

Pesquisas em Geociências

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias>

Caracterização Petrográfica e Geoquímica dos Granitos Metaluminosos da Associação Alcalina: Revisão

Lauro Nardi

Pesquisas em Geociências, 18 (1): 44-57, Mai./Ago., 1991.

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/21361>

Publicado por

Instituto de Geociências



**Portal de Periódicos
UFRGS**

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

Informações Adicionais

Email: pesquisas@ufrgs.br

Políticas: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/editorialPolicies#openAccessPolicy>

Submissão: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#onlineSubmissions>

Diretrizes: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#authorGuidelines>

Data de publicação - Mai./Ago., 1991.

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

Caracterização Petrográfica e Geoquímica dos Granitos Metaluminosos da Associação Alcalina: Revisão

LAURO V. S. NARDI

CPGq. - Instituto de Geociências, UFRGS - Caixa Postal, 15001 - CEP 91500 - Porto Alegre, RS

(Recebido em 17/04/91. Aceito para publicação em 06/08/91.)

Abstract — Silica-oversaturated, alkaline associations are made up mainly of peralkaline and metaluminous (including those with normative corindon 2%) granites, and syenitic rocks. They are generally associated with stabilized orogenic belts or with anorogenic settings and rift formation. Intrusive rocks of these associations are mainly calcic-amphibole and biotite bearing metaluminous granites.¹ of alkaline associations present high Fe/Mg ratios, reflecting the composition and generally low oxygen fugacity of these magmas. They are also characterized, by high contents of alkalis in relation to alumina, and HFS element (e.g. Nb, Zr, Y, Ga) enrichment. REE contents are relatively high, and their normalised patterns are slightly fractionated with prominent negative-Eu anomalies. The identification of these granitoids and their effective discrimination demand the integration of field relationship, petrographic and chemical data and even mineral chemistry information. The discrimination of their tectonic settings, based upon chemical data, demands a better comprehension and quantification of factors controlling the abundance of Ba, Nb, Y, and other elements in granitic melts or parental magmas. Most economic deposits related to silica-oversaturated alkaline associations are associated with metaluminous granites, so being emphasized the importance of their study and characterization.

Resumo — As associações alcalinas supersaturadas em silíca são constituídas dominadamente por granitos peralcalinos, metaluminosos a fracamente peraluminosos (2% coríndon normativo) e rochas sieníticas, estando associadas em geral, a faixas orogênicas em fase de estabilização ou a ambientes anorogênicos relacionados com *riffs*. As rochas graníticas dessas associações são principalmente granitos metaluminosos (incluindo-se peraluminosos com coríndom normativo inferior a 2%) com biotita e/ou anfibólios cárceos, frequentemente de difícil distinção de granitos calcialcalinos evoluídos. Os anfibólios e biotitas desses granitos mostram elevadas razões Fe/Mg, refletindo a composição do magma inicial e geralmente baixas fO₂. Quimicamente os granitos metaluminosos dessa associação caracterizam-se ainda por elevados teores de álcalis em relação a alumina, enriquecimento em Nb, Zr, Y e Ga. Seus padrões de terras raras (ETR) mostram-se geralmente enriquecidos, com baixo grau de fracionamento e pronunciadas anomalias negativas de Eu. A identificação desses granitóides e sua discriminação efetiva exige a integração das relações de campo, com dados petrográficos e geoquímicos ou mesmo de química mineral. A discriminação de seus ambientes tectônicos através da utilização de dados químicos demanda um maior conhecimento dos fatores que controlam a abundância de elementos como Ba, Nb, Y e outros nas fusões graníticas e em seus magmas parentais. A maior parte das mineralizações relacionadas com essas associações alcalinas estão contidas nos termos metaluminosos com biotita, enfatizando-se assim a relevância de seu estudo e caracterização.

INTRODUÇÃO

As rochas graníticas associadas à série alcalina têm sua área de ocorrência clássica na província dos granitos Triássicos e Jurássicos da Nigéria (Jacobson *et al.*, 1958). Sua notoriedade advém fundamentalmente dos granitos peralcalinos, com sua mineralogia característica a base de pertita, piroxênios e anfibólios sódicos. Estes granitos, no entanto, constituem uma porção restrita da associação alcalina supersaturada, que inclui dominadamente granitos metaluminosos ou fracamente peraluminosos, portadores de biotita e anfibólio cálcio, rochas sieníticas, e em alguns casos termos mais básicos, até anortositos, gabros e dioritos.

Diversas revisões recentes (Anderson *et al.*, 1980, Bonin 1982, Collins *et al.*, 1982, Whalen *et al.*, 1987 e Sylvester 1989) vêm enfatizando a importância e diversidade dos granitóides da associação alcalina, sugerindo critérios de identificação baseados em parâmetros petroquímicos, petrográficos e mesmo de química mi-

neral. A relação destes granitos com os estágios finais de orogêneses (Murthy & Venkataraman, 1964) tem sido ressaltada por diversos autores (Black *et al.*, 1985, Liégeois & Blac, 1987, Sylvester, 1989), embora reconheça-se como anorogênica a associação clássica da Nigéria, entre outras.

Loiselle & Wones (1979) utilizaram a denominação de granitóides do tipo A para os constituintes da associação alcalina. Tauson (1974) distingue entre os tipos desta associação os granitos agpaíticos, os palingenéticos da série alcalina e os granitos alcalinos enriquecidos em metais raros. Naime & Nardi (1991) utilizam a denominação de associação alcalina para essas rochas uma vez que nelas são incluídos granitóides de origem diversas, tanto produzidos por diferenciação de magmas basálticos mantélicos como por fusão parcial de sequências metamórficas. Bonin (1990), Rogers & Greenberg (1990) e Maniar & Piccoli (1989) distinguem dentre os granitos alcalinos, os relacionados com o período de es-

tabilização de faixas orogênicas e os anorogênicos, sugerindo critérios químicos para sua discriminação.

A presente síntese reavalia as principais características mineralógicas, petrográfi e geoquímicas dos granitos metaluminosos (incluindo-se sob esta denominação os fracamente peraluminosos com corídon normativo inferior a 2%) da associação alcalina, fundamentando-se particularmente nas seguintes associações: o batolito de Wolf River (Anderson & Cullers, 1978), magmatismo granítico do Proterozoico Médio de Wisconsin, EUA (Anderson et al., 1980) magmatismo granítico alcalino da Córsega (Bonin, 1982 e 1988), complexos anelares alcalinos da província Niger-Nigéria (Jacobson et al., 1958 e Bowden et al., 1987), granitos proterozóicos anorogênicos do Labrador (Collerson 1982), granitos do tipo A do Devoniano Superior do sudeste da Austrália (Collins et al., 1982), granitos pós-colisionais alcalinos de AHdrar des Iforas-Mali (Liégeois & Blac, 1987), granitos pós-orogênicos do East Antarctic Shield (Sheraton & Black, 1988), granitos pós-Brasilianos da Suite Intrusiva Saibro do Escudo Sul-rio-grandense (Nardi & Bonin, 1991), granitos do complexo ígneo de Topsails, Canadá (Taylor et al., 1980).

RELAÇÕES DE CAMPO

As associações graníticas alcalinas consideradas, abrangem um amplo intervalo de idades desde os granitos de Wisconsin com em torno de 1,8Ga (Anderson et al. 1980) até os granitos jovens da Nigéria com até 140Ma (Bowden et al., 1987).

Black et al. (1985) distinguem o magmatismo alcalino fortemente supersaturado em sílica, objeto desta revisão, do magmatismo alcalino fortemente subsaturado associado com rochas ultrabásicas, carbonatitos e kimberlitos e do magmatismo alcalino saturado a subsaturado. Aqueles autores relacionam o magmatismo alcalino supersaturado em sílica com reativação de sistemas de falhas de rasgamento, em regime distensivo, tanto em cinturões orogênicos recém estabilizados como em regimes de adelgaçamento crustal relacionado a fragmentação de continentes. Liégeois & Black (1987) sugerem que a associação alcalina supersaturada de Adrar des Iforas, Mali, foi gerada nos estágios finais da orogênese Pan-Africana, marcada pela reativação de zonas de cisalhamento e formação de **grabens** e depósitos mafíticos de pequeno porte. Barker (1987) sugere que o magmatismo riolítico alcalino de idade terciária da Província de Trans-Pecos, Texas, foi gerado concomitantemente com um magmatismo calcialcalino durante a subducção da placa de Farallon. Os granitos alcalinos da Nigéria, no entanto, são anorogênicos, e sua geração precederia a abertura do oceano, conforme Black et al., (1985). A maior parte das associações alcalinas revisadas nesta síntese pode ser considerada pós-orogênica ou pós-colisional (Sylvester, 1989), relacionando-se com o período de estabilização de faixas orogênicas, sob um regime predominantemente distensivo.

As associações alcalinas supersaturadas em sílica incluem geralmente, sequências vulcânicas e piroclásti-

cas riolíticas predominantemente metaluminosas a peralcalinas, consaguíneas com os termos intrusivos. Na maior parte dos casos a associação espacial de intrusivas e vulcânicas ou piroclásticas é íntima, ressaltando-se o caráter epizonal das rochas plutônicas. É igualmente marcante a presença de rochas hipabissais, muitas vezes conformando estruturas anelares como as descritas na Nigéria (Jacobson et al., 1958).

