

GEOQUÍMICA E ASPECTOS PETROGENÉTICOS DO GRANITO XINGUARA, TERRENO GRANITO-GREENSTONE ARQUEANO DE RIO MARIA - CRÁTON AMAZÔNICO

ALBANO ANTÔNIO DA SILVA LEITE****, ROBERTO DALL'AGNOL*** & FERNANDO JACQUES ALTHOFF*****

ABSTRACT GEOCHEMISTRY AND PETROGENETIC ASPECTS OF THE ARCHEAN XINGUARA GRANITE, RIO MARIA GRANITE-GREENSTONE TERRAIN - AMZONIAN CRATON The Xinguara Granite (XingG), an Archean granitic pluton situated in the northern part of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrain, southeast of Pará state, is intrusive in TTG granitoids and gneisses and in the Rio Maria Granodiorite. The XingG exhibits a remarkable compositional homogeneity, being composed essentially by metaluminous to slightly peraluminous leucogranite with high SiCh and alkali contents, high K_2O/Na_2O ratios, low MgO and moderate CaO contents. Subordinate, it also occurs pegmatoid granites and leucosyenogranites. The leucomonzogranite facies was subdivided on basis of the geochemical data in the LMG1 and LMG2 types, whole silica contents are similar. However, the LMG2 type has lower Al_2O_3/Cb , MgO, CaO and Na_2O and higher K_2O , Rb, Zr and Y contents compared to the LMG1 type. In geochemical diagrams the LMG1 and LMG2 types define contrasting evolutive trends, indicating that they crystallized from two different liquids. The behavior of lithophile elements suggests that a moderate fractionation of potassic feldspar, plagioclase and biotite controlled the small degree of differentiation of Xinguara pluton magmas. The fractionation of feldspar is confirmed by the deep Eu negative anomalies (Eu/Eu* ranging from 0.28 to 0.38 in the LMG1 type). The LMG1 type shows, in general, an accentuated depletion in the heavy rare earth elements (La_n/Yb_n , ranging from 149.07 to 16.63), which is probably due to garnet and/or amphibole retention in the melt residue. The large extent of fractionation of the HREE, the depletion in Y, Ti and Nb parallel to the enrichment in P e Sr in comparison to the average composition of the upper continental crust, as well as the high values of the Rb/Y and Al_2O_3/TiO_2 ratios, indicate a similarity between the Xinguara leucogranites and Archean calc-alkaline leucogranite of type 2. The two types of Xinguara leucogranites were probably derived by different degrees of partial melting from a same crustal protolith, which is possibly similar to the TTG granitoids and gneisses or, alternatively, to the Rio Maria Granodiorite.

Keywords: Leucogranites, Calc-alkaline, Archean, Geochemistry, Petrogenesis, Amazonian Craton.

RESUMO O Granito Xinguara, um corpo granítico Arqueano situado na porção norte do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, sudeste do estado do Pará, é intrusivo em granitóides e gnaisses TTG e no Granodiorito Rio Maria. O Granito Xinguara exibe uma marcante homogeneidade composicional, sendo formado essencialmente por leucomonzogranitos metaluminosos a ligeiramente peraluminosos com altos teores de SiO_2 e álcalis, elevadas razões K_2O/Na_2O , baixos teores médios de MgO e moderados de CaO, havendo, ainda, granitos pegmatóides e leuco-sienogranitos subordinados. A fácies leucomonzogranito foi subdividida com base nos dados geoquímicos nos tipos LMG1 e LMG2, cujos teores de SiO_2 se superpõem. Entretanto, os LMG2 são empobrecidos em Al_2O_3 , MgO, CaO e Na_2O e enriquecidos em K_2O , Rb, Zr e Y, quando comparados aos LMG1. Em diagramas geoquímicos os LMG1 e LMG2 definem *trends* evolutivos contrastantes, indicarão que cristalizaram a partir de líquidos distintos. O comportamento dos elementos litófilos sugere que o fracionamento de feldspato potássico, plagioclásio e biotita controlou a evolução por cristalização fracionada dos magmas do pluton Xinguara. O fracionamento de feldspato é indicado também pelas expressivas anomalias negativas de Eu (Eu/Eu*, variando de 0,28 a 0,38 nos LMG1). Os LMG1 mostram, em geral, acentuado empobrecimento em terras raras pesadas (La_n/Yb_n , variando de 149,07 a 16,63) causado, provavelmente, pela retenção de granada e/ou anfíbios no resíduo de fusão. O acentuado fracionamento de terras raras pesadas, o empobrecimento em Y, Ti e Nb, paralelamente ao enriquecimento em P e Sr, comparativamente à composição média da crosta continental superior, bem como os altos valores das razões Rb/Y e Al_2O_3/TiO_2 , apontam para uma similaridade dos leucogranitos Xinguara com os leucogranitos cálcico-alcálicos arqueanos do tipo 2. Os dois tipos de leucogranitos Xinguara provavelmente foram derivados a partir de diferentes graus de fusão parcial de uma mesma fonte crustal, possivelmente similar aos granitóides e gnaisses TTG ou afim ao Granodiorito Rio Maria.

Palavras-chaves: leucogranitos, cálcico-alcálicos, Arqueano, geoquímica, petrogênese, Craton Amazônico.

INTRODUÇÃO Os terrenos arqueanos de vários locais do mundo são constituídos fundamentalmente por associações granitóides dominadas por tonalitos, trondjemitos e granodioritos que formam as clássicas associações TTG e por *greenstone belts* (Kröner 1991, Condie 1993, Martin 1994). Entretanto, maciços graníticos *stricto sensu*, embora geralmente menos discutidos, também possuem uma distribuição areal importante nesses terrenos (Cassidy *et al.* 1991, Sylvester 1994, Davis *et al.* 1994). Tais granitos formam plútons de dimensões variáveis, comumente intrusivos nas associações TTG. Condie (1993) estima que este magmatismo potássico constitui no mínimo cerca de 20% das rochas expostas nos crátons arqueanos, superando as rochas toleíticas ($\pm 10\%$) e sendo subordinado apenas em relação às suítes TTG (35 a 50%).

No Terreno *Granito-Greenstone* de Rio Maria (TGGRM) foram identificados os granitos Xinguara (Leite 1995) e Mata Surrão (Duarte 1992), bem como pequenos corpos leucograníticos na região de Identidade (Souza 1994), como representantes deste magmatismo granítico potássico de idade arqueana, o qual é inteiramente distinto da associação TTG. Posteriormente, Althoff (1996) mapeou na região de Marajoara diversos outros corpos de leucogranitos arqueanos, denominados de Granito Guarantã. Nos mapeamentos geológicos executados pela CPRM (Araújo & Maia 1991), ficou igualmente comprovado que esses corpos graníticos possuem uma ampla distribuição no TGGRM. Além disso, na região da Serra dos Carajás e adjacências foi identificada uma outra sequência de leucogranitos arqueanos, definida como Suíte Plaque (Araújo *et al.* 1994), com idade de 2,73 Ga (Avelar 1996).

A importância do magmatismo potássico na evolução dos terrenos arqueanos da Amazônia Oriental acha-se, portanto, confirmada, reproduzindo-se um quadro similar ao verificado em outros continentes. Apesar disso, carece-se de estudos petrográficos e geoquímicos mais detalhados sobre corpos representativos desse magmatismo. Em razão do exposto, foram desenvolvidos esforços no sentido de caracterizar os granitos Mata Surrão (Duarte 1992), Xinguara (Leite 1995) e Guarantã (Althoff 1996).

O presente trabalho tem como objetivo principal discutir a geoquímica e os aspectos petrogenéticos do Granito Xinguara e contribuir para uma melhor compreensão da natureza desse granito, tendo em vista a sua importância na evolução geológica do TGGRM.

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL O TGGRM é for

mado por rochas granitóides e unidades metavulcano-sedimentares tipo *greenstone belt*, parcialmente recobertas pelas sequências sedimentares anquimetamórficas arqueanas(?) do Grupo Rio Fresco e cortadas por granitos anorogênicos proterozóicos (Huhn *et al.* 1988, Araújo *et al.* 1994, Dall'Agnol *et al.* 1997).

Geoquimicamente, os granitóides arqueanos do TGGRM foram divididos em três grandes associações (Dall'Agnol *et al.* 1997): (i) granitóides da série trondjemítica, representados pelo Tonalito Arco Verde (Althoff 1996), Trondjemito Mogno (Huhn *et al.* 1988), Granitóides e gnaisses TTG de Xinguara (Leite 1995); (ii) Granodiorito Rio Maria e rochas afins (Medeiros & Dall'Agnol 1988, Souza 1994), pertencentes à série de granitóides cálcico-alcálicos de alto magnésio e; (iii) leucogranitóides de composição monzogranítica e afinidade

* Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitóides - GPPG

** Departamento de Geoquímica e Petrologia - CG/UFPA

*** Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica -CPGG-CG-UFPA

****Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS/RS

Endereço para correspondência: Universidade Federal do Pará - Centro de Geociências, C.P. 1611, CEP. 66075-900 - Guamá - Belém - Pará. Tel: 091 211 1477, Fax: 091 211 1609, E-mail: albano@ufpa.br

cálcio-alcalina, representados pelos granitos Xinguara (Leite 1995, Leite & Dall'Agnol 1997), Mata Surrão (Duarte 1992), Guarantã (Althoff 1996) e os leucogranitoides de Identidade (Souza 1994).

