

Capítulo IV

4-Geologia Local

O Complexo Juiz de Fora na área de estudo, aflora dentro de uma zona de cisalhamento de grande extensão, definida por Almeida *et al.*, 1975, como lineamento de Além Paraíba. Posteriormente Dayan & Keller (1989), ao estudarem esse lineamento na região de Três Rios (RJ), definiram-na de maneira mais simplista, como uma zona de cisalhamento chamada de Zona de cisalhamento do Rio Paraíba do Sul (ZCPS).

4.1 - Dados de Campo

Dentro da ZCPS afloram rochas máficas, intermediárias e félsicas correlacionados ao CJF (Heilbron *et al.*, 2004) e um granada-biotita gnaiss relacionado a metassedimentos da bacia Andrelândia. Essas rochas formam uma faixa estreita de rochas miloníticas de 4 a 5 km de direção NE (Foto 4.1).

A foliação é subvertical, de direção N60E e paralela ao contato com a zona de cisalhamento, ora mergulhando para SE ora NW. Nessas mesmas foliações são encontradas lineações de estiramento subparalela ao *strike*. A orientação dessas estruturas pode ser visualizada nos estereogramas apresentados na Figura 4.1. As mediadas utilizadas são de estudo de campo e também retiradas da tese de doutorado de Almeida (2000), onde o autor denomina de Domínio Três Rios os ortogranulitos/ortognaisses do Complexo Juiz de Fora na região de Três Rios (definição baseada no estilo estrutural).

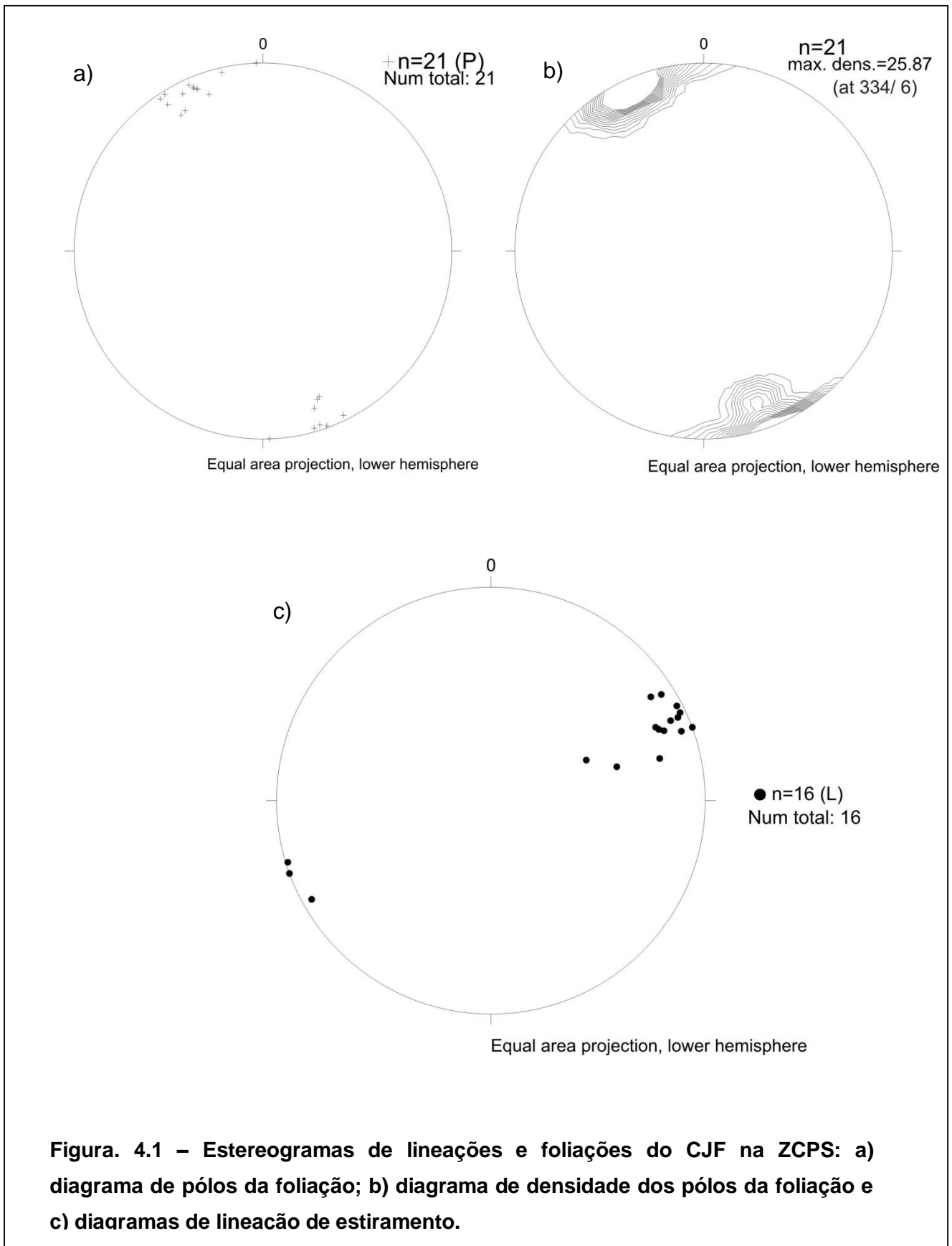




Foto 4.1 – Afloramento dos ortogranulitos do Complexo Juiz de Fora as margens do rio Paraíba do Sul. Ponto JA-17, sob a ponte na BR 116 que liga a cidade de Paraíba do Sul a Andrade Pinto.

A foliação milonítica é mais bem visualizada nos afloramentos próximos ao rio Paraíba do Sul, como mostra a Foto 4.1.

O caráter transcorrente da zona de cisalhamento, como apresentado em Dayan & Keller, 1989, pode ser evidenciado através da obliquidade da lineação (L_n) encontrada na foliação subvertical (S_n) dos ortogranulitos/ortognaisses. A obliquidade é o ângulo entre a linha L_n e a linha horizontal do plano S_n que a contém, medido sobre o plano S_n .

Tabela 4.1 – Ângulo de obliquidade da lineação (Ln) na Foliação (Sn) da Zona de Cisalhamento do Rio Paraíba do Sul.

Domínio litoestrutural (Almeida, 2000)	Oblíquidade
Três Rios (ZCPS)	10 a 40

O intervalo da obliquidade apresentado na tabela 4.1 revela que a lineação (Ln) encontrada na foliação (Sn) dos ortogranulitos/ortognaisses é de baixa a moderada, estando a lineação subparalela ao *strike* do plano, o que sugere que o “transporte tectônico” tenha sido transcorrente.

Os melhores afloramentos são encontrados próximo ao rio Paraíba do Sul, em cortes de estrada e também numa pedreira próximo a BR 040 (pedreira Tabaiara). Em outros pontos os afloramentos ocorrem em barreiras (Foto 4.2) e em lajes, estando muito alterados e em contato com os metassedimentos da Megassequência Andrelândia, onde predomina o granada-biotita-gnaisse.

No campo foram definidos litotipos de composição máfica, intermediária e félsica, assim como foi distinguido por Duarte *et al.*, 1997. As rochas estão em contatos paralelos e subverticais, como se fossem bandamentos (Foto 4.3a), mas na Pedreira Tabaiara próximo ao rio Paraíba do Sul (ponto TR-JEF-03) é observada uma possível relação de intrusão do tipo félsico no máfico, indicando que o máfico seja mais antigo (Foto 4.3b). Já para a rocha de composição intermediária não foi identificada nenhuma relação com os outros litotipos. Geralmente são encontradas as três litologias no mesmo afloramento.



Foto 4.2 – Afloramento muito intemperizado das rochas do CJF na região Três Rios. Ponto ECII-98-I-15.

No litotipo máfico, em amostra de mão é muito difícil identificar estruturas ou orientação mineral devido a sua composição e também a sua granulometria fina, mas em escala de afloramento esse litotipo ocorre como bandas, posicionado paralelamente à foliação milonítica.

Os tipos intermediários apresentam uma coloração cinza, às vezes bandados com bandas máficas de espessura milimétrica e bandas félsicas centimétricas, possuindo granulometria fina e porfiroclasto de plagioclásio e K-feldspato.



Foto 4.3 – Relação de campo observada nos ortogranulitos do CJF na Pedreira Tabaiara: (a) Contato tectônico paralelo entre os litotipos máfico e félsico na zona de cisalhamento do rio Paraíba do Sul; (b) Possível relação de intrusão do litotipo félsico no máfico (Ponto TR-JEF-03).

As rochas félsicas apresentam coloração branca, granulometria fina e um bandamento de espessura milimétrica, que nem sempre está presente por todo o litotipo. Com o auxílio de lupa de mão se consegue observar fitas de quartzo. Na pedreira (ponto TR-JEF-03) onde foi encontrada uma possível relação de intrusão entre os litotipos máfico e félsico foi achado no litotipo félsico porfiroclastos de opx, atestando o metamorfismo de facies granulito (Foto 4.4).



Foto 4.4 – Porfiroclásto de opx encontrado no litotipo félsico, na pedreira Tabaiara (ponto TR-JEF-03).

4.2 - Petrografia

Em análise de lâmina petrográfica foi diagnosticado paragênese de facies granulito (opx) para boa parte das amostras coletadas e nas amostras que estavam estocadas na litoteca do LGPA (sendo esse o critério utilizado na seleção dessas amostras que já estavam armazenadas). Mas em quase todas as lâminas, exceto para as algumas félsicas em que os minerais máficos são raros, foram identificadas reações retrometamórficas, com o cpx alterando na borda para hornblenda ou o opx para biotita (Foto 4.5). Esta relação é esperada, pois se tratando de uma zona de cisalhamento, onde provavelmente ocorre a hidratação do sistema, é comum haver retrometamorfismo, sendo esse o provável motivo de algumas amostras não apresentarem paragênese da facies granulito, como por exemplo, a amostra JA-17-JEFA.

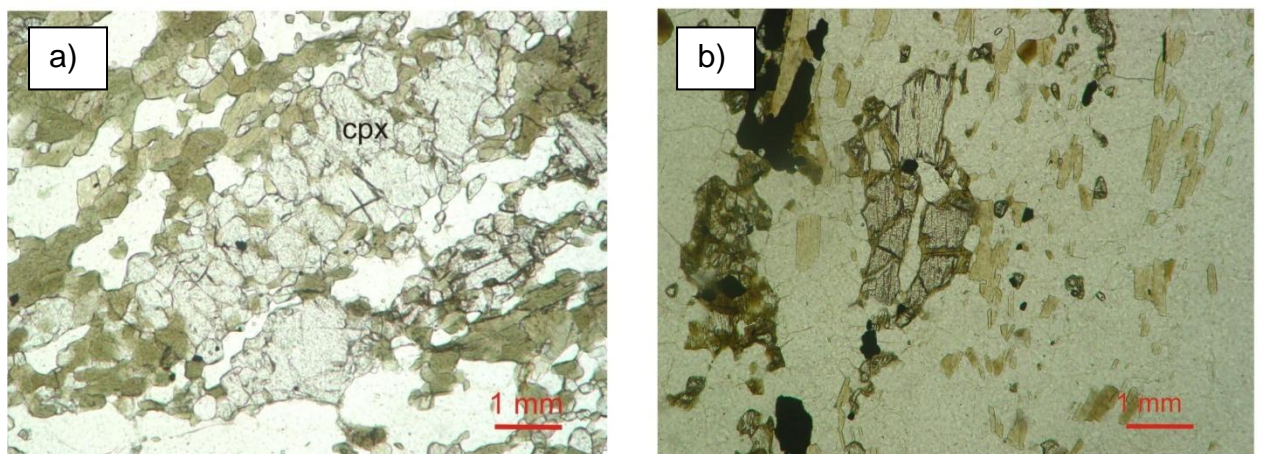


Foto 4.5 – (a) Cpx retrometamorfisando para hornblenda, lâmina TR-JEF-01D (não utilizada na análise litogeoquímica); (b) retrometamorfismo nos grãos de opx, lâmina TR-JEF-03C.

Assim, as rochas que apresentam estrutura gnáissica e que não foram diagnosticadas paragêneses de fácies granulito foram definidas como ortognaisses.

Em lâmina delgada pode-se observar que os ortogranulitos/ortognaisses apresentam claros indícios de deformação dúctil, como recristalização dinâmica, ribbons de quartzo e feldspato e matriz muito fina com grãos de faces poligonais (Figura 4.6).

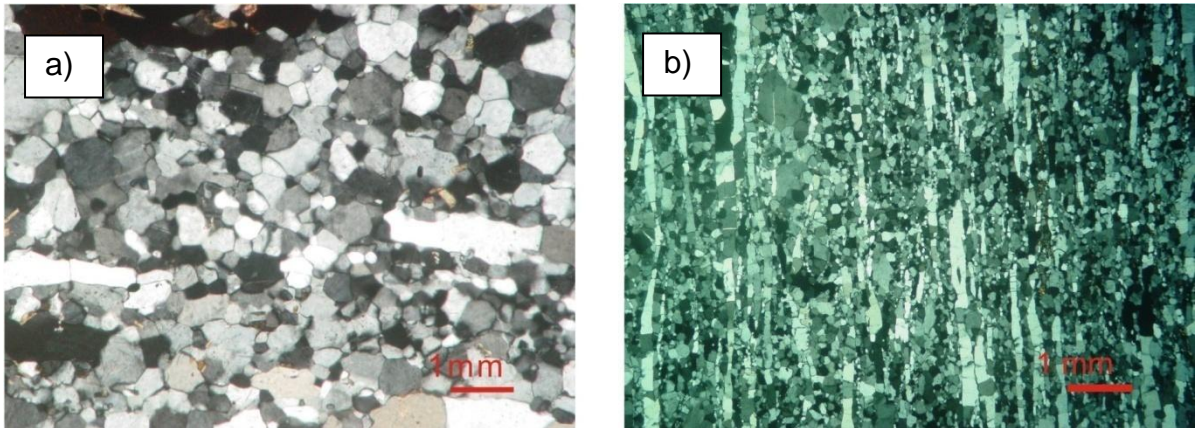


Foto 4.6 – (a) Matriz milonítica, grãos de quartzo e feldspato com faces poligonais, lâmina TR-JEF-01C1; (b) Ribbons de quartzo e feldspato, lâmina TR-JEF-03B.

Os porfiroclastos de opx e cpx, que são minerais de alta temperatura, não apresentam comportamento plástico em condições de deformação dúctil, quase sempre estão fraturados (Foto 4.7).

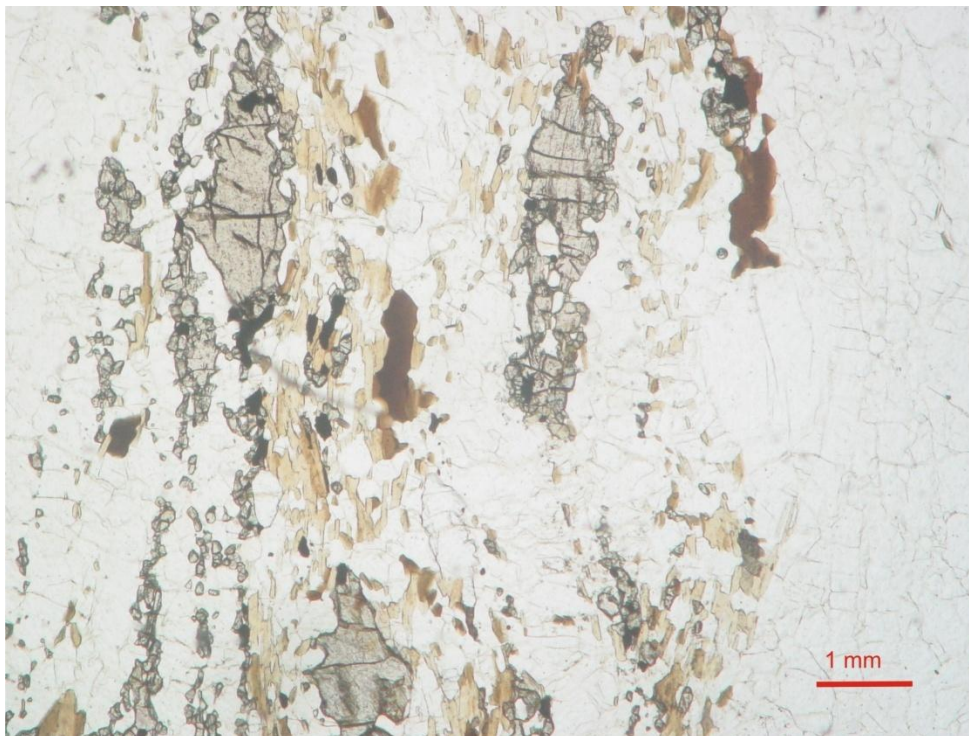


Foto 4.7 – Grãos de opx orientados e fraturados. Lâmina TR-JEF-01C (amostra não utilizada para análise litogeoquímica).

A unidade estudada possui ampla variedade composicional, desde granitos, granodioritos, tonalitos e quartzo dioritos, como mostra o diagrama QAP da figura 4.2, obtido a partir de contagem semi-modal, a 400 pontos, realizada em contador automático.

Legenda

- 1a - Quartzolito
- 1b - Granitóide rico em quartzo
- 2 - Álcali-feldspato-granito
- 3 - Granito - 3a - sienogranito
3b - monzogranito
- 4 - Granodiorito
- 5 - Tonalito
- 6* - Quartzo-álcali-feldspato
- 7* - Quartzo-sienito
- 8* - Quartzo-monzonito
- 9* - Quartzo-monzodiorito
Quartzo-monzogabro
- 10* - Quartzo-diorito ou Quartzo-gabro
- 6 - Álcali- Feldspato-sienito
- 7 - Sienito
- 8 - Monzonito
- 9 - Monzodiorito ou Monzogabro
- 10 - Diorito ou Gabro

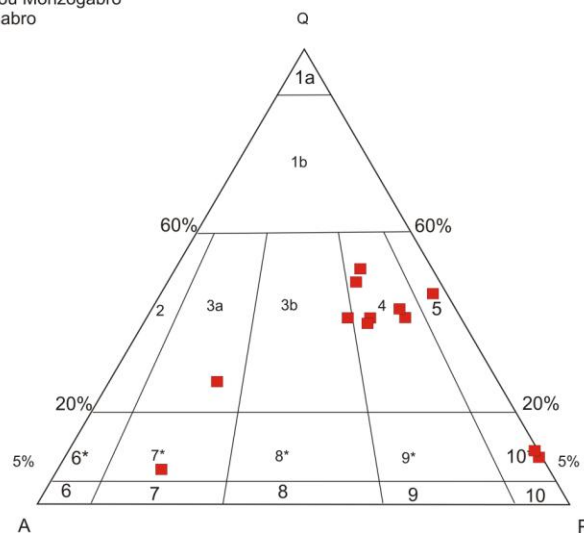


Figura 4.2 – Disposição do ortogranulitos /ortognaisses félsicos e intermediários no QAP de Streckeisen (1976).

A tabela 4.2, apresenta a classificação modal e a percentagem de cada mineral presente nas amostras utilizadas para o estudo litogeoquímico.

Tabela 4.2 – Dados modais das amostras estudadas nessa dissertação.

Amostras	Classificação modal	Quartzo (%)	Plagioclásio (%)	K-feldspato (%)	Biotita (%)	Hornblenda (%)	Opx (%)	Cpx (%)	Minerais acessórios (%)	Muscovita (%)	Granada (%)
TR-JEF-01	Basalto		45			30	5	20			
TR-JEF-01A	Granodiorito	36,5	41	16	3,5				2,7		
TR-JEF-01C1	Granodiorito	35,7	41,2	1,9	9,5	1,7					
JA-17-JEFA	Basalto		45		15	3,9		<1			
JA-17-JEFB	Basalto		48		23	28			1		
JA-17-JEFC	Quartzo sienito	5,2	15,2	52,1	16,9	5,7			3,9	0,7	<1
JA-17-JEFD	Tonalito	31	35,2	1,7	29,7				1,4	0,9	
TR-JEF-03A	Basalto		40		5	30	4	20	1		
TR-JEF-03B	Monzogranito	36,7	37,5	20	2,5		<1		2		
TR-JEF-03C	Granodiorito	31,7	40,2	16,2	9		1		1,9		
TR-JEF-04A	Sienogranito	26,1	21	52	<1						
TR-JEF-04B	Granodiorito	43,7	33,2	17,2	4,7		<1		0,9		
TR-JEF-04C	Granodiorito	47,7	33,1	13,6	4		1				<1
ECII-97-III-11	Basalto		45		20		20	15			
ECII-98-I-15A	Quartzo diorito/quartzo gabro	5,7	49,2		5,7	4,7	27	2,7	3,5		
ECII-98-IV-50	Quartzo diorito/quartzo gabro	5,5	55,2		26,5	2,2	4,2	4,7	0,7		
ECII-97-I-10F	Basalto		44		10	8	21	17			
ECII-98-I-10	Granodiorito	36	36,1	10,2	9,7	2,5	1	1	2,5		

A seguir será apresentada em forma de tabelas a mineralogia dos diferentes grupos litológicos do CJF disponíveis na literatura (Tabela 4.3 e 4.4) para comparar com os litotipos descritos nessa dissertação (Tabela 4.2).

