

**MINERALOGIA, GEOQUÍMICA, GÊNESE E EPIGÊNESE DOS LATERITOS FOSFÁTICOS  
DE JANDIÁ, NA REGIÃO BRAGANTINA (NE DO PARÁ)**

M.L. da Costa

## ABSTRACT

The phosphatic laterites of Jandiá, in Bragantina region, northeastern Pará, is one of the most interesting occurrences of mature laterites in this region, considering its typical complete horizon succession and its mineralogical and chemical composition, modified by epigenetic environment. The lateritic profile shows the following sequence: iron crust, phosphatic horizon, clay and saprolitic horizon. Haematite, goethite, quartz, aluminum- and iron-phosphates are typical minerals of the iron crust, while aluminum-phosphates and quartz form the phosphatic horizon. The chemical composition shows for laterites an unusual high content of  $P_2O_5$ , CaO,  $Na_2O$  and SrO as main components of Al-phosphates. The trace elements B, Ba, Rb, Sr, Nb, are highly concentrated in the crandallite-goyazite structure. The REE have Earth Crust level and do not indicate significant enrichment in the phosphates as observed in the most phosphatic laterites in the eastern Amazon. Ca-P-Sr-(Ba)-Rb-Sr-Nb is the typical association of the phosphatic horizon, while Fe-Ni-Cu-Co-V-Sc-Zr and Al-Ba-K-Ga-Sn of the clay horizon. The lateritic profile was formed during Eocene-Oligocene, submitted in the later time to the influence restricted lake environment, one of the common processes that probably follows lateritisation. This is demonstrated by the presence of ferrous phosphates and by the geochemical modifications occurring on the top of the lateritic profile.

## RESUMO

Os lateritos fosfáticos de Jandiá, na região Bragantina, nordeste do Estado do Pará, representam uma das ocorrências mais interessantes de lateritos maduros dessa região, pelo fato de apresentarem uma sucessão completa de horizontes com sua composição mineralógica e química específica, modificada por ação epigenética. O perfil laterítico é composto de uma crosta ferruginosa, um horizonte fosfático e um argiloso. Hematita, goethita, quartzo, e fosfatos de alumínio e de ferro são os minerais típicos da crosta ferruginosa, enquanto que os fosfatos de alumínio e quartzo compõem o horizonte fosfático. A composição química dos lateritos apresenta teores incomuns e elevados de  $P_2O_5$ , CaO,  $Na_2O$  e SrO, na estrutura dos fosfatos de alumínio (crandalita-goyazita e wardita). B, Ba, Rb, Zr, e Nb estão fortemente concentrados na estrutura da crandalita-goyazita. Os ETR encontram-se com teores em níveis crustais e não mostram enriquecimento significativo nos fosfatos, como ocorre em muitos lateritos fosfáticos da Amazônia Oriental. Ca-P-Sr-(Ba)-Rb-Zr-Nb, formam assim uma associação típica do horizonte de fosfatos, enquanto Fe-Ni-Cu-Co-V-Sc-Zr e Al-Ba-K-Ga-Sn do horizonte argiloso. O perfil laterítico se formou no Eoceno-Oligoceno, sendo posteriormente superimposto por ambiente lacustre, processo comum, subsequente à lateritização. Isto pode ser demonstrado pela presença de fosfatos de ferro ferroso e pelas modificações geoquímicas ocorridas no topo do perfil laterítico.

## INTRODUÇÃO

No nordeste do Estado do Pará e no noroeste do Maranhão já foram catalogados mais de uma dezena de ocorrências e de depósitos de lateritos maduros e fósseis (Fig. 1), de composição diversificada, englobando fosfatos de alumínio, hidróxidos de alumínio (bauxitos), oxi-hidróxidos de manganês, de ferro e de titânio a nível de minério.

Aqueles de composição fosfática foram os que mais mereceram estudos de detalhe (Costa et al., 1980; Oliveira & Schwab, 1980; Costa, 1982; Schwab et al., 1983, 1989), devido à sua complexa composição química e mineralógica.

Jandiá é uma dessas ocorrências de

lateritos fosfáticos, que, embora de pequena dimensão, representa um corpo laterítico completo e com fortes evidências de modificações epigenéticas ocorridas na porção superior do seu perfil.

O presente trabalho, além de apresentar a mineralogia e a composição química do corpo laterítico, discute a sua evolução geoquímica durante a lateritização e avalia os efeitos epigenéticos que afetaram suas rochas.

**Localização** - A ocorrência de Jandiá está situada no nordeste do Estado do Pará (região Bragantina), 4 km a nordeste da Vila de Tracuateua, município de Bragança



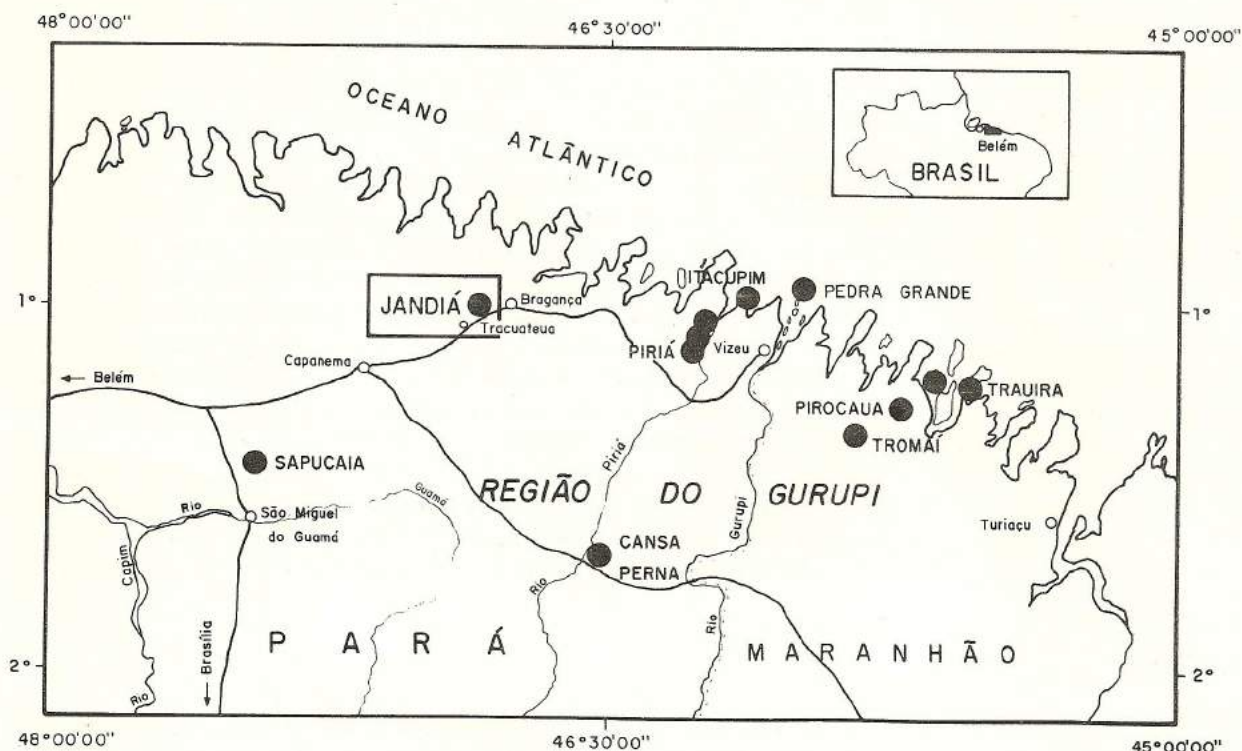


Figura 1 - Ocorrências de lateritos maduros na região do Gurupi.

(Fig. 1) e 190 km de Belém, PA.

**Aspectos fisiográficos** - O clima atual da região, onde se encontra Jandiá, é do tipo tropical chuvoso, com estação das chuvas estendendo-se de dezembro a maio. A precipitação pluviométrica média anual é de 2300 mm e a temperatura média anual de 26°C. A umidade relativa do ar oscila entre 85 e 95%.

O relevo regional é formado por uma superfície quase plana com ligeiras ondulações, desenvolvida entre o Pleistoceno e o Recente. As altitudes variam de 10 a 60 m. Esta superfície encontra-se esculpida sobre lateritos imaturos e sedimentos fluviais e costeiros quaternários. Raramente são encontrados lateritos maduros, antigos, nesta superfície; um dos raros exemplares é Jandiá, sob a forma de um pequeno morro.

Os lateritos maduros ficam geralmente na superfície mais elevada, descontínua, sob a forma de pequenos platôs e morros, com até 144 m de altitude. A colocação dos lateritos maduros em diferentes níveis de altitude foi propiciada pela neotectônica e sua maior resistência à erosão.

A vegetação da região é composta de floresta tropical chuvosa secundária e, lo-

calmente, ainda primária.

**Geologia regional** - A região Bragantina tem como embasamento as rochas granitíoides do Complexo Maracaçumé com 2000 Ma, com raras exposições. Sobre ele se encontra a seqüência vulcano-sedimentar metamorfizada do Grupo Gurupi de idade proterozóica, também com pequena área de exposição. Sedimentos paleozóicos, provavelmente da Bacia do Maranhão, e calcários miocênicos da Formação Pirabas, recobrem as unidades anteriores e também têm pequena área de exposição. Por outro lado, quase toda a região é constituída superficialmente de sedimentos plio-pleistocênicos continentais da Formação Barreiras, além de sedimentos holocênicos fluviais e costeiros, restritos à rede de drenagem atual e subatual e à zona costeira. Lateritos imaturos ocorrem em toda a região, formados a partir das litologias precedentes, exceto das holocênicas. Já os lateritos maduros, cocênicos-oligocênicos, embora freqüentes, são encontrados isoladamente (Fig. 1), e sob a forma de pequenos corpos, derivados de rochas pré-cenozóicas (Costa, 1990). Jandiá, embora um corpo laterítico maduro, encontra-se na área de domínio dos



lateritos imaturos.