O Tonalito Arco Verde tem idade U-Pb em zircão de 2,96 Ga (Macambira & Lafon 1995) e corresponde, juntamente com os *greenstone belts* (2,90 Ga, Macambira & Lafon 1995, e 2,97 Ga, Pimentel & Machado 1994), às rochas mais antigas do TGGRM. Posteriormente, em torno de 2,87 Ga, a região foi cortada por diversos outros granitoides (Granodiorito Rio Maria, Trondhjemito Mogno, Tonalito Parazônia e Granito Mata Surrão) (Pimentel & Machado 1994, Macambira & Lafon 1995). A idade do Granito Xinguara não se encontra, ainda, bem definida, ao passo que um dos corpos que compõem o Granito Guarantã foi datado em 2,87 Ga (Althoff *et al* 1998).

ASPECTOS GEOLÓGICOS E PETROGRÁFICOS DO GRANITO XINGUARA A área-tipo do Granito Xinguara está localizada nas cercanias de cidade homônima, na porção nordeste do Terreno *Granito-Greenstone* de Rio Maria (Fig. 1). Trata-se de um dos melhores exemplos do magmatismo granítico potássico de idade arqueana presente neste terreno.

O Granito Xinguara é um maciço granítico de forma amendoada, medindo cerca de 40 km no eixo maior e até 12 km no eixo menor. O eixo maior orienta-se subconcordantemente ao *trend* geral WNW-ESE da foliação das encaixantes (Fig. 1). Na porção sul o corpo granítico secciona os granitoides tonalito-trondhjemito-granodioritos e o Granodiorito Rio Maria; no norte está associado a trondhjemitos-granodioritos, com os quais intercala-se formando estruturas bandadas, interpretadas como de origem ígnea (Leite 1995, Leite & Dall'Agnol 1997). Os trondhjemitos que ocorrem na parte norte da área são fortemente bandados e, inicialmente, foram correlacionados com os tonalito-trondhjemitos presentes a sul do corpo granítico. Atualmente está sendo avaliada a hipótese de existir mais de uma associação de tonalito-trondhjemitos na região, sendo possível que as rochas trondhjemíticas situadas a norte do corpo sejam mais jovens e estratigraficamente distintas daquelas mapeadas a sul.

A foliação no Granito Xinguara é pouco marcante, sendo mais evidente e penetrativa nas bordas, ao passo que no centro do corpo acha-se ausente ou mal definida. O granito encontra-se afetado por expressivas zonas de cisalhamento dúctil (Leite & Dall'Agnol 1997). A deformação é heterogênea e não penetrativa em escalas meso e macroscópica. Os dados estruturais sugerem que a colocação do granito foi provavelmente condicionada pelas zonas de cisalhamento, tendo ocorrido durante o desenvolvimento das mesmas.

Petrograficamente o maciço é bastante homogêneo, sendo formado por leucogranitos subsolvus. Uma descrição petrográfica detalhada e composições modais de amostras das várias fácies constam em Leite & Dall'Agnol (1997). As proporções de quartzo, plagioclásio e álcali-feldspato são equivalentes. A principal fase máfica é a biotita e, entre os acessórios, encontram-se magnetita, titanita, apatita, allanita, epidoto magmático(?) e zircão. Os constituintes secundários são epidoto, sericita-moscovita e, por vezes, carbonatos, clorita e hidróxidos de ferro. O Granito Xinguara é formado por três fácies petrográficas, predominando amplamente leucomonzogranitos, cortados por fases mais tardias representadas por sienogranitos e granitos pegmatóides. Apesar de terem sido afetadas por graus variados de deformação, as diversas fácies exibem texturas magmáticas facilmente reconhecidas. A deformação materializa-se através da intensa recristalização de cristais de feldspatos e quartzo, processada quando o corpo já se comportava como um sólido.

GEOQUÍMICA Foram analisadas 20 amostras do corpo granítico (Tab. 1) para elementos maiores e menores (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O , TiO_2 , MnO e P_2O_5) nos laboratórios da ALBRÁS; o Fe e perda ao fogo foram obtidos no Laboratório de Análises Químicas e Rb, Sr, Zr, Nb e Y no Laboratório de Fluorescência de Raios-X do Centro de Geociências da UFPA. Ba, Th, Ga e os elementos terras raras foram dosados no Laboratório GEOLAB da GEOSOL.

Aspectos Gerais Os teores de SiO_2 das amostras analisadas variam de 71,70 a 75,30%, refletindo a notável homogeneidade do corpo. Em vários diagramas geoquímicos é evidente a separação entre as diversas fácies do Granito Xinguara, bem como a discriminação de dois grupos de leucomonzogranitos: leucomonzogranitos do tipo 1 (LMG1), com teores normais de K_2O ($3,0 \leq \text{K}_2\text{O} \leq 5,24\%$; média de 4,77%) e leucomonzogranitos do tipo 2 (LMG2), muito ricos em K_2O ($\text{K}_2\text{O} > 6\%$; média de 6,5 %) (Tab. 1; Fig. 2). Os LMG2 situam-se em um domínio bem definido na porção central do corpo, enquanto os LMG1 são dominantes e ocupam as demais porções do maciço (Fig. 1).

Os conteúdos de SiO_2 dos dois tipos de leucomonzogranitos se superpõem, mas suas composições são distintas em vários aspectos. Em amostras com teores similares de SiO_2 os LMG2 são comparativamente empobrecidos em Al_2O_3 , MgO , CaO e Na_2O e enriquecidos em K_2O , Rb, Zr e Y em relação aos LMG1. Nesses, SiO_2 varia dentro de um intervalo mais amplo do que nos LMG2. Nos dois grupos, os teores de Na_2O e K_2O mantêm-se constantes ou pouco variam com o aumento de SiO_2 (Fig. 2). As razões $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ médias são de 1,26 para os LMG1 e de 2,06 para os LMG2.

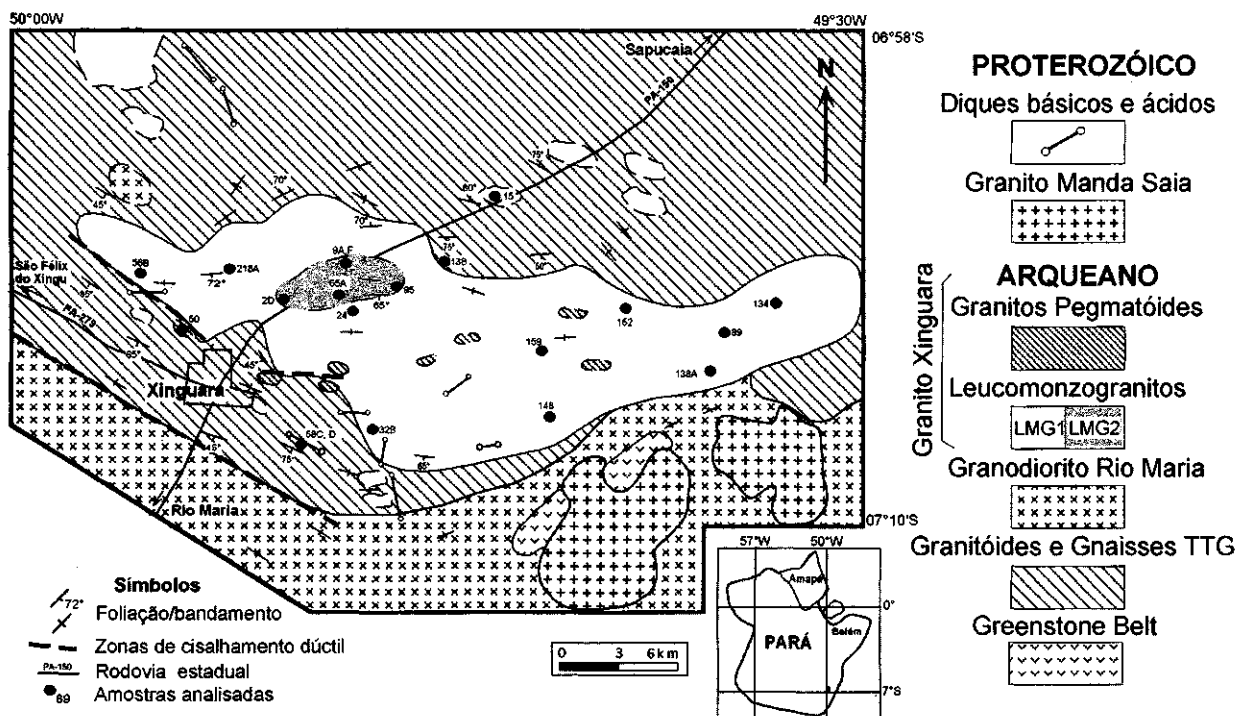


Figura 1 - Mapa geológico do Granito Xinguara e de localização das amostras analisadas (Leite 1995).

