

DETERMINAÇÃO MULTIELEMENTAR EM AMOSTRAS DE SEDIMENTOS DA REGIÃO DO TARTARUGALZINHO, AMAPÁ, POR ATIVAÇÃO NEUTRÔNICA

Maria C. Neri*, Déborah I.T. Fávaro*, Sonia M.B.de Oliveira**, Marina B.A.Vasconcellos*, Anne H. Fostier***, Jean R.D. Guimarães****, Adolfo J. Melfi**, Maria C. Forti.*****.

*Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN-CNEN/SP
Caixa Postal 11049
05422-970, São Paulo, Brasil

**Instituto de Geociências – NUPEGEL- Universidade de São Paulo
Rua do Lago, 562 – Cidade Universitária
01498-970 São Paulo, Brasil

*** Laboratório de Química Analítica – CENA/USP – Piracicaba

**** Instituto de Biofísica – UFRJ – Rio de Janeiro

***** Instituto de Pesquisas Espaciais – São José dos Campos/ NUPEGEL/USP São Paulo

RESUMO

No presente trabalho, apresentam-se os resultados das análises de sedimentos da região do Tartarugalzinho, que tem recebido importantes emissões de Hg provenientes de minerações de ouro estabelecidas recentemente. As amostras de sedimentos foram submetidas à análise por ativação com nêutrons instrumental e os seguintes elementos foram determinados: As, Ba, Br, Co, Cr, Cs, Fe, Na, Rb, Sb, Sc, Se, Ta, Th, U e Zn e os elementos terras raras Ce, Eu, La, Lu, Nd, Sm, Tb e Yb. A precisão e exatidão do método foram verificadas pela análise dos materiais de referência Buffalo River Sediment (NIST 2704) e Soil 7 (IAEA). Os resultados da análise multielementar de sedimentos foram comparados com os valores crustais médios.

Palavras Chave: Ativação Neutrônica, Sedimentos, Análise Multielementar.

I. INTRODUÇÃO

A análise por ativação neutrônica é um dos métodos mais importantes dentre os disponíveis para a análise de traços. A sua principal vantagem é a capacidade de determinação de muitos elementos com alta sensibilidade, sendo possível a sua determinação em níveis de ppb até %, com exatidão e precisão

O método de análise por ativação preenche dois requisitos básicos das técnicas não destrutivas: a especificidade, que é a habilidade de correlacionar diretamente e de forma não ambígua o sinal obtido com o elemento procurado e a seletividade, que vem a ser a possibilidade de medir o elemento em questão na presença de outros elementos que emitem sinais da mesma natureza.

No presente trabalho, foram analisadas amostras de sedimento da região do Tartarugalzinho, utilizando-se a técnica de análise por ativação com nêutrons para estabelecimento da composição química e, difração de raios X, para a determinação da composição mineralógica. Esse estudo faz parte de um projeto multidisciplinar cujo

objetivo vem a ser o “Estudo do Ciclo do Hg no Ecossistema da Floresta Amazônica” (FINEP/PADCT). Dentro desse projeto estão sendo analisadas amostras de solos, sedimentos, ar, água, peixes e cabelos humanos em relação ao teor de Hg. Entretanto, existem poucas informações a respeito do teor de outros elementos que podem estar correlacionados com o Hg, principalmente nas amostras de solos e sedimentos.

O estado do Amapá se encontra dentre as novas áreas na Amazônia que tem recebido importantes emissões de Hg provenientes de minerações de ouro. O rio Tartarugalzinho e a planície inundada são áreas chave nesse processo, uma vez que importantes grupos humanos são ainda dependentes do consumo de peixes como sua fonte principal de proteína.

Na primeira parte desse estudo, Fávaro [1] apresenta os resultados das análises multielementares em amostras de solo dessa região. A análise multielementar é de fundamental importância, pois permite caracterizar a paisagem geoquímica de uma região, revelando aspectos relacionados a seu potencial metalogenético e à possível

presença de contaminação devida à atividade antrópica.