## METODOLOGIA

Os trabalhos geológicos foram executados nos anos de 1977 e 1980, e consistiram de mapeamento de detalhe, com seções geológicas elevadas a partir de poços e trincheiras, seguidos de coletas sistemáticas de amostras, tanto em superfície, como nos poços e trincheiras. Análises mineralógicas foram feitas por difração de raios-X e microscopia óptica. Vinte e sete amostras de rochas foram submetidas a análises químicas para determinação de elementos maiores por absorção atômica, colorimetria, gravimetria e EDTA, e elementos traços por espectrografia óptica de emissão, absorção atômica, espectrografia de plasma induzido (IGP) (elementos terras raras), fluorimetria (urânio) e fluorescência de raios-X (enxôfre). A partir dos dados químicos, foi calculada a composição mineralógica.

As análises mineralógicas e químicas foram realizadas no Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará, no Instituto de Mineralogia da Universidade Erlangen-Nuremberg (Alemanha), na Universidade de Santa Maria em Halifax (Canadá) e na GEOSOL em Belo Horizonte, MG.

## GEOLOGIA LOCAL

Os lateritos fosfáticos do Morro Jandiá estão em grande contraste com a geologia geral, a qual num raio de até 5 km de Jandiá, é constituída por granitóides do Complexo Maracaçumé, metassedimentos do Grupo Gurupi e sedimentos do Grupo Barreiras, todos intensamente intemperizados.

Os lateritos do Morro Jandiá estão situados diretamente sobre sedimentos, os quais não têm equivalência com as unidades litológicas acima. Esses sedimentos são formados por intercalações de arenitos, siltitos e argilitos ricos em muscovita fina a grosseira e estão bastante intemperizados. Sequência sedimentar similar foi encontrada sob os fosfatos lateríticos de Sapucaia, nas proximidades de São Miguel do Guamá e a montante de Ourém (Fig. 1), a 70 km ao sul de Jandiá. É provável que esses sedimentos sejam parte de formações cretácicas da Bacia do Maranhão.

A superfície do Morro de Jandiá, em si, é constituída por restos de uma crosta

laterítica ferruginosa no topo, de fosfatos de alumínio na sua meia encosta e por solo areno-argiloso e colúvio na meia encosta e na base, confundindo-se com o solo areno-argiloso amarelo ao redor do morro (Fig. 2), conhecido como Formação Barreiras.

Em perfil, o morro Jandiá apresenta a seguinte seqüência de horizontes lateríticos até o substrato parcialmente intemperizado (Figs. 3 e 4):

**Crosta ferruginosa** - Encontra-se no topo do morro, protegendo-o da ação erosiva. Tem até 2 m de espessura, apresenta aspecto brechóide, tipo *pele-de-onça*, formada por nódulos e pseudofragmentos marrom-avermelhados de oxi-hidróxidos de ferro cimentados por fosfatos de alumínio branco-amarelados, concreções verde-escuras e massas cremes, azuis e esverdeadas de fosfatos de ferro.

**Horizonte de fosfatos de alumínio** - Ocorre imediatamente abaixo da crosta, em contato quase gradacional, e alcança até 2 m de espessura. Sua cor é branco-amarelada, e o material é de aspecto compacto a cavernoso, poroso a microporoso, localmente oolítico-pisolítico, estalactítico e colóforme. Estruturas reliquias, deslocadas, como estratificações cruzadas e paralelas são freqüentes. O horizonte compõe-se, principalmente, de fosfatos de alumínio.

**Horizonte argiloso** - Está imediatamente abaixo do horizonte de fosfatos, em contato gradacional. Sua espessura alcança os 4 m. Estruturas reliquias, como estratificações, são freqüentes e em geral autóctones. É formado de argilominerais, quartzo e, no contato com o horizonte de fosfatos, por nódulos de fosfatos de alumínio.

**Horizonte argiloso de transição ou saprólito grosso** - Ocorre logo abaixo do horizonte argiloso, em contato gradual, podendo representar a rocha mãe ou substrato parcialmente intemperizado. Como evidências estão as estruturas primárias preservadas e "in situ" e a mineralogia, que inclui ainda feldspatos, argilas do tipo 2:1 e muita muscovita. As rochas deste horizonte não afloram nem em Jandiá e nem nos seus arredores.

Com exceção da crosta, os demais horizontes estão parcialmente recobertos por colúvios e solos (Fig. 3).



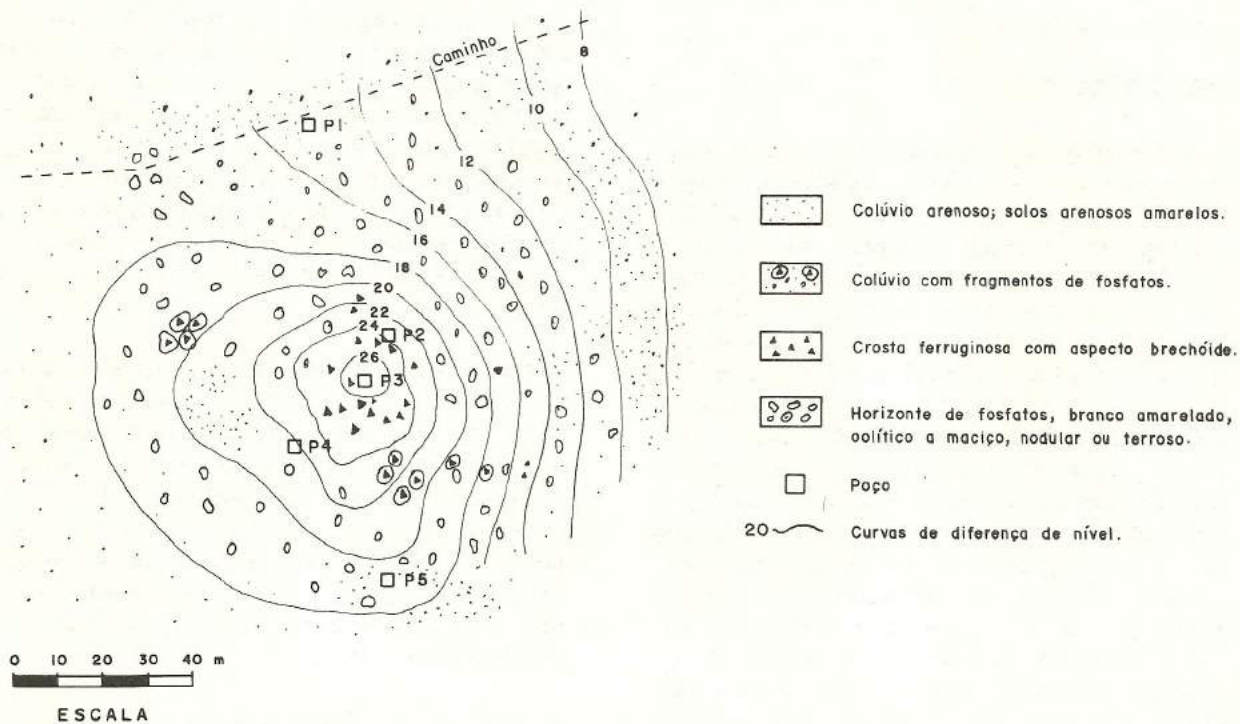


Figura 2 - Mapa litológico do Morro Jandiá (Costa, 1980).

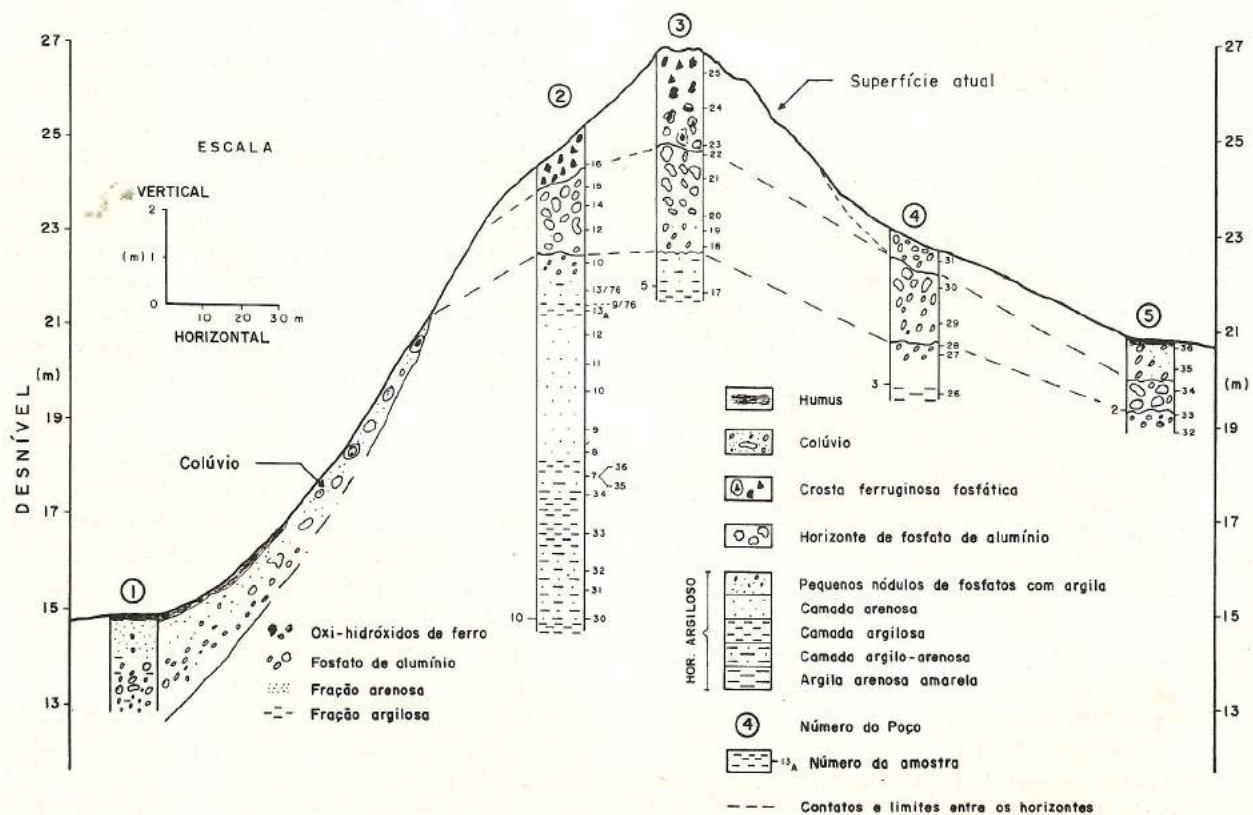


Figura 3 - Perfil geológico ao longo dos lateritos do Morro Jandiá.