Leucomonzogranitos do Tipo 1 – LMG1												
	AL-134	AL-148	AL-15	AL-218A	AL-152	AL-89	AL-138A	AL-159	AL-32B	AL-24	AL-56B	Média
SiO₂	71,70	72,90	72,6	73,40	73,40	73,80	74,10	74,10	74,30	74,80	75,30	73,65
TiO₂	0,20	0,15	0,21	0,16	0,21	0,12	0,06	0,12	0,04	0,11	0,08	0,13
Al₂O₃	13,90	13,90	13,3	13,60	13,60	14,00	13,90	13,30	13,60	12,70	12,80	13,54
Fe₂O₃	1,46	1,46	0,08	1,11	1,31	0,92	1,24	1,35	0,97	1,19	1,16	1,11
FeO	0,71	0,56	2,45	0,57	0,86	0,43	0,07	0,28	0,21	0,21	0,14	0,59
MnO	0,02	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	<0,01	0,01	0,01	0,02
MgO	0,45	0,39	0,42	0,36	0,60	0,39	0,05	0,24	0,05	0,12	0,10	0,29
CaO	1,44	1,50	1,3	1,96	2,23	1,30	0,86	1,33	1,29	0,93	0,99	1,38
Na₂O	3,72	3,70	3,38	3,96	4,20	4,10	3,99	3,66	3,83	3,60	3,56	3,79
K₂O	5,22	4,80	5,54	4,29	3,00	4,50	5,03	4,91	5,06	5,24	5,01	4,78
P₂O₅	0,18	0,17	0,2	0,16	0,17	0,05	0,14	0,15	0,15	0,14	0,14	0,15
PF	0,61	0,69	0,61	0,45	0,40	0,39	0,78	0,92	0,34	0,40	0,32	0,54
Total	99,61	100,26	100,12	100,20	100,10	100,02	100,23	100,37	99,85	98,45	99,61	99,97
Ba	1047	1170	1514	1125	589	851	755	916	981	920	484	941,1
Sr	206	319	290	314	326	243	250	217	265	289	174	263,0
Rb	139	180	141	126	109	181	188	177	139	152	181	156,0
Zr	192	186	330	100	140	206	110	152	86	184	106	163,0
Y	8	4	34	4	4	3	21	5	<1	6	7	9,6
Nb	<4	8	12	8	8	8	<4	<4	<4	8	<4	8,6
Ga	13	13	13	14	14	13	13	11	<10	<10	12	12,9
Th	38	59	105	<5	78	78	61	51	<5	78	43	66,0
Qz	27,14	29,82	27,22	29,82	32,46	29,61	30,29	31,47	30,49	32,49	33,79	28,57
Or	31,17	28,49	32,91	25,44	17,80	26,69	29,89	29,18	30,06	31,27	29,82	30,59
Ab	31,80	31,45	28,75	33,62	35,69	34,82	33,95	31,15	32,58	30,76	30,34	31,21
Na	5,88	6,36	4,79	7,52	9,44	6,15	3,37	5,40	5,01	3,06	4,03	5,77
Cn	-	0,30	-	-	-	-	0,14	0,67	-	-	0,06	-
Di	0,12	-	0,33	0,93	0,43	-	-	0,20	0,27	0,53	-	0,11
Hy	1,08	0,98	5,04	0,47	1,48	0,97	0,13	0,51	-	0,06	0,25	1,06
Ae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ns	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Wo	-	-	-	-	-	-	-	-	0,04	-	-	-
Ma	1,79	1,51	0,12	1,44	1,91	1,11	0,08	0,59	0,56	0,39	0,25	1,99
Il	0,38	0,29	0,40	0,30	0,40	0,23	0,11	0,23	0,08	0,21	0,15	0,23
Hm	0,24	0,43	-	0,12	-	0,16	1,19	0,95	0,59	0,93	0,99	0,88
Ap	0,40	0,37	0,44	0,35	0,37	0,11	0,31	0,33	0,33	0,31	0,31	0,39
Rb/Sr	0,67	0,56	0,49	0,40	0,33	0,74	0,75	0,82	0,52	0,53	1,04	0,59
Sr/Ba	0,20	0,27	0,19	0,28	0,55	0,29	0,33	0,24	0,27	0,31	0,36	0,28
Fe₂O₃/FeO	2,06	2,61	0,03	1,95	1,52	2,14	17,71	4,62	4,62	5,67	8,29	1,89
K₂O/Na₂O	1,40	1,30	1,64	1,08	0,71	1,11	1,26	1,34	1,32	1,46	1,41	1,26

Oxidos em % peso; traços em ppm.

Leucomonzogranitos do Tipo 2 – LMG2						Leucosienogranitos			Granitos Pegmatóides			Média	
	AL-2D	AL-95	AL-09A	AL-09F	AL-65A	Média	AL-13B	AL-58D	Média	AL-50	AL-58C	Média	Geral
SiO₂	72,50	72,50	72,90	73,10	73,90	72,98	74,70	74,90	74,8	75,00	75,20	75,1	73,75
TiO₂	0,14	0,12	0,11	0,11	0,15	0,13	0,01	0,09	0,05	0,06	0,04	0,05	0,11
Al₂O₃	13,60	13,80	13,40	13,60	12,50	13,38	12,60	13,30	12,95	12,90	12,90	12,9	13,38
Fe₂O₃	1,50	1,41	1,57	1,28	1,45	1,44	0,79	1,19	0,99	0,81	0,94	0,88	1,16
FeO	0,34	0,42	0,36	0,56	0,35	0,41	0,07	0,21	0,14	0,07	0,14	0,11	0,45
MnO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	<0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	<0,01	0,01
MgO	0,25	0,25	0,28	0,26	0,22	0,25	<0,01	0,17	0,09	0,11	0,04	0,08	0,25
CaO	1,15	1,23	1,00	0,68	0,93	1,00	0,14	1,40	0,77	0,98	0,66	0,82	1,17
Na₂O	3,29	3,17	3,06	3,06	2,93	3,10	1,90	3,38	2,64	4,12	3,22	3,67	3,49
K₂O	6,29	6,57	6,54	6,69	6,41	6,50	9,23	4,64	6,94	4,42	6,25	5,34	5,48
P₂O₅	0,16	0,16	0,16	0,17	0,16	0,16	0,14	0,14	0,14	0,12	0,13	0,13	0,15
PF	0,51	0,60	0,62	0,64	0,31	0,54	0,30	0,50	0,40	0,39	0,40	0,40	0,51
Total	99,74	100,24	100,01	100,16	99,33	99,90	99,88	99,93	99,91	99,98	99,93	99,46	100,04
Ba	871	950	1330	1007	806	993	2367	2744	2555	519	1010	764	1097,8
Sr	300	231	281	216	192	244	323	403	363	150	222	186	260,55
Rb	198	175	185	197	211	193	202	115	158	89	183	136	163,4
Zr	256	198	200	244	216	223	49	55	52	71	73	72	157,7
Y	11	4	15	6	11	9,4	<1	<1	<1	5	20	12	9,87
Nb	5	<4	<4	<4	9	7	<4	<4	<4	8	<4	6	813,00
Ga	11	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	13	<10	<13	12,38
Th	94	90	90	57	77	81,6	9	<5	9	21	<5	<21	59,52
Qz	27,31	26,68	28,22	28,47	31,10	28,32	28,99	34,83	31,69	32,75	31,62	32,21	30,42
Or	37,47	38,97	38,89	39,73	38,26	38,68	54,78	27,58	41,16	26,50	37,12	31,81	32,57
Ab	28,06	26,93	26,06	26,02	25,04	26,41	13,50	28,77	22,45	35,37	27,38	31,36	29,67
An	3,80	4,05	3,54	2,28	2,05	3,43	-	6,07	2,92	3,71	2,31	3,02	4,73
Cn	-	-	-	0,50	-	-	-	0,51	0,04	-	-	-	0,01
Di	0,70	0,80	0,31	-	1,19	0,36	-	-	-	0,33	0,10	0,23	-
Hy	0,30	0,25	0,56	0,65	-	0,46	0,16	0,43	0,23	0,12	0,05	0,07	0,58
Ae	-	-	-	-	-	-	2,30	-	-	-	-	-	-
Ns	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-
Wo	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-
Ma	0,73	1,04	0,88	1,53	0,77	0,95	-	0,45	0,34	0,05	0,37	0,18	1,11
Il	0,27	0,23	0,21	0,21	0,29	0,25	0,02	0,17	0,10	0,12	0,08	0,10	0,21
Hm	1,01	0,70	0,97	0,23	0,94	0,79	-	0,89	0,76	0,79	0,69	0,76	0,39
Ap	0,35	0,35	0,35	0,37	0,35	0,35	0,31	0,31	0,31	0,27	0,29	0,26	0,31
Rb/Sr	0,66	0,76	0,66	0,91	1,79	0,79	0,63	0,29	0,44	0,59	0,82	0,73	0,64
Sr/Ba	0,34	0,24	0,21	0,21	0,24	0,25	0,14	0,15	0,14	0,29	0,22	0,24	0,25
Fe₂O₃/FeO	4,41	3,36	4,36	2,29	4,14	3,55	11,29	5,67	7,07	11,57	6,71	8,33	3,47
K₂O/Na₂O	1,91	2,07	2,14	2,19	2,19	2,10	4,86	1,37	2,63	1,07	1,94	1,45	1,63

Tabela 11 - Composições químicas e normas C.I.P.W. das amostras do Granito Xinguara.

