

Levantamento Geoquímico Orientativo para Fosfato na Região de Itataia, Estado do Ceará, Brasil

Bruno de Oliveira Calado^{1*}
Claudio Gerheim Porto²
Maisa Bastos Abram³

¹CPRM - Serviço Geológico do Brasil
Av. Antônio Sales, 1418 - Joaquim Távora
Fortaleza - CE - Brasil
CEP: 60135-101.

²CPRM - Serviço Geológico do Brasil
Divisão de Geoquímica
Av. Pasteur, 404 - Urca
Rio de Janeiro - RJ, Brasil
CEP: 2295-255.

³CPRM - Serviço Geológico do Brasil
Av. Ulysses Guimarães, 2862 - Sussuarana
Salvador - BA - Brasil
CEP: 41213-000

*bruno.calado@cprm.gov.br
claudio.porto@cprm.gov.br;
maisa.abram@cprm.gov.br

* Autor para correspondência

Resumo

Uma pesquisa geoquímica foi realizada nas imediações do depósito fósforo-urânífero de Itataia no Estado do Ceará, nordeste do Brasil, como parte do Projeto Fosfato executado pelo Serviço Geológico do Brasil. Os dados do levantamento geoquímico de sedimentos de corrente da Folha Quixadá, na escala 1:250.000, foram processados e interpretados para avaliar detalhadamente a resposta geoquímica emitida pelo depósito. A geoquímica do minério, sedimentos e solos na escala de detalhe na vizinhança do depósito são reportados para o estudo da mobilidade dos metais e sua dispersão relacionada ao minério. A geoquímica de sedimentos de baixa densidade de amostragem foi analisada por gráficos QQ Plot que indicaram pontos anômalos de P e U na vizinhança do depósito. As associações geoquímicas mostraram que o P está associado com o Yb, Th, Lu, Y, Ce, La, Mn e U, e é bem delineado em torno do depósito. O perfil de solo ao longo da encosta que hospeda o depósito mostra uma dispersão predominantemente clástica até 850 metros, e realce nas frações Total e <20 mesh. O solo sobre o minério apresenta enriquecimento em U, P, Yb, Tb, Lu, La, Ce e Cd em comparação aos solos regionais. Os sedimentos paleo-aluvionares na fração <150 mesh apresentam altos níveis de As, Be, Bi, Co, Cr, Cu, Fe, Al, Ga, Li, Ni, Sn, V e Zn, em comparação aos sedimentos de corrente. Estes elementos são enriquecidos no minério, o que reforça a aplicabilidade do paleo-aluvião como meio amostral em prospecção geoquímica.

Abstract

A geochemical survey was conducted in the vicinity of the Itataia uranium-phosphorus deposit in the Ceara state, northeastern Brazil, as part of the Phosphate Project implemented by the Geological Survey of Brazil. Data from the geochemical survey of stream sediments from the Quixadá sheet, scale 1:250,000, were processed and interpreted to evaluate in more detail the geochemical response issued by the deposit. Geochemistry of ore, sediment and soil on the scale of detail in the vicinity of the deposit are reported to study the mobility of metals and their ore-related dispersion. The geochemistry of sediment samples of low density were analyzed by QQ Plot graphs indicate anomalous points of P and U in the vicinity of the deposit. The geochemical associations showed that P is associated with the Yb, Th, Lu, Y, Ce, La, Mn and U, and is well delineated surrounding the deposit. The transect soil along the slope that hosts the deposit shows a predominantly clastic dispersion up to 850 meters, and highlighting in fractions Total and <20 meshes. The soil on the ore presents enrichment in U, P, Yb, Tb, Lu, La, Ce and Cd compared to soil in regional rocks. The paleo-alluvial sediments in the fraction <150 meshes exhibit high levels of As, Be, Bi, Co, Cr, Cu, Fe, Al, Ga, Li, Ni, Sn, V and Zn, compared to stream sediments. These elements are enriched in the ore, which reinforces the applicability of paleo-alluvials as sample medium in geochemical exploration.

1. INTRODUÇÃO

Levantamento geoquímico orientativo tem como objetivo compreender a expressão geoquímica superficial de depósitos minerais e direcionar os procedimentos geoquímicos exploratórios mais adequados à sua detecção (Horsnail, 2001). São considerados os fatores geológicos suscetíveis de causar variações no fundo geoquímico, os fatores ambientais, ou de paisagem, suscetíveis de influenciar a expressão geoquímica do depósito mineral.

Os diferentes meios amostrais são geralmente testados por uma variedade de métodos analíticos e técnicas de análise de dados para a interpretação dos resultados geoquímicos. No caso de materiais sedimentares superficiais (lagos e sedimentos fluviais), as diferentes frações granulométricas podem refletir diferentes processos de dispersão. A escolha da fração granulométrica pode ter uma grande influência sobre o tipo de resposta geoquímica de uma área. Em qualquer levantamento geoquímico os materiais amostrados devem ser cuidadosamente classificados a fim de fornecer pistas sobre os processos geoquímicos atuantes (Grunsky, 2010).

Neste trabalho apresentamos os resultados de reprocessamento e interpretação de dados de levantamento geoquímico de sedimentos fluviais executados na folha Quixadá, Ceará, na escala 1:250.000. Buscou-se avaliar com mais detalhe a resposta geoquímica emitida pelo depósito de U-P de Itataia, localizado na porção norte da província Borborema, nordeste do Brasil, contendo a maior reserva de urânio do país. Em adição, são divulgados os resultados de um levantamento geoquímico de detalhe subsequente na escala de 1:25.000, no entorno do referido depósito executado como parte do Projeto Fosfato Brasil (Abram *et al.*, 2011).

O depósito de Itataia foi descoberto em 1976, durante o Projeto Canindé, realizado através do convênio NUCLEBRÁS/CPRM. A partir dessa descoberta foram realizados levantamentos geofísicos, mapeamento geológico, 37.000 m de sondagens exploratórias, aberturas de trincheiras e 1.270 m de galerias. Durante um longo período a jazida não foi explorada, porém recentemente a Mineradora Galvani venceu a concorrência pública das Indústrias Nucleares do Brasil (INB) e adquiriu o direito de explorar a referida jazida. A cubagem da jazida indicou uma reserva de 142.500 t de minério com teor médio de 0,19% de U_3O_8 e 18 Mt de minério de fosfato com teor médio de 26,35% de P_2O_5 (Mendonça *et al.* 1984).

O depósito fósforo-uranífero de Itataia é um depósito de fosfato com urânio como subproduto. Entretanto não há mineral de urânio. Todo o urânio está concentrado na estrutura da apatita que ocorre na forma de uma massa micro-cristalina denominada de colofanito. Os colofanitos estão hospedados em mármores dolomíticos da Unidade Independência, pertencente ao Complexo Ceará, de idade neoproterozoica (Figura 1). Estes colofanitos podem ser maciços ou porosos, ocorrem preenchendo fraturas e falhas, paredes de veios de calcita e fraturas abertas com hábito botrioidal, preenchem os vazios resultantes da dissolução do quartzo nos diques de epissienitos encaixados nos mármores e rochas calciossilicáticas e também ocorrem como fragmentos preenchendo feições cársticas.

A origem do depósito permanece enigmática. O modelo genético para os fluidos mineralizantes possui duas vertentes: uma hidrotermal com fonte magmatogênica e outra metamórfica-hidrotermal com fonte sedimentogênica, ambas com enriquecimento supergênico tardio por carstificação (Santos *et al.*, 2014; Castro *et al.*, 2005). A fase cárstica é marcada por um perfil de alteração que atinge até 300 metros de profundidade, com a precipitação de colofanitos com hábito botrioidal, característico de ambiente subaquoso. O colofanito é composto essencialmente por fluorapatita, mas pode conter calcita neoformada e fragmentos de minerais preexistentes (feldspato, anfíbólio, biotita e minerais opacos).

Estudos recentes de Veríssimo *et al.* (2016) propõem um modelo genético para a mineralização U-P de Itataia. Primeiro a deposição de fosfato em ambiente costeiro formado por deltas e lagoas na presença de matéria orgânica, com lama calcária, psamitos, pelitos e sedimentos químicos de plataforma rasa. Este evento é responsável pelo fosfato primário de origem sedimentar (fosforitos). Em seguida, ocorre metamorfismo, deformação e granitogênese tardia e pós-orogênica, associado à orogenia Brasileiro/Pan-Africana, com a formação de fosfatos e recristalização em condições metamórficas. Em seguida um evento relacionado à circulação de fluidos hidrotermais e metassomatismo peralcalino a alcalinos de alta temperatura, de origem magmática ao longo dos espaços abertos como foliações, zonas extensionais e planos de falhas, e que formam os epissienitos ricos em urânio e fosfatos em armadilhas estruturais. Um segundo evento está

associado ao hidrotermalismo de baixa temperatura com mistura de fluidos meteóricos e hidrotermais, com minério tipo stockwork e veios

de colofanito. Por fim, uma fase supergênica associada ao nível freático e vadoso de águas meteóricas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Durante o reconhecimento geoquímico da folha Quixadá 1:250.000 foram coletadas 388 amostras de sedimentos fluviais, representando áreas de captação com em média 40 Km² e analisadas pelo laboratório ACME para 53 elementos por ICP-MS após secas, peneiradas e quarteadas, onde as frações >80# foram pulverizadas e digeridas em água régia. Como parte do presente trabalho estes mesmos dados foram reprocessados visando avaliar mais especificamente a resposta geoquímica do depósito de P-U nos sedimentos fluviais em escala regional.

Em seguida, foi processado os dados do levantamento geoquímico de detalhe na escala 1:25.000, no entorno do referido depósito, executado como parte do Projeto Fosfato Brasil (Abram *et al.*, 2011). Nesta oportunidade foram coletadas amostras do minério (n=2), de

solos (n=8) em um perfil de 700 metros ao longo de uma encosta, partindo do topo do Serrote Verde onde aflora o depósito, até as margens do Riacho das Guaribas, em intervalos aproximados de 100 metros, com apenas uma amostra distante 2 km para jusante deste riacho; de sedimentos fluviais (n=39) em bacias de captação de 2º ordem no entorno do depósito, e por fim, nas margens do Riacho do Bitu, na localidade de Morrinhos e distante cerca de 7 km a jusante do depósito, foram coletados seis intervalos regulares de um pacote sedimentar de 2 metros de espessura, erodido nas margens deste riacho, constituído de depósitos sedimentares pretéritos (paleoaluvião), intercalados em fácies conglomeráticas e silto-arenosas, e finas camadas argilosas (Figuras 1 e 2). Nesta etapa todas as amostras foram preparadas e analisadas pela SGS-Geosol, conforme sumariza a Tabela 1.

Tabela 1 – Elementos analisados, limites de detecção, técnicas analíticas e frações granulométricas analisadas no levantamento geoquímico de detalhe do entorno do depósito de Itataia, Ceará.

