

# PROPRIEDADES GEOQUÍMICAS E PROVENIÊNCIA DE ROCHAS METASSEDIMENTARES DETRÍTICAS ARQUEANAS DOS GREENSTONE BELTS DE CRIXÁS E GUARINOS, GOIÁS

HARDY JOST\*, SUZI MARIA DE CÓRDOBA HUFF THEODORO\*\*, ANA MARIA GRACIANO FIGUEIREDO\* & GERALDO RESENDE BOAVENTURA\*

**ABSTRACT** GEOCHEMICAL PROPERTIES AND PROVENANCE OF DETRITAL ARCHAEOAN METASEDIMENTARY ROCKS OF THE CRIXÁS AND GUARINOS GREENSTONE BELTS, GOIÁS  
Metasedimentary rocks derived from debited clay-rich protoliths occur only in the upper stratigraphic sections of the Crixás and Guarinos greenstone belts, Central Brazil. They consist of carbonaceous schist ( $\pm 100$  m thick), overlain by 300 m thick distal metaturbidites (fine-grained clayey metarenite, metasilite and metashale). In 85% of the samples, the  $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$  ratio is similar to post-Archaeoan detrital sedimentary rocks suggesting that their source-area underwent moderate weathering. The average abundances of major, minor and trace elements of carbonaceous schist and the metarenite/ metashale turbidite pair, suggest that no major compositional changes of their respective source-areas took place during sedimentation. Petrographic and geochemical data show that the metarenites and metasilites derived from clay-rich protholiths and in the average are geochemically consistent with the genetically related metashales. Major and minor oxides as well as trace elements vary consistently with an empirical detrital sedimentary maturity index ( $\text{SiO}_2/(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3) \times 100$ ), and with the white mica/chlorite  $\pm$  biotite ratios and probably also respond to the composition of white mica and chlorite. The majority of samples have a  $\Sigma$ REE compatible with other Archaeoan equivalent rocks and Phanerozoic quartz-poor to quartz-rich graywackes. Normalized to NASC, the carbonaceous schist, metashales and metarenites (+ metasilites) derive two populations distinguished by their REE abundance. In contrast to post-Archaeoan equivalent rocks, the studied lithotypes are poorer in LREE, have positive  $\text{Eu}_N/\text{Eu}^*_N$  anomalies and lack HREE fractionation. In the average, the composition of the studied rocks are richer in  $\text{Fe}_2\text{O}_3^*$ , CaO, MgO, MnO, Cr, Ni, Co, Sc, V, and Ba as compared to post-Archaeoan rocks. The La/Sc, Th/La and Cr/Ti ratios are higher and the Zr/Y ratios are lower than post-Archaeoan rocks and lead to a bimodal provenance model. Modeling of the source-area shows that a geochemically anomalous horizon of Guarinos may be explained by a source-area with 1:1, while other samples by a 9:1 basalt:komatiite ratio, both with similar contribution of a tonalite/trondhjemite felsic component.

*Keywords:* geochemistry, provenance, detrital metasedimentary rocks, Archaeoan, Goiás

**RESUMO** Rochas metassedimentares derivadas de protólitos detríticos ricos em argilo-minerais ocorrem apenas nas porções estratigráficas superiores dos *greenstone belts* de Crixás e Guarinos, Goiás. Estas consistem de xistos carbonosos (espessura média de 100 m), sotopostos a mais de 300 m de metaturbiditos distais (metarenitos finos argilosos, metasilites e metafolhelhos). Em 85% das amostras, a razão  $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$  é similar a de rochas sedimentares detríticas pós-arqueanas e sugere área-fonte sob intemperismo moderado. A abundância média de elementos maiores, menores e traços de xistos carbonosos e do par rítmico metarenito/metafolhelho é semelhante, sugerindo que não houve uma modificação substancial da área-fonte durante a mudança de regime tectônico que controlou a sedimentação. Dados petrográficos e geoquímicos indicam que os protólitos dos metarenitos e metasilites, pares geneticamente associados dos metaturbiditos, eram ricos em argilo-minerais e mostram variações geoquímicas consistentes com o fracionamento de argilo-minerais durante a sedimentação. Variações de elementos maiores, menores e traços são consistentes com um índice empírico de maturidade sedimentar detrítica ( $\text{SiO}_2/(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3) \times 100$ ), e com as razões mica branca/clorita  $\pm$  biotita e suas respectivas composições. A maioria das amostras possui um  $\Sigma$ REE e assinaturas compatíveis com equivalentes arqueanas e grauwacas fanerozoicas pobres a ricas em quartzo e derivam duas populações distintas. Em média, as rochas estudadas são mais ricas em  $\text{Fe}_2\text{O}_3^*$ , CaO, MgO, MnO, Cr, Ni, Co, Sc, V e Ba que as pós-arqueanas. As razões La/Sc, Th/La e Cr/Ti são maiores e Zr/Y menores que as rochas pós-arqueanas e conduzem a um modelo de proveniência bimodal, segundo o qual um horizonte anômalo de Guarinos pode ser explicado por uma razão basalto:komatiito de 1:1 e as demais amostras por uma razão 9:1, com variadas proporções de uma contribuição tonalítico/trondhjemítica, não diferindo, assim, do observado em rochas sedimentares neo-arqueanas de outras áreas continentais.

*Palavras-chaves:* geoquímica, proveniência, rochas metassedimentares detríticas, Arqueano, Goiás

**INTRODUÇÃO** A partir da década de 70, as propriedades geoquímicas de rochas sedimentares antigas vêm sendo gradual e crescentemente empregadas para inferir a composição da crosta exposta e a natureza dos processos superficiais à época da deposição. No decurso das duas últimas décadas, passou-se a conhecer que as rochas sedimentares detríticas arqueanas apresentam significativas diferenças composicionais, comparativamente as suas equivalentes pós-arqueanas. Estas diferenças são interpretadas como uma das múltiplas respostas à modificação do sistema manto/crosta ocorrida na transição do Neoarqueano ao Paleoproterozóico, transição esta caracterizada por um aumento significativo no volume de crosta continental. Assim, enquanto as rochas sedimentares arqueanas foram depositadas sob um regime de

abundante vulcanismo máfico e ultramáfico, as pós-arqueanas resultaram da erosão de extensas áreas cratônicas de composição média granodiorítica (Taylor & McLennan 1985).

A natureza geoquímica de rochas sedimentares, e equivalentes metamórficas, de todos os núcleos arqueanos preservados são, em geral, similares, como mostram as investigações realizadas, por exemplo, no Canadá (Feng & Kerrich 1990, Camiré *et al.* 1993, Mueller *et al.* 1994), África do Sul (Wronkiewicz & Condie 1987), Austrália (Nancy & Taylor 1976, Maas & McCulloch 1991), Estados Unidos (Jenner *et al.* 1981, Gibb *et al.* 1986), e Índia (Naqvi *et al.* 1988, Arora *et al.* 1994). Na Plataforma Sulamericana, estes estudos são recentes e aparentemente se restringem à região de Crixás, em

\* Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 70919-970, Brasília, DF - e-mail: hjost@tba.com.br

\*\* Centro de Desenvolvimento Sustentável - CDS - Universidade de Brasília, SAS, Quadra 5, Bloco H, 2º Andar, 70070-914, Brasília, DF

\*\*\* Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN, Caixa Postal 11049,05422-970, São Paulo - e-mail: grafigue@ihO.ipen.br ou grafigue@baitaca.ipen.br

Goiás (Magalhães 1991, Jost *et al.* 1993, Jost *et al.* 1995) e de Piumhi, Minas Gerais (Lima 1996).

Na região de Crixás, as rochas supracrustais ocorrem em três faixas sub-paralelas, com cerca de 40 km de comprimento e 7,5 km de largura média (Fig. 1), separadas por complexos granito-gnáissicos e denominadas, de oeste para leste, de Crixás, Guarinos e Pilar de Goiás. As três faixas possuem, em comum, unidades estratigráficas inferiores com rochas metavulcânicas e superiores de rochas metassedimentares. Apenas as faixas Crixás e Guarinos possuem, nas porções estratigráficas superiores, rochas metassedimentares autóctones derivadas de protólitos detríticos (Fig. 2). As unidades vulcânicas consistem de 400 a 600 m de espessura de metakomatiitos basais, seguidos de 400 a 500 m de metabasaltos toleíticos, ambas com intercalações menores de formações ferríferas, *metachert* e formações manganíferas. Ao término do vul-

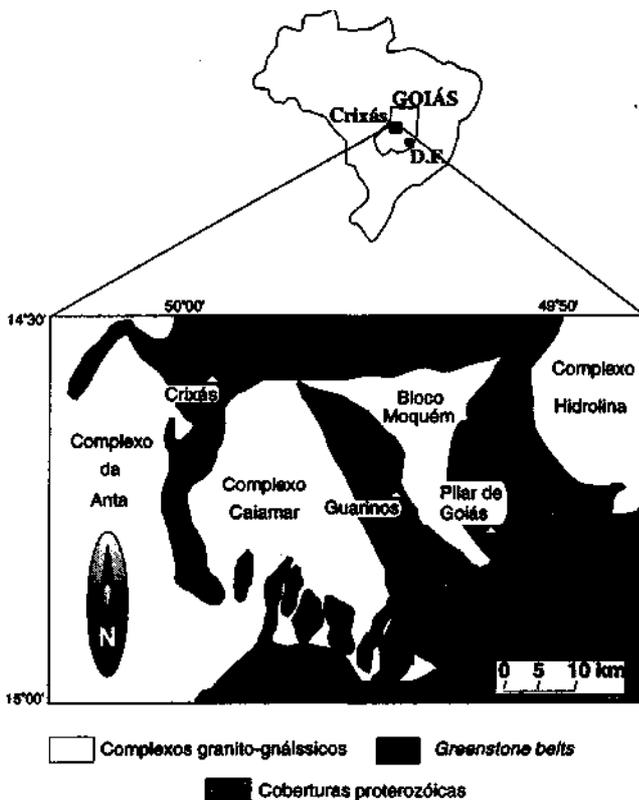


Figura 1 - Localização e esboço geológico da região arqueana de Crixás, Goiás (Modificado de Jost & Oliveira 1991).

Figure 1 - Location and geologic sketch of the Crixás Archean region, Goiás (modified after Jost & Oliveira 1991)

canismo básico toleítico, ambas faixas evoluíram por sedimentação, com vulcanismo subordinado.

Em Crixás, a sedimentação ocorreu em dois estágios. O vulcanismo toleítico foi rápida e progressivamente substituído por um ambiente detrítico anóxico (Theodoro 1995), representada em cerca de 200 m de xistos carbonosos de origem orgânica (Fortes 1995). Na metade inferior, os xistos carbonosos apresentam intercalações de mármore com relíquias de oólitos e prováveis esteiras algálicas, indicativas de águas rasas e planícies de maré (Theodoro 1995, Theodoro & Jost 1996), e, na superior, camadas métricas de xisto carbonoso com fragmentos de provável púmice, sugerindo vulcanismo félsico distal contemporâneo. Em Guarinos, cerca de 200 m de xistos carbonosos ingressam gradualmente ao final de deposição de cerca de 80 m de formações ferríferas com

lentes de metaconglomerados e metafolhelhos basais (Resende 1994, Resende & Jost 1994), depositados sobre uma superfície de discordância que expunha rochas metassedimentares detríticas lateralmente interdigitadas a metabasaltos. O ciclo sedimentar de ambas faixas encerra com uma espessa seqüência de metaturbiditos distais, em contato brusco com os xistos carbonosos sotopostos.

O presente artigo visa descrever, comparar e interpretar as principais características geoquímicas dos xistos carbonosos e metaturbiditos distais comuns a ambas as faixas, observar o comportamento de elementos imóveis devido à mudança de ambiente de deposição, interpretar a proveniência dos detritos sólidos dos protólitos destas rochas e compará-la com a de outros núcleos arqueanos mundiais.

**MATERIAIS E MÉTODOS** As amostras de xisto carbonoso e metaturbidito das porções estratigráficas estudadas provêm de 8 furos de sondagem da Mina III, em Crixás, e de uma seção estratigráfica com 340 m de espessura e algumas amostras de afloramentos da porção norte de Guarinos. A descrição petrográfica de aproximadamente 150 lâminas delgadas determinou a seleção de 81 amostras isentas de alterações hidrotermal e superficial para análise química.

A determinação das proporções de óxidos de elementos maiores e menores, e de elementos traços foi realizada no Laboratório de Geoquímica da Universidade de Brasília (LAGEq/UnB). FeO foi determinado por volumetria,  $K_2O$  e  $Na_2O$  por Espectrometria de Emissão em Chamas, Perda ao Fogo (P.F.) por gravimetria e os demais óxidos, assim como Cu, Cr, Ni, Co, V, Ba, Sr, Zr e Y por Espectrometria de Emissão em Plasma Indutivamente Acoplado (ICP). Dentre estas foram selecionadas 28 amostras por tipo de rocha (metarenito, metafolhelho e xisto carbonoso) para análise de ETR, Sc, U, Th e Hf por ativação neutrônica (INAA) no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN-CNEN) de São Paulo. Outras 5 amostras foram analisadas por ICP no laboratório da GEOSOL - Geologia e Sondagens Limitada, em Belo Horizonte.

Os resultados analíticos, agrupados por litótipo e por faixa, constam das Tabelas I, II e III. A Tabela IV contém os dados de um horizonte com cerca de 30 m de espessura que inicia a 40 m da base dos metaturbiditos de Guarinos (ver figura 2). O horizonte consiste de uma alternância de camadas métricas de metaturbidito, xistos carbonoso e derrames de basaltos komatiíticos, denominado por Jost *et al.* (1995) de Horizonte Anômalo. As Tabelas V e VI contém os dados de Elementos Terras Raras (ETR) das rochas analisadas.

**PETROGRAFIA** As rochas metassedimentares estudadas foram originalmente divididas em quatro grupos, de acordo com as proporções de minerais micáceos metamórficos e matéria carbonosa e compreenderam metarenitos, metassiltitos, metafolhelhos e xistos carbonosos. Posteriormente, metarenitos e metasiltitos foram reunidos em um único grupo, pois, apesar de suas diferenças texturais, estes não diferem nas proporções de minerais micáceos e composição química. Em vista disto, nos parágrafos seguintes, o termo *metarenito* significará, indistintamente, metarenitos e metassiltitos.