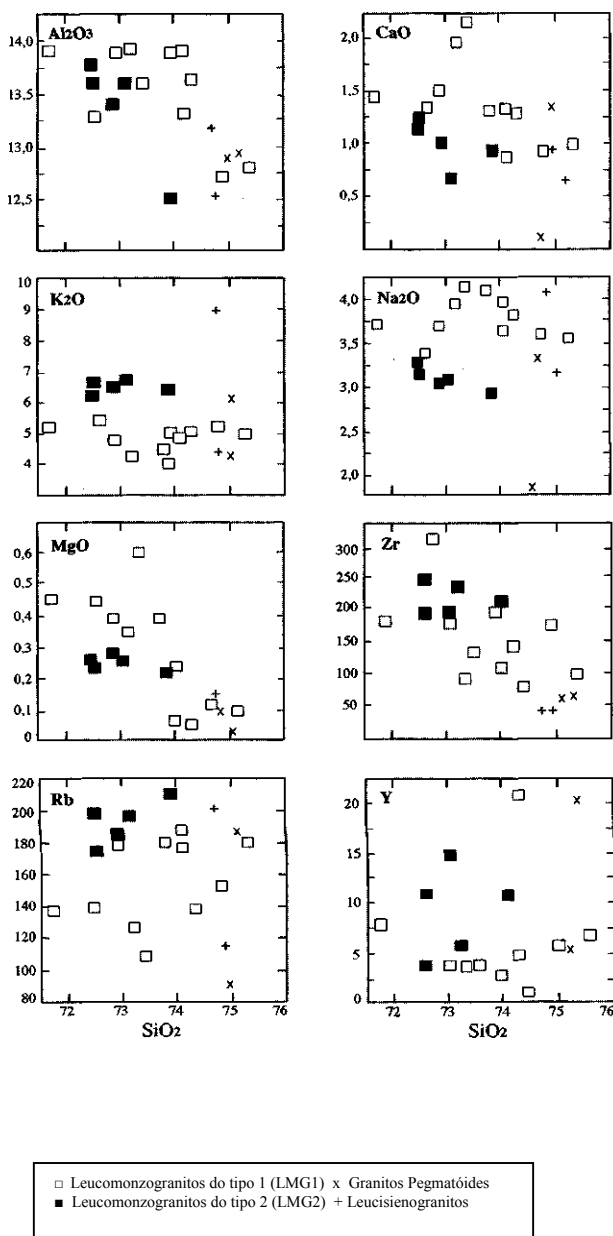


Figura 2 - Diagramas de Harker para os leucogranitos Xinguara.

Os sienogranitos e granitos pegmatóides tendem a ser mais ricos em SiO₂ do que os leucomonzo granitos. Os dois primeiros apresentam baixos valores dos óxidos concentrados nas fases máficas e em CaO, sugerindo a sua derivação a partir de líquidos resultantes de um fracionamento intenso, explicável tanto por cristalização fracionada, quanto por graus de fusão parcial muito baixos. Geralmente, não divergem muito em composição dos leucomonzogranitos de mesmos teores de SiO₂ (Fig. 2). Como o número de análises dos leuco-sienogranitos e granitos pegmatóides foi reduzido não ficam muito claras as possíveis diferenças existentes entre eles.

De acordo com o índice de Shand, o Granito Xinguara mostra características metaluminosas e peraluminosas. Nas composições normativas C.I.P.W. (Tab. 1) das diferentes fácies do Granito Xinguara constata-se a presença ora de corindon normativo, ora de diopsídio normativo. O corindon normativo aparece sempre com percentuais inferiores à unidade e está ausente na fácies granito pegmatóide. Os teores de diopsídio normativo também são muito baixos, superando levemente a unidade em apenas uma amostra. Conclui-se que a maioria das amostras é ligeiramente metaluminosa e que o Granito Xinguara varia de metaluminoso a ligeiramente peraluminoso.

Comportamento de Rb, Sr e Ba O comportamento dos elementos litófilos é muito importante para esclarecer a evolução de rochas leucograníticas, pois a distribuição destes elementos é ampla-

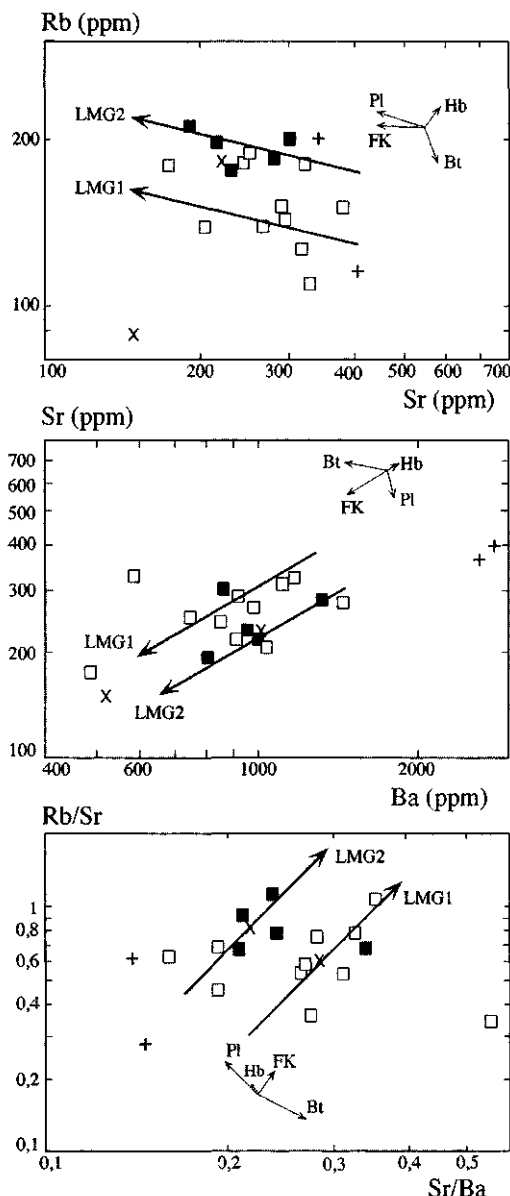


Figura 3 - Diagramas Rb vs. Sr, Sr vs. Ba e Rb/Sr vs. Sr/Ba para as amostras do Granito Xinguara. Os vetores indicam a influência do fracionamento do plagioclásio (Pl), feldspato potássico (FK), hornblenda (Hb) e biotita (Bt) na composição do líquido residual. Símbolos conforme Figura 2.

mente controlada pelas fases minerais dominantes nestas rochas, com destaque para os feldspatos. É sabido igualmente que o comportamento geoquímico de elementos-traço compatíveis e incompatíveis constitui um bom indicador dos processos petrogenéticos (Hanson 1989). Em razão disso, foram elaborados os diagramas Rb-Sr, Sr-Ba e Rb/Sr-Sr/Ba das amostras estudadas (Fig. 3), nos quais foram indicados os sentidos de variações das composições dos líquidos em função do fracionamento de determinadas fases minerais (plagioclásio, feldspato potássico, hornblenda e biotita).

Nos diagramas mencionados, constata-se a existência de dois *trenas* subparalelos definidos, um deles, pela maioria das amostras do LMG1 e, o segundo, por aquelas do LMG2. Tais *trenas* são fortemente controlados pelo fracionamento de feldspato potássico, porém ao que tudo indica, a influência de plagioclásio e biotita foi igualmente importante. Outro aspecto digno de nota é a variação moderada dos teores dos elementos-traço considerados, bem como das razões Rb/Sr (Tab. 1; Fig. 3). Tal fato, aliado à comparação entre os diagramas mencionados acima com diagramas semelhantes elaborados para o granitos proterozóicos Jamon, Musa e diques associados, nos quais processos de cristalização fracionada foram considerados muito efetivos durante a evolução magmática das fácies graníticas (Dali'Ag-

