



**SOCIEDADE BRASILEIRA  
DE GEOQUÍMICA**

**1º CONGRESSO  
BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA**

**ANAIS**

**Volume I**



**PORTO ALEGRE, RS**  
30/out - 2/nov/1987

## DISTRIBUIÇÃO DOS TERRAS RARAS NA SOLUÇÃO SÓLIDA CRANDALITA-GOYAZITA DE SAPUCAIA (BONITO - PARÁ)

Marcondes Lima da Costa - UFPa  
Valmeire Alves de Melo Costa - UFPa

### ABSTRACT

The Crandalite are predominant in the lateritic phosphates of Sapucaia, in the form of the solid solution Crandalite (Cn)-Goyazite (Gz)-Florencite (Fl). The Crandalite-Goyazite is predominant, where the maximum proportion of Florencite is  $Cn_{60}Gz_{34.8}Fl_{5.2}$ . This proportion of Florencite is relatively high for laterites, and for this case having up to 1,374% weight of  $TR_2O_3$  in the total sample. The light rare elements are predominant over the heavy ores, and are illustrated in the distribution curve normalized for the chondrites. This curve is partially comparable with the curve for Apatite and presents slight negative anomaly for the element Europium, and slight positive anomaly for the element Thulium. The geochemical characteristics for the rare earths in this group allow the prediction for the original rock for the laterites.

### RESUMO

Nos fosfatos lateríticos de Sapucaia predomina o grupo da crandalita, na forma da solução sólida crandalita (Cn)-goyazita (Gz)-florencita (Fl), com domínio da crandalita-goyazita, onde a máxima proporção de florencita é  $Cn_{60}Gz_{34.8}Fl_{5.2}$ . Esta proporção de florencita é relativamente elevada para lateritos, neste caso tendo até 1,374% em peso de  $TR_2O_3$  na amostra total. Predominam os terras raras leve sobre os pesados, ilustrados na curva de distribuição normalizada aos condritos. Esta curva é parcialmente comparável com a da apatita e apresenta ligeira anomalia negativa de európio e positiva de túlio. As características químicas dos terras raras neste grupo permitem antever a natureza da rocha-mãe dos lateritos.

### APRESENTAÇÃO

A crandalita é um mineral relativamente pouco conhecido na literatura geológica, embora tenha sido descrito há 70 anos atrás.

Até os anos 50 era apenas reportada em veios hidrotermais, espalhada pelo mundo inteiro como um mineral pouco comum. A partir de então a crandalita começou a ser identificada em lateritos fosfáticos e hoje ela tem nos lateritos a sua maior abundância volumétrica e areal. Atualmente deve ser considerada como um dos minerais típicos destas rochas (Costa et al. 1985), embora ainda seja pouco conhecida.

A crandalita foi inicialmente considerada como um membro do grupo da plumbogumita, ao lado da florencita, goyazita, gorceixita, etc (Brown, 1981). Hoje devido a sua predominante abundância sobre os demais, em presta o seu nome a este grupo. Nos lateritos normalmente se encontra a solução sólida crandalita-goyazita (Costa et al. 1980; Costa, 1982; Oliveira et al. 1980).

te Americana, Sul da China, Vietnã, Sibéria e Austrália (Flicoteaux & Lucas, 1984). Na Amazônia o grupo da crandalita tem uma das regiões mais representativas, destacando-se os lateritos do Gurupi, Maicuru e Seis Lagos. Estes lateritos vem sendo estudados há mais de 12 anos pelo atual Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará (Costa & Sá, 1980; Costa et al., 1980; Oliveira & Schwab, 1980; Costa, 1982; Schwab et al. 1987).

Nesta região o grupo da crandalita está representado pela solução sólida crandalita-goyazita, que apresenta características geoquímicas peculiares, destacando-se o enriquecimento relativo em terras raras (TR), com suas concentrações variando entre algumas centenas de ppm. Em Sapucaia, uma das últimas descobertas de fosfatos da região, a crandalita-goyazita apresenta entretanto altos teores de terras raras, na ordem de 10.000 ppm, ultrapassados apenas pelos teores de Maicuru (Lemos & Costa, 1987).

Este trabalho descreve o padrão geoquímico dos terras raras nos fosfatos de Sapucaia.

## LOCALIZAÇÃO E MORFOLOGIA

Os lateritos fosfáticos de Sapucaia estão situados no Município de Bonito, Estado do Pará, conforme ilustra a figura 1. Trata-se de uma pequena elevação, em forma de platô, com cerca de 500 m de extensão, largura máxima de 150 m e altitude máxima de 62 m. O topo da elevação é coberto por crosta ferruginosa e fosfática e localmente por "gres-do-pará". O relevo circunvizinhante é constituído por superfície ligeiramente rebaixada (altitude de 40-60 m), quase plana e em parte ondulada.

## AMOSTRAGEM E METODOLOGIA ANALÍTICA

As amostras analisadas provêm de um perfil feito em um poço com 12 m de profundidade, no centro do platô.

As análises mineralógicas foram feitas por difração de raios-X, acompanhadas de microscopia ótica. A quantificação dos minerais foi feita com base na análise química total. Estas, foram executadas através de absorção atômica, espectrocolorimetria e via úmida clássica para os elementos maiores e menores, enquanto que os terras raras foram analisados por espectrometria de plasma (ICP), sendo que o praseodímio foi determinado por energia dispersiva de fluorescência de raios-X. Os terras raras foram analisados na Geosol/Geolab e Nuclebrás, enquanto os demais nos laboratórios do Centro de Geociências da UFPa. Os teores dos terras raras foram normalizados com os dos condritos apresentados por Wakita et al. (1971).

## OS FOSFATOS DE SAPUCAIA

O Perfil O corpo de lateritos fosfáticos de Sapucaia, como os demais da região do Gurupi, tem um perfil constituído por crosta ferruginosa e fosfática no topo, delgada ( $\pm$  1m), sobrepondo-se a um horizonte de fosfatos, com espessura média de 5m. Abaixo segue-se um outro horizonte, espesso, argiloso, branco e untuoso. Os fosfatos estão restritos aos dois horizontes superiores.