A ativação neutrônica tem sido largamente utilizada para a análise de solos e sedimentos[2,3] sendo possível a determinação de vários metais pesados como Hg, Zn, Mn, Cd e outros elementos como As, Sb, Se, Ba, Br, Fe, Cr, Cs, Co, Ca, Ta, Hf, W, Zr, U, Th e terras raras, numa análise puramente instrumental.

Bulnaye[3] determinou a concentração de 18 elementos em 40 amostras de sedimentos de fundo do Lago Baikal por análise por ativação com nêutrons. A partir dos resultados, verificou a ausência de poluição antropogênica dos sedimentos por elementos menores, e que eles estão enriquecidos pelos elementos terras raras leves e deficitários em Cs e Ta.

II. PARTE EXPERIMENTAL

Área de Estudo. O projeto está sendo desenvolvido nos arredores da região do Tartarugalzinho, no estado do Amapá (Fig. 1). O município de Tartarugalzinho situa-se a 150 km a nordeste de Macapá, onde a atividade de garimpo já foi intensa e os problemas de contaminação por Hg são evidentes.

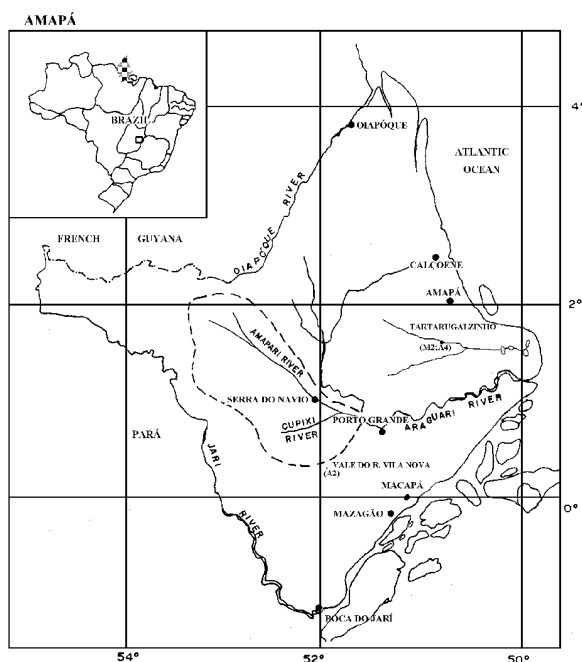


Figura 1. Mapa da região em estudo.

Amostragem. Os dois lagos existentes na região do Tartarugalzinho foram amostrados. No lago Pracuúba, foram retiradas 2 amostras da superfície do fundo. No lago Duas Bocas, além de 3 amostras da superfície do fundo, foi estudado um testemunho de sondagem, de 0 a 18 cm de profundidade, a partir da superfície. Esse testemunho foi fatiado de 2 em 2cm, gerando 9 amostras. No Garimpo Fofoca, foi amostrado o sedimento de fundo da drenagem que o atravessa, em 2 posições, a montante da cava principal e dentro da cava. Para todas as amostras foi

separada a fração silte + argila (< 0,062 mm) para análise. Essa fração é essencialmente composta por quartzo, com alguma caulinita, mica e traços de goethita. Nas amostras do perfil do lago Duas Bocas, apareceram traços de uma argila 2:1, cuja natureza não foi investigada.

TABELA 1 - Amostras de sedimento da região do Tartarugalzinho.

Sedimento de fundo do Lago Pracuúba	Código Final
Centro	SDPR0101
Borda	SDPR0102
Lago Duas Bocas	
Saída	SDAT0101
Meio	SDAT0102
Entrada	SDAT0104
Garimpo Fofoca, dentro da cava	SDAT0106
Garimpo Fofoca, a montante da cava	SDAT0107

TABELA 2 - Perfil de Sedimentos de fundo do Lago Duas Bocas, Município de Tartarugalzinho.