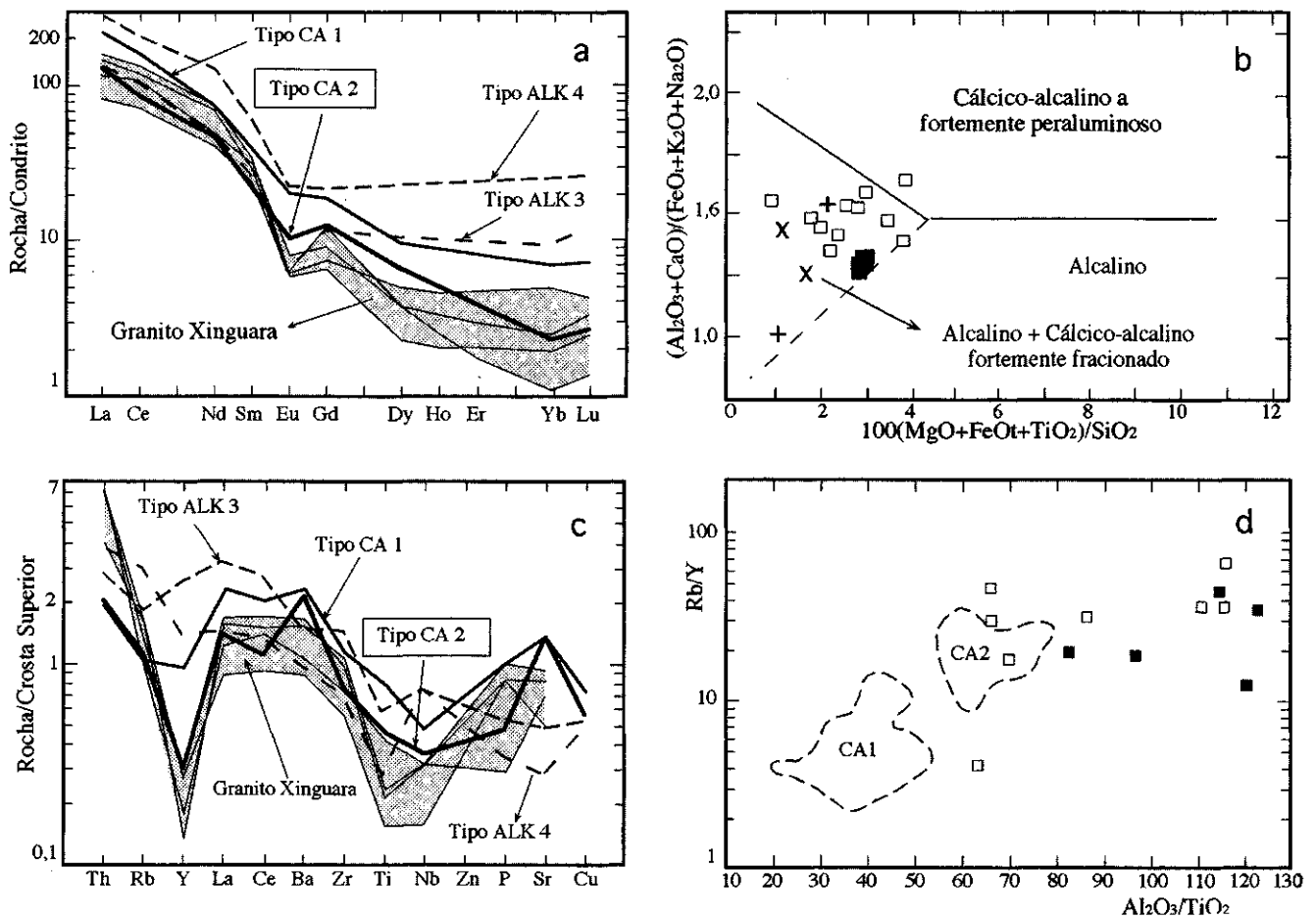


Figura 4-Diagramas geoquímicos para os leucomonzongranitos Xinguara. (a) Padrões de Elementos Terras Raras para os LMGI, normalizados segundo Anders & Grevesse (1989); CA1 e CA2 granitos cálcio-alkalinos 1 e 2; ALK3 e ALK4: leucogranitos alcalinos 3 e 4 (Sylvester 1994) (b) Diagrama $(Al_2O_3+CaO)/(FeO+Na_2O+K_2O)$ vs. $100(MgO+FeO+TiO_2)/SiO_2$ (Sylvester 1989); (c) Diagrama de multi-elementos para os LMGI, normalizados em relação à crosta continental superior (Taylor & McLennan 1985); e (d) Diagrama Rb/Y vs. Al_2O_3/TiO_2 para os LMGI e LMG2. Campos CA1 e CA2, cf. Sylvester (1994). Símbolos como na Figura 2.

nol et al. 1999), indica - seguindo as evidências sugeridas por Hanson (1989) - que, durante a gênese dos magmas formadores do Granito Xinguara, os processos de cristalização fracionada também aluaram, porém, de forma comparativamente mais moderada. Isso é, em parte, consequência do caráter extremamente félsico dos magmas formadores do granito estudado.

Por outro lado, os comportamentos distintos dos LMGI e LMG2, tanto nos diagramas de Harker (Fig. 2), quanto naqueles baseados nos elementos litófilos (Fig. 3), sugerem ser mais razoável admitir, neste estágio, que esses dois grupos de granitos cristalizaram a partir de dois líquidos distintos.

Elementos Terras Raras Foram analisadas quatro amostras de LMGI para elementos terras raras (Tab. 2), sendo os dados normalizados em relação ao condrito conforme os valores de Anders & Grevesse (1989). Os padrões de elementos terras raras (Fig. 4a) mostram enriquecimento acentuado dos terras raras leves (ETRL) em relação aos terras raras pesados (ETRP), indicando que houve acentuado a moderado fracionamento dos ETRP, conforme revelam as razões $(La/Yb)_n$, (Tab. 2). Estas variam de 149,07 a 16,63 mostrando que o fracionamento de fases enriquecidas em ETRP foi bastante diversificado de uma amostra para outra e que o conjunto de amostras analisadas apresenta algumas diferenças, embora o padrão geral seja mantido. As razões $(La/Sm)_n$ e $(Dy/Yb)_n$ variam de 3,39 a 5,13 e de 1,01 a 3,5, respectivamente, mostrando que o fracionamento interno dos terras raras leves e pesados não foi muito acentuado, sendo mais expressivo nos ETRL.

A presença constante de expressivas anomalias negativas de Eu, com razões (Eu/Eu^*) variando entre 0,28 e 0,38, é outra feição notável das amostras analisadas. Ela revela uma participação efetiva de pl-

Tabela 2 - Análises de elementos terras raras dos leucomonzongranitos do tipo 1 do Granito Xinguara.

	Leucomonzongranitos do Tipo 1				Média
	AL-152	AL-89	AL-24	AL-56B	
La	36,99	47,47	51,36	26,16	40,49
Ce	89,23	97,23	110,40	59,12	88,99
Nd	30,07	43,22	45,75	25,00	36,01
Sm	6,32	5,80	6,81	4,83	5,94
Eu	0,60	0,44	0,49	0,45	0,49
Gd	2,47	1,77	3,22	1,99	2,36
Dy	1,29	0,76	1,25	1,65	1,23
Ho	0,25	0,15	0,19	0,34	0,23
Er	0,64	0,45	0,38	1,02	0,62
Yb	0,55	0,43	0,24	1,09	0,57
Lu	0,11	0,08	0,04	0,14	0,09
$(La/Yb)_n$	46,75	76,70	149,07	16,63	49,38
$(La/Sm)_n$	3,66	5,13	4,72	3,39	4,27
$(Dy/Yb)_n$	1,57	1,18	3,50	1,01	1,44
Eu/Eu^*	0,38	0,32	0,28	0,37	0,33

gioclásio + feldspato potássico no fracionamento, seja retidos no residuo de fusão de uma rocha fonte crustal, seja como fases que sofreram um fracionamento importante durante a cristalização.

O acentuado empobrecimento dos ETRP pode ter sido causado por fracionamento de granada, anfibólio, zircão e piroxênios, fases mine-

rais que concentram notavelmente os ETRP. Pode-se, portanto, admitir, preliminarmente, que uma ou mais destas fases foram retidas no resíduo de fusão, pois o seu fracionamento durante a evolução magmática parece muito improvável. Dentre elas, o fracionamento de granada e/ou anfíbolios parece bem mais provável que o de piroxênios, tendo em vista que os primeiros concentram Y, elemento cujos teores são muito baixos nos leucogranitos Xinguara. Quanto ao zircão, os teores moderados deste elemento nos leucogranitos fortalecem a hipótese de um fracionamento expressivo deste mineral.

Caracterização da Série Geoquímica Embora a utilização isolada dos diagramas de Pearce *et al.* (1984) não permita definir o ambiente tectônico de colocação de rochas granitóides, pois sabe-se que há granitóides geoquimicamente similares, formados em ambientes tectônicos distintos (Sylvester 1989), os mesmos podem auxiliar na caracterização geoquímica das rochas estudadas, permitindo a eliminação de determinadas hipóteses. As amostras do Granito Xinguara situam-se no limite dos campos dos granitos sin-colisionais e de arcos vulcânicos de Pearce *et al.* (1984) porém os LMG2, devido ao seu enriquecimento relativo em Rb, tendem a adentrar no campo dos granitos sin-colisionais.

Sylvester (1989) propõe a utilização do diagrama $(Al_2O_3+CaO)/(FeO+Na_2O+K_2O)$ versus $100(MgO+FeO+TiO_2)/SiO_2$ (Fig. 4b) para verificar a natureza das séries magmáticas de rochas granitóides, admitidas como sin-colisionais. Neste diagrama, as amostras do Granito Xinguara concentram-se no campo onde se superpõem os granitóides alcalinos e os cálcio-alcalinos fortemente fracionados, porém as características geoquímicas do Granito Xinguara, tais como os baixos conteúdos de Zr, Y e Nb, e o acentuado a moderado fracionamento de ETRP, sugerem sua maior afinidade com os últimos.

As características geoquímicas do Granito Xinguara sugerem, em princípio, maiores analogias com os granitos cálcio-alcalinos, similares aos de ambientes sin-colisionais e de arcos vulcânicos fanerozóicos. Porém, os dados apresentados não são totalmente conclusivos, pois a convergência geoquímica, típica de leucogranitos ricos em sílica (Chappell & White 1992), dificulta a identificação da série geoquímica a que pertencem os granitos estudados. Essa questão foi aprofundada por Sylvester (1994) que distinguiu, com ênfase em geoquímica, diferentes grupos de leucogranitos arqueanos - cálcio-alcalinos, fortemente peraluminosos e alcalinos. Procurou-se, em razão disso, estabelecer comparações entre o Granito Xinguara e tais grupos de leucogranitos arqueanos.

Conforme se pode perceber pelos itens precedentes, as características mineralógicas e geoquímicas das rochas estudadas são inteiramente distintas daquelas observadas nos leucogranitos fortemente peraluminosos. Isso permite afastar a hipótese de que as mesmas correspondam a esse grupo de granitos, restando a considerar as alternativas de que elas sejam cálcio-alcalinas ou alcalinas. Sylvester (1994) dividiu cada um dos grupos de leucogranitos em dois subgrupos, os quais serão a seguir comparados com os LMG1 de Xinguara. As composições químicas médias dos vários granitos são fornecidas na Tabela 3.

