 1982; Whalen *et al.*, 1987; Sylvester, 1989; Eby, 1990; Nardi, 1991).

Diagramas discriminantes utilizando elementos maiores mostram a afinidade alcalina para essas rochas, conforme exemplificado nos gráficos R1-R2 (Fig. 6a) e sílica vs. índice de Wright (1969) (Fig. 6b). No diagrama sílica vs. álcalis total (Fig. 6c), as amostras, mesmo

plotando muito próximas umas das outras, em decorrência da pequena variação de  $\text{SiO}_2$ , posicionam-se claramente na porção mais diferenciada de séries alcalinas. A afinidade alcalina do plúton é realçada por altas concentrações de álcalis (cerca de 10% de  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  para uma média de 73%  $\text{SiO}_2$ ; Fig. 6c e Tabela 2), elevados valores no número de Fe ( $\text{Fe}\#$  [ $=\text{FeOt}/(\text{FeOt}+\text{MgO})$ ], e alto índice agpaítico (Tabela 2). Estes parâmetros permitem caracterizar o plutonismo em foco como pertencente à associação alcalina metaluminosa no sentido de Nardi (1991), conforme ilustrado na Figura 7. Compo-



**Figura 5** – Aspectos microscópicos dos principais minerais máficos no Plúton Caxexa. (a) cristal de hedenbergita parcialmente transformado para granada (luz natural, aumento 250X). (b) granada tardi-magmática com hábito intersticial/esquelético (luz natural, aumento 100X).



**Tabela 2** – Composição em elementos maiores e traços de amostras representativas do Plúton Caxexa. Dados analíticos obtidos por fluorescência de raio-X no *Laboratoire de Pétrologie et Tectonique* da Universidade Claude Bernard (Lyon, França) e por fonte gasosa de plasma (ICP-MS) no *Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques* (CRPG/CNRS, Vandoeuvre, França).

Amostra	MA-08A	MA-66	MA-08	MA-18A	MA-112	MA-01A	MA-102
SiO <sub>2</sub> (% em peso)	70,84	70,90	71,49	71,71	71,81	72,12	72,27
TiO <sub>2</sub>	0,04	0,07	0,07	0,10	0,03	0,06	0,06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,20	15,90	15,01	14,74	14,93	14,81	14,70
Fe <sub>2</sub> O <sub>3t</sub>	1,05	1,18	1,09	1,32	0,87	0,97	1,13
MnO	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03
MgO	0,05	0,08	0,08	0,05	0,08	0,09	0,06
CaO	0,74	0,68	0,70	0,78	0,63	0,55	0,47
Na <sub>2</sub> O	5,80	5,61	5,39	4,96	5,87	5,57	5,17
K <sub>2</sub> O	5,02	5,06	4,84	5,18	4,82	4,63	4,98
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,03	0,09	0,03	0,03	tr	0,01	0,08
PF	0,68	0,49	0,47	0,18	0,20	0,18	0,74
Total	99,47	100,09	99,20	99,08	99,26	99,02	99,69
Ba (ppm)	2122	2144	2373	2584	1971	2069	1684
Ga	19	18	NA	NA	19	NA	18
Nb	11	9	12	9	8	5	24
Rb	139	134	134	108	157	147	143
Sr	1008	1202	943	1025	1214	1002	677
V	18	19	25	29	17	25	20
Y	9	16	11	10	13	13	14
Zr	120	153	123	140	42	91	138
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	10,82	10,67	10,23	10,14	10,69	10,20	10,15
Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O	1,16	1,11	1,11	0,96	1,22	1,20	1,04
Rb/Sr	0,14	0,11	0,14	0,11	0,13	0,15	0,21
A/CNK	0,93	1,00	0,98	0,97	0,93	0,98	1,00
IAG (NK/Al)	0,99	0,92	0,94	0,94	1,00	0,96	0,95
100Fe#	95	93	92	96	91	91	94
Coríndon <sub>N</sub>	-	0,18	-	-	-	-	0,14

**Tabela 2** – (continuação)

Amostra	MA-21	MA-98	MA-12A	MA-18	MA-100	MA-99	MA-23A	X ± 1σ
SiO <sub>2</sub> (% em peso)	72,59	72,60	72,64	72,87	73,02	73,23	76,27	72,45± 1,28
TiO <sub>2</sub>	0,07	0,06	0,09	0,11	0,05	0,05	0,04	0,06± 0,02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,61	15,22	14,94	14,73	15,01	14,87	13,47	14,87± 0,50
Fe <sub>2</sub> O <sub>3t</sub>	0,99	0,90	1,14	1,28	0,88	0,88	0,85	1,04± 0,15
MnO	0,03	tr	0,04	0,04	tr	tr	0,02	0,02± 0,01
MgO	0,10	0,02	0,10	0,09	0,03	0,04	0,03	0,06± 0,03
CaO	0,57	0,38	0,61	0,79	0,16	0,23	0,43	0,55± 0,19
Na <sub>2</sub> O	5,18	5,55	5,27	4,87	5,47	5,56	5,02	5,38± 0,30
K <sub>2</sub> O	4,86	4,69	4,86	5,22	4,74	4,69	3,46	4,79± 0,41
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02	0,07	0,03	0,03	0,08	0,07	0,02	0,04± 0,03
PF	0,10	0,56	0,08	0,19	0,55	0,37	0,11	0,37± 0,26
Total	99,12	100,05	99,80	100,22	99,99	99,99	99,72	99,62± 0,41
Ba (ppm)	2091	1940	2672	2676	1643	1760	223	1997± 591
Ga	NA	17	NA	NA	18	17	NA	18± 1
Nb	10	8	10	9	9	9	15	11± 4
Rb	136	141	121	110	152	148	149	137± 14
Sr	919	982	967	1036	509	626	345	890± 245
V	23	3	26	28	3	3	13	18± 9
Y	12	12	14	11	12	9	13	12± 2
Zr	83	72	122	140	81	94	152	111± 33
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	10,04	10,24	10,13	10,09	10,21	10,25	8,48	10,17± 0,28
Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O	1,07	1,18	1,08	0,93	1,15	1,19	1,45	1,12± 0,13
Rb/Sr	0,15	0,14	0,13	0,11	0,30	0,24	0,43	0,18± 0,09
A/CNK	0,99	1,02	0,99	0,98	1,04	1,02	1,05	0,99± 0,03
IAG (NK/Al)	0,94	0,93	0,93	0,93	0,94	0,96	0,89	0,94± 0,03
100Fe#	90	98	91	93	96	95	96	94± 2
Coríndon <sub>N</sub>	-	0,49	-	-	0,78	0,40	0,67	-