Metarenitos, metasiltitos e metafolhelhos são litótipos associados, pois formam os ritmos individuais, granoclassificados, dos metaturbiditos. Essas rochas são, em geral, laminadas a estratificadas e possuem relíquias de estruturas sedimentares, tais como laminação planoparalela e cruzada, de corte-e-preenchimento, em chama e laminação rítmica com granoclassificação decrescente.

As associações de minerais metamórficos destas rochas indicam condições da fácies xisto verde, entre a zona da biotita e da granada. Não foram observados minerais tais como

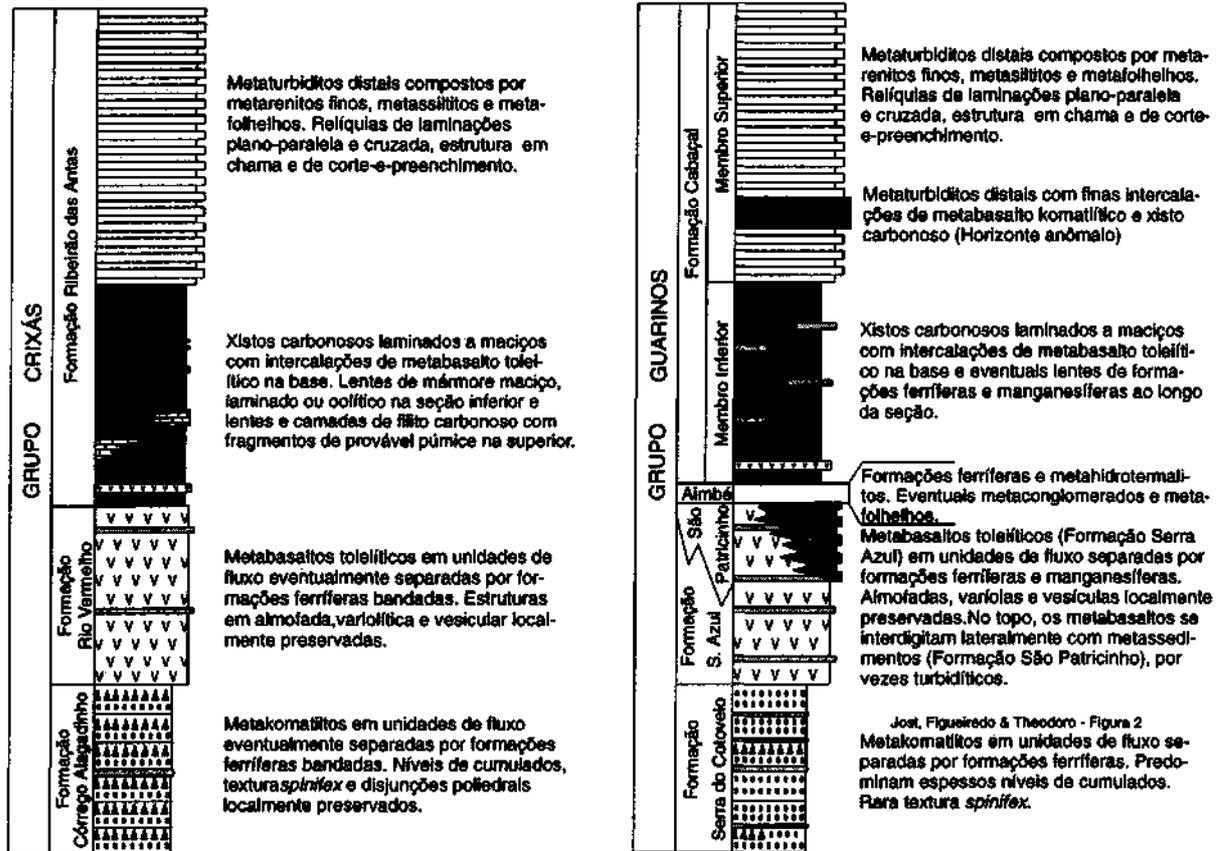


Figura 2 - Síntese da estratigrafia dos greenstone belts de Crixás e Guarinos, Goiás. Compilado de Jost & Oliveira (1991), Resende (1994), Resende (1995) e Theodoro (1995).

Figure 2 - Stratigraphic synthesis of the Crixás and Guarinos greenstone belts, Goiás. Compiled from Jost & Oliveira (1991), Resende (1994), Resende (1995), and Theodoro (1995).

Tabela I - Composição química de xistos carbonosos dos greenstone belts de Crixás e Guarinos. Óxidos em % de peso, IAQ e IMAT em % e elementos traço em ppm.

Table I - Chemical composition of carbonaceous schists of the Crixás and Guarinos greenstone belts. Oxides in weight %, IAQ (Chemical Alteration Index) and IMAT in % and trace elements in ppm.

Amostra	Crixás								Guarinos					
	1	2	11	cur-04	28	30	42	25	44,50	45,50	60,55	141,70	SED-30	92-III-161
SiO <sub>2</sub>	50,10	61,49	62,78	53,90	82,4	62,20	59,60	51,20	57,12	56,20	49,93	46,21	63,80	63,11
TiO <sub>2</sub>	1,06	0,93	0,61	1,94	0,19	0,67	0,79	0,79	0,65	0,66	1,10	0,76	0,95	1,12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,25	15,46	8,98	22,74	8,49	16,95	15,90	13,19	12,75	11,60	12,06	15,78	19,20	13,75
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	12,43	10,44	9,43	7,53	2,70	6,67	8,88	11,06	8,07	11,97	15,26	19,07	2,39	7,06
MnO	0,41	0,07	0,16	0,01	0,05	0,01	0,11	0,18	0,04	0,10	0,57	0,20	0,07	0,69
MgO	5,62	4,16	3,99	0,72	2,02	2,79	3,01	5,54	3,64	2,59	5,97	8,97	0,37	3,58
CaO	6,00	0,84	4,18	0,66	0,46	1,38	2,29	4,37	0,34	0,35	1,13	0,57	0,27	0,08
Na <sub>2</sub> O	1,40	1,59	0,59	7,66	0,77	1,98	2,40	0,73	0,35	0,59	0,31	0,58	0,00	0,46
K <sub>2</sub> O	2,12	2,67	2,10	2,98	1,35	2,82	1,77	2,33	2,47	3,41	3,96	2,27	0,00	4,41
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,12	0,22	0,00	0,09	0,12	0,07	0,21	0,21	0,07	0,04	0,03	0,14	0,03	0,04
PF	7,47	2,14	7,15	1,79	2,50	4,45	4,91	9,37	14,32	12,47	10,84	4,99	12,77	5,98
TOTAL	99,98	100,01	99,97	100,02	101,05	99,99	99,87	98,97	99,82	99,88	99,81	99,54	99,85	100,28
IAQ	68,44	78,87	66,13	74,52	81,17	78,77	78,5	72,51	82,62	75,8	72,96	85,09	98,61	75,76
IMAT	79,08	79,90	95,76	70,32	90,65	75,32	78,94	79,51	81,75	82,89	80,54	74,54	76,86	82,11
Cr	199	150	123	320	146	150	166	186	126	101	208	149	200	206
Ni	150	160	269	200	150	180	160	130	192	424	278	236	110	266
Co	121	100	229	212	102	195	200	111	221	200	183	212	210	125
Sc	14	14	14	14	14	14	14	14	15	16	25	26	26	19
V	282	136	106	339	74	81	132	141	112	128	220	130	203	202
Ba	4245	662	812	2015	1010	2049	1000	812	759	1343	975	504	1489	1305
Sr	165	79	27	117	134	91	182	44	61	61	31	17	48	19
Hf	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	2,6	2,44	3,90	2,40	2,40	2,40
Zr	42	159	56	60	127	71	90	91	96	50	26	153	98	84
Y	19	22	21	10	17	6	26	14	24	77	26	77	37	12
Tb	6,10	6,10	6,10	6,10	6,10	6,10	6,10	6,10	9,4	8,6	10,50	10,09	10,09	10,09
U	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	5,08	9	1,51	5,90	5,90	5,90

Tabela II - Composição química de metafolhelhos de metaturbiditos dos greenstone belts de Crixás e Guarinos. Óxidos em % de peso, IAQ e IMAT em % e elementos traço em ppm.

Table II - Chemical composition of metashales of metaturbidites of the Crixás and Guarinos greenstone belts. Oxides in weight %, IAQ and IMAT in %, and trace elements in ppm.

Amostra	Crixás				Guarinos			
	27	30,0	34,40	40,00	103,85	295	300	92-II-190
SiO <sub>2</sub>	54,91	58,51	61,50	56,77	58,50	58,20	51,80	59,71
TiO <sub>2</sub>	1,04	0,78	0,67	0,74	0,80	0,83	1,11	0,85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,42	19,17	18,50	20,61	19,64	17,68	18,97	16,33
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	9,35	6,67	7,04	9,76	7,55	9,47	11,16	10,92
MnO	0,05	0,10	0,09	0,12	0,12	0,05	0,14	0,03
MgO	4,69	2,33	2,27	2,99	2,47	3,48	4,23	3,31
CaO	0,72	1,53	0,78	0,75	0,87	2,35	3,21	0,16
Na <sub>2</sub> O	0,75	1,21	1,23	0,98	1,05	2,04	3,40	0,51
K <sub>2</sub> O	4,32	2,81	3,00	3,03	3,28	3,62	3,42	5,32
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,29	0,17	0,15	0,14	0,13	0,23	0,38	0,06
P.F. 4,45	5,60	4,98	4,12	5,38	2,86	2,98	3,40	
Total	99,99	99,80	100,21	100,01	99,79	99,93	100,80	100,60
IAQ	80,03	82,12	82,41	84,40	82,56	75,05	73,06	75,45
IMAT	73,87	77,68	80,00	73,36	74,86	76,70	73,19	78,52
Cr	250	169	163	191	187	177	320	179
Ni	180	150	200	190	140	180	180	132
Co	100	210	200	208	212	119	120	103
Sc						23	23	
V	139	118	111	134	124	140	151	139
Ba	936	930	910	980	1120	1000	1300	900
Sr	49	212	0	220	182	252	405	26
Hf						3,10	4,49	
Zr	141	57	101	94	126	105	91	54
Y	23	14	13	22	19	20	24	31
Th						3,70	4,10	
U						1,14	0,89	

estauroлита, típicos de metamorfismo de pelitos na fácies anfíbolito inferior.

Os metarenitos são finos, cinza escuros a branco quando não intemperizados, amarelo quando alterados. Os metasiltitos se distinguem dos metarenitos apenas pela granulagem menor. Ao microscópio, ambos possuem textura granoblástica a lepidoblástica, localmente porfiroblástica e são, respectivamente, finos a muito finos. Os constituintes maiores são quartzo (40-60%), sericita (30-50%) e clorita e/ou biotita (10-15%), com granada subordinada. Minerais opacos, plagioclásio, feldspato potássico, zircão e apatita são raros. Os minerais opacos dos metarenitos são intersticiais ao quartzo e consistem de magnetita e ilmenita, ao passo que nos metasiltitos o opaco é hematita e intercrescida com clorita e/ou biotita, sugerindo que os primeiros são parte da população de minerais densos, enquanto a hematita é metamórfica. As proporções de sericita, biotita e clorita dessas rochas sugerem que os protólitos foram arenitos e siltitos argilosos.

Os metafolhelhos acompanham os metarenitos e metasiltitos em pares gradacionais. São rochas escuras que, em lâmina delgada, exibem textura lepidoblástica muito fina. Os constituintes principais compreendem sericita e/ou clorita ± biotita, em proporções geralmente superiores a 80%. Quartzo e, localmente, granada são subordinados. Minerais opacos são raros.

Os xistos carbonosos são pretos, pulverulentos, e finalmente laminados. Ao microscópio, estes xistos possuem textura e composição mineral idênticas aos metafolhelhos, exceto pela presença de matéria carbonosa e pirita. A matéria carbonosa ocorre desde traços, como inclusões microscópicas nos demais minerais, até filmes e lâminas com até 10% desta. A análise de concentrados de material carbonoso por difratometria de raios-x mostram que este é de baixa cristalinidade, inferior a da grafita (Theodoro 1995) e a composição isotópica de C e O sugerem uma origem orgânica (Fortes & Takaki

1992). Em vista disto, interpretamos os xistos carbonosos como derivados de protólitos de ambiente anóxico com expressiva contribuição de prováveis ciano-bactérias.

**GEOQUÍMICA Estimativa do Grau de Intemperismo** A maioria dos estudos sobre intemperismo químico trata apenas das propriedades texturais e composicionais dos perfis de alteração. Uma tentativa de suportar, quantitativamente, uma comparação entre a composição de perfis de alteração e a de rochas sedimentares detríticas ricas em argilo-minerais foi investigada por Nesbitt & Young (1982, 1984) e Cox *et al.* (1995). Os autores sugerem que o grau de intemperismo de áreas-fonte de sedimentos pode ser empiricamente estimado por um índice de Alteração Química (IAQ), dado por:

$$IAQ = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + Na_2O + K_2O + CaO)] \times 100$$

onde os óxidos são expressos em proporções moleculares e as de CaO incluem apenas as de silicatos, excluídas as de carbonato e apatita. Os feldspatos (ortoclásio, albita, anortita) possuem um IAQ = 40 sugestivo de intemperismo ausente. No outro extremo, a caolinita, gibsitita e clorita possuem um IAQ = 100 e acomoda argilas residuais de intemperismo extremo. Outros produtos de intemperismo constam da figura 3, juntamente com um histograma de frequência do IAQ das amostras analisadas. O histograma não discrimina os três litótipos estudados.

Cerca de 85% das amostras estudadas possuem um IAQ superior a 70, compatível com intemperismo essencialmente químico. As demais (15%) possuem um IAQ situado entre 40 e 70, onde se situam produtos sedimentares resultantes de intemperismo físico dominante. Petrograficamente, este grupo de amostras consiste de arenitos com feldspatos detríticos, ausentes no grupo dominante.

Tabela III - Composição química de metafolhelhos de metaturbiditos dos greenstone belts de Crixás e Guarinos. Óxidos em % de peso, IAQ e IMAT em % e elementos traço em ppm.

Table III - Chemical composition of metarenites of metaturbidites of the Crixás and Guarinos greenstone belts. Oxides in weight %, IAQ and IMAT in %, and trace elements in ppm.