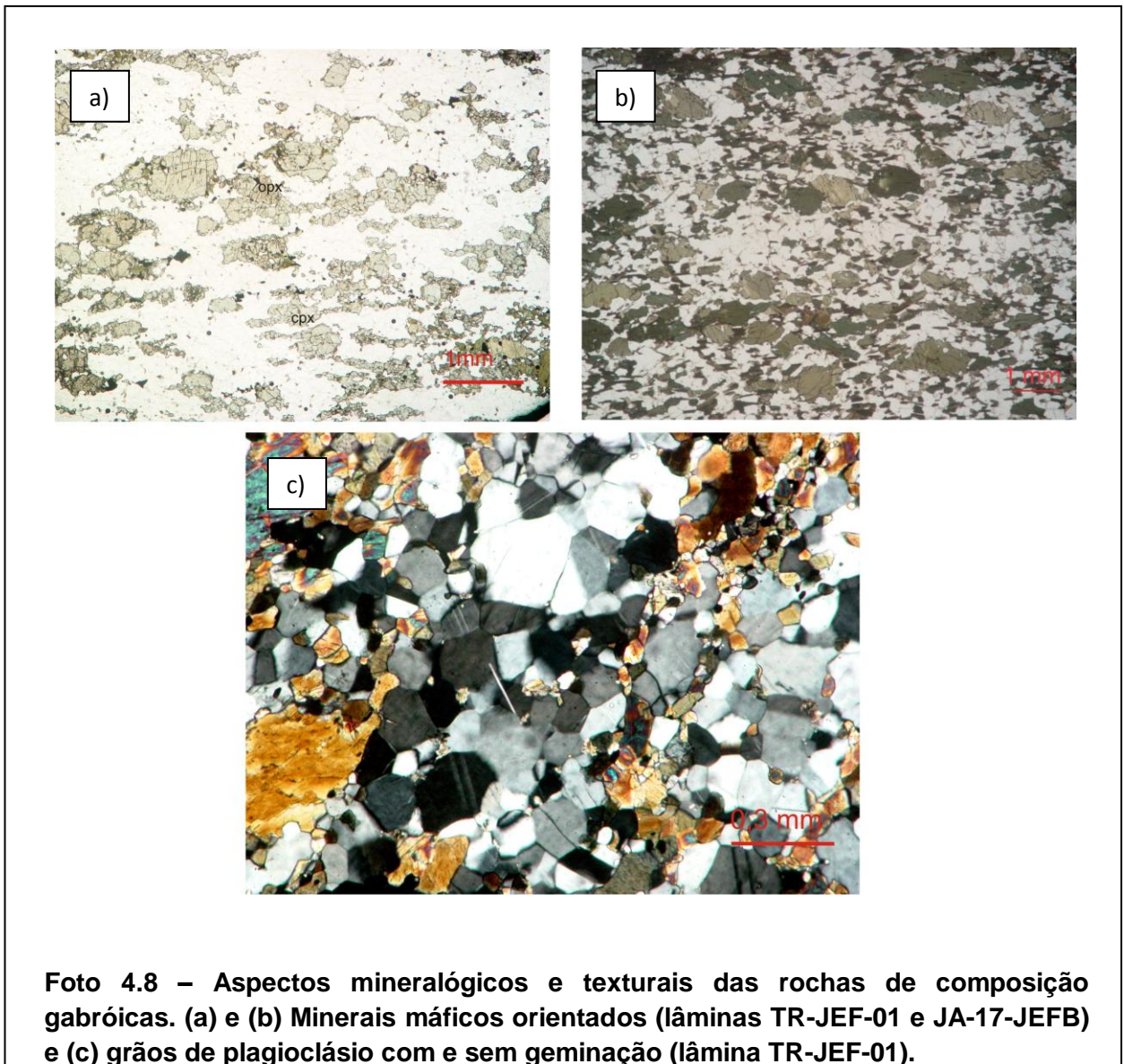
Tabela 4.3 – Paragênese metamórfica do CJF (Duarte et al., 1997): OPX – ortopiroxênio; CPX – clinopiroxênio; HBL – hornblenda; BIO – biotita; PLAG – plagioclásio; QZ – quartzo; GRA – granada; ORT- ortoclásio.

Grupos	Litotipos	Paragênese granulítica	Paragênese retrometamórfica
Máfico		OPX, CPX, HBL, GRA e PLAG	HBL e GRA
Intermediário	Maciço enderbítico e charno-enderbitico	OPX, CPX, PLAG, ORT e QZ	BIO
	Enderbitico gnaisse e migmatitos	CPX e OPX	HBL e BIO
Félsico	Charnockito gnaisse e leucossoma charnockítico	OPX, HBL	BIO, GRA
	Intrusivas félsicas	OPX	

Tabela 4.4 – Mineralogia simplificada dos granulitos do CJF, subdivididos pelos grupos geoquímicos (retirado de Heilbron et al. 1997): OPX – ortopiroxênio; CPX – clinopiroxênio; HBL – hornblenda; BIO – biotita; PLAG – plagioclásio; QZ – quartzo; KF – álcali-feldspato; ZIR – zircão; AP – apatita; GRA – granada; OP- minerais opacos.

Grupos	Séries	Tipos de rocha	Mineralogia
CAS1	Cálcio-alkalina de médio K	Intermediária	OPX, HBL, BIO, PLAG, QZ, ZIR, AP, OP
		Ácida	OPX, HBL, BIO, PLA, QZ, KF, ZIR,OP
CAS2	Cálcio-alkalina de alto K	Intermediária	OPX
		Ácida	OPX, BIO, KF, PLAG, QZ, ZIR, OP, GRA
B1	Toleítos de baixo-TiO ₂ -P ₂ O ₅	Ultrabásica	CPX, HBL,OP, PLAG
		Básica	CPX, OPX, HBL, BIO, PLAG, QZ, ZIR, AP
B2	Básicas alcalinas a transicional de alto-TiO ₂ -P ₂ O ₅	Básica	CPX, OPX, HBL, BIO, PLAG, QZ, ZIR, AP
		Intermediária	OPX, PLAG, QZ, ZIR, OP

Os granulitos de composição gabróica são representados por 6 amostras (ECII-97-I-10F, ECII-97-III-11, TR-JEF-01, JA-17-JEFA, JA-17-JEFB e TR-JEF-03A), compostas essencialmente por cpx, opx, hornblenda, biotita e plagioclásio (a composição exata de cada amostra é apresentada na tabela 4.2), suas composições mineralógicas são aproximadamente 55% para os minerais máficos, 40% de plagioclásio e 5% para os minerais acessórios como apatita, zircão e opacos, suas granulometrias variam de muito fina a fina. Os minerais máficos estão geralmente orientados, o plagioclásio às vezes apresenta faces poligonais e nem sempre está geminado (Foto 4.8).



Os granulitos de composição quartzo diorítica ou quartzo gabros são representados por duas amostras, ECII-98-I-15A e ECII-98-IV-50, constituídas por cpx, opx, biotita, hornblenda, quartzo e plagioclásio, a granulometria varia de fina a média. Os minerais máficos estão orientados, os grãos de quartzo não apresentam fraturas e o plagioclásio nem sempre apresenta geminação. Podem-se observar reações de retrometamorfismo entre cpx e hornblenda, hornblenda e biotita e, opx e biotita (Foto 4.9).

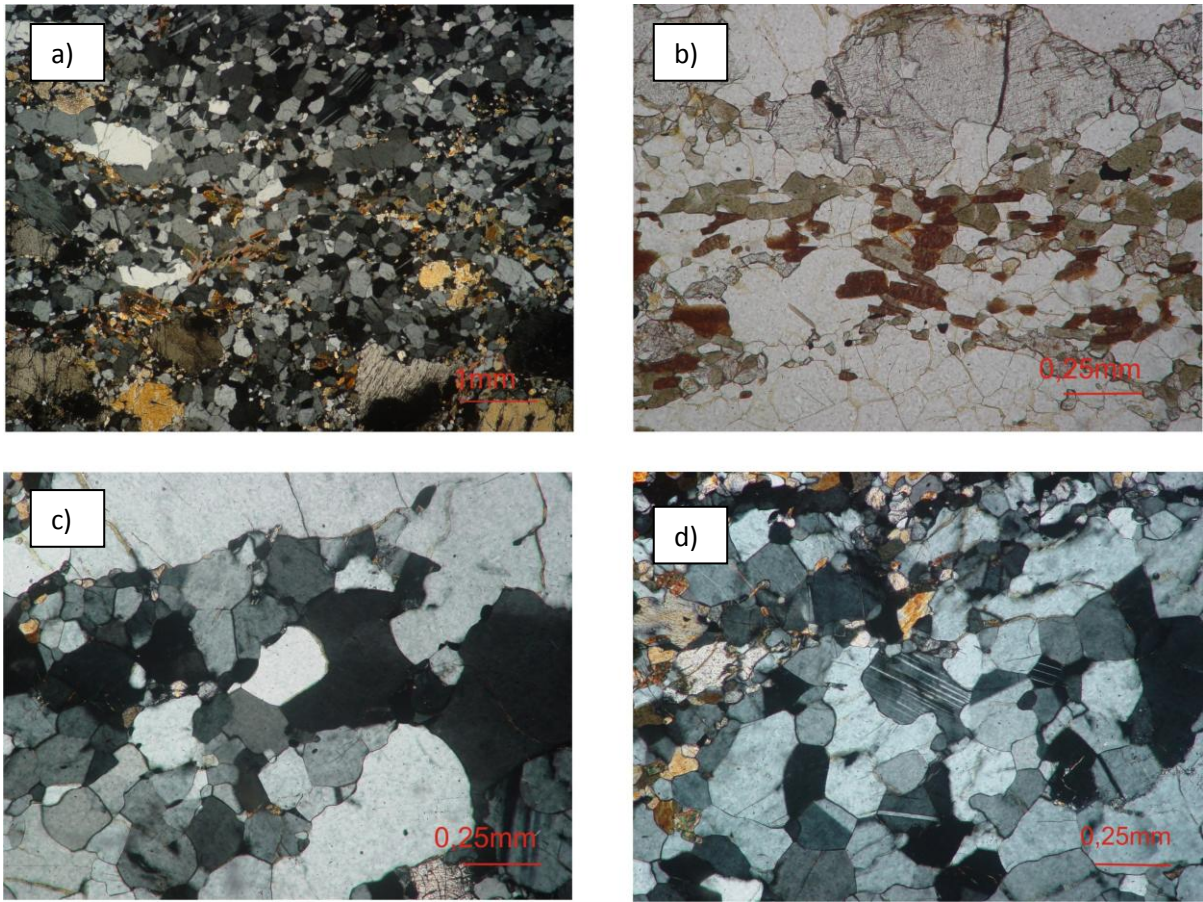


Foto 4.9 – Lâmina ECII-98-I-15A. a) Visão geral da rocha; b) grãos de opx, hornblenda e biotita. Retrometamorfismo pode-se evidenciar pela formação da biotita a partir da hornblenda; c) grão de quartzo no centro; d) vários grãos de plagioclásio com e sem geminação.

Na análise modal foi determinada apenas uma amostra de composição tonalítica (JA-17-JEFD), a rocha possui granulometria muito fina a fina com textura granoblástica e porfiroclastos de plagioclásio e microclina, é composta por plagioclásio, quartzo, biotita, muscovita, além de minerais acessórios, como zircão, opacos e apatita. O plagioclásio não apresenta geminação em todos os grãos, e possui faces poligonais assim como o quartzo, o qual, não possui fraturas, a microclina normalmente está geminada e apresenta reações de retrometamorfismo com a muscovita sendo encontrada nas bordas de alguns grãos (Foto 4.10).

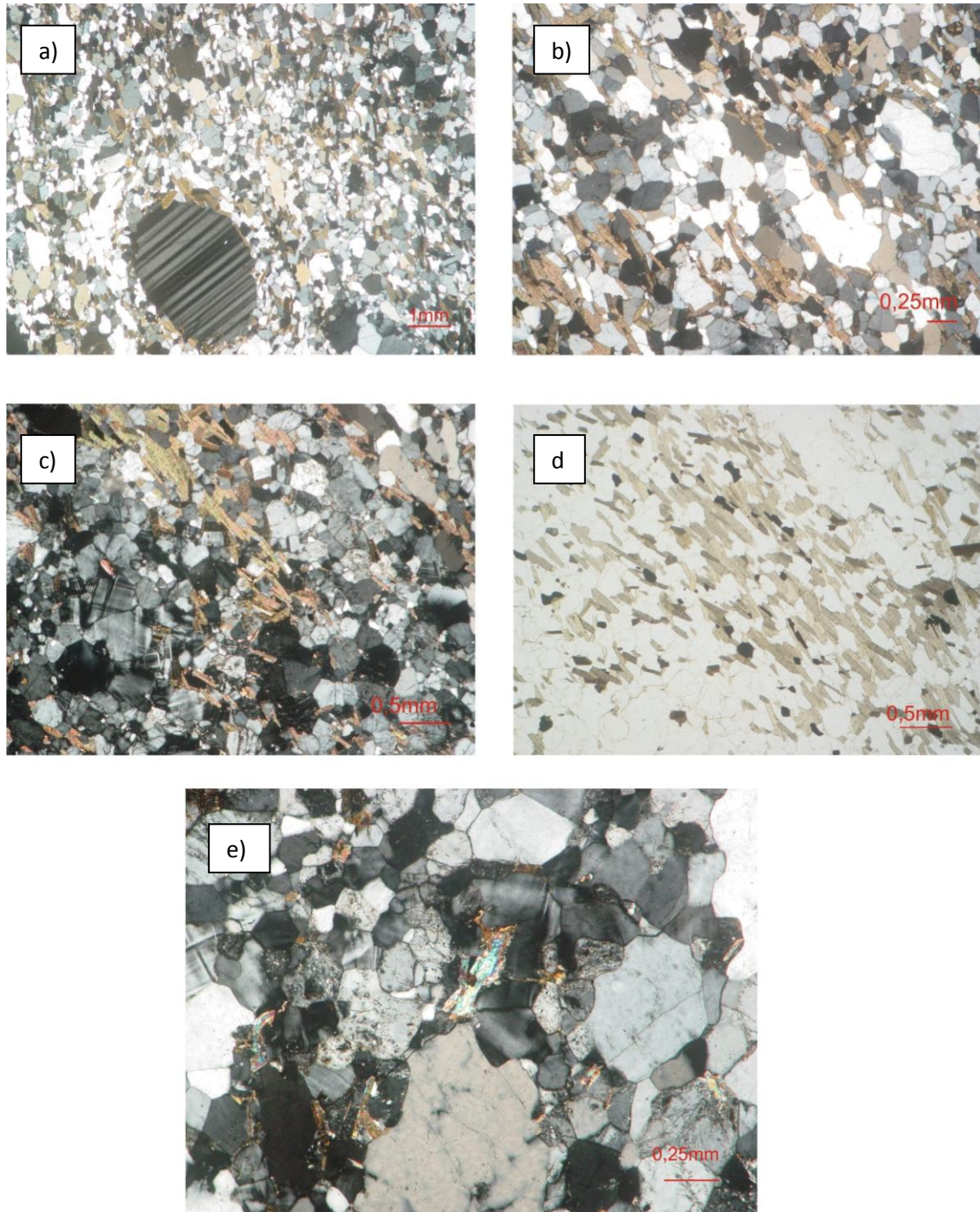
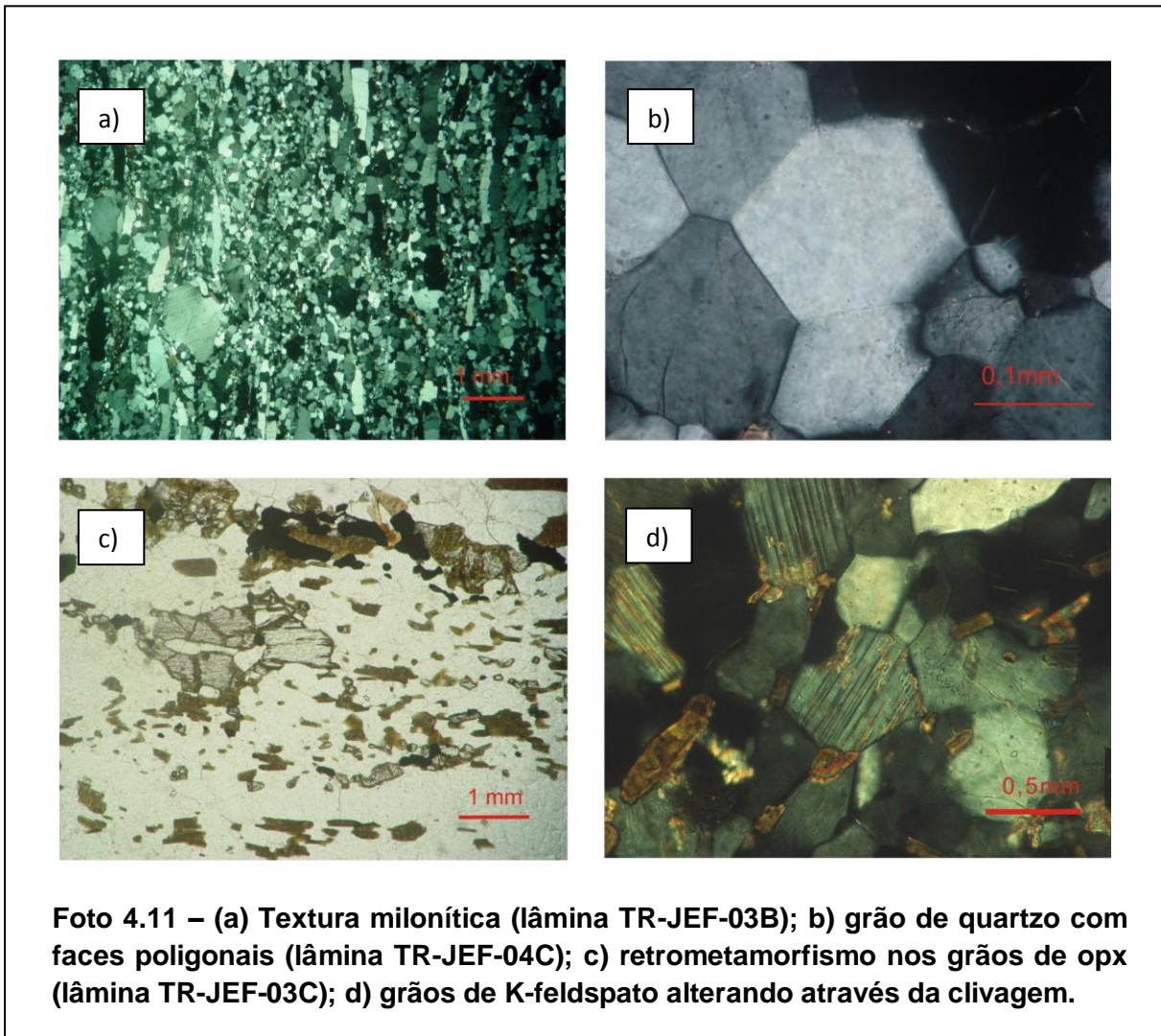


Foto 4.10 – Lâmina JA-17-JEFD. a) Visão geral da rocha; (b) quartzo, grãos sem fraturas; (c) grãos de microclina geminados; (d) biotita com forte plecroísmo e orientados; (e) muscovita formada a partir da microclina.

Os granodioritos possuem textura milonítica, com matriz quartzo-feldspática e ribbons de quartzo e feldspato. São constituídos essencialmente por quartzo, plagioclásio e K-feldspato, biotita é o mineral máfico mais comum, o opx também é encontrado em algumas amostras, mas não ultrapassa 1% da constituição mineralógica das rochas. O quartzo não apresenta fraturas e normalmente possui faces poligonais assim como o plagioclásio que não apresenta geminação na maioria dos grãos. O K-feldspato não apresenta geminação, sendo distinguido principalmente pelo seu relevo, que é menor que o do quartzo e plagioclásio, além de alterações observadas através de sua clivagem em muitas lâminas desse litotipo. Retrometamorfismo é evidenciado pela alteração do opx (quando presente) para a biotita (Foto 4.11).



Duas amostras plotaram no campo do granito (TR-JEF-03B e TR-JEF-04A) no QAP de Streckeisen (1976), essas amostras possuem textura milonítica com matriz quartzo-felspática. São constituídas essencialmente por quartzo, plagioclásio e K-feldspato, biotita e opx estão presentes na amostra TR-JEF-03B, onde se pode observar reações de retrometamorfismo no opx. Na amostra TR-JEF-04A, tanto o plagioclásio quanto o K-feldspato apresentam geminação na maioria dos grãos, sendo que o K-feldspato é o mineral mais abundante, compondo 52% da rocha (Foto 4.12).