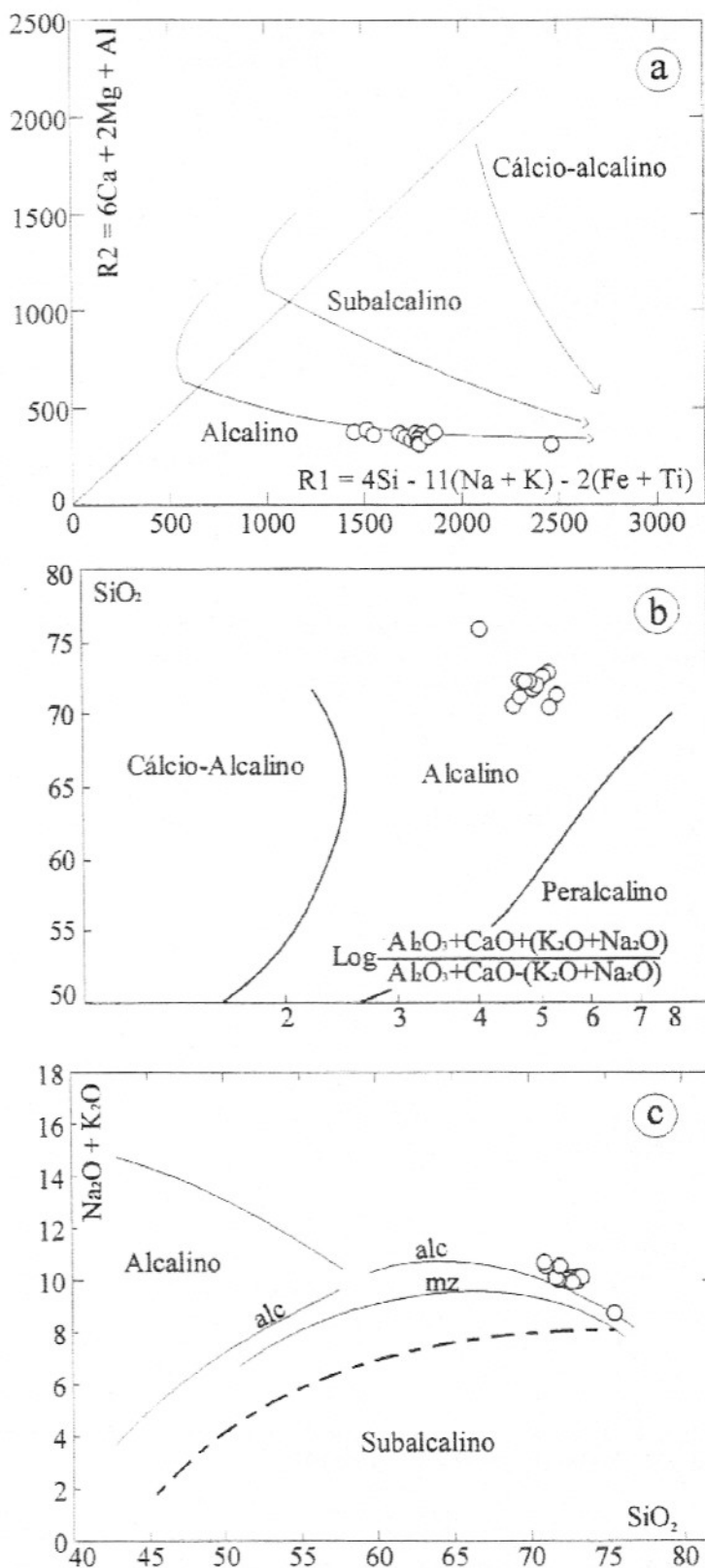
PF = perda ao fogo; tr = traço; NA = não analisado; A/CNK = razão molar Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(CaO+Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O); IAG = índice albitico = [(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>] em moles; 100Fe# = número de ferro = 100 FeO<sub>1</sub> mol/FeO<sub>1</sub> mol + MgO mol). Coríndon<sub>N</sub> = coríndon normativo.

sições normativas calculadas para as rochas em questão indicam serem as mesmas transicionais de metaluminosas a peraluminosas, com razões moleculares (Maniar & Piccoli, 1989)  $A/NK < 1,2$  e  $A/CNK < 1,1$ , com coríndon normativo inferior a 0,78 (Tabela 2 e Fig. 8).