Amostra	Crixás								
	3	12	16	19	20	26	34	39	43
SiO <sub>2</sub>	61,60	58,80	63,40	46,95	65,10	52,60	59,98	61,30	47,26
TiO <sub>2</sub>	0,97	1,06	0,79	1,29	0,81	1,18	0,79	0,70	1,62
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,02	10,76	15,69	18,96	15,53	17,51	15,88	15,82	20,41
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	10,60	14,74	7,60	18,56	7,35	14,65	7,47	8,33	19,62
MnO	0,13	0,06	0,07	0,08	0,07	0,09	0,05	0,05	0,09
MgO	4,00	3,04	3,30	7,12	3,22	3,58	3,61	3,63	2,54
CaO	1,80	5,01	1,97	0,37	1,39	1,98	1,41	0,93	2,49
Na <sub>2</sub> O	2,42	0,95	3,23	0,57	2,76	0,82	1,89	1,76	0,75
K <sub>2</sub> O	2,52	1,06	1,83	2,41	2,50	2,44	3,58	2,42	3,35
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,18	0,17	0,20	0,11	0,09	0,15	0,20	0,13	0,07
PF	0,77	4,34	1,90	3,57	1,18	5,01	5,12	4,92	1,80
Total	100,01	99,99	99,98	99,99	100,00	100,01	99,98	99,99	100,00
IAQ	75,82	71,38	76,8	87,22	76,34	82,00	75,21	80,58	80,57
IMAT	95,76	84,53	80,16	68,13	80,73	75,02	80,17	79,48	69,83
Cr	200	200	256	369	120	296	169	155	341
Ni	180	109	96	137	116	137	69	93	129
Co	150	109	110	120	130	147	130	117	113
Sc	20,5								
V	135	271	123	346	237	216	103	106	351
Ba	2040	136	1503	363	350	321	376	655	539
Sr	222	56	286	200	98	120	97	101	250
Hf	4,2								
Zr	48	30	68	144	131	120	117	128	138
Y	23	22	20	12	15	17	14	23	15
Th	7,80								
U	1,70								

Amostra	Guarinos															
	71,40	74,25	78,75	80,65	93,90	95,90	97,80	126,10	133,60	191,00	211,0	212,00	272	273	277,50	314,00
SiO <sub>2</sub>	74,58	62,40	63,05	56,41	66,50	56,80	56,92	69,66	67,41	39,64	51,55	53,13	54,10	52,70	55,70	58,31
TiO <sub>2</sub>	0,37	0,76	0,72	0,77	0,65	0,78	0,72	0,39	0,58	0,95	1,44	1,39	1,72	1,02	0,80	0,87
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,73	18,57	18,24	21,85	16,00	20,85	20,87	10,01	11,25	15,85	15,48	15,57	18,6	14,56	25,74	16,26
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	5,17	7,54	8,35	9,29	6,76	8,92	8,15	8,59	7,60	12,58	14,01	14,51	8,60	17,29	11,09	9,04
MnO	0,52	0,05	0,20	0,16	0,06	0,13	0,13	1,58	1,43	0,06	0,60	0,71	0,04	0,14	0,05	0,06
MgO	1,58	2,44	2,12	2,23	2,12	2,79	2,84	2,89	3,62	3,74	4,41	4,14	5,17	6,12	1,66	3,65
CaO	2,53	0,75	1,13	1,13	0,68	1,76	1,83	1,44	2,29	1,38	4,83	3,50	2,28	0,94	2,40	3,53
Na <sub>2</sub> O	1,12	1,10	1,49	1,16	1,07	1,19	1,89	0,58	1,26	1,17	3,40	3,58	4,16	1,32	0,00	2,84
K <sub>2</sub> O	1,13	3,48	2,58	3,79	2,87	2,93	2,5	2,22	1,59	2,22	1,94	2,42	3,32	1,72	0,00	2,69
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,15	0,13	0,12	0,35	0,11	0,28	0,18	0,10	0,11	0,07	0,23	0,27	0,07	0,08	0,26	0,27
PF	3,54	3,42	2,79	3,66	2,75	3,20	4,15	2,12	2,95	3,43	3,01	2,00	2,25	3,98	3,40	2,95
Total	99,90	99,97	100,00	100,80	99,57	99,63	99,45	99,78	100,09	99,90	100,09	101,22	100,31	99,87	99,99	100,47
IAQ	75,74	81,21	82,34	81,90	81,34	82,57	82,37	75,80	76,29	81,82	70,37	71,07	78,08	83,35	95,12	72,54
IMAT	88,44	77,06	77,56	72,08	80,60	73,14	73,23	87,43	85,69	79,00	76,90	77,33	74,41	78,35	68,39	78,19
Cr	120	164	190	181	145	188	176	87	110	166	240	200	200	134	239	213
Ni	80	64	67	81	75	86	83	112	100	73	120	110	82	110	66	59
Co	210	124	136	157	210	192	153	200	250	218	210	220	117	224	135	196
Sc								15	14				42	30	27	23
V	99	98	91	111	96	123	114	132	128	121	364	315	114	161	199	165
Ba	805	794	740	799	1000	990	636	652	514	704	1269	1200	501	255	1469	1141
Sr	447	198	204	170	200	243	237	47	220	88	412	309	100	26	342	540
Hf								2,40	2,40	3,80			4,20	4,40	3,70	2,72
Zr	44	65	116	74	44	84	61	30	59	61	73	47	182	197	59	10
Y	18	16	20	29	16	22	20	15	16	23	26	31	12	64	14	13
Th								6,75	7,37	12,10			2,83	9,90	2,87	2,13
U								1,00	1,00	2,10			14,00	16,00	0,84	1,00

Cerca de 48% das amostras possuem um IAQ entre 70 e 80, intervalo este que inclui a variação observada nos folhelhos pós-arqueanos, parte do intervalo observado em illita, montmorilonita e beidelita e o da moscovita. Por outro lado, cerca de 35% das amostras possuem um IAQ situado no limite superior do calculado para illita, montmorilonita e beidelita, parte do intervalo de argilas residuais e o de argilas do delta do rio Amazonas. Apenas 2% das amostras possuem um IAQ de condições de intemperismo extremo.

Do exposto se conclui que as proporções de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O e CaO da maioria das amostras analisadas podem, empiricamente, ser explicadas por intemperismo químico mo-

derado na área-fonte e similares às inferidas para justificar sedimentos e rochas sedimentares argilosos pós-arqueanos, de área-fonte conhecida, e seus equivalentes metamórficos. Isto assegura uma comparação das propriedades geoquímicas das amostras analisadas com os padrões internacionais de rochas sedimentares pós-arqueanas.

**Comportamento Geral de Elementos Maiores, Menores e Traços** A Tabela VII contém a média dos óxidos e elementos traços das amostras analisadas, excluídos os dados do horizonte anômalo de Guarinos. Os xistos carbonosos de Crixás são mais ricos em SiO<sub>2</sub>, CaO, Na<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>,

Tabela IV - Composição química de xistos carbonosos (FC), metafolhelhos (IAM) e metarenitos (MGR) do horizonte anômalo intercalado em metaturbiditos do greenstone belt de Guarinos. Óxidos em % de peso, IAQ e IMAT em % e elementos traço em ppm.

Table IV - Chemical composition of carbonaceous schist (FC), metashales (IAM), and metarenites (MGR) of the anomalous horizon intercalated in metaturbidites of the Guarinos greenstone belt. Oxides in weight %, IAQ and IMAT in %, and trace elements in ppm.

Amostra	SED-15	SED-20	SED-25	198.00	200	206.00	234	235.00
Rocha	FC	FC	FC	LAM	LAM	LAM	MGR	MGR
SiO <sub>2</sub>	42,36	46,47	46,21	46,94	47,11	44,21	53,60	36,43
TiO <sub>2</sub>	0,94	0,62	1,10	1,18	1,10	1,13	0,64	1,54
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,72	8,96	11,17	9,77	7,60	10,35	5,31	12,7
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,80	12,99	12,00	13,02	13,46	12,86	12,61	15,31
MnO	0,13	0,15	0,16	0,14	0,15	0,13	0,13	0,13
MgO	22,08	18,41	13,04	16,44	16,94	18,57	12,47	21,86
CaO	5,46	8,75	4,93	8,32	10,38	7,62	9,50	5,39
Na <sub>2</sub> O	0,34	1,16	0,30	1,14	1,05	0,82	0,95	0,62
K <sub>2</sub> O	0,20	0,20	3,05	1,06	0,26	0,29	0,23	0,20
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,09	0,05	0,03	0,08	0,02	0,13	0,12	0,13
PF	6,01	3,35	8,67	3,00	2,95	3,85	4,42	6,01
Total	98,93	99,98	99,97	99,95	99,85	99,96	99,98	100,32
IAQ	59,23	46,98	57,42	60,99	53,56	67,61	46,88	78,26
IMAT	82,92	83,83	80,53	82,77	86,10	81,03	90,98	74,15
Cr	1976	1354	1699	1429	1598	1708	1268	1646
Ni	863	448	1413	663	700	863	380	290
Co	101	100	190	210	199	201	131	123
Sc				34	31	29	21	36
V	218	181	185	219	204	218	178	266
Ba	150	100	86	184	125	100	100	80
Sr	123	300	100	250	300	210	300	120
Hf				1,70	1,80	1,60	0,82	1,60
Zr	54	12	108	111	56	55	87	117
Y	25	40	26	17	11	14	26	13
Th							0,22	0,42
U							0,00	0,00

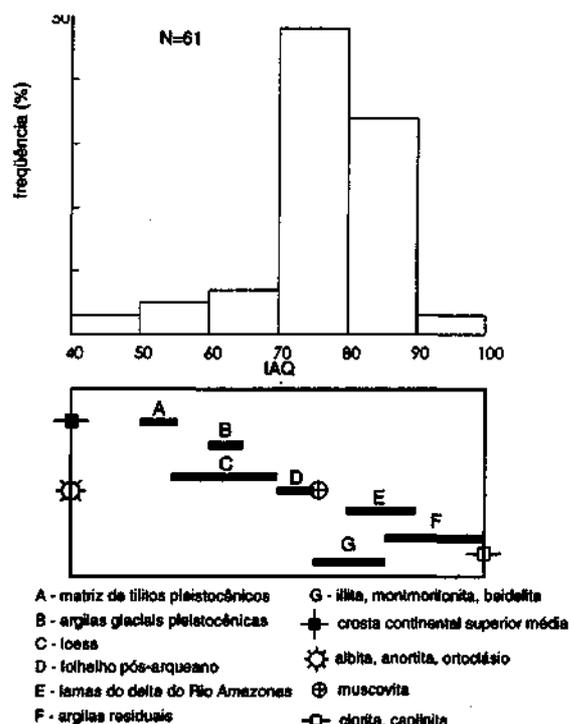


Figura 3 - Frequência do índice de Alteração Química (IAQ) de área-fonte que justificaria a composição química das rochas metassedimentares detriticas dos greenstone belts de Crixás e Guarinos.  $IAQ = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + Na_2O + K_2O + CaO)] \times 100$ .

Figure 3 - Frequency of the Chemical Alteration Index (IAQ) of the source area that could justify the chemical composition of the detrital metasedimentary rocks of the Crixás and Guarinos greenstone belts.  $IAQ = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + Na_2O + K_2O + CaO)] \times 100$ .

Tabela V - Proporções de Elementos Terras Raras (ETR) em ppm, de xistos carbonosos, metafolhelhos e metarenitos dos greenstones belts de Crixás e Guarinos.

Table V - REE proportions (ppm) of carbonaceous schists, metashales and metarenites of the Crixás and Guarinos greenstone belts.

Amostra	Xistos Carbonosos								Metafolhelhos			Metarenitos						
	Crixás				Guarinos				Guarinos			Crixás						
	2	44,50	45,50	60,55	141,70	SED-30	92-III-161	295	300	92-II-190	3	126,10	133,60	191,00	272	273	277,50	314,00
La	24,80	31,30	42,40	19,00	27,50	15,93	5,88	20,00	25,90	36,53	36,26	21,40	23,50	34,00	18,70	57,00	19,70	14,13
Ce	44,90	55,20	68,00	34,70	65,00	51,42	32,73	41,60	53,40	37,67	72,60	49,00	51,00	67,90	36,50	102,10	38,90	29,60
Nd	22,94	30,00	41,00	20,00	33,00	26,36	9,32	29,60	30,30	33,84	31,40	16,40	22,00	26,00	26,00	54,00	19,00	19,80
Sm	3,77	6,20	8,10	3,93	9,00	5,82	2,41	4,60	5,50	6,33	5,90	3,32	3,50	6,10	6,92	11,47	4,34	3,40
Eu	1,13	1,63	3,00	1,20	1,77	1,27	0,55	1,30	1,80	1,22	1,63	0,91	0,96	1,53	2,45	5,44	1,23	1,08
Gd						4,91	2,17			4,84								
Th	0,29	0,90	1,90	0,40	1,93			0,69	0,72		0,72	0,47		0,82	1,25	1,90	0,69	0,40
Dy						5,7	2,27			4,83								
Ho						1,15	0,47			0,96								
Er						3,17	1,36			2,60								
Yb	1,35	1,60	6,80	4,40	7,00	2,78	1,42	2,20	2,20	2,15	2,61	1,50	1,40	2,36	4,30	6,80	1,93	1,50
Lu	0,21	0,16	0,96	0,77	1,06	0,33	0,19	0,35	0,42	0,27	0,4	0,26	0,22	0,38	0,70	1,00	0,27	0,24

Cr, Ba e Sr que os de Guarinos, por sua vez mais ricos em Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\*, MnO, MgO, Ni, Co, Cu e Y, mas se equivalem em TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, V e Zr. As menores proporções de SiO<sub>2</sub> e maiores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\* e Perda ao Fogo dos xistos de Guarinos são devidas a uma abundância maior de matéria carbonosa.

Os metafolhelhos de Crixás são mais ricos em TiO<sub>2</sub>, MgO, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Cr e Zr, que os de Guarinos, mais ricos em SiO<sub>2</sub>, CaO, Na<sub>2</sub>O, Ni, Co, Ba e Sr, com proporções comparáveis de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\*, MnO, V, Cu e Y. Por outro lado, os metarenitos de Crixás são mais ricos em TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\*, Cr, Ni, V e Zr que os de Guarinos, mais ricos em SiO<sub>2</sub>, MnO, Co, Cu, Ba, Sr

e Y. As proporções de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de metarenitos de ambas faixas são comparáveis.