Amostra	Elementos	Limite de detecção	Técnica analítica	Frações granulométricas
Minério (n=1)	Al ₂ O ₃ , CaO, Fe ₂ O ₃ , K ₂ O, MgO, MnO, Na ₂ O, P ₂ O ₅ , SiO ₂ , TiO ₂ , LOI	0,01%	Fusão com metaborato de lítio	Total
	Cs, Hf, Nb, Ta, U e Y	0,05 ppm		
	Be, Ga, Th e W	0,1 ppm		
	Rb	0,2 ppm		
	Sn	0,3 ppm		
	Sr e Zr	0,5 ppm		
	Ba	5 ppm		
Minério (n=2), solos (n=8) e sedimentos fluviais (n=39)	Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, S e Ti	0,01%	Digestão Multi-ácida (HCl+HNO ₃ +HF +HClO ₄)	40-80# e 80# (sedimentos fluviais) Fração Total, <20#, 20-40#, 40-80#, 80-150#, >150# (solos)
	Ag, Cd, Hf, In e Tl	0,02 ppm		
	Lu	0,01 ppm		
	Bi	0,04 ppm		
	Ce, Mo, Sb, Ta, Tb e Te	0,05 ppm		
	Be, Co, Ga, La, Nb, Re, U, W, Y e Yb	0,1 ppm		
	Rb e Th	0,1 ppm		
	Sn	0,3 ppm		
	Cu, Ni, Pb, Sc, Sr e Zr	0,5 ppm		
	As, Cr, Li, V e Zn	1 ppm		
	Se	2 ppm		
	Ba e Cs	5 ppm		
	P	50 ppm		

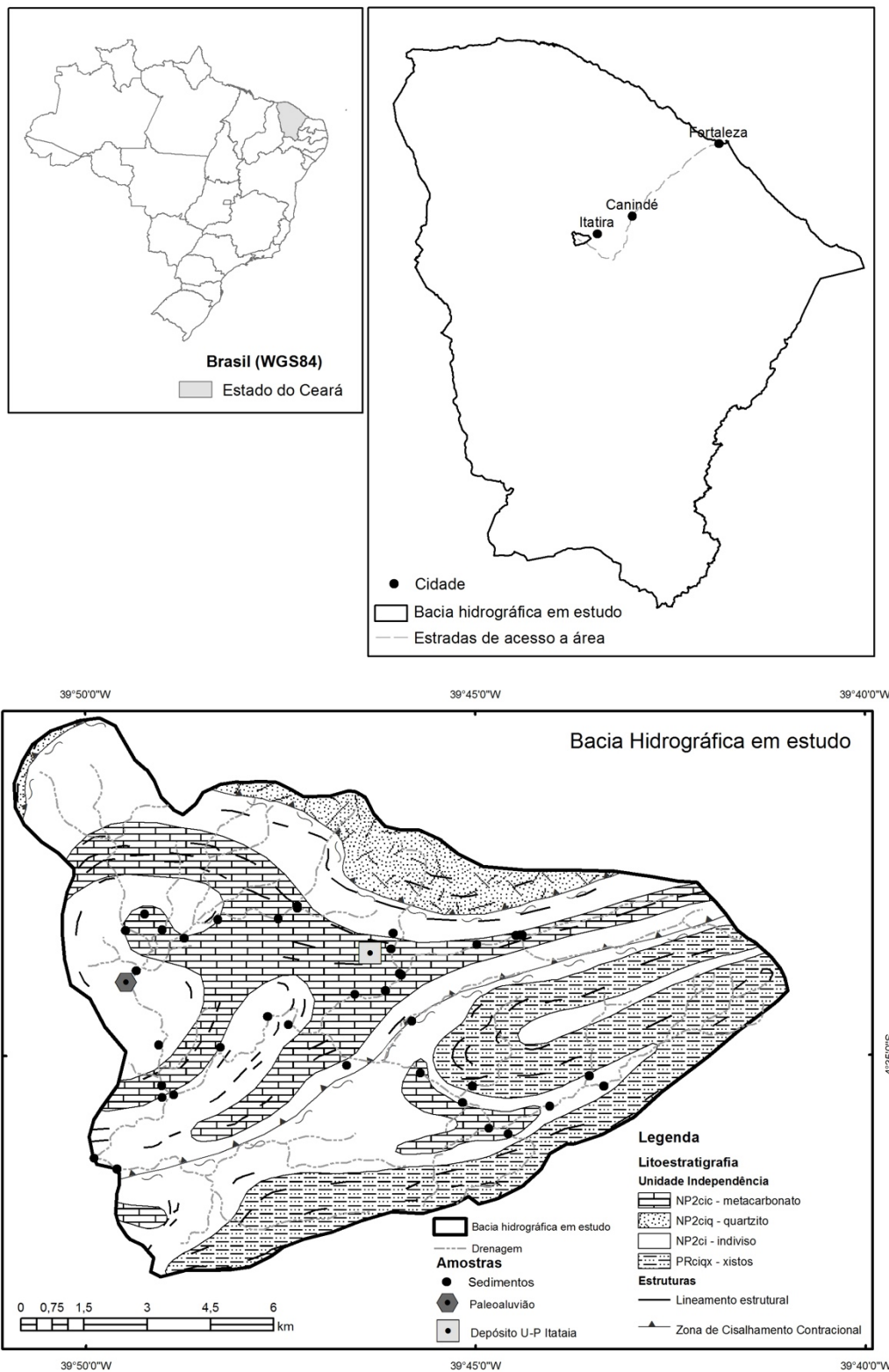


Figura 1 – Mapa geológico modificado de Cavalcante *et al.* (2003) com a localização do depósito de Itaitia e das amostras de sedimentos fluviais, solos e perfil de paleoaluvião analisados.

Composição *background* e critérios de teor anômalo foram utilizados nos sedimentos fluviais dos dados da folha Quixadá 1:250.000, com o uso de gráfico Q-Q Plot conforme mencionado em Grunsky (2010). Os gráficos Q-Q Plots são equivalentes aos gráficos de probabilidade normais que foram extensivamente utilizados por Sinclair (1976) para a análise dos dados químicos a procura por dissecar populações. Estes gráficos são gerados pelo cálculo de valores quantiles para uma distribuição normal (probabilidade de 0 a 1) e então plotam estes em relação aos dados observados. Se a distribuição de frequência é normalmente distribuída o gráfico da população aparece como uma reta. No caso de distribuição de frequência distorcida ou polimodal, a distribuição será curva ou descontínua. A vantagem é que cada observação individual é representada e, assim, mais detalhe sobre grupos de observações podem ser adquiridos.

Sendo assim, a partir do ponto de quebra da linearidade na distribuição de frequência pelo gráfico *QQPlot* foram definidos os limiares de anomalias dos

principais elementos farejadores nos sedimentos fluviais, como exemplificado pelo fósforo na Figura 3. Para o exame das populações univariadas utilizou-se dos gráficos *Box plots* para uma visual estimativa da distribuição de frequência dos elementos químicos e sua comparação entre os meios amostrais e as frações granulométricas analisadas. Os gráficos são representados na forma de um box, cortado pela mediana (percentil 50) com lados inferior e superior representado pelos percentis 25 e 75 respectivamente. Os máximos e mínimos são marcados por barras verticais até o limite *whiskers*. Este limite representa o cálculo do limiar que varia em função de 1,5 ou 3 vezes o intervalo interquartil da distribuição dos dados (Figura 3).

Por fim, foram realizadas análise de principais componentes para os elementos farejadores do depósito de Itataia, nos resultados da folha Quixadá e dos sedimentos fluviais fração >80# no entorno do depósito, de modo a avaliar os grupos de elementos associados e sua dispersão superficial em escala de baixa densidade de amostragem.

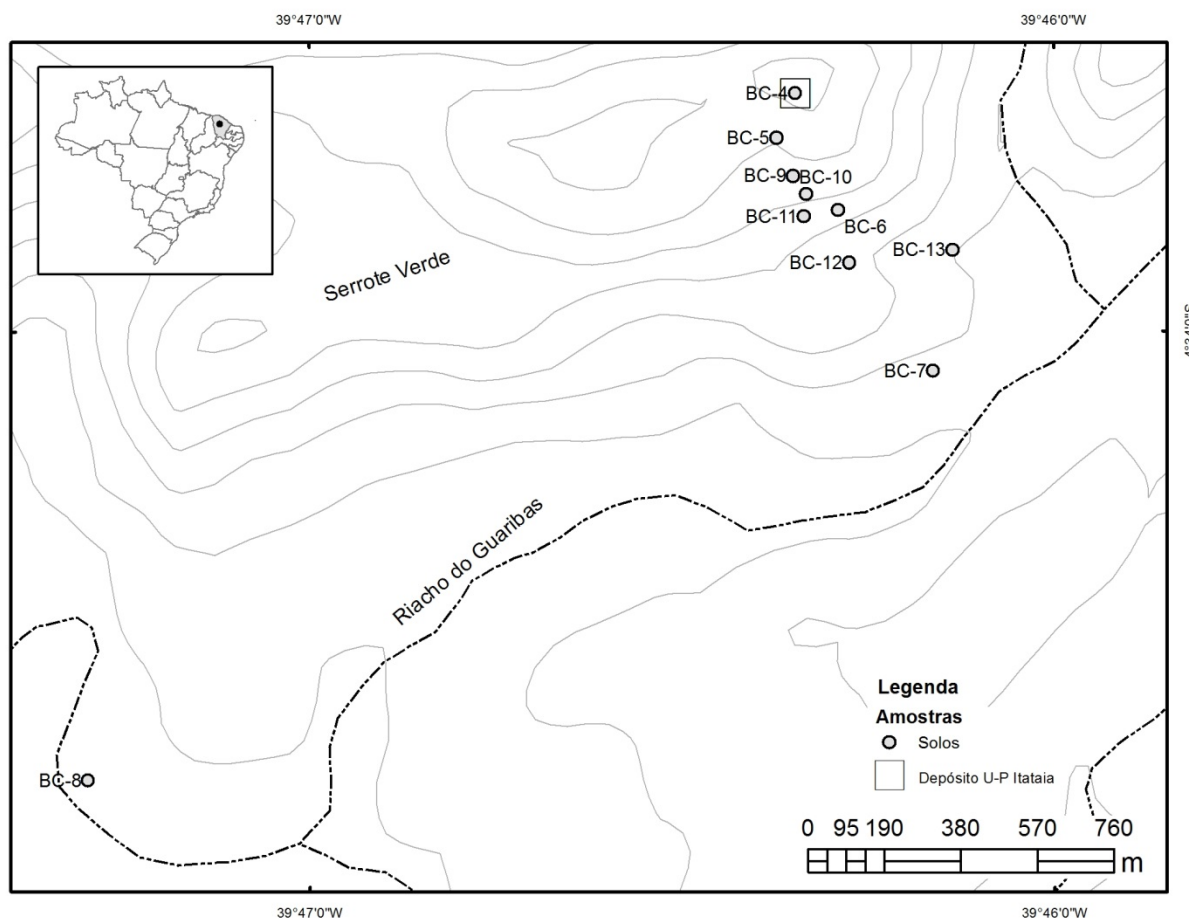


Figura 2 – Mapa de localização das amostras de solos e do depósito U-P de Itataia, Ceará, nordeste do Brasil.

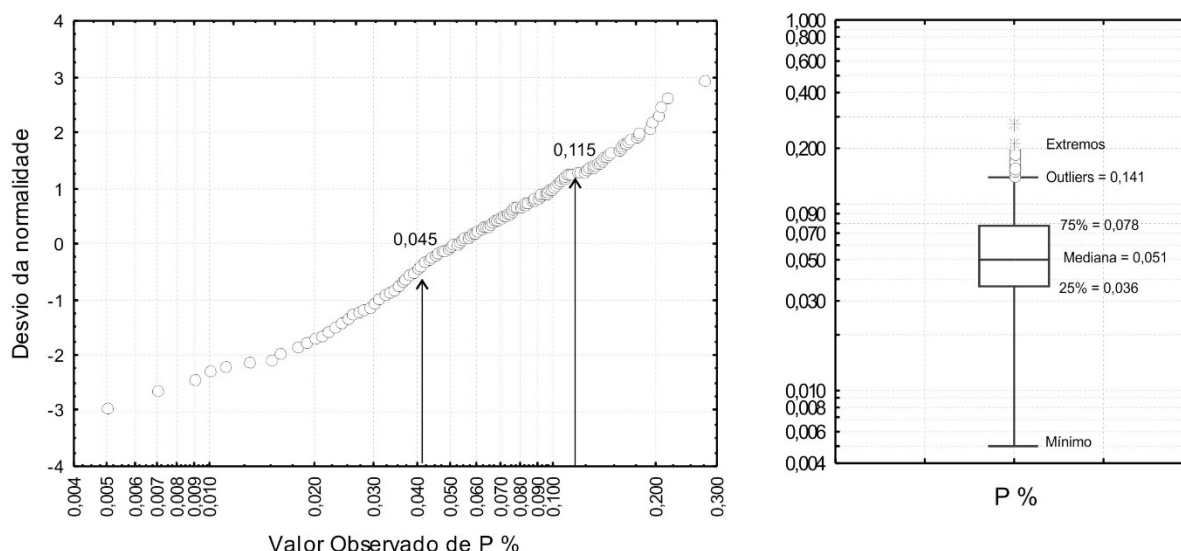


Figura 3 - Gráfico QQ plot e Box plots indicando limiares para P em sedimentos fluviais da Folha Quixadá na escala de 1:250.000.

3. RESULTADOS

3.1 Minério e solos no entorno do depósito de Itataia

Análise química de amostras do minério de Itataia (n=9) indica que os elementos analisados são enriquecidos em relação à média da crosta terrestre, conforme dados da abundância dos elementos químicos na crosta terrestre de Yaroshevsky (2006), sumarizado na Tabela 2. Esses elementos podem ser utilizados como farejadores e talvez como halos de dispersão hidromórfica mais amplos que caracterizam a presença da jazida. Neste caso, pode-se destacar em ordem de abundância os elementos U, P, Yb, Tm, Y, Tb, Sm, Sr, La, Ce, Zr e Hf. A Tabela 3 sumariza os elementos enriquecidos e que podem ser usados como farejadores deste tipo de mineralização.