PROFUNDIDADE	CÓDIGO FINAL
0-2 cm	SDAT0201
2-4 cm	SDAT0201A
4-6 cm	SDAT0201B
6-8 cm	SDAT0201C
8-10 cm	SDAT0201D
10-12 cm	SDAT0201E
12-14 cm	SDAT0201F
14-16 cm	SDAT0201G
16-18 cm	SDAT0201H

Preparação das amostras e padrões. Usou-se como solução padrão dos elementos As, Ba, Co, Cr, Cs, Fe, Rb, Sb, Sc, Se, Th e Zn, solução padrão da marca SPEX CERTIPREP, diluídas a concentrações adequadas para a análise. Os óxidos de terras raras Eu, Ho, La, Lu, Nd, Sm, Tb e Yb, da Johnson Matthey, espectroscopicamente puros, foram calcinados a 800°C, por duas horas, e posteriormente dissolvidos em ácidos inorgânicos em concentrações adequadas. A seguir, os padrões sintéticos dos elementos analisados foram preparados pipetando-se 50 µL das soluções padrão dos elementos, em alguns casos soluções multielementares, sobre uma tira de papel de filtro Whatman nº 41, a qual foi deixada à temperatura ambiente para secagem. Em seguida, essas tiras de papel foram acondicionadas em envelopes de polietileno, previamente limpos com ácido nítrico e água destilada, e estes foram selados usando-se ferro de solda.

Como materiais de referência foram utilizados o Buffalo River Sediment (NIST SRM 2704) e Soil 7

(AIEA), que não sofreram nenhum tratamento prévio. O Soil-7 foi usado para complementar o conjunto de elementos com valores certificados de concentração, analisados no presente trabalho.

Irradiação das amostras e padrões. As amostras de sedimentos foram irradiadas no Reator de Pesquisa IEA-R1 do IPEN/CNEN-SP. Cerca de 150 mg de sedimento foram pesados, separadamente, em sacos de polietileno previamente limpos juntamente com os padrões sintéticos dos elementos de interesse e os materiais de referência BRS e S7.

As amostras e padrões foram irradiados por 16h, sob um fluxo de neutrons térmicos de 10^{12} n cm⁻² s⁻¹. Foram feitas duas séries de contagens, a primeira após um período de 4 a 5 dias de resfriamento por um tempo de aproximadamente 2 horas. Os seguintes elementos puderam ser determinados: As, Br, Hf, K, La, Na, Nd, Sb, Sm e U. A segunda contagem foi realizada após um período de resfriamento de 15 a 20 dias, e um tempo de contagem de aproximadamente 2 horas. Os seguintes elementos puderam ser determinados: Ba, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, Lu, Rb, Sb, Sc, Se, Ta, Tb, Th, Zn.

Contagens. As medidas da atividade gama induzida foram feitas em um sistema de espectrometria gama de alta resolução com detector de Ge hiperpuro GEM 20190P ligado a uma placa ORTEC ACE 8K e eletrônica associada, com resolução de 1,81 keV para o pico de 121,97 keV do ⁵⁷Co e 2,28 keV para o pico de 1332,49 keV do ⁶⁰Co.

Utilizou-se o programa de computação VISPECT2, em linguagem TURBO BASIC para processamento dos espectros.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As TABELAS 3 e 4 apresentam os resultados obtidos nas análises dos materiais de referência Buffalo River Sediment e Soil 7, respectivamente. Esses materiais apresentam valores certificados para a maioria dos elementos analisados no presente trabalho e alguns valores de informação.

Os resultados apresentaram desvios padrão relativos e erros relativos inferiores a 10%, indicando respectivamente, a precisão e a exatidão dos resultados.

TABELA 3 - Certificação dos Padrões Sintéticos com o Material de Referência Buffalo River Sediment (NIST SRM 2704), por Ativação Neutrônica (Resultados em $\mu\text{g g}^{-1}$).

Elem.	Valor encontrado	Valor esperado	DPR (%)	ER (%)
As	23,0±0,6	23,4±0,8	2,6	1,7
Ba	449±23	414±12	5,2	8,5
Ce	74±7	(72)	9,5	-
Co	15,0±0,5	14,0±0,6	3,3	7,1
Cr	132±4	135±5	3,0	2,2