Daí se conclui que não há um padrão geoquímico notável dos três litótipos entre as duas faixas, exceto o Cr mais abundante em Crixás independente do litótipo. Aparentemente não existem razões petrográficas óbvias para as diferenças, exceto pela variação de óxidos de alguns elementos maiores, em particular SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\*, Na<sub>2</sub>O e K<sub>2</sub>O que poderiam ser justificadas pelas variações nas proporções de quartzo, clorita e/ou biotita, sericita e minerais opacos entre litótipos equivalentes.

Tabela VI - Proporções de Elementos Terras Raras (ETR) em ppm, de xistos carbonosos (FC), metafolhelhos (LAM) e metarenitos (MGR) do horizonte anômalo intercalado em metaturbiditos do greenstone belt de Guarinos.  
Table VI - Rare Earth Elements (REE) proportions (ppm) of carbonaceous schists (FC), metashales (LAM), and metarenites (MGR) of the anomalous horizon intercalated in metaturbidites of the Guarinos greenstone belt.

Amostra	SED-20	SED-25	198.00	200	206.00	234	235.00
Rocha	FC	FC	LAM	LAM	LAM	MGR	MGR
La	11,00	12,54	5,33	3,70	5,70	7,10	4,80
Ce	8,07	16,41	14,44	11,25	15,00	17,00	13,20
Nd	16,99	14,98	7,5	7,30	11,00	13,00	7,70
Sm	4,69	3,68	2,88	2,28	2,36	4,24	2,34
Eu	1,43	0,93	1,21	1,12	1,05	0,79	0,77
Gd	5,27	3,73					
Tb			0,50	0,33	0,62	0,80	0,70
Dy	5,37	3,94					
Ho	1,00	0,82					
Er	2,38	2,36					
Yb	1,55	1,92	2,00	1,32	1,60	2,20	1,40
Lu	0,16	0,25	0,25	0,17	0,21	0,27	0,18

Por outro lado, comparando as médias das composições do total de amostras dos três litótipos entre si (Tabela VIIA), alguns padrões se destacam, os quais devem ser interpretados à luz de três aspectos. Primeiro, que os xistos carbonosos e metafolhelhos formaram-se, respectivamente em ambiente anóxico e óxico, o que permite comparar estes litótipos sob o ponto de vista da influência da participação de compostos orgânicos sobre a distribuição dos óxidos e elementos traços. Segundo, que xistos carbonosos e metaturbiditos não são rochas estratigraficamente equivalentes, o que permite comparar a composição dos litótipos estratigráficos precoces com os tardios. Terceiro, que metafolhelhos e metarenitos estão geneticamente relacionados, o que permite comparar a sua composição quanto aos efeitos do fracionamento granulométrico e mineralógico durante a sedimentação.

Tabela VII - Composição química média de xistos carbonosos, metafolhelhos e metarenitos das faixas Crixás e Guarinos.

Table VII - Average chemical composition of carbonaceous schist, metashales, and metarenites, of the Crixás and Guarinos greenstone belts.

	Xistos Carbonosos		Metafolhelhos		Metarenitos	
	Crixás (N=8)	Guarinos (N=6)	Crixás (N=1)	Guarinos (N=7)	Crixás (n=9)	Guarinos (N=16)
SiO <sub>2</sub>	60,45	56,06	54,91	57,85	57,44	59,92
TiO <sub>2</sub>	0,87	0,87	1,04	0,82	1,02	0,88
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,37	14,19	19,42	18,70	16,17	16,83
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	8,64	10,64	8,93	9,14	12,10	9,84
MnO	0,12	0,28	0,05	0,09	0,07	0,37
MgO	3,48	4,18	4,69	3,81	3,78	3,22
CaO	2,44	0,45	0,72	1,37	1,92	2,05
Na <sub>2</sub> O	2,14	0,38	0,75	1,48	1,68	1,70
K <sub>2</sub> O	2,26	2,75	4,32	3,49	2,45	2,33
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,13	0,06	0,29	0,18	0,14	0,17
P.F.	4,97	10,22	4,45	4,18	3,17	3,10
IAQ	74,75	81,66	80,03	79,29	78,43	79,49
IMAT	81,12	79,78	73,87	76,33	79,31	77,98
Cr	180	165	230	198	234	172
Ni	174	251	83	167	118	85
Co	158	191	83	167	125	184
V	161	165	139	131	209	149
Cu	69	143	44	38	32	83
Ba	1575	1062	936	1020	698	841
Sr	104	39	49	185	158	236
Zr	87	84	141	89	102	75
Y	17	42	23	20	18	22

(1) = Filitos Carbonosos; (2) = Metafolhelhos; (3) = Metarenitos

Uma análise dos valores médios constantes da Tabela VIIIA sugerem que a presença de matéria orgânica nos xistos carbonosos, comparativamente aos metafolhelhos, aparentemente se manifesta, ao mesmo tempo, como diluidor e concentrador. Na ausência de apatita, Cr-espinélios e zircão, as proporções menores de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Cr, Sr e Zr dos xistos carbonosos podem ser atribuídas à diluição por matéria carbonosa que, no ambiente anóxico, compete com argilo-minerais. O efeito concentrador da matéria orgânica é sugerido pelas proporções maiores de MnO, Ni, Co, V e Cu nos xistos carbonosos. Contudo, é incerto se estas concentrações residem preferencialmente na matéria carbonosa ou provêm dos minerais micáceos coexistentes. Anomalias de Ni, Co e V em óleo cru são atribuídas por Kapo (1978) e Barwise & Whitehead (1983) não à atividade orgânica em si, mas à propriedade de quelantes do tipo metal-porfina de trocar elementos em ligação fraca, como Mg, por elementos com ligações termodinamicamente mais estáveis, como Ni e V, existentes em argilo-minerais durante o decaimento e diagenese da matéria orgânica.

Tabela VIII - (A) - Composição química média de rochas metassedimentares detriticas dos greenstone belts de Crixás e Guarinos, calculada a partir dos dados das Tabelas I, H e III. (B) - Composição química médias das rochas metassedimentares detriticas do horizonte anômalo do greenstone belt de Guarinos, calculada a partir da Tabela IV.

Table VIII - (A) - Average chemical composition of the detrital metasedimentary rocks of the Crixás and Guarinos greenstone belts, as calculated from Tables I, II and III. (B) - Average chemical composition of detrital metasedimentary rocks of the Guarinos greenstone belt anomalous horizon, calculated from Table IV.

	A			B		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
SiO <sub>2</sub>	58.25	56.38	58.68	45.01	46.09	45.01
TiO <sub>2</sub>	0.87	0.93	0.95	0.89	1.14	1.09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.28	19.06	16.50	9.62	9.24	9.90
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	9.64	9.03	10.97	12.93	13.11	13.96
MnO	0.25	0.07	0.22	0.15	0.14	0.13
MgO	3.83	3.85	3.50	17.84	17.32	18.67
CaO	1.44	1.04	1.98	6.38	8.77	7.44
Na <sub>2</sub> O	1.26	1.12	1.69	0.60	1.00	0.78
K <sub>2</sub> O	2.50	3.90	2.39	1.15	0.54	0.22
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.09	0.23	0.15	0.06	0.08	0.12
P.F.	7.59	4.31	3.13	6.01	3.26	5.21
IAQ	78.20	79.66	78.86	54.54	54.72	62.57
IMAT	79.95	75.10	78.64	82.42	83.30	82.56
Cr	177	224	203	1676	1578	1454
Ni	212	125	101	908	742	335
Co	174	125	205	113	203	127
V	163	135	179	194	213	222
Cu	106	41	57	25	51	7
Ba	1318	978	769	112	136	90
Sr	71	117	197	174	253	210
Zr	85	115	88	58	74	102
Y	29	21	20	30	14	19

(1) = Filitos Carbonosos; (2) = Metafolhelhos; (3) = Metarenitos

Contudo, isto não implica em eliminar a propriedade natural de microrganismos, como as bactérias metanogênicas para nos adaptar a uma circunstância arqueana, de concentrar elementos traços (Lancaster 1979, Thauer 1981). Assim, é provável que concentrações maiores de Ni, Co e V nos xistos carbonosos se justificam pelo efeito combinado da atividade bacteriana e de argilo-minerais ricos nestes elementos.

Abstraidas as proporções de óxidos e elementos traços dos xistos carbonosos que excedem o background dos litótipos óxicos por influência da atividade bacteriana, os dados analí-

cos permitem concluir que a composição química dos litotipos analisados não obedece a um controle estratigráfico. Isto, por outro lado, indica que tanto os protólitos dos xistos carbonosos quanto dos metafolhelhos e metarenitos devem ter se formado às custas de áreas-fonte composicionalmente idênticas.

Por outro lado, comparando a composição média (Tabela VIII A) dos metarenitos com a dos metafolhelhos, sob o prisma de um par geneticamente associado de ritmos dos metaturbiditos, as seguintes observações merecem destaque, segundo a ordem deposicional positivamente granoclassificada:

1. A diferença composicional entre metarenitos e metafolhelhos mostra claramente que, em média, os protólitos arenosos não foram ortoquartzíticos, mas areno-argilosos;

2. Como esperado, há uma discreta diminuição de  $\text{SiO}_2$  e aumento de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dos metarenitos aos metafolhelhos, decorrente de uma diminuição na quantidade de quartzo detrítico em benefício de argilo-minerais, também refletida na Perda ao Fogo;

3. Concomitante com a variação de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , há um discreto aumento de  $\text{MgO}$  e  $\text{K}_2\text{O}$ , refletindo a variação de clorita e mica branca, e diminuição de  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{Sr}$ , talvez como reflexo da retenção de traços de plagioclásio na fração areia;

4. O decréscimo nas proporções de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{MnO}$  poderia ser atribuído à presença de magnetita como mineral denso dos metarenitos. Contudo, como o mineral ocorre em traços, é mais provável que este decréscimo resulte da variação na razão mica branca/clorita  $\pm$  biotita. O argumento para tanto reside na ausência de variação do  $\text{TiO}_2$ , mesmo com a presença de ilmenita, em traços, nos metarenitos, indicando que as variações químicas são mais sensíveis às dos minerais micáceos. Já o decréscimo de  $\text{Co}$  e  $\text{V}$  pode estar associado com o desaparecimento de magnetita e ilmenita com a granoclassificação;

5. O aumento de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Cr}$  e  $\text{Zr}$  dos metarenitos para os metafolhelhos mostra, com clareza, que estes participam da composição de minerais micáceos e que as fases minerais detríticas densas são geoquimicamente insignificantes, um aspecto importante na modelagem da área-fonte.

A Tabela VIII B contém a média da composição dos xistos carbonosos, metafolhelhos e metarenitos do horizonte anômalo de Guarinos. Os maiores contrastes entre os equivalentes anômalos e não anômalos (Tabela VIII A) residem nas proporções significativamente menores de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Ba}$  e  $\text{Cu}$ , e maiores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{V}$  e  $\text{Sr}$  do horizonte anômalo. Isto indica que a deposição do mesmo ocorreu sob a influência dos níveis de basaltos komatiíticos com os quais se intercalam.

As proporções de matéria carbonosa, em geral inferiores a 2%, não se manifestam como efeito diluidor nas proporções de óxidos de elementos maiores, como observado nas demais situações estratigráficas. O efeito concentrador se manifesta apenas nas proporções de  $\text{Ni}$  dos xistos carbonosos.

Em lâmina delgada, os metarenitos desse horizonte são mais micáceos que os dos metaturbiditos estratigraficamente soto-e sobrepostos, o que, claramente, se manifesta nas proporções de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Apesar de equivalentes em  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , os metarenitos possuem proporções discretamente menores de  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$  que os metafolhelhos, em resposta ao aumento na quantidade de minerais micáceos. É importante observar que, exceto  $\text{Zr}$  e  $\text{Y}$ , os teores dos demais elementos traços aumentam no mesmo sentido, indicando a importância da fração argila dos protólitos como meio de retenção destes elementos.

As características geoquímicas do horizonte anômalo são bizarras, pois, exceto pelas proporções mais baixas de  $\text{CaO}$ , as dos demais óxidos se assemelham às de um piroxenito, as de  $\text{Cr}$  e  $\text{Ni}$  às de dunito e os demais às de basaltos. Isto abre caminho para uma reinterpretação estratigráfica da seqüência

sedimentar de Guarinos e um prognóstico de sua ocorrência, ainda desconhecida, repetição em Crixás. A intensa deformação do *greenstone belt* de Guarinos induz interpretar os xistos carbonosos situados em meio a metaturbiditos como repetições tectônicas dos níveis estratigráficos inferiores. A sua geoquímica mostra, no entanto, que o regime turbidítico foi submetido a períodos de quiescência que deram lugar a recorrências do regime anóxico e que nem todas as repetições são tectônicas.

**DIAGRAMAS DE VARIAÇÃO** Para melhor destacar as semelhanças e diferenças entre xistos carbonosos, metafolhelhos e metarenitos de Crixás e Guarinos, e identificar tendências composicionais, empregaram-se alguns diagramas bivariantes. Os diagramas permitem testar, monitorar e conhecer o comportamento dos óxidos de elementos maiores e elementos traços frente a um índice empírico de maturidade sedimentar, identificar as relações recíprocas entre  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$  e descrever as características das assinaturas dos Elementos Terras Raras (ETR) nas rochas estudadas.

**Variação dos Óxidos de Elementos Maiores com o índice de Maturidade** Com o objetivo de comparar as rochas estudadas entre si e identificar eventuais padrões de variações de composição, os dados de óxidos de elementos maiores foram plotados *versus* um índice empírico de maturidade mineral dado pela razão:

$$\text{IMAT} = \text{SiO}_2 / [\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3] \times 100$$

Teoricamente, o  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e parte de  $\text{SiO}_2$  expressam a participação de argilo-minerais da matriz de rochas sedimentares detríticas, ou seus equivalentes metamórficos, e o restante de  $\text{SiO}_2$ , o quartzo detrítico. Pela expressão, na medida em que  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tende a zero, a participação de argilo-minerais nos protólitos também tende a zero, aproximando-se de  $\text{IMAT} = 100$ , que deve corresponder a um arenito ortoquartzítico, como mostra a variação de  $\text{IMAT}$  da Tabela IX. As variações dos diversos óxidos de elementos maiores das amostras de referência da Tabela IX com o  $\text{IMAT}$  são quase-lineares, decrescentes ou crescentes, conforme o caso, sugerindo uma consistência petrológica sedimentar.