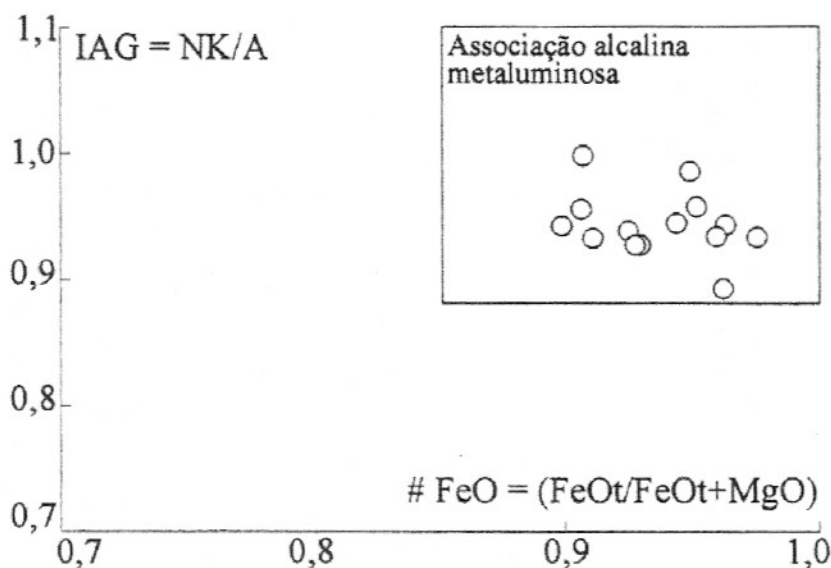
A definição da afinidade alcalina para as rochas do maciço estudado não é coerente com suas concentrações em Nb, Ga, Y e Zr (Tabela 2), sempre abaixo da média dos valores para granitos alcalinos clássicos (Whalen *et al.*, 1987; Eby, 1990). Por outro lado, Nardi (1991) mostra que granitos metaluminosos de associações alcalinas, usualmente, não apresentam elevados teores em elementos de alto potencial iônico, o que se coaduna com o caso pesquisado. Outro fator peculiar refere-se aos altíssimos valores de Sr e muito baixos de Rb (Tabela 2), se comparados ao magmas alcalinos clássicos. As mesmas características observam-se nos demais plútons alcalinos do MSJC (Hollanda, 1998; R. S. C. Nascimento, 1998) e naqueles da Zona Transversal (Sial, 1987; Ferreira *et al.*, 1998; Galindo & Sá, 1999).

#### Diagramas de Harker e Mecanismo Petrogenético

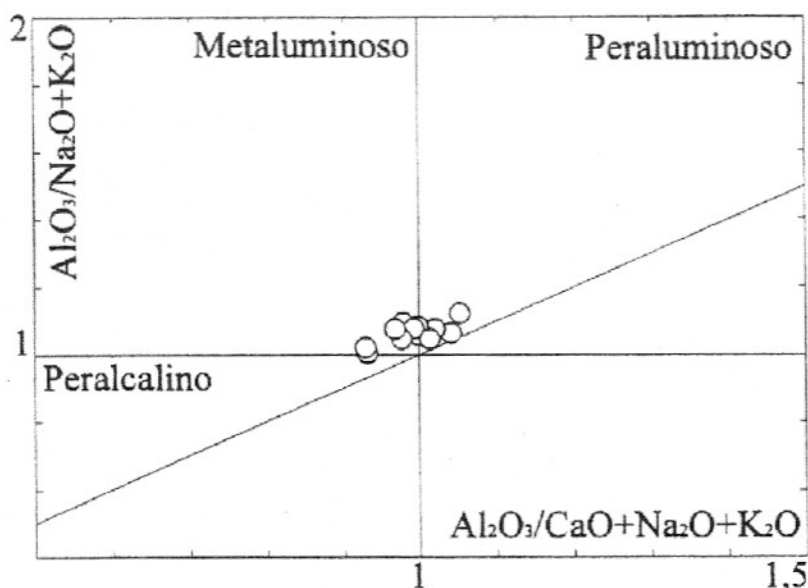
Diagramas de Harker, nos quais se considerou  $SiO_2$  como índice de diferenciação, revelam um comportamento regular de alguns elementos maiores e traço (Fig. 9). Excetuando o  $Na_2O$ , que se mostra disperso, os demais óxidos da Figura 9 apresentam uma nítida tendência de empobrecimento com o aumento de  $SiO_2$ , sendo a diminuição mais acentuada no caso de CaO. A correlação negativa também se verifica para Sr, ao passo que o Rb tende a



**Figura 6** – Diagramas geoquímicos definindo o caráter alcalino do Plúton Caxexa, com base em: a) composições catiônicas R1 vs. R2 (De La Roche *et al.* 1980); b) índice de Wright (1969); c) sílica vs. álcalis total (Lameyre 1987).



**Figura 7** – Diagrama relacionando o número de Fe como FeOt (Fe#) e o índice apfítico (IAG), indicando também o campo de granitos da associação alcalina metaluminosa segundo Nardi (1991).



**Figura 8** – Representação das rochas do Plúton Caxexa, segundo o índice de Shand (Maniar & Piccoli 1989).

ser mais incompatível. O diagrama Rb vs Sr, com as amostras dispostas numa reta praticamente vertical (Fig. 9), sugere a cristalização fracionada como o mecanismo petrogené-

tico mais provável, conforme demonstrado por Cocherie (1986) e Martin (1987). Também pode ser eliminada a mistura de magma, que produziria uma curva convexa para cima,

em oposição à curva de fusão parcial (Cocherie, 1986). Seguindo a hipótese de cristalização fracionada, as linhas de tendência da Figura 9 podem ser explicadas através do fracionamento de minerais bastante ricos em CaO e Sr e ligeiramente enriquecidos em  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$  e  $K_2O$ .

A hipótese de cristalização fracionada foi testada, inicialmente, por meio do balanço de massa de óxidos e utilizando-se o programa XLFRAC (Stormer Jr. & Nicholls, 1978). Para a execução do mesmo, foram usadas análises químicas dos minerais do próprio Plúton Caxexa, bem como dados da literatura (Deer *et al.*, 1996). Dentre as amostras do plúton em questão, selecionaram-se aquelas representativas do líquido menos diferenciado, chamado  $L_0$  (MA-08A), e do mais evoluído, ou  $L_1$  (MA-99), as duas recalculadas a 100% em base anidra. Com base nas informações petrográficas, foram feitas várias combinações de minerais fracionados, aplicando, sucessivamente, o programa XLFRAC. A cada ensaio, o programa faz o balanço de massa, calculando as proporções relativas dos minerais no cumulado, a taxa de cristalização fracionada e o somatório dos quadrados dos erros para cada óxido ( $\sum r^2$ ). No caso ideal, a hipótese mais adequada é aquela onde  $\sum r^2$  tende a zero.