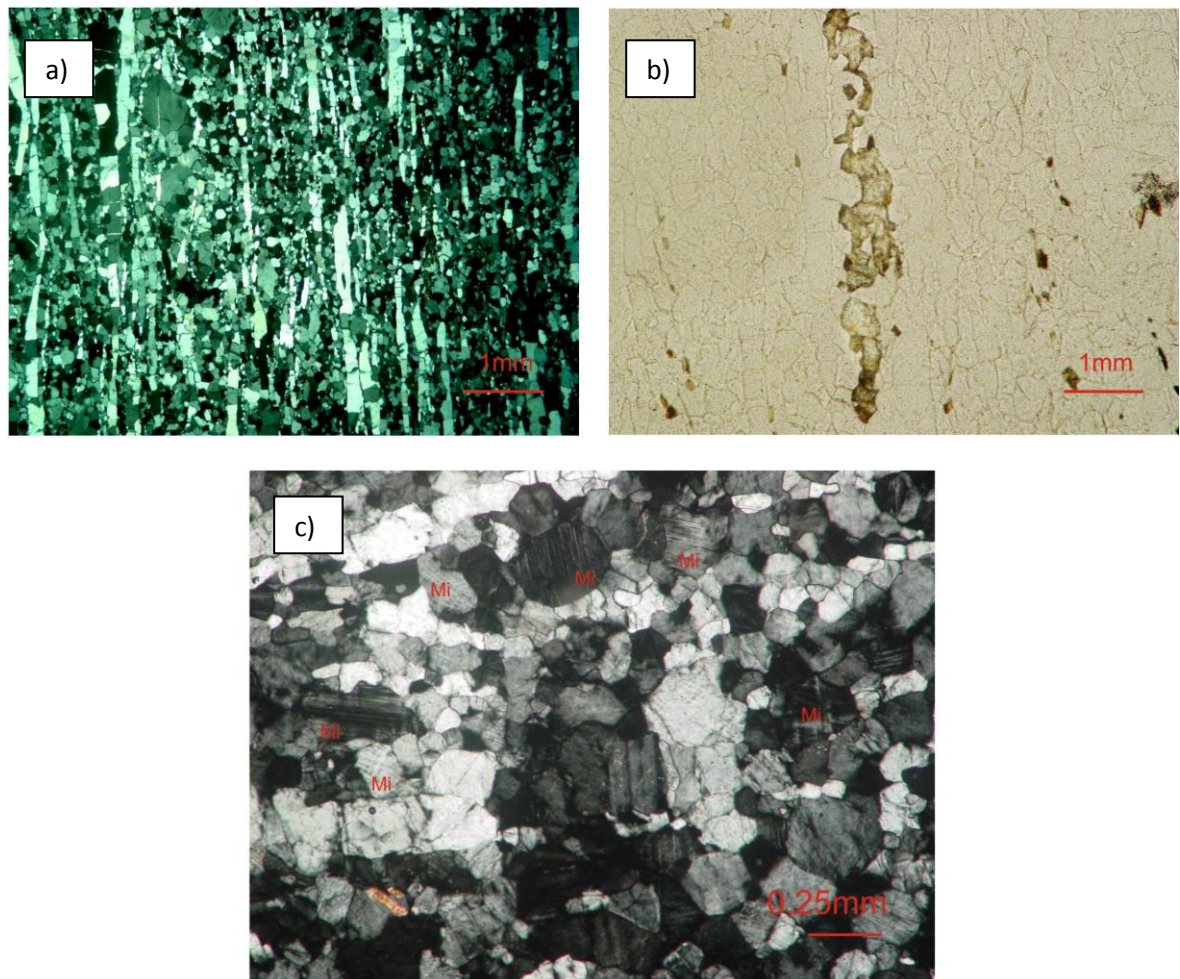
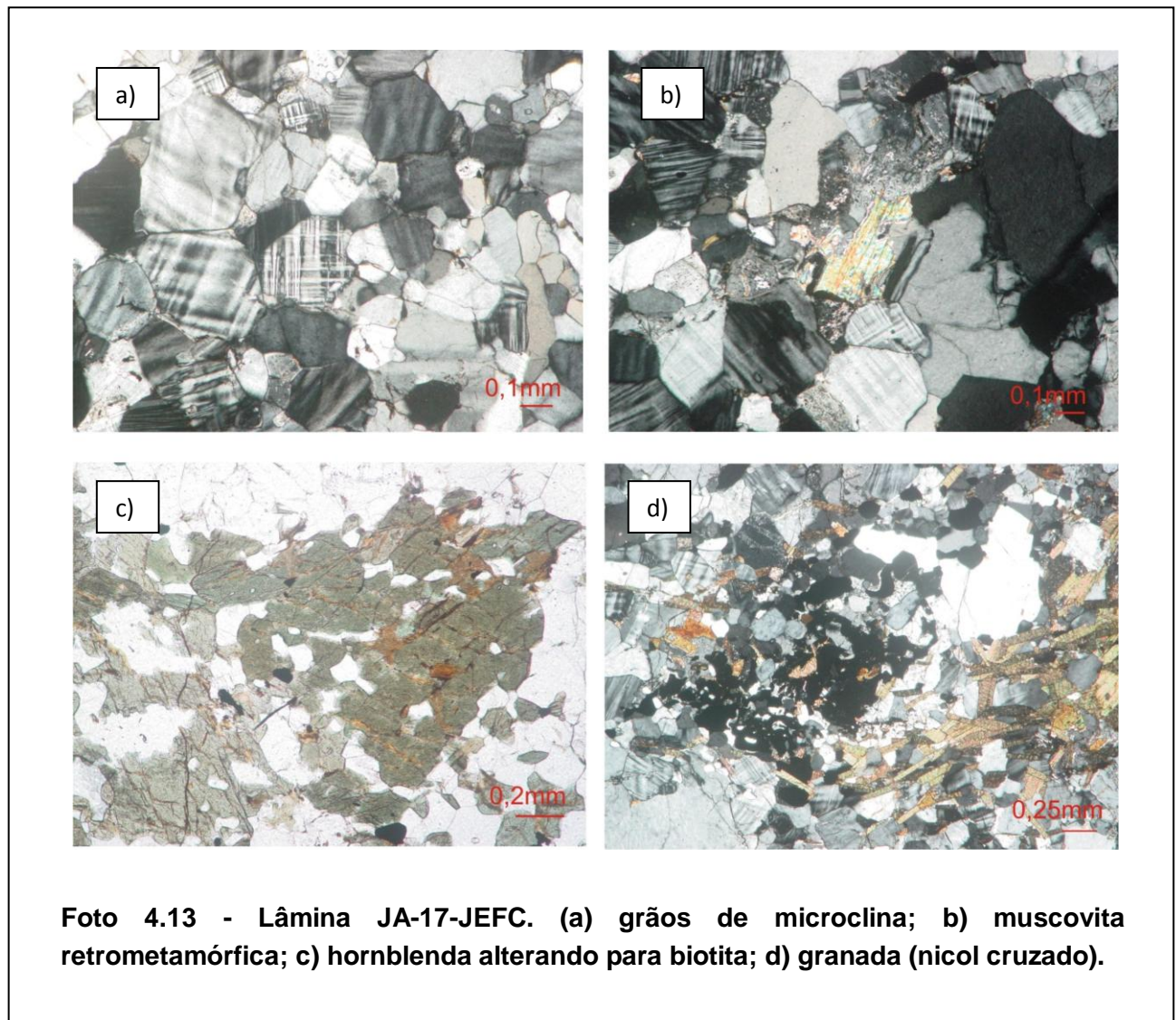


Foto 4.12 – (a) textura encontrada em ambas as amostras; b) grão de opx (lâmina TR-JEF-03B); c) grãos de microclina geminadas encontradas na lâmina TR-JEF-04A.

A amostra JA-17-JEFC foi à única classificada como quartzo sienito. Possui textura granoblástica e granulometria muito fina a fina, é composta por microclina, plagioclásio, quartzo, hornblenda, biotita, granada e muscovita. A microclina apresenta geminação em todos os grãos e é o mineral mais abundante da rocha, o plagioclásio, por sua vez, apresenta geminação apenas em poucos grãos. Retrometamorfismo é evidenciado pela formação de muscovita a partir da microclina e da biotita a partir da hornblenda (Foto 4.13).



Capítulo V

5 – Litogeoquímica

Foram analisadas 18 amostras dos ortogranulitos/ortognaisses do CJF da região de Três Rios, RJ, das quais, 8 são de composição ácida, 4 intermediárias e 6 básicas.

A análise litogeoquímica consistiu na discriminação de séries magmáticas, classificação química, ambientação tectônica dos conjuntos investigados e definição das possíveis suítes magmáticas. Esta análise foi baseada na determinação de elementos maiores, traços e os elementos Terras Raras (ETRs).

Na tabela 5.1 é apresentada as análises químicas das 18 amostras estudadas dispostas em ordem decrescente de SiO₂.

Tabela 5.1a - Composição química dos elementos maiores em % peso das amostras utilizadas para litogeoquímica.

Amostras	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ (T)	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	LOI	Total
TR-JEF-03B	75,72	13,43	0,87	0,012	0,11	1,24	3,57	5,02	0,063	0,02	0,58	100,6
TR-JEF-04A	74,82	13,71	0,59	0,009	0,02	1	3,47	5,42	0,049	0,01	0,5	99,6
TR-JEF-04C	74,49	13,87	1,69	0,023	0,29	1,92	4,3	3,02	0,174	0,06	0,68	100,5
TR-JEF-04B	73,62	14,18	2,2	0,03	0,39	2,24	4,49	2,33	0,242	0,08	0,72	100,5
TR-JEF-01-C1	73,05	14,43	2,38	0,018	0,53	2,38	4,03	3,02	0,254	0,09	0,74	100,9
TR-JEF-03C	71,65	14,11	2,26	0,027	0,44	2,48	4,52	2,06	0,25	0,08	0,6	98,49
TR-JEF-01A	70,76	14,76	2,83	0,022	0,51	2,68	4,47	2,31	0,321	0,09	0,66	99,41
ECII-98-I-10	67,61	15,02	3,64	0,054	1,18	3,33	4,4	2,1	0,447	0,16	0,57	98,52
JA-17-JEFC	63,3	15,93	5,14	0,162	0,74	2,14	3,45	5,36	0,921	0,29	1,05	98,47
JA-17-JEFD	62,32	16,1	5,85	0,084	2,02	3,79	4,07	2,15	0,894	0,32	1,25	98,84
ECII-98-I-15A	56,34	14,18	9,68	0,155	4,76	9,25	2,84	0,43	0,655	0,08	0,14	98,51
ECII-98-IV-50	55,9	15,17	11,22	0,157	5,6	4,13	3,37	2,14	1,054	0,17	1,01	99,91
ECII-97-I-10F	50,7	16,45	11,81	0,161	5,41	8,96	3,73	1,1	1,132	0,1	0,76	100,3
ECII-97-III-11	50,65	12,5	10,92	0,16	8,76	8,17	2,92	2,53	1,176	0,22	1,3	99,31
JA-17-JEFB	50,44	16,54	9,68	0,165	5,47	7,7	3,24	2,22	1,658	0,65	1,57	99,33
TR-JEF-01	49,57	16,85	11,14	0,157	5,98	11,42	3,04	0,71	1,071	0,09	0,3	100,3
JA-17-JEFA	48,97	16,69	10,91	0,19	5,73	7,9	3,49	2,22	2,036	0,62	2,2	101
TR-JEF-03A	46,2	15,32	11,81	0,168	8,71	9,79	3,03	1,28	0,7	0,08	1,58	98,67

Tabela 5.1b - Composição dos elementos traços em ppm das amostras utilizadas para litogeoquímica.

Amostras	Be	V	Ba	Sr	Y	Zr	Cr	Co	Ni	Rb
TR-JEF-03B	2	< 5	197	75	3	68	< 20	33	< 20	180
TR-JEF-04A	1	< 5	296	91	< 2	88	< 20	35	< 20	179
TR-JEF-04C	2	6	689	186	2	117	< 20	38	< 20	105
TR-JEF-04B	2	17	494	185	4	178	< 20	54	< 20	91
TR-JEF-01-C1	1	20	431	275	< 2	133	< 20	19	< 20	95
TR-JEF-03C	2	19	397	229	2	175	< 20	33	< 20	84
TR-JEF-01A	1	19	298	271	4	182	< 20	29	< 20	52
ECII-98-I-10	2	43	684	421	7	161	< 20	31	< 20	76
JA-17-JEFC	2	41	2325	292	28	1075	40	31	< 20	178
JA-17-JEFD	3	87	586	317	18	294	30	70	< 20	130
ECII-98-I-15A	1	182	236	301	16	56	220	76	80	12
ECII-98-IV-50	2	155	556	447	5	50	140	55	< 20	63
ECII-97-I-10F	2	284	167	214	29	69	90	57	< 20	20
ECII-97-III-11	2	264	565	272	23	118	470	50	100	129
JA-17-JEFB	3	206	1115	521	81	205	40	40	< 20	110
TR-JEF-01	1	282	29	155	15	51	80	45	30	6
JA-17-JEFA	2	221	1261	764	33	244	50	42	< 20	91
TR-JEF-03A	2	244	190	168	15	28	250	63	220	70

Tabela 5.1c - Composição dos elementos traços em ppm das amostras utilizadas para litogeoquímica.

Amostras	Sc	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Nb	Mo	Ag	In	Sn	Sb	Cs
TR-JEF-03B	2	< 10	< 30	23	1	83	2	2	< 0.5	< 0.2	< 1	1,6	< 0.5
TR-JEF-04A	< 1	20	< 30	20	< 1	< 5	< 1	< 2	< 0.5	< 0.2	< 1	2,5	< 0.5
TR-JEF-04C	2	< 10	40	21	1	177	5	3	< 0.5	< 0.2	< 1	2,4	< 0.5
TR-JEF-04B	3	< 10	60	22	1	195	7	3	2,3	< 0.2	< 1	2,3	< 0.5
TR-JEF-01-C1	3	60	50	20	< 1	< 5	5	< 2	< 0.5	< 0.2	< 1	< 0.5	< 0.5
TR-JEF-03C	3	50	60	21	< 1	< 5	6	< 2	< 0.5	< 0.2	1	1,9	< 0.5
TR-JEF-01A	3	< 10	60	22	< 1	< 5	6	< 2	< 0.5	< 0.2	1	2,1	< 0.5
ECII-98-I-10	6	< 10	90	22	< 1	< 5	7	< 2	< 0.5	< 0.2	1	2,2	< 0.5
JA-17-JEFC	14	< 10	130	21	2	136	24	4	1,1	< 0.2	3	2,9	3,8
JA-17-JEFD	11	< 10	120	22	1	< 5	13	< 2	< 0.5	< 0.2	4	2,8	1,2
ECII-98-I-15A	28	60	80	18	1	69	3	3	0,5	< 0.2	2	< 0.5	< 0.5
ECII-98-IV-50	14	30	160	24	1	< 5	7	< 2	< 0.5	< 0.2	2	2,9	0,6
ECII-97-I-10F	35	40	160	21	2	< 5	7	< 2	< 0.5	< 0.2	2	3,6	< 0.5
ECII-97-III-11	35	200	120	21	2	127	9	4	37,4	< 0.2	1	2,5	1,6
JA-17-JEFB	29	20	150	23	2	< 5	21	< 2	< 0.5	< 0.2	6	1,9	1,5
TR-JEF-01	34	60	120	18	1	< 5	3	< 2	< 0.5	< 0.2	1	3	< 0.5
JA-17-JEFA	24	20	180	21	1	< 5	14	< 2	< 0.5	< 0.2	3	3	0,9
TR-JEF-03A	33	20	50	17	2	< 5	3	5	1,3	< 0.2	3	1,9	2,1

Tabela 5.1d - Composição dos elementos terras raras em ppm das amostras utilizadas para litogeoquímica.

Amostras	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
TR-JEF-03B	14,9	26,7	2,8	10,6	2,4	0,51	1,9	0,2	0,9	0,2	0,4	0,05	0,4	0,06
TR-JEF-04A	10,4	25,5	1,97	5,7	0,9	0,55	0,5	< 0.1	0,4	< 0.1	0,2	< 0.05	0,2	0,04
TR-JEF-04C	19,3	35	3,94	12,5	2,3	0,7	1,7	0,2	0,9	0,1	0,3	< 0.05	0,3	0,04
TR-JEF-04B	21,6	40,6	4,69	15	2,9	0,71	2,1	0,2	1,1	0,2	0,4	0,05	0,3	0,05
TR-JEF-01-C1	13,7	24,8	2,63	8,7	1,7	0,53	1,2	0,1	0,5	< 0.1	0,2	< 0.05	0,1	< 0.04
TR-JEF-03C	24	40,8	4,29	13	2,2	0,81	1,6	0,2	1	0,2	0,4	0,05	0,3	0,05
TR-JEF-01A	50,2	101	11,7	33,8	6	0,68	3,2	0,3	1,1	0,2	0,4	0,06	0,4	0,06
ECII-98-I-10	26,1	51,3	6,21	20,3	3,8	1,06	2,7	0,4	1,7	0,3	0,8	0,1	0,6	0,08
JA-17-JEFC	45,3	94,3	12,3	42,7	8,7	3,22	7,5	1	5,4	1	2,8	0,39	2,4	0,37
JA-17-JEFD	44	90,6	10,7	32,7	6,3	1,44	4,9	0,7	3,7	0,7	2	0,27	1,4	0,2
ECII-98-I-15A	5	11,6	1,71	7,4	2	0,73	2,5	0,5	3,1	0,6	1,9	0,28	1,8	0,27
ECII-98-IV-50	9,3	17,5	2,18	7,4	1,5	1,09	1,3	0,2	1,1	0,2	0,7	0,1	0,7	0,11
ECII-97-I-10F	16	40,9	5,89	22,8	5,4	1,27	5,3	0,9	5,5	1,1	3,2	0,45	2,8	0,38
ECII-97-III-11	18	43	5,37	22,9	5,7	1,47	5,4	0,8	4,4	0,9	2,6	0,37	2,3	0,31
JA-17-JEFB	46,9	130	20,3	78,1	18,4	2,87	15,9	2,5	14,5	2,9	8,4	1,2	7,3	1,04
TR-JEF-01	4,2	10,7	1,62	7,5	2,1	0,92	2,5	0,4	2,8	0,6	1,8	0,26	1,6	0,25
JA-17-JEFA	58,2	123	15,4	47,6	9	2,71	7,3	1,1	6,1	1,2	3,4	0,5	3	0,44
TR-JEF-03A	4,7	10,2	1,48	6,3	1,7	0,73	2,3	0,4	2,9	0,6	2	0,3	2	0,3

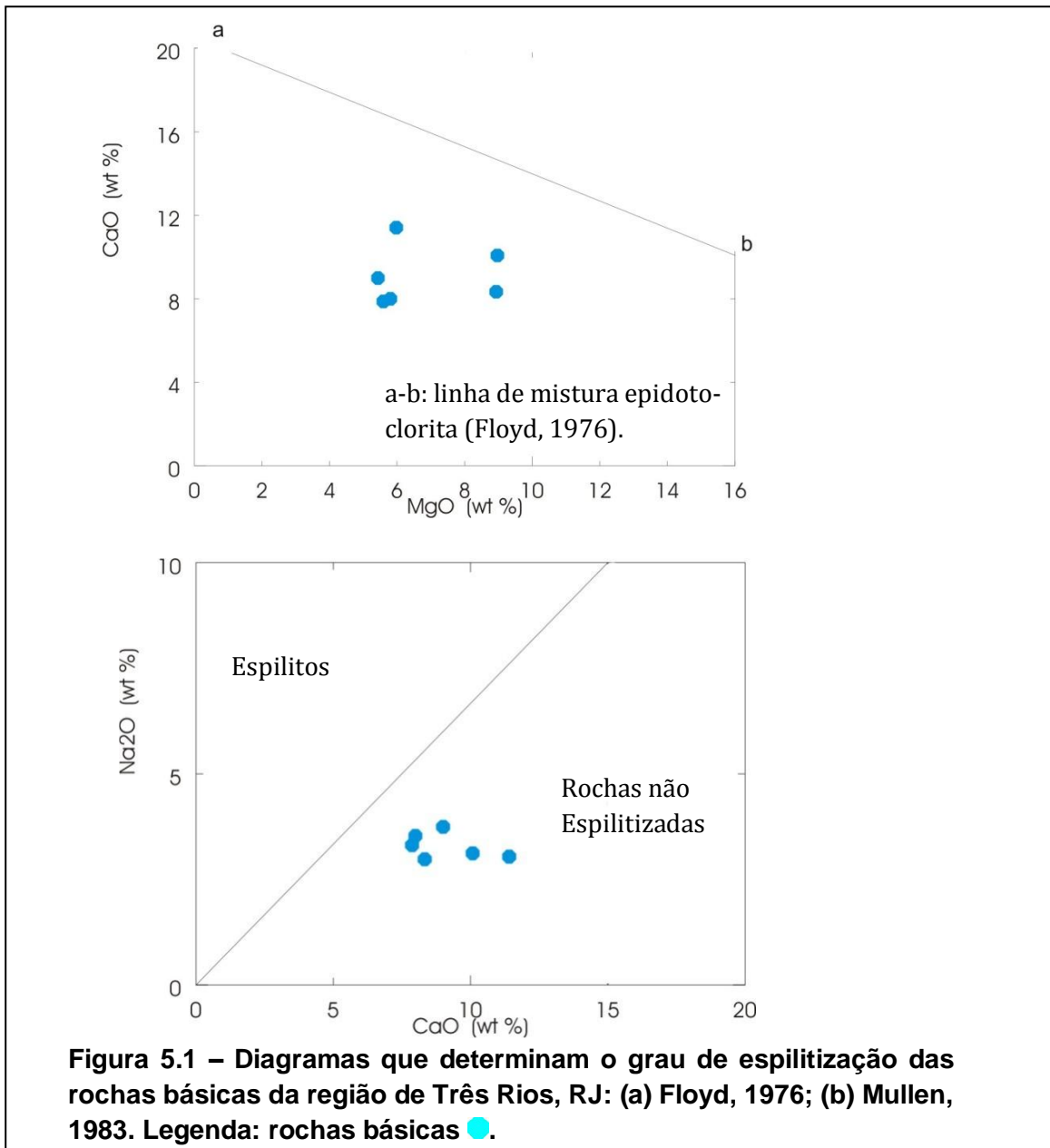
5.1 – Investigação sobre os possíveis processos de alteração de fundo oceânico

Mesmo partindo da premissa que o metamorfismo no órogeno seja isoquímico, ou seja, não tenha alterado a composição real da rocha, deve-se levar em consideração que as rochas em questão são de alto grau metamórfico com histórias evolutivas muito complexas, e além de tudo, estão posicionadas em uma zona de cisalhamento dúctil (Dayan & Keller, 1989).