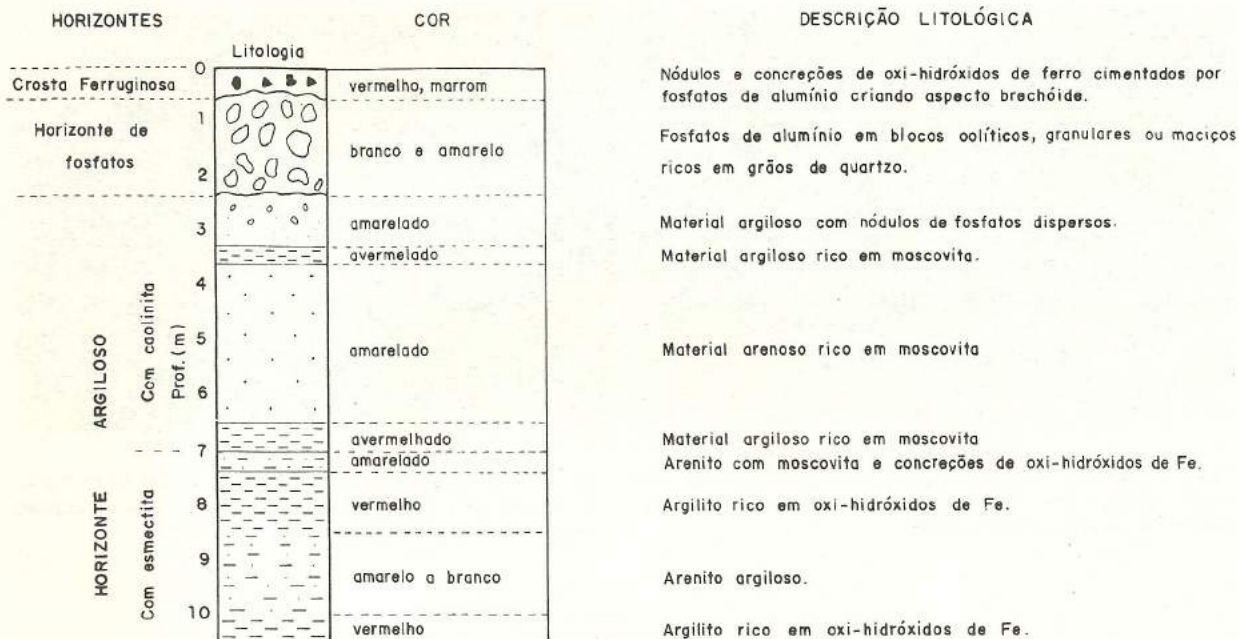


Figura 4 - Perfil geológico ao longo dos lateritos do Poço 2 de Jandiá (Costa, 1982).

## MINERALOGIA

Os lateritos do Morro de Jandiá se destacam pela sua riqueza em espécies minerais (Tabela 1), se comparados com outras ocorrências de lateritos.

O grande destaque está para a abundância de fosfatos de alumínio e de ferro e a ausência de gibbsita, quase onipresente em lateritos maduros. Entre os fosfatos de alumínio, a solução sólida crandalita-goyazita é o mineral mais comum, enquanto entre os fosfatos de ferro são dufrenita e mitridatita.

A distribuição destes minerais ao longo do perfil laterítico está ilustrada na Figura 5, que mostra, no topo, o domínio dos fosfatos de alumínio e de ferro, e de hematita e goethita e, na base, dos argilomineerais. Há uma diminuição contínua nos teores de quartzo, caolinita, esmectita e moscovita da base para o topo.

A mineralogia de Jandiá e a sua distribuição são compatíveis com os perfis lateríticos em geral e com aqueles desenvolvidos sobre depósitos de fosfatos primários. A exceção se faz aos fosfatos de ferro ferroso e ferro-cálcio que não são minerais compatíveis com lateritos. Minerais não lateríticos são, frequentemente, encontrados em perfis lateríticos na Austrália, na Guiana, na Europa Central, representando eventos pós-lateríticos.

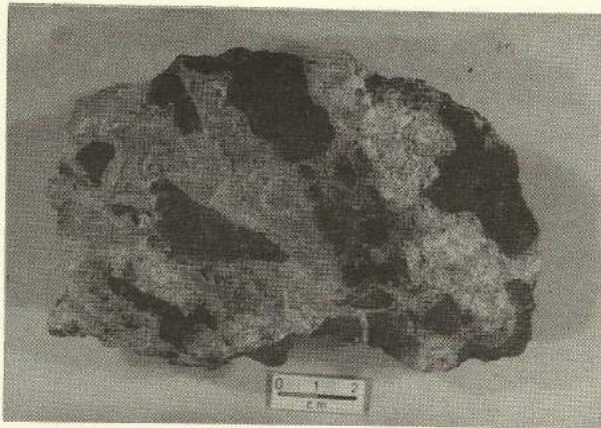
## PETROGRAFIA

Cada horizonte laterítico apresenta feições petrográficas marcantes e características:

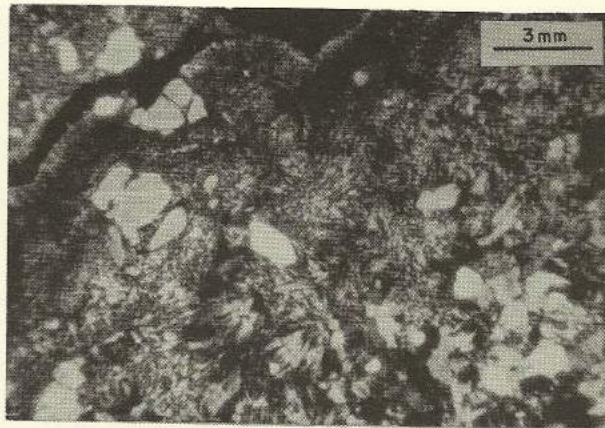
**Crosta ferruginosa** - É caracterizada pelo aspecto brechóide e o domínio da cor marrom-avermelhada. Pseudofragmentos centimétricos, irregulares e vermelhos de hematita, contendo ainda muitos grãos de quartzo, vênulas e segregações de fosfatos de alumínio, estão em um plasma microcristalino branco-cinza e amarelo, de fosfato de alumínio (Foto 1). Esses são, principalmente, crandalita-goyazita e wardita, além da variscita e wavelita, que envolvem grânulos de quartzo.

Os fosfatos de alumínio, microscopicamente, formam esferólitos e semi-esferólitos fibrorradiais (Foto 2), passando para diminutos cristais subeuédricos, especialmente nas fissuras e cavidades, com destaque para crandalita-goyazita. Os grãos de quartzo são fortemente angulosos e irregulares e seus contatos com os demais minerais são, geralmente, corrosivos (Foto 2). A hematita forma um plasma criptocristalino. Na crosta, ocorrem concreções (Foto 1), segregações e bordas de reação verde-escuras e verde-claras ou azuis, constituídas por fosfatos de ferro (mitridatita, dufrenita, beraunita, lazulita e kingsmountita). Mitri-

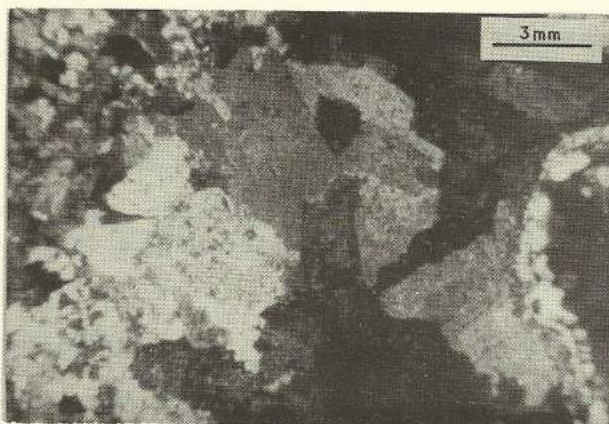




**Foto 1 -** Crosta ferruginosa tipo brechóide. Nódulos de hematita (cinza) e de mitridatita/dufrenita (preto) cimentados por fosfatos de alumínio (branco cinza).



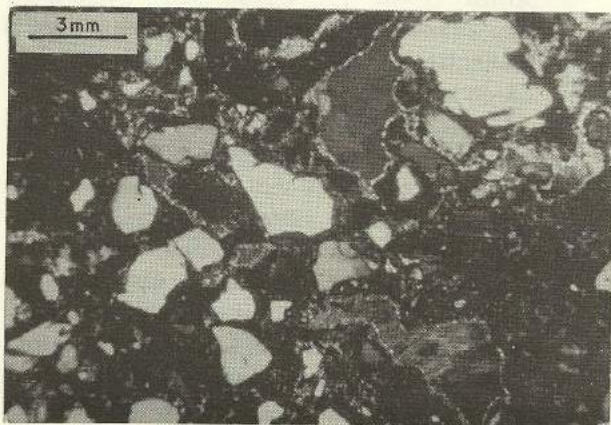
**Foto 2 -** Fotomicrografia do material do horizonte de fosfatos de alumínio. Crandalita e wardita fibrorradiais e quartzo em grãos corroídos.