As intrusões graníticas metaluminosas da associação alcalina tem seu posicionamento controlado por falhamentos, muitas vezes representando a reativação de zonas de cisalhamento com inversão no sentido de movimento (*harpoon effect*, Black et al., 1985).

A presença de enclaves microdioríticos com feições indicativas de *comingling*, isto é, misturas heterogêneas de líquidos magmáticos de diferentes composições, é assinalada em vários granitos metaluminosos da associação alcalina (Taylor et al., 1980, Bonin, 1990 e Nardi, 1984). Atesta-se dessa forma a coexistência de líquidos básicos com o magmatismo granítico alcalino metaluminoso.

PETROGRAFIA E MINERALOGIA

As rochas graníticas metaluminosas da associação alcalina (incluindo termos fracamente peraluminosos como anteriormente referido) são predominantemente granitos com biotita e/ou anfibólito cálcio, tanto pertita granitos como sieno ou monzogranitos. Faialita e clinopiroxênios (hedenbergita-ferrosilita) são fases maficas frequentemente reconhecidas em algumas associações como no Labrador (Collerson 1982) ou Nigéria (Jacobson et al., 1958).

Os anfibólitos presentes nestes granitos são principalmente ferro edenitas e hornblendas hastingsíticas a ferro hornblendas com razões $\text{FeO}(\text{total}) / \text{FeO}(\text{total}) + \text{MgO}$ geralmente superiores a 0,90 (Nardi 1984). Anfibólitos mais magnesianos ocorrem muitas vezes nos granitos subsolvus indicando condições oxidantes durante a cristalização magmática (Anderson et al., 1980). Nardi & Bonin (1991) relatam a cristalização precoce e simultânea de magnésio-hornblenda e óxidos de Fe e Ti em granitos subsolvus da Suite Intrusiva Saibro no Escudo Sul-rio-grandense. Embora diversos autores (Bonin 1982) considerem os anfibólitos dos granitos metaluminosos como cristalizados tardivamente, gerando texturas típicas com as fases maficas xenomórficas e ocupando posições intersticiais, existem fortes evidências de biotitas formando-se a partir de anfibólitos cálcicos precoces (Taylor et al., 1980, Anderson et al., 1980). Ba et al., (1985) e Nardi & Bonin (1991) descrevem a cristalização precoce de anfibólitos cálcicos em granitos hiper e subsolvus em Adrar des Iforas e na Suite Intrusiva Saibro.

A biotita dos granitos metaluminosos da associação alcalina é frequentemente de cristalização tardia confinada aos espaços intersticiais. Muitas vezes ocorre substituindo anfibólitos cálcicos ao longo das clivagens ou envolvendo-os (Anderson et al., 1980, Taylor et al., 1980). A proporção $\text{FeO}(\text{total}) / \text{FeO}(\text{total}) + \text{MgO}$ nas bio-

titas é geralmente maior do que 0,9, refletindo baixas fugacidades de oxigênio, como discutido por Anderson & Bender (1989). Biotitas mais magnesianas são comuns principalmente em rochas portadoras de magnetita (Nardi & Naime, 1991).

A Tabela 1 ilustra a composição de anfíbios e biotitas típicas dos granitos metaluminosos da associação alcalina.

O feldspato alcalino dos granitos metaluminosos hipersolvus portadores de anfibólio, é geralmente mesoperita do tipo em veios regulares com uma proporção de Ab/Or (em vol.) próxima da unidade. Já nos tipos com

biotita observa-se uma tendência ao predomínio de perita do tipo veios irregulares e manchas. Tanto nos granitos hiper como subsolvus o feldspato alcalino atinge dimensões moderadas conferindo a essas rochas texturas dominanteamente equigranulares. O plagioclásio dos granitos considerados varia composicionalmente de oligoclásio a albita. Andesina é descrita por Sheraton & Black (1988) nos granitos alcalinos pós-orogênicos do East Antarctic Shield. O plagioclásio, nos granitos metaluminosos, é normalmente precoce, podendo ocorrer incluso em feldspatos alcalinos. Mostra formas euédricas a subédricas, frequentemente com zonação composicional.

	anfibólios				biotitas			
(% peso)	ANT-A	ANT-C	LN227	HUAL1	ANT-A	ANT-C	SBJ-1	SBR-2
SiO ₂	38,34	37,75	45,04	43,96	33,69	32,61	34,97	35,74
TiO ₂	1,22	0,80	1,28	0,55	3,26	2,30	2,47	3,47
Al ₂ O ₃	11,14	12,26	4,90	8,04	14,16	15,73	14,73	12,36
FeO(t)	27,72	27,83	27,40	19,26	28,29	30,23	34,48	27,98
MnO	0,64	0,52	0,85	0,97	0,35	0,36	0,67	0,52
MgO	3,56	3,63	3,01	9,88	6,04	5,04	1,91	6,79
CaO	11,25	11,34	9,70	10,97	0,04	0,07	0,09	0,13
Na ₂ O	1,45	1,20	1,97	1,63	0,04	0,03	0,18	0,06
K ₂ O	1,95	1,56	0,95	1,62	9,28	9,11	9,01	8,87
F ⁻	1,40	1,12	0,61	1,26	2,68	1,16	nd	nd
Cl ⁻	0,37	0,04	nd	0,11	0,35	0,01	nd	nd
Total	99,04	98,05	95,77	98,15	98,43	96,75	98,51	95,92
fórmulas								
Si+4	6,21	6,12	7,40	6,79	5,44	5,29	5,58	5,68
Ti+4	0,15	0,10	0,16	0,06	0,40	0,28	0,30	0,41
Al+3	2,13	2,34	0,95	1,46	2,69	3,01	2,77	2,32
Fe++(*)	3,76	3,77	3,48	2,49	3,82	4,10	4,60	3,72
Mn++	0,09	0,07	0,12	0,13	0,05	0,05	0,09	0,07
Mg++	0,86	0,88	0,74	2,28	1,45	1,22	0,45	1,61
Ca++	1,95	1,97	1,71	1,80	0,01	0,01	0,06	0,02
Na+	0,46	0,38	0,63	0,49	0,01	0,01	0,06	0,02
K+	0,40	0,32	0,20	0,32	1,91	1,89	1,83	1,80
F	0,72	0,57	0,32	0,62	1,37	0,60	nd	nd
Cl	--	--	--	--	0,10	--	--	--
Total	16,72	16,53	15,70	16,43	17,24	16,47	15,69	15,65
23 O =					22 O =			

Fe++(*) = ferro total.

Tabela 1 – Composição química representativa de anfibólios e biotitas dos granitos metaluminosos da associação alcalina. (ANT) referido por Sheraton & Black (1988), (HUAL) referido por Anderson *et al.* (1980), (LN, SBJ e SBR) de Nardi & Bonin (1991).

O quartzo, de modo bastante típico, constitui uma fase de cristalização precoce conformando cristais bipiramidados. São frequentes inclusões deste mineral em feldspato alcalino.

Zircão, alanita, fluorita e apatita são os minerais acessórios comumente descritos nestes granitos. Magnetita, titanífera ou não, e ilmenita, às vezes com grandes quantidades de MnO, são os minerais opacos mais frequentes.

Texturalmente, os granitos metaluminosos da asso-

ciação alcalina tendem a apresentar aspecto equigranular hipidiomórfico, onde os cristais mais euédricos são de feldspato. Intercrescimentos granofíricos são observados em várias associações (Collins *et al.*, 1982, Jacobson *et al.*, 1958, Nardi & Naime, 1991, Anderson *et al.*, 1980). Texturas rapakivi são mencionadas principalmente nas associações proterozóicas do Wisconsin (Anderson *et al.*, 1980), Labrador (Collerson, 1982) e Wolf River (Anderson & Cullers, 1978).

A ordem de cristalização dos granitos metalumino-

sos da associação alcalina depende, dentre outros fatores, da atividade do cálcio que condicionará a formação de plagioclásio precoce e de anfibólito se a pH₂O for compatível. Em certos casos, talvez devido ao baixo conteúdo de CaO destes granitos, foram-se cristais pecoces euédricos de plagioclásio e anfibólito e em seguida a cristalização evolui para a formação de mesopertita, em condições hipersolvus portanto. Resulta deste processo a ocorrência de restos de plagioclásio inclusos em grãos de pertita, plagioclásios circundados por pertita ou mesmo cristais euédricos ou ovóides de plagioclásio. Este processo foi recentemente descrito do ponto de vista petrológico por Nekvasil (1990). Observa-se nesses granitos as seguintes seqüências indicativas da ordem de cristalização:

(1) plag + anfib + quartzo + mag. Ti - biot + feldsp. alc. + quartzo - quartzo + feldsp. alc.

(2) feldsp. alc. + quartzo - feldsp. alc. + biot.

GEOQUÍMICA

A maior parte dos trabalhos referentes à caracterização química dos granitos da série alcalina salienta as feições típicas dos termos peralcalinos, geralmente portadores de anfibólitos e/ou piroxênios sódicos. Entre os tipos metaluminosos tais feições são menos características dificultando-se assim a identificação destes que são os principais constituintes das associações alcalinas supersaturadas em sílica.