Assim, sempre é levantada a questão das possíveis alterações que as essas rochas puderam ter sido submetidas. Entretanto, como alguns dos protólitos analisados são de composição básica, que podem estar associados a ambientes de fundo oceânico, levanta-se a questão de elas terem sido submetidas a metamorfismo de fundo oceânico ou intemperismo submarino, que alteraria a composição original da rocha logo após o resfriamento do magma.

E por isto, antes de começar o estudo litogeoquímico as amostras de protólito básico foram investigadas nos diagramas de Floyd (1976) e Mullen (1983) para se constatar se as rochas sofreram alterações provocadas por processo de espilitização (Fig 5.1).

O processo de espilitização, segundo Floyd (1976), causa principalmente uma redistribuição local de Ca (formação de epidoto e calcita) e Mg (formação de clorita), juntamente com elementos traços que apresentam afinidade química com aqueles.



O diagrama da figura 5.1a de Floyd (1976) apresenta uma linha de misturas epidoto-clorita, onde se distribuem os basaltos alterados por processos de espilitização e intemperismo submarino, formando *trends* paralelos a essa linha. Plotando as amostras no diagrama, não se observa nenhum *trend* paralelo à linha a-b, entendida assim, como rochas não alteradas.

No diagrama de Mullen (1983) da figura 5.1b, todas as amostras analisadas estão no campo das rochas não espilitizadas, demonstrando que não houve adição de Na_2O .

A análise mostra que processos de alteração pós-magmático não atuaram na rocha mobilizando compostos como Na_2O e MgO . Mas ao analisar a tabela com os resultados das análises geoquímicas, pode-se observar um incremento de K_2O nas amostras de composição básica quando comparadas com rochas básicas de diversos ambientes disponíveis na literatura (Wilson, 1991). Entretanto, não há como comprovar por uso de diagramas esse enriquecimento em K_2O , por isso, o estudo litogeoquímico das amostras estudadas do CJF tentará se basear no máximo em diagramas que utilizam elementos imóveis.

5.2 - Discriminação das Séries Magmáticas e Classificação Geoquímica

A análise revela que as amostras podem ser agrupadas em três grupos segundo seus teores de sílica, sendo 6 de composição básica, 4 intermediárias e 8 ácidas. Este conjunto relaciona-se aos três tipos litológico (litotipos félsico, intermediário e máfico), constatados no estudo de campo (Geologia Local).

O diagrama TAS de Irvine & Baragar (1971) apresentado na Figura 5.2a, mostra que as rochas ácidas e intermediárias plotam no campo da série subalcalina, enquanto que as rochas básicas parecem ser transicionais. O diagrama AFM de Irvine & Baragar (op cit) (Figura 5.2b) que divide a série subalcalina em séries cálcioalcalina e toleítica, revela que as rochas ácidas e intermediárias possuem tendência cálcioalcalina. Uma amostra intermediária (ECII-98-I-15A), plota próximo do limite da série toleítica, junto com as rochas básicas, o que é explicado pelo seu alto teor de MgO (4,76% peso).

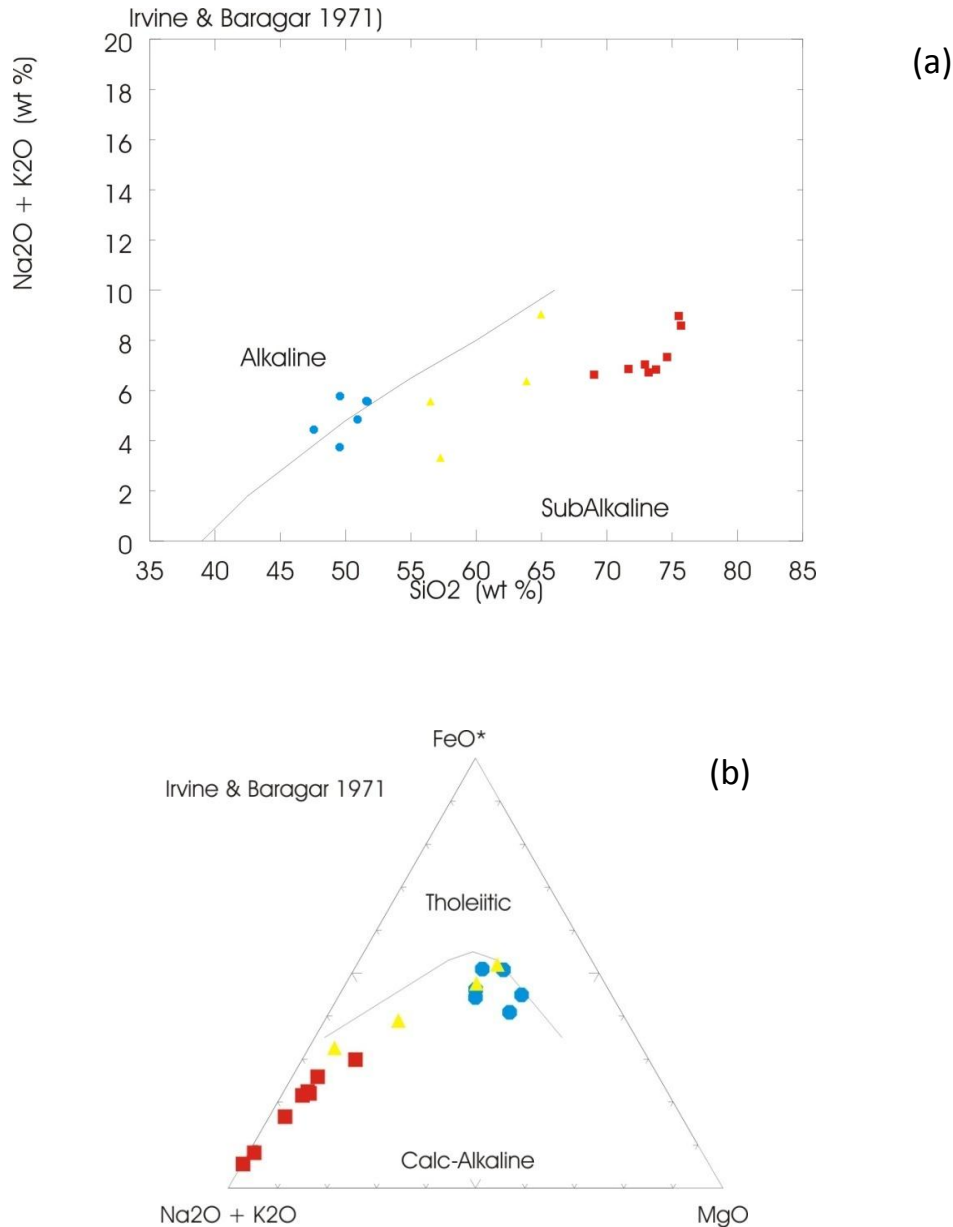


Figura 5.2 – Diagramas discriminantes das séries magmáticas. a) diagrama sílica x total de álcalis de Irvine & Baragar 1971; b) diagrama AFM com limite entre os campos toleítico e cálcioalcalino. Legenda: rochas básicas ●, intermediárias ▲ e ácidas ■.

5.2.1 - Geoquímica dos ortogranulitos básicos

O diagrama TAS (Fig. 5.2a) deixa dúvida se há rochas de composição básica de série alcalina, visto que apresentam caráter transicional. Por isso, foi utilizada a norma CIPW (Cox *et al.*, 1979) para identificar as amostras que possam representar basaltos alcalinos.

O cálculo da norma CIPW foi efetuado para a razão FeO/Fe₂O₃= 0,85. A norma é detalhada na tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Norma CIPW para as rochas básicas, valores estão expressos em %peso. As siglas para os minerais normativos; Q=Quartzo, Z=Zircão, Or=Ortoclásio, Ab=Albita, An= Anortita, Ne= Nefelina, Di=Diopsídio, Hy=Hiperstênio, Ol= Olivina, Mt=Magnetita, Cm= Cromita, Il- Ilmenita e Ap=Apatita.

Amostras	Q	Z	Or	Ab	An	Ne	Di	Hy	Ol	Mt	Cm	Il	Ap	Total
ECII-97-I-10F	0	0.01	6.61	32.02	25.28	0.00	15.97	2.91	12.23	2.61	0.02	2.18	0.24	100.08
ECII-97-III-11	0	0.02	15.45	25.45	13.94	0.00	21.62	1.60	16.76	2.45	0.10	2.30	0.54	100.23
JA-17-JEFB	0	0.04	13.58	28.28	24.85	0.00	8.76	11.47	6.28	2.17	0.01	3.25	1.60	100.28
TR-JEF-01	0	0.01	4.24	25.96	30.53	0.00	21.51	1.31	11.76	2.45	0.02	2.05	0.22	100.06
JA-17-JEFA	0	0.05	13.45	28.64	23.90	0.84	10.38	0.00	15.16	2.43	0.01	3.95	1.51	100.33
TR-JEF-03A	0	0.01	7.90	16.86	25.42	5.32	20.17	0.00	20.14	2.67	0.06	1.38	0.20	100.13

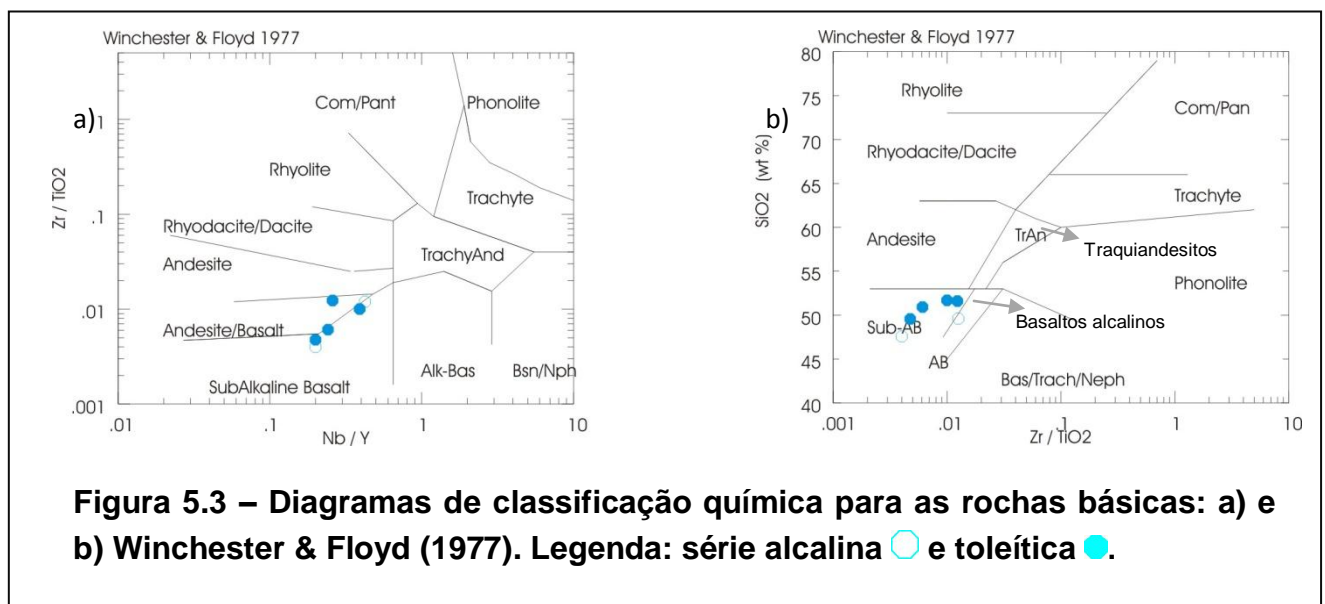
A partir da tabela 5.2 observa-se que as amostras JA-17-JEFA e TR-JEF-03A possuem nefelina e olivina normativa, o que indica que estas rochas são subsaturadas em sílica, podendo ser classificadas como basaltos da série alcalina. As amostras ECII-97-I-10F, ECII-97-III-11, JA-17-JEFB e TR-JEF-01, apresentam hiperstênio e olivina normativa, sendo, portanto, rochas saturadas em sílica, classificadas como olivina toleítos (esse caráter toleítico será discutido mais a frente).

Optou-se então, por estudar separadamente cada série, para observar as características das possíveis rochas alcalinas.

O que é observado para rochas da série alcalina (segundo a norma) é que elas possuem um comportamento químico diferente do esperado, pois nos diagramas de Winchester & Floyd (1977) na Figura 5.3a, que utilizam elementos traços imóveis, as

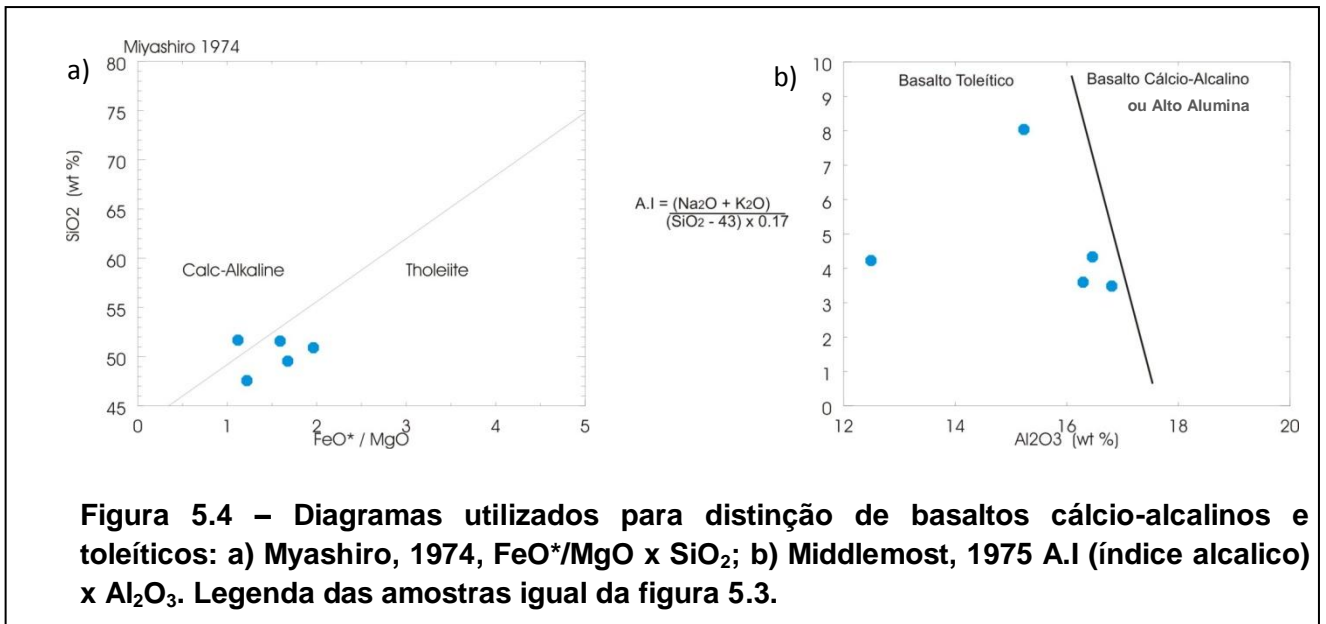
rochas alcalinas caem no campo dos basaltos subalcalinos, salvo no diagrama SiO_2 x Zr/TiO_2 (Figura 5.3b), onde a amostra JA-17-JEFA plota no limite dos basaltos alcalinos e subalcalinos. Estas características são contrárias aos dados obtidos pelo cálculo da norma CIPW, visto que as amostras apresentam nefelina normativa, e por isso, foram classificadas como basaltos alcalinos.

Contudo, o cálculo da norma é baseado em elementos maiores, o que diminui seu valor conclusivo diante dos diagramas de Winchester & Floyd (*op cit*), que usam elementos imóveis. Assim, a amostra TR-JEF-03A será incluída na série toleítica, e a amostra JA-17-JEFA na série alcalina, como mostra a figura 5.3b.



Já os granulitos básicos de caráter toleítico segundo a norma, são classificados perfeitamente como basaltos subalcalinos nos diagramas de Winchester & Floyd (1977).

Observando-se o diagrama AFM de Irvine & Baragar (1971) Fig. 5.2b, todas as rochas básicas caem no campo das rochas cálcio-alcalinas, o que gera uma contradição entre o cálculo da norma e o resultado apresentado no referido diagrama. E ocorre a dúvida: essas amostras são toleíticas ou cálcio-alcalinas? Por isso, os resultados foram trabalhados em diagramas que distinguem basaltos cálcio-alcalinos de basaltos toleíticos, que utilizam outros elementos químicos (Fig 5.4).

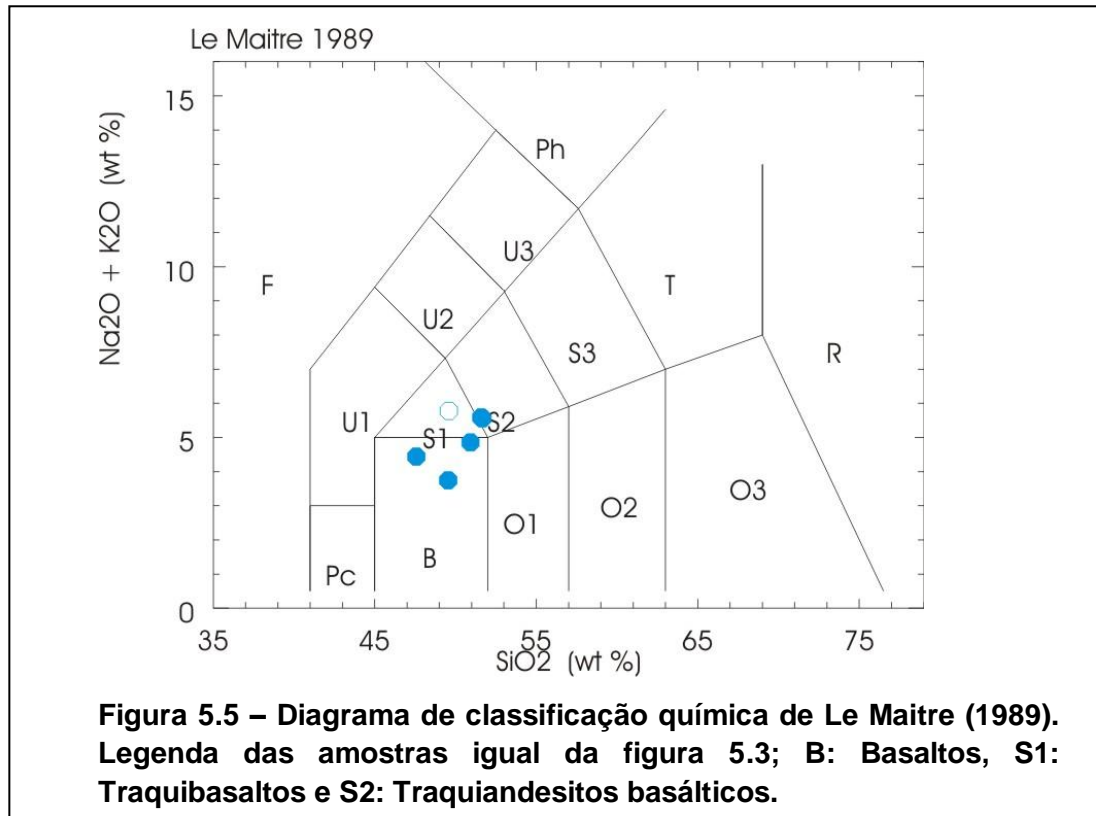


O diagrama de Myashiro (1974) utiliza a razão FeO*/MgO x SiO₂ para classificar rochas cálcio-alcálicas e toleíticas, sendo característico da série toleítica apresentar um conteúdo maior de FeO. O diagrama de Middlemost (1975) distingue basaltos toleíticos ou baixo alumina de basaltos cálcio-alcálicos ou alto alumina, utilizando os índices A.I (índice alcalino) e Al₂O₃.

À exceção de uma amostra que cai próxima a linha divisória das duas séries, no diagrama de Myashiro (1974), as amostras aparentam ter caráter toleítico. No entanto, no diagrama de Middlemost (1975) todas as amostras são classificadas como basaltos toleíticos.

Dessa forma, ficou definido por esses diagramas que os ortogranulitos básicos do CJF pertencem à série toleítica, até mesmo a amostra que cai no campo das rochas cálcio-alcálicas no diagrama de Myashiro (*op cit*), pelo fato de não existir basaltos cálcio-alcálicos de baixa alumina. A classificação dessas amostras como cálcio-alcálica no diagrama AFM (Fig. 5.2b) pode estar ligada ao conteúdo anormal de K₂O que elas apresentam.

O diagrama de Le Maitre (1989) figura 5.5, classifica os granulitos básicos das séries toleíticas como basaltos (B), traquiandesitos basálticos (S2) e os granulitos básicos da série alcalina como traquibasaltos (S1).