Mineralogia e Composição Química Os principais minerais são apresentados na tabela 1. Como fosfatos destacam-se apenas o grupo da crandalita, ocorrendo em uma amostra a wardita; associados e restritos ao horizonte argiloso ocorrem a caolinita, goethita/hematita, muscovita, quartzo, montmorilonita e anatásio. Goethita e hematita são típicos da crosta. Como pesados se encontram o zircão e turmalina.

Com base na composição química apresentada na tabela 2 foi possível quantificar a proporção destes minerais, indicada na tabela 1. Os fosfatos compõem 70 a 80% dos minerais no horizonte de fosfatos, repre

res de SrO, CaO e TR<sub>2</sub>O<sub>3</sub> estão diretamente relacionados aos de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. A correlação entre SrO, CaO e TR<sub>2</sub>O<sub>3</sub> é positiva. As análises difratométricas indicam a presença de uma única estrutura, onde os teores de CaO, SrO e TR<sub>2</sub>O<sub>3</sub> apontam para solução sólida parcial do tipo crandalita(Cn)-goyazita(Gz)-florencita(Fl). A solução varia de crandalita-goyazita (Cn<sub>84</sub>Gz<sub>16</sub>) na crosta a crandalita-goyazita-florencita no horizonte de fosfatos, sempre predominando o membro Cn sobre o Gz, com Fl entre 2,7 e 5,2% (tabela 3). As proporções de Cn, Gz e Fl, são entretanto variáveis, refletindo nas figuras 2 e 3 e evidenciadas na tabela 3. Esta proporção de florencita é a maior já observada nos fosfatos do Gurupi e de outras regiões de fosfatos lateríticos, exceto em Maicuru (Lemos & Costa, 1987). A tabela 3 dá uma idéia dos teores de CaO, SrO e TR<sub>2</sub>O<sub>3</sub> recalculados para o grupo da crandalita de Sapucaia. Teores de SrO e TR<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nesta ordem de grandeza poderão futuramente ser explorados nos nestes fosfatos, como subprodutos (Costa et al. 1987).

São notáveis os teores de Na<sub>2</sub>O, que em Sapucaia raramente se encontram sobre wardita. É muito provável que esteja na estrutura da crandalita-goyazita, embora ainda não se conheça o membro sódico no grupo. No nível mais argiloso, Na<sub>2</sub>O se encontra como muscovita.

A composição química geral destes lateritos de Sapucaia representa um excelente perfil laterítico, similar aos demais do Gurupi. Enriquecimentos de terras raras em lateritos não fosfáticos são reportados por Morris et al. (1980), Duddy (1980), Fleet (1984).

**Os Terras Raras** Os teores dos terras raras (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) nas amostras de Sapucaia estão apresentados na tabela 4. São bastante elevados se comparados com a média crustal e com os teores nos lateritos em geral. Em relação aos fosfatos lateríticos do Gurupi estão concentrados de 10 a 35 vezes. O teor máximo na amostra total em Sapucaia é de 1,374% de TR<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (tabela 2). Recalculado chega a 1,7% (tabela 3). É notável a predominância dos terras raras leves (TRL) sobre os pesados (TRP) na proporção de 7 a 21 (tabela 5). Esta proporção indica entretanto que aparentemente o grupo aceita proporções variáveis dos TRP. Na crandalita da crosta, os teores de TR são muito baixos (tabelas 2 e 4).

As curvas de distribuição dos terras raras no grupo da crandalita em Sapucaia (figura 4) elucidam o enriquecimento em direção aos elementos leves (TRL). O padrão da curva é similar para as amostras do horizonte de fosfatos, divergindo da crosta. Observa-se ligeira anomalia negativa de európio e positiva e significativa de túlio, esta sendo muito forte na crosta.

As semelhanças entre as curvas normalizadas para as amostras totais são acentuadas através das razões (La/Lu)<sub>Cn</sub>, (La/Sm)<sub>Cn</sub>, (Gd/Lu)<sub>Cn</sub> e Eu/Eu\* (tabela 5).

A figura 4 mostra que o grupo da crandalita apresenta um padrão peculiar, comparável mais com os da apatita apresentados por Nash (1984).

## CONCLUSÕES

O grupo da crandalita em Sapucaia está representado pela solução crandalita-goyazita-florencita, com predominância do primeiro sobre o segundo, com florencita entre 2,7 a 5,2%.

O grupo da crandalita (trigonal, R  $\bar{3}m$ ), formado por (JCPDS, 1981):

- crandalita, CaAl<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·(OH)<sub>5</sub>·H<sub>2</sub>O
- eylettersita, (Th, Pb)Al<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>, SiO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>6</sub>
- florencita, CeAl<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·(OH)<sub>6</sub>
- goyazita, SrAl<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·(OH)<sub>5</sub>·H<sub>2</sub>O
- lusungita, (Sr, Pb)Fe<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>5</sub>·H<sub>2</sub>O
- plumbogummita, PbAl<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>5</sub>·H<sub>2</sub>O
- zairita, Bi(Fe<sup>3+</sup>, Al)<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·(OH)<sub>6</sub> ;

de se incluem os terras raras. Excelente exemplo representam os fosfatos de Sapucaia e do Gurupi (Costa, 1982). A síntese do grupo da crandalita permitem a introdução de La, Ce, Nd, Eu e Sm (Herold, 1983; Schwab et al. 1987).

A predominância dos terras raras leves (TRL) está provavelmente relacionada com a abundância destes no meio laterítico, proveniente normalmente da dissolução da apatita, que tem similar distribuição, e também ao fato de que a coordenação XII desfavorece os terras raras pesados (TRP) (tabela 7). O comportamento diadômico similar entre o grupo da apatita e o da crandalita é ilustrado na tabela 6.