	1	Suite	Intrusiva	Saibro		2	Córsega	
	LN673	LN672	LN1A	LN227	RM64	RM155	E29	E49
SiO ₂	76,75	75,39	72,83	73,53	73,91	75,92	74,50	76,30
TiO ₂	0,13	0,19	0,20	0,23	0,36	0,19	0,16	0,10
Al ₂ O ₃	12,30	13,40	13,00	12,52	13,31	12,74	12,60	12,10
Fe ₂ O ₃	0,28	0,50	0,33	0,80	0,05	0,03	0,60	0,50
FeO	1,24	1,14	2,45	1,97	2,47	1,70	1,10	0,50
MnO	0,02	0,03	0,06	0,05	0,03	0,01	0,04	0,02
MgO	0,06	0,22	0,17	0,17	0,04	0,01	0,09	0,07
CaO	0,55	0,88	0,64	0,56	0,74	0,38	0,81	0,37
Na ₂ O	4,78	4,31	4,31	4,48	4,17	4,02	4,10	3,60
K ₂ O	4,20	4,24	4,81	4,82	4,70	4,77	5,09	4,44
PF	0,40	0,50	0,25	0,18	0,72	0,51	0,60	1,00
PSO ₅	0,01	0,04	0,04	0,04	0,14	0,06	0,03	0,02
Total	100,50	100,89	99,27	99,55	100,97	100,65	99,72	99,02
(ppm)								
Ba	114	648	231	197	800	425	125	82
Rb	173	181	167	197	150	150	211	246
Sr	30	139	111	62	165	30	24	18
Zr	134	157	579	496	180	195	293	154
Nb	nd	nd	63	38	20	24	23	26
Y	nd	nd	58	40	27	42	59	48
Ga	nd	nd	nd	nd	16	14	21	20
La	32	51	89	91	13	28	nd	nd
Ce	73	115	157	159	28	48	96	52
Nd	33	42	69	73	14	26	nd	nd
Sm	7,14	7,13	14,60	15	2,70	4,90	nd	nd
Eu	0,25	0,68	0,76	0,70	0,42	0,43	nd	nd
Gd	5,73	4,86	11,70	10,89	2,60	4,30	nd	nd
Dy	6,48	4,68	9,25	8,32	2,40	3,70	nd	nd
Ho	1,37	1	1,89	1,54	0,44	0,68	nd	nd
Er	3,84	2,77	5,18	3,94	1,52	2,10	nd	nd
Yb	3,86	2,90	3,60	1,51	1,80	2,30	nd	nd
Lu	0,55	0,40	0,54	0,24	0,31	0,33	nd	nd

Tabela 2 — Composição química de amostras representativas de granitos metaluminosos de associações alcalinas: Suite Intrusiva Saibro (1-6), Córsega (7-9), Nigéria (10-14), Topsails (15-18), Antártida (19 e 20), Austrália (21-26), Labrador (27-32) e Wolf River Batholith (33-38), conforme bibliografia referida.

	Niger - Nigéria						4	Topsails
(%)	E61	AMN24	RN75	PAN112	JON147	B34	TBHG	TBHG2
SiO ₂	76,90	72,60	75,90	73,90	73,20	76,00	76,15	74,25
TiO ₂	0,06	0,29	0,11	0,15	0,18	0,10	0,09	0,24
Al ₂ O ₃	12,80	14,07	12,85	14,88	14,18	11,74	12,55	13,30
Fe ₂ O ₃	0,40	0,90	0,33	0,43	0,67	0,37	0,16	0,57
FeO	0,50	1,73	1,05	0,80	1,19	0,89	1,05	0,95
MnO	0,06	0,07	0,05	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
MgO	0,06	0,43	0,02	0,67	0,08	0,09	0,06	0,20
CaO	0,72	1,01	0,24	0,43	0,73	0,83	0,50	0,67
Na ₂ O	3,60	3,36	3,91	3,98	3,45	3,78	4,17	3,72
K ₂ O	4,89	5,74	4,31	5,17	5,32	5,77	4,77	5,26
PF	0,60	0,35	0,52	0,45	0,51	0,24	0,40	0,45
PSO ₅	0,03	0,07	0,01	0,02	0,03	0,04	nd	0,02
Total	100,62	100,62	99,30	100,90	99,56	99,87	99,92	99,67
(ppm)								
Ba	44	362	109	80	264	39	26	340
Rb	317	185	979	192	296	574	301	174
Sr	15	100	15	28	38	4	4	38
Zr	82	246	399	234	330	141	175	251
Nb	13	57	214	88	118	158	41	18
Y	34	63	696	117	227	115	77	47
Ga	14	nd	nd	nd	nd	nd	21	19
La	nd	59	234	189	218	64	nd	nd
Ce	37	144	296	195	251	114	96	91
Nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Sm	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Eu	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Gd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Dy	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ho	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Er	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Yb	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Lu	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

	Antártida						6	Austrália
(%)	TBHGH	TBHG2H	ANT-LB	ANT-P	MU4474	MU4476	GA4464	GA4466
SiO ₂	74,45	76,85	68,66	73,15	76,84	77,77	72,06	73,60
TiO ₂	0,24	0,15	0,82	0,47	0,14	0,12	0,38	0,34
Al ₂ O ₃	13,10	11,55	13,74	12,43	11,76	11,49	12,43	12,44
Fe ₂ O ₃	0,56	1,41	0,79	1,56	0,38	0,34	1,61	1,42
FeO	1,20	0,80	3,57	2,35	0,95	0,89	1,55	1,49
MnO	0,05	0,02	0,05	0,04	0,03	0,03	0,08	0,08
MgO	0,22	0,03	0,54	0,13	0,03	0,06	0,40	0,27
CaO	0,70	0,31	2,33	1,73	0,56	0,38	0,93	1,24
Na ₂ O	4,20	4,00	2,08	1,90	3,06	3,01	3,94	3,53
K ₂ O	4,80	3,99	5,94	5,61	4,86	4,87	4,13	4,23
PF	0,40	nd	0,68	0,67	0,58	0,42	0,89	0,56
PSO ₅	0,03	nd	0,26	0,15	0,02	0,02	0,09	0,07
Total	99,95	99,11	99,46	100,19	99,39	99,52	98,82	99,61

Tabela 2 — (continuação)

(ppm)

Ba	530	455	1307	686	645	555	725	710
Rb	117	103	257	213	229	242	159	201
Sr	43	20	182	121	53	43	95	142
Zr	301	630	429	357	176	159	460	472
Nb	24	39	20	22	18	17	25	28
Y	67	125	38	40	87	79	79	83
Ga	22	26	20	20	20	20	20	21
La	nd	nd	186	190	70	55	64	54
Ce	139	169	347	350	150	124	132	136
Nd	nd	nd	nd	nd	71	61	64	62
Sm	nd	nd	nd	nd	16,7	14,9	14,9	15
Eu	nd	nd	nd	nd	1,68	1,40	2,42	2,41
Gd	nd	nd	nd	nd	14	13,8	12,4	12,9
Dy	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ho	nd	nd	nd	nd	3,40	3,20	3,20	3,30
Er	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Yb	nd	nd	nd	nd	9,10	8,70	8,20	8,70
Lu	nd	nd	nd	nd	1,39	1,33	1,27	1,36

7

Labrador

(%)	GA4468	GA4470	LAB109	LAB62B	LAB89C	LB207B	LB207F	LB215B
SiO ₂	73,13	71,46	71,57	73,45	76,47	70,27	72,04	75,72
TiO ₂	0,39	0,42	0,43	0,36	0,16	0,50	0,55	0,47
Al ₂ O ₃	12,66	12,87	13,02	12,90	12,50	12,87	11,62	11,30
Fe ₂ O ₃	1,96	1,40	1,14	0,73	0,46	2,09	2,38	1,69
FeO	1,33	2,67	2,31	1,40	0,88	1,70	2,47	1,65
MnO	0,07	0,14	0,05	0,01	0,02	0,03	0,06	0,05
MgO	0,32	0,35	0,99	0,71	0,01	1,01	0,30	0,17
CaO	0,47	1,61	1,26	1,43	0,64	1,79	0,64	0,32
Na ₂ O	3,87	3,60	3,47	3,21	2,37	3,82	3,69	3,17
K ₂ O	4,21	3,73	4,86	4,50	5,81	4,45	4,22	4,51
PF	0,73	0,84	0,80	0,68	0,37	2,28	0,72	0,79
PSO ₅	0,08	0,10	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Total	99,58	99,48	99,90	99,39	99,68	100,01	98,69	99,84

(ppm)

Ba	740	920	425	794	570	229	284	100
Rb	165	136	128	107	126	75	71	17
Sr	123	295	107	156	76	31	41	17
Zr	520	589	86	159	498	516	665	554
Nb	27	24	10	6	30	46	46	28
Y	91	73	26	9	53	54	52	28
Ga	22	21	14	13	14	29	24	28
La	64	76	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ce	141	156	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Nd	69	75	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Sm	15,5	16,2	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Eu	2,69	3,48	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Gd	12,8	13,2	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Dy	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ho	3,20	2,80	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Er	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Yb	8,80	7,80	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Lu	1,37	1,20	nd	nd	nd	nd	nd	nd