5.2.2 - Geoquímica dos Ortogranulitos/Ortognaisses Intermediários e Ácidos

Segundo o diagrama de Le Maitre (1989) apresentado na Figura 5.6a, as rochas cálcioalcalinas representam duas séries distintas: uma de médio-K, representada pelas amostras JA-17-JEFD, ECII-98-I-10, TR-JEF-01, TR-JEF-01C1, TR-JEF-03B, TR-JEF-04B E TR-JEF-O4C e outra de alto-K, representada pelas amostras ECII-98-IV-50, JA-17-JEFC, TR-JEF-03B e TR-JEF-04. Em função da escala utilizada pelo autor para o K₂O, algumas amostras da suíte de alto-K não plotam no diagrama, exceção para uma amostra (ECII-IV-50). Mas ao analisar a tabela de dados químicos pode se observar um teor de K₂O > 5 em %peso, e também utilizando um diagrama tipo Harker de SiO₂ x K₂O com uma escala maior, podem-se visualizar as amostras (Fig. 5.6b).

A amostra ECII-98-1-15A, segundo o diagrama de Le Maitre (*op cit*), foi classificada como sendo da série cálcio-alcalina de baixo-K ou toleítica, e como foi visto no diagrama AFM na Figura 5.2b, a amostra aparenta ter compatibilidade com as rochas básicas. Assim ela será incluída na série toleítica.

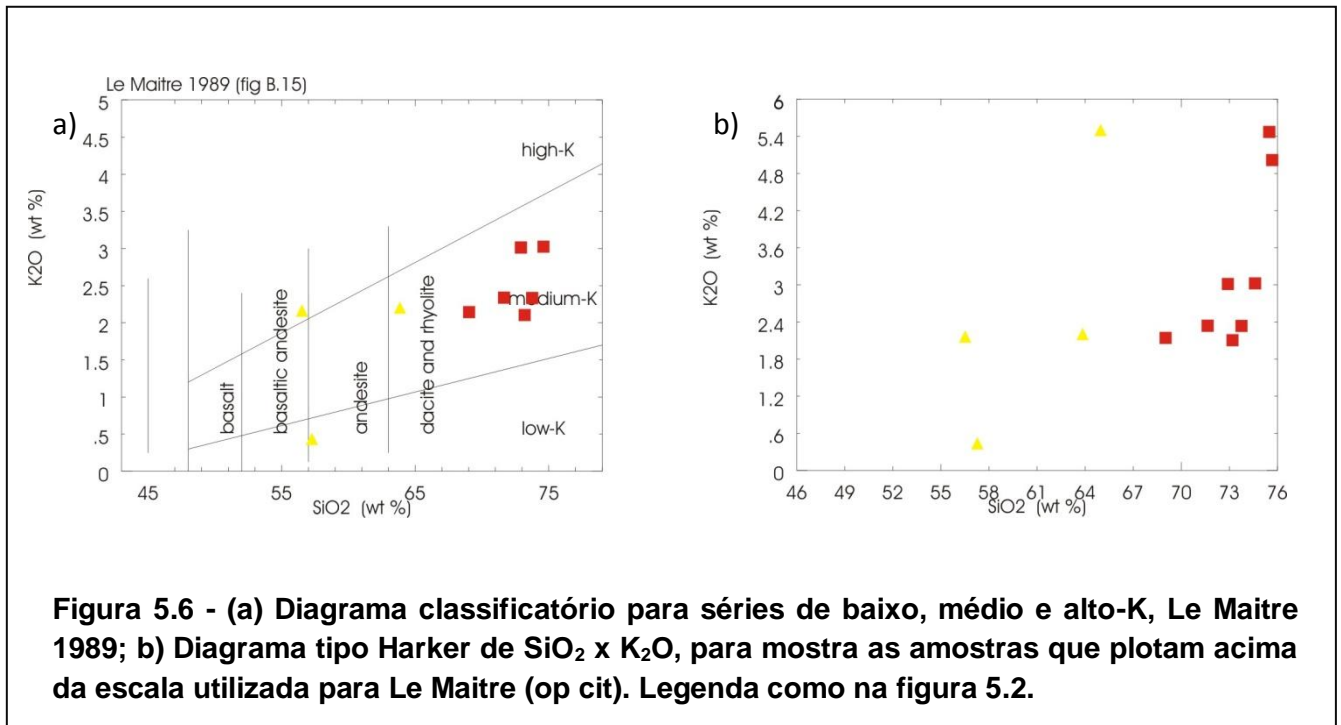
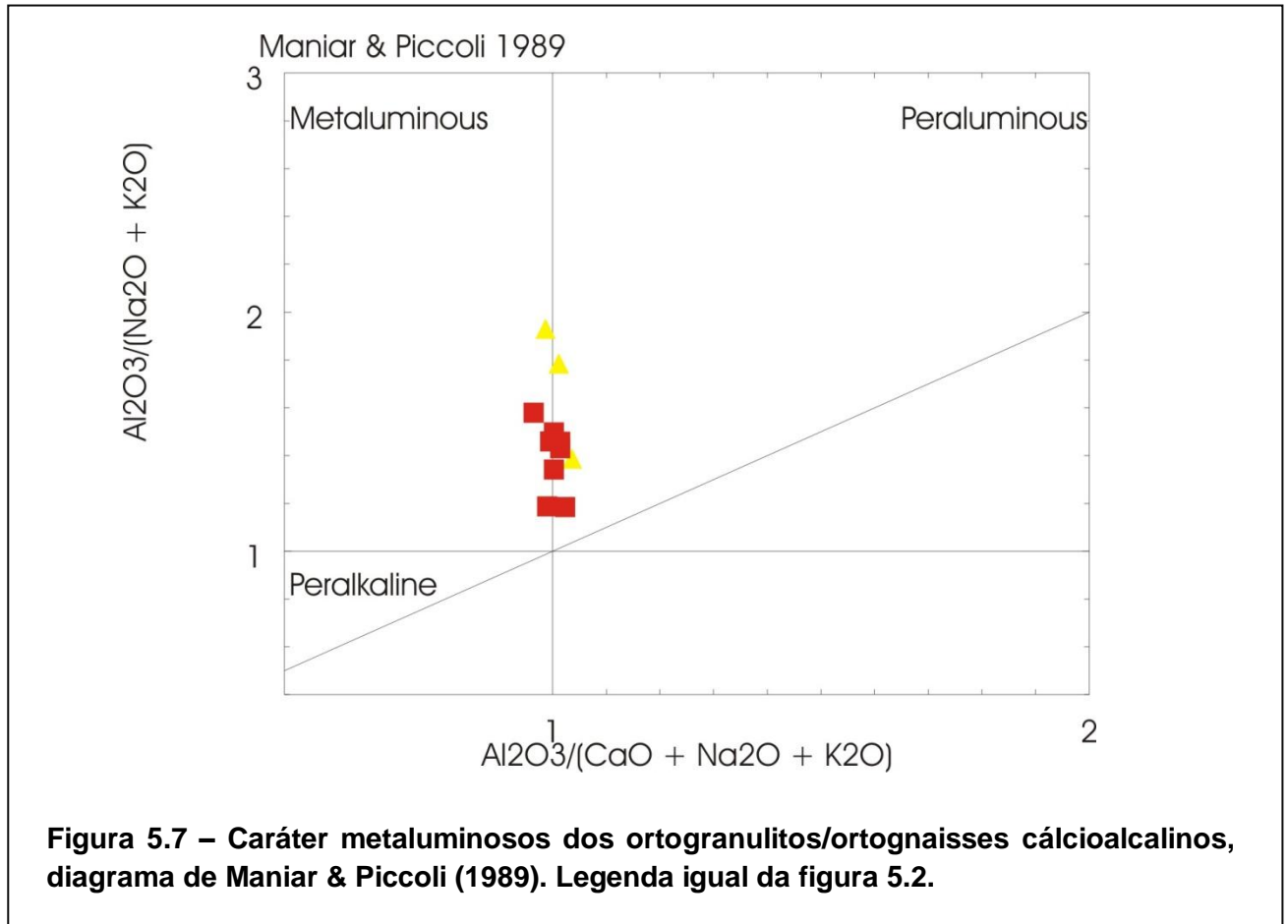
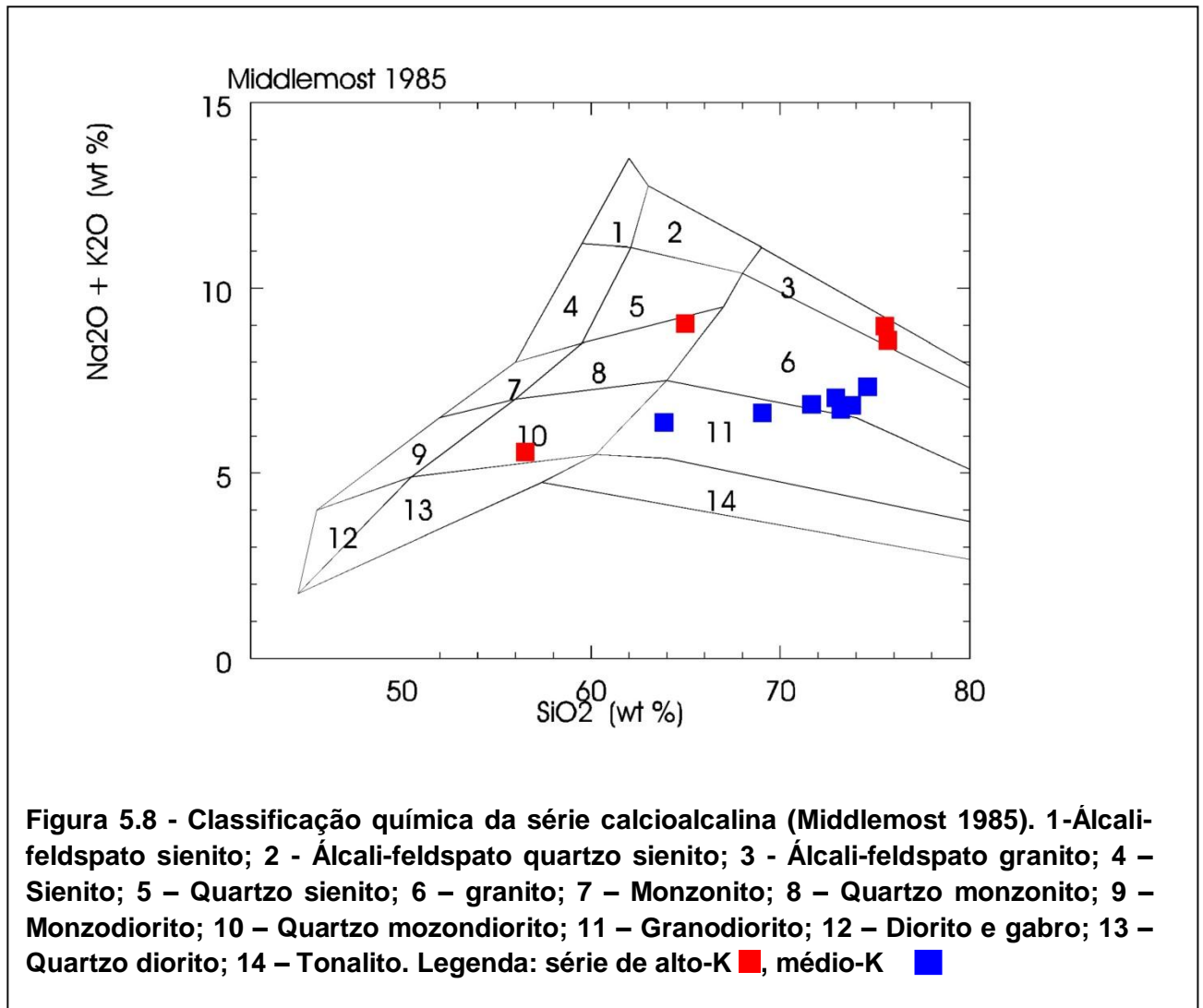


Figura 5.6 - (a) Diagrama classificatório para séries de baixo, médio e alto-K, Le Maitre 1989; b) Diagrama tipo Harker de SiO_2 x K_2O , para mostra as amostras que plotam acima da escala utilizada para Le Maitre (op cit). Legenda como na figura 5.2.

Pelo índice de saturação em alumina (**IAS**) ou índice de Shand, diagrama de Maniar & Piccoli (1989), os granulitos cálcioalcalinos são classificados como metaluminosos, mostrando que seus protólitos tratam-se de granitóides do Tipo I Cordilheirano (Pitcher 1983). Esta característica é corroborada pela presença de hornblenda, mineral pobre em Al_2O_3 e estável em rochas com **IAS** até próximo de 1,1 (Figura 5.7).



O diagrama de Middlemost (1985) da Figura 5.8, classifica quimicamente as rochas da série calcioalcalina de alto-K como álcali-feldspato granito, quartzo monzonito e quartzo monzodiorito. As rochas da série de médio-K constituem-se de granitos e granodioritos.



A título de comparação, abaixo é apresentada a tabela 5.3, com as classificações dos litotipos adotadas em campo, com base na petrografia e na litogeoquímica.

Tabela 5.3 – Comparação da classificação adotada em campo com a classificação litogeoquímica e modal para as rochas do CJF na região de Três Rios.

Amostras	Coordenadas do ponto	Classificação de campo	Classificação modal	Série magmática	Classificação litogeoquímica
TR-JEF-01	0688766 7554730	Básica	Basalto	Toleítica	Basalto
TR-JEF-01A	0688766 7554730	Intermediária	Granodiorito	Médio-K	Granito
TR-JEF-01C1	0688766 7554730	Félsica	Granodiorito	Médio-K	Granito
JA- 17-JEFA	0662741 7540743	Básica	Basalto	Alcalina	Traquibasalto
JA -17-JEFB	0662741 7540743	Básica c/ granada	Basalto	Toleítica	Traquiandesito basáltico
JA -17-JEFC	0662741 7540743	Félsica	Quartzo sienito	Alto-K	Quartzo-monzonito
JA -17-JEFD	0662741 7540743	Intermediária	Tonalito	Médio-K	Granodiorito
TR-JEF-03A	0690154 7553449	Básica	Basalto	Toleítico	Basalto
TR-JEF-03B	0690154 7553449	Félsica	Monzogranito	Alto-K	Álcali-feldspato- granito
TR-JEF-03C	0690154 7553449	Intermediária	Granodiorito	Médio-K	Granito
TR-JEF-04A	0693570 7555105	Félsica	Sienogranito.	Alto-K	Álcali-feldspato- granito
TR-JEF-04B	0693570 7555105	Intermediária	Granodiorito	Médio-K	Granito
TR-JEF-04C	0693570 7555105	Intermediária	Granodiorito	Médio-K	Granito
ECII-97-III-11	0681550 7549667	Básica	Basalto	Toleítico	Traquiandesito basáltico
ECII-98-I-15A	0698993 7558756	Intermediária	Quartzo dioritos/ Quartzo gabros	Toleítico	Andesito
ECII-98-IV-50	0694507 7557514	Básica	Quartzo dioritos/ Quartzo gabros	Alto-K	Quartzo- monzodiorito
ECII-97-I-10F	0690112 7553298	Básica	Basalto	Toleítico	Basalto
ECII-98-I-10	Entre as coordenadas 0695453/7557216 e 0696541/7558365	Intermediária	Granodiorito	Médio-K	Granodiorito

5.3 – Ambientes Geotectônicos

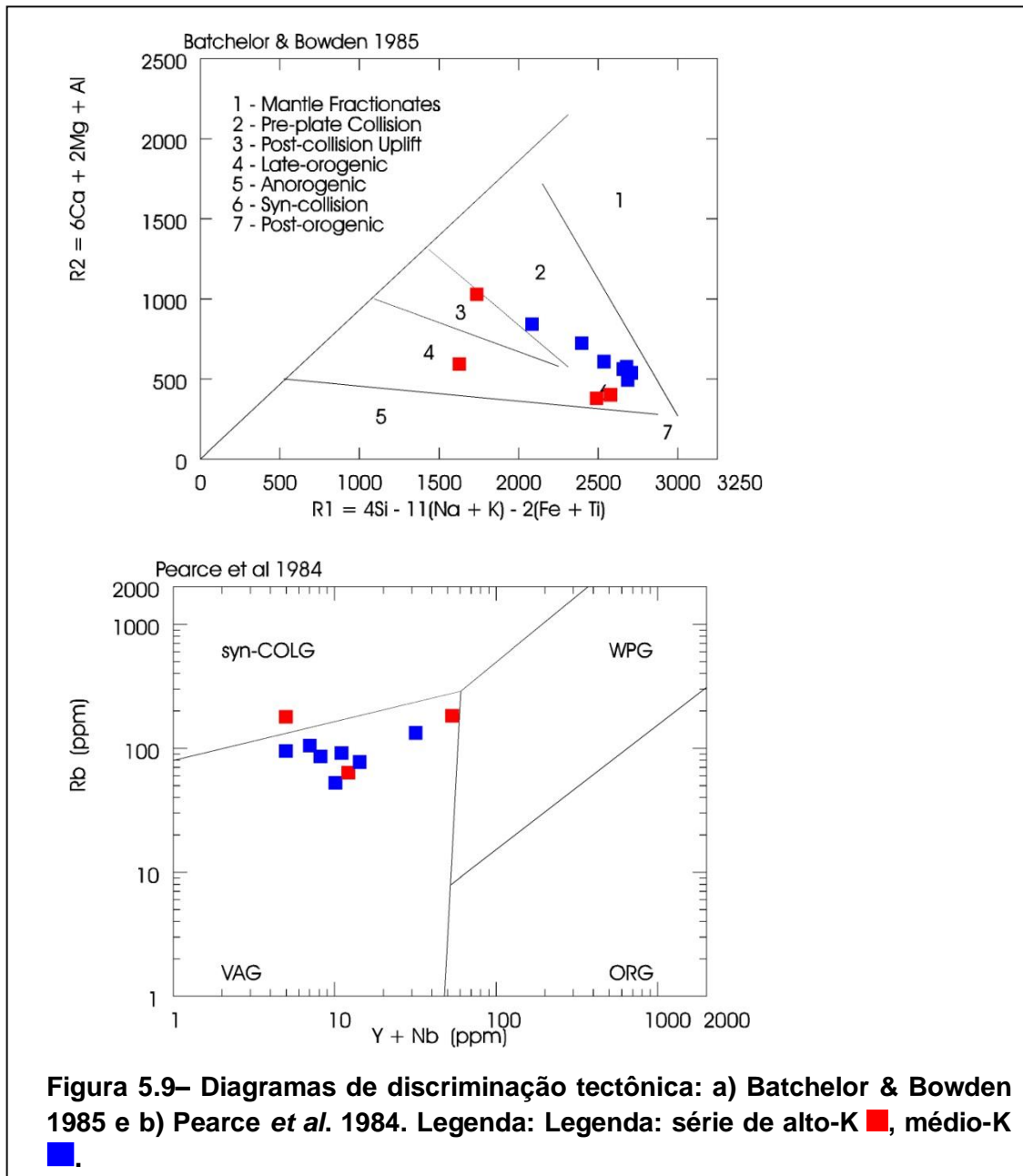
5.3.1 – Ortogranulitos/Ortognaisses da Série Cálcioalcalina

Para discriminação dos ambientes tectônicos das rochas cálcioalcalinas foram utilizados os diagramas de Pearce *et al.* (1984) e Batchelor & Bowden (1985).

O diagrama de Pearce *et al.* (op cit) é utilizado na distinção de granitos de arcos de ilha, de áreas de colisão continental, de cadeia meso-oceânicas e de domínio intraplaca. Os autores consideram os elementos traços Rb, Y (ou Yb) e Nb (ou Ta) como os mais efetivos para a determinação dos ambientes tectônicos para os granitos.

Também de uso freqüente na discriminação dos granitos de diferentes ambientes geotectônicos é o diagrama R1x R2 de Batchelor & Bowden (1985). Segundo os autores, o diagrama pode evidenciar a tendência evolutiva da fonte durante um ciclo orogênico, que começaria no campo 2, passando para o 3 e terminando no campo 4. Esta progressiva mudança reflete, na opinião dos autores, um aumento de Na₂O e K₂O, e poderia estar relacionada a uma origem em comum. Os granitos menos evoluídos situam-se próxima à bissetriz e à medida que evoluem, tendem a ir para o canto direito do diagrama.

Como mostra a Figura 5.9, as rochas cálcioalcalinas representam rochas de arco vulcânico (Fig. 5.9b, Pearce *et al.*, 1984) de diferentes estágios orogênicos. As rochas da série de médio-K estariam relacionadas a ambientes pré-colisionais, enquanto que as rochas da série de alto-K representariam os estágios finais da colisão (Fig. 5.9a, Batchelor & Bowden 1985).