Cs	5,9±0,2	(6)	3,4	-
Eu	1,18±0,02	(1,3)	1,7	-
Fe (%)	4,2±0,1	4,11±0,10	2,4	2,2
Hg	1,64±0,06	1,47±0,07	3,7	11,6
La	29,8±0,9	(29)	3,0	-
Lu	0,54 ± 0,01	(0,6)	1,9	-
Rb	89±11	(100)	12,4	-
Sb	4,01±0,07	3,79±0,15	1,7	5,8
Sc	10,84±0,06	(12)	0,6	-
Sm	6,23±0,09	(6,7)	1,4	-
Th	8,9±0,3	(9,2)	3,4	-
Yb	2,73±0,08	(2,8)	2,9	-
Zn	445±20	438±12	4,5	1,6

TABELA 4 - Resultados Obtidos, em $\mu\text{g g}^{-1}$, na Certificação dos Padrões Sintéticos com o Material de Referência Soil 7 (AIEA), por Ativação Neutrônica.

Elemento	Valor encontrado	Valor esperado	DPR (%)	ER (%)
As	14,0±0,3	13,4±0,8	2,1	4,5
Ba	179±20	(159)	11	-
Ce	66±6	61±7	9,1	8,2
Co	9,5±0,3	8,9±0,9	3,2	6,7
Cr	59±3	60±13	5,1	1,7
Cs	5,4±0,1	5,4±0,7	1,9	0
Eu	0,91±0,05	1,0±0,2	5,5	9
Fe (%)	2,7±0,1	(2,57)	3,7	-
La	27,95±1,03	28±1	3,7	0,2
Lu	0,35±0,05	(0,3)	2,9	-
Nd	32±3	30±6	9,4	6,7
Rb	48±6	51±4,5	12,5	5,9
Sb	1,77±0,02	1,7±0,2	1,1	4,1
Sc	8,03±0,05	8,3±0,1	0,6	3,3
Sm	5,01±0,04	5,1±0,4	0,8	1,8
Tb	0,61±0,04	0,6±0,2	6,6	1,7
Th	7,9±0,3	8,2±1,1	3,8	3,7
Yb	2,2 ± 0,1	2,4±0,4	4,5	8,3
Zn	111±5	104±6	4,6	6,2

As TABELAS 5 e 6 apresentam os resultados obtidos por ativação neutrônica instrumental para as amostras de sedimentos do Tartarugalzinho. O teor de Hg nessas amostras se encontrou abaixo do limite de detecção da técnica analítica utilizada ($LD = 1 \mu\text{g g}^{-1}$). Como pode ser observado, a ativação neutrônica permite a quantificação de cerca de 25 elementos, numa análise puramente instrumental.

A TABELA 7 apresenta os valores máximos, mínimos e as medianas de concentração para cada elemento, considerando-se todas as amostras analisadas (16 amostras) comparados com os valores médios da crosta (clarke) [4]. Os elementos que apresentaram mediana significativamente mais elevada que o clarke são As, Br, Sb e Se. O grupo dos elementos As, Br, Sb e Se caracteriza uma associação tipicamente relacionada a

mineralizações sulfetadas, às quais o Au pode estar relacionado.

TABELA 7. Valores Mínimos, Máximos e Medianas dos Elementos Analisados no Presente Trabalho, para todas as Amostras de Sedimentos do Tartarugalzinho (total = 16).
(Valores em $\mu\text{g g}^{-1}$)

Elem.	MÍNIMO	MÁXIMO	MEDIANA	CROSTA
As	3,96	29	5,7	1,8
Br	6,4	20,9	9,0	2,5
Ce	44	99	88,0	60
Co	7,3	26	17,6	25
Cr	41,3	74	57,0	100
Cs	2,07	7,38	5,3	3
Eu	0,68	1,6	1,3	1,2
Fe(%)	2,09	6,08	3,2	5
Ho	0,18	4,1	0,7	1,2
K	0,69	27157	1,0	2,59
La	21,1	46,4	40,2	30
Lu	0,41	0,8	0,6	0,5
Na	0,036	0,59	0,5	2,83
Nd	17	49	39,9	28
Rb	49	96	71,0	90
Sb	0,35	1,11	0,5	0,2
Sc	9,96	13,73	11,2	22
Se	0,75	1,96	1,1	0,05
Sm	3,1	8,3	6,2	6
Ta	1,09	2,3	1,5	2
Tb	0,45	1,01	0,8	0,9
Th	8,2	17,51	13,6	7,2
U	2,9	5,1	3,5	1,8
Yb	2,38	5,2	3,2	3,4
Zn	75	153	102	70

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à FINEP pelo suporte financeiro e à FAPESP pela concessão da bolsa de

iniciação científica à aluna Maria Cristina Neri.