Tabela 2 – (continuação)

3 Niger - Nigéria						
(%)	WRBF3	WRBC3	WRHB5	WRWP4	WRRR7	WRW3
SiO ₂	77,55	75,73	73,30	73,72	72,46	67,29
TiO ₂	0,14	0,19	0,31	0,30	0,35	0,70
Al ₂ O ₃	11,66	12,21	13,18	13,57	13,91	14,19
Fe ₂ O ₃	nd	nd	nd	nd	nd	nd
FeO	1,61	2,06	2,67	2,34	2,65	4,36
MnO	0,02	0,04	0,05	0,03	0,05	0,08
MgO	0,04	0,13	0,24	0,28	0,47	0,57
CaO	0,49	0,70	1,09	1,21	1,25	1,93
Na ₂ O	2,95	2,92	3,13	3,60	3,24	3,16
K ₂ O	4,87	5,22	5,24	4,46	5,14	5,82
PF	nd	nd	nd	nd	nd	nd
PSO ₅	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Total	99,33	99,20	99,21	99,51	99,52	98,10
(ppm)						
Ba	129	538	854	944	705	1256
Rb	341	211	179	190	236	188
Sr	14	40	89	123	129	170
Zr	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Nb	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Y	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ga	nd	nd	nd	nd	nd	nd
La	70	117	101	136	94	119
Ce	166	267	199	303	185	257
Nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Sm	16	22	16	18	12	18
Eu	0,39	1,31	2,25	2,43	1,17	3,23
Gd	21,8	26	16,4	15,4	11	21
Dy	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ho	4,75	3,58	3,24	3,49	2,33	4,09
Er	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Yb	12,60	9,09	6,79	7,19	6,05	8,97
Lu	2,23	1,54	1,15	1,15	1,11	1,38

Tabela 2 — (continuação)

* nd = não determinado.

A Tabela 2 ilustra as composições químicas mais representativas dos granitos metaluminosos da associação alcalina. Os dados considerados nesta revisão permitem destacar as seguintes feições comumente observadas:

- a variação dos teores de SiO₂ é restrita, em torno de 70 a 77% na maior parte dos casos;
- as razões FeO(total) / FeO(total)+MgO normalmente são superiores a 0,85;
- a relação álcalis / alumina, expressa pelo índice agpáítico, é geralmente superior a 0,88, esta mesma relação é também expressa pelos baixos teores de acmata (inferior a 1%) ou coríndom normativo (inferior a 2%) presente nas amostras consideradas;
- embora os teores de Na₂O+K₂O sejam geralmente elevados nestes granitos, superiores a 8,0 na maioria dos casos estudados, na realidade é a sua proporção com a alumina que melhor define seu caráter alcalino, como já observado por Jacobson *et al.* (1958) nos granitos da Nigéria;
- os elementos traço de alto potencial iônico como Zr, Nb, Y, ETR (elementos terras raras) e outros, muitas

vezes não apresentam os elevados teores tão típicos dos termos peralcalinos;

— o elemento Ga, considerado como tipicamente enriquecido nos granitos da associação alcalina, também mostra valores baixos em alguns dos granitos considerados;

— os elementos terras raras (ETR) mantêm entre os tipos metaluminosos duas das feições típicas dos granitos alcalinos, o baixo grau de fracionamento e a pronunciadas anomalias negativas de Eu.

O comportamento dos elementos químicos abordados nesta revisão foi investigado com a utilização de diversos diagramas, desde os tipos binários comuns até os de uso corrente para caracterização de ambientes tectônicos. Com base nestas evidências é possível estabelecer alguns critérios básicos para a caracterização e identificação dos granitos metaluminosos da associação alcalina.

Os teores de Al₂O₃ decrescem com o aumento da diferenciação gerando um incremento do índice agpáítico nos termos mais enriquecidos em sílica. Mesmo nes-

tes termos mais diferenciados o caráter metaluminoso é mantido na maioria das rochas estudadas. A relação CaO/Na₂O+K₂O nos granitos metaluminosos é bem ilustrada na Figura 1 em comparação com os granitóides cálcialcalinos como definido por Brown *et al.* (1984). A razão Na₂O/K₂O permanece inalterada ao longo da diferenciação.

As concentrações de ferro, representadas como FeO(total), mostram um decréscimo acentuado com a diferenciação, principalmente até por volta de 75% de SiO₂. Observa-se um comportamento similar para o CaO, sugerindo uma diversidade de processos de diferenciação em função do estágio atingido neste processo ou de uma descontinuidade no processo de diferenciação a partir de teores de SiO₂ da ordem de 75%. A proporção do ferro em relação ao magnésio, expressa como FeO(total) / FeO(total)+MgO, tende a crescer com o aumento da diferenciação e também com a redução na concentração de Al₂O₃. Esta razão atinge valores inferiores a 0,85 principalmente em alguns granitos subsolvus do Labrador (Collerson, 1982). Em geral seus valores são superiores a este limite, como observado por Anderson & Cullers (1978). O diagrama triangular AFM (FeO total: MgO: Na₂O + K₂O) ilustra também a alta proporção Fe / Mg das rochas estudadas, mostrando-as junto à aresta FeO e ácalis (Fig. 2).

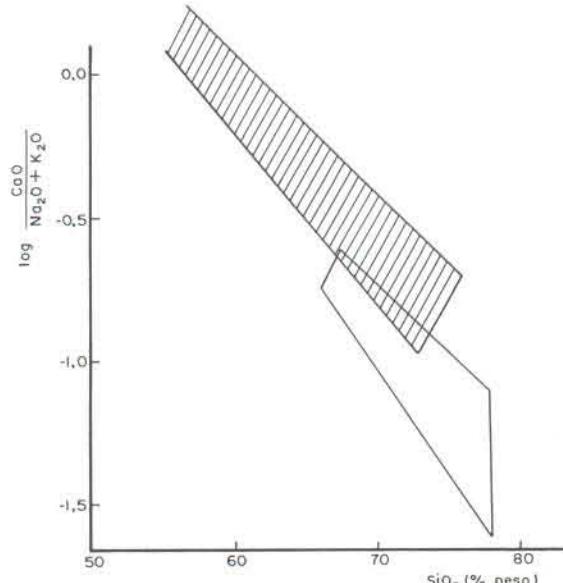


Figura 1 — Campo dos granitos metaluminosos da associação alcalina em relação ao campo (tracejado) dos granitóides das suites compressivas no diagrama sugerido por Brown (1981).

O diagrama R1R2 (De La Roche *et al.*, 1980) mostra os granitos metaluminosos da associação alcalina ocupando parte do campo dos granitos anorogênicos e principalmente o campo das suítes magmáticas tardí-orogênicas (Fig. 3) de acordo com o sugerido por Batchelor & Bowden (1985). Dos critérios geoquímicos baseados em elementos maiores destacam-se as razões FeO(t) / FeO(t) + MgO e (Na + K) / Al (em cations) como parâmetros utilizáveis na discriminação destes granitóides. A Figura 4 mostra a localização das amostras

consideradas nesta revisão em relação ao campo definido pelos valores limites dessas razões sugeridas por Ewart (1979), Liégeois & Black (1987) e Anderson & Cullers (1978) entre outros.

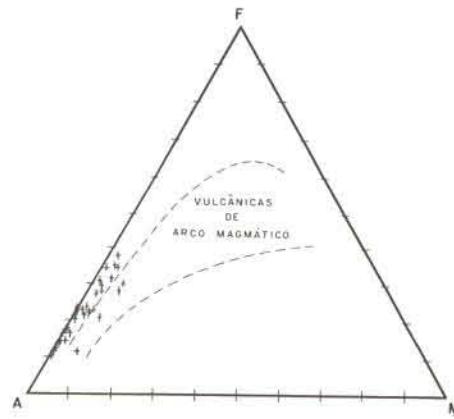


Figura 2 — Amostras representativas dos granitos metaluminosos da associação alcalina plotadas no diagrama (Na₂O+K₂O): (FeO total): (MgO) em relação ao campo das rochas vulcânicas de arco magmático conforme sugerido por Brown (1981).

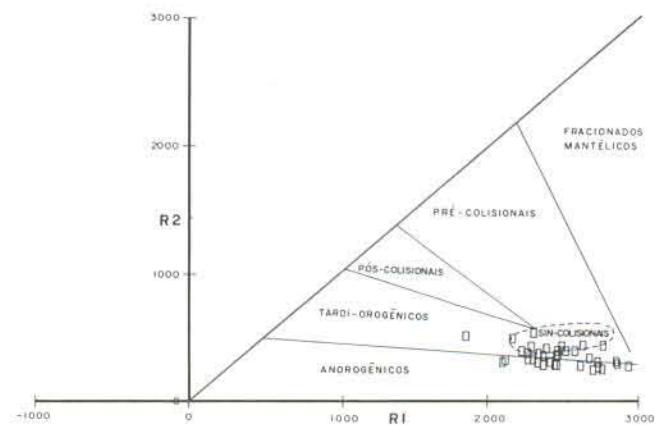


Figura 3 — Amostras representativas dos granitos metaluminosos da associação alcalina plotadas no diagrama R1R2, em relação aos campos sugeridos por Batchelor & Bowden (1985).