De acordo com as premissas acima, determinou-se um cumulado (Tabela 3) formado por plagioclásio ( $An_{20}$ ; 88,11%), clinopiroxênio (9,26%) e magnetita (2,63%), com taxa de cristalização de 10% e  $\sum r^2$  de 0,89. Testes feitos com granada, biotita, hornblenda e ortoclásio juntos, separados, ou em combinações diversas, resultaram erros estatísticos ( $\sum r^2$ ) elevados (>30) ou taxas de cristalização negativas,

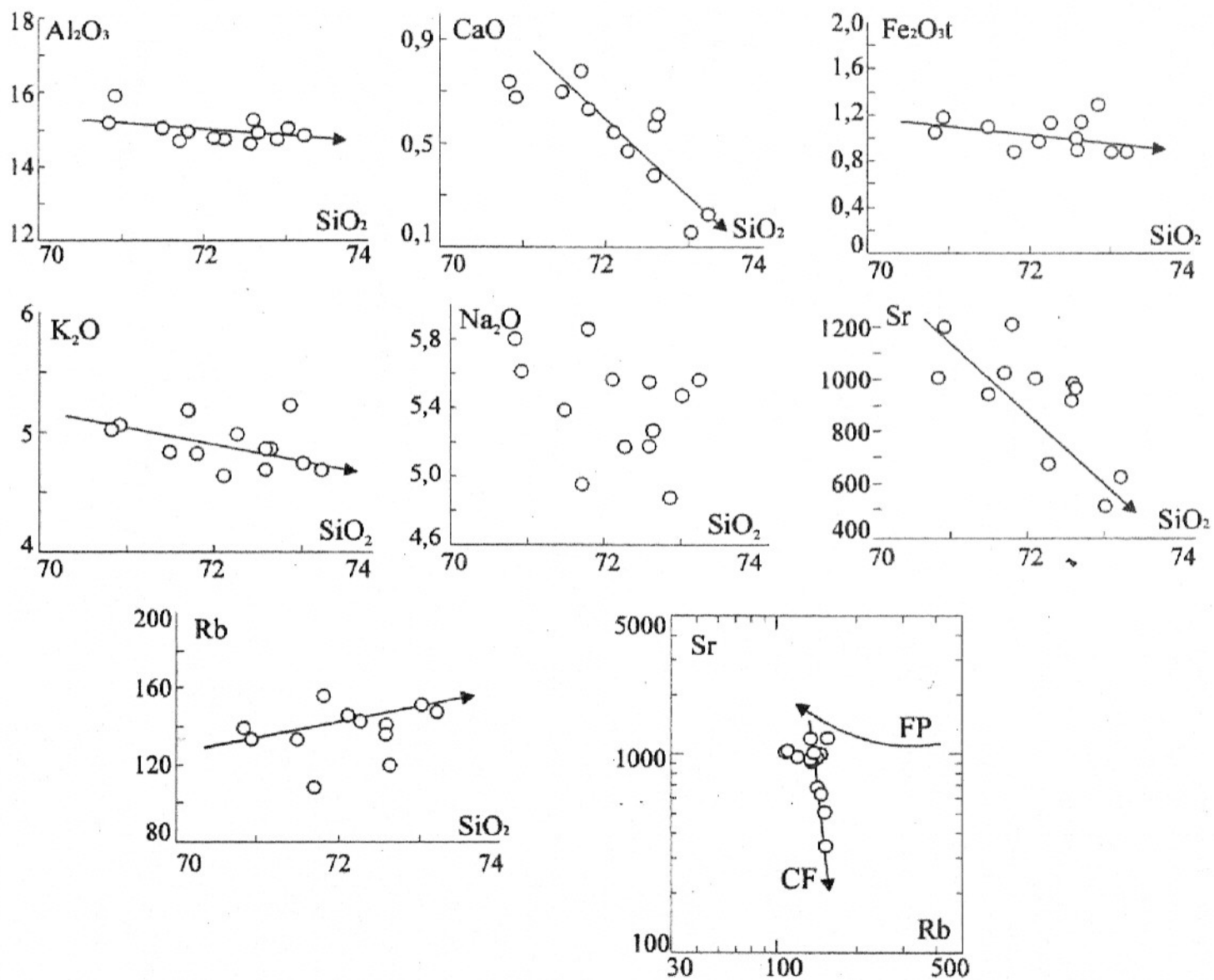


Figura 9 – Diagramas de Harker e a relação entre elemento compatível (Sr) e incompatível (Rb). CF = cristalização fracionada e FP = fusão parcial.

sem significado. Até o momento, não se encontraram evidências claras no campo de cumulados contendo os minerais sugeridos pelo modelamento. Todavia, a presença de relíquias de acamamento magmático com bandas de espessura centimétrica, com predomínio ora de clinopiroxênio ora de feldspatos, podem corresponder a cumulados. No mesmo sentido, citam-se inclusões de clinopiroxênio e plagioclásio (em parte carbonatizados), encontrados no interior de fenocristais de microclina.