A substituição do  $Ca^{2+}$  por íons de raios iônicos diferentes levam a significativas modificações especialmente na dimensão  $c_0$  da cela unitária (figura 5) (Brown, 1980; Costa, 1980). O Sr eleva o valor de  $c_0$ , enquanto os TR estão nos valores médios e o Ca no mínimo. Nesta figura pode-se observar os valores de  $c_0$  e  $a_0$  para o grupo da crandalita de Sapucaia, do Gurupi (Costa et al. 1980), África Ocidental (Flicoteaux & Lucas, 1984) e de florencitas diversas (Svisero et al. 1984). O cálculo das dimensões da cela unitária pode assim prestar informações sobre o quimismo do grupo.

A presença significativa do membro florencita em Sapucaia, diferencia este depósito dos demais do Gurupi e mostra que os fosfatos de Sapucaia tiveram uma fonte primária diferente das demais para o Gurupi. Rochas mais próximas deste depósito ricas em fosfatos apatíticos afloram em Ourém e Capitão Poço. Em Ourém trata-se de sedimentos argilosos carbonáticos com fósseis apatíticos (FA-22) e em Capitão Poço de pegmatitos com apatita (FA-10). Os teores de terras raras (tabela 4), bem como a sua curva de distribuição (figura 4) e as razões geoquímicas (tabela 5) indicam que a série isomórfica crandalita-goyazita-florencita de Sapucaia pode ter tido sua origem a partir dos sedimentos de Ourém.

#### AGRADECIMENTOS

À FINEP que financiou o Projeto Fosfatos na Amazônia, onde se insere este trabalho, ao CNPq pela concessão de bolsa de pesquisa ao primeiro autor e ao Centro de Geociências onde foram realizadas as pesquisas.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLOUNT, A.M. - 1974 - The crystal structure of crandallite. *Am. Mineralogist*, 59: 41-47.
- BROWN, G. - 1980 - Associated minerals. In: G.W. BRINDLEY & G. BROWN (Eds.) - *Crystal Structures of clay minerals and their x-ray identification*. Mineralogical Society, London, Monograph 5, 495 p.
- COSTA, M.L. & SÁ, J.H.S. - 1980 - Os fosfatos lateríticos da Amazônia Oriental: geologia, mineralogia, geoquímica e correlação com as bauxitas da Amazônia. In: *Congr. Bras. Geol.*, 31, Camboriú. Anais..., Camboriú, SBG, 1980, 3: 1459-1472.
- COSTA, M.L.; COSTA, W.A.M. & SCHWAB, R.G. - 1980 - Mineralogia das ocorrências de fosfatos lateríticos do Pará e Maranhão (Brasil). In: *Congr. Bras. Geol.*, 31, Camboriú. Anais..., Camboriú, SBG, 1980, 4: 1982-1996
- COSTA, M.L. - 1982 - *Petrologisch-geochemische Untersuchungen zur Genese der Bauxite und Phosphat-Laterite der Region "Gurupi" (Ost-Amazonien)*. Erlangen, 189 p (Tese de doutorado, Universidade Erlangen-Nürnberg).
- COSTA, M.L. & SIQUEIRA, N.V.M. - 1985 - Correlações geoquímicas entre apatita e crandalita. In: *III Simp. Bras. Geoquímica, Ouro Preto, Resumos*.
- COSTA, M.L.; BESSLER, K.E. & SIQUEIRA, N.V.M. - 1987 - Os fosfatos aluminosos brasileiros como fonte alternativa de estrôncio. *Ciência e Cultura* (submetido).

- FLEET, A.J. - 1984 - Aqueous and sedimentary geochemistry of the rare earth elements. In: P. HENDERSON (Ed.) - Rare earth element geochemistry. Elsevier, p. 343-373.
- FLICOTEAUX, R. & LUCAS, J. - 1984 - Weathering of Phosphate Minerals. In: J.O. NRIAGU & P.B. MOORE (Eds.) - Phosphate minerals. Springer-Verlag, Berlin, p.292-317.
- HENDERSON, P. - 1984 - General geochemical properties and abundances of the rare earth elements. In: P. HENDERSON (Ed.) - Rare earth element geochemistry. Elsevier, Amsterdam, p. 1-32.
- HEROLD, H. - 1983 - Losungsgleichgewichte von Phosphaten des Crandallit Typs. Erlangen, 53 p. (Tese de mestrado, Universidade Erlangen-Nürnberg).
- JCPDS - 1981 - Selected power diffraction data for minerals. Data book supplement I. JCPDS, Pennsylvania, 463 p.
- LEMOS, V.P. & COSTA, M.L. - 1987 - Partição dos terras raras em lateritos fosfáticos de Maicuru. In: Cong.Bras.Geoquímica, 1, SBGq, Porto Alegre. (in press).
- MORRIS, D.F.C.; GHARIB, A. & SABER, H. - 1980 - Distribution of lanthanum, europium, germanium, tin, phosphorus and sulphur in nickeliferous lateritic profiles. Mineralogical Magazine, 43: 816-820.
- NASH, W.P. - 1984 - Phosphate minerals in terrestrial igneous and metamorphic rocks. In: J.O. NRIAGU & P.B. MOORE (Eds.) - Phosphate minerals. Springer-Verlag, Berlin, p. 215-241.
- OLIVEIRA, N.P. & SCHWAB, R.G. - 1980 - Itacupim: um exemplo da influência do fósforo sobre o desenvolvimento de perfis lateríticos. In: Congr.Bras.Geologia, 31, Camboriú. Anais..., Camboriú, SBG, 1980,1: 184-196.
- SCHWAB, R.G.; HEROLD, H. ; DA COSTA, M.L. & OLIVEIRA, N.P. - 1987 -The formation of aluminous phosphates through lateritic weathering of rocks. Theophrastus Publications, Atenas. (In press).
- SVISERO, D.P.; MASCARENHAS, Y.P. ; SIMONE, C.A. & FRANCESCOINI, R.-1984- Mineralogia da ocorrência de florencita do Município de Bicas- MG . In: Congr.Bras.Geologia, 33, Rio de Janeiro. Anais..., Rio de Janeiro, SBG, 1984, 4: 4424-4445.
- WAKITA, H.; REY, P. & SCHMITT, R.A - 1971 - Abundances of the 14 rare-earth elements and 12 other trace-elements in Apollo 12 samples: five igneous and one breccia rocks and four soils. Proc. 2nd Lunar Sci.Conf., p. 1319-1329.