Maniar & Piccoli (1989) sugerem a aplicação sucessiva de diagramas de elementos maiores para discriminar granitos de diferentes ambientes tectônicos, inclusive granitos pós-orogênicos de granitos relacionados com *riffs* ou dos relacionados com *riffs* abortados e *hot spots*. De modo geral os dados apresentados por aqueles autores confirmam a importância dos critérios já comentados, enquanto a distinção dos três grupos referidos parece carecer de maior comprovação.

Whalen *et al.* (1987) apresentaram uma excelente revisão dos critérios geoquímicos para identificação de granitos do tipo A, principalmente envolvendo elementos traços como Zr, Ce, Nb, Y e Ga. Os resultados da presente revisão confirmam a eficiência dos diagramas sugeridos por aqueles autores, para a maior parte dos granitos considerados. O parâmetro que considera o somatório das concentrações de Ce, Zr, Nb e Y é utilizável, uma vez que a maioria dos granitóides metaluminosos da associação alcalina apresentam enriquecimento em

pelo menos um destes elementos. Também a razão Ga / Al, ou mesmo o teor absoluto de Ga, constituem critérios para a discriminação desses granitos, como discutido por Whalen *et al.* (1987). Os granitos da associação alcalina mostram elevadas concentrações de Ga, em geral superiores a 20 ppm, enquanto os cálcialcalinos ou do tipo I, contém aproximadamente 15 ppm. A variação dos teores de Ga com a diferenciação é insignificante, mostrando no entanto correlação positiva com o índice agpaítico, como observado por Bonin (1988).

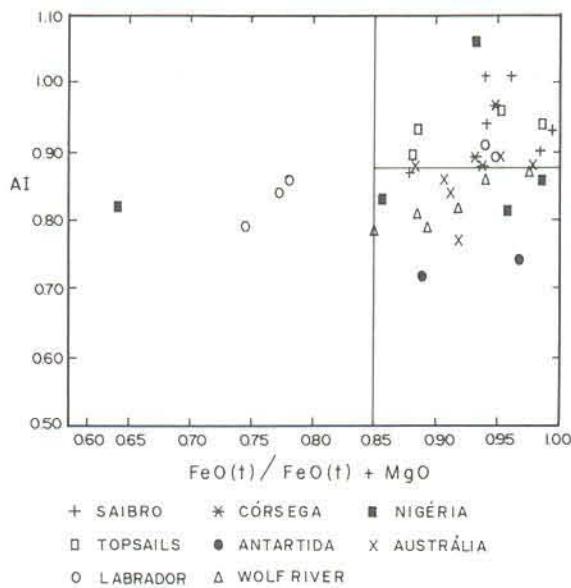


Figura 4 — Amostras representativas dos granitos metaluminosos da associação alcalina plotadas com base nos índices $\text{FeO}(\text{t}) / (\text{FeO}(\text{t}) + \text{MgO})$ e $(\text{Na} + \text{K}) / \text{Al}$ em cátions, assinalando-se os limites de 0,85 e 0,88 respectivamente, para as duas razões.

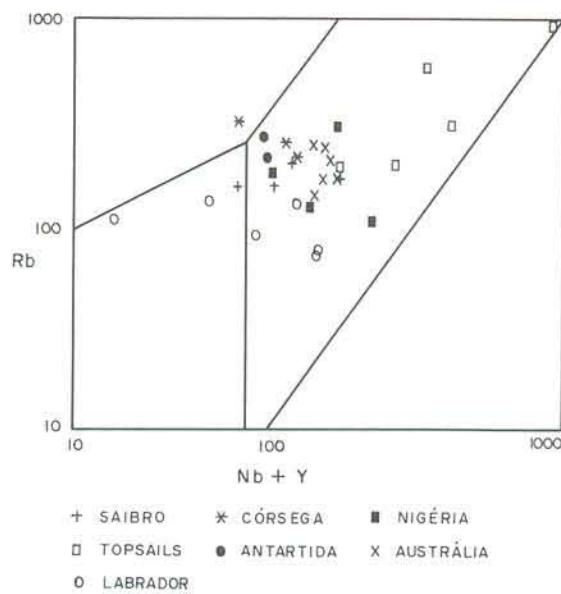


Figura 5 — Amostras representativas dos granitos metaluminosos da associação alcalina plotadas no diagrama $(\text{Nb} + \text{Y}) \times \text{Rb}$, sugerido por Pearce *et al.* (1984).

O diagrama $(\text{Y} + \text{Nb}) \times \text{Rb}$ sugerido por Pearce *et al.* (1984) para a discriminação de granitóides relacionados com diferentes ambientes tectônicos, mostra a maioria dos granitos metaluminosos objeto desta revisão, loca-

lizados no campo dos granitos intraplaca passando para o campo dos granitos de arco magmático (Fig. 5).

Considerou-se também os *spiderdiagrams* sugeridos por Pearce *et al.* (1984), utilizando como padrão de normalização o granito MORB teórico. A Figura 6 mostra que os granitos metaluminosos das associações alcalinas consideradas mostram padrões que variam desde os de arco de ilhas maduros tipo Chile, até padrões enriquecidos em Nb tipo *rift* de Oslo, passando por padrões intermediários como os registrados nos granitos de Mull. Observa-se também que a razão Nb / Zr parece crescer nos granitos metaluminosos mais tipicamente anorogênicos como os da Nigéria. O Zr nas rochas graníticas tem suas concentrações fortemente controladas pela quantidade de álcalis da fusão, não mostrando variações importantes entre os termos metaluminosos da associação alcalina. Já o Nb parece refletir melhor variações do tipo de fonte ou seja, do ambiente tectônico de geração do magmatismo. Thompson & Fowler (1986) utilizaram diagrama envolvendo esses dois elementos para caracterizar a influência de fenômenos de subducção oceânica na geração de magmatismo básico e intermediário.

O comportamento dos elementos terras raras (ETR) durante a diferenciação dos granitos metaluminosos abordados nesta revisão (Fig. 7), varia dos ETR leves para os pesados. Os primeiros tendem a apresentar redução de seus teores com o aumento do grau de diferenciação, enquanto os ETRP apresentam tendência inversa. Os dados considerados indicam um intervalo de variação para os valores de CeN (Ce normalizado pelo valor condritico) de 40 a 400, situando-se a maioria dos valores no intervalo de 150 a 300. Para o Yb, os intervalos correspondentes são de 8 a 70, e de 30 a 50 respectivamente. O grau de fracionamento dos ETRP em relação aos ETRL, pode ser expresso pela razão CeN / YbN próxima de 5. Nardi (1989) observou que o grau de fracionamento dos ETR parece ser mais acentuado nos granitos pós-orogênicos do que nos anorogênicos, ressaltando no entanto, que outro fator controlador deste parâmetro é o tipo e a atividade dos fluidos presentes. Mineyev (1963) ressalta a importância do flúor como complexamente preferencial dos ETRP. A presença de anomalias negativas de Eu é também característica dos granitos metaluminosos da associação alcalina. Sua intensidade no entanto, é muito afetada por processos cumuláticos localizados envolvendo feldspatos e pela atividade de fluidos, além dos próprios processos de diferenciação.

De modo geral, constata-se que os granitos metaluminosos da associação alcalina, não apresentam um enriquecimento tão acentuado em elementos de alto potencial iônico como Zr, Nb, ETR, Y e Ga quando comparados aos termos peralcalinos. Estes elementos apresentam correlação positiva com o índice de alcalinidade, com a proporção Fe / Mg e em menor grau com a razão Na₂O / K₂O, variando portanto dentro de cada associação. A identificação dos granitos metaluminosos da associação alcalina exige assim, o suporte de uma quantidade significativa de dados e uma análise criteriosa dos mesmos. O emprego de critérios geoquímicos envolven-

