

Caracterização Química e Mineralógica do Material Inconsolidado do Fundo da Lagoa da Viração, Arquipélago de Fernando de Noronha, Pernambuco

Déborah Inês Teixeira Fávaro¹ (defavaro@ipen.br), Sonia Maria Barros de Oliveira², Sandra Regina Damatto³, Eldemar Menor⁴, Alex Souza Moraes⁵, Barbara Paci Mazzilli³

¹Laboratório de Análise por Ativação Neutrônica - Centro do Reator de Pesquisa - IPEN
Av. Prof. Lineu Prestes 2242, CEP 05508-000, São Paulo, SP, BRA

²Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental - Instituto de Geociências - USP, São Paulo, SP, BRA

³Centro de Metrologia das Radiações - IPEN, São Paulo, SP, BRA

⁴Departamento de Geologia - UFPE, Pernambuco, PE, BRA

⁵Departamento de Química Fundamental - UFPE, Pernambuco, PE, BRA

Recebido em 21 de setembro de 2005; aceito em 07 de abril de 2006

Palavras-chave: Lagoa da Viração, Fernando de Noronha, mineralogia, elementos traço.

RESUMO

A Lagoa da Viração é uma pequena lagoa localizada no arquipélago de Fernando de Noronha, 20 m acima do nível do mar. Com o objetivo de determinar a natureza do material inconsolidado existente no fundo da lagoa, dois testemunhos foram coletados. Verificou-se que esse material é constituído predominantemente de esmectita e óxidos de Fe e Ti. Os elementos As, Ba, Br, Co, Cr, Cs, Rb, Sb, Sc, Ta, Th, U, Zn e as terras raras (Ce, Eu, La, Lu, Nd, Sm, Tb e Yb) foram determinados pela técnica de ativação neutrônica. A assinatura dos elementos traço é muito semelhante àquela das rochas circundantes. Características químicas e mineralógicas indicam que esse material não é sedimento, mas formou-se no fundo da Lagoa por intemperismo da rocha parental ultramáfica em ambiente subaquático.

Keywords: Lagoa da Viração, Fernando de Noronha, mineralogy, trace elements.

ABSTRACT

Lagoa da Viração is a small lake on Fernando de Noronha Island, located 20 meters above sea level. Two cores were collected in order to analyze the unconsolidated material at the bottom of the lagoon. This material is made up predominantly of smectite and Fe and Ti oxides. The elements As, Ba, Br, Co, Cr, Cs, Rb, Sb, Sc, Ta, Th, U, Zn and rare earth elements (Ce, Eu, La, Lu, Nd, Sm, Tb and Yb) were measured by neutron activation analysis. The trace element signature is very close to that of the surrounding rocks. Chemical and mineralogical features indicate that this material is not sediment but an *in situ* weathering product of the ultramafic parent rock that formed in the lagoon in a subaquatic environment.

INTRODUÇÃO

O arquipélago de Fernando de Noronha é um grupo isolado de 21 ilhas vulcânicas, localizado no Oceano Atlântico equatorial (03°51'S - 32°26'W) a aproximadamente 545 km de Recife, PE. A ilha principal do arquipélago, Fernando de Noronha, ocupa 90% da área total de 18,4 km². O arquipélago possui clima tropical, com duas estações bem marcadas, sendo o período mais úmido de março a maio e o seco, de agosto a janeiro. A precipitação média anual é de cerca de 1.300 mm e a temperatura média anual situa-se por volta dos 25°C, sem variações consideráveis ao longo do ano.

Na extremidade oeste da ilha principal, na Planície da Viração, existe um pequeno corpo d'água de cerca de 50 m de diâmetro e menos de 2 m de profundidade, conhecido como Lagoa da Viração. Situada à altitude de aproximadamente 20 m, a Lagoa é drenada para o mar através de curso d'água que se estabelece apenas imediatamente após as chuvas. Encontra-se isolada, em lugar de acesso difícil, constituindo-se num ecossistema praticamente intocado pelo homem. As rochas circundantes são derrames ultramáficos da Formação Quixaba, descritos pela primeira vez por Almeida (1955) e datados de 3 Ma pelo método K/Ar por Cordani (1970).

O material inconsolidado encontrado no fundo da Lagoa foi considerado inicialmente como sedimento. No entanto, a caracterização mineralógica mostrou que é composto essencialmente por esmectita, mineral de argila ausente no solos superficiais derivados das rochas circundantes, os quais são ricos em caulinita (Almeida, 1955). Como é difícil imaginar que a caulinita dos solos, transportada para o interior da Lagoa, aí se transforme em esmectita, elaborou-se a hipótese de que o material encontrado no fundo da Lagoa não seja propriamente um sedimento, mas tão somente um produto da alteração intempérica *in situ* da rocha subjacente. O objetivo deste trabalho é o de examinar essa hipótese à luz de detalhada caracterização mineralógica e geoquímica do material.

MATERIAIS E MÉTODOS

Amostragem

Dois testemunhos foram coletados em área marginal da Lagoa da Viração, sob lâmina d'água de aproximadamente 1 m, utilizando-se um tubo de PVC. Os testemunhos foram seccionados a cada 2 cm, as amostras foram pesadas e secas em estufa a 60°C e peneiradas em malha 0,063 mm com água desmineralizada. O testemunho LVP1 com 27 cm de profundidade, resultou em 13 amostras denominadas T1-1 (0 - 2 cm) a

T1-13 (24 - 27 cm). O testemunho LVP2 com 41 cm de profundidade, resultou em 20 amostras denominadas T2-1 (0 - 2cm) a T2-20 (38 - 41 cm). As amostras de LVP1 são constituídas em 70 a 80% pela fração granulométrica silte + argila (< 0,063 mm) e as amostras do testemunho LVP2, em 100% por essa fração.