REFERÊNCIAS

- [1] Fávoro, D.I.T., Melfi, A.J., Oliveira, S.M.B., Gonçalves, C., Vasconcellos, M.B.A. **Determinação Multielementar em Amostras de Solo da região do Tartarugalzinho, estado do Amapá, pelo Método de Análise por Ativação Neutrônica Instrumental.** Anais do IV Encontro Nacional de Aplicações Nucleares, Poços de Caldas, M.G., 1997.
- [2] Veado, M.A.R.V.; Pinte, G.; Oliveira, A.H.; Revel, G. **Study of River pollution by Mining Industries in the State of Minas Gerais,** Ninth International Conference on Modern Trends in Activation Analysis, Seoul(Korea, 1995.)
- [3] Bulnayev, A.I. **Neutron Activation Analysis Investigation of the Composition and Geochemical Peculiarities of Lake Baikal Bottom Sediments.** Analyst 120, p.1445-1452, 1995.
- [4] Mason, B.. **Princípios de Geoquímica.** Editora Universidade de São Paulo, Editora Polígono, São Paulo, 1971.

ABSTRACT

In the present work, sediment samples collected in the Tartarugalzinho region, State of Amapá, were analyzed by instrumental neutron activation analysis. The concentration of the elements As, Ba, Br, Co, Cr, Cs, Fe, Na, Rb, Sc, Se, Ta, Th, U, Zn and Zr and the rare earth elements Ce, Eu, La, Lu, Nd, Sm, Tb and Yb could be determined. Analysis of the reference materials Buffalo River Sediment (NIST SRM 2704) and Soil 7 (IAEA) showed the accuracy and precision of the method.

TABELA 5. Resultados Obtidos, em $\mu\text{g g}^{-1}$, em Amostras de Sedimento, na Região do Tartarugalzinho, por Ativação Neutrônica Instrumental.