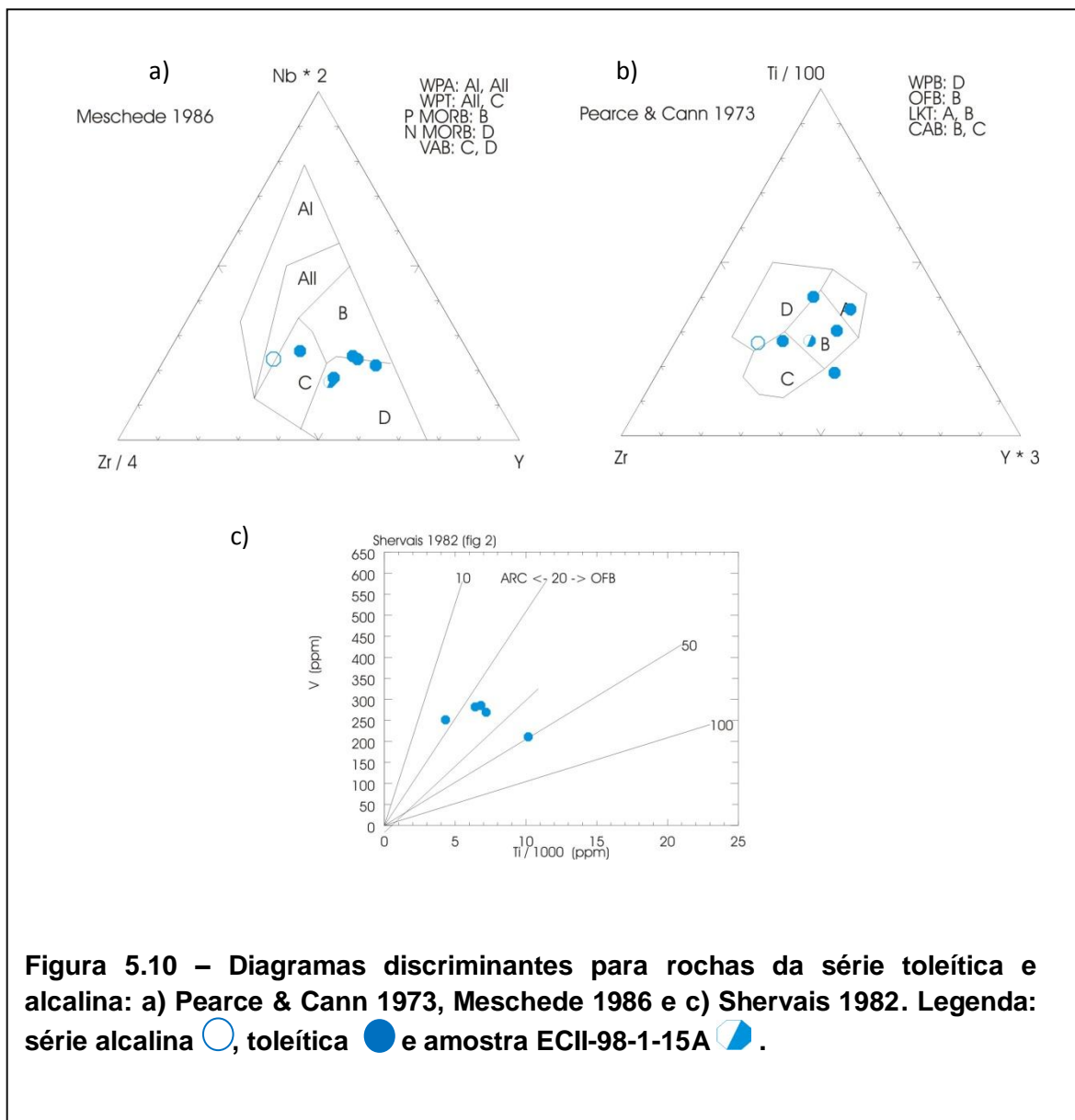


5.3.2 - Ortogranulitos das Séries Toleítica e Alcalina

As rochas básicas foram trabalhadas em diversos tipos de diagramas tectono-magmáticos para basaltos que se utilizam de elementos imóveis na determinação do ambiente geodinâmico.

Na Figura 5.10 pode-se observar que a amostra JA-17-JEFA, definida pela norma CIPW (Cox *et al.*, 1979) e pelo diagrama de Winchester & Floyd (*op cit*), como basaltos alcalinos, plota no campo dos basaltos intraplaca (Figura 5.10 a e b). A análise conjunta dos diagramas nos leva a interpretação que os protólitos dos ortogranulitos máficos alcalinos foram formados em ambiente intraplaca.

As rochas da série toleítica foram definidas pelos digramas de Meschede (1986), Pearce & Cann (1973) e Shervais (1982) como basaltos de fundo oceânico para quase todas as amostras estudadas (Fig. 5.10). Duarte *et al.* 1997, publicaram dados para as rochas básicas da série toleítica da região de Juiz de Fora que corrobora com esta interpretação. A amostra intermediária (ECII-98-1-15A) foi incluída no grupo das rochas toleíticas a partir diagrama da figura 5.6, assim, resolveu-se estudá-la em conjunto com as rochas básicas. Segundo os diagramas de Meschede (*op cit*) e Pearce & Cann (*op cit*) ela pode representar uma rocha de arco vulcânico de baixo-K ou de fundo oceânico.



5.4 - Estudo Petrogenético com Base em Elementos Terras Raras (ETRs)

A abordagem petrogenética utilizando ETRs, fez se necessária para distinção de prováveis grupos cogenéticos entre as amostras estudadas do CJF na região de Três Rios.

Os teores de ETRs foram normalizados para o condrito de Boynton (1984) e assim calculada a razão La/Yb_N .

Vale ressaltar que dentro de uma suíte magmática a variação de elementos incompatíveis idealmente não oscila mais que 1,5 vezes, sendo este o critério utilizado no agrupamento de rochas com uma possível origem em comum.

A análise petrográfica também será um parâmetro a considerar nesse estudo petrológico de ETRs, pois apenas a divisão com base nas razões La/Yb_N não é suficiente para afirmar a cogeneticidade entre as amostras.

A análise consistiu na distinção de possíveis suítes dentre as séries cálcioalcalinas de alto e médio-K e da série toleítica. A série alcalina não pode ser investigada por apresentar apenas uma amostra, mas mesmo assim é apresentado seu aranhograma para que se possa observar o padrão de distribuição de ETRs.

A Tabela 5.4 apresenta valores das razões La/Yb_N , das anomalias de Eu/Eu^* e o conteúdo de SiO_2 e MgO de cada amostra das diferentes séries, identificadas para os ortogranulitos/ortognaisses do CJF da região de Três Rios, RJ.

Também foi elaborada uma tabela com as razões La/Yb_N normalizadas (Boynton, *op cit*) de basaltos de diversos ambientes tectônicos modernos que estão disponíveis na literatura (Wilson, 1991), para que se possa comparar com as rochas do CJF que estão sendo analisadas, e definir suas possíveis fontes (Tabela 5.5).

Tabela 5.4 – Relação das amostras de cada suíte magmática com os valores normalizados da razão La/Yb para o condrito de Boynton (1984).

Série cálcio-alcálica de alto-K				
Amostras	SiO ₂	MgO	La/YbN	Eu/Eu*
TR-JEF-03B	75,72	0,11	25,186	0,725
TR-JEF-04A	74,82	0,02	35,159	2,490
JA-17-JEFC	63,3	0,74	12,762	1,211
ECII-98-IV-50	55,9	5,6	8,983	2,371
Série cálcio-alcálica de médio-K				
TR-JEF-04C	74,49	0,29	43,498	1,075
TR-JEF-04B	73,62	0,39	48,681	0,874
TR-JEF-01-C1	73,05	0,53	92,63	1,127
TR-JEF-03C	71,65	0,44	54,090	1,311
TR-JEF-01A	70,76	0,51	84,854	0,471
ECII-98-I-10	67,61	1,18	29,412	1,005
JA-17-JEFD	62,32	2,02	21,25	0,787
Série toleítica				
ECII-98-I-15A	56,34	4,76	1,878	0,991
ECII-97-I-10F	50,7	5,41	3,864	0,721
ECII-97-III-11	50,65	8,76	5,291	0,805
JA-17-JEFB	50,44	5,47	4,344	0,510
TR-JEF-01	49,57	5,98	1,775	1,219
TR-JEF-03A	46,2	8,71	1,589	1,121
Série Alcalina				
JA-17-JEFA	48,97	5,73	13,117	1,015

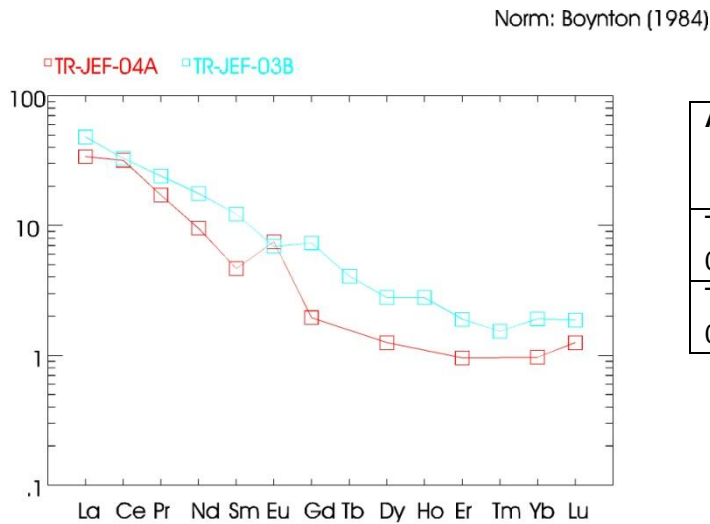
Tabela 5.5 - Razões La/Yb_N normalizados para o condrito de Boynton (1984) para basaltos de diversos ambientes. Fonte: Wilson (1991).

Ambiente Geodinâmico	La/Yb_N
Decan – Intraplaca continental	3,595
Paraná – Intraplaca continental	10,131
E-MORB	1,352
Kilauea – Intraplaca oceânico toleítico	4,576
Kohala – Intraplaca oceânico alcalino	8,342
Snake River Plain – Intraplaca continental	4,451
N-MORB	0,553

Série cálcio-alcalina de alto-K

Grupo I

Grupo representado pelas duas amostras de composição ácida da suíte de alto-K com fracionamento moderado (La/Yb_N : 25,186 - 35,159). Nota-se que as amostras apresentam maior enriquecimento em ETRL. Elas também apresentam mineralogia bem semelhante: quartzo, plagioclásio e K-feldspato, predominantemente. Diferenciam-se em relação às anomalias de Eu ($Eu/Eu^* = 0,725 - 2,49$ – Fig. 5.11).

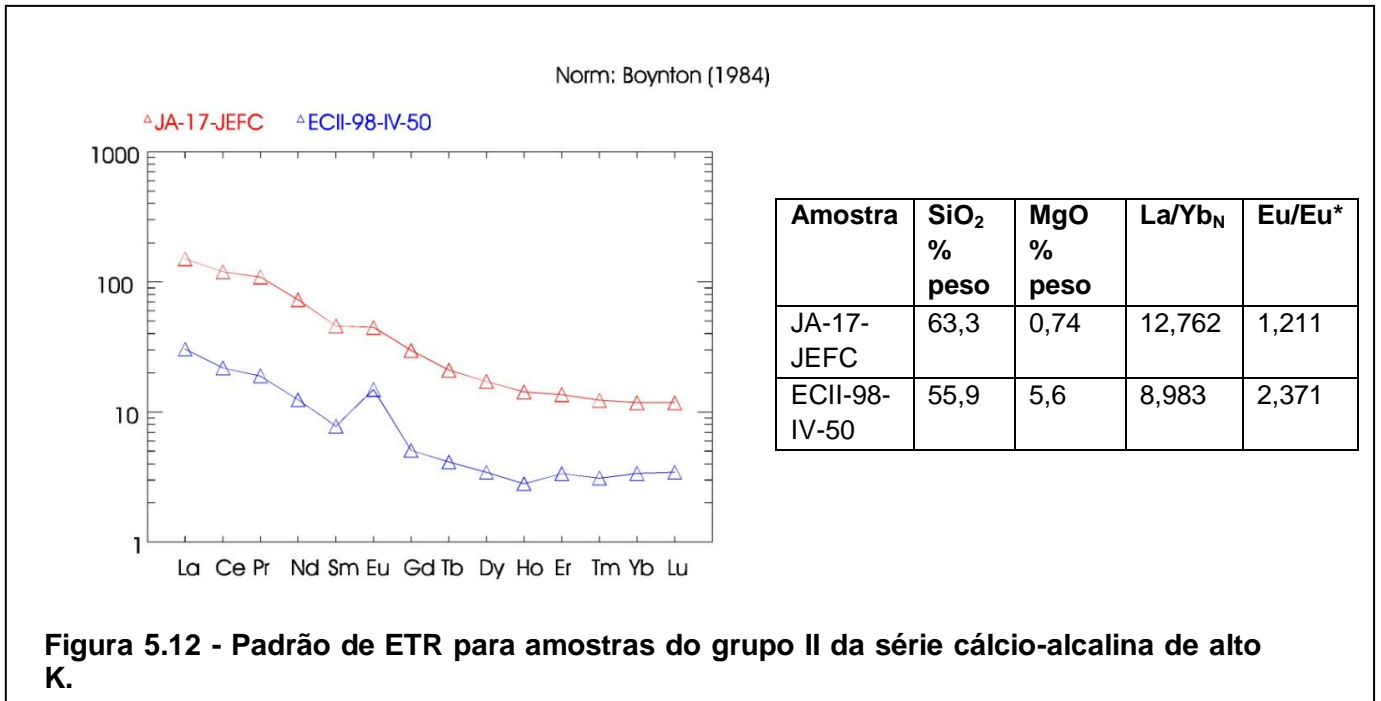


Amostra	SiO ₂ % peso	MgO % peso	La/Yb _N	Eu/Eu*
TR-JEF-03B	75,72	0,11	25,186	0,725
TR-JEF-04A	74,82	0,02	35,159	2,490

Figura 5.11 - Padrão de ETR para amostras do grupo I da série cálcio-alcalina de alto K.

Grupo II

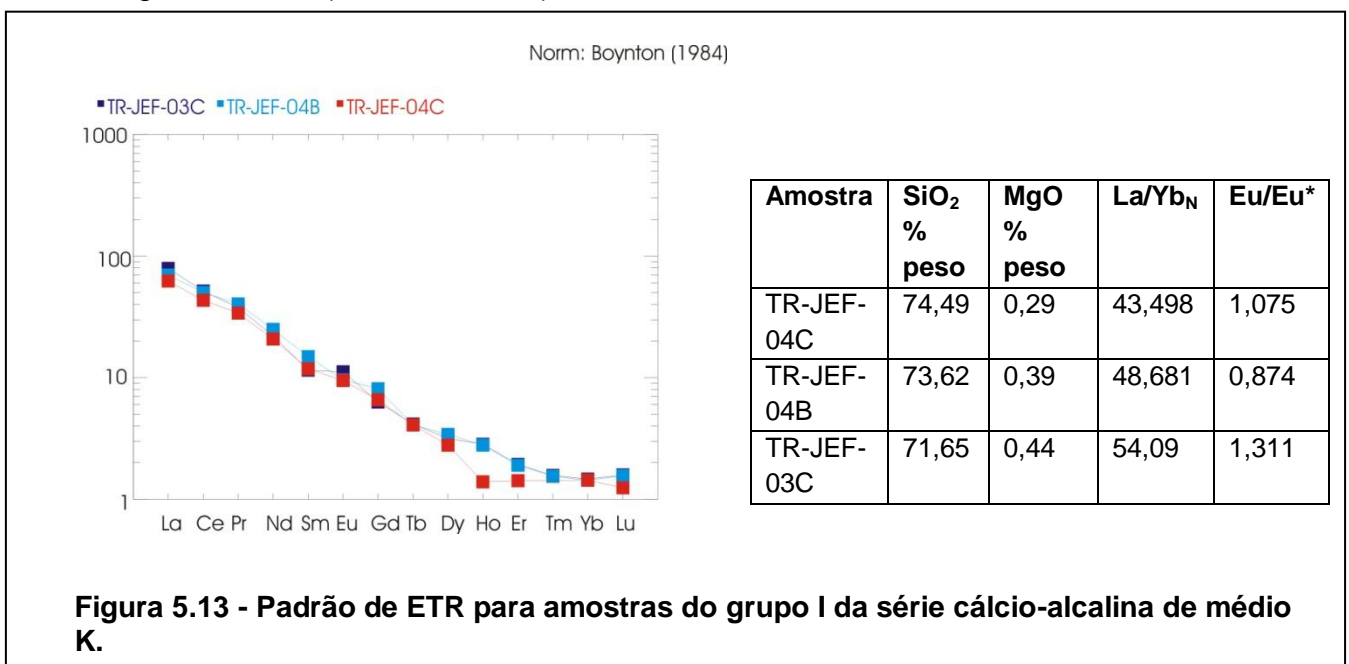
Este grupo é representado pelas amostras de composição intermediárias, com razões moderadas de La/Yb_N (12,762 – 8,983). As duas amostras apresentam maior enriquecimento em ETRL, numa proporção de aproximadamente, 150 a 30 vezes o condrito de Boynton (1984), como mostra a figura 5.12. A amostra JA-17-JEFC é a mais enriquecida em ETRs e que conseqüentemente é a que possui maior teor de sílica (mais evoluída, como também revela seu conteúdo de MgO). Elas apresentam anomalias positivas de Eu (Eu/Eu* = 1,211 – 2,371).



Série cálcio-alcálica de médio-K

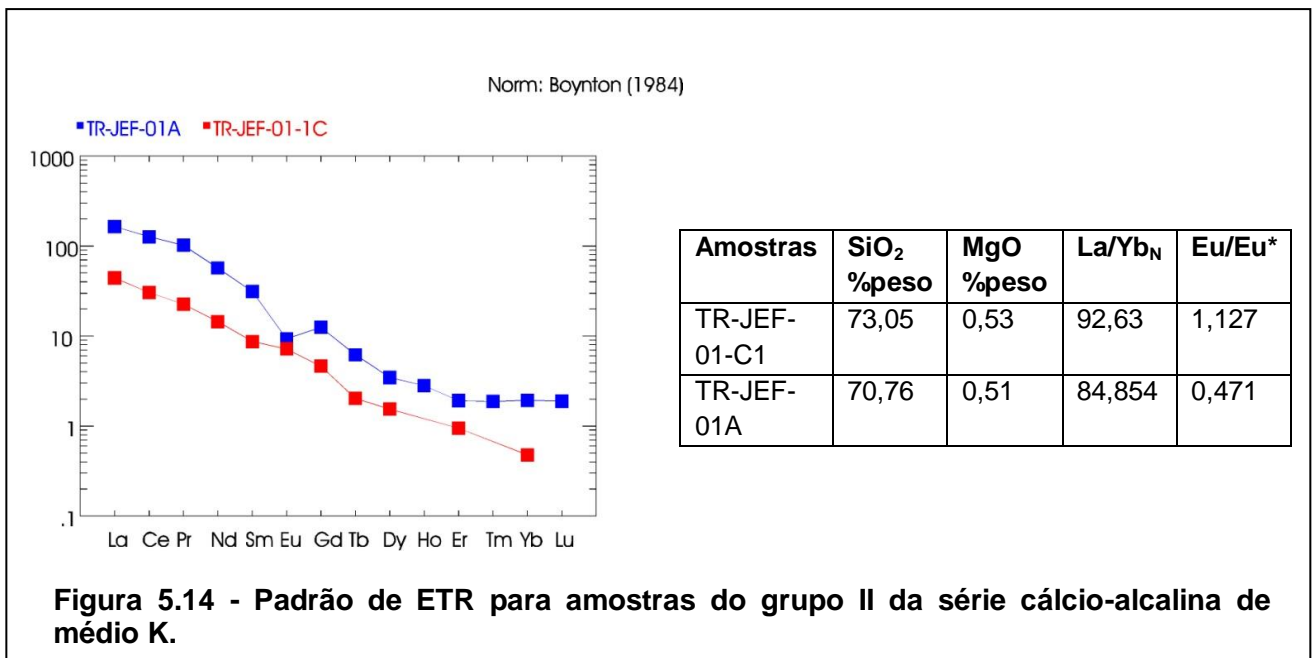
Grupo I

Esse grupo apresenta um padrão de ETRs muito semelhante, como pode ser visualizado no diagrama (Fig. 5.13), com razões La/Yb_N entre 43 a 54. Se pode notar que não há aumento da razão em relação ao aumento de SiO₂, como mostra a tabela ao lado. A amostra TR-JEF-04B se diferencia das outras pela sutil anomalia negativa de Eu (Eu/Eu* = 0.874).



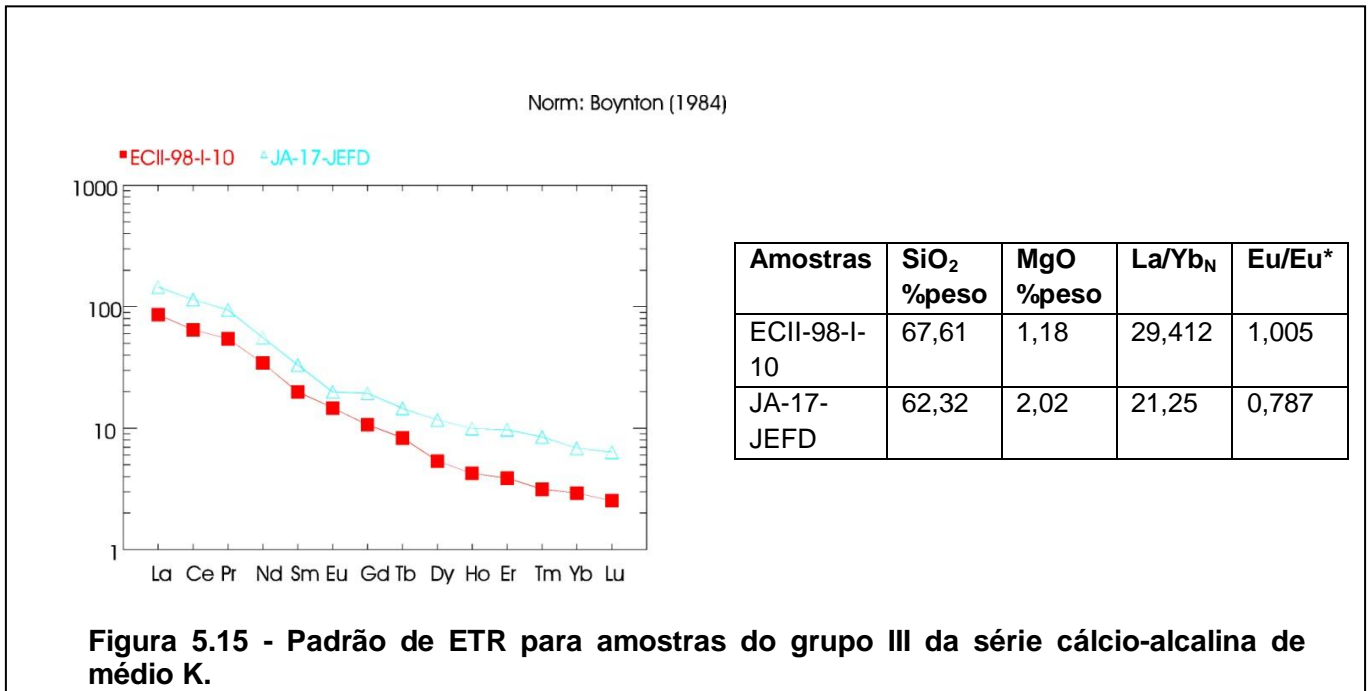
Grupo II

Esse grupo apresenta altas razões La/Yb_N (92,63 – 84,854). Mesmo com a diferença entre as anomalias de Eu, tendo a amostra TR-JEF-01-C1, anomalia ligeiramente positiva ($\text{Eu/Eu}^* = 1,127$) e a TR-JEF-01 anomalia negativa ($\text{Eu/Eu}^* = 0,471$), elas possuem o mesmo padrão, sendo mais enriquecidas em ETRL do que as ETRP. Uma curiosidade é que essas amostras foram coletadas no mesmo ponto (TR-JEF-01- Fig. 5.14).