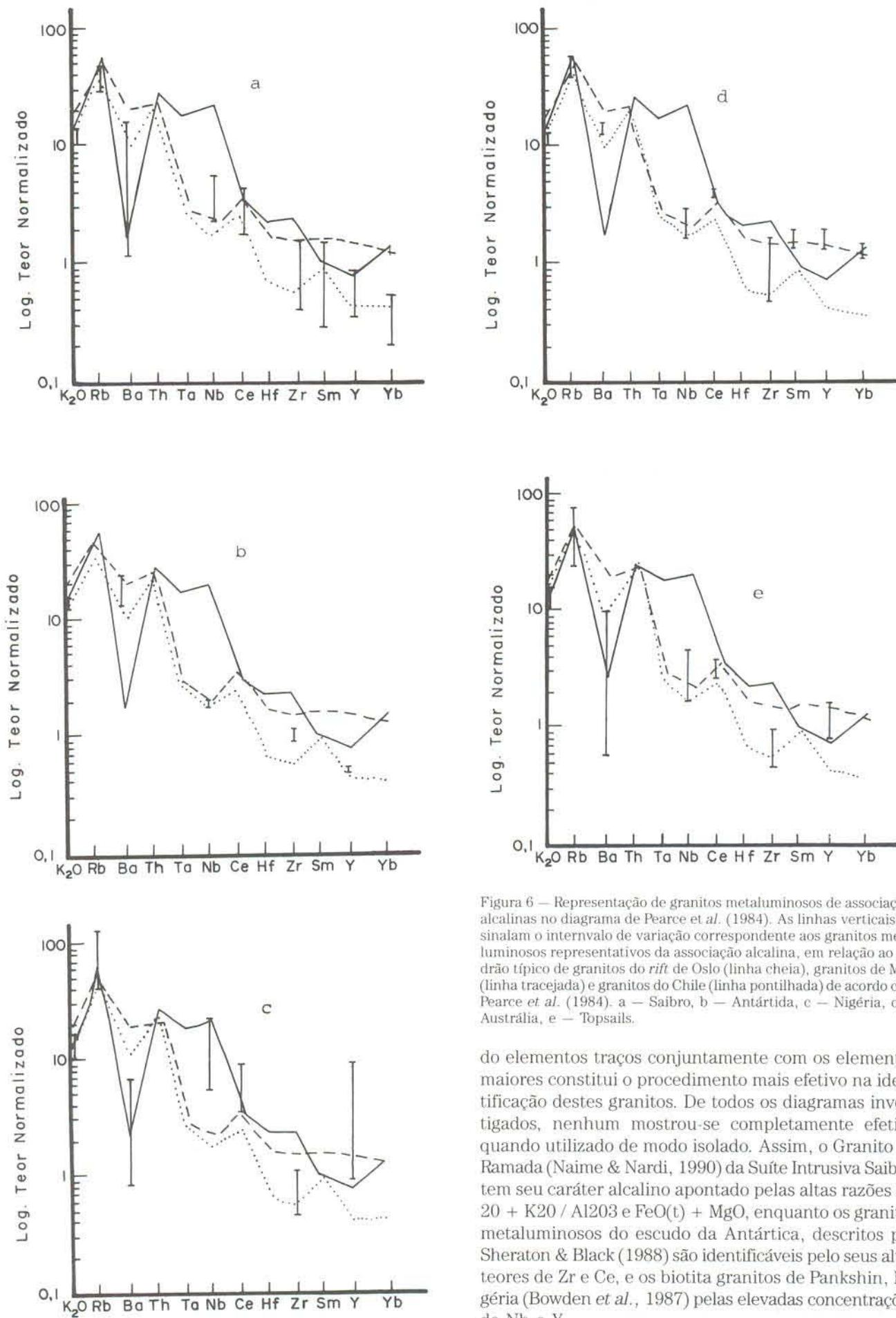


Figura 6 — Representação de granitos metaluminosos de associações alcalinas no diagrama de Pearce *et al.* (1984). As linhas verticais assinalam o intervalo de variação correspondente aos granitos metaluminosos representativos da associação alcalina, em relação ao padrão típico de granitos do rift de Oslo (linha cheia), granitos de Mull (linha tracejada) e granitos do Chile (linha pontilhada) de acordo com Pearce *et al.* (1984). a — Saibro, b — Antártida, c — Nigéria, d — Austrália, e — Topsails.

do elementos traços conjuntamente com os elementos maiores constitui o procedimento mais efetivo na identificação destes granitos. De todos os diagramas investigados, nenhum mostrou-se completamente efetivo quando utilizado de modo isolado. Assim, o Granito da Ramada (Naime & Nardi, 1990) da Suíte Intrusiva Saibro, tem seu caráter alcalino apontado pelas altas razões Na 20 + K₂O / Al₂O₃ e FeO(t) + MgO, enquanto os granitos metaluminosos do escudo da Antártica, descritos por Sheraton & Black (1988) são identificáveis pelo seus altos teores de Zr e Ce, e os biotita granitos de Pankshin, Nigéria (Bowden *et al.*, 1987) pelas elevadas concentrações de Nb e Y.

Os teores de Ba, Sr e Rb nos granitos metaluminosos estudados, mostram um comportamento geral oposto ao dos elementos com elevado potencial iônico. Esta tendência pode refletir a influência dos processos orogênicos na geração dos magmas, a participação de materiais crustais na composição dos protólitos e talvez de modo complementar, o papel de fluídos como flúor na evolução do magmatismo alcalino. Bonin (1990) sugere que teores relativamente elevados de Ba e Sr distinguem os granitos pós-orogênicos dos anorogênicos, atribuindo o empobrecimento em Ba destes ao fracionamento de feldspato alcalino em magmas como baixa PH2O. Pearce *et al.* (1984) associam a variação no conteúdo de Ba em granitos de ambientes intraplaca com o grau de enriquecimento da fonte mantélica. Tal hipótese é favorecida pela relação antipatética dos teores de Ba e Nb observada nas rochas consideradas nesse trabalho (Fig. 8). A relação entre estes elementos pode sugerir que o enriquecimento em Ba reflita influência crustal opondo-se a um caráter mais puramente mantélico dos magmas enriquecidos em Nb. Fusões crustais em condições de baixa PH2O, relacionadas com a desestabilização da biotita, poderiam gerar líquidos enriquecidos em Ba. Ressalte-se ainda que o conteúdo de Ba pode variar dentro de uma mesma associação, como constatado na Suite Intrusiva Saibro e no complexo magmático de Topsails (Fig. 9). A consideração destes fatos indica que o comportamento do Ba nas associações alcalinas é controlado por mais de um fator, possivelmente pela alcalinidade do magma, pela fonte geradora das fusões magmáticas e pela história evolutiva destas.

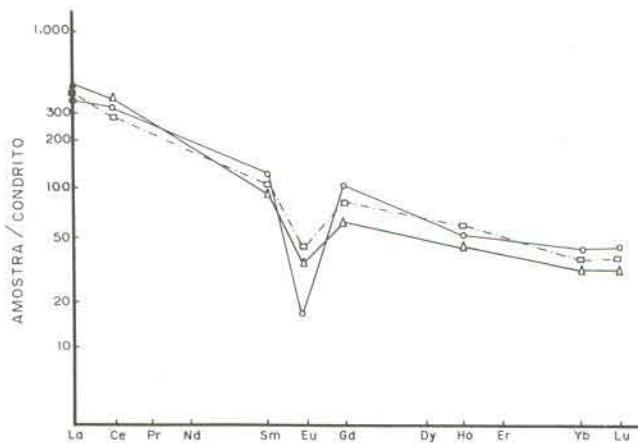
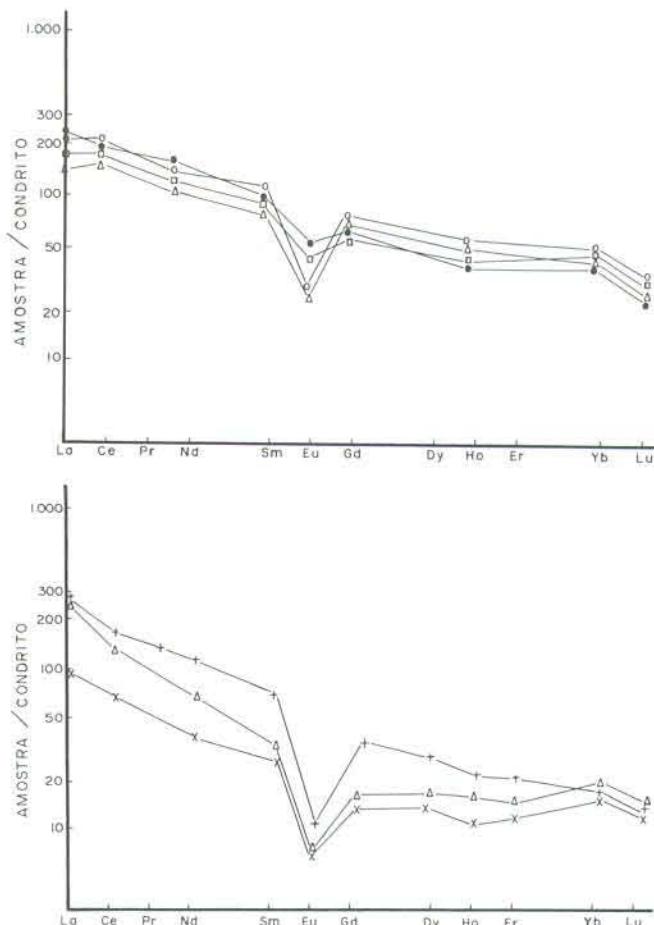


Figura 7 — Padrões de elementos terras raras, normalizados pelos valores condriticos de Haskin *et al.* (1968), típicos dos granitos metaluminosos da associação alcalina. (a) granitos Mumbulla e Gabo, Austrália, (b) Suite Intrusiva Saibro e (c) Wolf River Batholith, conforme referências no texto.