Métodos

AANI - Para análise por ativação neutrônica multielementar, cerca de 200 mg das amostras (duplicatas) e 150 mg dos materiais de referência foram pesados juntamente com padrões sintéticos dos elementos de interesse e foram submetidos à irradiação por 16 horas, sob um fluxo de nêutrons térmicos de 10^{12} n cm⁻² s⁻¹ no reator de pesquisas do IPEN (Larizzatti et al., 2001). Para validação dessa metodologia foram utilizados os materiais de referência Buffalo River Sediment SRM 2704 (NIST), Soil-7 (IAEA) (Toro et al., 1990) e BEN (Basalt-IWG-GIT) (Govindaraju, 1995).

FRX - Utilizou-se a técnica de fluorescência de raios X para a determinação dos elementos maiores. As amostras foram preparadas segundo Mori et al. (1999) no Instituto de Geociências (IGc) da Universidade de São Paulo (USP) e as medidas foram feitas utilizando-se um espectrômetro de raios X Philips PW2400. A precisão e exatidão da metodologia foram verificadas analisando-se os materiais de referência JB-1a e JG-1a (Geological Survey of Japan) (Govindaraju, 1989).

DRX e ATD - A determinação mineralógica foi efetuada utilizando-se as técnicas de difração de raios X e análise térmica diferencial, no IGc/USP. Para a difração de raios X, utilizou-se um equipamento D 5000 Siemens para o intervalo de 3 a 65°, varrido à velocidade de 0,41°/seg. Para a análise térmica foi utilizado um equipamento ATD-TG marca DP Union, modelo SDT 2960; a amostra foi aquecida à razão de 10°C/min até 1000°C.

RESULTADOS

Validação das técnicas analíticas

A validação da metodologia de ativação neutrônica (AAN) foi feita por meio da análise de materiais de referência, e os resultados encontram-se na Tabela 1. Os resultados (mg kg⁻¹) correspondem às médias de três determinações. Em geral, os valores de desvios padrão relativos e erros relativos foram inferiores a 10%, comprovando dessa forma a precisão e a exatidão do método. Podemos salientar os elementos As, Ba e Lu, que apresentaram erros relativos acima de 15%, somente no material BEN.

Tabela 1. Resultados das análises dos materiais de referência pela técnica de AAN (mg kg^{-1}) e limites de detecção para os elementos traço analisados. **DPR (%)** = desvio padrão relativo. **ER (%)** = erro relativo. **LD (mg kg^{-1})** = limite de detecção. **dp** = desvio padrão.

	Buffalo River Sediment					Soil 7					BEN - Basalt				
	Valor	Valor	DPR	ER	LD	Valor	Valor	DPR	ER	LD	Valor	Valor	DPR	ER	LD
	esperado	obtido \pm dp	(%)	(%)	(mg kg^{-1})	esperado	obtido \pm dp	(%)	(%)	(mg kg^{-1})	esperado	obtido \pm dp	(%)	(%)	(mg kg^{-1})
As	23,4 \pm 0,8	21,0 \pm 1,5	7,5	10,3	0,63	13,4 \pm 0,8	13,4 \pm 1,6	11,9	0	0,3	1,8 \pm 0,3	1,5 \pm 0,2	13,3	16,7	-
Ba	414 \pm 12	509 \pm 12	2,4	23	58	159	206 \pm 21	10,2	-	42	1025 \pm 30	1212 \pm 117	9,6	18,2	120
Br	7	7,8 \pm 0,8	10,2	-	0,5	7	10,1 \pm 0,8	7,9	-	0,24	-	-	-	-	-
Ce	72	59 \pm 2	3,4	-	0,43	61 \pm 7	54 \pm 2	3,7	11,5	0,43	152 \pm 4	143 \pm 8	5,6	5,9	1,9
Co	14,0 \pm 0,6	12,9 \pm 0,6	4,7	7,9	0,1	8,9 \pm 0,9	8,5 \pm 0,3	3,5	4,5	0,1	60 \pm 2	59 \pm 1	1,7	1,7	0,32
Cr	135 \pm 5	128 \pm 4	3,1	5,2	1,1	60 \pm 13	66 \pm 2	3	10	1	360 \pm 12	337 \pm 19	5,6	6,4	6,8
Cs	6	5,7 \pm 0,2	3,5	-	0,15	5,4 \pm 0,7	5,3 \pm 0,3	5,7	1,9	0,2	0,8 \pm 0,1	0,77 \pm 0,06	7,8	3,8	-
Eu	1,3	1,24 \pm 0,08	6,5	-	0,03	1,0 \pm 0,2	0,97 \pm 0,06	6,2	3	0,03	3,6 \pm 0,18	3,5 \pm 0,3	8,6	2,8	0,07
La	29	28,4 \pm 0,9	3,2	-	0,24	28 \pm 1	27 \pm 2	7,4	3,6	0,2	82 \pm 1,5	82 \pm 1	1,2	0	0,17
Lu	0,6	0,47 \pm 0,06	12,8	-	0,07	0,3	0,33 \pm 0,04	12,1	-	0,05	0,24 \pm 0,03	0,28 \pm 0,03	10,7	16,7	0,07
Nd	-	-	-	-	-	30 \pm 6	26 \pm 2	7,7	13,3	3	67 \pm 1,5	66 \pm 3	4,5	1,5	7
Rb	100	94 \pm 7	7,4	-	4,5	51 \pm 4,5	49 \pm 5	10,2	3,9	5,1	47 \pm 2	46 \pm 4	8,7	2,1	6
Sb	3,8 \pm 0,2	3,4 \pm 0,4	11,8	10,5	0,2	1,7 \pm 0,2	1,6 \pm 0,2	12,5	5,9	0,15	0,26 \pm 0,05	-	-	-	-
Sc	12	10,8 \pm 0,3	2,8	-	0,01	8,3 \pm 0,1	8,0 \pm 0,2	2,5	3,6	0,01	22 \pm 1,5	20,5 \pm 0,7	3,4	6,8	0,09
Sm	6,7	5,8 \pm 0,4	6,9	-	0,11	5,1 \pm 0,4	4,8 \pm 0,3	6,3	5,9	0,1	12,2 \pm 0,3	11,2 \pm 0,4	3,6	8,2	0,05
Tb	-	-	-	-	-	0,6 \pm 0,2	0,64 \pm 0,07	10,9	6,7	0,1	1,3 \pm 0,1	1,3 \pm 0,1	7,7	0	0,2
Th	9,2	8,5 \pm 0,5	5,9	-	0,5	8,2 \pm 0,1	7,6 \pm 0,2	2,6	7,3	0,5	10,4 \pm 0,65	9,8 \pm 0,2	2	5,8	0,3
U	3,1 \pm 0,1	3,5 \pm 0,3	8,6	7,6	0,32	2,6 \pm 0,5	2,6 \pm 0,2	7,7	0	0,3	2,4 \pm 0,18	2,4 \pm 0,2	8,3	0	0,9
Yb	2,8	2,76 \pm 0,07	2,5	-	0,21	2,4 \pm 0,4	2,2 \pm 0,2	9,1	8,3	0,23	1,8 \pm 0,2	1,9 \pm 0,1	5,3	5,6	0,21
Zn	438 \pm 12	423 \pm 35	8,3	3,4	2,8	104 \pm 6	107 \pm 7	6,5	2,9	3,6	120 \pm 13	127 \pm 10	7,9	5,8	15