A figura 4 mostra a variação dos óxidos maiores das amostras estudadas com o  $\text{IMAT}$ . Os diagramas não distinguem xistos carbonosos, metafolhelhos e metarenitos pela variação dos óxidos de elementos maiores e menores e de elementos traços. Daí se conclui que os três litotipos são composicionalmente equivalentes, como já observado, quando se comparou as médias das composições.

Nos diagramas, a amostra com o menor valor do  $\text{IMAT}$  é um metasiltito com proporções semelhantes de quartzo e clorita+mica branca, as últimas na proporção de 2:1, com biotita e granada subordinadas. A amostra com  $\text{IMAT}$  maior é um xisto carbonoso com cerca de 5% de clorita e de 3% de matéria carbonosa. A abundância de quartzo recristalizado com inclusões de matéria carbonosa, combinada com as baixas proporções de clorita poderiam sugerir um metacfc. Entretanto, a presença de zircão, epidoto, ilmenita e albita, ainda que raros e, na maioria, intersticiais ao quartzo indicam tratar-se de um metarenito, com um  $\text{IMAT}$  próximo ao de um subarcósio.

As figuras 4a e 4b testam o  $\text{IMAT}$  com as amostras estudadas. Como esperado,  $\text{SiO}_2$  cresce e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  decresce com o aumento do índice, respondendo, respectivamente, ao aumento da quantidade de quartzo em detrimento dos minerais micáceos, recristalizados metamórficos da matriz de argilo-minerais dos protólitos. Nos diagramas, a população anômala (I) se destaca das demais amostras pelos conteúdos e pela variação de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , o que, comparando lâminas

Tabela IX - índice de maturidade sedimentar empregando dados de análise química de tipos comuns de produtos residuais, sedimentos e rochas sedimentares, como publicados em Pettijohn (1975).

Table IX - Sedimentary maturity index using chemical data of common weathering residual products, sediments, and sedimentary rocks as published by Pettijohn (1975).

Material	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	IMAT	Pettijohn *
Argila residual (basalto)	40.70	30.90	56.84	280/8-8/A
Argila fina	40.61	18.97	68.16	270/8-4
Argila grossa	48.07	18.83	71.85	270/8-4
Argila residual (granito)	66.01	21.21	75.68	280/88-D
Média de folhelhos	58.10	15.40	79.04	274/8-7/A
Folhelho carbonoso	51.03	13.47	79.11	283/8-9/A
Gravaca	60.51	15.36	79.75	228/7-9/A
Silt	61.29	13.30	82.16	270/8-4
Arcócio	76.60	12.40	86.06	216/7-5/K
Arcia fina	71.15	10.16	87.50	270/8-4
Subarcócio	92.13	4.42	95.42	216/7-5/K
Arenito proquartzítico	92.91	3.78	96.09	223/7-7/E
Arenito orquartzítico	98.87	0.41	99.58	233/7-10/A

\* Página/Tabela/Amostra

delgadas de amostras das duas populações com IMAT semelhante, se manifesta por uma discreta diferença nas proporções de minerais micáceos.

Ao microscópio, ambas populações contêm, quartzo, clorita e/ou biotita, e uma mica branca. Na ausência de carbonato, as proporções de CaO da população II somente se justificam se a mica branca for uma margarita, o que é corroborado pela posição das amostras desse horizonte nas populações de baixo Na<sub>2</sub>O (parte da população II da Fig. 4d), baixo K<sub>2</sub>O (população III da Fig. 4e) e, também, baixo Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O (população II da Fig. 4f). As altas proporções de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO e CaO dessas amostras só se justificam se a matriz dos protólitos fosse uma mistura de argilo-minerais da família das esmectitas di- e tri-cataédricas e vermiculita, com baixas proporções de illitas.

Nas figuras 4c, 4d, 4e e 4f, a maioria das amostras possuem proporções de CaO, Na<sub>2</sub>O e K<sub>2</sub>O que sugerem, na ausência ou raridade de plagioclásio, particularmente albita, que a mica branca consiste de amplas soluções sólidas entre sericita e paragonita. Em algumas amostras, a paragonita parece ser particularmente importante, como sugere a população I da figura 4d. Isto implica em que os protólitos deveriam ter uma matriz representada por uma mistura de argilo-minerais das famílias da illita e esmectita, em contraste com o horizonte anômalo.

Na figura 4g as amostras se agrupam em três *trends* que, para um mesmo IMAT, diferem nas proporções de Fe<sub>2</sub>O<sub>3total</sub>. O *trend* I é formado por 11 amostras, 65% das quais são xistos carbonosos e metafolhelhos com abundante clorita. O *trend* II reúne a maioria das amostras e inclui as do horizonte anômalo, as quais se agrupam ao longo da inflexão, junto com algumas amostras de outras posições estratigráficas, cujas proporções de MgO são maiores. Nos *trends* II e III, as lâminas delgadas de amostras com IMAT menor têm, em geral, uma razão clorita-biotita/mica branca em torno de 2:1, a qual inverte com o aumento do IMAT, sugerindo que a maturidade sedimentar influenciou a composição mineral da matriz.

Na figura 4h, a população I, que reúne a maioria das amostras, indica que, exceto por três acima e duas abaixo do principal agrupamento, o MgO médio não varia com o IMAT. Isto explica a presença de Fe-clorita como a variedade dominante nestas rochas, a qual contrasta com a Mg-clorita característica da população II, formada apenas por amostras do horizonte anômalo de Guarinos.

A variação de TiO<sub>2</sub> com o IMAT (Fig. 4i) origina dois *trends* com gradientes distintos, cujas causas petrográficas não são perceptíveis em lâminas delgadas devido às proporções de ilmenita detrítica em geral inferiores a 1% nos metarenitos e à sua ausência nos demais litotipos. Ambos *trends*, negativos com IMAT, sugerem que a maior parte do óxido está contida nos minerais micáceos e não é uma fase importante da fração de minerais densos. Ademais, considerando a ausência de variação do TiO<sub>2</sub> com IMAT da população II e que a mesma não é definida por um tipo específico de rocha nem uma posição estratigráfica definida, e que o Ti é relativamente imóvel no ciclo superficial, é provável que os dois *trends* correspondam a rochas que, na área-fonte, eram geoquimicamente distintas em relação ao Ti.

Raciocínio semelhante pode ser adotado para a variação do P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Fig. 4j). Apatita é rara a ausente nas amostras estudadas. Como resíduo, esperar-se-ia que a variação do óxido fosse positiva com o IMAT. A sua variação negativa implica em incorporação nos minerais micáceos. Assim, os três *trends* provavelmente traduzem distintas disponibilidades de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> durante os processos superficiais responsáveis pelas cargas detríticas que geraram os litotipos estudados.

### Variações Recíprocas entre CaO, Na<sub>2</sub>O e K<sub>2</sub>O

A figura 5a mostra que as rochas estudadas podem ser divididas em duas populações, exceto uma de xisto carbonoso rico em Na<sub>2</sub>O que se destaca nos três diagramas. Uma população contém a maioria das amostras, as quais originam uma *trend* aproximadamente linear, de correlação positiva entre CaO e Na<sub>2</sub>O, segundo uma razão aproximada de 1:1. Nesta, os metafolhelhos e xistos carbonosos são estatisticamente mais consistentes que os mais dispersos metarenitos. Outra têm proporções de CaO exponencialmente crescentes com Na<sub>2</sub>O.

Ambas populações possuem amostras dos três litotipos, de diversas posições estratigráficas, indicando que os fatores litológico, estratigráfico e geográfico não foram decisivos na distribuição de Ca e Na. O predomínio de amostras com razões Na<sub>2</sub>O:CaO ≅ 1:1 e a ausência de controle geográfico e estratigráfico sobre a distribuição desses óxidos indicam que a pilha sedimentar foi preferencialmente formada por detritos com razões Na/Ca homogêneas, eventualmente interrompidas por pulsos de cargas mais ricas em Ca.

Por outro lado, a figura 5b mostra que a maioria das amostras têm uma razão K<sub>2</sub>O:Na<sub>2</sub>O >1 e algumas com razão . Comparativamente às rochas equivalentes de outros terrenos arqueanos, este comportamento é anômalo, pois nestas a razão K<sub>2</sub>O:Na<sub>2</sub>O é em geral <1, reflexo da composição estimada da área-fonte.

Na figura 5c, as amostras se dispõem segundo um aumento progressivo de K<sub>2</sub>O. Esta variação não traduz uma condição estratigráfica, pois tanto os xistos carbonosos basais de ambas faixas, quanto os metarenitos e metafolhelhos de topo distribuem-se ao longo de todo o espectro, sugerindo que os protólitos foram controlados por pulsos com razões Ca:Na:K variadas e aleatórias, se desconsideradas as modificações ocorridas durante a diagênese e metamorfismo.

### Varição de Elementos Traços

A figura 6 reúne os diagramas de variação de Cr, Ni, Co, V, Sr, Ba, Zr e Y com IMAT das amostras estudadas. A compreensão de certos aspectos da figura 6 requer as complementações contidas na figura 7. Exceto o Sr, a consistência geoquímica dos óxidos de elementos maiores com IMAT também ocorre com os elementos traços. Assim como os óxidos de elementos maiores, os elementos traços também não discriminam os litotipos.

Os teores de Cr (Figs. 6a) decrescem com IMAT em duas populações, ambos indicando que a concentração do elemento cresce com as proporções de minerais micáceos e não com

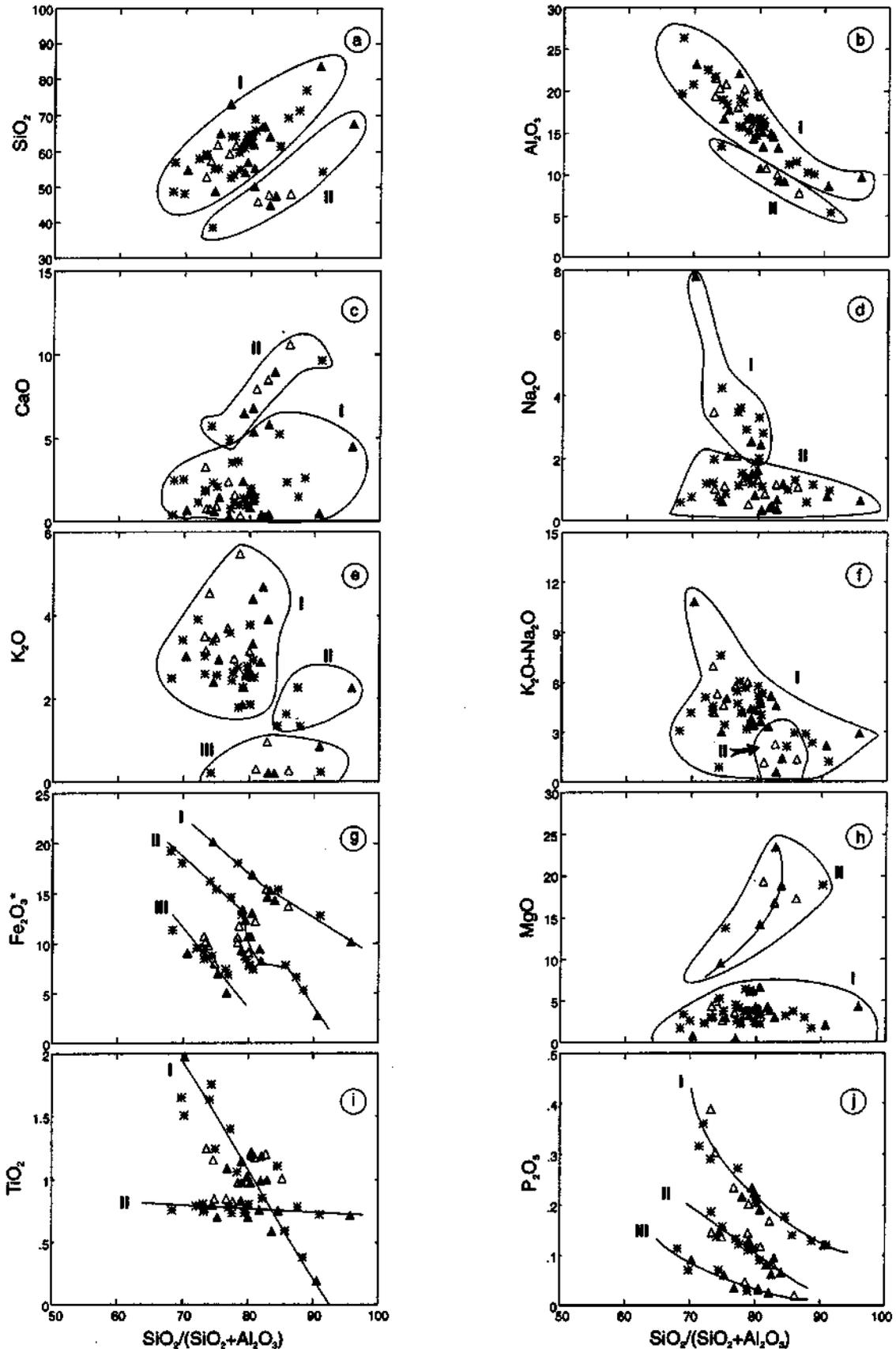


Figura 4 - Diagramas de variação dos óxidos de elementos maiores das rochas metassedimentares detríticas dos greenstone belts de Crixás e Guarinos com o índice geoquímico empírico de maturidade sedimentar detrítica. Símbolos: triângulos cheios - xistos carbonosos, triângulos vazados = metafolhelhos, \* = metarenitos.

Figure 4 - Variation of major element oxides of the detrital metasedimentary rocks of the Crixás and Guarinos greenstone belts with the empirical geochemical maturity index of detrital sedimente. Symbols: filled triangle = carbonaceous schist; open triangle = metashales; \* = metarenites.