Os padrões de elementos terras raras (Fig. 4a) mostram claramente uma maior afinidade geoquímica entre os LMG1 de Xinguara e a composição média dos leucogranitos cálcio-alcalinos do tipo 2 (CA2) de Sylvester (1994). Os mesmos se assemelham sobretudo pelo acentuado fracionamento de ETRP (Cf. valores de La_n/Yb_n ; Tab. 1), pela presença de expressiva anomalia negativa de Eu (mais acentuada, porém, no Granito Xinguara) e pelo enriquecimento em ETRL. A principal diferença entre os LMG1 de Xinguara e os leucogranitos cálcio-alcalinos do tipo 1 (CA1) e os tipos alcalinos 3 e 4 (ALK3 e ALK4) de Sylvester consiste na ausência nos últimos de empobrecimento significativo em ETRP, refletida nos seus padrões subhorizontais para os ETRP (Fig. 4a). Consta-se, no entanto, que a amostra AL-56B, com a menor razão La_n/Yb_n do conjunto estudado (Tab. 1), tende a apresentar um padrão um pouco mais próximo daqueles dos referidos granitos (Fig. 4a).

No diagrama de multi-elementos (Fig. 4c), normalizado em relação à crosta continental superior média (Taylor & McLennan 1985; cf. Sylvester 1994), as amostras dos LMG1 do Granito Xinguara apresentam um comportamento análogo ao dos leucogranitos cálcio-alcalinos e bem distinto daqueles dos tipos alcalinos. O leucogranito Xinguara diverge dos últimos por apresentar acentuadas anomalias negativas de Y, Ti e Nb, bem como enriquecimento relativo em P e Sr e empobrecimento em La e Ce. Os padrões dos granitos CA1 e CA2 são bastante similares, mas os CA2 exibem anomalias negativas de Y, Ti e Nb mais acentuadas, verificando-se o mesmo no leucogranito Xinguara. Isso

reforça as analogias entre este e os leucogranitos CA2 assinaladas anteriormente.

DISCUSSÕES Petrogênese Qualquer discussão sobre a petrogênese do Granito Xinguara é limitada por não se dispor de dados isotópicos. Entretanto, algumas ideias preliminares merecem ser assinaladas. O Granito Xinguara apresenta uma notável homogeneidade composicional, conforme indicam os dados petrográficos e geoquímicos. Chama a atenção a natureza granítica e hololeucocrática das diferentes variedades de rochas do corpo, com altos teores de SiO_2 (>71,5%) e álcalis (média de 8,95%), elevadas razões K_2O/Na_2O (média de 1,57), e teores médios baixos de MgO (0,23%) e moderados de CaO (1,13%). Os padrões de elementos terras raras revelam anomalias significativas de Eu, indicando um fracionamento expressivo de feldspatos e, mais particularmente, de plagioclásio, durante a geração ou evolução do magma granítico.

Os contrastes geoquímicos observados entre os LMG1 e LMG2 indicam uma certa complexidade na origem do magma gerador do Granito Xinguara. Tais contrastes não podem ser explicados somente por processos de diferenciação magmática, tendo em vista que os dois grupos apresentam teores de SiO_2 superpostos e não seguem o mesmo *trend* de diferenciação (Fig. 2). Isso é reforçado pelo comportamento dos elementos litófilos (Fig. 3). E pouco provável, portanto, que os dois tipos de leucomonzogranitos tenham se formado a partir de um mesmo magma parental, apesar de sua aparente associação no espaço e no tempo, a menos que se admita a possibilidade de contaminação em graus variáveis do magma original pelas rochas encaixantes, presentes no interior do corpo sob a forma de enclaves (Leite 1995). A contaminação através dos granitóides TTG não poderia, no entanto, justificar a passagem dos LMG1 para os LMG2, mais potássicos e algo mais alcalinos do que os LMG1. Por outro lado, a contaminação

Tabela 3 - Composições químicas médias do Granito Xinguara e dos leucogranitos cálcio-alcalinos e alcalinos de Sylvester (1994).

	LMG1	LMG2	CA1	CA2	ALK3	ALK4
SiO ₂	73,65	72,98	70,00	71,88	73,33	74,20
TiO ₂	0,13	0,13	0,40	0,23	0,29	0,14
Al ₂ O ₃	13,54	13,38	14,63	14,69	13,08	13,52
FeO _t	1,70	1,48	2,72	1,65	2,35	1,32
MnO	0,02	0,01	0,05	0,03	0,04	0,04
MgO	0,29	0,25	0,74	0,48	0,39	0,23
CaO	1,38	0,99	2,28	1,69	1,21	0,94
Na ₂ O	3,79	3,10	3,89	4,45	3,26	3,74
K ₂ O	4,78	6,5	3,58	3,69	4,78	4,68
P ₂ O ₅	0,15	0,16	0,17	0,08	0,09	0,06
LOI	0,54	0,53	0,78	0,81	0,55	0,75
Ba	941	993	1300	1210	830	505
Sr	263	244	479	455	172	102
Rb	156	193	117	125	211	339
Zr	163	223	218	142	276	134
Nb	8	7	12	9	19	19
Y	9	9	21	7±	58	31
Th	66	81	21	22	29	41
Ga	12	<10	18	17	16	20
La	40,49	-	71	42	98	44
Ce	88,99	-	133	71	179	86
Nd	36,01	-	45	29	81	28
Sm	5,94	-	7,80	4,4	12	5,3
Eu	0,49	-	1,56	0,7	1,6	0,45
Gd	2,36	-	5,10	3,4	5,4	3,0
Tb	-	-	0,73	0,41	1,8	0,85
Dy	1,23	-	3,20	2,2	-	3,1
Yb	0,57	-	1,55	0,51	5,5	1,9
Lu	0,09	-	0,24	0,09	0,83	0,37
Al ₂ O ₃ /TiO ₂	104,15	102,92	36,57	63,86	45,10	96,57
Rb/Y	16,25	25,21	5,57	17,85	3,63	10,93
(La/Yb) _n	49,38	-	38	80	24	22
Eu/Eu*	0,33	-	0,73	0,73	0,46	0,36

LMG1: Leucomonzogranitos do tipo 1, LMG2: Leucomonzogranitos do tipo 2. (Este trabalho). CA1 e CA2: Leucogranitos cálcio alcalinos arqueanos tipos 1 e 2 e ALK3 e ALK4: Leucogranitos alcalinos arqueanos dos tipos 3 e 4 (Sylvester 1994).

difícilmente poderia ter se dado no sentido inverso, uma vez que os LMG2 têm distribuição relativamente limitada no corpo e seria pouco provável que as rochas contaminadas, no caso os LMG1, ocupassem uma maior área. Há, ainda, enclaves de rochas ricas em clorita e moscovita no corpo granítico (Leite 1995), porém as mesmas não parecem possuir composições químicas adequadas para justificar uma contaminação capaz de explicar as variações geoquímicas observadas entre os LMG1 e LMG2. É mais razoável, portanto, admitir que os LMG1 e LMG2 tenham se originado a partir de líquidos distintos que evoluíram independentemente.

Segundo Ridley (1992) este tipo de magma seria formado em altos níveis crustais, representando o último e maior evento ígneo dos crátons arqueanos. Ele admite duas origens para tais líquidos graníticos: (i) fusão parcial de granitóides e gnaisses TTG, ou (ii) a partir da cristalização fracionada de magmas TTG. Este autor advoga a existência no limite crosta inferior/manto superior de uma camada de rocha fundida, a qual seria a fonte de calor responsável pela geração deste grande volume de magmas graníticos no final do Arqueano. Davis *et al.* (1994) consideram, por sua vez, que a geração de magma granítico potássico no Arqueano seria resultado da colocação de magmas derivados do manto na base da crosta, associada com espessamento crustal, promovendo alta T, metamorfismo de baixa P e fusão crustal. Uma outra possibilidade, aventada por Sylvester (1994), é a de que as associações TTG, admitidas por ele como fontes dos magmas geradores dos granitos arqueanos, poderiam ter-se formado não muito antes destes granitos potássicos arqueanos, e por isso, estariam relativamente aquecidas na época em que os granitos foram produzidos. Com isso, pequenos aumentos de temperatura poderiam induzir a fusão crustal, levando à formação de magmas graníticos. Além dos autores citados acima, Foden *et al.* (1984) e Cassidy *et al.* (1991) também admitem uma origem crustal para os magmas formadores dos granitos arqueanos.

Retornando aos granitos estudados, existe um amplo intervalo composicional e acentuados contrastes geoquímicos, tanto entre o Granodiorito Rio Maria e os leucogranitos estudados, quanto entre estes últimos e as associações TTG (Leite 1995). Não há, portanto, nenhuma evidência de que os líquidos formadores do Granito Xinguara possam resultar de diferenciação magmática através de cristalização fracionada a partir dos magmas formadores das demais associações magmáticas arqueanas da região. Por outro lado, embora os dados disponíveis sobre o Granito Xinguara não permitam concluir que a sua origem se deu a partir da fusão parcial da crosta continental arqueana, os mesmos não se opõem a tal hipótese. Assume-se, com base nisto e nas hipóteses disponíveis na literatura, que os leucogranitos de Xinguara derivaram da fusão de granitóides arqueanos, representados por associações TTG ou afins ao Granodiorito Rio Maria.

Partindo-se da premissa de geração dos magmas graníticos através de processos de fusão parcial, duas hipóteses podem ser postuladas na tentativa de explicar a origem dos magmas dos LMG1 e LMG2: (i) seriam produtos de diferentes graus de fusão parcial de uma mesma rocha fonte; (ii) poderiam ser derivados de rochas fontes de composições ligeiramente diferentes. Hipóteses análogas foram apresentadas e discutidas por Sylvester (1994) para explicar a origem dos leucogranitos cálcio-alcalinos arqueanos dos tipos 1 e 2, por ele distinguidos. Ele conclui que nenhuma dessas duas hipóteses poderia explicar razoavelmente as diferenças entre os mencionados granitos e assume, como alternativa, a interpretação que os contrastes entre os mesmos seriam devidos a diferenças nas profundidades de gerações dos respectivos líquidos. Essas se refletiriam na presença de maior proporção de minerais resítos nos granitos CA1, em relação aos CA2, formados em maiores profundidades na crosta e capazes de uma separação mais efetiva de líquido e resíduo de fusão (Sylvester 1994).