Os limites de detecção da técnica AAN, obtidos neste trabalho, foram calculados utilizando-se a expressão descrita abaixo (Keith et al., 1983) para cada elemento determinado, nos materiais de referência Buffalo River Sediment (NIST SRM 2704), Soil-7 (IAEA) e BEN (Basalt-IWG-GIT). Os limites de detecção da técnica, calculados pela fórmula abaixo, estão na Tabela 1.

$$LD = \frac{3\sqrt{BG}}{T}$$

onde:

BG = valor da contagem do *background* no fotopico do elemento de interesse (em cps) no material de referência;

T = tempo de contagem (em s).

A Tabela 2 apresenta os resultados das análises dos materiais de referência JB1a e JG1a, pela técnica de fluorescência de raios X, para os elementos maiores e os respectivos limites de detecção (LD).

Mineralogia e quimismo dos materiais

Os difratogramas de todas as amostras analisadas mostraram picos importantes entre 16 e 17 Å e a 4,5 Å, revelando a presença de esmectita, cuja natureza específica não foi investigada. Foram encontradas ainda hematita, magnetita e ilmenita, além de traços de clinopiróxênio. O elevado *background* dos difratogramas sugere também a presença de amorfos nas amostras analisadas. Os diagramas de ATD-TG mostram um pico endotérmico bem definido entre 70 e 90°C e um pico endotérmico menos bem caracterizado

na região de 450°C. Ambos representam estágios de perda de hidroxilas, correspondendo à perda de massa total da ordem de 15%. Esse padrão é compatível com a presença de esmectita. Os resultados de DRX e de ATD-TG não mostraram variação significativa da composição mineralógica com a profundidade.

A Figura 1 apresenta a variação dos teores dos elementos traço e a Figura 2, dos elementos maiores dosados nas amostras de sedimentos do testemunho LVP1, em função da profundidade. A avaliação visual não permite perceber variações significativas com a profundidade. No entanto, a análise de agrupamento das amostras pelo método de Ward, considerando os teores dos elementos maiores e traço, indica que há uma pequena diferença composicional entre a parte superior e a parte inferior do testemunho (Figura 3). Em função disso, distinguiram-se duas unidades, A (0 - 16 cm) e B (16 - 27 cm), o que está assinalado nas Figuras 1 e 2. São apresentados as médias, desvios padrão e intervalo de variação dos teores dos elementos traço (Tabela 3) e maiores (Tabela 4), para cada uma das unidades.

Para as amostras do testemunho LVP2, a variação dos teores dos elementos traço e maiores com a profundidade está representada nas Figuras 4 e 5. Analogamente a LVP1, foram identificadas pela análise de agrupamento duas unidades, correspondentes às unidades A e B. A Figura 6 ilustra que o corte entre as duas unidades se dá a 20 cm de profundidade. Assim, a unidade A corresponde ao intervalo de 0 a 20 cm e a unidade B, ao intervalo de 20 a 41 cm. As médias, desvios padrão e intervalo de variação dos teores dos elementos traço e maiores para cada uma das unidades estão apresentados nas Tabelas 5 e 6.

Tabela 2. Resultados das análises dos materiais de referência pela técnica de FRX (%) e limites de detecção para os elementos maiores. **PF** = perda ao fogo.

	JB1a		JG1a		LD (%)
	Valor obtido	Valor recomendado	Valor obtido	Valor recomendado	
SiO ₂	53,23	52,16	72,38	72,19	0,01
Al ₂ O ₃	14,82	14,51	14,08	14,22	0,01
MnO	0,151	0,15	0,062	0,06	0,002
MgO	7,94	7,75	0,66	0,69	0,01
CaO	9,39	9,23	2,13	2,13	0,01
Na ₂ O	2,85	2,74	3,38	3,41	0,02
K ₂ O	1,42	1,42	3,96	4,01	0,01
TiO ₂	1,32	1,3	0,259	0,25	0,007
P ₂ O ₅	0,272	0,26	0,085	0,08	0,003
Fe ₂ O ₃	9,16	9,1	2,06	2,05	0,01
PF	1,1	1,1	0,59	0,59	0,01
Total	101,65	99,72	99,65	99,68	-