Tabela 1 - Composição mineralógica dos lateritos fosfáticos em Sapucaia.

Horizonte	Amostra	Cranjalita	Goyazita	Florencita	Wardita	Caolinita	Montmorililonita	Muscovita	Goethita/Hematita	Anatásio	Quartzo	Outros	Total de Fosfatos	Total Co
<u>Crosta</u>	(SBV/CF)	28,9	5,5	0,04	-	14,6	-	3,8	39,5	1,6	-	7,0	34,44	34
<u>Fosfatos</u>	(SBV/1)	47,8	27,8	4,20	-	-	-	5,0	3,3	0,9	5,0	2,9	79,80	79
	(SBV/5)	50,9	18,0	1,80	-	15,7	-	5,2	2,3	1,9	5,7	-	70,70	70
	(SBV/7)	39,0	14,0	1,50	21	15,0	-	3,8	1,4	0,6	4,0	-	75,50	54
<u>Argiloso</u>	(SBV/16 <sub>B</sub> )	1,1	1,2	0,10	-	69	-	21,9	1,3	1,7	3,5	-	2,40	2

Tabela 2 - Composição química dos lateritos a crandalita-goyazita de Sapucaia.

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SrO	TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PF.	TOT
SBV/CF	6,80	1,58	24,60	35,50	0,06	3,10	0,89	0,45	12,30	1,23	0,013	17,04	103
SBV/1	4,68	0,94	31,90	3,01	0,05	5,90	0,6	0,59	23,65	6,25	1,374	21,98	100
SBV/5	15,26	1,88	33,40	2,06	0,05	5,80	1,1	0,61	16,35	4,04	0,594	19,01	100
SBV/7	12,30	0,60	31,90	1,30	0,03	5,30	1,6	0,45	23,50	3,15	0,502	18,83	99
SBV/16 <sub>B</sub>	44,55	1,73	35,50	1,18	0,06	0,15	0,6	1,58	0,64	0,27	0,042	13,67	100



**Tabela 3 - Fórmulas mínimas da solução sólida crandalita-goyazita-florencita e os seus teores de CaO, SrO e TR<sub>2</sub>O<sub>3</sub> recalculados a 100% em Sapucaia.**

Amostra	Fórmula	CaO	SrO	TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (% em peso)
SBV/CP	Cn <sub>84</sub> Gz <sub>15,9</sub> Fl <sub>0,1</sub>	11,6	3,5	0,03
SBV/1	Cn <sub>60</sub> Gz <sub>34,8</sub> Fl <sub>5,2</sub>	8,2	7,8	1,70
SBV/5	Cn <sub>72</sub> Gz <sub>25,5</sub> Fl <sub>2,5</sub>	9,9	5,7	0,80
SBV/7	Cn <sub>71,6</sub> Gz <sub>25,7</sub> Fl <sub>2,7</sub>	9,7	5,8	0,90
SBV/16 <sub>B</sub>	Cn <sub>45,8</sub> Gz <sub>50</sub> Fl <sub>4,2</sub>	6,2	11,2	1,70

Tabela 4 - Concentração dos terras raras (em ppm) em lateritos com grandalita-goyazita de Sapucaia e apatitas de Ourém (FA-22) e Capitão Poço-Cuchoeira (FA-10).

Amostra	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
SBV/Cf	23,8	47,1	nd	23,7	3,7	0,57	2,0	2,6	0,79	3,2	0,95	3,6	0,48
SBV/1	2054	5060	530	2686	672	95,80	348,8	182,0	28,50	62,3	11,90	30,2	3,00
FA-33	1167	4179	nd	2181	522	68,80	247,5	143,8	22,40	47,0	8,20	25,8	2,10
SBV/5	729,7	1986	356	1269	337,6	53,90	180,3	108,8	16,20	30,7	5,10	12,9	1,40
SBV/7	488,4	1742	323	1140	275,2	40,40	147,4	87,1	13,40	25,2	4,60	11,1	1,20
SBV/16 <sub>B</sub>	63,0	120,5	99	48,6	10,8	1,90	6,0	4,4	0,83	2,3	0,41	1,7	0,27
FA-22 Ourém	1154	2148	nd	1434	435	118,1	304,3	213,1	34,80	70,2	8,30	23,7	2,60
FA-10 C. Poço	337	842,7	nd	434,7	171,4	17,7	116,1	138,0	27,70	89,0	16,90	121,0	15,50

nd: não determinado

Tabela 5 - Razões geoquímicas de terras raras na crandalita-goyazita de Sapucaia e apatitas da vizinhança (Ourém e Capitão Poço).

Amostras	$\Sigma$ TR ppm	$\Sigma$ TRL ppm	$\Sigma$ TRP ppm	$\frac{\Sigma \text{TRL}}{\Sigma \text{TRP}}$	$\left(\frac{\text{La}}{\text{Lu}}\right)_{\text{Cn}}$	$\left(\frac{\text{La}}{\text{Sm}}\right)_{\text{Cn}}$	$\left(\frac{\text{Gd}}{\text{Lu}}\right)_{\text{Cn}}$	$\frac{\text{Eu}}{\text{Eu}^*}$
SBV/CF	112,49	98,30	13,62	7,20	4,96	3,68	0,55	0,62
SBV/1	11.764,50	11.002,00	666,70	16,50	68,65	1,75	15,24	0,62
FA-33	8.614,60	8.049,00	496,80	16,20	53,33	1,28	15,40	0,49
SBV/5	5.093,60	4.678,30	361,40	12,90	52,34	1,24	17,46	0,65
SBV/7	4.298,80	3.968,40	290,00	13,70	40,68	1,02	16,03	0,61
SBV/16 <sub>B</sub>	359,71	341,90	15,91	21,50	23,42	3,36	2,91	-
FA-22	6.246,10	5.471,00	657,00	8,30	44,65	1,52	15,39	..
FA-10	2.327,70	1.785,80	524,20	3,40	2,17	1,13	0,98	0,38

Tabela 6 - Substituições iônicas no grupo da apatita e no da crandalita.