Os leucogranitos LMG1 e LMG2 de Xinguara mostram, entretanto, diferenças composicionais e mineralógicas bem menos expressivas que os dois tipos cálcio-alcalinos de Sylvester e são ambos geoquimicamente similares aos leucogranitos cálcio-alcalinos do tipo 2 (CA2), pois no diagrama Rb/Y vs. Al_2O_3/TiO_2 (Fig. 4d) os leucogranitos estudados concentram-se sem exceção no domínio com altas razões Rb/Y e Al_2O_3/TiO_2 , superpondo-se em parte ao campo dos granitos CA2, mas deles separando-se parcialmente por exibirem razões Al_2O_3/TiO_2 mais elevadas. Logo, a hipótese de existência de diferenças nos níveis crustais de geração dos magmas, de modo análogo ao sugerido por Sylvester, não poderia ser aplicada para justificar os contrastes geoquímicos entre os leucogranitos estudados.

Retornando às hipóteses iniciais, diferentes graus de fusão parcial a partir de uma mesma fonte deveriam se refletir em comportamentos diferenciados de determinados elementos traço, tais como Rb, Y e Th,

de um lado, e P, Sr e Cu, de outro, em função de seus diferentes coeficientes de partição entre líquido e resíduo (Sylvester 1994). Tais comportamentos são sugeridos pelos dados geoquímicos do plúton Xinguara (Tab. 1), cujos leucogranitos LMG2 são, em geral, comparativamente enriquecidos em Y e Rb (Fig. 2 e 3), além de Th, e empobrecidos em Sr (Fig. 3), em relação aos LMG1. O P não mostra variações significativas entre os dois grupos e o Cu não foi analisado. Um teste de modelamento geoquímico efetuado para os elementos maiores através do programa MAGFRAC (Morris 1984), envolvendo a fusão parcial de biotita tonalitos e biotita-hornblenda-quartzo dioritos, encaixantes do plúton Xinguara e, muito provavelmente, similares geoquimicamente às suas rochas fonte, indicou efetivamente percentagens de fusão mais elevadas para a geração de líquidos com composição dos leucogranitos LMG1 (em torno de 20% a partir dos tonalitos e de 15% aos quartzo-dioritos) do que para aqueles do tipo 2 (LMG2) (cerca de 10% para ambos os tipos de rochas). Embora esse teste não forneça uma comprovação definitiva de que as rochas estudadas foram efetivamente geradas por tais processos, ele indica que existe a possibilidade de geração das mesmas a partir de líquidos derivados por diferentes graus de fusão parcial de uma mesma rocha fonte, não havendo, portanto, a necessidade de fontes distintas para explicar os contrastes entre os leucomonzogranitos LMG1 e LMG2 do plúton Xinguara. Em função disso e das considerações anteriores, a hipótese de derivação dos dois líquidos a partir de uma mesma fonte é assumida neste trabalho. Os dados disponíveis sugerem que, tanto as rochas das associações trondhjemiticas, quanto as das séries cálcio-alcalinas ricas em Mg, poderiam funcionar como fontes dos magmas. São, no entanto, necessários dados isotópicos, ora sendo obtidos, para aprofundar essa discussão.

As fácies granitos pegmatóides e sienogranitos são, conforme atestam as relações de campo, tardias e de menor volume (Leite 1995). Seria tentador admitir que estas fácies derivaram dos líquidos residuais dos dois tipos de leucomonzogranitos, porém os altos conteúdos de Ba e Sr dos sienogranitos e os conteúdos comparativamente baixos de Rb dos mesmos e dos granitos pegmatóides não favorecem a hipótese de que eles possam ter tal origem. Logo, é possível igualmente que os líquidos formadores dos mesmos também se relacionem a processos de fusão parcial.

Significado do Magmatismo Granítico Arqueano no Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria O magmatismo monzogranítico rico em K_2O , geralmente formado no final do arqueano, manifesta-se como corpos intrusivos nos terrenos gnáissicos e nas suites tonalítica-trondhjemitica-granodioríticas (TTG), sendo amplamente distribuído em vários locais do globo terrestre (Condie & Hunter 1976, Cassidy *et al.* 1991, Kröner 1991, Sylvester 1994, Davis *et al.* 1994). Geralmente este evento magmático marca um importante estágio na evolução e estabilização da crosta arqueana (Ridley 1992). O plúton Xinguara é uma das intrusões mais representativas, dentre as diversas que caracterizam o magmatismo granítico rico em potássio de natureza cálcio-alcalina fortemente fracionado de idade arqueana do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria. Apesar de estar situado num contexto geológico um pouco distinto daquele do Granito Xinguara, o Granito Mata Surrão (Duarte 1992, Althoff 1996) mostra, além de características geológicas e petrográficas, assinatura geoquímica similar à do Granito Xinguara (Leite 1995, Dall'Agnol *et al.* 1997). O Granito Guarantã, localizado na região de Marajoara, mostra algumas similaridades com o Granito Xinguara, porém exibe um comportamento bem distinto dos elementos terras raras (Althoff 1996).

Por outro lado, os dados estruturais e geocronológicos disponíveis (Souza 1994, Pimentel & Machado 1994, Macambira & Lafon 1995, Althoff 1996, Dall'Agnol *et al.* 1997) mostram que os diferentes leucogranitos arqueanos, embora correspondam ao evento final do magmatismo Arqueano no Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, formaram-se, em geral, logo após os granitóides TTG mais jovens e o Granodiorito Rio Maria, datados de 2,87 Ga. Portanto, o intervalo de tempo decorrido para a formação destes leucogranitos foi muito curto e eles não se situam no final do Arqueano, sendo inclusive bem mais antigos do que os leucogranitos da Suíte Plaque (Araújo & Maia 1991, Avelar 1996), do Complexo Granítico Estrela (Barros 1997) e outros granitos alcalinos arqueanos (Lindenmayer *et al.* 1994), descritos mais a norte.

Embora não se possa definir o volume do magmatismo granítico arqueano de Rio Maria em relação aos das demais associações, estima-se que o mesmo represente uma porção muito significativa daqueles terrenos, tal como observado nos demais crátons arqueanos.

CONCLUSÕES O Granito Xinguara é um dos mais expressivos corpos graníticos de idade arqueana do Terreno *Granito-Greenstone* de Rio Maria (TGGRM). Ele integra o magmatismo leucogranítico potássico que, a exemplo de outros crátons arqueanos, teve importância fundamental na evolução geológica do TGGRM. Esse magmatismo formou-se pouco após os demais tipos de granitóides arqueanos e, embora constitua o último evento magmático expressivo do TGGRM, não data do final do Arqueano, contrariamente ao verificado em certos crátons (Davis et al. 1994).

O Granito Xinguara é intrusivo em granitóides e gnaisses TTG e no Granodiorito Rio Maria. Petrograficamente é dividido em três fácies: leucomonzogranitos, granitos pegmatóides e leuco-sienogranitos. Com base em dados geoquímicos, a fácies leucomonzogranito foi subdividida em leucomonzogranitos do tipo 1 e tipo 2 (LMG1 e LMG2). Os conteúdos de SiO₂ dos dois tipos de leucomonzogranitos se superpõem, entretanto os LMG2, quando comparados aos LMG1 são empobrecidos em Al₂O₃, MgO, CaO e Na₂O e enriquecidos em K₂O, Rb, Zr e Y. Os leuco-sienogranitos e granitos pegmatóides tendem a ser mais ricos em SiO₂ do que os leucomonzogranitos e empobrecidos em MgO, FeO_i e CaO.

O plúton Xinguara exibe uma marcante homogeneidade composicional, sendo formado por leucogranitos metaluminosos a ligeiramente peraluminosos com altos teores de SiO₂ e álcalis, elevadas razões K₂O/Na₂O, e baixos teores médios de MgO e moderados de CaO. Os LMG1 e LMG2 definem nos diagramas geoquímicos dois *trends* evolutivos, indicando que cristalizaram a partir de líquidos distintos. O comportamento dos elementos litófilos sugere que processos de cristalização fracionada moderada aluaram durante a formação dos magmas do plúton Xinguara, havendo fracionamento de feldspato potássico, plagioclásio e biotita, sendo o fracionamento de feldspatos indicado também pelas expressivas anomalias negativas de Eu (Eu/Eu* variando de 0,28 a 0,38 nos LMG1). Os LMG1 mostram, em geral, acentuado empobrecimento nos elementos terras raras pesadas (La_n/Yb_n variando de 149,07 a 16,63) causado, provavelmente, pela retenção de granada e/ou anfibólios no resíduo de fusão.

Os dados geoquímicos apontam para uma similaridade do Granito Xinguara com os leucogranitos cálcio-alcálicos arqueanos do tipo 2 (CA2) definidos por Sylvester (1994). Há semelhanças, sobretudo, no acentuado fracionamento de elementos terras raras pesados, na presença de expressiva anomalia negativa de Eu e de empobrecimento em Y, Ti e Nb, paralelamente a enriquecimento em P e Sr (Figs. 4a e c). Os altos valores das razões Rb/Y e Al₂O₃/TiO₂ dos leucogranitos Xinguara (Fig. 4c) também reforçam esta interpretação.