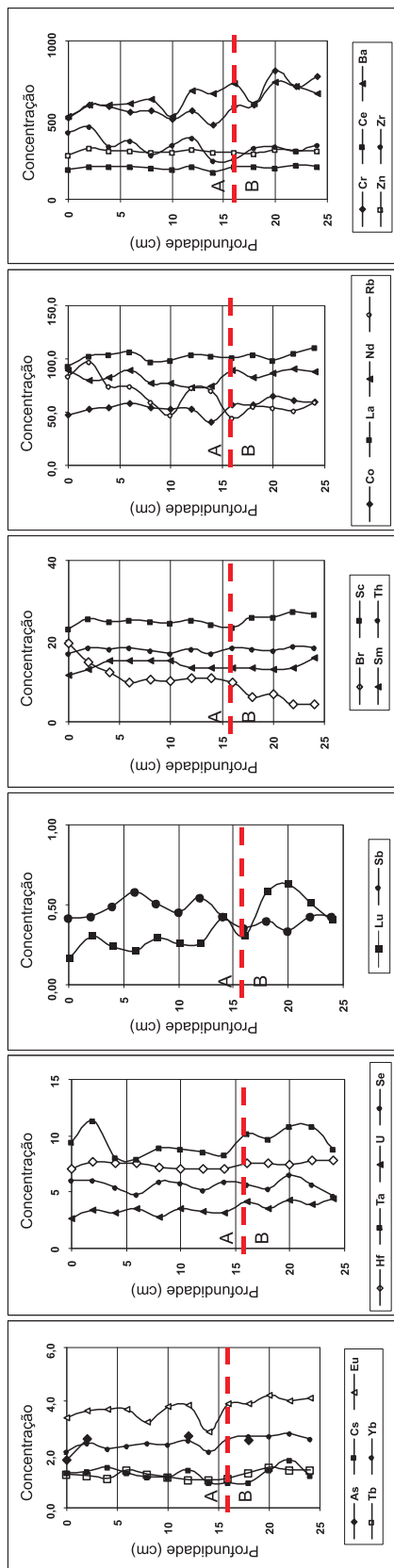


Figura 1. Elementos traço obtidos por AAN (mg kg⁻¹) em função da profundidade, no testemunho LVP1.

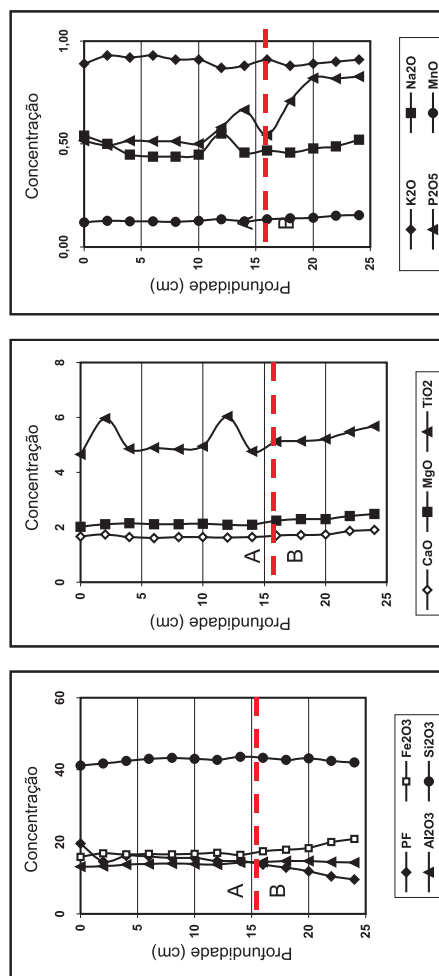


Figura 2. Elementos maiores (%) obtidos por FRX em função da profundidade, para o testemunho LVP1.

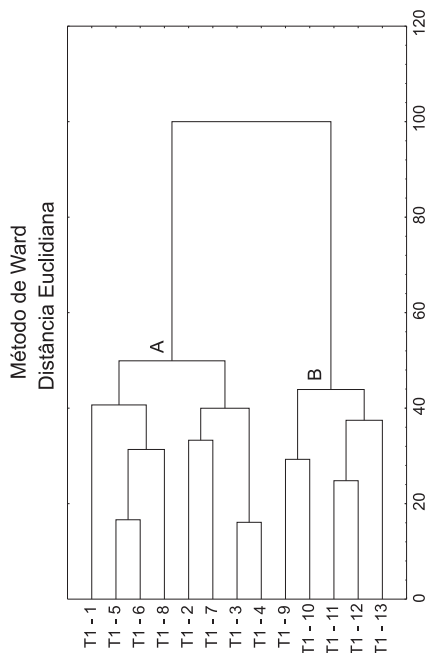


Figura 3. Análise de agrupamento de todos os parâmetros analisados em função da profundidade, para as amostras do testemunho LVP1 (13 amostras analisadas para elementos maiores e traço).

Tabela 3. Médias dos elementos traço (mg kg⁻¹) para os dois intervalos considerados, no testemunho LV1. **N** = número de amostras.

LVP1	Unidade A (0 a 16 cm)		Unidade B (16 a 27 cm)		Unidade A (0 a 16 cm)		Unidade B (16 a 27 cm)	
	N	Média ± dp	Intervalo	Média ± dp	Intervalo	N	Média ± dp	Intervalo
Elementos traço								
As	2,2 ± 0,5	1,8 – 2,7	2,5 ± 0,5	2,5	72 ± 15	47 – 97	53 ± 5	44 – 59
Ba	603 ± 59	524 – 689	692 ± 58	602 – 743	0,48 ± 0,06	0,42 – 0,58	0,39 ± 0,04	0,35 – 0,43
Br	12,3 ± 3,3	9,6 – 19,6	6,8 ± 2,3	4,4 – 9,9	24,7 ± 0,7	23,2 – 25,5	25,8 ± 1,5	23,4 – 27,3
Ce	198 ± 12	173 – 210	207 ± 6	197 – 213	5,7 ± 0,5	4,8 – 6,1	5,6 ± 0,8	4,7 – 6,6
Co	51,4 ± 5,4	40 – 58	60 ± 4	56 – 65	14,0 ± 1,3	11,6 – 15,2	13,7 ± 1,2	12,8 – 15,8
Cr	541 ± 42	471 – 594	697 ± 101	586 – 810	9,0 ± 1,1	8,0 – 11,4	10,1 ± 0,9	8,8 – 10,9
Cs	1,3 ± 0,2	0,9 – 1,5	1,3 ± 0,4	1,0 – 1,8	1,2 ± 0,1	1,04 – 1,40	1,3 ± 0,2	1,10 – 1,50
Eu	3,5 ± 0,4	2,8 – 3,9	4,0 ± 0,1	3,9 – 4,2	17,7 ± 0,7	16,8 – 18,5	18,3 ± 0,5	17,5 – 18,9
Hf	7,3 ± 0,3	7,1 – 7,6	7,6 ± 0,2	7,4 – 7,8	3,2 ± 0,3	2,7 – 3,5	4,0 ± 0,4	3,5 – 4,4
La	101 ± 4	93 – 107	104 ± 5	98 – 111	2,3 ± 0,2	2,1 – 2,5	2,7 ± 0,1	2,6 – 2,8
Lu	0,27 ± 0,07	0,16 – 0,42	0,48 ± 0,13	0,30 – 0,63	304 ± 12	282 – 320	303 ± 8	291 – 312
Nd	80 ± 6	73 – 89	87 ± 3	82 – 90	354 ± 71	241 – 461	312 ± 35	255 – 343