Os solos apresentaram predomínio de granulação areia grossa (<20#) e as areias finas (<150#) representaram menos de 10% do retido na peneira. Foram coletados solos sobre o minério (Bc004 e Bc005) e sobre biotita-gnaiss representando amostras sobre as rochas regionais (Bc007, Bc008 e Bc013). As demais cinco amostras de solo apresentaram fragmentos do minério observados em

descrição em campo (Figura 2). A Tabela 4 apresenta o sumário estatístico dos resultados químicos dos solos analisados.

Os solos sobre o minério apresentaram-se enriquecidos em As, Ca, Cd, Ce, Fe, La, Lu, Mn, Mo, P, S, Sc, Sr, Tb, Te, Th, U, V, Y e Yb, comparados aos solos sobre rochas regionais. A dispersão destes elementos ao longo da encosta fica mais bem realçada nas frações total e >20# (Figura 4). O intemperismo físico/químico prevalece com fragmentação e dispersão clástica nos solos. Os solos BC-11 e BC-12, distantes cerca de 500 m da jazida (Figura 2), apresentaram teores anômalos apenas na fração mais grossa, como reflexo de fragmentos de minério transportados, conforme descritos em campo. Os elementos La e Ce além de apresentarem menor enriquecimento na zona de minério apresentam uma distribuição granulométrica mais uniforme, sendo que as amostras de solos distais apresentaram enriquecimento nas frações mais finas. Isto acarreta um padrão de dispersão pouco pronunciado para La e Ce (Figura 4).

3.2. Levantamento geoquímico de sedimentos fluviais no entorno do depósito de Itataia

No levantamento geoquímico de detalhe realizado no entorno da jazida foram testadas as frações granulométricas menores <80# e 40-80#, já que havia suspeita de

dispersão clástica, passível de ser detectada nas frações mais grossas. As análises químicas nas duas frações granulométricas mostram que a maioria dos elementos, inclusive o P, está

concentrado na fração <80# (Tabela 5). As exceções Al, K, Na, Sr e Ba devem refletir a presença de fragmentos de feldspato na fração mais grossa (Figuras 5 e 6), o que não está relacionado à presença de mineralização. A

Figura 5 apresenta na forma de *Box plot* as distribuições dos resultados de todos os elementos analisados no levantamento geoquímico no entorno do depósito para ambas as frações granulométricas analisada.

Tabela 2 – Sumário estatístico dos resultados químicos das amostras do minério de Itataia (n=9). Os valores médios da crosta são de Yaroshevsky (2006).

	Mediana	Mínimo	Máximo	Desv.Pad.	Média Crosta
Al ₂ O ₃	1,81	0,24	6,64	1,84	
CaO	44,04	31,92	52,00	5,35	
Fe ₂ O ₃	3,01	1,20	4,45	1,04	
K ₂ O	0,09	0,01	1,27	0,40	
MgO	1,52	0,03	3,86	1,18	
MnO	0,06	0,03	0,22	0,06	
Na ₂ O	1,00	0,39	2,07	0,64	
P ₂ O ₅	>25	20,12	>25	7,45	
SiO ₂	12,81	6,25	22,27	4,61	
TiO ₂	0,12	0,03	0,47	0,14	
PF	3,34	1,15	11,95	3,49	
Ba	69	25	756	233	250
Be	1,9	0,7	4,9	1,4	1,5
Cs	0,3	0,0	4,4	1,4	1
Ga	4,8	1,7	11,6	2,8	18
Hf	1,35	0,21	8,47	2,53	3
Nb	3,2	0,6	10,4	3,3	11
Rb	5,5	0,1	45,9	14,9	32
Sn	1,9	0,2	10,1	3,1	2,5
Sr	2345	1775	3972	643	260
Ta	0,27	0,08	1,24	0,35	1
Th	109,5	19,0	178,5	55,1	3,5
U	1602,40	422,49	3689,10	899,23	0,91
W	1,4	0,1	4,4	1,6	1
Y	203,41	70,48	348,21	99,55	20
Zr	74	6	390	116	100
Ce	121,1	19,9	238,0	69,7	33
La	52,5	9,4	102,8	30,1	16
Pr	13,9	2,5	33,6	10,2	
Nd	62,2	11,8	163,0	51,8	
Sm	19,6	3,2	49,9	16,2	
Eu	4,70	1,02	10,23	3,05	
Gd	23,21	4,43	49,86	15,53	
Tb	4,37	1,02	8,07	2,41	0,6
Dy	30,85	9,49	58,54	16,69	
Ho	7,36	2,71	14,17	4,22	
Er	27,41	10,28	60,31	16,94	
Tm	5,39	2,29	12,32	3,28	
Yb	41,15	25,10	103,10	25,82	2,2
Lu	5,43	3,51	12,59	2,95	0,3

Tabela 3 – Razão entre a composição do minério e a crosta terrestre (extração multi-ácida).

Razão Minério/Crosta terrestre	Elementos
>10x	As, Bi, Lu, Te, U e Yb
5-10x	Ag, Ca, Mo, P, Sr, Th e Y
2-5x	Cd, Ce, La e Pb

Tabela 4 - Sumário estatístico dos resultados químicos dos solos analisados.

Elementos	n=10 LD	Solos Total				Solos < 20#				Solos 20 -40 #			
		Mediana	Mínimo	Máximo	Dev. Pad.	Mediana	Mínimo	Máximo	Dev. Pad.	Mediana	Mínimo	Máximo	Dev. Pad.
Ag ppm	0,02	0,14	0,01	0,33	0,11	0,14	0,01	0,21	0,08	0,11	0,01	0,21	0,07
Al %	0,01	5,28	3,39	6,77	1,09	4,94	2,49	6,79	1,41	4,91	3,11	7,57	1,35
As ppm	1	13	3	40	11	12	1	40	12	11	2	40	12
Ba ppm	5	477	158	979	266	388	125	913	270	523	164	1263	347
Be ppm	0,1	1,8	0,9	6,2	1,5	1,7	0,6	6,4	1,7	1,8	0,5	4,4	1,1
Bi ppm	0,04	0,27	0,06	0,77	0,23	0,21	0,02	0,86	0,26	0,28	0,02	0,64	0,21
Ca %	0,01	12,66	0,41	22,50	9,53	17,00	0,29	22,50	10,05	10,17	0,29	22,50	9,80
Cd ppm	0,02	0,26	0,07	0,42	0,12	0,27	0,16	0,37	0,08	0,23	0,06	0,40	0,12
Ce ppm	0,05	108,76	75,46	199,25	42,41	106,67	80,22	191,81	35,63	89,26	70,91	166,53	33,48
Co ppm	0,1	9,6	7,1	16,5	3,1	9,3	6,1	14,9	2,9	9,8	7,2	14,1	2,1
Cr ppm	1	37	27	62	11	33	25	47	7	31	24	55	10
Cs ppm	5	5	3	15	5	4	3	18	5	6	3	16	5
Cd ppm	0,5	12,9	6,8	30,3	7,7	13,1	5,3	33,5	9,2	14,1	6,2	27,2	6,7
Fe %	0,01	3,09	2,25	4,53	0,66	2,58	2,01	3,37	0,43	2,85	2,12	4,98	0,81
Ga ppm	0,1	15,4	9,7	22,4	3,9	13,0	8,7	23,7	4,3	13,8	10,1	21,9	4,3
Hf ppm	0,02	0,59	0,24	3,14	1,11	0,60	0,29	3,09	0,90	1,54	0,20	2,72	1,04
In ppm	0,02	0,05	0,02	0,08	0,02	0,03	0,01	0,05	0,02	0,06	0,01	0,09	0,03
K %	0,01	1,58	0,23	3,84	1,22	1,54	0,16	3,93	1,30	1,67	0,21	4,35	1,40
La ppm	0,1	52,8	33,1	86,4	17,8	52,2	36,5	84,7	13,7	44,8	31,9	75,4	14,4
Li ppm	1	23	12	61	15	20	10	53	15	24	10	53	16
Lu ppm	0,01	1,64	0,31	6,84	2,15	1,77	0,23	7,77	2,60	1,05	0,21	6,41	1,97
Mg %	0,01	0,96	0,16	1,91	0,54	0,81	0,13	1,61	0,48	0,88	0,14	1,84	0,56
Mn %	0,01	0,06	0,04	0,12	0,03	0,05	0,04	0,14	0,03	0,06	0,04	0,12	0,03
Mo ppm	0,05	1,27	0,53	5,32	1,48	1,27	0,25	4,11	1,15	1,18	0,40	5,52	1,57
Na %	0,01	0,41	0,22	0,98	0,25	0,40	0,24	0,91	0,23	0,40	0,20	1,02	0,27
Nb ppm	0,1	1,0	0,3	15,2	5,2	1,2	0,4	15,1	4,8	2,6	0,4	17,1	5,8
Ni ppm	0,5	42,9	31,6	48,6	6,4	42,4	25,6	52,5	8,6	42,7	25,3	47,8	7,7
P %	0,01	1,93	0,02	8,32	3,06	2,46	0,01	8,68	3,31	1,14	0,02	8,23	2,86
Pb ppm	0,5	24,6	15,2	39,2	7,8	23,4	17,1	39,6	7,8	23,7	15,0	41,2	8,1
Rb ppm	0,2	97,9	23,1	188,0	61,9	94,8	21,3	240,0	72,7	100,5	24,7	215,0	69,3
Re ppm	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0
S %	0,01	0,04	0,01	0,07	0,03	0,05	0,01	0,09	0,03	0,03	0,01	0,07	0,02
Sb ppm	0,05	0,03	0,03	0,11	0,03	0,03	0,03	0,10	0,03	0,04	0,03	0,60	0,18
Sc ppm	0,5	10,8	7,9	16,0	3,0	10,5	6,6	15,1	2,6	11,4	5,9	14,4	3,1
Se ppm	2	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0
Sn ppm	0,3	2,0	0,8	4,4	1,1	1,9	0,7	4,2	1,0	2,1	0,8	5,3	1,4
Sr ppm	0,5	783,5	109,0	2591,0	726,5	824,0	106,0	2506,0	734,6	687,5	105,0	2276,0	649,5
Ta ppm	0,05	0,13	0,07	0,89	0,26	0,15	0,06	0,99	0,28	0,28	0,05	0,93	0,29
Tb ppm	0,05	2,24	1,09	7,41	2,27	2,26	0,81	8,23	2,75	1,51	0,73	7,26	2,14
Te ppm	0,05	0,04	0,03	0,07	0,02	0,03	0,03	0,15	0,04	0,03	0,03	0,20	0,07
Th ppm	0,2	35,9	14,3	121,0	36,1	40,2	14,5	145,0	41,1	28,5	11,1	97,2	30,7
Ti %	0,01	0,13	0,01	0,46	0,16	0,11	0,01	0,37	0,13	0,17	0,01	0,49	0,18
Tl ppm	0,02	0,67	0,31	0,92	0,18	0,53	0,24	1,04	0,21	0,55	0,28	0,94	0,22
U ppm	0,1	231,2	2,4	1092,00	381,4	279,9	2,1	1225,0	439,4	118,3	1,9	1087,0	358,7
V ppm	1	60	54	93	12	53	47	74	9	56	44	104	18
W ppm	0,1	0,7	0,3	1,2	0,3	0,8	0,2	1,2	0,3	0,6	0,3	1,8	0,5
Y ppm	0,1	73,3	22,0	260,7	79,6	76,1	15,6	294,8	97,5	48,0	15,1	257,2	74,3
Yb ppm	0,1	10,0	2,0	40,2	12,5	10,5	1,5	46,0	15,1	6,3	1,4	39,0	11,7
Zn ppm	1	57	50	78	8	49	41	80	13	64	42	143	29
Zr ppm	0,5	24,1	0,7	93,4	39,1	36,5	0,5	101,0	35,7	66,0	2,8	170,0	48,5

Tabela 4 - Continuação.