A hipótese de contaminação do magma original pelas rochas encaixantes parece pouco sustentável, sendo mais provável que os dois tipos de leucogranitos do plúton Xinguara tenham se originado a partir de líquidos distintos, os quais evoluíram independentemente. O amplo intervalo composicional e os fortes contrastes geoquímicos entre o Granito Xinguara e suas rochas encaixantes (Granodiorito Rio Maria e as associações TTG) não fortalecem tampouco a hipótese de que os líquidos formadores do plúton Xinguara possam resultar de diferenciação magmática dos magmas formadores das mesmas. Assume-se, portanto, que os leucogranitos Xinguara derivaram da fusão de granitóides arqueanos, representados por associações TTG ou afins ao Granodiorito Rio Maria, sendo mais provavelmente produtos de diferentes graus de fusão parcial de uma mesma rocha fonte, conforme sugerido por testes de modelamento geoquímico, bem como pelo comportamento de Rb, Y, Th e Sr.

Agradecimentos Aos pesquisadores do Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitóides (GPPG-CG-UFPa) pelo apoio nas diversas etapas deste trabalho, em especial a C.E.M. Barros, R.O. Silva Jr., C.M. Soares, H.T. Costi e M.A.B.M. Figueiredo. Ao químico R.N. Oliveira da Companhia ALBRAS pela realização das análises químicas de elementos maiores. Ao Prof. W.K. Schuckman (*in memoriam*) pela realização da maioria das análises de elementos traço. Este trabalho recebeu o apoio financeiro de PADCT-FINEP (Processo 6.5.92.0025.00), CNPq, CAPES e Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica (CPGG-CG-UFPa). A dois revisores anônimos da RBG pelas sugestões e críticas.

Referências

- Althoff F.J. 1996. *Estude pétrologique et structurale des granitoides de Marajoara (Pará, Brésil): leur rôle dans l'évolution archéenne du craton Amazonien (2,7-3,2 Ga)*. Université Henri Poincaré, Nancy I - France, Tese de Doutorado, 296p.
- Althoff F.J., Barbey P., Macambira M.J.B., Scheller T., Leterrier J., Dall'Agnol R., Lafon J.M. 1998. La croissance du craton sud-amazonien (région de Rio Maria, Brésil). In: Réunion des Sciences de la Terre. *Resumes*. Brest, Soe. Géol. Fr. p. 62.
- Anders E. & Grevesse N. 1989. Abundances of the elements: Meteoritic and solar. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **53**: 197-214.
- Aratijo O.J.B., Macambira E.M.B., Vale A.G., Oliveira J.R., Silva Neto C.S., Costa E.J.S., Santos A., Pena Filho J.I.C., Neves A.P., Jorge João X.S., Costa J.B.S. 1994. Primeira integração das investigações geológicas do Programa Grande Carajás na região SSE do Estado do Pará. In: SBG, Simpósio de Geologia da Amazônia, 4, Belém, 1994. *Boletim de Resumos Expandidos*, p. 299-301.
- Aratijo O.J.B. & Maia R.G.N. 1991. *Programa de levantamentos geológicos básicos do Brasil, Serra dos Carajás, folha SB-22-Z-A, Estado do Pará*. Texto explicativo, Brasília, DNP/CPRM, 164p.
- Avelar V.G. 1996. *Geocronologia Pb-Pb por evaporação em monocristal de zircão, do magmatismo da região de Tucumã, SE do Estado do Pará, Amazônia oriental*. Universidade Federal do Pará, Tese de Mestrado, 199 pp.
- Barros C.E.M. 1997. *Pétrologie et structure du Complexe Granitique Estrela (2,5 Ga) et de son encaissant métavolcano-sédimentaire (Province Métallifère de Carajás, Brésil)*. Université Henri Poincaré - Nancy I, France, Nancy, Tese de Doutorado, 316p.
- Cassidy K.F., Barley M.E., Groves D.I., Permg C.S., Hallberg J.A. 1991. An overview of the nature, distribution and inferred tectonic setting of granitoids in the Late Archean Norseman-Wiluna Belt. *Precambrian Research*, **51**: 51-83.
- Chappell B.W. & White J.R. 1992. 1- and S-type granites in the Lachlan Fold Belt. *Transactions Royal Society, Edinburgh: Earth Science*, **83**: 1-26.
- Condie K.C. 1993. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: Contrasting results from surface samples and shales. *Chemical Geology*, **104**: 1-37.
- Condie K.C. & Hunter D.R. 1976. Trace elements geochemistry of Archean granitic rocks from Barberton region, South Africa. *Earth and Planetary Science Letters*, **29**: 389-400.
- Dall'Agnol R., Ramo O.T., Magalhães M.S., Macambira M.J.B. 1999. Petrology of the Anorogenic, Oxidised Jamon and Musa Granites, Amazonian Craton: implications for the Genesis of Proterozoic A-Type Granites. *Lithos*, **46**: 431-462.
- Dall'Agnol R., Souza Z.S., Althoff F.J., Barros C.E.M., Leite A.A.S., Jorge João X.S. 1997. General aspects of the granitogenesis of the Carajás metallogenic province. In: International Symposium on Granite and Associated Mineralizations, 2. *Extended abstracts and program*, Salvador, 1997, pp. 135-161.
- Davis W.J., Fryer B.J., King J.E. 1994. Geochemistry and evolution of late Archean plutonism and its significance to the tectonic development of the Slave Craton. *Precambrian Research*, **67**: 207-241.
- Duarte K.D. 1992. *Geologia e geoquímica do Granito Mata Surrão (SWde Rio Maria-PA): um exemplo de granito "stricto sensu" Arqueano*. Universidade Federal do Pará, Tese de Mestrado, 217p.
- Foden J.D., Nesbitt R.W., Rutland R.W.R. 1984. The geochemistry and crustal origin of the Archean acid intrusive rocks of the Agnew Dome, Lawlers, Westwen Austrália. *Precambrian Research*, **23**: 247-271.
- Hanson G.N. 1989. An approach to trace element modeling using a simple igneous system as an example. In: Ribbe P.H. (Ed.) *Geochemistry and mineralogy of rare earth elements. Reviews in Mineralogy*, **21**: 79-97.
- Huhn S.R.B., Santos A.B.S., Amaral A.F., Ledsham E.J., Gouveia J.L., Martins L.B.P., Montalvão R.M.G., Costa V.G. 1988. O terreno *grznilo-greenstone* da região de Rio Maria-sul do Pará. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 35, Belém, *Anais*, **3**: 1438-1453.
- Kröner A. 1991. Tectonic evolution in the Archean and Proterozoic. *Tectonophysics*, **87**: 393-410.
- Leite A.A.S. 1995. *Geologia e geoquímica do maciço granítico arqueano Xinguara - sudeste do Estado do Pará*. Universidade Federal do Pará, Tese de Mestrado, 209p.
- Leite A.A.S. & Dall'Agnol R. 1997. Geologia e petrografia do maciço granítico Arqueano Xinguara e de suas encaixantes -SE do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Série Ciência da Terra*, **9**: 43-81.
- Lindenmayer Z.G., Fyfe W.S., Bocalon V.L.S. 1994. Nota preliminar sobre as intrusões granitóides do depósito de cobre do Salobe, Carajás. *Acta Geológica Leopoldensia*, **17**(40): 153-184.
- Macambira M.J.B. & Lafon J.M. 1995. Geocronologia da Província Mineral de Carajás: síntese dos dados e novos desafios. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, série Ciências da Terra*, **1**: 263-288.
- Martin H. 1994. The Archean grey gneisses and the gneisses of continental crust. In: Condie K. C. (ed.) *Developments in precambrian geology U*. Archean crustal evolution, Elsevier, p. 205-259.
- Medeiros H. & Dall'Agnol R. 1988. Petrologia da porção leste do Batólito Granodiorítico Rio Maria, sudeste do Pará. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 35, Belém. *Anais*, **3**: 1488-1499.
- Morris P.A. 1984. MAGFRAC: a basic program for least -squares approximation of fractional crystallization. *Computer & Geosciences*, **10**: 437-444.
- Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, **25**: 956-983.
- Pimentel M.M. & Machado N. 1994. Geocronologia U-Pb dos terrenos granito-greenstone de Rio Maria, Pará. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 38, Camboriú. *Boletim de Resumos Expandidos*, p. 390-391.
- Ridley J.R. 1992. The thermal causes and effects of voluminous, late Archean: terrains, processes and metallogeny. *Geology Dept. & University Extension, The University of Western Austrália Publications*, **22**: 275-285.
- Souza Z.S. 1994. *Geologia e petrogênese do "Greenstone Belt" Identidade: implicações sobre a evolução geodinâmica do terreno granito-"greenstone" de Rio Maria, SE do Pará*. Universidade Federal do Pará, Tese de Doutorado, Vol. 1 e 2, 624p.
- Sylvester R.P.J. 1994. Archean granite plutons. In: Condie K. C. (ed.) *Developments in precambrian geology 11*. Archean crustal evolution, Elsevier, p. 261-314.
- Sylvester P.J. 1989. Post-collisional alkaline granites. *Journal of Geology*, **97**: 261-280.
- Taylor S.R. & McLennan S.M. 1985. *The continental crust: Its composition and evolution*. Blackwell Scientific, Oxford, 321 p.

Manuscrito A-1081

Recebido em 25 de março de 1999

Revisão dos autores em 15 de agosto de 1999

Revisão aceita em 19 de agosto de 1999