Ion Constituinte	Ion Substituinte
<b>A P A T I T A (1)</b>	
$Ca^{2+}$	$Na^+$ , $K^+$ , $Ag^+$ $Sr^{2+}$ , $Mn^{2+}$ , $Mg^{2+}$ , $Zn^{2+}$ , $Cd^{2+}$ , $Ba^{2+}$ $Sc^{3+}$ , $Y^{3+}$ , $TR^{3+}$ , $Bi^{3+}$ $U^{4+}$
$PO_4^{3-}$	$CO_3^{2-}$ , $SO_4^{2-}$ , $CrO_4^{2-}$ $AsSO_4^{3-}$ , $VO_4^{3-}$ , $CO_3 \cdot F^{3-}$ , $CO_3 \cdot OH^{3-}$ $SiO_4$
$F^-$	$OH^-$ , $Cl^-$ , $Br^-$ $O^{2-}$
<b>C R A N D A L I T A</b>	
$Ca^{2+}$	$Sr^{2+}$ , $Ba^{2+}$ , $Pb^{2+}$ $Y^{3+}$ , $TR^{3+}$ , $Bi^{3+}$ $U^{4+}$ , $Th^{4+}$
$Al^{3+}$	$Sc^{3+}$ , $Ga^{3+}$ , $Fe^{3+}$ $Zr^{4+}$ $Nb^{5+}$
$PO_4^{3-}$	$SO_4^{2-}$ $VO_4^{3-}$ , $AsSC_4^{3-}$ $SiO_4$

(1) Nathan, 1984

Tabela 7 - Raios iônicos (Å) para íons encontrados na estrutura do grupo da crandalita em posição do íon cálcio (XII).

Ion / NC	IX	X	XII	Ion / NC	IX	X	XII
Ba <sup>2+</sup>	1,59	1,60	1,68	Nd <sup>3+</sup>	1,163	-	1,27
Pb <sup>2+</sup>	1,35	1,40	1,49	Sm <sup>3+</sup>	1,132	-	1,24
Sr <sup>2+</sup>	1,31	1,36	1,44	Eu <sup>3+</sup>	1,12	-	-
Na <sup>2+</sup>	1,24	-	1,39	Gd <sup>3+</sup>	1,107	-	-
Ca <sup>2+</sup>	1,18	1,23	1,34	Tb <sup>3+</sup>	1,095	-	-
U <sup>4+</sup>	1,05	-	1,17	Dy <sup>3+</sup>	1,083	-	-
Th <sup>4+</sup>	1,09	1,13	1,21	Ho <sup>3+</sup>	1,072	1,12	-
Y <sup>3+</sup>	1,075	-	-	Er <sup>3+</sup>	1,062	-	-
La <sup>3+</sup>	1,216	1,27	1,36	Tm <sup>3+</sup>	1,052	-	-
Ce <sup>3+</sup>	1,196	1,25	1,34	Yb <sup>3+</sup>	1,042	-	-
Pr <sup>3+</sup>	1,179	-	-	Lu <sup>3+</sup>	1,032	-	-

In: Henderson (1984); NC: número de coordenação.