Grupo III

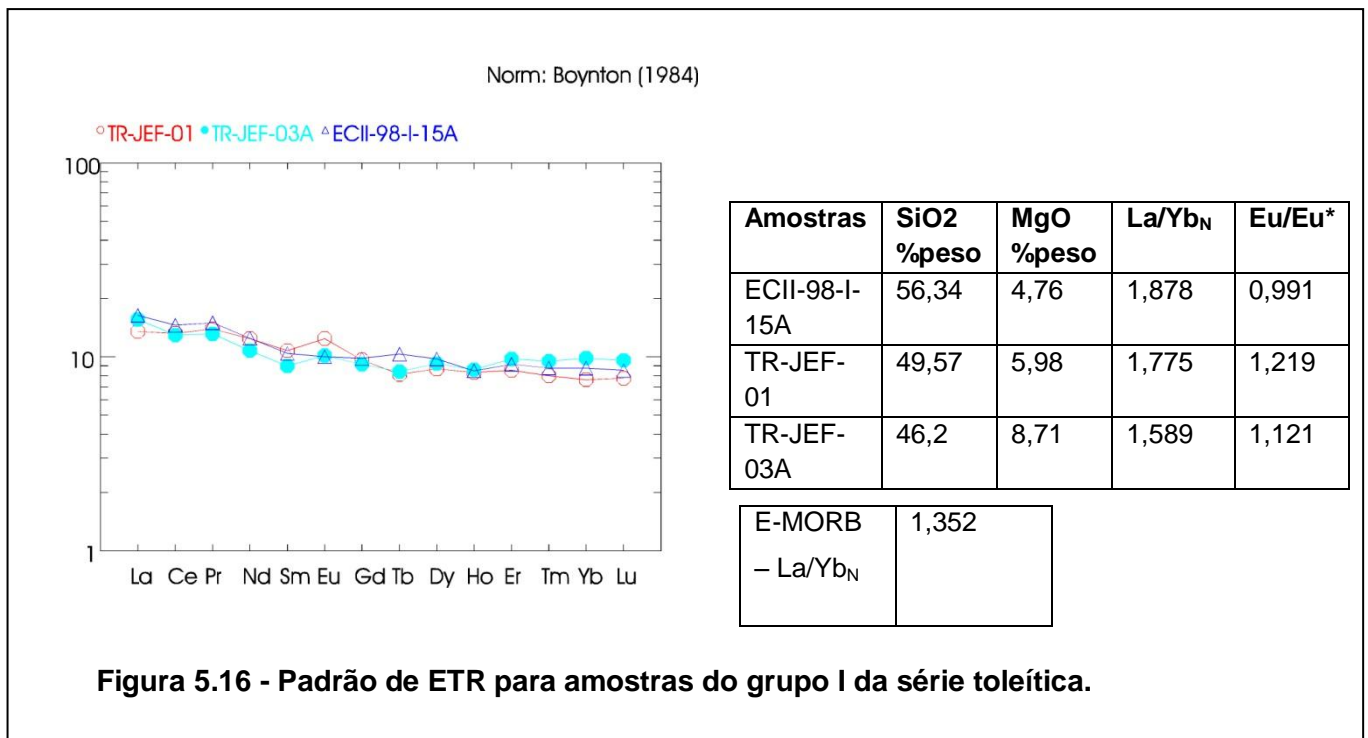
O grupo III é representado por amostras de composições intermediárias, com razões La/Yb_N moderadas (29,412 - 21,25). Nota-se o aumento das razões La/Yb_N em relação ao conteúdo de SiO_2 . As amostras apresentam ligeiras anomalias, tanto positivas quanto negativas de Eu ($\text{Eu/Eu}^* = 1,005 - 0,787$). Possuem um padrão de ETRs muito semelhante, sendo mais enriquecidas em ETRL (Fig. 5.15).



Série Toleítica

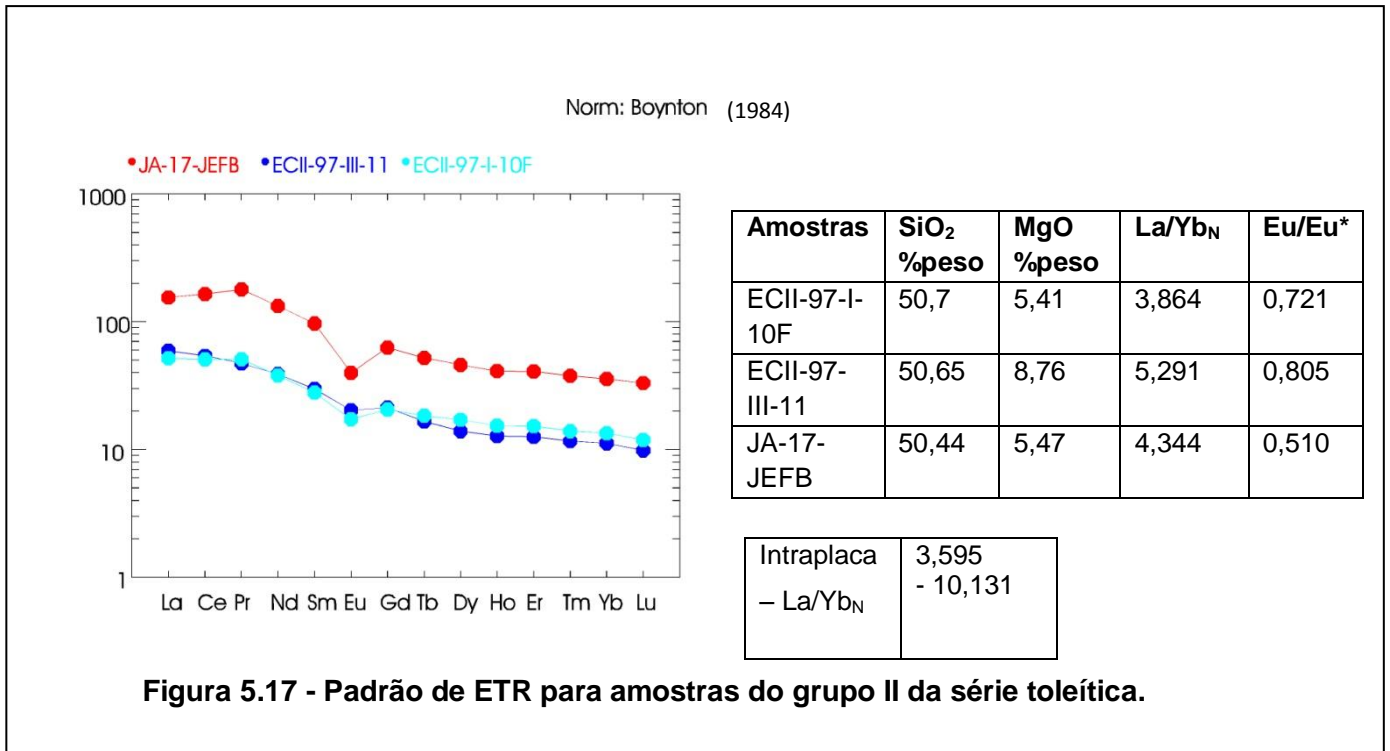
Grupo I

Nesse grupo são encontradas as amostras ECII-98-I-15A e TR-JEF-03A, que no início do estudo, foram consideradas cálcioalcalinas e alcalina, respectivamente, e a amostra TR-JEF-01. Todas as amostras desse grupo apresentam um padrão horizontal de ETRs, com ligeiras anomalias positivas de Eu ($Eu/Eu^* = 0,991 - 1,219$), como mostra a figura 5.16, suas razões La/Yb_N (1,589 – 1878) são baixas e semelhantes com a razão La/Yb_N de E-MORB (Humphirs *et al.* 1985, in: Wilson, 1991 – Tabela 5.4) normalizado para o condrito de Boynton-1984.



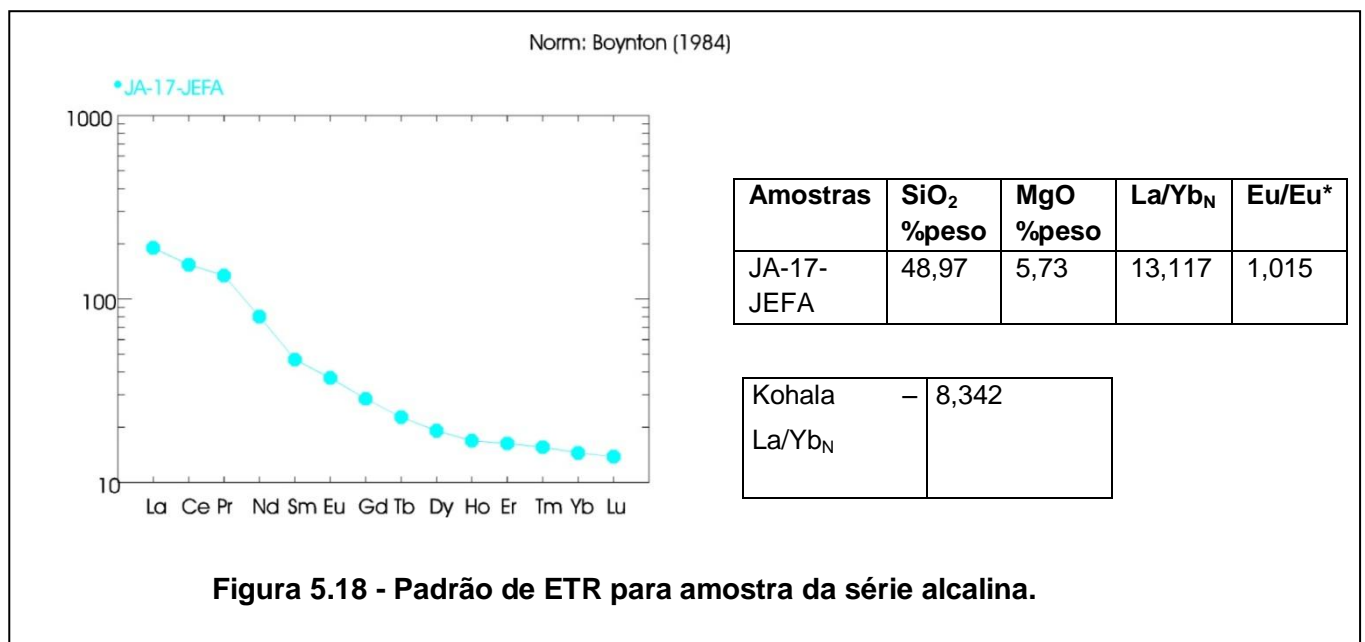
Grupo II

Esse grupo apresenta razões La/Yb_N (3,864 - 5,291) mais fracionada que o grupo I da série toleítica. Percebe-se um aumento de La/Yb_N em relação ao conteúdo de MgO. As amostras ECII-97-I-10F e ECII-97-III-11 possuem padrão de ETRs idênticos, com leves anomalias negativas de Eu (Eu/Eu* = 0,721- 0,805). Já a amostra JA-17-JEFB é mais enriquecida em ETRs do que as demais amostras e possui uma anomalia negativa mais acentuada de Eu (Eu/Eu* = 0,510), mas apresenta um padrão semelhante, com uma proporção de aproximadamente 150 a 20 vezes o condrito de Boynton (1984), de ETRL para ETRP. Os valores das razões La/Yb_N das amostras são semelhantes com as razões La/Yb_N dos basaltos do Kilauea e Snake River Plain (Wilson, 1991 – Tabela 5.4), intraplaca oceânico e Intraplaca continental, respectivamente (Fig. 5.17).



Série alcalina

O diagrama dessa amostra é apresentado para que se possa visualizar o padrão de ETRs. O que pode ser notado é que ela possui uma grande depleção de ETRP e enriquecimento em ETRL, sendo um padrão semelhante com os basaltos intraplaca oceânico tipo Kohala (Wilson, 1991- Fig. 5.18).



As possíveis suítes definidas para a série cálcioalcalina de alto-K, são mais enriquecidas em ETRL, possuem razões La/Yb_N moderadas (8,983 – 35,159) e no geral apresentam anomalias positivas de Eu, exceto uma amostra (TR-JEF-03B).

A série cálcioalcalina de médio-K é a que possui maior número de amostras, sendo definidas três possíveis suítes. Possuem razões La/Yb_N moderadas a alta (21,25 – 92,63), são mais enriquecidas em ETRL do que em ETRP e apresentam anomalias tanto positivas quanto negativas de Eu.

No geral, os grupos da série toleítica apresentam padrões de ETRs horizontais, com razões baixas de La/Yb_N . No grupo I todas as amostras possuem anomalias positivas de Eu e pela suas razões La/Yb_N sua fonte deve ser do tipo E-MORB. O grupo II é mais fracionado que o grupo I, com razões La/Yb_N pouco mais elevadas e com anomalias negativas de Eu, suas razões La/Yb_N indicam magmatismo toleítico intraplaca oceânico ou continental, tipo Kilauea ou Snake River, respectivamente.

5.5 – Comparação dos Dados Litogeoquímicos dessa Dissertação com os Dados Encontrados na Literatura sobre o Complexo Juiz de Fora

Um dos objetivos dessa dissertação é a comparação dos dados litogeoquímicos do CJF que estão disponíveis na literatura com os dados que foram gerados nesse trabalho.

Foram escolhidos para fim de comparação os dados de Duarte (1998) da região de Juiz de Fora, MG, e os dados de Dios (1995) da Unidade Ponte de Zinco na região de Mangaratiba, RJ, que fora associada ao CJF.

Com a posse dos dados desses autores, foram calculadas as razões La/Yb_N normalizadas para o condrito de Boynton (*op cit*) de cada série magmática, exatamente como foi feito com as amostras estudadas nesse trabalho, e assim, as razões foram comparadas com as possíveis suítes definidas nessa dissertação. As razões La/Yb_N de Dios (*op cit*) e Duarte (*op cit*) de cada série magmática são apresentadas a seguir nas tabelas 5.6 e 5.7.

Tabela 5.6 – Razões La/Yb_N das amostras do CJF de Duarte (1998) e Dios (1995) das séries cálcio-alcálicas de médio e alto-K.

Série cálcio-alcálica de alto-K de Duarte (1998)		Série cálcio-alcálica de alto-K de Dios (1995)	
Amostras	La/Yb _N	Amostras	La/Yb _N
MB-15B	57,401	313-B	55,589
JF-(MB)-32A	11,351	316	48,808
JF-(MB)-32C	13,523	314-D	31,449
MB-241A	75,244	_____	_____
MB-514E	228,081	_____	_____
MB-151B	67,478	_____	_____
MB-32B	30,739	_____	_____
MB-151A	71,501	_____	_____
Série cálcio-alcálica de médio-K de Duarte (1998)		Série cálcio-alcálica de médio-K de Dios (1995)	
Amostras	La/Yb _N	Amostras	La/Yb _N
MB-99D	11,043	314-A	17,687
MB-19	38,160	314-G	13,409
MB-145B	6,677	314-J	24,855
CM-MB-287D	13,260	314-B	11,139
MB-514A	40,399	_____	_____
MB-37	18,030	_____	_____

Vale ressaltar que é provável que nem todas as suítes deste complexo estejam representadas nos trabalhos de Dios (*op cit*) e Duarte (*op cit*), devendo-se levar em consideração a grande variedade composicional do CJF.

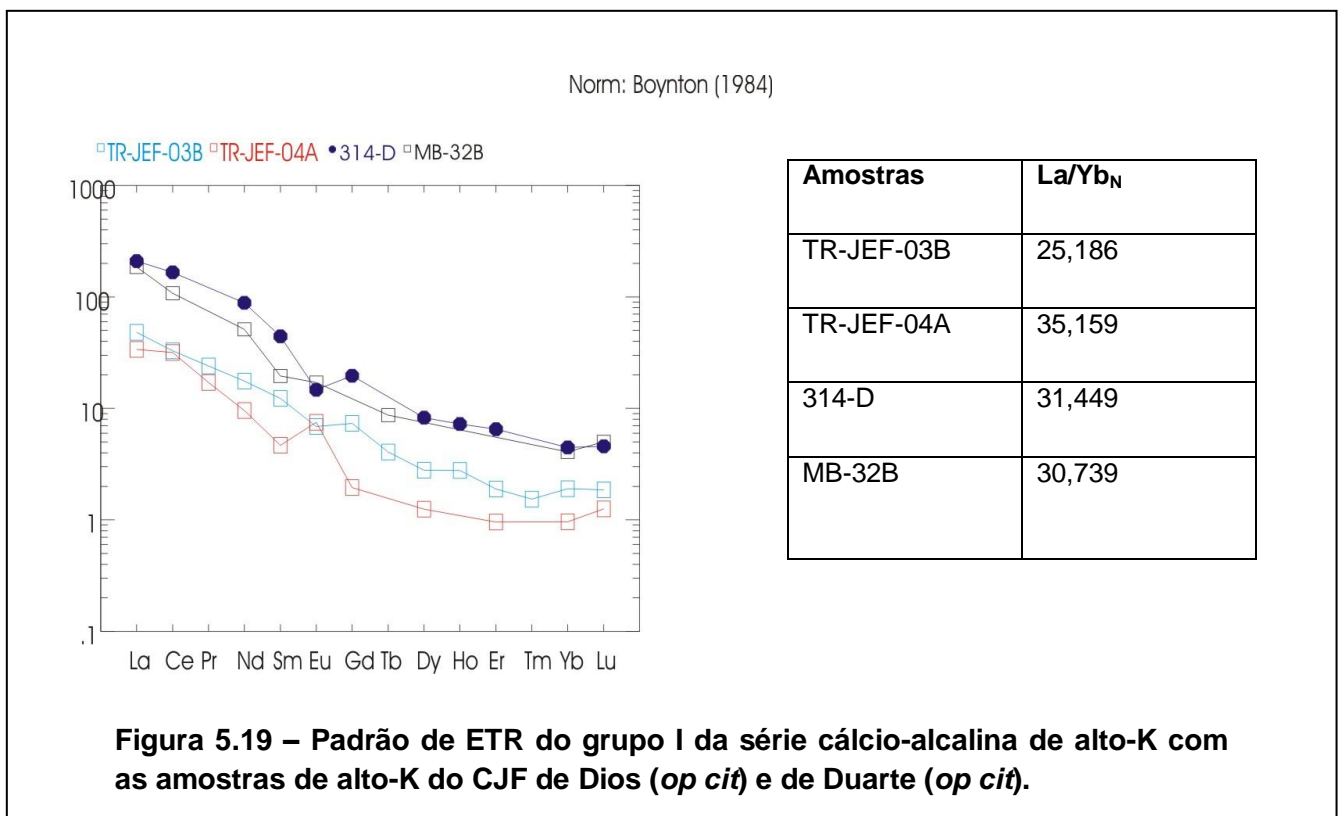
Porém, Duarte (*op cit*) parece possuir um conjunto de análises mais representativo do complexo, pois possui maior número de amostras analisadas.