Tabela 4. Médias dos elementos maiores (%), para os dois intervalos considerados, no testemunho LVP1. **PF** = perda ao fogo. **N** = número de amostras.

LVP1	Unidade A (0 a 16 cm)		Unidade B (16 a 27 cm)		
	N	Média ± dp	Intervalo	Média ± dp	Intervalo
Elementos maiores					
SiO ₂	42,6 ± 0,8	41,13 – 43,66	42,8 ± 0,5	41,99 – 43,31	
Al ₂ O ₃	13,7 ± 0,3	13,16 – 14,21	14,5 ± 0,2	14,25 – 14,69	
MnO	0,13 ± 0,004	0,115 – 0,134	0,14 ± 0,01	0,135 – 0,154	
MgO	2,11 ± 0,04	2,02 – 2,15	2,35 ± 0,10	2,25 – 2,48	
CaO	1,65 ± 0,04	1,60 – 1,73	1,79 ± 0,09	1,71 – 1,90	
Na ₂ O	0,48 ± 0,05	0,44 – 0,55	0,48 ± 0,02	0,46 – 0,52	
K ₂ O	0,91 ± 0,02	0,87 – 0,93	0,90 ± 0,01	0,88 – 0,91	
TiO ₂	5,1 ± 0,6	4,654 – 6,043	5,3 ± 0,2	5,128 – 5,675	
P ₂ O ₅	0,54 ± 0,06	0,493 – 0,667	0,74 ± 0,12	0,544 – 0,827	
Fe ₂ O ₃	16,6 ± 0,4	15,80 – 17,00	18,9 ± 1,5	17,38 – 20,78	
PF	15,8 ± 1,6	14,6 – 19,5	11,6 ± 1,7	9,55 – 13,7	
Total	99,9 ± 0,2	99,6 – 100	99,4 ± 0,3	99,0 – 99,9	

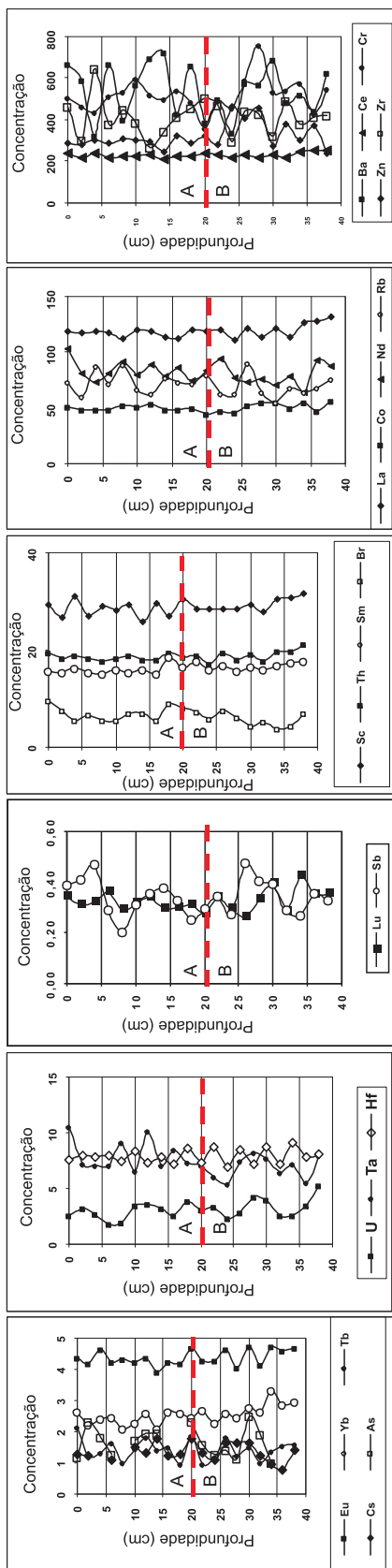


Figura 4. Elementos traço obtidos por AAN (mg kg⁻¹) em função da profundidade, no testemunho LVP2.

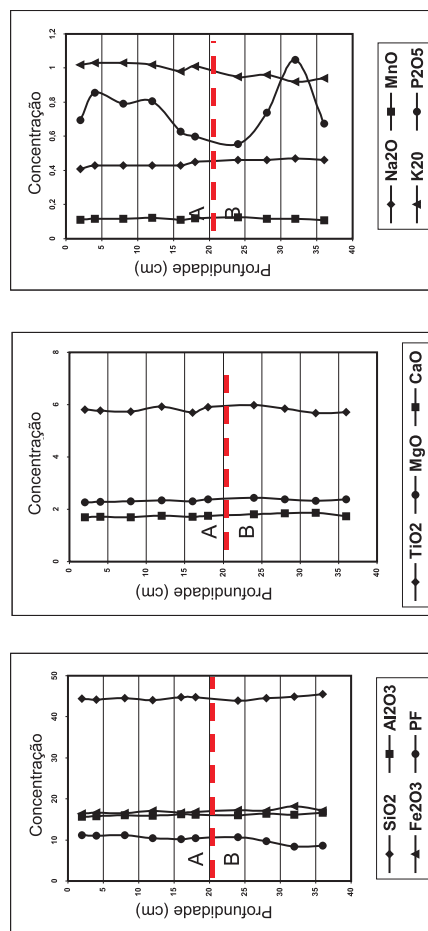


Figura 5. Elementos maiores (%) obtidos por FRX em função da profundidade, para o testemunho LVP2.