Elementos	n=10 LD	Solos T40-80#				Solos 80-150#				Solos >150#				
		Mediana	Mínimo	Máximo	Dev. Pad.	Mediana	Mínimo	Máximo	Dev. Pad.	Mediana	Mínimo	Máximo	Dev. Pad.	
Ag	ppm	0,02	0,16	0,01	0,49	0,18	0,15	0,01	0,49	0,17	0,17	0,01	0,29	0,10
Al	%	0,01	5,52	3,97	7,79	1,29	6,00	4,76	7,95	0,98	6,42	4,91	8,04	0,92
As	ppm	1	13	2	41	13	14	2	45	45	13	16	4	50
Ba	ppm	5	548	186	959	257	513	181	743	195	440	176	614	168
Be	ppm	0,1	2,0	1,1	8,7	1,7	2,2	1,0	7,4	1,8	2,2	1,7	8,2	2,1
Bi	ppm	0,04	0,34	0,02	0,83	0,25	0,38	0,02	0,87	0,26	0,37	0,05	0,88	0,28
Ca	%	0,01	9,30	0,40	22,50	9,03	8,14	0,46	22,50	8,14	6,34	0,50	22,50	8,28
Cd	ppm	0,02	0,21	0,07	0,53	0,13	0,23	0,04	0,39	0,11	0,25	0,11	0,37	0,08
Ce	ppm	0,05	104,82	74,07	183,45	49,19	122,01	75,15	444,46	106,98	125,79	78,17	393,26	90,21
Co	ppm	0,1	10,5	8,2	16,0	2,6	11,0	7,9	16,8	3,6	11,6	3,3	27,6	7,1
Cr	ppm	1	41	32	67	11	43	35	87	15	52	43	98	16
Cs	ppm	5	7	3	15	5	8	3	16	4	9	3	16	4
Cd	ppm	0,5	17,3	5,1	34,9	8,9	17,3	4,7	41,3	11,2	19,4	1,3	43,9	13,3
Fe	%	0,01	3,28	2,46	5,50	0,88	3,53	2,65	5,44	0,83	4,40	3,25	5,48	0,83
Ga	ppm	0,1	15,8	11,8	24,1	4,3	18,4	12,8	25,8	4,3	22,1	14,0	28,0	4,9
Hf	ppm	0,02	1,09	0,35	3,93	1,21	1,35	0,43	4,37	1,44	1,64	0,33	5,95	1,93
In	ppm	0,02	0,05	0,01	0,11	0,04	0,06	0,01	0,11	0,03	0,08	0,04	0,12	0,02
K	%	0,01	1,96	0,27	3,45	1,13	1,71	0,31	2,71	0,91	1,46	0,39	2,66	0,88
La	ppm	0,1	54,4	33,7	95,8	19,7	63,2	33,2	213,9	51,6	65,7	37,1	185,6	41,7
Li	ppm	1	28	13	69	18	29	15	78	20	41	19	91	22
Lu	ppm	0,01	1,05	0,27	5,91	1,79	1,08	0,37	5,48	1,60	1,04	0,47	4,27	1,20
Mg	%	0,01	1,07	0,19	2,10	0,62	1,19	0,20	1,93	0,59	1,35	0,18	1,87	0,61
Mn	%	0,01	0,06	0,04	0,12	0,03	0,06	0,04	0,12	0,03	0,07	0,05	0,10	0,02
Mo	ppm	0,05	1,10	0,38	6,11	1,72	1,14	0,32	5,99	1,74	1,20	0,37	5,96	1,72
Na	%	0,01	0,47	0,20	1,01	0,26	0,42	0,20	0,97	0,25	0,40	0,18	0,88	0,23
Nb	ppm	0,1	2,3	0,2	24,3	8,6	3,2	0,6	29,2	10,1	2,9	0,5	20,9	7,8
Ni	ppm	0,5	42,5	30,0	54,2	8,2	44,7	35,8	59,7	7,2	50,3	27,7	75,4	14,0
P	%	0,01	1,03	0,02	7,74	2,72	1,08	0,02	7,49	2,62	1,08	0,03	6,38	2,22
Pb	ppm	0,5	26,3	15,7	40,7	8,3	26,6	14,4	45,2	9,1	28,7	12,7	43,3	9,6
Rb	ppm	0,2	111,5	33,4	178,0	56,1	96,2	40,9	164,0	50,3	90,7	37,1	216,0	59,7
Re	ppm	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0
S	%	0,01	0,03	0,01	0,06	0,02	0,03	0,01	0,07	0,02	0,03	0,01	0,06	0,02
Sb	ppm	0,05	0,03	0,03	0,15	0,05	0,03	0,03	0,15	0,04	0,04	0,03	0,16	0,05
Sc	ppm	0,5	13,0	7,4	18,0	3,6	13,5	9,2	18,9	3,6	14,5	10,5	17,7	2,5
Se	ppm	2	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0
Sr	ppm	0,3	2,3	0,8	6,2	1,9	2,4	1,1	7,5	2,3	1,6	0,8	5,8	1,8
Sr	ppm	0,5	602,5	110,0	2351,0	664,7	532,5	103,0	2257,0	645,3	469,0	89,9	2111,0	598,7
Ta	ppm	0,05	0,26	0,07	1,59	0,51	0,31	0,06	1,82	0,51	0,31	0,11	1,69	0,61
Tb	ppm	0,05	1,63	1,06	6,98	1,92	2,02	1,61	6,25	1,54	1,96	1,55	5,05	1,12
Te	ppm	0,05	0,03	0,03	0,16	0,05	0,03	0,03	0,09	0,03	0,03	0,03	0,10	0,03
Th	ppm	0,2	28,0	15,7	112,0	34,1	43,6	18,3	128,0	34,8	34,5	14,8	104,0	28,1
Ti	%	0,01	0,18	0,02	0,72	0,24	0,22	0,02	0,80	0,27	0,22	0,04	0,57	0,22
Tl	ppm	0,02	0,71	0,36	0,93	0,18	0,71	0,38	0,96	0,18	0,80	0,43	1,08	0,21
U	ppm	0,1	107,3	2,2	973,1	326,8	107,0	3,1	940,0	310,7	107,9	3,9	869,5	279,8
V	ppm	1	69	52	114	18	75	60	116	17	82	60	124	17
W	ppm	0,1	0,5	0,3	2,4	0,7	0,9	0,3	2,8	0,7	0,7	0,4	1,9	0,5
Y	ppm	0,1	48,3	20,0	230,5	65,6	53,7	27,0	219,5	57,5	54,2	31,4	155,7	36,7
Yb	ppm	0,1	6,2	1,9	35,8	10,7	6,5	2,4	32,2	9,2	6,4	2,8	25,3	7,0
Zn	ppm	1	71	46	94	13	76	68	93	8	84	42	101	17
Zr	ppm	0,5	59,3	1,8	119,0	40,9	82,4	1,4	121,0	42,1	100,5	12,9	190,0	57,5

A partir da análise de gráficos *QQPlot* para os sedimentos fluviais no entorno do depósito (n=39) foram determinados os limiares de anomalias para as frações 40-80# e <80# (Figura 7), e comparados com o sedimento de *background* (BC031) e com os teores máximos encontrados nos sedimentos fluviais, de maneira a procurar o melhor contraste entre anomalia e *background* dos elementos farejadores nas diferentes frações granulométricas analisadas, sumarizado na Tabela 6. Os resultados indicaram a fração

<80# como a melhor opção para levantamento geoquímico.

As associações geoquímicas do P no levantamento de detalhe (<80#) basearam-se nos coeficientes de correlação e se mostraram bem definidas com Yb, Th, Lu, Y, Ce, La, Mn e U (Figura 8). No entorno do depósito os resultados químicos dos sedimentos fluviais comparados à média da crosta terrestre estiveram enriquecidos em elementos associados ao depósito de Itataia, conforme sumarizado na Tabela 7.

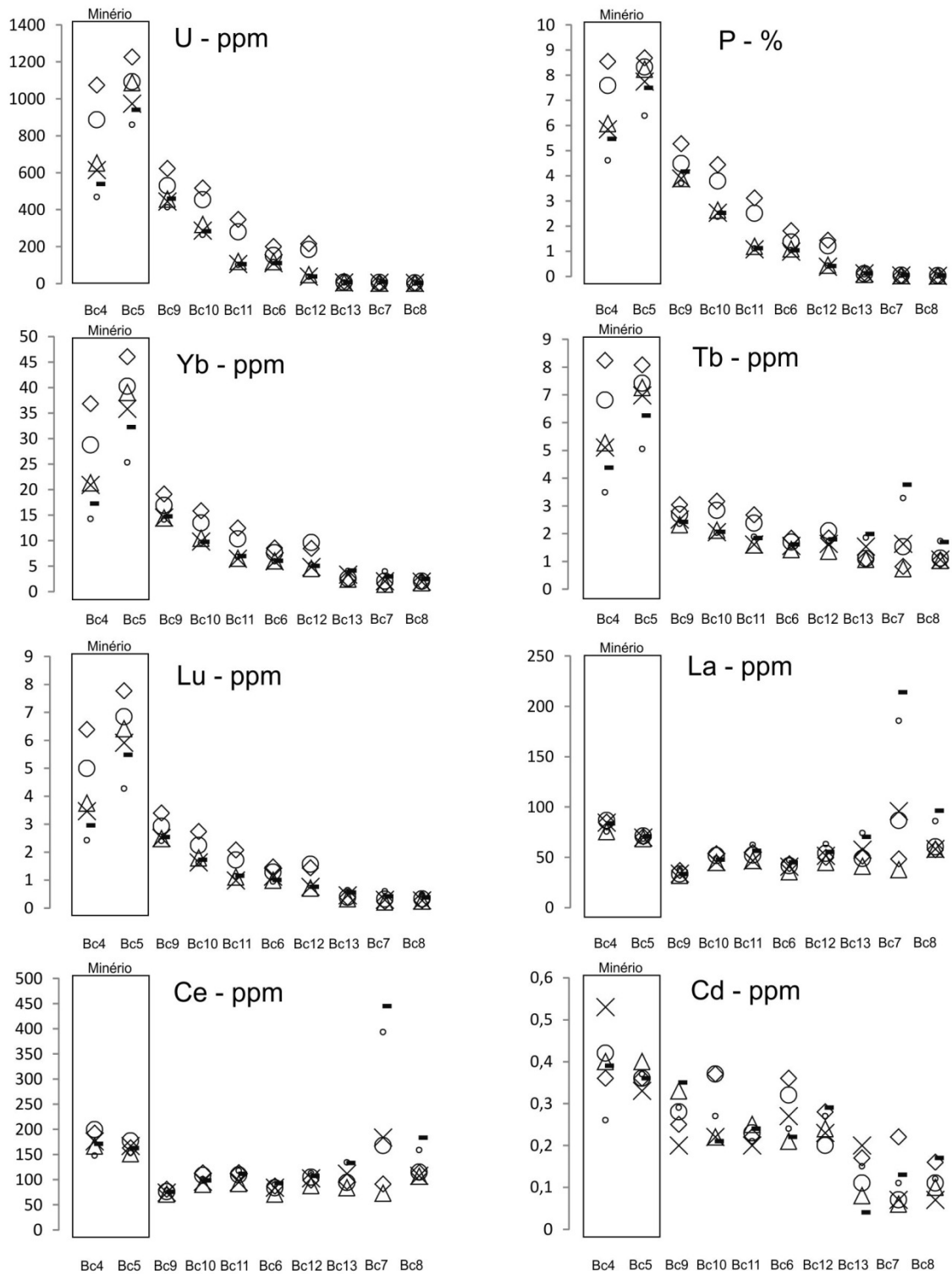


Figura 4 – Dispersão dos elementos associados ao minério no entorno do depósito de Itaia, Ceará.

Tabela 5 – Sumário estatístico dos resultados químicos para os sedimentos fluviais no entorno do depósito de Itataia, Ceará.