5.5.1 – Comparação entre os Ortogranulitos/Ortognaisses das Séries de Cálcio-alcaldas

Série cálcio-alcaldina de alto-K

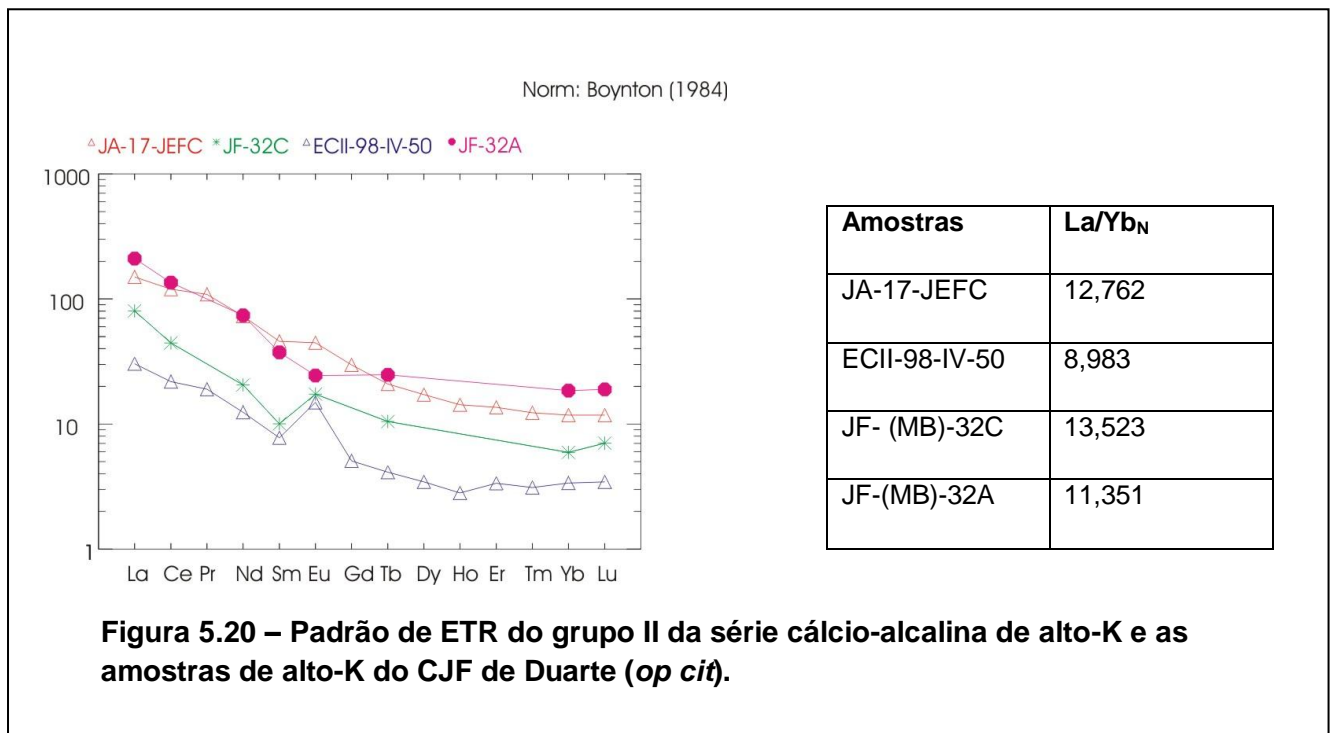
Grupo I

O grupo I da série cálcio-alcaldina de alto-K definido nesta dissertação possui razões La/Yb_N (25,186 - 35,159) compatíveis com as amostras 314-D e MB-32B de Dios (*op cit*) e Duarte (*op cit*), respectivamente. Como pode ser observado na tabela abaixo, essas amostras apresentam razões La/Yb_N moderadas (25,186 – 35,159) e o desenho no padrão ETR (Fig. 5.19) são muito semelhantes, sendo elas mais enriquecidas em ETRL do que em ETRP.



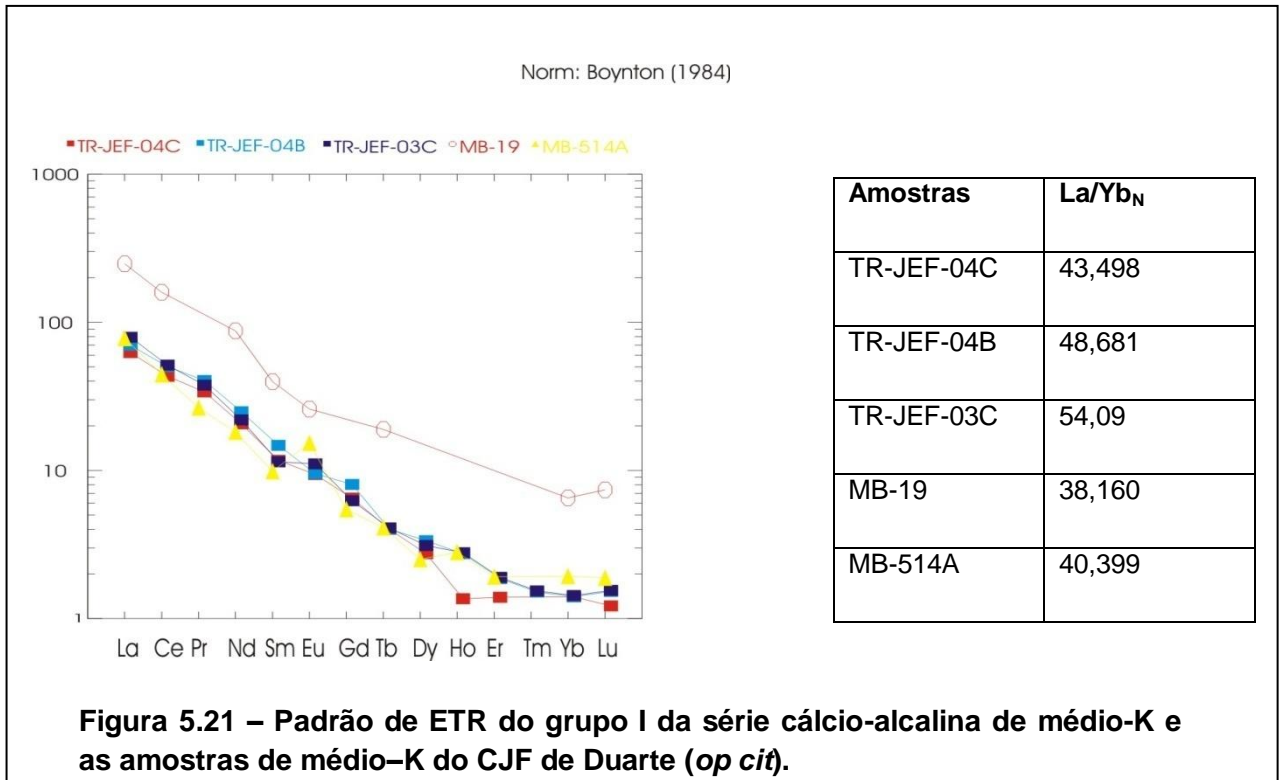
Grupo II

Apenas para as rochas de Duarte (*op cit*) são encontradas amostras que pareçam ser correlacionáveis com o grupo 2 da série cálcio-alcálica de alto-K definida nessa dissertação. Essas amostras são igualmente fracionadas ($La/Yb_N = 8,983 - 13,523$) tendo um conteúdo de La/Yb_N 30 a 200 vezes o condrito de Boynton (*op cit*) de ETRL para ETRP (Figura 5.20).



Série cálcio-alkalina de médio-K

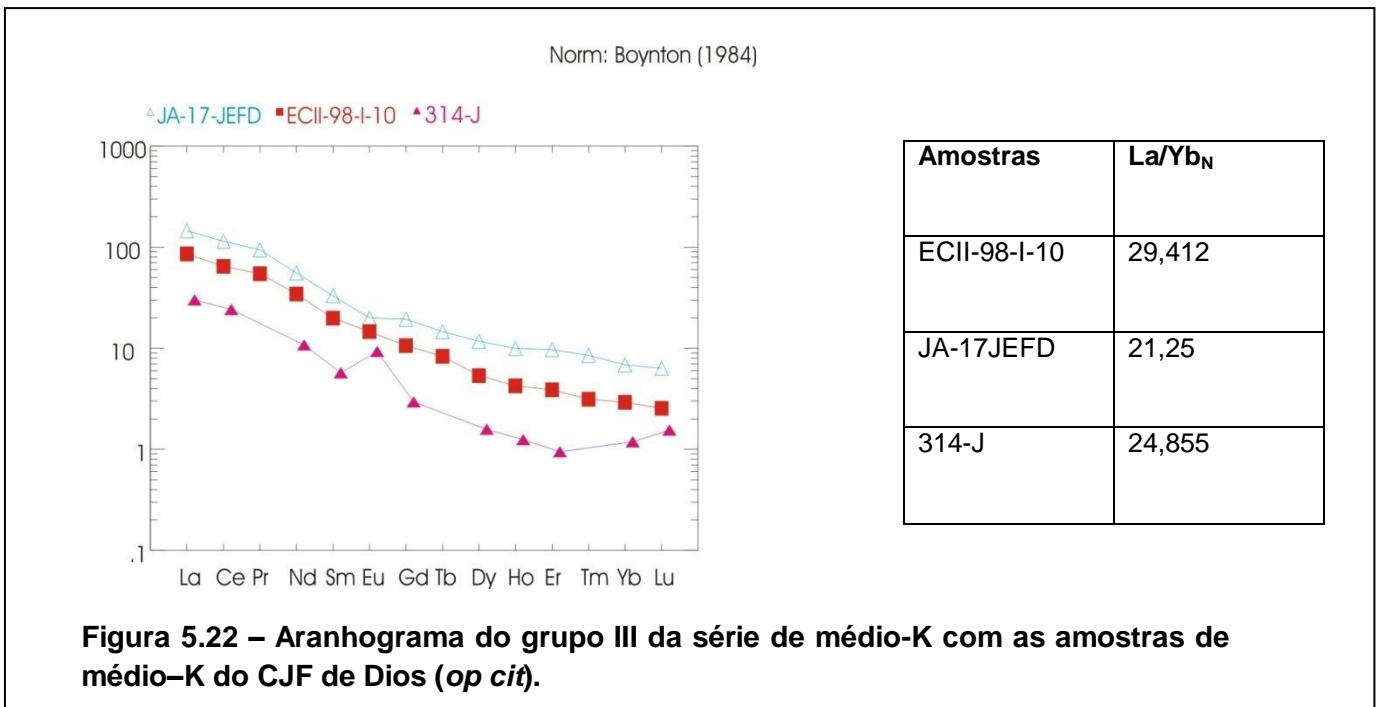
Grupo I



O grupo I da série cálcio-alkalina de médio-K definido nessa dissertação parece encontrar correlação com duas amostras (MB-19 e MB-514A) de Duarte (*op cit*), como mostra o padrão de ETR da figura 5.13. Este conjunto possui fracionamento moderado com razão La/Yb_N entre 38,16 a 54,09. A amostra MB-19 é mais enriquecida em ETR, mas a proporção de ETRL para ETRP é a mesma (Figura 5.21).

Grupo III

A amostra 314-J de Dios (*op cit*), possui razão La/Yb_N parecida com a possível suíte representada pelo grupo III da série de médio-K, que corresponde a uma faixa de 21,25 a 29,412, normalizados para o condrito de Boynton (*op cit*). A diferença é a anomalia de positiva de Eu* (Eu/Eu* = 2,490) que a amostra de Dios (*op cit*) possui (Figura 5.22).



5.5.2 – Comparação entre as séries Toleíticas

Tabela 5.7 – Razões La/Yb_N dos ortogranulitos do CJF da série toleítica de Duarte (1998) e Dios (1995).

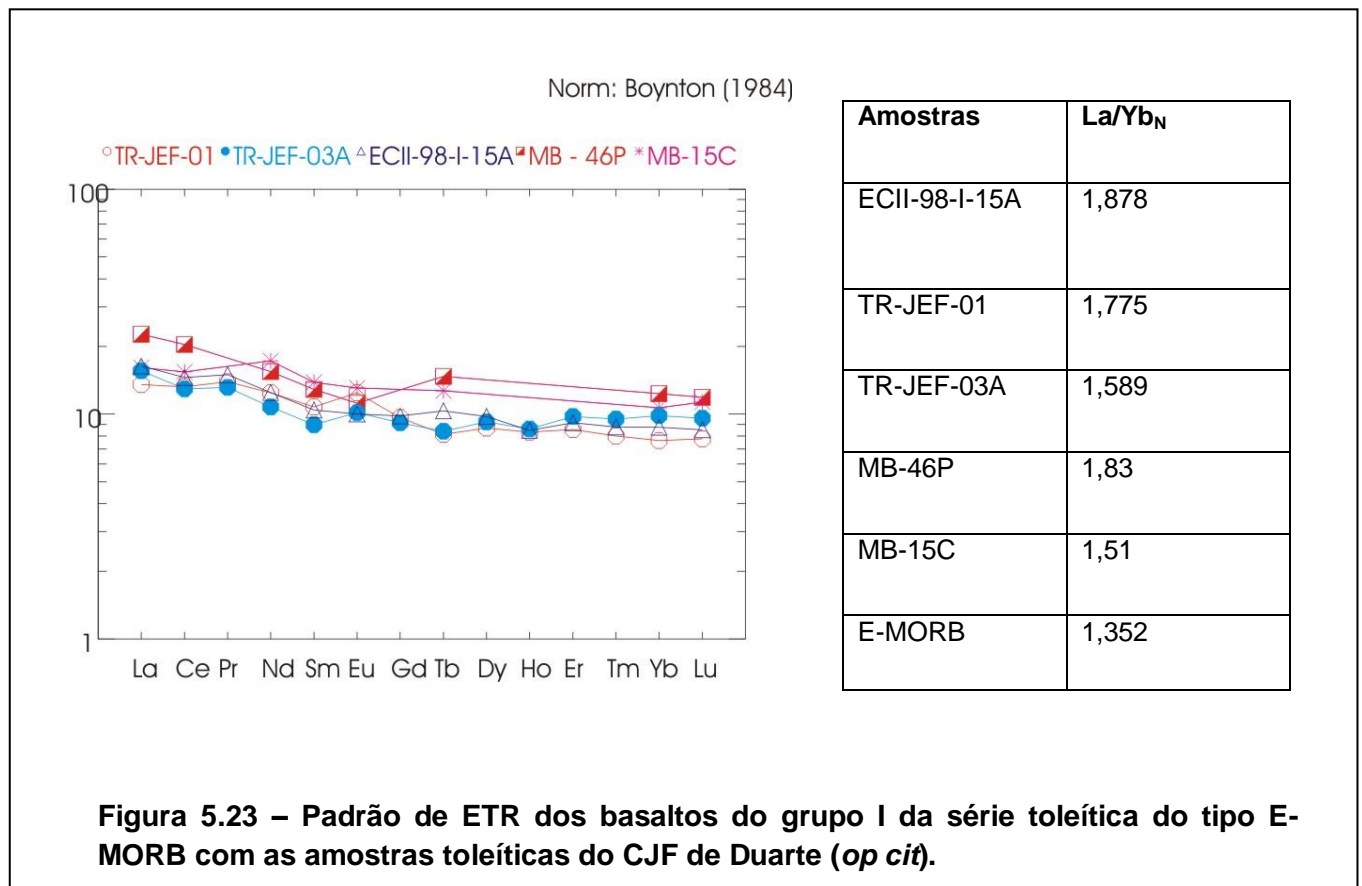
Série toleítica de Duarte (1998)			Série toleítica de Dios (1995)		
Amostras	La/Yb _N	Fonte	Amostras	La/Yb _N	Fonte
MB – 15C	1,51	E-MORB –	314-F	11,101	_____
MB – 46P	1,83	E-MORB	314-C	14,247	_____
MB – 17B	1,3	E-MORB	315-A	19,635	_____
MB – 17A	0,91	N-MORB	315-D	4,037	Intraplaca
MB-42	1,306	E-MORB	_____	_____	_____
MB-514C	3,101	Intraplaca	_____	_____	_____
MB-183A	1,975	E-MORB	_____	_____	_____
MB-514B	3,809	Intraplaca	_____	_____	_____

Para os ortogranulitos da série toleítica estudados nesta dissertação foram encontradas fortes similaridades com aqueles estudados por Duarte (1998) para a região de Três Rios (MG). No entanto, para aqueles estudados por Dios (1995) na região de Mangaratiba (RJ), não foram encontradas correlações, com exceção de uma amostra (315-D) que apresenta razão $La/Yb_N = 4,037$ semelhante a alguns ortogranulitos toleíticos da região de Três Rios (desta dissertação) e de Juiz de Fora. As demais amostras da série toleítica de Dios (*op cit*) possuem razões La/Yb_N muito elevadas entre 11,101 a 19,635.

Série Toleítica

Grupo I

Algumas amostras de Duarte (*op cit*) possuem razões La/Yb_N (1,3 -1,83) parecidas com as encontradas no Grupo I da série de toleítica, que representam os basaltos do tipo E-MORB. Plotadando essas amostras em conjunto no aranhograma pode-se notar que apresentam o mesmo padrão horizontal e a mesma proporção de ETRL e ETRP (Figura 5.23).



Grupo II

O grupo II da série toleítica representa basaltos do tipo intraplaca, sendo que nesse ambiente as razões La/Yb_N podem variar entre 3,595 a 10,131, como mostra a tabela 5.5. Para esse grupo que possui razão La/Yb_N entre 3,864 – 5,291, foram encontradas amostras de Duarte (*op cit*) e uma amostra de Dios (*op cit*) com razões compatíveis.

Como mostra o padrão de ETR da Fig. 5.24, as amostras de Duarte (*op cit*), MB-514B e MB-514C, possuem o mesmo padrão que as amostras ECII-97-I-10F e ECII-97-III-11 dessa dissertação. A amostra 315-D de Dios (*op cit*) é mais empobrecida que a demais em ETR, mas a proporção de ETRL para ETRP, com relação ao condrito de Boynton (*op cit*) é a mesma, sendo 30 por 5 de leves para pesados, contra 60 por 10 das amostras citadas anteriormente.

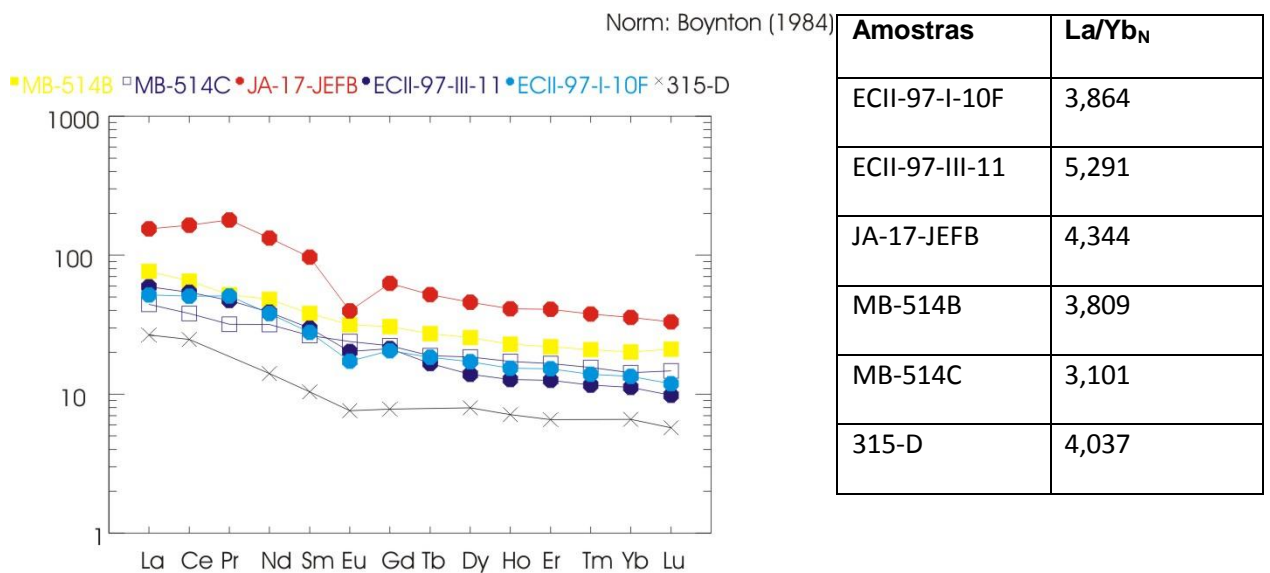


Figura 5.24 – Padrão de ETR dos basaltos do grupo II da série toleítica do tipo intraplaca com as amostras do CJF da série toleítica de Duarte (*op cit*) Dios (*op cit*).

5.6 – Discussão dos Dados Obtidos

O estudo litogeoquímico revela que os ortogranulitos/ortognaisses da região de Três Rios podem ser subdivididos em 3 séries magmáticas: (i) rochas cálcio-alcalinas; (ii) toleíticas; (iii) alcalinas.

Os ortogranulitos/ortognaisses da série cálcio-alcalina representam rochas de arco vulcânico e/ou arco magmático. Os ortogranulitos básicos da série toleítica foram definidos como tendo protólitos em basaltos do tipo intraplaca (oceânicos ou continentais) e em basaltos do tipo E-MORB (incluindo um ortogranulito intermediário - ECII-98-I-15A). O ortogranulito básico da série alcalina, que é representada por uma única amostra (JA-17-JEFA), tem possível protólito relacionado com basaltos alcalinos do tipo intraplaca oceânico.

A comparação litogeoquímica dos ortogranulitos/ortognaisses estudados nessa dissertação com aqueles estudados na região de Juiz de Fora, MG (Duarte, 1998) e na região de Mangaratiba, RJ (Dios, 1995), através da razão La/Yb_N , permitiu observar que há correlação química entre ortogranulitos/ortognaisses da região de Três Rios com os estudados pelos autores, à exceção daquelas amostras de Dios (*op cit*) da série toleítica que apresentaram razões La/Yb_N muito elevadas em comparação com série toleítica dessa dissertação e também com as de Duarte (*op cit*).

Contudo, a comparação através da razão La/Yb_N , leva a interpretar que os ortogranulitos/ortognaisses dessa dissertação possam ser quimicamente correlacionáveis com os daqueles dois autores. Porém, ainda são necessários estudos geocronológicos para que se possa afirmar, ou não, que essas rochas interam o CJF.