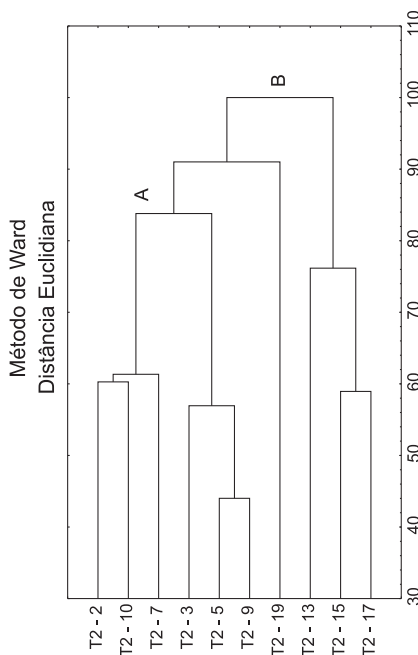


Figura 6. Análise de agrupamento de todos os parâmetros analisados em função da profundidade, para as amostras do testemunho LVP2 (10 amostras analisadas para elementos maiores e traço).

Tabela 5. Médias dos elementos traço (mg kg⁻¹) para os dois intervalos considerados, no testemunho LVP2. **N** = número de amostras.

LVP2	Unidade A (0 a 20 cm) 10			Unidade B (20 a 41 cm) 10			Unidade A (0 a 20 cm) 10			Unidade B (20 a 41 cm) 10		
	Elementos traço	Média ± dp	Intervalo	Elementos traço	Média ± dp	Intervalo	Elementos traço	Média ± dp	Intervalo	Elementos traço	Média ± dp	Intervalo
As	1,7 ± 0,4	1,18 – 2,33	1,0 – 2,5	Rb	73 ± 10	60 – 89						
Ba	572 ± 141	321 – 726	336 – 687	Sb	0,34 ± 0,08	0,20 – 0,47						
Br	6,9 ± 1,4	5,5 – 9,5	3,8 – 8,1	Sc	28,2 ± 1,7	25,7 – 30,9						
Ce	225 ± 10	211 – 242	216 – 253	Se	3,7 ± 0,7	2,9 – 4,7						
Co	50 ± 2	48 – 54	45 – 56	Sm	15,8 ± 1,0	15,0 – 18,4						
Cr	509 ± 44	435 – 597	360 – 758	Ta	8,1 ± 1,4	6,6 – 10,6						
Cs	1,1 ± 0,6	1,08 – 1,79	0,78 – 1,79	Tb	1,5 ± 0,4	1,0 – 2,1						
Eu	4,3 ± 0,2	3,93 – 4,62	4,1 – 4,7	Th	18,5 ± 0,6	17,6 – 19,5						
Hf	7,8 ± 0,5	7,1 – 8,6	6,9 – 9,1	U	2,9 ± 0,7	1,8 – 3,8						
La	117 ± 3	112 – 120	111 – 132	Yb	2,4 ± 0,2	2,1 – 2,8						
Lu	0,32 ± 0,02	0,29 – 0,36	0,26 – 0,42	Zn	292 ± 21	243 – 320						
Nd	83 ± 9	72 – 103	64 – 94	Zr	411 ± 106	265 – 647						

Tabela 6. Médias dos elementos maiores (%) para os dois intervalos considerados, no testemunho LVP2. **PF** = perda ao fogo. **N** = número de amostras.

LVP2	Unidade A (0 a 20 cm) 6			Unidade B (20 a 41 cm) 4		
	Elementos maiores	Média ± dp	Intervalo	Elementos maiores	Média ± dp	Intervalo
SiO ₂	44,47 ± 0,28	44,11 – 44,78	44,74 ± 0,67	43,96 – 45,55		
Al ₂ O ₃	15,96 ± 0,21	15,68 – 16,27	16,27 ± 0,31	15,96 – 16,67		
MnO	0,12 ± 0,01	0,11 – 0,12	0,12 ± 0,01	0,11 – 0,13		
MgO	2,32 ± 0,04	2,27 – 2,39	2,38 ± 0,04	2,32 – 2,43		
CaO	1,72 ± 0,03	1,69 – 1,76	1,81 ± 0,06	1,73 – 1,86		
Na ₂ O	0,43 ± 0,01	0,41 – 0,45	0,46 ± 0,005	0,46 – 0,47		
K ₂ O	1,02 ± 0,02	0,98 – 1,03	0,94 ± 0,02	0,92 – 0,96		
TiO ₂	5,81 ± 0,09	5,70 – 5,92	5,81 ± 0,14	5,68 – 5,99		
P ₂ O ₅	0,73 ± 0,10	0,60 – 0,86	0,75 ± 0,21	0,55 – 1,05		
Fe ₂ O ₃	16,68 ± 0,24	16,41 – 17,06	17,42 ± 0,54	17,08 – 18,22		
PF	10,73 ± 0,44	10,23 – 11,21	9,35 ± 1,06	8,42 – 10,66		
Total	99,97 ± 0,27	99,7 – 100,3	100,05 ± 0,12	99,9 – 100,1		

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

As amostras da Lagoa, ricas em esmectita e hematita, e contendo ainda magnetita titanífera, ilmenita e clinopiroxênio, não podem representar um produto da erosão dos solos formados a partir das rochas circundantes, pois estes são dominados por caulinita. Por outro lado, a composição do material do fundo da Lagoa é compatível com os possíveis produtos da alteração intempérica incipiente das rochas subjacentes. Estas são melanefelinitos cuja composição mineralógica consiste predominantemente de olivina magnesiânica, clinopiroxênio titanífero, e opacos (cromitas, ilmenitas e magnetitas titaníferas); em quantidade subordinada ocorrem nefelina, melilita, e micas ricas em Ba e Ti (Lopes, 2002). Sob condição de drenagem relativamente ineficiente, como é a situação da Lagoa, os minerais máficos da rocha alteram-se em esmectitas e os opacos permanecem nos solos, intactos ou parcialmente oxidados, como é o caso da magnetita que evolui, pela alteração supérgena, em hematita.