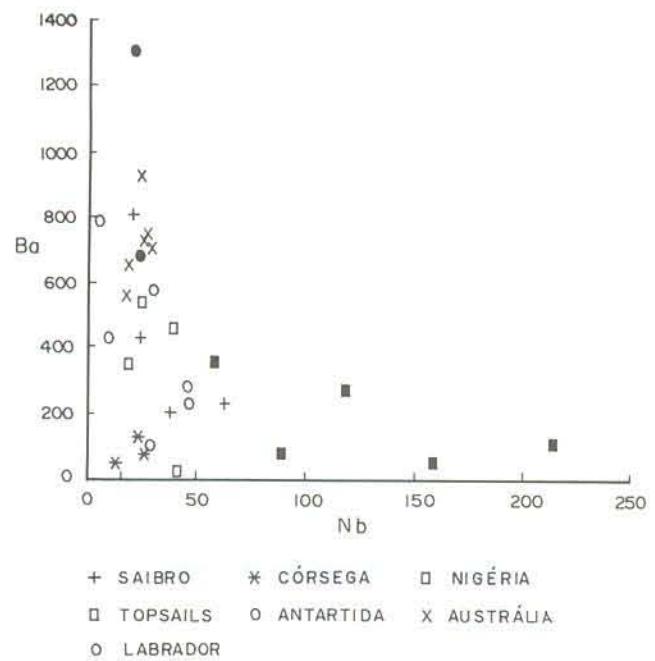


Figura 8 — Diagrama de correlação Ba X Nb para as amostras de granitos metaluminosos da associação alcalina referidas na Tabela 2.

A origem do magmatismo granítico alcalino é explicada por teorias fundamentadas em dois princípios básicos: diferenciação de magmas basálticos mantélicos ou fusão parcial de rochas crustais. Bonin (1982), Liégeois & Black (1987) e Upton & Emeleus (1987) ilustram trabalhos recentes advogando uma gênese a partir da evolução de magmatismo basáltico, enquanto Collins *et al.* (1982), Whalen *et al.* (1987) e Rogers & Greenberg (1990) representam aqueles que preconizam a fusão parcial de rochas crustais granulíticas ou tonalíticas a granodioríticas metamorfisadas, como mecanismo gerador dos magmas da associação alcalina ou do tipo A. A fusão parcial de protólitos já submetidos a uma anatexia anterior, incluindo sequências com contribuição meta-

sedimentar é admitida pelos autores citados e por Anderson & Bender (1989) entre outros.

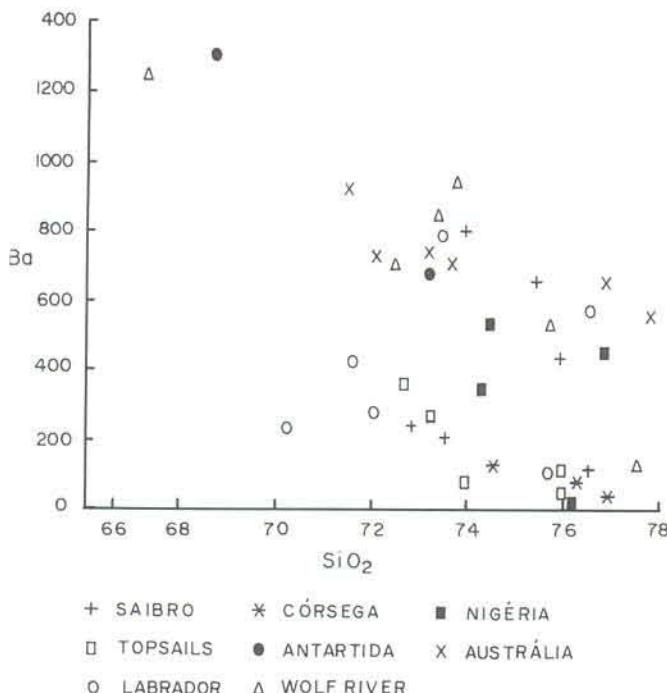


Figura 9 – Diagrama de correlação $\text{SiO}_2 \times \text{Ba}$ para as amostras referidas na Tabela 2.

Os dados apresentados pela bibliografia mais recente, pertinente à gênese do magmatismo granítico alcalino, apontam para uma diversidade de mecanismos petrogenéticos, sendo provável que esta diversidade se verifique mesmo a nível de associações individuais. Na Suíte Intrusiva Saibro, embora os dados existentes só permitam sugestões de caráter preliminar, admite-se uma origem mantélica para termos peralcalinos ou metaluminosos hipersolvus (Nardi, 1984), considerando-se o Granito da Ramada, como provável produto de fusão crustal (Naime & Nardi, 1990).

A presença de feições indicativas de coexistência de líquidos básicos com os ácidos alcalinos (Taylor *et al.*, 1980, Bonin, 1988 e Nardi, 1984) em várias associações graníticas alcalinas, sugere um papel importante para os magmas básicos, ou como magma parental ou, ao menos como gerador de calor para o processo de fusão crustal. Hipóteses conjugando estes dois mecanismos são apresentadas de modo bastante consistente por Anderson & Bender (1989) explicando a associação de intrusões gabróicas, anortositos, charnoquitos e granitos potássicos típica do Proterozóico.

MINERALIZAÇÃO

Os granitos fracamente peraluminosos a metaluminosos constituem os termos de maior potencialidade metalogenética da associação alcalina. Hutchison (1983) ressalta que as mineralizações de Sn-Nb-Ta-W relacionadas com o magmatismo de rifts cratônicos são localizadas principalmente nos biotita granitos. Barker (1987)

descreve o magmatismo alcalino terciário de Trans-Pecos, Texas, citando a ocorrência de importantes depósitos de Ag-Pb-Zn e fluorita, quase exclusivamente nos termos metaluminosos a fracamente peraluminosos desta associação. Os granitos estaníferos da Amazônia são principalmente os portadores de biotita (Dal'Agno 1982) sendo o mesmo constatado para as ocorrências de columbita e cassiterita da Nigéria (Laznicka 1985). Mitchel & Garson (1981) referem-se a mineralizações de molibdénio pôrfiro em biotita granitos do *graben* de Oslo. A associação deste tipo de depósito com os biotita granitos da associação alcalina é discutida de modo geral por Westra & Keith (1981). Ney & Hollister (1976) descrevem depósitos de tipo pôrfiro, enriquecidos em ouro, em intrusões graníticas da série alcalina da Cordilheira Canadense.

Estes exemplos salientam a potencialidade econômica dos granitos metaluminosos e fracamente peraluminosos da associação alcalina, cabendo ainda enfatizar que a presença de encaixantes enriquecidas nos elementos formadores dos minerais de minério ou em flúidos, é um fator essencial para a formação de depósitos minerais (Plant *et al.*, 1983, Liégeois & Black, 1987).

CONCLUSÕES

O exame dos dados e conclusões apresentados pelos autores citados permite a formulação de algumas premissas, que representam pontos fundamentais a serem considerados no estudo dos granitos metaluminosos de afinidade alcalina.

A discriminação dos granitos da associação alcalina, principalmente daqueles relacionados com os últimos estágios evolutivos da série calcialcalina, deve basear-se num conjunto de informações que inclue: relações de campo com rochas de afinidade tipicamente alcalina, química de elementos maiores e traços, inclusive elementos terras raras, dados petrográficos e mineralógicos e químismo mineral. Dentro os dados químicos pode-se salientar a importância da razão $\text{FeO(t)} / (\text{FeO(t)} + \text{MgO})$, do índice agpaítico, do conteúdo absoluto de elementos como Nb, Y, Zr, Ce, Ga e dos padrões de elementos terras raras.

Os granitos da associação alcalina ocorrem tanto em ambientes tipicamente pós-orogênicos como anorogênicos, sua distinção, no entanto, carece ainda de estudos mais acurados inclusive do ponto de vista estatístico. São entretanto muito promissores critérios envolvendo o conteúdo de elementos como Ba, Sr, Nb, Y e terras raras pesadas uma vez que sejam avaliados os demais fatores controladores de sua abundância, como por exemplo, a atividade de voláteis e a alcalinidade dos líquidos magmáticos. Razões como Nb / Zr poderão ser confirmadas pela análise de uma quantidade significativa de dados, como indicadoras do grau de participação de consumo de crosta oceânica nos processos geradores do magmatismo.

O magmatismo alcalino supersaturado em sílica, gerador dos granitos metaluminosos, é provavelmente

mantélico em sua maior parte. Basaltos alcalinos produzidos por fusão parcial do manto evoluem, por processos que podem incluir assimilação crustal, até líquidos traquíticos e estes se diferenciam gerando os magmas graníticos. Associada a este evento, pode-se admitir a geração de fusões crustais originando magmas graníticos com afinidade alcalina, de acordo com os processos sugeridos por diversos autores já referidos.

A identificação dos granitos pertencentes a associação alcalina além de ser indispensável para a evolução do conhecimento geológico deve logicamente fundamentar a avaliação da potencialidade metalogenética dessas rochas.