Elem.	SDPR01 01	SDPR01 02	SDAT01 01	SDAT01 02	SDAT01 04	SDAT01 06	SDAT01 07
As	10,4 ± 0,4	6 ± 1	8,3 ± 0,3	6,6 ± 0,6	4,4 ± 0,2	29 ± 1	7,0 ± 0,3
Br	10,6 ± 0,3	7,6 ± 0,2	10,2 ± 0,2	20,9 ± 0,3	8,5 ± 0,6	9 ± 1	13,6 ± 0,8
Ce	88 ± 3	97 ± 4	99 ± 7	88 ± 3	73 ± 5	88 ± 7	44 ± 3
Co	16,9 ± 0,8	14,5 ± 0,7	23,1 ± 0,1	26 ± 1	15,8 ± 0,3	7,3 ± 0,1	10,5 ± 0,1
Cr	58 ± 2	62 ± 2	74 ± 8	57 ± 2	63 ± 7	54 ± 4	41,3 ± 3,2
Cs	5,88 ± 0,07	7,38 ± 0,08	6,9 ± 0,4	4,99 ± 0,06	4,2 ± 0,2	2,2 ± 0,1	2,07 ± 0,07
Eu	1,39 ± 0,07	1,41 ± 0,08	1,6 ± 0,1	1,21 ± 0,07	1,1 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,68 ± 0,05
Fe (%)	4,22 ± 0,03	3,85 ± 0,02	5,38 ± 0,01	6,08 ± 0,03	2,86 ± 0,02	2,10 ± 0,01	2,09 ± 0,01
Ho	1,6 ± 0,1	1,4 ± 0,1	2,3 ± 0,4	1,3 ± 0,1	0,18 ± 0,03	4,1 ± 0,7	1,1 ± 0,2
K	16186 ± 4981	17906 ± 5510	15068 ± 36	4827+ 1486	6315 ± 15	27157 ± 12058	8121 ± 3601
La	37,6 ± 0,4	42,0 ± 0,3	46,4 ± 0,7	41,0 ± 0,3	34,8 ± 0,4	42,4 ± 0,3	21,1 ± 0,1
Lu	0,7 ± 0,1	0,8 ± 0,1	0,6 ± 0,1	0,41 ± 0,08	0,7 ± 0,1	0,50 ± 0,09	0,48 ± 0,08
Na	4623 ± 359	3981 ± 309	5450 ± 320	1490 ± 116	2481 ± 146	1698 ± 174	362 ± 37
Nd	37,33 ± 0,04	49 ± 8	47 ± 4	36 ± 5	31 ± 3	39 ± 2	17 ± 2
Rb	84 ± 5	96 ± 6	81 ± 7	49 ± 3	63 ± 9	70 ± 4	n.d.
Sb	1,11 ± 0,04	0,72 ± 0,02	0,75 ± 0,03	0,50 ± 0,02	0,64 ± 0,03	0,55 ± 0,03	0,35 ± 0,02
Sc	12,4 ± 0,7	13,7 ± 0,6	13,5 ± 0,3	11,2 ± 0,5	10,9 ± 0,3	12,2 ± 0,1	9,96 ± 0,04
Se	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1,2 ± 0,8	1,1 ± 0,8
Sm	6,5 ± 0,2	7,1 ± 0,5	8,3 ± 0,4	6,2 ± 0,6	5,5 ± 0,2	5,4 ± 0,4	3,1 ± 0,2
Ta	1,7 ± 0,2	2,3 ± 0,6	1,2 ± 0,1	1,09 ± 0,03	1,49 ± 0,02	1,29 ± 0,06	1,41 ± 0,08
Tb	0,89 ± 0,02	1,01 ± 0,02	0,88 ± 0,04	0,64 ± 0,01	0,8 ± 0,1	0,54 ± 0,01	0,45 ± 0,01
Th	14,1 ± 0,2	15,3 ± 0,2	15,1 ± 0,3	14,3 ± 0,2	13,4 ± 0,3	17,5 ± 0,5	8,2 ± 0,3
U	4 ± 1	4,5 ± 0,9	3,9 ± 0,1	3,2 ± 0,2	3,6 ± 0,3	5,0 ± 0,6	5,1 ± 0,9
Yb	3,3 ± 0,3	5 ± 1	2,9 ± 0,3	2,38 ± 0,01	3,2 ± 0,3	2,9 ± 0,3	2,6 ± 0,2
Zn	n.d.	131 ± 23	148 ± 9	153 ± 8	92 ± 5	75 ± 2	85 ± 3

n.d. - não determinado

TABELA 6 - Resultados Obtidos, em $\mu\text{g g}^{-1}$, nas Análises das Amostras de Sedimento Coletadas no Perfil no Lago Duas Bocas, Tartarugalzinho, por Ativação Neutrônica Instrumental.