Elementos	n=39 L.D.	Sedimentos fluviais 40-80#				Sedimentos fluviais 80#			
		Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
Ag ppm	0,02	0,16	0,01	0,90	0,15	0,27	0,01	1,25	0,27
Al %	0,01	5,15	3,57	7,00	0,74	5,73	3,96	7,38	0,70
As ppm	1	1	1	5	1	1	1	5	1
Ba ppm	5	747	385	1665	282	707	451	1091	170
Be ppm	0,1	1,0	0,4	1,7	0,3	1,3	0,8	2,3	0,4
Bi ppm	0,04	0,05	0,03	0,12	0,02	0,07	0,03	0,33	0,07
Ca %	0,01	1,18	0,50	2,41	0,47	2,01	0,80	13,58	2,46
Cd ppm	0,02	0,18	0,04	0,39	0,06	0,11	0,01	0,59	0,12
Ce ppm	0,05	86,92	23,22	366,21	88,50	598,01	89,35	1500,00	461,87
Co ppm	0,1	6,0	2,4	12,4	1,9	11,4	7,1	21,7	2,6
Cr ppm	1	13	4	45	8	28	14	899	140
Cs ppm	5	4	4	8	1	4	4	8	1
Cu ppm	0,5	10,8	5,9	21,1	3,0	26,4	16,5	46,1	5,8
Fe %	0,01	2,13	1,22	3,97	0,68	3,69	2,29	5,39	0,73
Ga ppm	0,1	9,3	6,7	15,1	1,7	14,8	10,0	26,0	3,6
Hf ppm	0,02	1,41	0,83	3,38	0,68	6,32	2,10	18,65	3,55
In ppm	0,02	0,03	0,01	0,08	0,02	0,01	0,01	0,10	0,02
K %	0,01	2,10	1,07	4,04	0,67	2,16	1,20	3,45	0,49
La ppm	0,1	44,1	11,7	210,8	47,8	287,4	45,1	1393,0	270,1
Li ppm	1	9	6	41	5	15	9	40	5
Lu ppm	0,01	0,30	0,10	226,32	36,18	0,63	0,23	1,38	0,27
Mg %	0,01	0,60	0,30	1,55	0,28	0,94	0,55	1,79	0,27
Mn %	0,01	0,06	0,03	0,14	0,03	0,11	0,06	0,19	0,03
Mo ppm	0,05	0,73	0,47	1,04	0,13	1,23	0,54	21,02	3,20
Na %	0,01	0,94	0,68	1,64	0,30	0,95	0,63	1,45	0,22
Nb ppm	0,1	6,9	2,9	15,3	3,0	19,0	9,3	41,4	7,5
Ni ppm	0,5	13,6	6,4	27,5	4,5	23,8	12,9	108,0	14,6
P ppm	50	531	145	1207	271	1551	528	4374	809
Pb ppm	0,5	21,5	12,4	32,4	4,7	26,9	15,0	327,0	48,3
Rb ppm	0,2	76,1	41,3	135,0	24,1	112,0	65,7	226,0	37,1
Re ppm	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0
S %	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,02	0,01	0,12	0,03
Sb ppm	0,05	0,08	0,04	0,12	0,02	0,11	0,04	0,92	0,14
Sc ppm	0,5	6,8	1,9	16,5	3,2	12,3	5,5	22,5	3,7
Se ppm	2	1	1	25	8	1	1	4	0
Sn ppm	0,3	2,3	1,4	4,8	0,6	3,4	2,5	8,6	0,9
Sr ppm	0,5	228,0	90,1	448,0	76,9	230,0	129,0	460,0	78,0
Ta ppm	0,05	0,30	0,04	0,85	0,18	1,04	0,18	2,07	0,43
Tb ppm	0,05	0,98	0,27	3,77	0,86	4,81	1,10	19,58	3,67
Te ppm	0,05	0,04	0,04	0,04	0,00	0,04	0,04	0,14	0,02
Th ppm	0,2	16,5	3,5	77,7	19,1	117,0	15,5	589,0	116,3
Ti %	0,01	0,21	0,07	0,46	0,08	0,45	0,21	1,04	0,21
Tl ppm	0,02	0,31	0,16	0,70	0,10	0,38	0,17	0,79	0,12
U ppm	0,1	2,0	0,5	8,7	2,2	14,8	1,9	66,0	12,0
V ppm	1	37	17	75	12	64	36	90	14
W ppm	0,1	0,5	0,2	0,9	0,2	1,6	0,6	150,7	23,9
Y ppm	0,1	20,5	7,5	59,2	13,0	63,9	22,6	228,1	40,1
Yb ppm	0,1	2,0	0,8	5,6	1,1	4,6	1,9	10,5	1,9
Zn ppm	1	26	14	70	10	48	30	79	11
Zr ppm	0,5	39,5	14,9	90,8	18,9	198,0	57,0	588,0	118,5

Tabela 6 – Limiares de anomalias dos elementos farejadores nos sedimentos fluviais no entorno do depósito de Itaitaia, Ceará.

Sedimentos fluviais no entorno do depósito						
n=39	Fração	Background (BC031)	Limiar <i>QQPlot</i>	Contraste	Máximo	Máximo/Limiar
U	40-80#	0,5	3,6	7,2	8,7	2,42
	>80#	2	16,5	8,3	66	4,00
P	40-80#	315	704	2,2	1207	1,71
	>80#	680	2000	2,9	4374	2,19
Yb	40-80#	1,2	2,6	2,2	5,6	2,15
	>80#	2,1	4,8	2,3	10,5	2,19
Tb	40-80#	0,47	1,12	2,4	3,77	3,37
	>80#	1,1	6,36	5,8	19,58	3,08
Lu	40-80#	0,19	0,37	1,9	0,81	2,19
	>80#	0,29	0,73	2,5	1,38	1,89
La	40-80#	14	66,6	4,8	210,8	3,17
	>80#	45,1	297,3	6,6	1393	4,69
Ce	40-80#	26,4	136,21	5,2	366,21	2,69
	>80#	89,35	606,6	6,8	1500	2,47

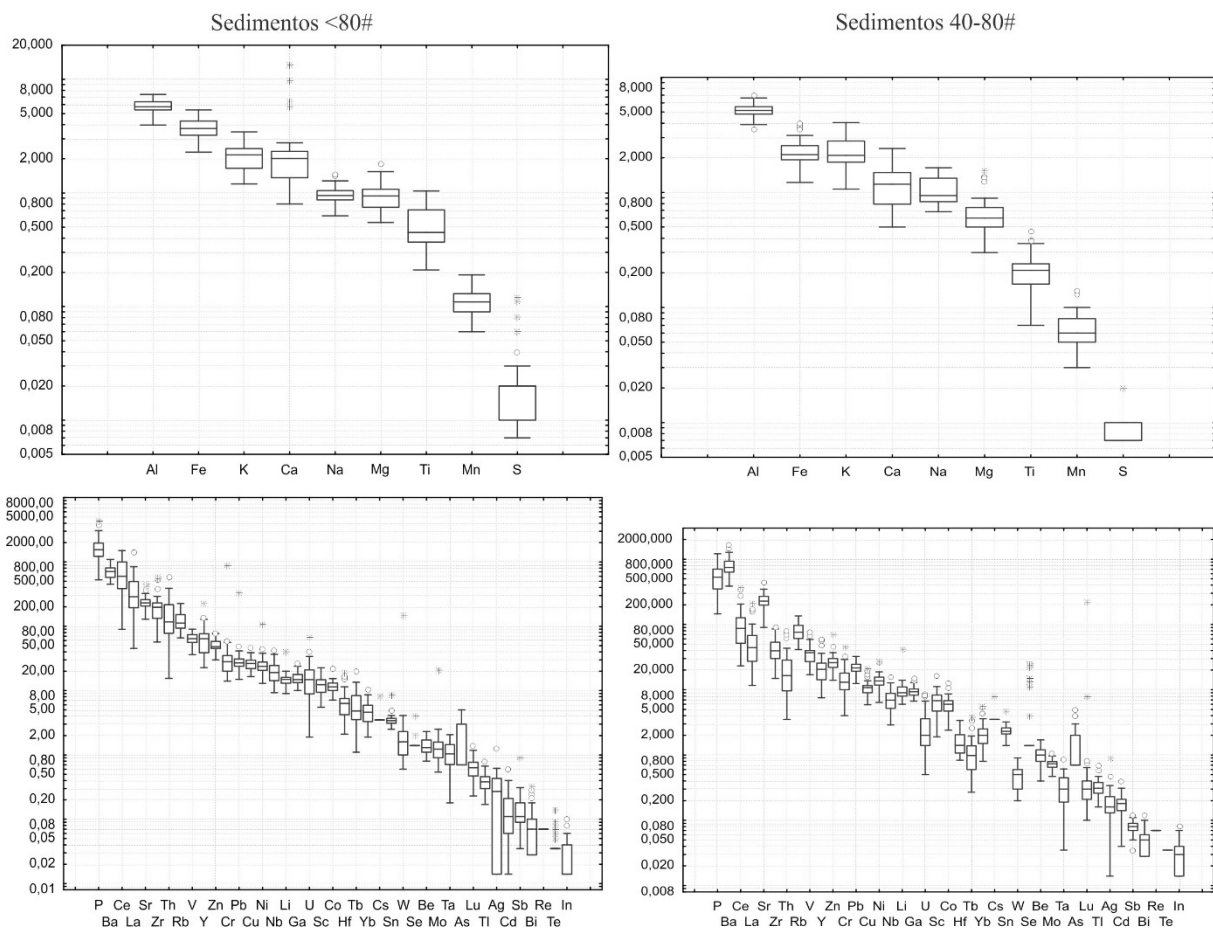


Figura 5 – Distribuição (Box-whiskers) dos resultados analíticos de elementos químicos em sedimentos fluviais das frações <80# e 40-80# no entorno do depósito de Itaitaia, Ceará, em ordem de abundância.

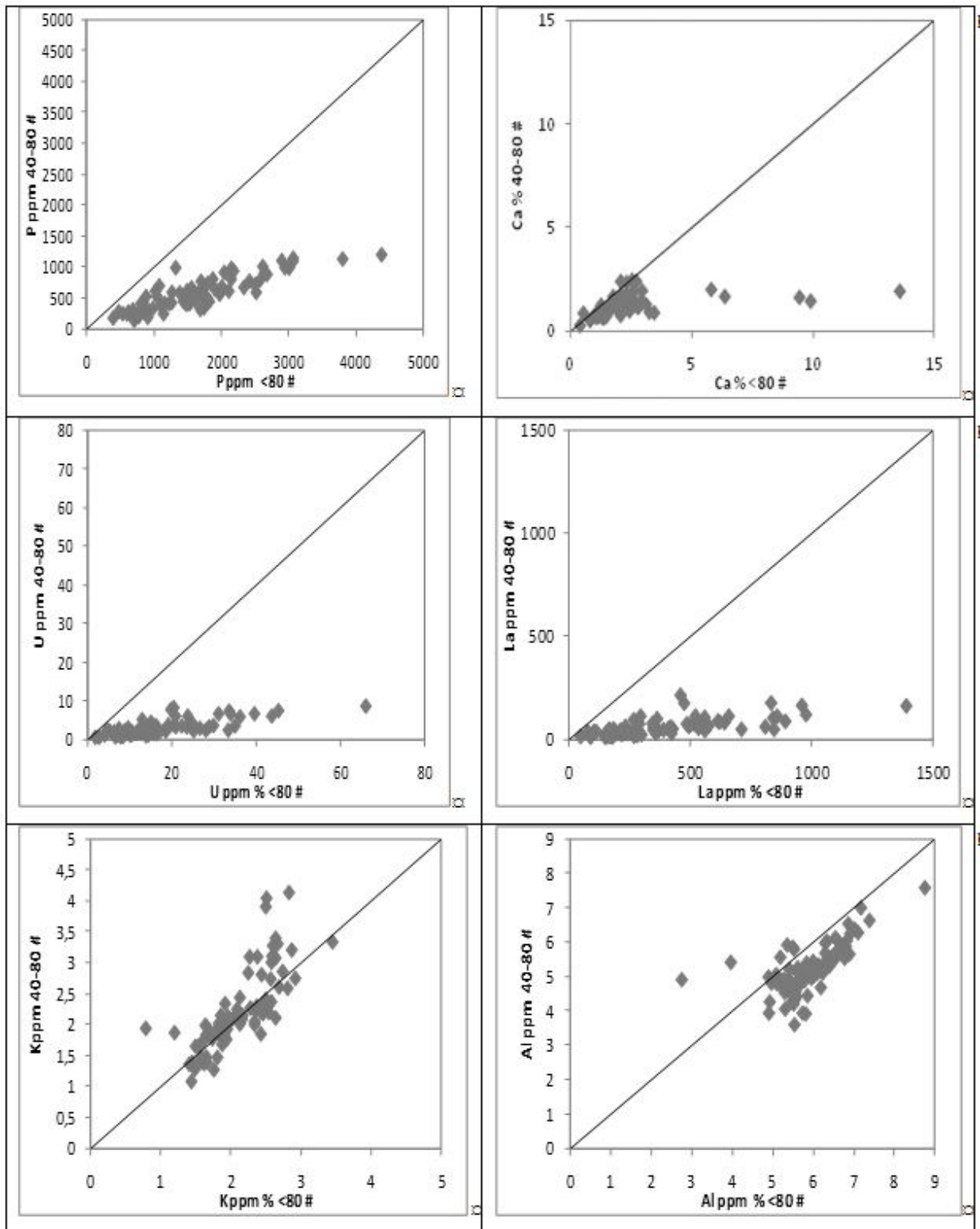


Figura 6 - Correlação do P, Ca, U, La, Al e K entre as frações <80# e 40-80# no levantamento geoquímico de detalhe.