Agradecimentos — A realização deste trabalho foi possível graças ao apoio financeiro do CNPq e FINEP aos projetos de pesquisa em que estamos envolvidos. A revisão realizada pelo Dr. Roberto Dall'Agnol contribuiu significativamente para a melhoria do trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, J. L. & Bender, E. E. 1989. Nature and origin of proterozoic A-type granitic magmatism in the southwestern United States of America. *Lithos*, **23**:19-52.
- _____. & Cullers, R. 1978. Geochemistry and evolution of the Wolf River Batholith, a Late Precambrian rapakivi massif in North Wisconsin, USA. *Precambrian Research*, **7**:287-324.
- _____. Cullers, R. L. & Van Schmus, W. R. 1980. Anorogenic Metaluminous and Peraluminous Granite Plutonism in the Mid-Proterozoic of Wisconsin, USA. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **74**:311-328.
- Ba, H., Black, R., Benziante, B., Diombana, D., Hascoet-Fender, J., Bonin, B., Fabre, J. et Liégeois, J.P. 1985. La province des complexes annulaires alcalins sursaturés de l'Andrar des Iforas, Mali. *Journal of African Earth Sciences*, **3**:123-142.
- Baker, B. H.; McBirney, A. R. & Geist, D. J. 1985. GPP - A program package for creating and using geochemical data files. Center for Volcanology, University of Oregon, Eugene (USA).
- Batchelor, R. A. & Bowden, P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. *Chemical Geology*, **48**:43-55.
- Darker, D. S. 1987. Tertiary alkaline magmatism in Trans-Pecos, Texas. In: Fitton, J. G. and Upton, B. G. J. (ed). *Alkaline Igneous Rocks*. London, Geological Society, p. 415-431, (Special Publication, 30).
- Black, R., Lameyre, J. & Bonin, B. 1985. The structural setting of alkaline complexes. *Journal of African Earth Sciences*, **3**:5-16.
- Bonin, B. 1982. *Les granites des complexes annulaires*. BRGM. Manuels et Méthodes, n° 182p.
- _____. 1989. Peralkaline granites in Corsica: some petrological and geochemical constraints. *Rendiconti della Società Italiana di Mineralogia e Petrologia*, **43-2**:281-306.
- _____. 1990. From orogenic to anorogenic settings: evolution of granitoids suites after a major orogenesis. *Geological Journal*, **25**:1-11.
- _____.; Platevoet, B. & Viallette, Y. 1987. The geodynamic significance of alkaline magmatism in the Western Mediterranean compared with West Africa. *Geological Journal*, **22**:361-387.
- Bowden, P., Black, R., Martin, R. F., Ike, E. C., Kinnard, J. A. & Batchelor, R. A. 1987. Niger-Nigeria alkaline ring complexes: a classic example of African Phanerozoic anorogenic mid-plate magmatism. In: Fitton, J. G. & Upton, B. G. J. (eds) *Alkaline Igneous Rocks*. London, Geological Society, p. 357-379, (Special Publication n° 30).
- Brown, G. C. 1981. Space and time in granite plutonism. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, **A301**:321-336.
- _____. Thorpe, R. S., & Webb, P. C. 1984. The geochemical characteristics of granitoids in contrasting arcs and comments on magma sources. *Journal of Geological Society of London*, **141**:413-426.
- Collerson, K. D. 1982. Geochemistry and Rb-Sr geochronology of associated Proterozoic subalkaline and peralkaline anorogenic granites from Labrador. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **81**:126-147.
- Collins, W. J.; Beams, S. D.; White, A. J. & Chappell, B. W. 1982. Nature and origin of A-type granites with particular reference to southeastern Australia. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **80**:189-200.
- Dall'Agnol, R. 1982. Os granitos anorogênicos da Amazônia brasileira: suas analogias com os "younger granites" do oeste da África. In: Anais, V Congresso Latino Americano de Geologia, Buenos Aires, 1982. p. 113-131.
- De La Roche, H.; Leterrier, J.; Granelaud, P. & Marchal, M. 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1 R2 diagrams and major element analyses. Its relationships with current nomenclature. *Chemical Geology*, **29**:183-210.
- Ewart, A. 1979. A review of the mineralogy and chemistry of Tertiary-Recent dacitic, latitic, rhyolitic, and related salic volcanic rocks. In: Barker, F. ed. *Trondhjemites, dacites and related rocks*. Elsevier, Oxford, p. 13-121.
- Haskin, L. A.; Haskin, M. A. Frey, F. A. 1968. Relative and absolute terrestrial abundances of the rare earths. In: Arhens, L. H. (ed.) *Origin and distribution of the elements*. Oxford, Pergamon, p. 889-912.
- Hutchinson, C. S. 1983. *Economic deposits and their tectonic setting*. Mac Millan Press Ltd, Hong Kong, 365p.
- Jacobson, R.; McLeod, W. N. & Black, R. 1958. Ring complexes in the younger granite province of Northern Nigeria. *Geological Society of London, Memoire* **1**:1-72.
- Lažnicka, P. 1985. *Empirical metallogenesis*. Developments in Economic Geology, 19. Elsevier, Amsterdam. 1758p.
- Liégeois, J. P. & Black, R. 1987. Alkaline magmatism subsequent to collision in the Pan-African belt of the Adrar des Iforas (Mali). In: J. G. Fitton and B. G. J. Upton (ed) *Alkaline Igneous Rocks*. London, Geological Society, p. 381-401. (Special Publication n° 30).
- Loiselle, M. C. & Wones, D. R. 1979. Characteristics and origin of anorogenic granites. *Geological Society of America Abstracts with Programs*, **11**:468.
- Maniar, P. D. & Piccoli, P. M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *Geological Society of America Bulletin*, **101**:635-643.
- Mineev, D. A. 1963. Geochemical differentiation of the rare earths. *Geochemistry*, **12**:1129-1149.
- Mitchell, A. H. G. & Garson, M. S. 1981. *Mineral Deposits and Global Tectonic Settings*. Academic Press, London. 405p.
- Murthy, M. V. N. & Venkataraman, P. K. 1964. Petrogenetic significance of certain platform peralkaline granites of the world. In: *The Upper Mantle Symposium*, New Delhi. p. 127-149.
- Naime, R. H. & Nardi, L. V. S. 1990. O Granito da Ramada, porção oeste do Escudo Sul-rio-grandense: geologia, petrologia e geoquímica. *Revista Brasileira de Geologia*, (No prelo).
- Nardi, L. V. S. 1984. *Geochemistry and Petrology of the Lavras Granite Complex, RS, Brasil*. Tese de doutorado-London University, London. 268p.
- _____. 1989. Geoquímica dos elementos terras raras nas rochas graníticas da região centro-sul do Brasil. In: Formoso, M. L. L.; Nardi, L. V. S. & Hartmann, L. A. (ed). *Geoquímica dos Elementos Terras Raras no Brasil*. DNPM/CPRM. Porto Alegre, p. 71-81.
- _____. & Bonin, B. 1991. Post-orogenic and non-orogenic alkaline granite associations: The Saibro intrusive Suite, Southern Brasil. A case study. *Chemical Geology*. (No prelo).
- Nekvasil, H. 1990. Reaction relations in the granite system: Implications for trachytic and syenitic magmas. *American Mineralogist*, **75**:560-571.
- Ney, C. S. & Hollister, V. F. 1976. Geologic setting of porphyry deposits of the Canadian Cordillera. In: Brown, S. (ed). *Porphyry Deposits of the Canadian Cordillera*, Institute of Mining and Metallurgy, Special Volume **15**:21-29.
- Pearce, J. A.; Harris, N. B. & Tindle, A. G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, **24**:956-983.
- Plant, J. A.; Simpson, P. R.; Green, P. M.; Watson, J. V. Fowler, M. B. 1983. Metalliferous and mineralized Caledonian granites in relation to regional metamorphism and fracture systems in northern Scotland. *Transactions Institute of Mining and Metallurgy, Section B*, **92**:B33-B42.
- Rogers, J. J. & Greenberg, J. K. 1990. Late-orogenic, post-orogenic, and anorogenic granites: distinction by major-element and trace-element chemistry and possible origins. *Journal of Geology*, **98** (3):291-309.
- Sheraton, J. W. & Black, L. P. 1988. Chemical evolution of granitic rocks in the Eastern Antarctic Shield, with particular reference to post-orogenic granites. *Lithos*, **2**:37-52.
- Sylvester, P. J. 1989. Post-collisional alkaline granites. *Journal of Geology*, **97**: 261-180.

- Tauson, L. V. 1974. Geochemical types of granitoids. *Doklady*, **215**:184-186.
- Taylor, R. P., Strong, D. F. & Kean, B. F. 1980. The Topsails igneous complex: Silurian-Devonian peralkaline magmatism in western Newfoundland. *Canadian journal of Earth Sciences*, **17**:425-439.
- Thompson, R. N. & Fowler, M. B. 1986. Subduction-related shoshonitic and ultrapotassic magmatism: a study of Siluro-Ordovician syenites from the Scottish Caledonides. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **94**:507-522.
- Upton, B. G. J. Emeleus, C. H. 1987. Mid-Proterozoic alkaline magmatism in southern Greenland: the Gardar province. In: Fitton, J. G. & Upton, B. G. J. (ed). *Alkaline Igneous Rocks*. London, Geological Society. p. 449-471, (Special Publication n° 30).
- Westra, G. & Kleith, S. B. 1981. Classification and genesis of stock-work molybdenum deposits. *Economic Geology*, **76**:407-419.