Quanto ao quimismo, há também grande aproximação entre a composição da rocha fresca (valores médios referentes às rochas aflorantes no entorno da Lagoa) e aquela do material da Lagoa (Tabela 7). A diferença mais marcante está nos teores dos elementos mais solúveis (CaO, MgO e NaO), muito inferiores nos materiais da Lagoa em relação à rocha fresca. Por outro lado, os elementos de comportamento residual durante o intemperismo, expressos como Al_2O_3 , Fe_2O_3 e TiO_2 , estão mais concentrados nos materiais da Lagoa que na rocha. Nesses materiais registram-se também valores elevados de ETR (elementos terras raras), Cr, Ti, Fe, Zn e Zr, quando comparados à crosta continental, aqui representada pelo NASC (Taylor e MacLennan, 1985). No entanto, quando comparada à composição da rocha fresca, fica claro que a assinatura geoquímica do material da Lagoa é herança direta desta (Tabela 7). Assim, é razoável supor que a rocha fresca seja a rocha fonte do material da Lagoa.

Para dar base mais sólida à comparação composicional entre os materiais da Lagoa e a rocha fonte, foi calculado o fator de enriquecimento FE (Tabela 7), que é a razão entre o teor dos elementos no material analisado e o teor dos elementos na rocha, sendo ambos normalizados pelo teor de Al. O Al é usado para a normalização por se tratar de elemento bastante imóvel durante o intemperismo. Para a rocha, foram utilizadas a média dos teores do melanefelinito que ocorre nas imediações da Lagoa (Lopes, 2002) e, para o material da Lagoa, a média de todas as amostras dos dois testemunhos analisados. Os resultados permitem listar os elementos em função dos ganhos relativos ou perdas do material da Lagoa com relação à rocha, e classificá-los nas seguintes categorias: $1,2 \geq FE > 0,8$ são os elementos que permanecem conservados na transferência da rocha para o material de alteração; $1,6 \geq FE > 1,2$ são os que sofrem ganho

moderado no material de alteração; $FE > 1,6$ são os que nele sofrem ganho acentuado; $0,8 \geq FE > 0,4$ são os que sofrem perda moderada e, finalmente, $FE \leq 0,4$ aqueles que sofrem perdas consideráveis.

A Tabela 8 mostra os elementos classificados em cada categoria. Para os elementos maiores, Ti, Fe e Si são os conservados, enquanto o teor em água e voláteis (PF) é muito aumentado no material de alteração. Isto se deve em parte à formação de minerais hidratados na fase residual da

Tabela 7. Valores médios dos elementos maiores (%) e traço ($mg\ kg^{-1}$) na rocha e no sedimento, valores do NASC e Fator de Enriquecimento (FE). **PF** = perda ao fogo. * = média dos valores referentes às rochas aflorantes no entorno da Lagoa (Lopes, 2002).

	Rocha*	LVP1 + LVP2 Média	NASC	FE
SiO ₂	39,18	43,5	64,8	0,8
TiO ₂	3,93	5,45	0,78	1
Al ₂ O ₃	10,73	14,91	16,9	1
Fe ₂ O ₃	13,83	17,26	6,33	0,9
MnO	0,22	0,13	0,06	0,42
MgO	12,16	2,26	2,85	0,13
CaO	12,78	1,73	3,56	0,1
Na ₂ O	3,14	0,46	1,15	0,11
K ₂ O	1,31	0,94	3,99	0,52
P ₂ O ₅	0,92	0,67	0,11	0,53
PF	1,79	12,44	-	5
Ba	746,25	579,21	636	0,56
Rb	27,08	68,52	125	1,82
Zr	317,25	383,7	200	0,87
Th	8,1	18,39	12	1,63
Zn	89,18	314,15	71	2,54
Cr	328,25	558,58	125	1,22
Hf	7,55	7,69	6,3	0,73
Cs	0,8	1,32	5,2	1,19
Sc	24,5	27,35	15	0,8
Ta	6,78	8,26	1,1	0,88
Co	49,38	52,04	26	0,76
U	1,73	3,29	2,7	1,37
La	69,5	112,21	32	1,16
Ce	141,25	218,15	73	1,11
Nd	66,5	82	33	0,89
Sm	12,18	15,32	5,7	0,91
Eu	3,88	4,12	1,24	0,77
Tb	1,35	1,37	0,85	0,73
Yb	1,75	2,51	3,1	1,03
Lu	0,22	0,34	0,48	1,08

alteração (olivinas e piroxênios da rocha-mãe transformando-se em esmectita). Mas parte desses materiais que são dosados como PF constituem-se de matéria orgânica, que vem adicionar-se à fração mineral, sobretudo nas porções superiores da coluna, como é revelado pelos teores de até 11% C e 0,7% N (Menor et al., 2001). Por outro lado, Ca, Na, Mg, Mn, K e P na forma de óxido encontram-se empobrecidos no material de alteração. Esses elementos, de solubilidade maior que os do primeiro grupo, devem ter se concentrado na fase solúvel da alteração, permanecendo dissolvidos nas águas da Lagoa, e drenados para o oceano na época das chuvas mais intensas.

A Figura 7 mostra os FE para os elementos traço. Alguns apresentam comportamento semelhante ao do Al, com teores normalizados aproximadamente igual na rocha fonte e no material de alteração: são o Cs, Zr e Ta, os elementos terras raras leves (La, Ce, Nd, Sm) e os terras raras pesados (Yb, Lu). Apresentam ganho moderado Cr e U, ganho mais acentuado, Th, Rb e, sobretudo Zn. Finalmente, Hf, Co, Ba e os elementos terras raras de peso intermediário (Eu, Tb) apresentam perda moderada. Nenhum dos elementos traço considerados

apresentou perda acentuada. Essa é outra indicação do caráter incipiente da alteração das rochas na Lagoa da Viração.