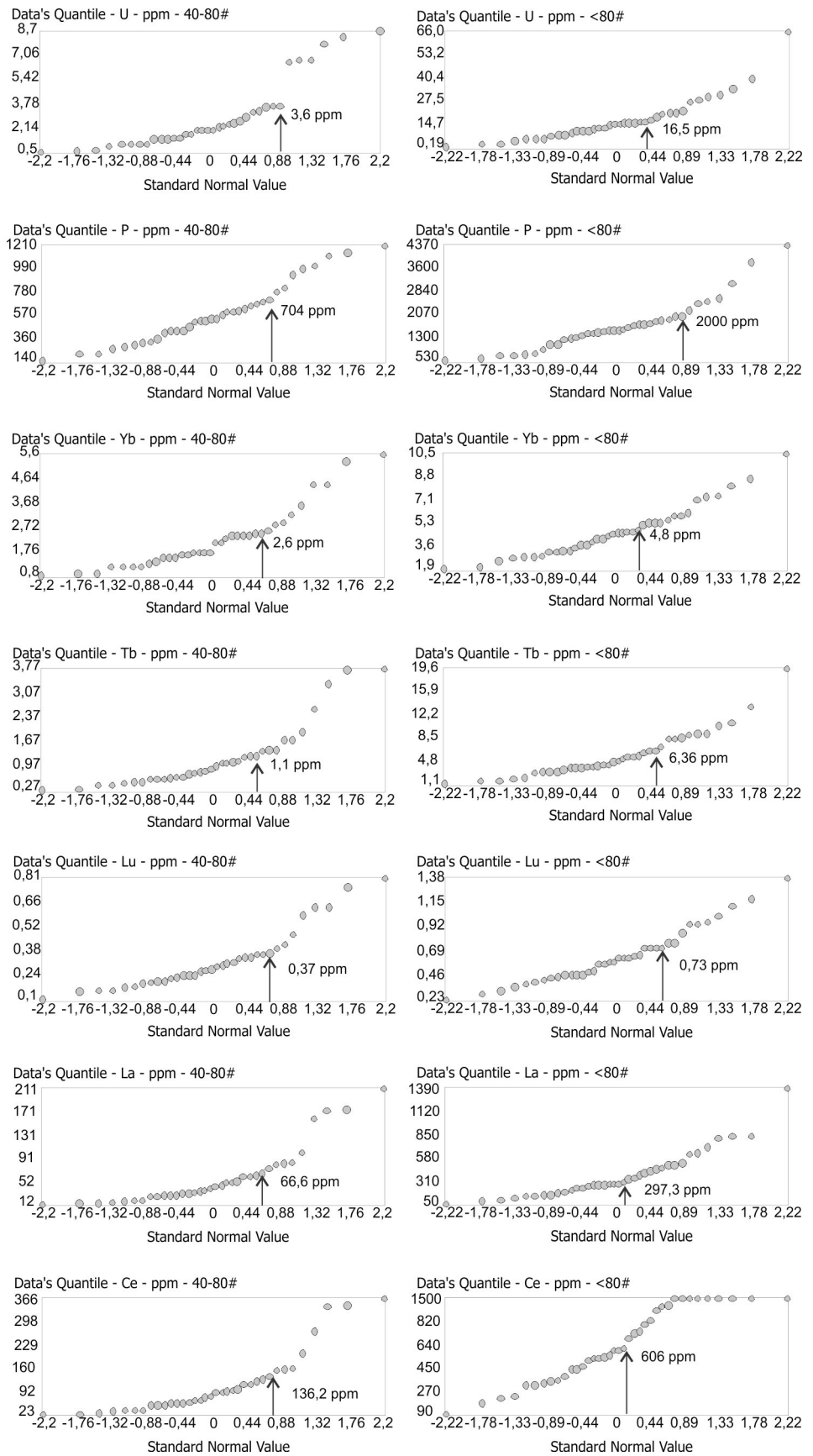


Figura 7 – Gráficos QQPLOTS dos elementos farejadores do depósito de Itaiaia nos sedimentos fluviais do entorno do depósito (n=39).

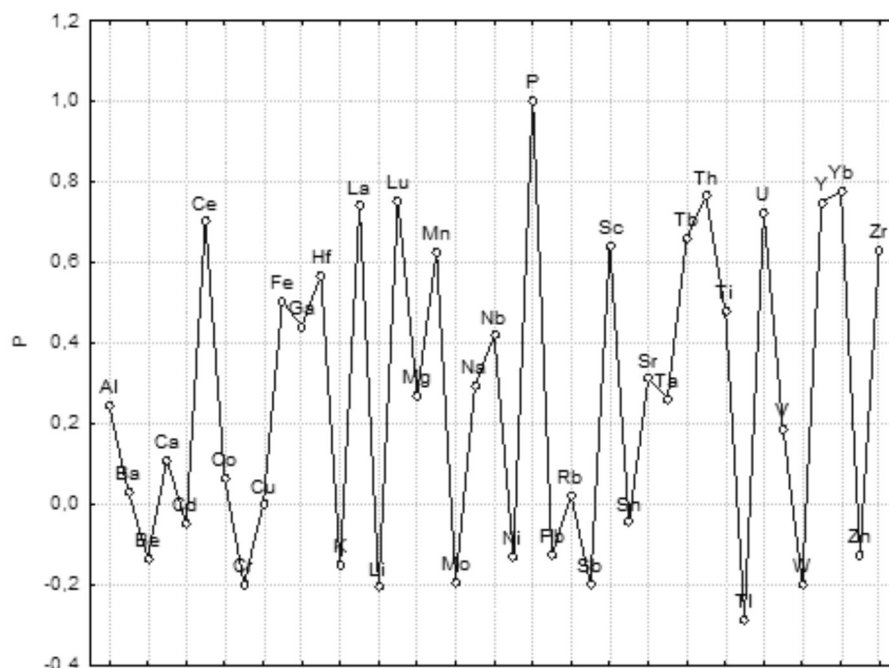


Figura 8 - Correlações entre P e os outros elementos analisados na fração <80# nos sedimentos fluviais no entorno da jazida de U-P.

Tabela 7 – Razão entre as composições dos sedimentos fluviais <80# e crosta terrestre.

Razão sedimentos fluviais/crosta terrestre	Elementos
>10x	Bi, Ce, La, Lu, Th, U
5-10x	Ag, Hf, Y
2-5x	As, Ca, Cd, P, Pb, Tb, W, Yb, Zr

3.4. Paleo-aluviões

Os paleo-aluviões erodidos nas margens da drenagem podem fornecer informações sobre os processos de dispersão em escala de bacia hidrográfica. De acordo com Ottesen *et al.* (1989), mesmo em riachos de tamanho moderado, o nível da água pode subir vários metros acima do normal e cobrir grandes áreas. Durante a inundação, mas especialmente durante a última fase, uma parte da carga será depositada na planície de inundação fora do canal de fluxo, com a criação de camadas semi-horizontais de sedimento *overbank*. A espessura das camadas individuais varia de poucos milímetros para vários decímetros, enquanto que a espessura total das camadas de sedimentos *overbank* pode ser de até vários metros. Portanto, um corte vertical através do sedimento reflete a história da sedimentação da bacia hidrográfica através do tempo.

O uso de elementos farejadores no perfil paleo-aluvionar pode mostrar a aplicabilidade destes meios amostrais na identificação de elementos associados ao depósito U-P. Edén &

Björklund (1994) propõem amostras de *overbank* que representam grandes bacias como substitutos para 6 a 10 amostras de sedimentos em drenagens de primeira ordem.

Os gráficos *Box plots* ilustram a comparação entre os sedimentos fluviais, os depósitos paleoaluvionares e os solos sobre o minério (Figuras 9 a 11). Os solos sobre o minério apresentam altos teores de As, Be, Bi, Cr, Cd, Fe, Lu, Ni, P, Mo, Tb, U, V, Yb e Zn, comparados aos sedimentos fluviais no entorno do depósito e aos sedimentos paleo-aluvionares. Os sedimentos fluviais na fração <80# apresentaram teores elevados comparados às frações 40-80#, assim como nos sedimentos paleo-aluvionares onde as maiores concentrações estiveram associadas às frações mais finas. Os sedimentos paleo-aluvionares apresentaram altos teores de As, Be, Bi, Co, Cr, Cu, Fe, Al, Ga, Li, Ni, Sn, V e Zn, comparados aos sedimentos fluviais, principalmente na fração >150#.

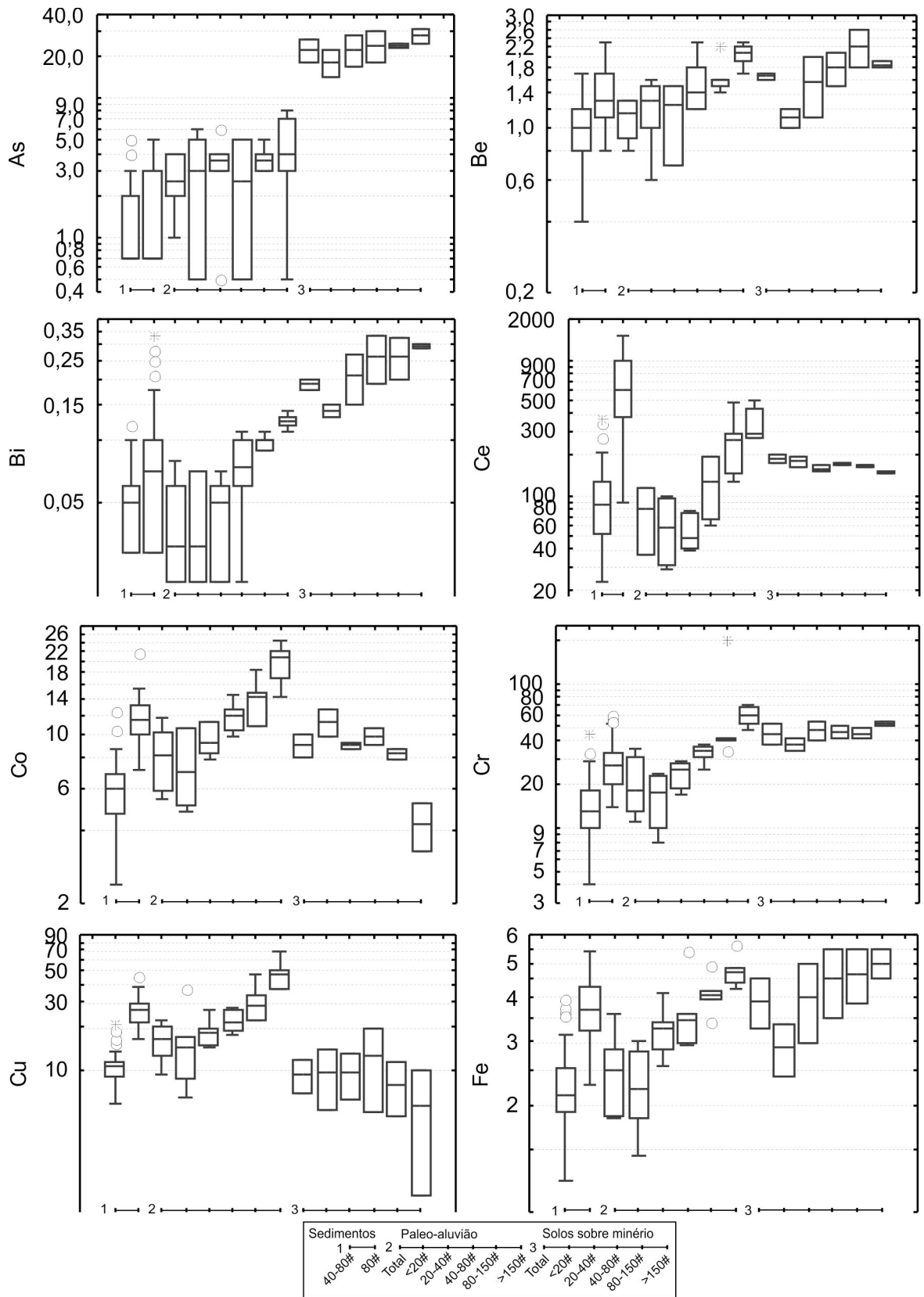


Figura 9 – Composição química dos sedimentos fluviais, paleo-aluvião e solos sobre o minério de U-P de Itaitia.