Partindo do pressuposto de que qualquer modelo petrogenético de balanço de massa também deve ser válido para os elementos traço, o cumulado acima obtido foi testado, com respeito aos ETR. Neste caso, aplicou-se a equação de cristalização fracionada segundo Rayleigh (1896) e os coeficientes de partição sugeridos por Martin (1987). Considerando o cumulado tal como especificado na Tabela 3, obteve-se um excelente ajuste entre o espectro esperado ( $L_1$ ) e o teórico ( $L_1'$ ), todavia com  $Yb_N$  bem maior que  $L_1$ . Finalmente, o acréscimo de uma pequena quantidade de zircão no cumulado enseja um melhor ajuste entre os padrões de ETR de  $L_1$  e  $L_1'$  (Fig. 10). A diminuição nas concentrações de Ba, Sr, V e Zr (comparar amostras MA-08A e MA-99, na Tabela 2) é coerente com a composição estimada para o cumulado. Deste modo, os modelos de balanço de massa e ETR e composições de outros elementos traço (Ba, Sr, Zr) são consistentes com a hipótese de cristalização fracionada.

#### Espectros de Terras Raras e Multielementares

Um conjunto de 7 análises de ETR pode ser visto na Ta-

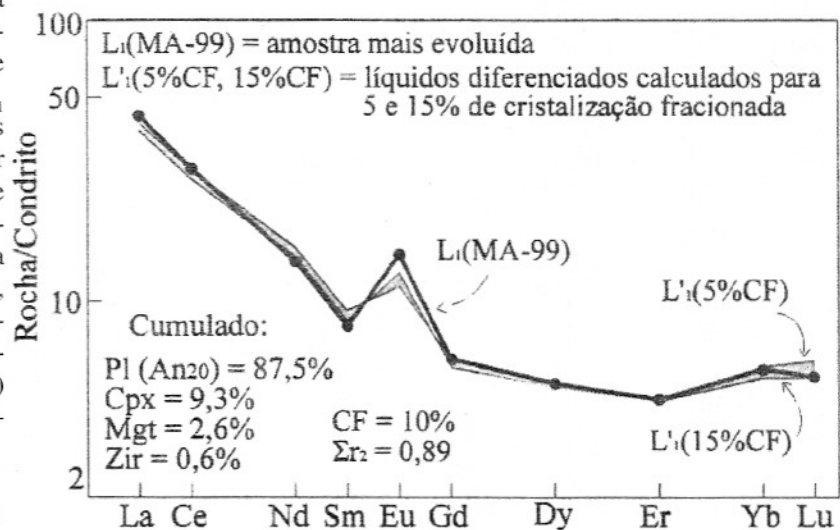
bela 4. Os respectivos espectros normalizados com respeito ao condrito C1, de Evensen *et al.* (1978), estão na Figura 11. Os espectros são subparalelos entre si, o que fortalece a hipótese de termos amostras cogenéticas, e possuem uma geometria global

côncava para cima e forte anomalia positiva de Eu ( $Eu/Eu^* = 1,46-2,04$ ). Em função da forma dos espectros de TR, a razão  $(La/Yb)_N$  não descreve corretamente os espectros, motivo pelo qual optou-se por utilizar as razões  $(La/Sm)_N$  e  $(Gd/Yb)_N$  para indicar o fra-

**Tabela 3** – Resultados obtidos no modelamento de cristalização fracionada do Plúton Caxexa.

	$L_0$ (MA-08A)	$L_1$ (MA-99)	$L_1'$ (*)	$D(L_1-L_1')$	cumulado
SiO <sub>2</sub>	71,72	73,51	73,12	0,39	60,34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,39	14,93	14,82	0,11	20,26
Fe <sub>2</sub> O <sub>3t</sub>	1,06	0,88	0,62	0,26	5,04
MgO	0,05	0,04	0,02	0,02	0,34
CaO	0,75	0,23	0,20	0,03	5,43
Na <sub>2</sub> O	5,88	5,58	5,62	-0,04	8,01
K <sub>2</sub> O	5,08	4,71	5,52	-0,81	0,57
TiO <sub>2</sub>	0,04	0,05	0,04	0,01	0,01
P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,03	0,07	0,04	0,03	0,00
Total	100,00	100,00	100,00	–	100,00

$L_0$  = líquido inicial;  $L_1$  = líquido final;  $L_1'$ (\*) = líquido produzido a partir da extração do cumulado (em peso) formado por Plagioclásio ( $An_{20}$ ) 88,11%; Clinopiroxênio 9,26% e Magnetita 2,63%. Grau de quadrados dos desvios sobre cada óxido.



**Figura 10** – Modelamento de cristalização fracionada para o Plúton Caxexa. Valores de normalização segundo Evensen *et al.* (1978).

cionamento dos ETR (Tabela 4). Em resumo, há um maior fracionamento de ETR leves ( $(La_N/Sm_N)=4,1-7,9$ ) do que ETR pesados ( $(Gd_N/Yb_N)=0,74-1,78$ ). Os baixos conteúdos no total de ETR ( $\Sigma ETR < 121$  ppm) e a anomalia positiva de Eu são contrastantes com aqueles de granitos alcalinos clássicos. O maior enriquecimento em ETR leves pode refletir a grande quantidade modal de feldspatos na rocha, bem como a presença, principalmente, de allanita, além de clinopiroxênio.

Também observa-se uniformidade de padrões em diagramas multielementares (Fig. 12). Ressalta-se a tendência geral de empobrecimento dos elementos incompatíveis e anomalias negativas de P, Ti, e, em menor grau, Nb. Estes padrões também são observados, embora em proporção ligeiramente menor, em ortognaisses granodioríticos a tonalíticos do substrato Paleoproterozóico (Souza *et al.*, em preparação), podendo refletir características químicas da própria fonte, realçadas por cris-

talização fracionada de titanita, apatita e magnetita.

## DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Em linhas gerais, o Plúton Caxexa pode ser sintetizado com as seguintes características: 1) composições modais e químicas bastante evoluídas, com minerais félsicos (feldspatos, quartzo) > 90% em volume e altos valores de sílica e total de álcalis; 2) dentre as fases máficas, destaca-se o clinopiroxênio e, por vezes, a granada; 3) afinidade alcalina com base nas relações de sílica vs. álcalis, porém com características transicionais entre tipos metaluminosos e fracamente peraluminosos; 4) teores em Nb, Ga, Sr, Zr, Rb,  $\Sigma ETR$  e anomalias de Eu distintas, com respeito às associações alcalinas clássicas.