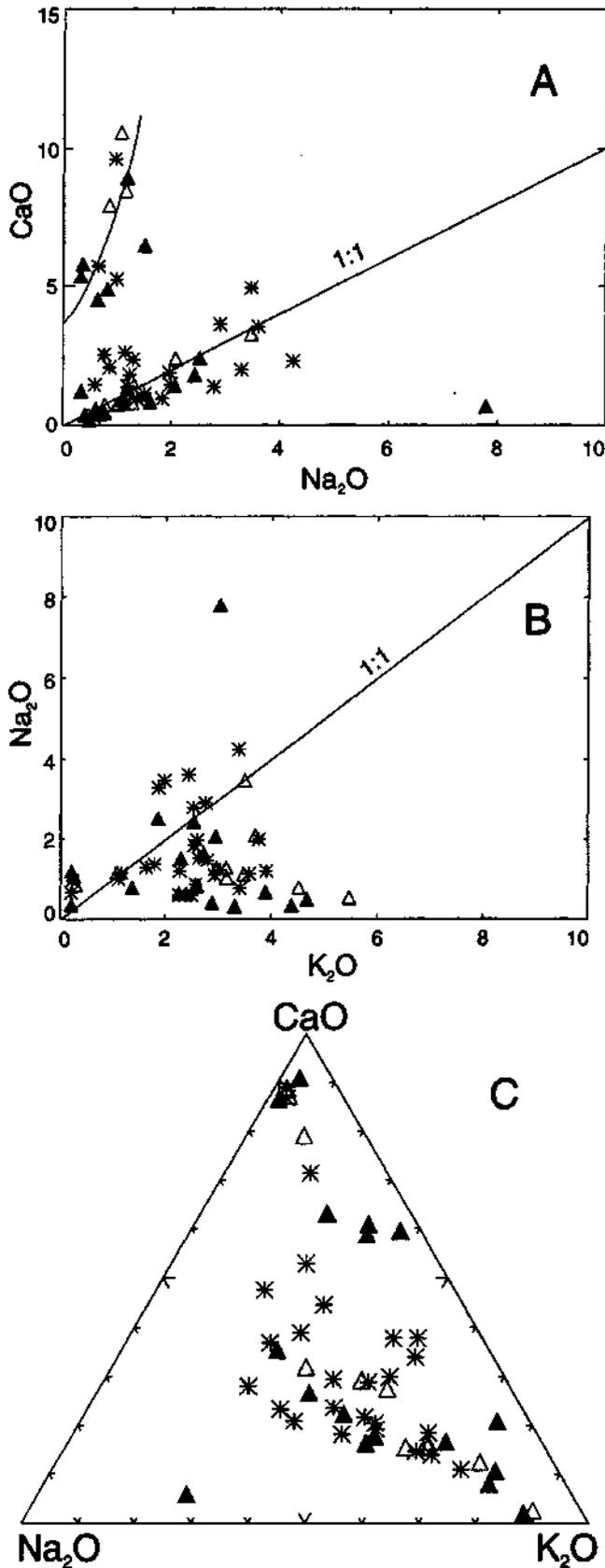


Figura 5 - Variações recíprocas entre CaO, Na<sub>2</sub>O e K<sub>2</sub>O das rochas metassedimentares detríticas dos greenstone belts de Crixás e Guarinos. Símbolos como na figura 4. Figure 5 - Reciprocal variation of CaO, Na<sub>2</sub>O, and K<sub>2</sub>O of the detrital metasedimentary rocks of the Crixás and Guarinos greenstone belts. Symbols as in figure 4.

Cr-espinélios resistentes. Como já evidenciado pela Tabela VIII, Cr e Ni discriminam bem as amostras do horizonte anômalo de Guarinos (população I das Figs. 6a e 6b) dos demais horizontes (população II). A variação de Cr com o Ni (Fig. 8a) repete as duas populações e acrescenta fatos novos. Primeiro, que ambas se alinham aproximadamente segundo o *trend* ígneo. Segundo, a razão Cr:Ni média de basaltos toleíticos está embutida na população I e a do manto primitivo na população II. Estes dois aspectos indicam que a razão Cr:Ni de rochas ígneas é transferida, sem desvios significativos, para o ciclo superficial, devido à relativa imobilidade de ambos. Terceiro, e talvez o mais significativo, pela primeira vez é possível distinguir, ainda que discretamente, os litótipos. Assim, os metarenitos são mais pobres em Ni que os metafolhelhos, por sua vez mais pobres que os xistos carbonosos, independente dos teores de Cr. No par metarenito/metafolhelho dos turbiditos, o comportamento do Ni indica a sua retenção em argilo-minerais, comum no intemperismo de rochas ultramáficas. A ausência de Cr-espinélios detríticos nas amostras estudadas implica, por outro lado, que as razões Cr:Ni dos argilo-minerais dos protólitos, hoje micas, não foram significativamente modificadas em relação à área-fonte e sugerem que a mesma continha um apreciável volume de rochas máficas e ultramáficas.

Os teores de Co e V (Figs. 6c e 6d) e sua variação com IMAT também se distribuem em duas populações. Os teores de Co da população I, apesar da dispersão, aparentemente crescem com IMAT, enquanto os do V decrescem. Nenhum *trend* é gerado pelas amostras das populações II. A primeira vista, as populações I e II parecem ser as respectivas recíprocas. Contudo, a figura 7b indica que a variação de Co independeu do V durante a história sedimentar das rochas estudadas, contrastando com a correlação positiva entre ambos no ciclo ígneo e sugindo que estes elementos se divorciaram no ciclo superficial.

A estas observações se acresce, primeiro, que ambos grupos contêm amostras de Crixás e Guarinos, carecendo, portanto, de controle geográfico e, segundo, que amostras com altos e baixos teores de Co e/ou V se alternam em horizontes de espessura variada nos xistos carbonosos basais e nos metaturbiditos de topo, implicando em ausência de controle estratigráfico. A variação pode, pois, ser explicada por flutuações na organização da composição dos detritos na fonte. Os teores de Sr se dispersam com IMAT (Fig. 6e). Contudo, a correlação CaOxSr (Fig. 7c) é linear e positiva e mais íngreme que nas rochas ígneas, sugerindo que parte do Sr perdeu-se no ciclo sedimentar. Por outro lado, a figura 7c também mostra dois *trends*, dentre os quais o de alto-CaO é formado pelas 8 amostras do horizonte anômalo de Guarinos e quatro de xisto carbonoso, sendo duas de afloramentos em Guarinos e duas, com os mais baixos teores de Sr, de Crixás. Curiosamente, as duas últimas não se agrupam com as anômalas nos demais diagramas.

A variação do Ba (Fig. 6f) é dispersa, mas ressalta as amostras do horizonte anômalo de Guarinos pelos baixos teores. Contudo, a correlação SrxBa (Fig. 8d) além de destacar o horizonte anômalo (população III) e ser positiva em duas das três populações, permite, mais eficazmente que na correlação CrxNi, distinguir os litótipos entre si. Assim, todas as amostras de xisto carbonoso e duas de metafolhelho delimitam um estreito campo de teores mais elevados em Ba (população I), que contrasta com os metarenitos e alguns metafolhelhos (população II), de teores menores. Isto sugere que o ambiente anóxico foi mais propício à concentração de Ba que o turbidítico, talvez em razão de eventuais exalações durante o vulcanismo básico pencontemporâneo. Entretanto, a correlação positiva entre ambos e entre Sr e Ca indicam que estes elementos também estiveram geneticamente interligados no ciclo superficial. Isto sinaliza que os protólitos dos xistos

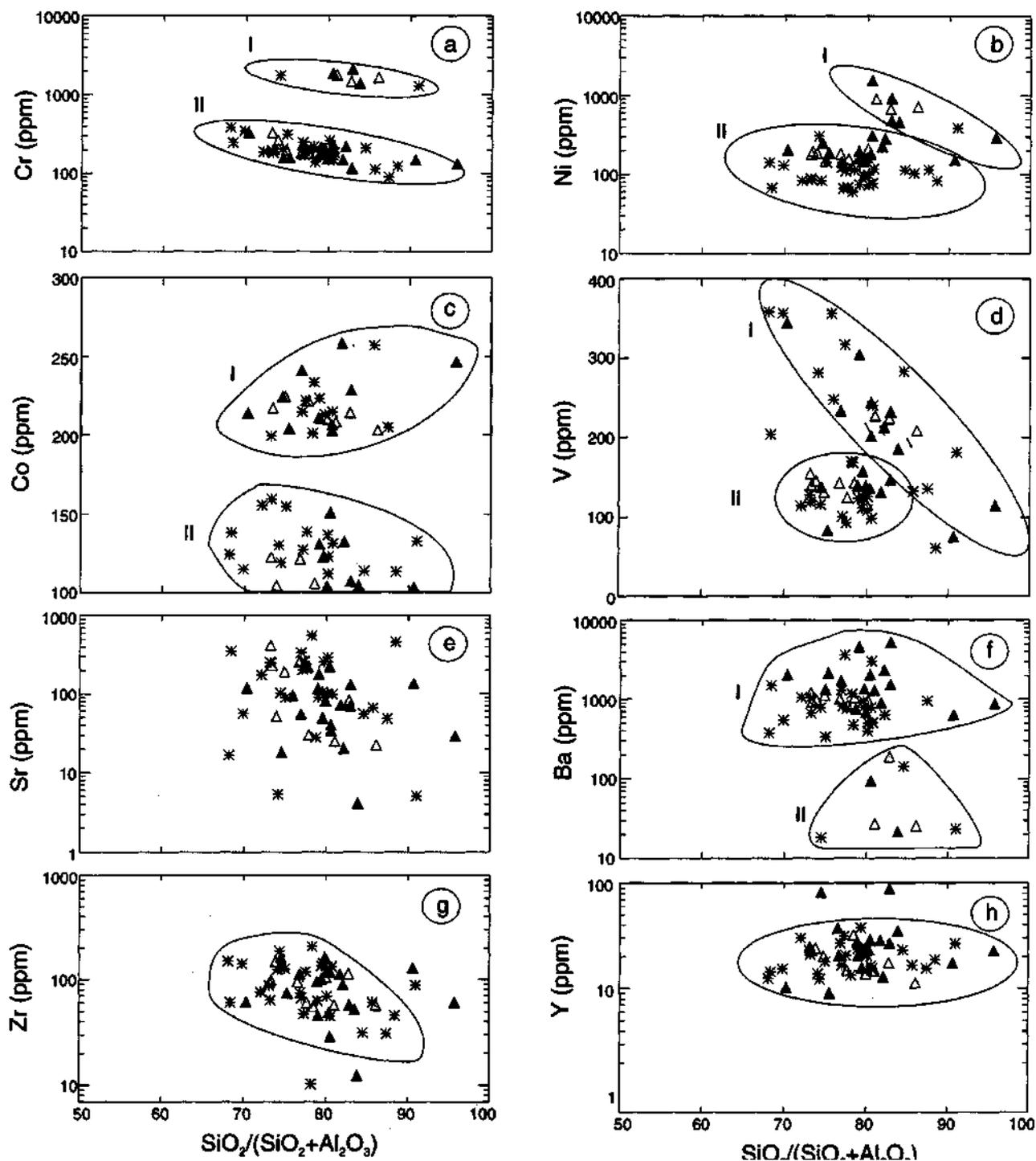


Figura 6 - Diagramas de variação dos elementos traços das rochas metassedimentares detríticas dos greenstone belts de Crixás e Guarinos com o índice geoquímico empírico de maturidade sedimentar detrítica. Símbolos: triângulos cheios = xistos carbonosos, triângulos vazados = metafolhelhos, \* = metarenitos.

Figure 6 - Variation of trace elements of the detrital metasedimentary rocks of the Crixás and Guarinos greenstone belts with an empirical geochemical maturity index of detrital sediments. Symbols: filled triangle = carbonaceous schist; open triangle = metashales; \* = metarenites.

carbonosos formaram-se, provavelmente pela convergência de mais de um processo.

Os teores de Zr (Fig. 6g), exceto por 5 amostras mais dispersas, decrescem com o IMAT, indicando que o elemento é progressivamente menos importante com a maturidade Zr dos protólitos. A raridade ou ausência de zircão nestas rochas sugere que o elemento está adsorvido em minerais micáceos, permitindo interpretá-lo, pela sua imobilidade, como uma

herança geoquímica da área-fonte. Já o Y, apesar da dispersão, é invariável com IMAT (Fig. 6h) e com o Zr (Fig. 7e).

**Elementos Terras Raras** As Tabelas V e VI mostram que cerca de 50% das amostras contêm um  $\Sigma$ ETR entre 20 e 100 ppm, compatível com o observado por Taylor & McLennan (1985) em metassedimentos arqueanos e grauvacas fanerozóicas pobres em quartzo. Cerca de 40% das amostras

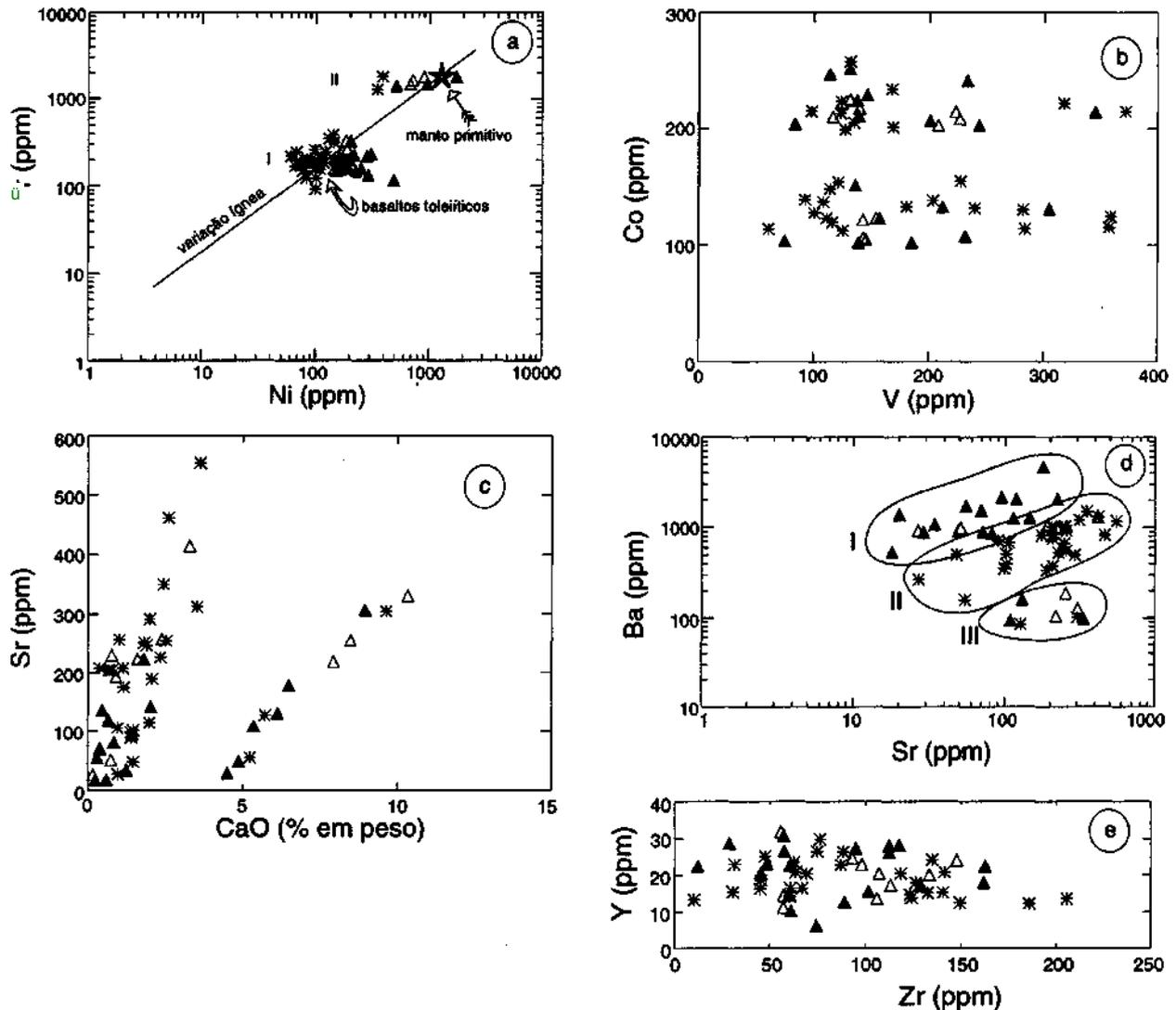


Figura 7 - Diagramas de correlação (a) Ni x Cr, (b) V x Co, (c) CaO x Sr, (d) Sr x Ba, and (e) Zr x Y das rochas metassedimentares detríticas dos greenstone belts de Crixas e Guarinos. Símbolos como na figura 4.