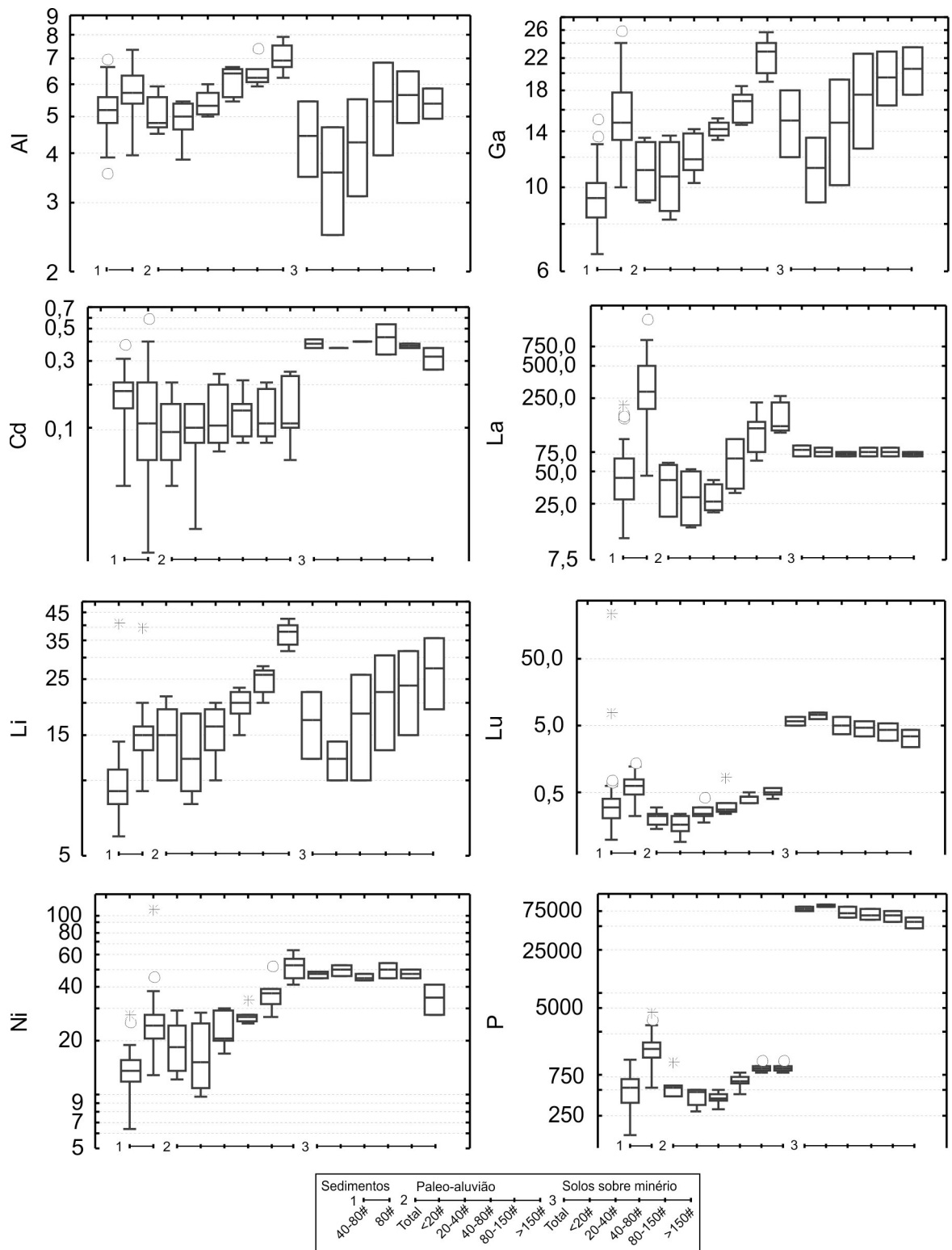


Figura 10 – Composição química dos sedimentos fluviais, paleoaluvião e solos sobre o minério de U-P de Itataia.

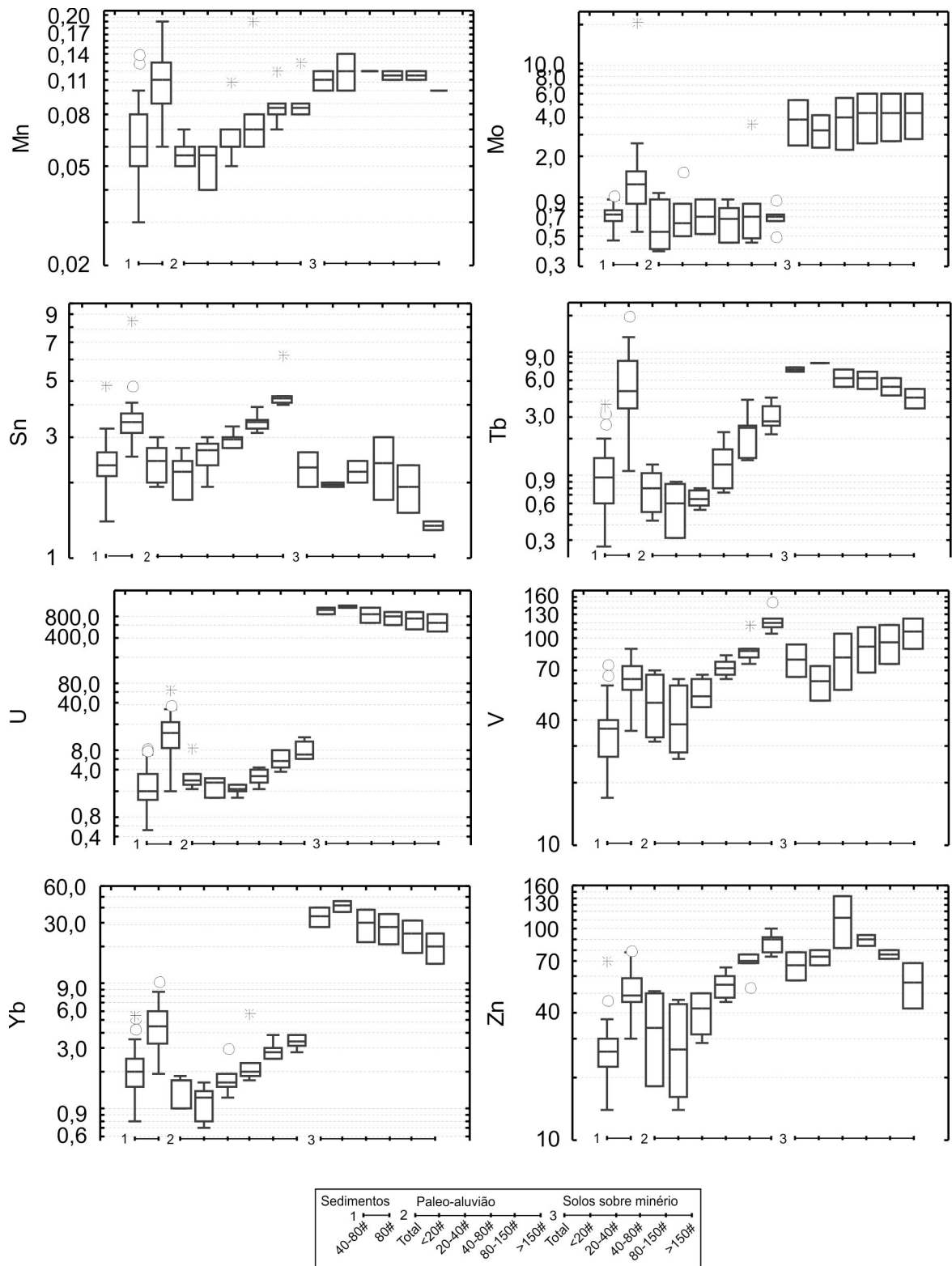


Figura 11 – Composição química dos sedimentos fluviais, paleoaluvião e solos sobre o minério de U-P de Itaitia.

3.5. Levantamento geoquímico de sedimentos fluviais na folha Quixadá, escala 1:250.000

A Figura 12 apresenta, na forma de *Box plots*, as distribuições dos resultados de todos os elementos analisados na folha Quixadá 1:250.000. Primeiramente optou-se pelo uso de gráfico tipo QQ plot para estabelecer limiares para o U e P de acordo com sua curva de distribuição (Figura 13). Estes resultados estão plotados no mapa da Figura 14 onde foi delimitado um conjunto de bacias de captação anômalas no entorno da jazida. Entretanto, ocorrem anomalias em outros locais e que devem ser conferidas.

O uso de extração por água régia dissolve apenas algumas fases das amostras,

como ouro, todos os carbonatos, sulfetos, e parcialmente óxidos, silicatos e matéria orgânica. Diferentemente, em escala de detalhe, a digestão multiácida (HF+HClO₄+HNO₃) destrói quase todos os silicatos, não dissolvendo totalmente magnetita, ilmenita, cromita, tantalita, columbita, cassiterita, titanita, monazita, zircão, berilo e barita. A Tabela 8 sumariza a comparação de contraste entre os métodos de extração (água régia vs multiácida) e entre as diferentes técnicas estatísticas para a determinação de limiares de anomalias (*QQPlots vs Box plots*).

Tabela 8 – Limiares de anomalias de U e P nos sedimentos fluviais no entorno do depósito de Itataia e do levantamento geoquímico da folha Quixadá 1:250.000.

Elemento	Método	Escala	Técnica	Background	Limiar	Contraste	Máximo	Máximo/Limiar
U	Água Régia	1:250.000	QQPlot	1,8	10	5,56	32,6	3,26
			Box plot	5,5	11	2,00		2,96
	Multiácida	1:50.000	QQPlot	10	16,5	1,65	66	4,00
			Box plot	21	34	1,62		1,94
P	Água Régia	1:250.000	QQPlot	400	1100	2,75	2740	2,49
			Box plot	780	1410	1,81		1,94
	Multiácida	1:50.000	QQPlot	1100	2000	1,82	4374	2,19
			Box plot	1959	3061	1,56		1,43

4. CONCLUSÕES

Apesar da baixa densidade de amostragem adotada no levantamento da Folha Quixadá na escala 1:250.000, o sinal geoquímico da jazida de U-P de Itataia pôde ser detectado tanto pelo P como pelos elementos U, Y, Th, Ce, La e Ca, embora tenha surgido uma série de outros pontos anômalos para estes mesmos elementos cujo significado ainda não está estabelecido. A extração parcial por água régia comparado com a multi-ácida apresentou os maiores contrastes para os elementos U e P, assim como a técnica *QQPlot* comparada ao *Box plot* para a determinação de limiar de anomalia.

No levantamento de detalhe a associação U, Th, La, Lu, Ce, Y, Ca, Cd, P, Tb e Yb típica da jazida, mostrou-se diretamente refletida nos sedimentos fluviais na fração <80#, o que implica em uma boa preservação do sinal geoquímico primário. O levantamento de detalhe mostrou que apesar da dispersão

clástica os teores mais altos encontram-se predominantemente na fração menor que 80#, a qual deve ser então adotada rotineiramente em levantamentos de sedimentos fluviais nesta região.

Os solos apresentaram fragmentos de colofanito nas frações mais grossas (total e <20#) e a dispersão do P nos solos restringe-se a menos de 850m refletindo bem a localização do minério, e um padrão de dispersão clástica predominante. Entretanto, os elementos As, Be, Bi, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Mo, Ni, Sc, Sn, Tl, V, W e Zn estiveram enriquecidos nas frações mais finas dos terraços paleo-aluvionares na bacia de captação do depósito de Itataia, e apresentou teores anômalos para alguns elementos associados ao minério como As, Be, Bi, Cr, Li, Mo, Ni, Tl, V e Zn o que reforça a aplicabilidade de paleo-aluviões como meio amostral em prospecção geoquímica.