Parte das características enunciadas acima são semelhantes às descritas por Nardi (1991) para a associação alcalina supersaturada em sílica, de tendência metaluminosa a pe-

raluminosa. Pontos discordantes são a presença de biotita e anfibólio ricos em Fe, elevados Nb e Rb, baixo Sr e anomalia negativa de Eu nos tipos referidos por Nardi (1991). Condições oxidantes durante a diferenciação magmática são atestadas por cristalização precoce de magnetita, pela associação quartzo + titanita + magnetita (Wones, 1989) e a transformação tardia de clinopiroxênio em granada + óxido de ferro. A suposição de condições oxidantes tem implicações sobre o tipo de anomalia de Eu (discussão em Ragland, 1989, p.310-311). Anomalias negativas podem indicar fracionamento de feldspatos e são coerentes com ambientes redutores, estabilizando o  $Eu^{+2}$ . Já anomalias positivas sugerem acumulação de feldspatos. O fato de cálculos de balanço de massa sugerirem o fracionamento de feldspatos, e ainda assim manterem a anomalia positiva de Eu, pode ser justificada pelo pequeno grau de fracionamento (<10%) e pelo líquido  $L_0$ , admitido no modelamento, já possuir forte anomalia positiva de Eu.

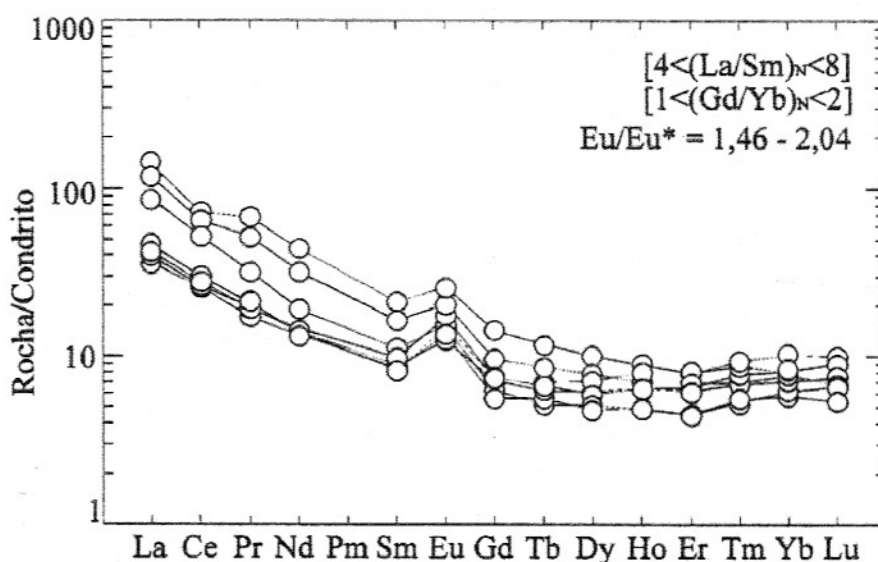
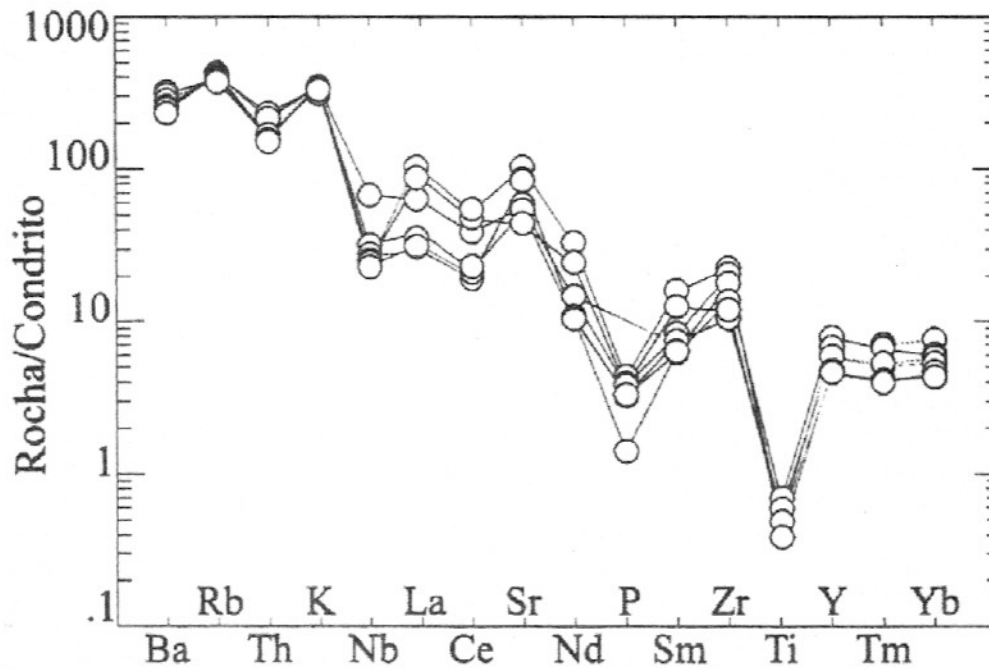


Figura 11 – Padrões de elementos terras raras de amostras selecionadas do Plúton Caxexa, normalizados segundo o condrito C1 de Evensen *et al.* (1978).



**Figura 12** – Diagrama multielementar para o Plúton Caxexa, normalizado segundo valores sugeridos por Thompson *et al.* (1984).

**Tabela 4** – Análises de elementos terras raras para o Plúton Caxexa. Dados analíticos obtidos por fonte gasosa de plasma (ICP-MS) no *Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques* (CRPG/CNRS, Vandoeuvre, França).