**Foto 3 -** Fotomicrografia de mitridatita/dufrenita em agregados de cristais placóides.



**Foto 4 -** Fotomicrografia de dufrenita/mitridatita pseudomórfica segundo esferólito de hematita.



**Foto 5 -** Fotomicrografia de nódulo de fosfatos de ferro, rico em agregados cristalinos de dufrenita/mitridatita e grãos de quartzo com bordas de corrosão.



**Foto 6 -** Fotomicrografia de esferólitos de fosfatos de alumínio infiltrados por plasma de beraunita.



Tabela 1 – Minerais identificados nos lateritos de Jandiá.

Fosfatos de Alumínio	Fosfatos de Ferro	Outros
Crandalita-goyazita	Dufrenita	Hematita
$(Ca, Sr)Al_3(PO_4)_2(OH)_5 \cdot H_2O^{(a)}$	$CaFe^{2+}2Fe^{3+}10(PO_4)8(OH)_{12} \cdot 4H_2O^{(b)}$	Goethita
Wardita	Mitridatita	Caolinita
$(Na, Ca)Al_3(PO_4)_2(OH)_4 \cdot 2H_2O^{(a)}$	$Ca_2Fe_3(PO_4)_3(OH)_4 \cdot 1,55H_2O^{(b)}$	Esmectita
Variscita-estregita	Beraunita	Ilita
$(Al, Fe^{3+})PO_4 \cdot 2H_2O$	$Fe^{2+}Fe^{3+}5(PO_4)_4(OH)_5 \cdot 2H_2O^{(b)}$	Quartzo
Wavelita	Lazulita	Muscovita
$Al_3(PO_4)_2(OH)_3 \cdot 5H_2O^{(a)}$	$(Mg, Fe^{2+})Al_2(PO_4)_2(OH)_2^{(c)}$	Microclínio
	Kingsmountita	Zircão
	$Ca_4Fe^{2+}Al_4(PO_4)_6(OH)_4 \cdot 12H_2O^{(d)}$	Turmalina
		Andaluzita
		Estauroлита

(a): Costa et al. (1980); (b) Moore (1970); (c) Nriagu (1984); (d) Dunn et al. (1979).

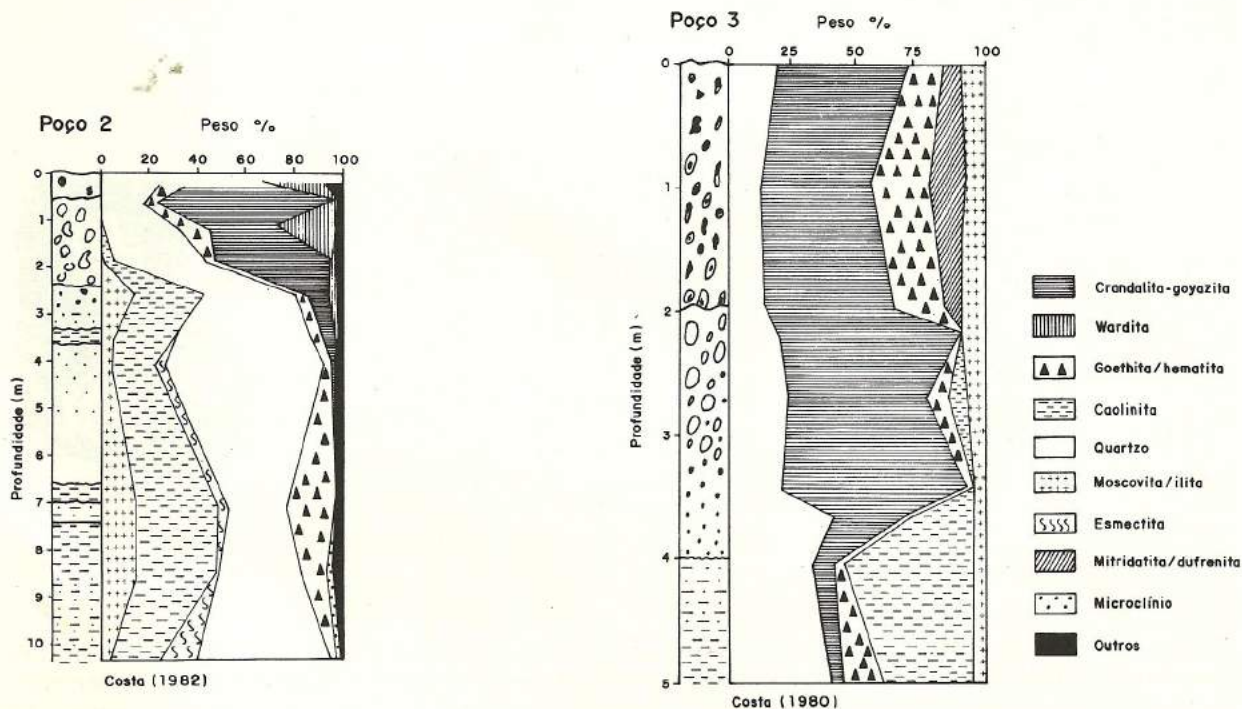


Figura 5 – Distribuição da composição mineralógica nos perfis lateríticos de Jandiá.



datita e dufrenita são os mais comuns, e formam concreções centimétricas, verde-escuras (Foto 1), internamente com cristais placóides a placóide-radiais (Foto 3). Elas se desenvolveram no cimento a base de fosfatos de alumínio, nos pseudofragmentos de hematita e no contato entre esses minerais (Fig. 6). Microscopicamente, são fortemente coloridos, do marrom ao vermelho até o verde, com forte pleocroísmo. Suas relações texturais indicam que estão substituindo esferólitos e pseudofragmentos de hematita (Fotos 1 e 4), e que também foram posteriormente bordejados e atravessados por fosfatos de alumínio cristalino (Fig. 6). Beraunita e lazulita têm aspecto terroso, plásmico, manchando localmente a crosta (Foto 6), e resultaram da alteração da dufrenita e da mitridatita. A kingsmountita é rara e forma esferólitos milimétricos, placoso-radiais, incolores (Costa et al., 1980), sobre qualquer um dos minerais da crosta.

**Horizonte de fosfatos de alumínio** - A massa branco-amarelada a cinza, terrosa, porosa a maciça, é constituída, predominantemente, de crandalita-goyazita e wardita, e muito quartzo granular (Foto 2). Também se encontram variscita e wavelita, e traços de muscovita, com zircão e turmalina como raros acessórios. Os grãos de quartzo são envolvidos ou dispersos no plasma cristalino a criptocristalino de fosfatos de alumínio (Foto 2). Esses e o quartzo possuem neste horizonte as mesmas ca-

racterísticas que na crosta ferruginosa.

**Horizonte argiloso de transição** - Ao contrário da crosta e do horizonte de fosfatos, é formado de material friável, de aspecto argiloso, onde grãos de quartzo estão imersos num plasma criptocristalino de caolinita, que contém ainda plaquetas de muscovita, zircão e turmalina como acessórios. No contato com o horizonte de fosfato, ocorrem nódulos centimétricos, formados por plasma criptocristalino a cristalino de fosfatos de alumínio e ainda caolinita cimentando os grãos de quartzo. Neste horizonte os grãos de quartzo ainda preservam seus contornos arredondados.

## GEOQUÍMICA

As Tabelas 2 a 4 ilustram a composição química do perfil laterítico de Jandiá, a qual apresenta grandes variações nos teores de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , ilustrativos da grande diversidade litológica do perfil, envolvendo siltitos, argilitos e arenitos argilosos, e representando as proporções variáveis de quartzo, feldspatos, mica e argilominerais. A composição química média e suas variações permitem caracterizar os horizontes já individualizados pelas propriedades geológicas e mineralógicas. Assim é que a crosta ferruginosa se ressalta através dos seus altos teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , os mais altos do perfil (13 a 28,7%), ao lado de teores também elevados de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (13,5 a 23,2%),

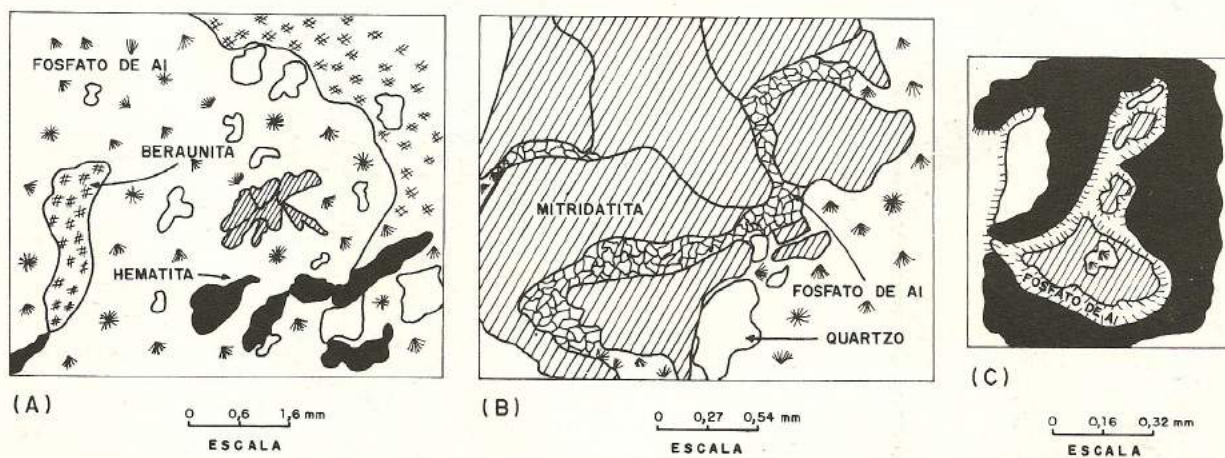


Figura 6 - Aspectos texturais na crosta ferruginosa, com ênfase aos fosfatos de ferro. (A) Fosfatos de alumínio (crandalita-goyazita) fibroradiais envolvendo grânulos de quartzo e relictos da massa hematítica, os quais são substituídos parcialmente por beraunite e mitridatita. (B) Grande cristal de mitridatita substituindo fosfatos de alumínio. Nas suas fissuras houve a neoformação de crandalita-goyazita cristalina. (C) Formação de mitridatita às expensas dos fosfatos de alumínio, dentro da massa hematítica.