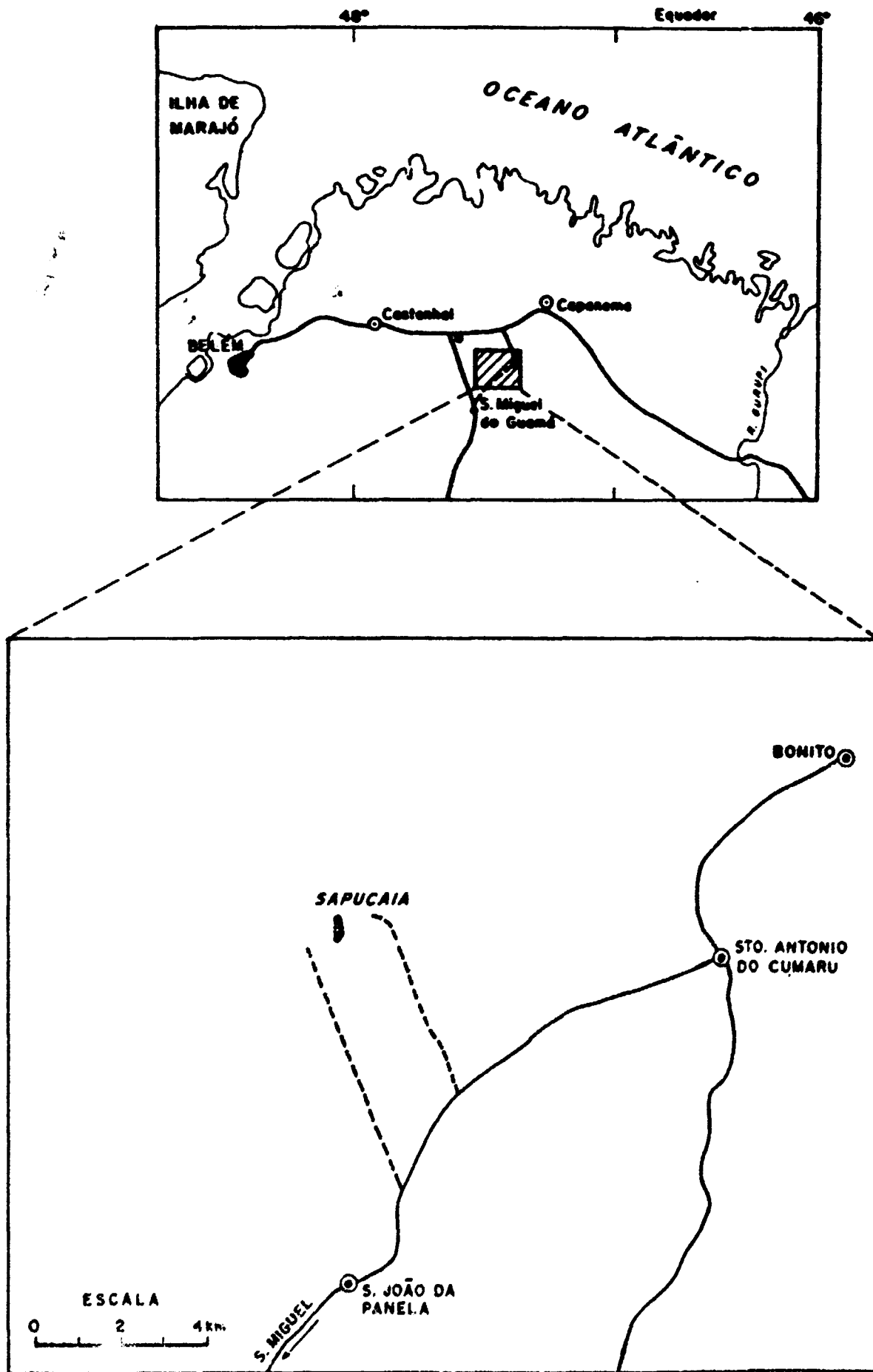


FIG. 1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS FOSFATOS DE SAPUCAIA.

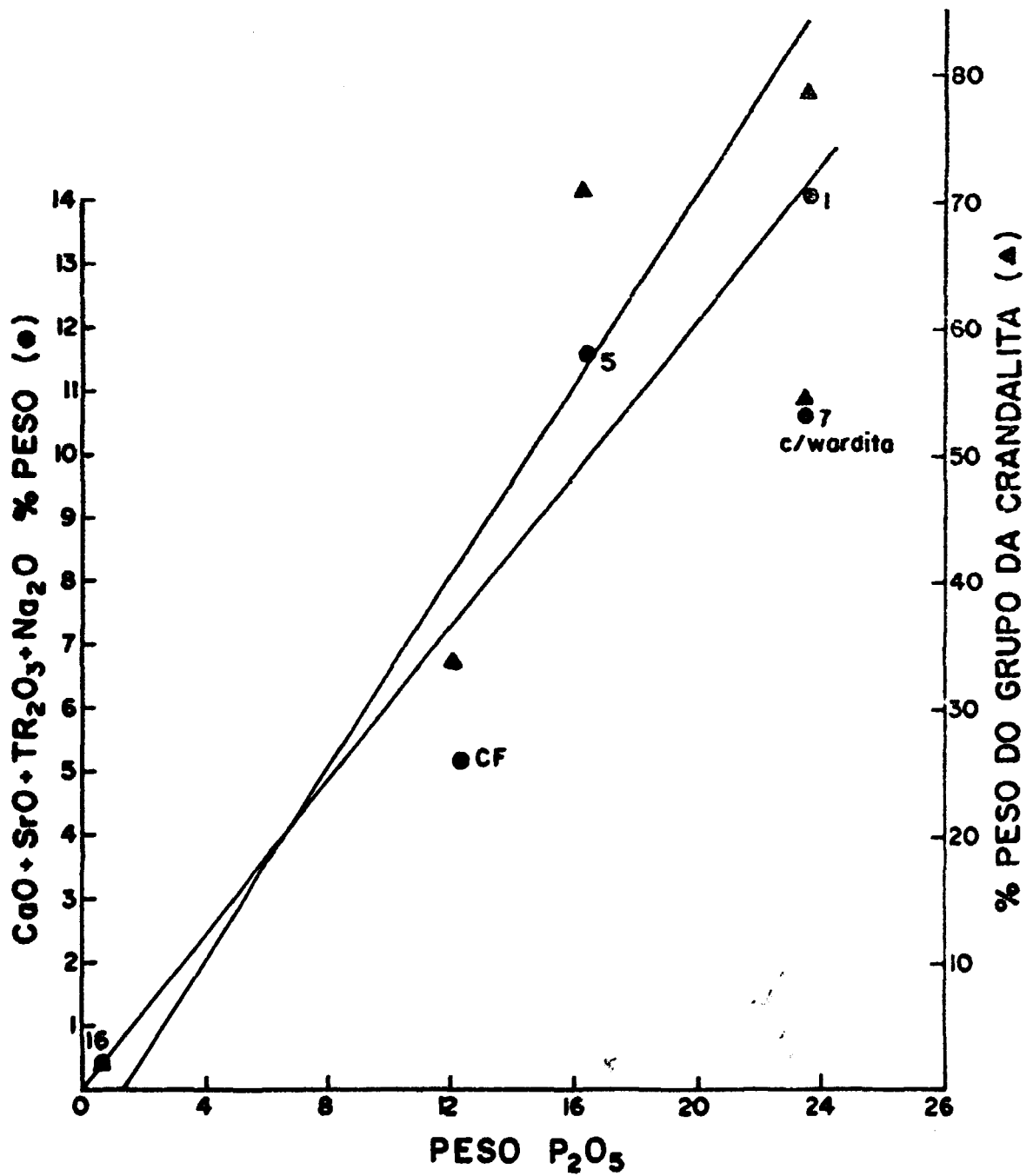


FIG. 2 - CORRELAÇÃO P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> x (CaO + SrO + Tr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Na<sub>2</sub>O) E P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> x CRANDALITA.