Figure 7 - (a) Ni x Cr, (b) V x Co, (c) CaO x Sr, (d) Sr x Ba, and (e) Zr x Y correlation diagrams of the Crixas and Guarinos greenstone belt detrital metasedimentary rocks. Symbols as in figure 4.

possuem entre 100 e 200 ppm e 10% entre 200 e 300 ppm, teores típicos de grauvascas fanerozóicas ricas a intermediárias em quartzo.

Os três litotipos do horizonte anômalo de Guarinos possuem os mais baixos valores de  $\Sigma$ ETR, situados entre 27 e 60 ppm, em contraste com os demais horizontes estratigráficos. Exceto nesse horizonte, teores entre 100 e 200 ppm oscilam em torno do *background* (112 ppm) e o intervalo de 200 a 300 ppm contém as concentrações anômalas, normalmente situadas em metarenitos.

Os ETR normalizados ao *North American Sediment Composite - NASC* (Fig. 8) evidencia que as rochas estudadas contrastam com as equivalentes pós-arqueanas pelas baixas abundâncias relativas em ETRL e presença de anomalias positivas de Eu. Os ETRP têm distribuição em geral plana. A abundância maior de ETRs ocorre nos xistos carbonosos, é menor nos metargilitos e tem ampla flutuação nos metarenitos. Destaca-se, novamente, o horizonte anômalo, onde há um fracionamento de ETRL inferior a 1, não observado nos demais horizontes.

**ENSAIO DE PROVENIÊNCIA** A comparação da abundância média (Fig. 9a) dos elementos analisados nas rochas estudadas, calculada a partir da Tabela VIII, e suas equivalentes pós-arqueanas (NASC) revela que (1)  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ocorrem em proporções idênticas em ambos grupos de rochas; (2) as amostras estudadas são mais ricas em  $\text{Fe}_2\text{O}_3^*$ , CaO, MgO, MnO, Ba, Cr, Ni, Co, V e Sc, típicos de filiação máfico-ultramáfica, e mais pobres nos demais, consangüíneos com rochas intermediárias e félsicas; (3) os ETRL estão mais concentrados em rochas pós-arqueanas, mas Eu é ligeiramente mais abundante nas rochas estudadas e Tb e Lu (ETRP) ocorrem em proporções similares em ambas. Isto sugere que a composição da área-fonte dos protólitos das rochas de Crixas e Guarinos foi distinta daquela estimada para os sedimentos pós-arqueanos em geral.

Apesar da abundância dos óxidos de elementos maiores de sedimentos elásticos ser um argumento frágil para definir os atributos químicos da área-fonte, as proporções combinadas de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , CaO, MgO, MnO, Cr, Ni, Co, Sc e os baixos teores de ETRL relativamente aos ETRP apontam que a proveniência das rochas estudadas é máfico-ultramáfica. Por outro lado, a variação dos teores de Th, La e Sc (Fig. 9b) das

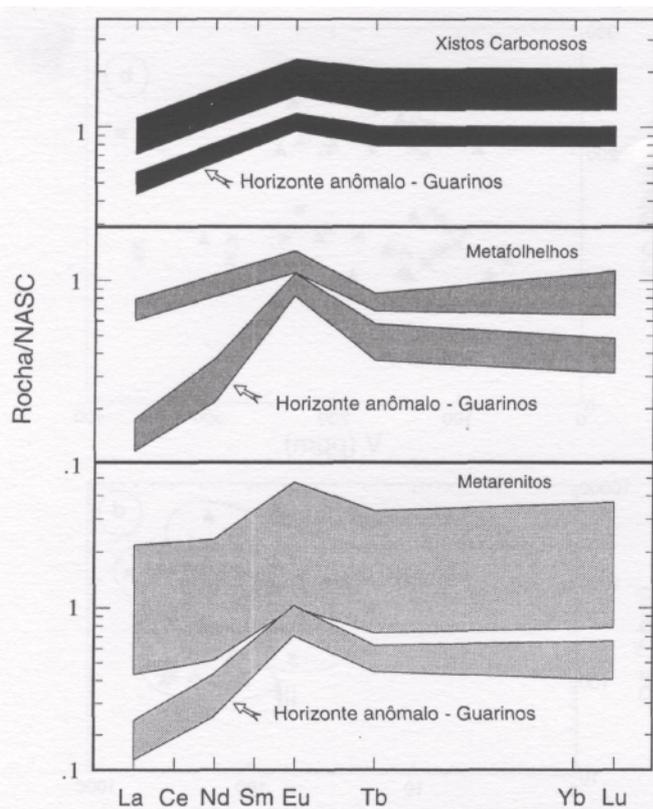


Figura 8 - Assinaturas dos Elementos Terras Raras (ETR) normalizadas ao NASC de xistos carbonosos, metafolhelhos e metarenitos dos greenstone belts de Crixás e Guarinos. Dados do NASC segundo Gromet et al. 1984. Figure 8 - NASC normalized REE signatures of carbonaceous schists, metashales and metarenites of the Crixás and Guarinos greenstone belts. NASC data according to Gromet et al. 1984.

amostras onde foram determinados, segue um *trend* linear, a partir do vértice do Sc, rumo ao campo restrito das rochas sedimentares pós-arqueanas, indicando uma contribuição também de rochas félsicas e, assim, de proveniência bimodal.

Para modelar esta proveniência bimodal, empregamos elementos com as seguintes propriedades: (1) relativa imobilidade, (2) capacidade quantitativa e física de transporte na forma adsorvida em argilo-minerais, (3) invariância ou correlação negativa com IMAT, e (4) propriedades geoquímicas opostas. Dentre todos os elementos, os que cumprem estas propriedades são, aos pares, Zr-Y e Cr-Ti. Para modelar a proveniência, empregamos as suas razões, no pressuposto de que estas, e não os seus teores, são mais sensíveis às características da área-fonte (Fig. 9c).

A figura 9c inclui, também, as razões Cr/Ti e Zr/Y de uma amostra de metabasalto e uma de metakomatiito do *greenstone belt* de Guarinos. Para compatibilizar a ausência de anomalias negativas de Eu, a presença, ainda que rara, de plagioclásio e a ausência de feldspato potássico nas rochas estudadas, o diagrama também inclui uma amostra de um tonalito que intrude, no oeste, o *greenstone belt* de Guarinos (Tonalito Tocambira).

A variação das razões Cr/Ti e Zr/Y mostra que a maioria das amostras pode ser explicada por uma área-fonte dominada por rochas básicas, e que o horizonte anômalo de Guarinos requer uma participação maior de komatiitos, subordinadamente basaltos. Ambos, no entanto, mostram um aumento da razão Zr/Y que implica na participação de proporções variadas de uma proveniência menor também de rochas félsicas e, por conseguinte, bimodal.

**DISCUSSÃO** Do exposto se conclui que as propriedades geoquímicas das seções metassedimentares estudadas não diferem das obtidas por Feng & Kerrich (1990, Camiré et al (1993), Mueller et al. (1994), Wronkiewicz & Condie (1987), Nancy & Taylor (1976), Maas & McCulloch (1991), Jenner et al. (1981), Gibbs et al. (1986), Naqvi et al. (1988) e Arora et al (1994) em terrenos arqueanos de outras regiões. Por outro lado, essas propriedades, agora mais abundantes, também corroboram as observações preliminares anteriores de Jost et al. (1993, 1995) e sustentam as suas aplicações estratigráficas e de mapeamento sugeridas por Jost (1996).

Os xistos carbonosos basais e os metaturbiditos distais de topo de ambas faixas traduzem regimes tectônicos contrastantes. O progressivo ingresso do ambiente anóxico por declínio gradativo do vulcanismo basáltico e as intercalações, ainda que eventuais, de metabasaltos em várias posições estratigráficas dos xistos carbonosos indicam a bacia deposicional esteve sob regime distensivo. Já os metaturbiditos, pela sua natureza e súbito ingresso na bacia, podem ser interpretados como produto de uma fase de soerguimento acelerado. Contudo, a semelhança geoquímica entre os xistos carbonosos e os metaturbiditos indica que a variação no regime tectônico não foi acompanhada de mudanças na composição da área-fonte dos dois segmentos estratigráficos.

A interpretação da composição de áreas-fonte com base nas características geoquímicas dessas rochas detríticas não significa atribuir-lhes uma proveniência continental. Se assim fosse, isto implicaria em solucionar, para a área, pelo menos dois aspectos.

Primeiro, especular, para a região, sobre a presença de um continente arqueano. Até o presente, são desconhecidas, em base geocronológica, rochas mais antigas que 2.8 Ga. (Tassinari & Montalvão 1980, Montalvão 1985, Arndt et al. 1989) a provável idade das rochas supracrustais e dos terrenos granito-gnáissicos. Isto contrasta com o grau de certeza sobre a existência e a composição dos continentes que alimentaram bacias sedimentares intra- e pericratônicas mais jovens que 2.5 Ga e sobre a proveniência elástica.

Segundo, que os pelitos de terrenos com vulcanismo ativo, tais como arcos de ilha e *greenstone belts*, não fornecem muitas informações acerca das crostas continentais contemporâneas (Gromet et al. 1984, Taylor & McLennan 1985, Gibbs et al. 1986). Ademais, as suas características geológicas diferem, significativamente, de bacias intracratônicas e margens continentais passivas, cujos detritos elásticos provém diretamente dos continentes adjacentes.

Na área estudada, estes aspectos podem ser conciliados se a proveniência for interpretada como o fruto, em grande parte, da erosão e mistura de produtos de intemperismo de vulcânicas máfico/ultramáficas das seções estratigráficas inferiores. Assim, os protólitos dos xistos carbonosos podem ter sido depositados em amplas depressões da topografia da superfície dos basaltos e alimentados a partir das áreas altas. Já a deposição turbidítica, vinculada ao soerguimento da área-fonte, também requer erosão da pilha vulcânica máfico/ultramáfica, mas com incisão insuficiente para alcançar os komatiitos basais. A fraca contribuição ultramáfica pode ser explicada pela erosão de escassos basaltos komatiíticos intercalados nos basaltos, exceto o horizonte anômalo de Guarinos, cujas rochas metassedimentares se explicam por erosão parcial das rochas ultramáficas associadas, a exemplo de Piumhi (Lima 1996).