Tabela 2 – Composição química (em % peso) dos lateritos de Jandiá, no perfil do poço 2.

	Amostras	SiO <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	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	SrO	PF
<b>Crosta ferruginosa:</b>	TC/16/76	24,6	22,2	12,7	0,05	2,2	2,0	0,1	0,7	21,6	0,05	1,74	12,5
<b>Horizonte fosfático:</b>	15/76	18,6	24,0	5,5	0,1	4,5	0,7	0,06	0,9	25,1	0,02	-	14,0
	14(1)/76	13,3	24,0	12,2	0,05	2,1	3,5	0,05	0,7	24,9	0,05	0,91	14,0
	14(2)/76	29,9	21,9	11,8	0,06	2,1	2,0	0,01	0,6	19,7	0,03	0,96	12,7
	12/76	41,0	19,5	2,3	0,05	5,5	0,3	0,14	0,4	16,2	0,2	0,63	9,7
	10/76	58,3	21,8	3,4	nd	0,6	1,1	1,5	0,5	4,9	0,01	0,73	8,2
<b>Horizonte argiloso: a caolinita</b>	9/76	68,1	13,2	5,2	0,17	0,7	0,5	0,7	0,6	1,8	0,3	0,96	5,2
	12/80	77,2	9,7	3,1	0,2	1,4	0,45	0,5	0,8	0,25	0,01	0,07	6,2
<b>a esmectita (transição)</b>	7/80	47,9	19,7	18,2	0,33	1,3	0,46	1,6	0,8	0,45	1,01	0,035	9,0
	33/80	57,2	18,7	9,8	0,34	1,3	0,49	1,6	0,9	0,04	1,01	0,061	8,9
	30/80	76,5	10,2	3,4	0,6	1,4	0,6	0,49	0,5	nd	0,02	0,02	5,8



Tabela 3 – Composição química parcial dos lateritos de Jandiá (% peso), no perfil do poço 3.

	Amostras	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Crosta ferruginosa:	TC/25	20,9	21,3	18,2	3,1	1,5	28,9
	24	15,5	16,6	28,7	4,4	0,8	26,3
	23	18,2	13,5	26,5	5,4	0,7	38,0
Horizonte fosfático:	22	26,0	29,0	4,3	5,1	0,8	27,5
	21	23,4	15,1	11,1	4,0	0,7	34,5
	20 (1)	23,1	21,3	2,2	4,3	0,8	31,2
	20 (2)	42,4	21,5	2,8	3,9	0,7	12,2
	19	48,6	24,2	3,4	1,3	0,7	9,0
	18	61,0	30,4	3,4	0,7	0,7	4,2

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (21,6 a 38%), CaO (2,2 a 5,4%), Na<sub>2</sub>O (2,0%), devido à presença de seus principais minerais: hematita, goethita, fosfatos de ferro e de alumínio.

O horizonte de fosfatos tem, por outro lado, os teores mais elevados de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (15,1 a 30,4%) e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (4,9 a 34%), além de CaO (0,6 a 5,1%) e Na<sub>2</sub>O (0,3 a 3,5%) compondo os fosfatos de alumínio. Já o horizonte argiloso e o argiloso de transição se manifestam por meio dos altos teores de SiO<sub>2</sub>, os mais altos do perfil (48 a 77%), teores significativos de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (10 a 20%), de K<sub>2</sub>O (0,5 a 1,6%), de CaO (0,7 a 1,4%), de MgO (0,2 a 0,6%) e os mais baixos teores de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (<1 a 1,8%). Esses teores justificam deste modo a composição mineralógica a base de argilominerais, quartzo, muscovita, feldspato e até a quase ausência de fosfatos para esses horizontes. Os teores de MgO são mais elevados no horizonte de transição, retratando a presença ainda de minerais instáveis, como esmectita.

A composição química do perfil de Jandiá, pelos seus altos teores de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, é comparável aos demais depósitos de fosfatos de alumínio da região do Gurupi, descritos por Costa (1980, 1982), Costa et al. (1982) e em parte àqueles do Senegal (Flicoteaux & Lucas, 1984). Seus altos teores de SiO<sub>2</sub>, mesmo nos horizontes superiores (13,3 a 61,0%), sob a forma de quartzo, cuja granulometria grosseira indica o caráter de resistato, são encontrados apenas em perfis lateríticos derivados de arenitos e granitos grosseiros. Jandiá, pelo já exposto anteriormente, derivou de sedimentos finos a muito grosseiros heterogêneos, ricos em quartzo.

A distribuição desses elementos está ilustrada nas Figuras 7 e 8. Elas mostram que a forma das curvas de distribuição dos diversos elementos é típica de evolução laterítica, onde há crosta ferruginosa ou equivalente, como mostram Costa (1990) e Valetton (1972). SiO<sub>2</sub>, MgO e K<sub>2</sub>O apresentam formas indicativas de teores decrescentes para o topo, com inflexão abrupta do horizonte argiloso para o fosfático. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, e TiO<sub>2</sub> possuem, por outro lado, comportamento inverso, isto é, crescente.

As curvas de CaO, Na<sub>2</sub>O e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> apresentam formas diferentes daquelas dos lateritos comuns, pois tendem a crescer para o topo dos perfis, de forma abrupta na passagem do horizonte argiloso para o fosfático. Essas formas de curvas de distribuição são encontradas apenas nos lateritos fosfáticos, tendo como exemplo aqueles do Gurupi (Costa, 1982; Schwab et al., 1983), Maicuru (Lemos, 1990) e Senegal (Menor, 1975).

As concentrações dos elementos traços e seus valores médios estão indicadas nas Tabelas 4 a 6. Convém ressaltar os altos teores de estrôncio, que alcançam até 5,0% de SrO, especificamente no horizonte de fosfatos e na crosta ferruginosa, formando a série isomórfica crandalita-goyazita. Teores desta ordem somente são encontrados em algumas rochas sedimentares mineralizadas em Sr, sob a forma de carbonatos e sulfatos.

Em lateritos, apenas ocorrências ricas em fosfatos, em especial na região do Gurupi, Flórida e Senegal (Blanchard, 1972; Costa, 1982; Flicoteaux & Lucas, 1984) contêm teores elevados de SrO. Outros elementos traços que apresentam teores



anômalos, quando se compara o horizonte de fosfatos com o bauxítico de Paragominas (Tabela 7), são: Pb, Mn, Cr, V, Zn, Zr, Nb, Sc, Ga, Ba, Rb, Y, TR, em destaque para Pb, Ga, Zn, Nb, Ba, Rb e TR. Se comparados com o horizonte de fosfatos, o perfil laterítico de Pirocaua, região do Gurupi (Tabela 7), este último grupo de elementos mostra que as duas ocorrências apresentam maiores semelhanças geoquímicas entre si e quase nenhuma com os lateritos bauxíticos.

Já as concentrações de elementos co-

mo Mn, Ni, Co, Cu, Zn, Y, (Ba) estão abaixo dos níveis crustais e Pb, (Cr), Mo, Sn, Sc, Ga, TR, estão em níveis crustais. Somente Sr, B, Rb e em parte V, Nb, e Zr se concentram acima dos níveis crustais como fosfatos de alumínio e são os únicos elementos que permitem classificar os diversos horizontes.

As curvas de distribuição dos elementos traços estão representadas nas Figuras 7 e 8 para a maioria dos elementos analisados e pode ser reconstituída através das Tabelas 5 e 6. Observa-se as seguintes

Tabela 4 - Média dos elementos maiores (em % peso) e traços (em ppm) analisados no perfil laterítico de Jandiá, poço 2.

	CF	HF	HA	Rocha mãe		
SiO <sub>2</sub>	24,6	32,2	72,6	47,9	76,5	57,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,2	22,2	11,4	19,7	10,2	18,7
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,7	7,0	4,1	18,2	3,4	9,8
MgO	0,05	0,07	0,18	0,33	0,6	0,34
CaO	2,2	3,0	1,05	1,3	1,4	1,3
Na <sub>2</sub> O	2,0	1,5	0,47	0,46	0,6	0,49
K <sub>2</sub> O	0,1	0,35	0,6	1,6	0,49	1,6
TiO <sub>2</sub>	0,7	0,6	0,7	0,8	0,5	0,9
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	21,6	18,2	<1,8	0,45	-	0,04
Be	2	5	10	2	6	12
B	177	188	254	41	146	222
Pb	20	18	18	6	18	28
Mn	224	50	35	71	10	184
Ni	10	9	9	27	8	13
Co	1	1	1	4	2	3
Cr	350	189	184	112	101	223
Cu	19	12	6	14	8	31
V	284	222	187	357	69	165
Mo	7	4	2	14	2	5
Zn	60	39	<20-74	89	20	20
Sn	5	4	3	9	3	6
Zr	425	303	328	360	113	162
Sc	28	27	35	47	21	34
Ga	39	31	30	42	22	51
Sr	1,47%	0,82%	0,37%	304	170	519
Ba	169	123	174	400	82	460
Y	21	16	25	17	15	15
Ce	136	88	<50-100	50	na	na
La	37	39	<20-75	20	20	51
Nd	70	48	<20-56	22	26	38

As amostras 7/80 e 30/80 da Tabela 2 foram admitidas como rochas mãe, enquanto que 9/76 e 12/80 como representativas do horizonte argiloso, para efeito de cálculo de média e discussão das transformações químicas.