Amostra	MA-08A	MA-66	MA-112	MA-102	MA-98	MA-100	MA-99	$X \pm 1\sigma$
SiO <sub>2</sub> (% em peso)	70,84	70,90	71,81	72,27	72,60	73,02	73,23	72,10 ± 0,89
La (ppm)	9,62	33,90	8,84	21,20	10,10	28,70	11,20	17,65 ± 9,56
Ce	16,71	45,70	16,26	32,90	17,70	40,60	19,00	26,98 ± 11,60
Pr	1,87	6,45	1,65	3,07	1,85	4,92	1,98	3,11 ± 1,73
Nd	6,63	20,50	6,23	9,00	6,74	15,10	6,58	10,11 ± 5,14
Sm	1,28	3,22	1,35	1,69	1,50	2,52	1,26	1,83 ± 0,70
Eu	0,78	1,49	0,72	0,89	0,99	1,17	0,86	0,99 ± 0,25
Gd	1,14	2,90	1,43	1,52	1,52	1,95	1,28	1,68 ± 0,55
Tb	0,21	0,44	0,23	0,26	0,25	0,32	0,19	0,27 ± 0,08
Dy	1,23	2,50	1,56	1,81	1,50	1,97	1,30	1,70 ± 0,41
Ho	0,28	0,50	0,36	0,46	0,36	0,40	0,27	0,38 ± 0,08
Er	0,74	1,32	1,08	1,31	1,03	1,14	0,75	1,05 ± 0,22
Tm	0,14	0,22	0,20	0,24	0,17	0,18	0,14	0,18 ± 0,04
Yb	1,02	1,32	1,34	1,67	1,16	1,26	0,95	1,25 ± 0,22
Lu	0,17	0,19	0,23	0,25	0,19	0,17	0,14	0,19 ± 0,03
ΣREE	41,82	120,65	41,48	76,27	45,06	100,40	45,90	67,37 ± 29,98
(La/Sm) <sub>N</sub>	4,73	6,63	4,12	7,90	4,24	7,17	5,60	5,77 ± 1,38
(Gd/Yb) <sub>N</sub>	0,91	1,78	0,88	0,74	1,06	1,25	1,09	1,10 ± 0,32
Eu/Eu*	1,93	1,46	1,56	1,66	1,98	1,56	2,04	1,74 ± 0,22

$$\text{Eu/Eu}^* = \text{Eu}_N / [(\text{Sm}_N + \text{Gd}_N) / 2].$$



Por fim, parece haver uma relação entre as estruturas regionais extensionais que controlaram o posicionamento do Plúton Caxexa e sua geoquímica particular (Souza & Jardim de Sá, 1993; Jardim de Sá, 1994; Trindade *et al.*, 1995; Jardim de Sá *et al.*, 1999). Neste sentido, reativação de zonas de cisalhamento enraizadas na base da crosta ou mesmo no manto litosférico, em regime extensional, tanto em cinturões orogênicos recém estabilizados

como em regimes de afinamento crustal, são relacionados ao magmatismo alcalino supersaturado em sílica (Black *et al.*, 1985) e não fogem do contexto regional de colocação dos plútons alcalinos do MSJC, exemplificado pelo plúton aqui estudado.

### AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos à FINEP/PADCT, ao CNPq e à

CAPES/COFECUB por projetos e bolsa de pesquisa e de estudo concedidas aos autores, bem como a Universidade Claude Bernard (Lyon), ao CRPG/CNRS (Vandœuvre) e à Universidade Blaise Pascal (Clermont-Ferrand) por facilidades analíticas. Os autores também registram seus agradecimentos a dois revisores anônimos da *Geochimica Brasiliensis* por críticas e sugestões, contribuindo na melhoria da qualidade deste trabalho.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M.; LEONARDOS JR., O.H.; VALENÇA, J. (1967) Review on granitic rocks of northeast South America. *In: IUGS/UNESCO Symp.*, Recife, 41p.
- BLACK, R.; LAMEYRE, J.; BONIN, B. (1985) The structural setting of alkaline complexes. *J. Afr. Earth Sci.*, **3**:5-16.
- COCHERIE, A. (1986) Systematic use of trace element distribution patterns in log-log diagrams for plutonic suites. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, **50**:2517-2522.
- COLLINS, W.J.; BEAMS, S.D.; WHITE, A.J.; CHAPPEL, B.W. (1982) Nature and origin of A-type granites with particular reference to southeastern Australia. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **80**:189-200.
- DANTAS, E.L.; CORDANI, U.; VAN SCHMUS, W.R.; HACKSPACHER, P.C.; BRITO NEVES, B.B.; NUTMAN, A.P. (1995) Terrenos Arqueanos e Paleoproterozóicos do Maciço Caldas Brandão na província Borborema. *In: Simp. Geol. NE*, 16, Recife. SBG, Boletim **14**:319-342.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. (1996) *An Introduction to the Rock-forming Minerals*. Longman, 2ª Edição, London. 696p.
- DE LA ROCHE, H.; LETERRIER, J.; GRANCLAUDE, P.; MARCHAL, M. (1980) A classification of volcanic and plutonic rocks using R1-R2 diagram and major element analyses. Its relationship with current nomenclature. *Chem. Geol.*, **29**:183-210.
- EBY, G.N. (1990) The A-type granitoids: A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis. *Lithos*, **26**:115-134.
- EVENSEN, N.H.; HAMILTON, P.J.; O'NIONS, R.K. (1978) Rare earth abundances in chondritic meteorite. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **42**:1199-1212.
- FERREIRA, V.P.; SIAL, A.N.; JARDIM DE SÁ, E.F. (1998) Geochemical and isotopic signatures of Proterozoic granitoids in terranes of the Borborema structural province, northeastern Brazil. *J. South Amer. Earth Sci.*, **11**:439-455.
- GALINDO, A.C.; JARDIM DE SÁ, E.F.; NASCIMENTO, R.S.C.; HOLLANDA, M.H.B.M.; NASCIMENTO, M.A.L. (1997) Caracterização geoquímica e contexto geodinâmico dos granitóides alcalinos na porção oriental da Faixa Seridó (RN-PB). *In: Simp. Geol. NE*, 17, Fortaleza. SBG, Boletim **15**:263-267.
- GALINDO, A.C. & SÁ, J.M. (1999) Magmatismo alcalino-peralcalino no limite norte da Zona Transversal da Província Borborema: o exemplo do Granitóide Catingueira. *In: Congr. Bras. Geoq.*, 7, Porto Seguro. SBGq., Anais:502-505.
- HOLLANDA, M.H.B.M. (1998) Mecanismos de alojamentos de magmas granitóides: exemplo do Plúton de Japi (RN). Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 126p.