As Figuras 1, 2, 4 e 5, que representam os dados químicos do material da Lagoa em função da profundidade da amostra para os dois testemunhos analisados, não mostram, conforme já foi assinalado, significativas diferenças composicionais entre a unidade A e a unidade B. No entanto, se observarmos com mais detalhe, os resultados das médias dos teores dos elementos analisados por unidade (Tabelas 3, 4, 5 e 6) permitem que se percebam diferenças sutis. Assim, a unidade A mostra valores de PF, Rb, Zr e Br levemente mais elevados que a unidade B, que, por sua vez, está ligeiramente enriquecida em Al, Fe, Ba, Cr, Co, Lu, e U. A maior PF na unidade A é, em parte, explicada pela maior abundância de matéria orgânica, expressa pela maior quantidade de carbono na parte superior da seqüência. As outras pequenas variações nos teores dos elementos maiores e traços entre as duas unidades poderiam estar refletindo pequenas diferenças na composição da rocha fonte, que é constituída por seqüências de derrames de quimismo ligeiramente variável.

Tabela 8. Classificação dos elementos em função do fator de enriquecimento (FE). **TRL** = Terras Raras Leves (La, Ce, Nd, Sm). **TRP** = Terras Raras Pesadas (Yb, Lu). **TRI** = Terras Raras Intermediárias (Eu, Tb).

	Ganho considerável	Ganho moderado	Conservação	Perda moderada	Perda considerável
FE	> 1,6	1,6 - 1,2	1,2 - 0,8	0,8 - 0,4	< 0,4
Maiores	PF		TiO ₂ , Fe ₂ O ₃ , SiO ₂	MnO, K ₂ O, P ₂ O ₅	MgO, CaO, Na ₂ O
Traço	Th, Rb, Zn	Cr, U	TRL, TRP, Zr, Ta, Cs, Sc	Hf, Co, Ba, TRI	

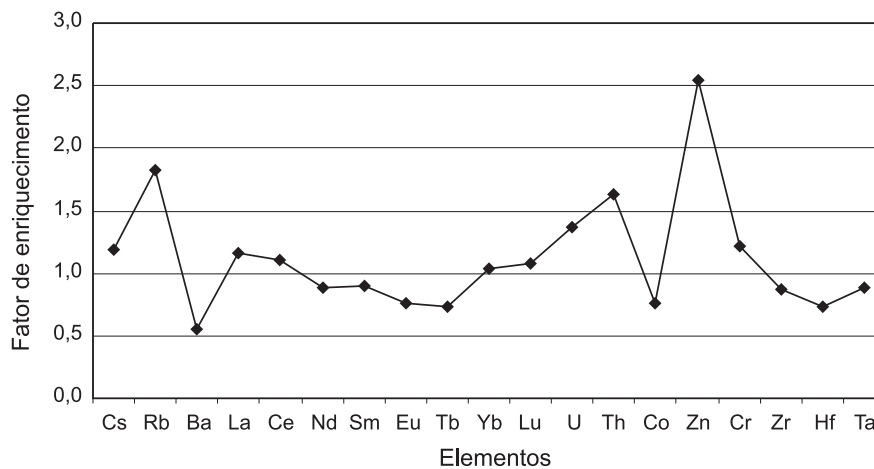


Figura 7. Fatores de enriquecimento (normalização pela rocha fonte) para os elementos traço.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. F. M. Geologia e petrologia do Arquipélago de Fernando de Noronha. Monografias da Divisão de Geologia e Mineralogia, DNPM, n. 13, p. 1-181, 1955.
- CORDANI, U. G. Idade do vulcanismo no Atlântico Sul. *Boletim IGA*, São Paulo, v. 1, p. 9-75, 1970.
- GOVINDARAJU, K. Compilation of Working Values and Sample Description for 272. *Geostandards Newsletter*, v. 13, p. 1-113, 1989.
- GOVINDARAJU, K. Working Values with Confidence Limits for twenty-six CRPG, ANRT and IWT-GIT. *Geostandards Newsletter*, v. 19, p.1-32, 1995. (Special Issue)
- KEITH, L. H.; CRUMMET, W.; DEEGAN, J. R.; LIBBY, R. A.; TAYLOR, J. K.; WENTLER, G. Principles of environmental analysis. *Analytical Chemistry*, v. 55, p. 2210-2218, 1983.
- LARIZZATTI, F. E.; FÁVARO, D. I. T.; MOREIRA, S. R. D.; MAZZILLI, B. P.; PIOVANO, E. L. Multielemental Determination by Instrumental Neutron Activation Analysis and Recent Sedimentation Rates using Pb-210 Dating Method at Laguna Del Plata, Córdoba, Argentina. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, v. 249, n. 1, p. 263-268, 2001.
- LOPES, R. P. (2002) *O vulcanismo do Arquipélago de Fernando de Noronha, PE: química mineral e geoquímica*. 2002. 168 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- MENOR, E. A.; MENEZES, P.; SANTOS, A.; MORAES, A. S. Relações C:N da material orgânica em pelitos de um ecossistema lacustre insular: lagoa da Viração, Fernando de Noronha, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 8/SIMPÓSIO DE GEOQUÍMICA DOS PAÍSES DO MERCOSUL, 1., 2001, Curitiba. *Anais...* Curitiba: SBGq, 2001.
- MORI, P. E.; REEVES, S.; CORREIA, C. T.; HAUKKA, M. Development of a fused glass disc XRF facility and comparison with the pressed powder pellet technique at Instituto de Geociências, São Paulo University. *Revista Brasileira Geociências*, v. 29, n. 3, p. 441-446, 1999.
- TAYLOR, S. R.; McLENNAN, S. M. *The continental crust: its composition and evolution*. Palo Alto: Blackwell Scientific, 1985, p. 25-27.
- TORO, E. C.; PARR, R. M.; CLEMENTE, S. A. Biological and Environmental Reference Materials for trace elements, nuclides and organic micro contaminants. Vienna: IAEA/RL/128, 1990. p. 48-49.