CF = Crosta ferruginosa; HA = Horizonte argiloso; HF = Horizonte fosfático.



Tabela 5 – Concentrações de elementos traços (em ppm) nas amostras de lateritos de Jandiá (em ppm), poço 2.

Amostras	Be	B	Pb	Mn	Ni	Co	Cr	Cu	V	Mo	Zn	Sn	Zr	Sc	Ga	Sr	Ba	Y	Ce	La	Nd
Crosta ferruginosa: 16/76	2	177	20	224	10	1	350	19	284	7	60	5	425	28	39	1,47%	169	21	136	37	70
Horizonte fosfático: 14(1)/76	4	65	22	94	8	1	146	39	208	5	68	5	239	40	44	0,77%	127	17	113	49	73
14(2)/76	7	201	20	88	7	1	167	5	252	6	20	5	378	25	40	0,81%	223	18	111	54	72
12/76	3	227	8	17	6	1	214	7	113	2	43	3	96	15	25	0,53%	37	7	80	28	36
10/76	7	216	21	10	12	2	243	4	284	4	43	3	297	28	23	0,62%	98	22	82	28	25
11/76	9	232	20	41	12	2	173	5	252	5	20	3	507	26	25	1,38%	128	16	56	37	36
Horizonte argiloso: 9/76	11	195	18	66	11	1	261	6	279	3	74	4	520	71	31	0,81%	460	49	100	75	56
Caolinita 13/80	2	319	12	53	9	1	142	4	228	2	20	3	456	26	49	0,54%	83	18	63	27	32
12/80	13	260	21	10	9	1	201	8	140	1	20	4	228	23	28	629	83	18	50	20	20
11/80	15	242	20	10	6	1	135	6	103	2	20	3	109	22	13	669	70	16	50	20	20
Esmectita 9/80	13	253	16	10	9	1	151	14	139	2	20	3	66	17	20	187	100	15	50	20	20
(transição) 7/80	2	42	6	71	27	4	112	34	357	14	89	9	630	47	42	304	400	17	50	20	22
35/80	10	137	10	10	4	1	123	12	107	2	20	3	52	18	23	170	70	20	98	20	26
33/80	12	222	28	184	13	3	223	31	165	5	20	6	162	34	51	519	460	15	na	51	38
30/80	6	146	18	10	8	2	101	8	69	2	20	3	113	21	22	170	82	15	na	20	26



Tabela 6 – Concentrações de SrO (em % peso) e Rb, Ba, Zr, La, Ce, Nd, Nb (em ppm) nas amostras de lateritos de Jandiá (poço 3).

	Amostras	SrO	Rb	Ba	Zr	La	Ce	Nd	Nb
Crosta ferruginosa:	TC/25	0,7	83	181	531	26	54	13	37
	24	0,4	50	158	493	24	53	19	29
	24(A)	0,7	62	230	587	30	59	-	38
	24(B)	1,8	227	214	1198	39	83	-	94
	23	0,6	56	188	547	26	58	18	34
Horizonte fosfático:	20(2)	3,2	718	1001	1619	59	95	40	94
	19	0,8	50	779	632	42	82	40	39
	19(A)	0,9	179	897	792	58	108	-	57
	18	0,4	150	809	385	56	110	24	38
Horizonte argiloso:	17	0,6	92	551	431	45	77	30	24

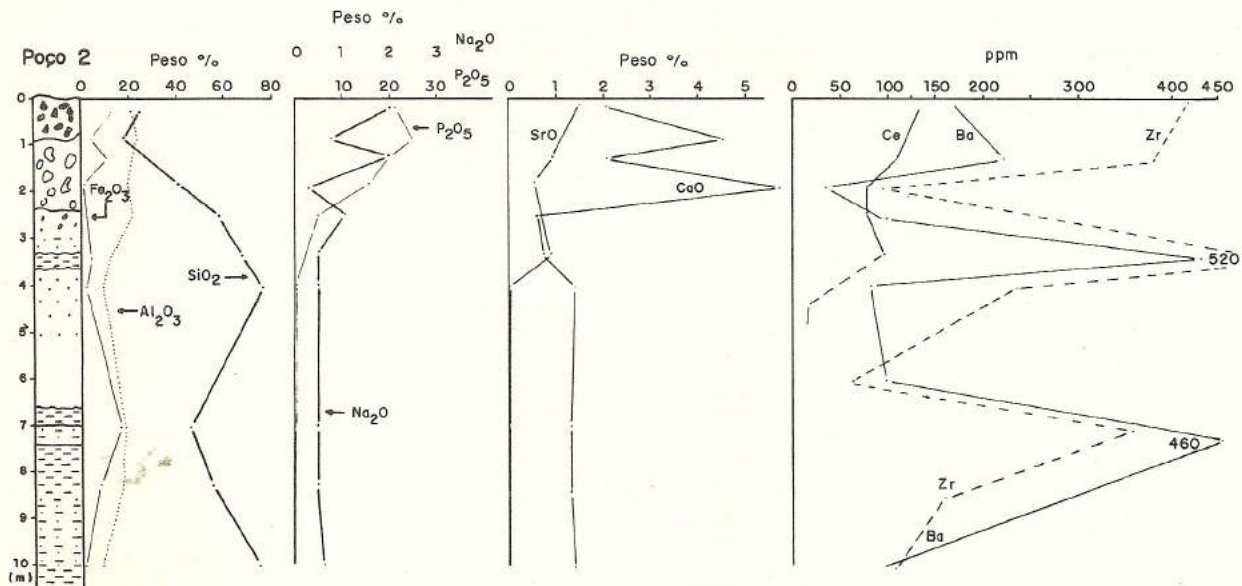


Figura 7 – Distribuição da concentração dos elementos maiores, menores e traços no perfil laterítico de Jandiá (Poço 2).

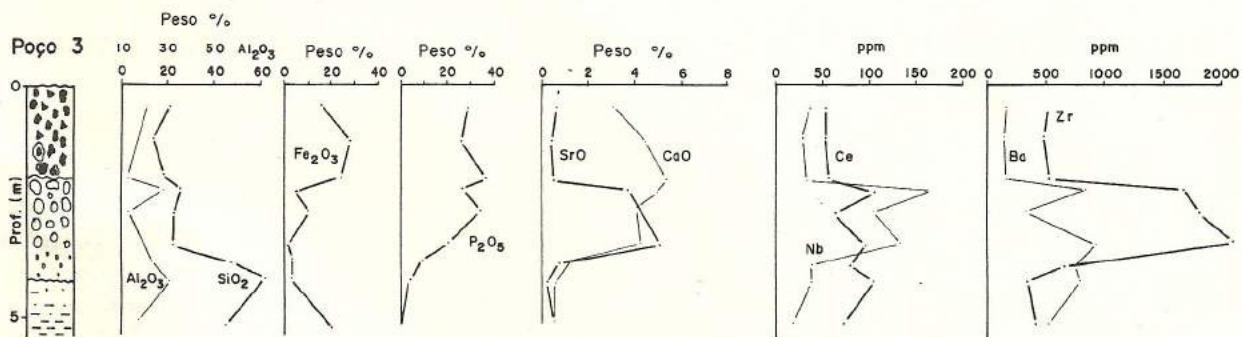


Figura 8 – Distribuição da concentração dos elementos maiores, menores e traços no perfil laterítico de Jandiá (Poço 3).



Tabela 7 – Correlações entre as concentrações médias dos elementos na Crosta da Terra, no horizonte fosfático de Jandiá e de Pirocaua, e no horizonte bauxítico de Paragominas.

	Crosta da Terra (1)	Horizonte fosfático Jandiá	Horizonte fosfático Pirocaua (2)	Horizonte bauxítico Paragominas (3)
Be	2,8	5	na	na
B	9	188	154	500
Pb	13	18	8	6
Mn	950	50	50	10
Ni	99	9	25	15
Co	29	1	2	0,3
Cr	122	189	340	2
Cu	68	12	54	5
V	136	222	806	25
Mo	1,2	4	25	1
Zn	76	39	164	1
Sn	2,1	4	14	3
Zr	162	303	1205	200
Nb	20	91 (4)	na	13
Sc	25	27	87	10
Ga	19	31	63	6
Sr	384	8200	20000	10
Ba	390	123	117	2
Rb	78	500 (4)	na	1
Y	31	16	117	12
La	34,6	39	33	3
Ce	66,4	88	109	2
Pr	9,1	na	na	0,7
Nd	40	48	84	3
Sm	7	4,4 (5)	na	2
Eu	2	1 (5)		
Gd	6	3 (5)	na	0,7
Tb	1	-	na	0,1
Dy	-	2,3 (5)	na	2
Ho	1	0,4 (5)	na	0,1
Er	3,5	0,8 (5)	na	1
Tm	0,5	-	na	0,6
Yb	3	1,3 (5)	na	1
Lu	-	0,16 (5)	na	-
Th	8	-	na	20
U	2,3	-	1-26	2

Os valores em negrito estão acima da média crustal.