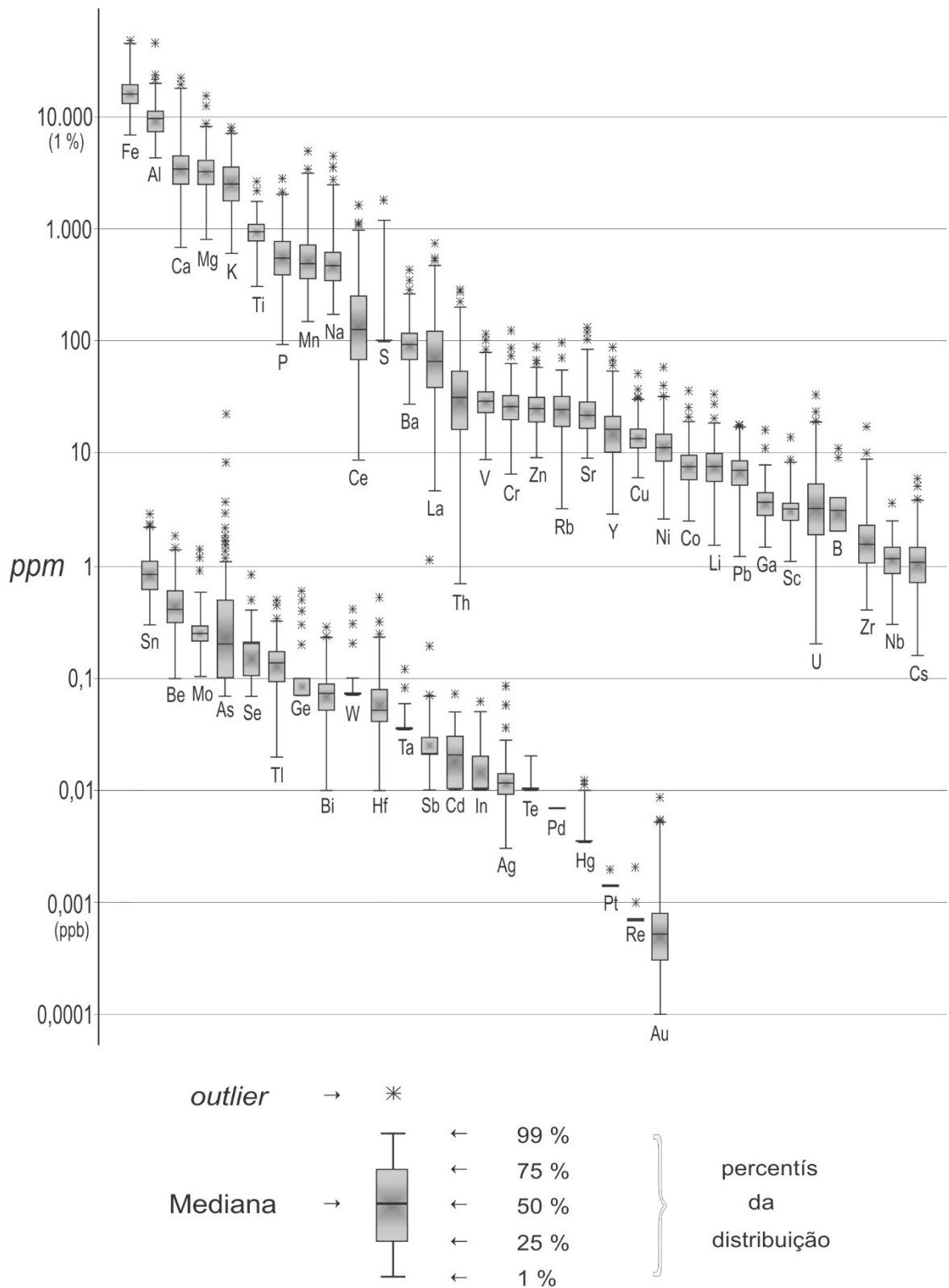


Figura 12 – Distribuição (*Box plot*) dos resultados analíticos de elementos químicos em sedimentos fluviais do levantamento geoquímico regional em escala 1:250.000 da Folha Quixada (adaptado de Frizzo, em preparo).

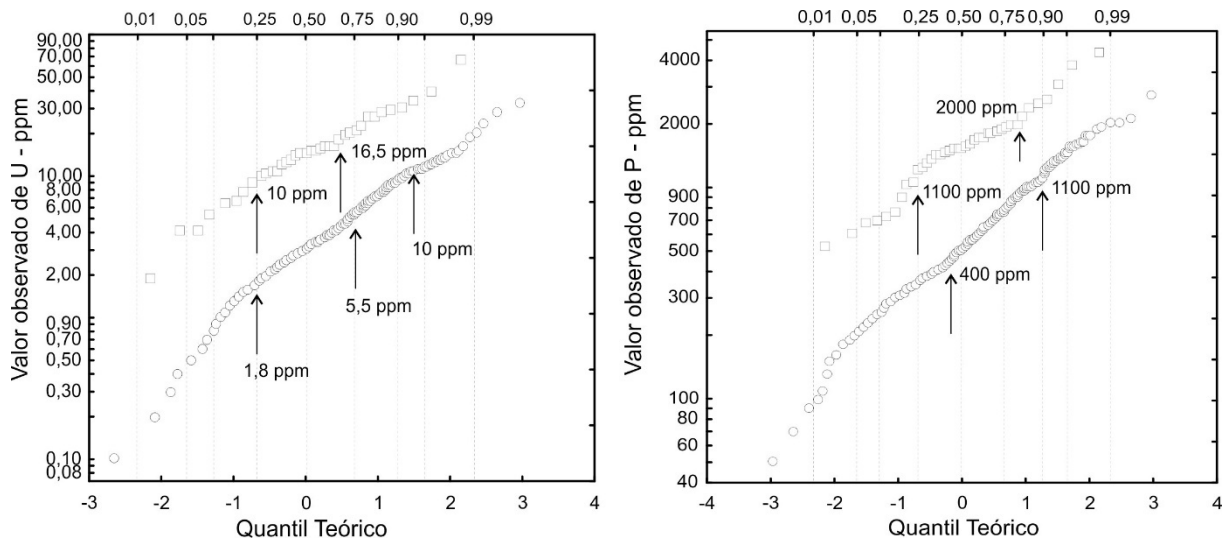


Figura 13 – Gráficos QQPLOT de U e P para os dados da folha Quixadá e do Projeto Fosfato Brasil no entorno do depósito de Itaitaia, Ceará.

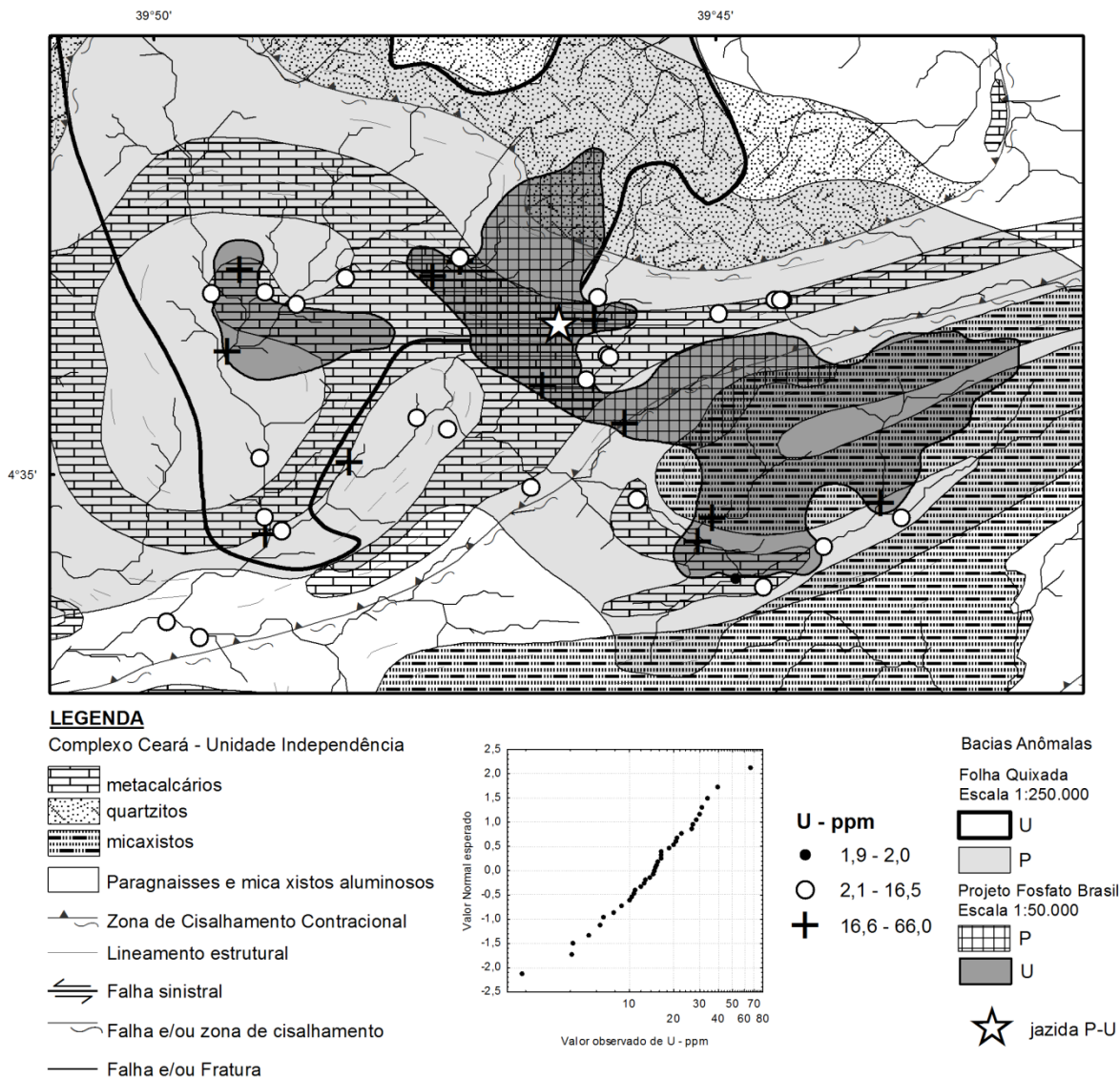


Figura 14 – Bacias anômalas de U e P para os resultados dos levantamentos geoquímicos de sedimentos fluviais da Folha Quixadá (1:250.000) e do Projeto Fosfato Brasil.

5. REFERÊNCIAS

- Abram M.B., Bahiense I.C., Porto C.G., Brito R.S.C. 2011. Projeto Fosfato Brasil – Parte I. Informe de Recursos Minerais. Série Insumos Minerais para Agricultura, nº 13. Salvador: CPRM, 2011. 526p.
- Beurlen H. 1995. The mineral resources of the Borborema Province in Northeastern Brazil and its sedimentary cover: a review. *Journ. South Amer. Earth Sci.*, **8**: 365-376.
- Cavalcante J.C., Vasconcelos A.M., Gomes F.E.M. 2003. Mapa Geológico do Estado do Ceará. In: Atlas digital de Geologia e Recursos Minerais do Ceará. Geologia, Recursos Minerais, Geoquímica, Geofísica, Geomorfologia. Sistema de Informações Geográficas-SIG. Edição 2003. Mapas na escala 1:500.000. MME-CPRM.
- Castro G.L., Parente C.V., Veríssimo C.U.V., Sial A.N., Garcia M.G.M.G., Santos R.V., Melo R.C., Santos A.A. 2005. Isótopos de Carbono e oxigênio dos mármores associados com o depósito fósforo uranífero de Itataia, Ceará. *Rev. Bras. Geoc.*, **35** (2): 199-208.
- Edén P. & Björklund A. 1994. Ultra-low density sampling of overbank sediment in Fennoscandia. *Journal of Geochemical Exploration*, **51**: 265-289.
- Grunsky E.C. 2010. The interpretation of geochemical survey data. *Geochem. Explor., Environ., Analy.*, **10**: 27-74.
- Horsnail R.F. 2001. Geochemical prospecting. Disponível em: <http://www.accessscience.com>, DOI 10.1036/1097-8542.285700, last modified: March 29, 2001.
- Mendonça J.C.G.S., Campos M., Braga A.P.G., Souza E.M., Favali J.C., Leal J.R.L.V. 1984. Jazida de Urânio de Itataia-CE. In: Principais Depósitos Minerais do Brasil, DNPM, v.1, pp. 121-131.
- Ottesen R.T., Bogen J., Bölviken B., Volden T., 1989. Overbank sediment: a representative sample medium for regional geochemical mapping. *Jour. Geochem. Explor.*, **32**: 257-277.
- Santos E.J., Souza Neto J.A., Silva M.R.R., Beurlen H., Cavalcanti J.A.D., Silva M.G., Dias V.M., Costa A.F., Lira Santos L.C.M., Santos R.B. 2014. Metalogênese das Porções Norte e Central da Província Borborema. In: Silva M.G., Neto M.B.R., Jost H., Kuyumjian R.M. 2014. Metalogênese das Províncias Tectônicas Brasileiras. Belo Horizonte: CPRM, 2014. 589 pp.
- Veríssimo C.U.V., Santos R.V., Parente C.V., Oliveira C.G., Cavalcanti J.A.D., Neto J.A.N. 2016. The Itataia phosphate-uranium deposit (Ceará, Brazil) new petrographic, geochemistry and isotope studies. *Jour. South Amer. Earth Sci.*, **70**, pp. 115-144.
- Yaroshevsky A.A. 2006. Abundances of Chemical Elements in the Earth's Crust. *Geochem. Intern.*, 2006, Vol. 44, No. 1, pp. 48-55.