- JARDIM DE SÁ, E.F. (1994) A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na cadeia Brasileira/Pan-Africana. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 803p.
- JARDIM DE SÁ, E.F.; TRINDADE, R.I.F.; HOLLANDA, M.H.B.M.; ARAÚJO, J.M.M.; GALINDO, A.C.; AMARO, V.E.; SOUZA, Z.S.; VIGNERESSE, J.L.; LARDEAUX, J.M. (1999) Brasileiro syntectonic alkaline granites emplaced in a strike slip/extensional setting (Eastern Seridó Belt, NE Brazil). *An. Acad. Bras. Ciênc.*, **71**:17-27.
- LAMEYRE, J. & BOWDEN, P. (1982) Plutonic rocks type series: discrimination of various granitoid series and related rocks. *J. Volc. Geoterm. Res.*, **14**:169-186.
- MANIAR, P.D. & PICCOLI, P.M. (1989) Tectonic discrimination of granitoids. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **101**:635-643.
- MARTIN, H. (1987) Petrogenesis of Archean trondhjemites, tonalites and granodiorites from eastern Finland: major and trace element geochemistry. *J. Petrol.*, **28**:921-953.
- NARDI, L.V.S. (1991) Caracterização petrográfica e geoquímica dos granitos metaluminosos da associação alcalina: revisão. *Pesquisas*, **18**:44-57.
- NASCIMENTO, M.A.L. (1998) Geologia e petrografia do Granitóide Caxexa e suas rochas encaixantes. Relatório de Graduação. Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 62p.
- NASCIMENTO, M.A.L.; GALINDO, A.C.; JARDIM DE SÁ, E.F. (1997) Considerações preliminares sobre o Granitóide Caxexa: um plutonismo alcalino aluminoso sintectônico na Faixa Seridó. *In: Simp. Geol. NE, 17, Fortaleza. SBG, Boletim* **15**:293-296.
- NASCIMENTO, R.S.C. (1998) Petrologia dos Granitoides Brasileiros associados à Zona de Cisalhamento Remígio-Pocinhos (PB). Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 133p.
- RAGLAND, P.C. (1989) Basic analytical petrology. Oxford University Press, New York. 369p.
- RAYLEIGH, J.W.S. (1896) Theoretical considerations respecting the separation of gases by diffusion and similar processes. *Philos. Mag.*, **42**:77-107.
- SIAL, A.N. (1987) Granitic rocks in northeast Brazil. *In: Intern. Symp. Granites Assoc. Miner.*, 1, Salvador. *Anais* **1**:61-69.
- SOUZA, Z.S. & JARDIM DE SÁ, E.F. (1993) Metamorfismo de alta temperatura associado a uma estrutura transtraccional brasileira a SE de Barra de Santa Rosa (PB). *In: Simp. Geol. NE, 15, Natal. SBG, Boletim* **13**:124-127.
- SOUZA, Z.S.; MARTIN, H.; LARDEAUX, J.-M. (1999) Formação de crosta continental juvenil no Arqueano e no Paleoproterozóico do Maciço São José de Campestre, NE da Província Borborema. *In: Simp. Nac. Estud. Tect.*, 7, Lençóis. SBG, *Anais*. **1**:18-20.
- SOUZA, Z.S.; MARTIN, H.; PEUCAT, J.-J.; JARDIM DE SÁ, E.F.; MACEDO, M.H.F. The Archean – Proterozoic transition: the calc-alkaline magmatism of the Caicó Complex basement (NE Brazil). (Em preparação.)
- STORMER JR., J.C. & NICHOLLS, J. (1978) XLFAC: a program for the interactive testing of magmatic differentiation models. *Computers & Geosci.*, **4**:143-159.
- STRECKEISEN, A.L. (1976) To Each Plutonic Rock Its Proper Name. *Earth Sci. Rev.*, **12**:1-33.
- SYLVESTER, P.J. (1989) Post-collisional alkaline granites. *J. Geol.*, **97**:180-261.
- THOMPSON, R.N.; MORRISON, M.A.; HENDRY, G.L.; PARRY, S.J. (1984) An assessment of the relative roles of crust and mantle in magma genesis: an elemental approach. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, **A-310**:549-590.
- TRINDADE, R.I.F.; ARAÚJO, J.M.M.; JARDIM DE SÁ, E.F.; SOUZA, Z.S. (1995) A Zona de Cisalhamento Remígio-Pocinhos (Faixa Seridó, PB): geometria e cinemática de uma estrutura transtraccional de escala litosférica. *In: Simp. Nac. Estud. Tect.*, 5, Gramado. SBG, *Atas*, **1**:101-120.
- WHALEN, J.B.; CURRIE, K.L.; CHAPPEL, B.W. (1987) A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **95**:407-419.
- WONES, D.R. (1989) Significance of the assemblage titanite+magnetite+quartz in granitic rocks. *Amer. Mineral.*, **74**:744-749.
- WRIGHT, J.B. (1969) A simple alkalinity ratio and its application to questions of non-orogenic granite genesis. *Geol. Mag.*, **106**:370-384.