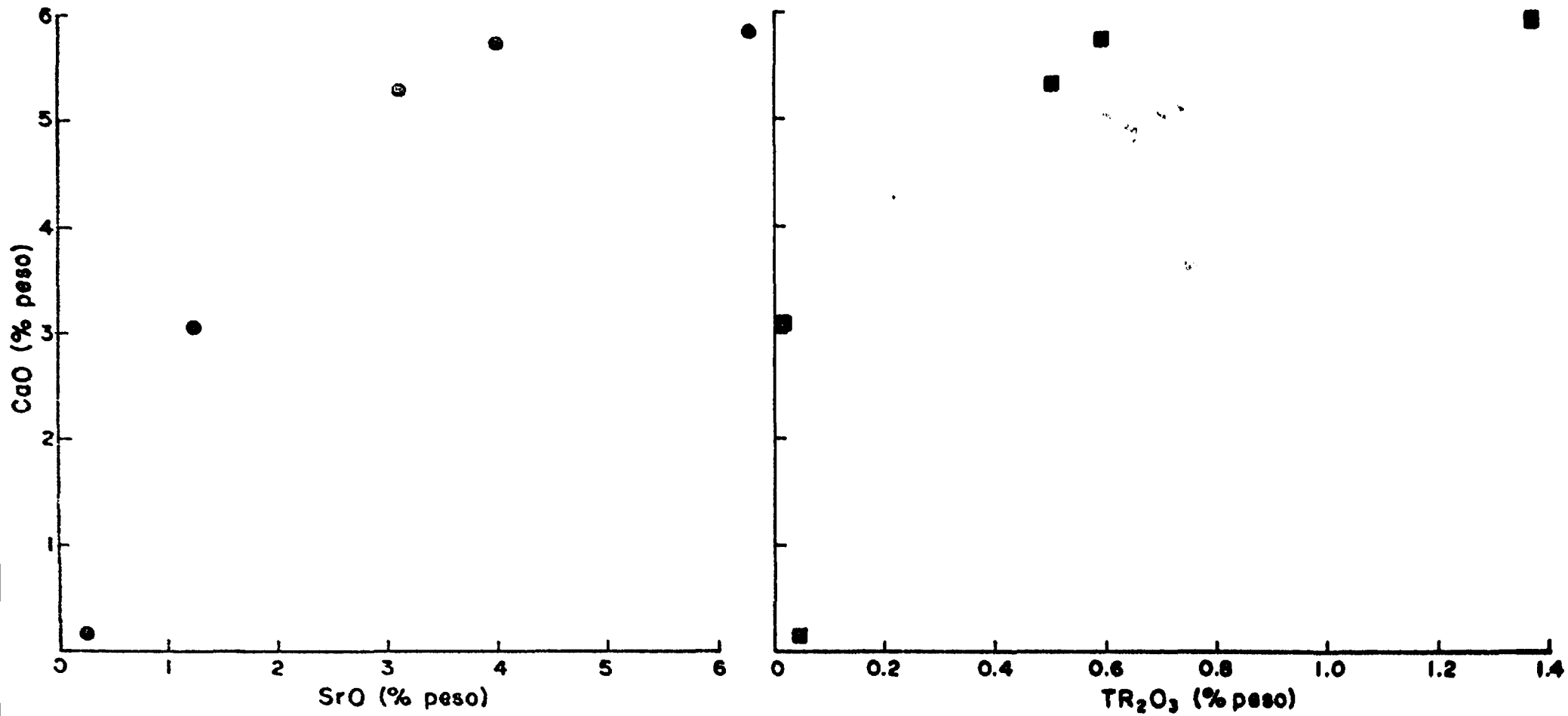


FIG. 3 - CORRELAÇÃO SrO x CaO E TR<sub>2</sub>O<sub>3</sub> x CaO NOS FOSFATOS DE SAPUCAIA.