Elem.	SDAT0201	SDAT0201 A	SDAT0201 B	SDAT0201 C	SDAT0201 D	SDAT0201 E	SDAT0201 F	SDAT0201 G	SDAT0201 H
As	n.d.	6.0 + 0.5	n.d.	n.d.	4.1 + 0.2	5.2 + 0.2	4.0 + 0.2	5.3 + 0.2	5.7 + 0.2
Ba	402 + 61	309 + 24	539 + 82	529 + 81	370 + 48	285 + 47	259 + 41	306 + 48	357 + 50
Br	6 + 1	8.3 + 0.8	7 + 1	9 + 2	9.1 + 0.5	10.8 + 0.6	9.7 + 0.4	6.9 + 0.3	9.1 + 0.8
Ce	80 + 7	90 + 3	82 + 7	88 + 7	89 + 4	86 + 4	93 + 4	80 + 3	89 + 4
Co	16.4 + 0.2	17.51 + 0.03	17.66 + 0.09	19.95 + 0.04	17.70 + 0.05	18.50 + 0.05	17.94 + 0.01	16.0 + 0.1	20.4 + 0.2
Cr	52 + 4	62 + 4	50 + 3	55 + 4	60 + 6	57 + 6	60 + 6	51 + 5	57 + 6
Cs	4.9 + 0.3	5.65 + 0.03	5.1 + 0.3	5.3 + 0.3	5.30 + 0.04	5.50 + 0.04	5.44 + 0.04	5.03 + 0.04	5.33 + 0.04
Eu	1.14 + 0.04	1.29 + 0.01	1.16 + 0.04	1.27 + 0.04	1.28 + 0.01	1.26 + 0.01	1.31 + 0.01	1.11 + 0.01	1.28 + 0.01
Fe(%)	3.16 + 0.04	3.50 + 0.02	3.1 + 0.1	3.57 + 0.01	3.20 + 0.01	3.19 + 0.01	3.3 + 0.2	3.0 + 0.2	3.10 + 0.01
Hf	10.7 + 0.2	13 + 1	14.2 + 0.3	11.5 + 0.2	12.7 + 0.5	9.6 + 0.4	12.3 + 0.5	9.7 + 0.4	11.0 + 0.4
Ho	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.38 + 0.08	0.5 + 0.1	0.6 + 0.14	0.5 + 0.1	0.8 + 0.2
La	36.4 + 0.8	42.1 + 0.8	37.3 + 0.5	39.9 + 0.7	41 + 1	39.91 + 0.05	45 + 1	38.21 + 0.04	42 + 1
Lu	0.5 + 0.2	0.6 + 0.1	0.6 + 0.2	0.6 + 0.2	0.6 + 0.1	0.5 + 0.1	0.6 + 0.1	0.5 + 0.1	0.6 + 0.1
Na	4487 + 616	5279 + 354	5287 + 693	n.d.	5272 + 207	4930 + 193	5381 + 211	5895 + 231	5351 + 210
Nd	40 + 9	34 + 4	40 + 4	42 + 8	42 + 5	44 + 5	43 + 5	35 + 3	41 + 5
Rb	63 + 2	67 + 2	77 + 2	58 + 2	71 + 12	75 + 13	77 + 13	68 + 12	81 + 14
Sb	0.41 + 0.02	0.50 + 0.01	0.42 + 0.02	0.38 + 0.02	0.49 + 0.02	0.46 + 0.02	0.57 + 0.03	0.41 + 0.02	0.49 + 0.02
Sc	10.61 + 0.04	11.72 + 0.01	10.85 + 0.02	11.37 + 0.02	11.49 + 0.01	11.05 + 0.01	11.65 + 0.01	10.25 + 0.01	11.11 + 0.01
Se	0.9 + 0.2	1.4 + 0.1	1.7 + 0.4	2.0 + 0.4	0.9 + 0.1	0.8 + 0.2	1.1 + 0.2	1.1 + 0.2	1.0 + 0.1
Sm	5.5 + 0.6	6.6 + 0.4	5.6 + 0.3	6.4 + 0.5	6.2 + 0.2	6.2 + 0.2	6.88 + 0.06	5.9 + 0.2	6.6 + 0.2
Ta	1.5 + 0.1	1.56 + 0.06	1.6 + 0.1	1.51 + 0.05	1.69 + 0.04	1.6 + 0.2	1.70 + 0.05	1.34 + 0.04	1.54 + 0.06
Tb	0.75 + 0.05	0.70 + 0.04	0.74 + 0.06	0.71 + 0.06	0.98 + 0.09	0.9 + 0.1	0.99 + 0.09	0.73 + 0.07	0.98 + 0.08
Th	12.3 + 0.6	13.7 + 0.7	12.5 + 0.5	14.0 + 0.6	13.0 + 0.3	12.8 + 0.3	14.0 + 0.3	11.6 + 0.2	13.8 + 0.3
U	3.5 + 0.2	3.4 + 0.3	3.6 + 0.3	3.9 + 0.2	3.2 + 0.3	2.9 + 0.3	3.2 + 0.2	3.07 + 0.07	3.1 + 0.3
Yb	3.2 + 0.2	3.46 + 0.05	3.6 + 0.1	3.5 + 0.2	3.3 + 0.2	2.7 + 0.1	3.20 + 0.01	2.6 + 0.2	3.2 + 0.3
Zn	103 + 7	100 + 1	96 + 7	102 + 7	102 + 5	102 + 5	102 + 5	94 + 5	108 + 6

n.d.- não determinado.