A contribuição félsica é, ainda, problemática. Nos xistos carbonosos, os níveis de púmice trondhjemítico (Theodoro 1995) é, até o presente, a única evidência direta de rochas félsicas geoquimicamente compatíveis as metassedimentares, e indica que esta componente pode provir de cinza ejetada de edifícios vulcânicos distais. Nos metaturbiditos, a contribuição félsica poderia ser explicada por soerguimento, por

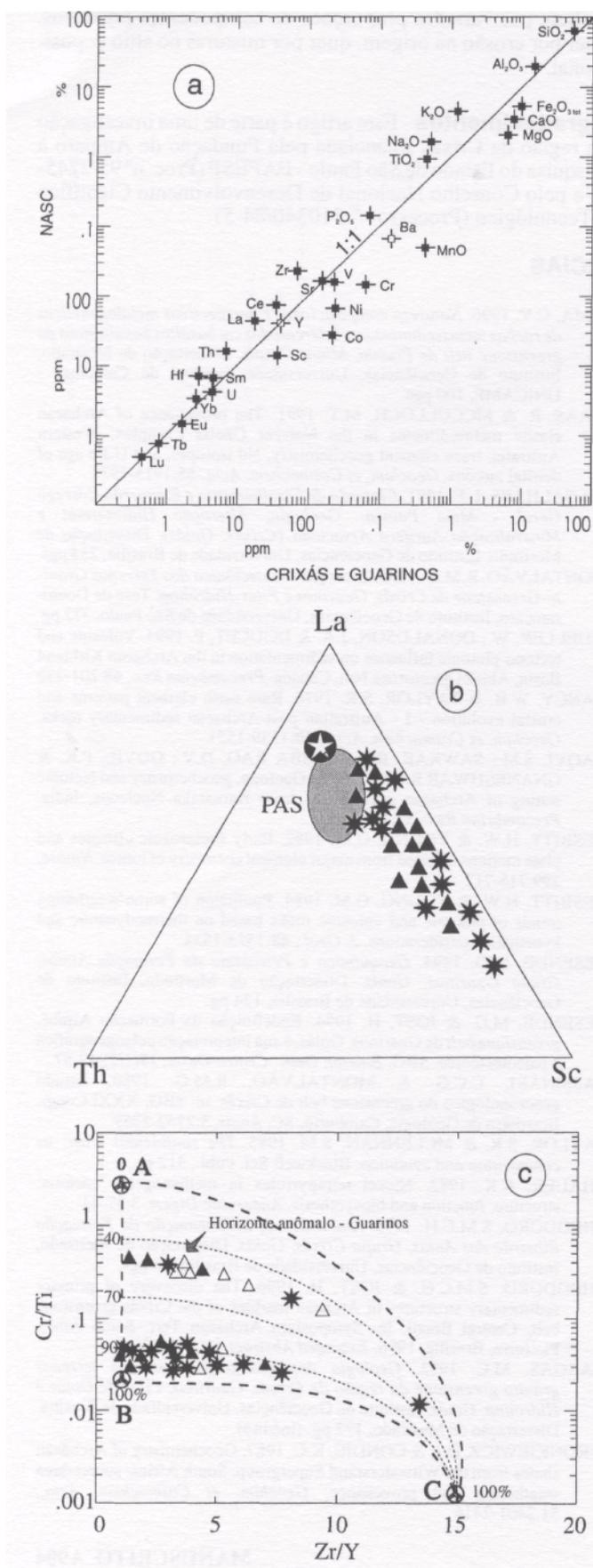


Figura 9-(a)- Comparação da composição média das rochas metassedimentares detríticas dos greenstone belts de Crixás e Guarinos com a de folhelho de referência pós-arqueano (NASC). Observar que as rochas estudadas são mais ricas em elementos ferromagnesianos e mais pobres nos demais, comparativamente às equi-valentes pós-arqueanas. (b) - Diagrama Th-La-Sc mostrando a posição das amostras de rochas metassedimentares detríticas estudadas, comparativamente ao restrito campo de equivalentes pós-arqueanas (PAS) e a razão média granodiorítica da crosta continental (estrela), ambos segundo Taylor & McLennan (1985). (c) Modelo bimodal a composição das rochas metassedimentares detríticas dos greenstone belts de Crixás e Guarinos. Os pontos A e B correspondem às razões Zr/Y e Cr/Ti de uma amostra de komatiito e uma de metabasalto das porções estratigráficas inferiores do greenstone belt de Guarinos. O ponto C representa as razões de um tonalito intrusivo em ambas faixas (Tonalito Tocambira). As linhas tracejadas e pontilhadas correspondem a misturas de diferentes proporções de komatiito e basalto (adaptado de Camiré et al. 1993). Símbolos como no figura 4.

Figure 9 - (a) - Diagram comparing the average composition of the detrital metasedimentary rocks of the Crixás and Guarinos greenstone belts and the post-Archean North American Sediment Composite (NASC). Observe that, in the average, the studied rocks are richer and ferromagnesian elements and poorer in other elements. (b) -Th-La-Sc diagram showing the linear array of the detrital metasedimentary rocks of the Crixás and Guarinos greenstone belts, as well as the restrict field of the post-Archean shales (PAS) and of the granodioritic average continental crust (star), both after Taylor & McLennan (1985). (c) - Bimodal mixture modeling of the source area of the Crixás and Guarinos metasedimentary rocks. Points A and B correspond to the Zr/Y and Cr/Ti ratios of one sample of metakomatiite and one of metabasalt of the lower stratigraphic sections of the Guarinos belt, and point C the ratios of one sample of as Archean tonalite (Tocambira Tonalite) intruded in both belts. Dotted and traced lines represent mixing lines of metakomatiite and metabasalt (adapted from Camiré et al. 1993).

diapirismo, das unidades vulcânicas inferiores e subsequente exposição de núcleos tonalíticos.

Contudo, Jost et al. (1995) e Jost & Queiroz (1995) mostram que (1) as relíquias de estruturas primárias indicativas de topo-e-base em rochas metavulcânicas e metassedimentares de ambas faixas indicam que os níveis estratigráficos mais jovens, sedimentares, estão estruturalmente sotopostos aos mais velhos, vulcânicos, e, por conseguinte, as seqüências estratigráficas estão completamente invertidas, e (2) o soerguimento diapírico de gnaisses e intrusões tonalítico-granodioríticos adjacentes, e sua exposição na superfície, ocorreu após o metamorfismo, deformação, transporte tectônico e inversão estratigráfica das supracrustais. Isto exclui os complexos tonalítico-granodioríticos regionais da área-fonte félsica das rochas estudadas. A isto se acresce o predomínio, em área, de gnaisses granodioríticos, cujas anomalias negativas de Eu (Vargas 1992) não sustentam, na mistura bimodal de detritos, as anomalias positivas das amostras estudadas.

Os níveis de xisto carbonoso com fragmentos de pumice trondhjemítico são, até o momento, as únicas evidências diretas de atividade magmática félsica contemporânea e geoquimicamente compatível com as rochas metassedimentares estudadas. A semelhança mineralógica entre vulcanoclasticas trondhjemíticas e os metaturbiditos pode estar dificultando o sua identificação em meio aos metaturbiditos, dificultando esta que se acentua na medida em que as primeiras tivessem o calibre de cinza. O comportamento similar dos elementos traços indica que a componente félsica de ambas seções estratigráficas não mudou com o regime tectônico. Assim, enquanto nos xistos carbonosos ela se explica por vulcanismo

ativo, nos metaturbiditos ela pode ser explicada por erosão dos respectivos edifícios durante o soerguimento.

Por fim, o comportamento geral de óxidos de elementos maiores e menores e o dos elementos traços permite concluir que os sítios de deposição em ambos regimes tectônicos foram alimentados por cargas de composição variada. As flutuações da abundância de elementos imóveis entre as amostras indicam variação nas proporções dos componentes primários. Isto, combinado com a ausência de uma variação secular daquelas abundâncias ao longo das seções sedimentares es-

tudadas, sugere que a carga elástica foi composta, de modo cíclico, por variadas proporções de componentes primários, quer por erosão na origem, quer por misturas no sítio deposicional.

**Agradecimentos** - Este artigo é parte de uma investigação na região de Crixás financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP (Proc. n° 95/2745-3) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Processo n° 310340/84-5)

## REFERÊNCIAS

- ARNDT, N.T.; TEIXEIRA, N.A. & WHITE, W.M. 1989. Bizarre geochemistry of komatiites from the Crixás greenstone belts, Brazil. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **101**:187-197.
- ARORA, M.; KHAN, R.M.K. & NAQVI, S.M. 1994. Composition of the middle and late Archean upper continental crust as sampled from the Kaldurga Conglomerate, Dharwar craton, India. *Precambrian Res.*, **70**:93-112
- BARWISE, A.J.G. & WHITEHEAD, E.V. 1984. Review: abundance and origin of fossil fuel metals. In: S.S. Augustithis (edit) *The Significance of Trace Elements in Solving Petrogenetic Problems and Controversies*. Theoprastus Publications S.A., Atenas, Grécia, pg. 599-643
- CAMIRÉ, G.E.; LAFLÈCHE, M.R. & LUDDEN, J.N. 1993. Archean metasedimentary rocks from the northwestern Pontiac Subprovince of the Canadian Shield: chemical characterization, weathering and modelling of the source áreas. *Precambrian Res.*, **62**:285-305
- COX, R.; LOWE, D.R. & CULLERS, R.L. 1995. The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the south-western United States. *Geochim. Cosmoch. Acta*, **59**:2919-2940
- FENG, R. & KERRICH, R. 1990. Geochemistry of fine-grained clastic sediments in the Archean Abitibi greenstone belt, Canada: Implications for provenance and tectonic setting. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **54**:1061-1081.
- FORTES, P.T.F.O. & TAKAKI, T. 1993. Estudo dos isótopos de carbono e oxigênio em rochas encaixantes do depósito aurífero Mina III, Crixás, Goiás. IV Congr. Brasileiro de Geoquímica, *Resumos Expandidos*, pg.:186-188
- FORTES, P.T.F.O. 1995. *Metagenia dos Depósitos Auríferos Mina III, Mina Nova e Mina Inglesa, Greenstone Belt de Crixás, Goiás*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 207 Pgs.
- GIBBS, A.K.; MONTGOMERY, C.W.; O'DAY, P.A. & ERSLEV, E.A. 1986. The Archean-proterozoic transition: evidence from the geochemistry of metasedimentary rocks of Guyana and Montana. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, **50**:2125-2141
- GROMET, L.P.; DYMEK, R.F.; HASKIN, L.A. & KOROTEV, R.L. 1984. The "North American shale composite": Its compilation, major and trace element characteristics. *Geochim. et Cosmochim. Acta.*, **48**:2469-2482
- JENNER, G.A.; FRYER, B.J. & MCLENNAN, S.M. 1981. Geochemistry of the Archean Yellowknife Supergroup. *Geochim. et Cosmochim. Acta.*, **45**:1111-1129-
- JOST, H. 1996. Are the detrital metasedimentary rocks of the Crixás and Guarinos greenstone belts, Goiás, of the same age and provenance? Constraints from REE geochemistry. SBG, Symposium Archean Terranes of the South American Platform, *Extended Abstracts* volume, pg. 21-25.
- JOST, H.; FIGUEIREDO, A.M.G. & FERREIRA, A.V. 1995. Elementos em traço e a proveniência elástica na transição de ambiente euxênico para turbidítico em metassedimentos do greenstone belt de Guarinos, Goiás. In SBGq.V Congresso Brasileiro de Geoquímica, Niterói, *Anais em CD-ROM*.... 1995, 4 pgs.
- JOST, H.; KUYUMJIAN, R.M. e SILVA, C.A. \_ 1993 \_ Características geoquímicas e a proveniência dos metassedimentos arqueanos do Grupo Guarinos, GO. \_ Soc. Bras. Geoqu., IV Congresso Brasileiro de Geoquímica, Brasília, *Anais em CD-ROM*, pg. 109-112
- KAPO, G. 1978. Vanadium: key to Venezuelan fossil hydrocarbons. In: G.V. Chilingarin & T.F. Yen (edit.) *Bitumens, Asphalts and Tar Sands*. Elsevier Scient. Publ. Co, New York, p.: 213-241.
- LANCASTER, J.R. 1982. New biological paramagnetic centre: octahedrally coordinated nickel in the methanogenic bacteria. *Science*, **216**:1324-1325
- LIMA, C.V. 1996. *Natureza composicional e perspectivas metalogenéticas de rochas metassedimentares intercaladas em basaltos komatiíticos do greenstone belt de Piumhi, Minas Gerais*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, 100 pgs.
- MAAS, R. & MCCULLOCH, M.T. 1991. The provenance of Archean clastic metasediments in the Narryer Gneiss Complex, Western Australia: trace element geochemistry, Nd isotopes, and U-Pb age of detrital zircons. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, **55**:1915-1932
- MAGALHÃES, L.F. 1991. *Cinturão de Cisalhamento e Empurrão Córrego Geral - Meia P ataca: Geologia, Alteração Hidrotermal e Mineralização Aurífera Associada (Crixás, Goiás)*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 233 pgs.
- MONTALVÃO, R.M.G. 1985. *Evolução Geotectônica dos Terrenos Granito-Greenstone de Crixás, Guarinos e Pilar-Hidrolina*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 372 pg.
- MUELLER, W.; DONALDSON, J.A. & DOUCET, P. 1994. Volcanic and tectono-plutonic influence on sedimentation in the Archean Kirkland Basin, Abitibi greenstone belt, Canada. *Precambrian Res.*, **68**:201-230
- NANCY, W.B. & TAYLOR, S.R. 1976. Rare earth element patterns and crustal evolution - I - Australian post-Archean sedimentary rocks. *Geochim. et Cosmochim. Acta.*, **40**:1539-1551
- NAQVI, S.M.; SAWKAR, R.H.; SUBBA RAO, D.V.; GOVIL, P.K. & GNANESHWAR RAO, T. 1988. Geology, geochemistry and tectonic setting of Archean graywackes from Karnataka Nucleus, India. *Precambrian Res.*, **39**:193-216
- NESBITT, H.W. & YOUNG, G.M. 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, **299**:715-717
- NESBITT, H.W. & YOUNG, G.M. 1984. Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinematic considerations. *J. Geol.*, **48**:1523-1534
- RESENDE, M.G. 1994. *Geoquímica e Petrologia da Formação Aimbé, Grupo Guarinos, Goiás*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 124 pg.
- RESENDE, M.G. & JOST, H. 1994. Redefinição da Formação Aimbé, greenstone belt de Guarinos, Goiás, e sua interpretação pelogeográfica e paleotectônica. SBG, *Boletim Geoc. Centro-Oeste*, **17**(1/2):49-57
- TASSINARI, C.C.G. & MONTALVÃO, R.M.G. 1980. Estudo geocronológico do greenstone belt de Crixás. In: SBG, XXXI Congr. Brasileiro de Geologia, Camburiú, SC, *Anais*, **5**:2752-2759
- TAYLOR, S.R. & MCLENNAN, S.M. 1985. *The continental crust: its composition and evolution*. Blackwell Sci. Publ., 312 pp.
- THAUER, R.K. 1982. Nickel tetrapyrroles in methanogenic bacteria: structure, function and biosynthesis. *Anaerobic Digest*, **3**:37-44
- THEODORO, S.M.C.H. 1995. *Ambientes de Sedimentação da Formação Ribeirão das Antas, Grupo Crixás, Goiás*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 88 pgs.
- THEODORO, S.M.C.H. & JOST, H. 1996. The discovery of primary sedimentary structures in Archean marbles of the Crixás greenstone belt, Central Brazil. In: Symposium Archean Terr. South Amer. Platform, Brasília, 1996, *Extended Abstract*, pp.: 41-42
- VARGAS, M.C. 1992. *Geologia dos granito-gnaisses dos terrenos granito-greenstone da região de Crixás, Guarinos, Pilar de Goiás e Hidrolina, Goiás*. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Dissertação de Mestrado, 172 pg. (inédito)
- WRONKIEWICZ, D.J. & CONDIE, K.C. 1987. Geochemistry of Archean shales from the Witwatersrand Supergroup, South Africa: source-area weathering and provenance. *Geochim. et Cosmochim. Acta.*, **51**:2401-2416

MANUSCRITO A904

Recebido em 15 de janeiro de 1997

Revisão dos autores em 4 de março de 1997

Revisão aceita em 8 de março de 1997