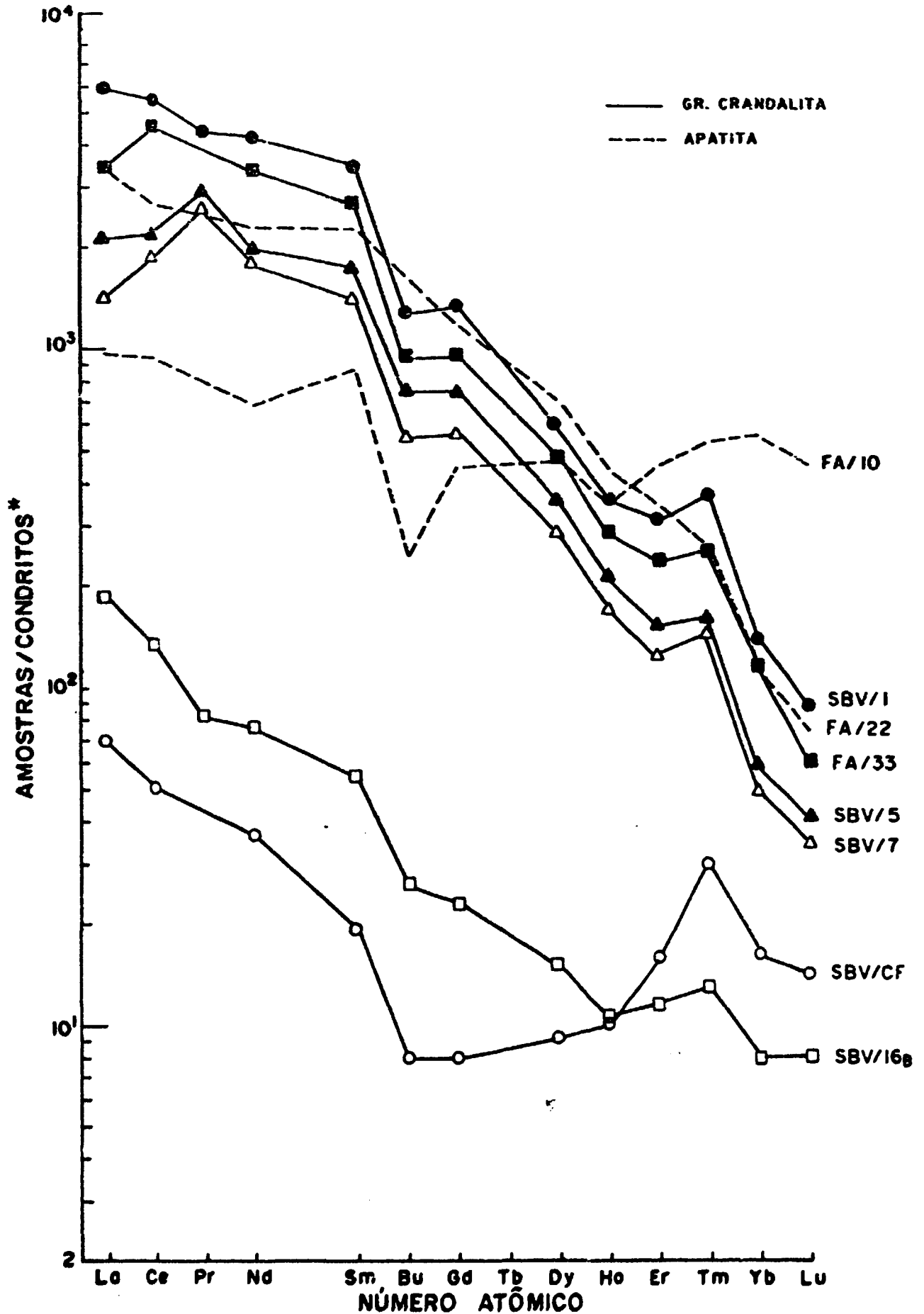


FIG. 4 - CURVAS DE DISTRIBUIÇÃO DOS TERRAS RARAS NORMALIZADOS AOS CONDRIOTOS NAS AMOSTRAS COM O GRUPO DA CRANDALITA EM SA PUCAIA E NAS APATITAS DA VIZINHANÇA.

\* SEGUNDO OS VALORES DE WAKITA (1971)

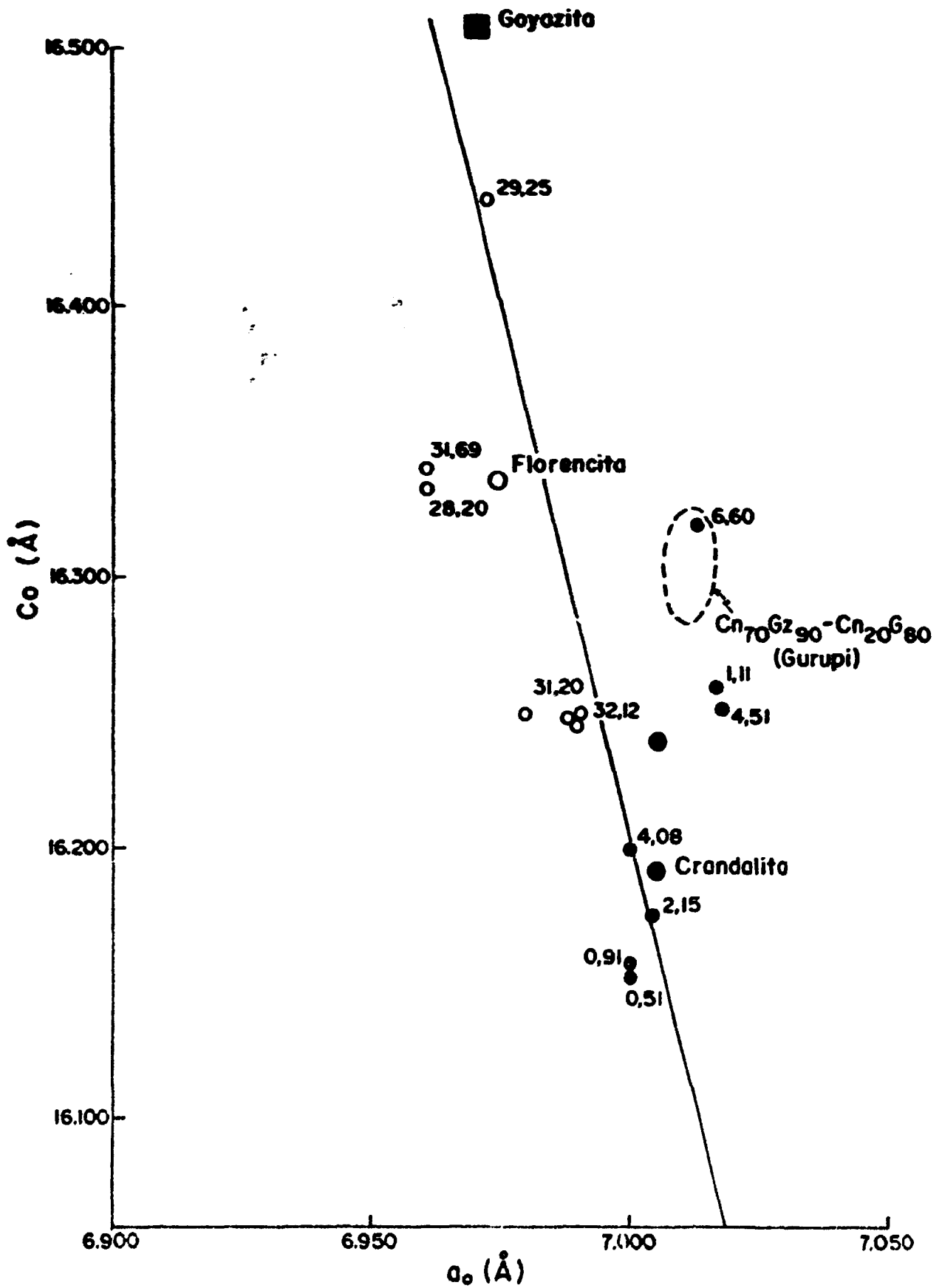


FIG. 5 - CORRELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS DA CELA UNITÁRIA E OS PRINCIPAIS MEMBROS DO GRUPO DA CRANDALITA, INCLUINDO A REGIÃO DO GURUPI E SAPUCAIA.

(●) Crandalita-goyazita  
4,08 (SrO % peso)

(○) Florencita-crandalita  
28,2 (TR<sub>2</sub>O<sub>3</sub> % peso)