(1) Fairbridge in Kronberg (1983); (2) Costa (1982); (3) Kronberg et al. (1983); (4) Poço 3, Tabela 6; (5) Amostras TC/14(1) e TC/14(2) da Tabela 8; Não analisado; (-) não detectado.

formas de distribuição das concentrações ao longo dos perfis:

- Curvas indicativas de concentrações crescentes da base para o topo do perfil para os seguintes elementos: Cr, Mo, Zn, Zr, TR, Sr, Nb, Rb. Os valores mais tipi-

camente elevados são de Sr e Rb, encontrados no horizonte de fosfatos, como já foi mostrado. Sr, Zr e Rb mostram comportamento absoluto comparável ao do fósforo, e mesmo ao de CaO e Na<sub>2</sub>O, quando relacionados com o horizonte argiloso, em clara ligação com os fosfatos



de alumínio. Os demais apresentam acumulação relativa na ordem de grandeza de  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$  e  $TiO_2$ , constituindo a hematita, goethita e em parte fosfatos de alumínio, e também resistatos (zircão e turmalina). No perfil da Figura 15, Sr, Ce, Ba, Zr e Nb mostram decréscimo abrupto do horizonte de fosfatos para a crosta ferruginosa, muito embora o grupo da crandalita ainda esteja presente em grande quantidade. Por outro lado, CaO e  $P_2O_5$  permanecem constantes. Isto reflete a presença dos fosfatos de ferro (dufrenita e mitridatita) da Figura 5;

- Curvas indicativas de concentrações decrescentes para os elementos: Be, Cu, Co;
- Curvas sem nenhuma clara tendência para: B, Pb, Ga, Mn, Ni, Sn, Y e Sc, encontrados em níveis crustais, exceto B, que representa a turmalina, acessório pesado e resistado, freqüente em Jandiá.

As concentrações de ETR em duas amostras do horizonte de fosfatos de Jandiá estão indicadas na Tabela 8 e suas curvas normalizadas aos condritos na Figura 9. As duas amostras são constituídas de crandalita-goyazita, wardita, quartzo e alguma caolinita. As concentrações de ETR em ambas as amostras estão na ordem de grandeza crustal e da maioria dos lateritos fosfáticos derivados de sedimentos como Pedra Grande do Gurupi (Tabela 8), de metassedimentos como Pirocaua (Tabela 7) e de básicas como Trauíra, todos na região do Gurupi. Entretanto são muito baixos, se comparados com os lateritos fosfáticos derivados do complexo alcalino-ultramáfico de Itacupim e de sedimentos de Sapucaia, na mesma região.

As curvas normalizadas apresentam o mesmo padrão dos lateritos fosfáticos da região do Gurupi (Fig. 9), com empobrecimento em ETRP.

Os diagramas ternários da Figura 10 ( $SrO + CaO + Na_2O$ ) -  $Al_2O_3$  -  $P_2O_5$  e  $CaO-SrO-Na_2O$ , indicam que as amostras do horizonte de fosfatos e da crosta são formadas de crandalita-goyazita e wardita, e que se situam dentro do campo composicional dos lateritos da região do Gurupi,

A Figura 11 apresenta várias correlações entre os elementos químicos maiores e traços dos fosfatos de Jandiá. Algumas destas correlações são especialmente signi-

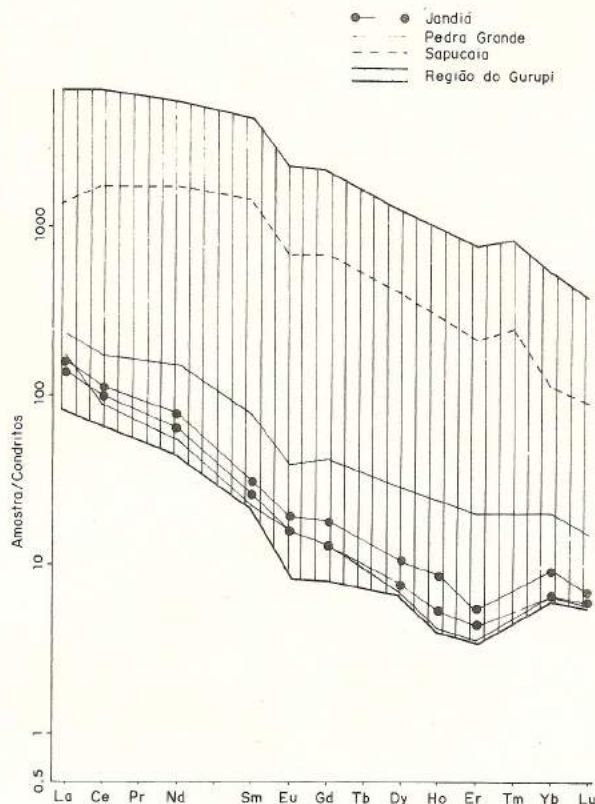


Figura 9 - Distribuição dos elementos terras raras normalizados aos condritos em lateritos de Jandiá, Pedra Grande e Sapucaia.

ficativas, em todo o perfil, como SrO-Rb e SrO-Zr; já outras o são apenas no horizonte de fosfatos: SrO- $P_2O_5$  e SrO-CaO. Essas duas correlações mostram que Ca e Sr estão intimamente relacionados entre si e ao horizonte de fosfatos, onde domina a crandalita-goyazita, enquanto que nos demais horizontes Sr, Rb e Zr são encontrados nos argilominerais e feldspatos. Na crosta ferruginosa de Jandiá, é notável a ausência de qualquer uma das correlações acima (Fig. 11). SrO-Ba apresentam uma correlação menos significativa, mesmo no horizonte de fosfatos, provavelmente pela partição do Ba, também, com os relictos de mica. SrO-Ce (TR), embora apresentem boa correlação em lateritos fosfáticos, esta não é significativa em Jandiá, porque os teores de Ce estão próximos aos limites de detecção do método utilizado.

Em Jandiá, pode-se estabelecer as seguintes associações geoquímicas:

- Ca-P-Sr - (Ba)-Rb-(TR)-Zr-Nb como indicativo do horizonte de fosfatos de alumínio.

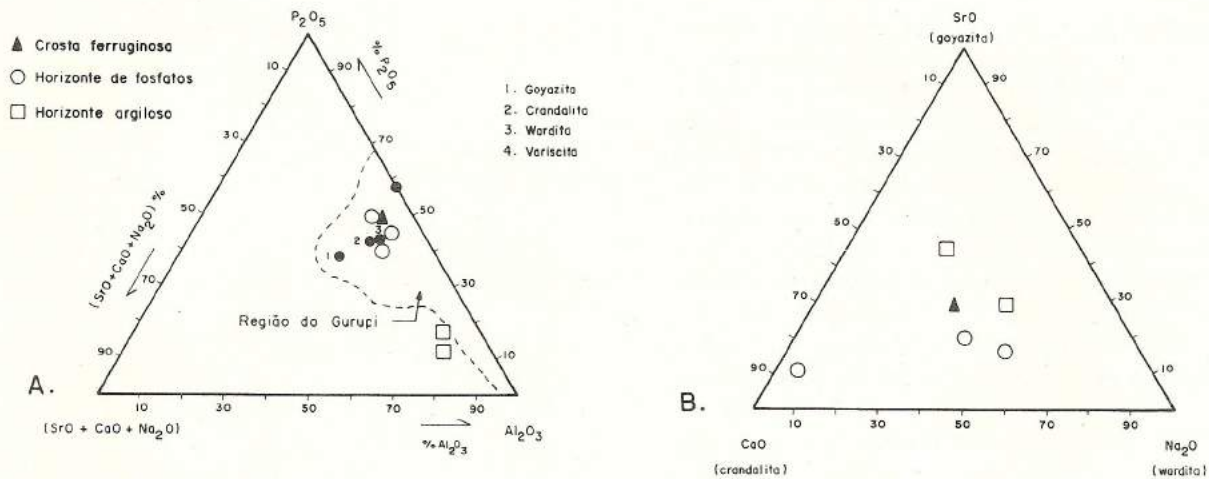


Figura 10 – Diagramas ternários: A. (SrO+CaO+Na<sub>2</sub>O) - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e B. CaO-Na<sub>2</sub>O - SrO para lateritos de Jandiá.

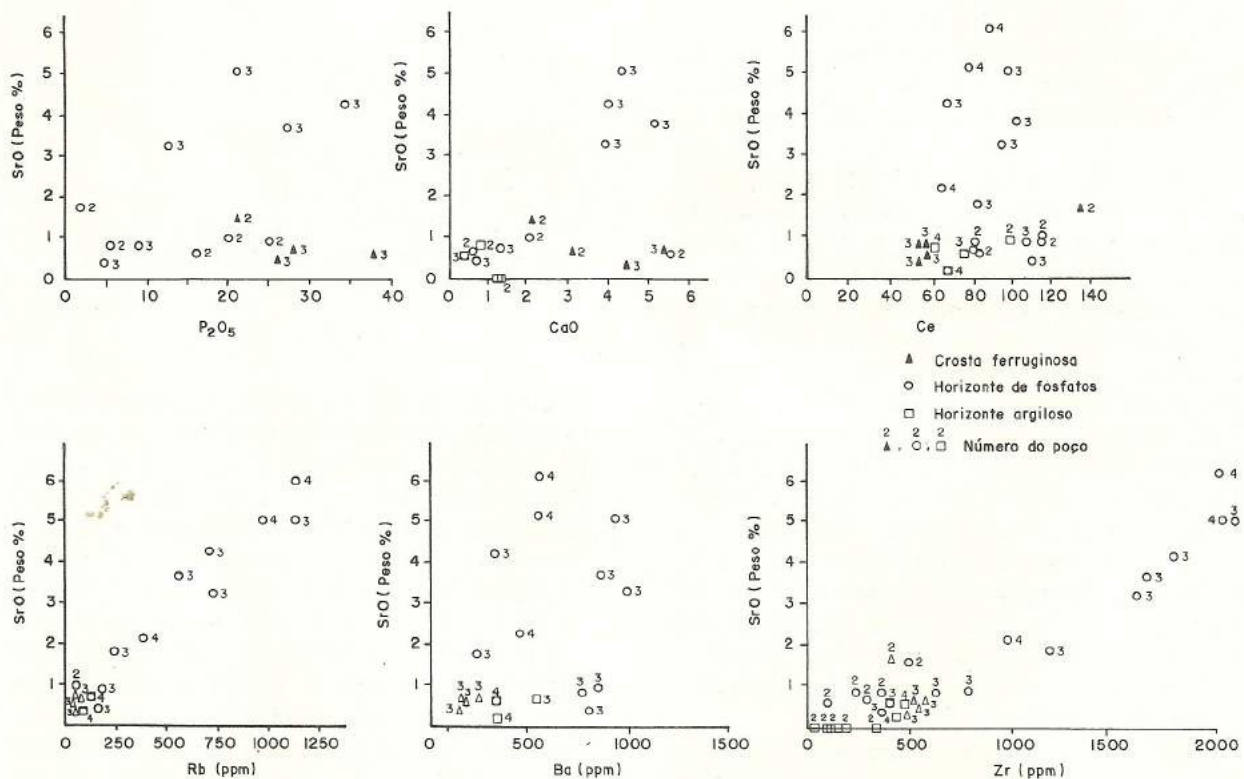


Figura 11 – Diagramas de correlação entre SrO e outros diferentes elementos químicos em lateritos de Jandiá.

- Fe-Ni-Cu - Co-V-Sc-Zr e Al-Ba-K-Ga-Sn do horizonte argiloso onde se encontram os oxi-hidróxidos de ferro e os argilominerais.

## GÊNESE

**Contexto regional** - Os lateritos do morro

Jandiá apresentam um quadro geológico similar ao da maioria dos lateritos da região do Gurupi, descritos por Costa (1982, 1984), da qual faz parte. É característico dos lateritos desta região a presença de perfis completos, selados por uma crosta ferruginosa compacta, complexa e aflorante. A atual floresta tropical úmida não se



Tabela 8 – Concentrações dos elementos terras raras, ítrio, urânio, enxôfre e bário nos lateritos de Jandiá, comparados com os de Pedra Grande.

	(ppm) La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu	Y	U	Ba	S(%)
<b>Jandiá:</b>															
TC/14(1)	33,65	61,46	30,56	3,99	0,93	2,75	1,98	0,31	0,73	1,12	0,15	38	<15	127	0,06
TC/14(2)	38,30	70,34	36,05	4,83	1,13	2,56	0,49	0,90	1,47	0,17			223	-	
<b>Pedra Grande:</b>															
PG/26	40,16	55,61	25,52	3,38	0,84	2,62	1,77	0,24	0,58	1,06	0,14	<10	<15		0,47
PG/30	54,51	107,90	69,80	12,12	2,31	8,50	7,32	1,40	3,34	3,42	0,38	28		0,39	
PG/16/83	50*	100*	30*										52	11	690

(-) não detectado; ( ) não analisado; (\*) como óxido.

instalou sobre a mesma, mas tão somente nas encostas dos morros e platôs, formas de relevo comuns destes lateritos, onde ocorrem blocos da crosta.

Os lateritos da região de Gurupi, por outro lado, divergem dos demais lateritos maduros da região Amazônica, através da porção superior dos seus perfis, onde um material areno-argiloso a argilo-arenoso (solo), autóctone e alóctone, forma uma cobertura típica, conhecida por Argila de Belterra. Ela está invariavelmente recoberta por floresta tropical, ao contrário da crosta. Localmente, entretanto, essa cobertura mostra relictos de crosta ferruginosa, equivalentes àqueles da região do Gurupi (Costa, 1990). Dentro deste contexto, Costa (1990) comparou os lateritos maduros da região do Gurupi com os demais da Amazônia, e que segundo Costa (1982) e Truckenbrodt et al. (1982) foram formados durante o longo período de lateritização do Eoceno-Oligoceno.

Estes lateritos, após sua formação, e em parte concomitante a ela, foram palcos de novos eventos lateríticos e não lateríticos, como identificados por Kotschoubey & Truckenbrodt (1981) e Lucas (1989) em diversas ocorrências de bauxitas da Amazônia. A região do Gurupi foi, principalmente, afetada pelos não lateríticos e pela neotectônica, significativamente ativa na região. São exemplos: Jandiá, Trauíra, Pedra Grande e outros diferentes daqueles das bauxitas da Amazônia (Costa, 1990). Vários corpos, entretanto, sobreviveram quase intactos, em toda Amazônia, às transformações mencionadas acima.

**A formação do perfil de Jandiá** - Pelos dados expostos anteriormente, constata-se que o perfil laterítico de Jandiá derivou de uma seqüência sedimentar siltica-argilosa na base e areno-argilosa a conglomerática com delgadas intercalações argilosas no topo (Figs. 3 e 4). A rocha menos alterada, encontrada hoje em Jandiá, é de natureza siltica-argilosa, amarela a vermelha, contendo esmectita, microclínio, hematita, muscovita, além de muito quartzo e caolinita (horizonte argiloso de transição). Esmectita e microclínio indicam a base do perfil, transição para rocha mãe ou, até mesmo, a própria rocha mãe. É necessário ressaltar que esta rocha é a parte basal da outrora seqüência mãe, que envolvia também arenitos, e hoje se encontra na forma dos horizontes superiores.

O teor de fosfatos da rocha atual da base do perfil é muito baixo (<0,45%  $P_2O_5$ ), mas não exclui a possibilidade dela ou de outra seqüência superior ter contido fosfatos primários, já que, em seqüências fosforíticas, como poderia ter sido primariamente o corpo de Jandiá, as camadas ricas em fosfatos podem ser muito delgadas e restritas na seqüência vertical. As rochas de Jandiá já lateritizadas e contendo fosfatos de alumínio, poderiam ter sido parte de uma seqüência fosforítica equivalente àquelas da Phosphoria Formation, Bone Valley Formation e Hawthorn Formation nos EUA, e do Grupo Bambuí em Patos de Minas (MG), do Senegal e da bacia de Georgina na Austrália (Costa, 1980). Na região do Gurupi, situação similar à de Jandiá é encontrada em Sapucaia. Rochas areno-argilosas carbonáticas e micáceas não intemperizadas, e com fragmento de fósseis de constituição fosfática, são encontradas na região de Ourém-PA, creditadas ao Cretáceo da Bacia do Maranhão. A presença de fosfatos de alumínio em perfis lateríticos está quase sempre relacionada à pré-existência de fosfatos primários na rocha mãe original (Oliveira, 1980; Costa, 1982; Schwab et al., 1983, 1989). Desta forma a contribuição de fosforitos ou rocha equivalente para Jandiá, diante de sua abundância de fosfatos de alumínio é coerente.

A própria heterogeneidade química dos sedimentos, especialmente dos elementos maiores,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ , CaO e  $K_2O$ , sugerem uma origem relacionada a sedimentos detríticos e químicos.

Confirmam estas inferências os altos teores de Sr (Tabelas 2 a 4), típicos de fosfatos de alumínio derivados da lateritização de rocha rica em apatita, como se verifica no Gurupi (Costa, 1982), Senegal e Togo (Flicoteaux & Lucas, 1984), Flórida (Blanchard, 1972), Maicuru (Lemos & Costa, 1989), Montes Weld (Lottermoser, 1989). Os teores relativamente baixos de Nd, TR, Y e Sc sugerem que estas rochas são de natureza sedimentar. Em arenitos normais, os teores destes elementos seriam ainda mais baixos. A natureza siltica-arenítica é também reforçada pela grande abundância de grãos de quartzo, verificada mesmo no topo dos perfis.

As fases de formação do perfil, envolvendo transformações e neoformações mineralógicas e modificações químicas, são similares àquelas já descritas por Costa



(1982), Schwab et al. (1983, 1989), para os lateritos do Gurupi e Flicoteaux & Lucas (1984) e Vieillard et al. (1979) para os da África Ocidental.

Desta forma, por correlação, a lateritização em Jandiá iniciou no Eoceno, sob condições climáticas equivalentes às tropicais úmidas hoje reinantes na Amazônia (Fig. 12A), levando ao estabelecimento de espesso perfil de rocha intemperizada, estruturada da base para o topo em: horizonte de transição (minerais primários instáveis e argila do tipo 2:1), horizonte argiloso (com caolinita e minerais primários instáveis), em parte mosqueada e solo areno-argiloso com concreções ferruginosas, quadro similar ao que se tem hoje em formação na Amazônia. Posteriormente, sob condições semi-áridas com vegetação de savana, o topo do perfil foi palco de intensa lixiviação, em especial dos materiais de granulação fina, que alcançou até o horizonte mosqueado. Este foi parcialmente endurecido pela ação térmica que, ao lado dos esferólitos, então soltos, iniciaram a formação da crosta ferruginosa de Jandiá (Fig. 12B). Estabelecida a crosta e sob condições cli-

máticas amenas e subida do lençol freático, processou-se a diferenciação do horizonte de fosfatos de alumínio, entre a crosta já formada e o horizonte argiloso. As reações se prolongaram até a consumação das soluções contidas no perfil laterítico. Em Jandiá, a crosta ferruginosa, em sua maior parte, é nitidamente formada a partir do horizonte mosqueado, pois sua estruturação ainda está preservada, devido à transformação direta dos argilo minerais da matriz em fosfatos de alumínio por substituição e menos freqüentemente por dissolução e reprecipitação. Efeitos térmicos durante os sucessivos períodos de aridez após formação do perfil, freqüentes que foram em toda Amazônia, segundo se pode antever de Krook (1979), completaram o endurecimento dos horizontes superiores.

### EPIGÊNESE

O perfil laterítico do morro de Jandiá, apresenta características epigenéticas evidenciadas:

. pela presença de concreções de fosfatos

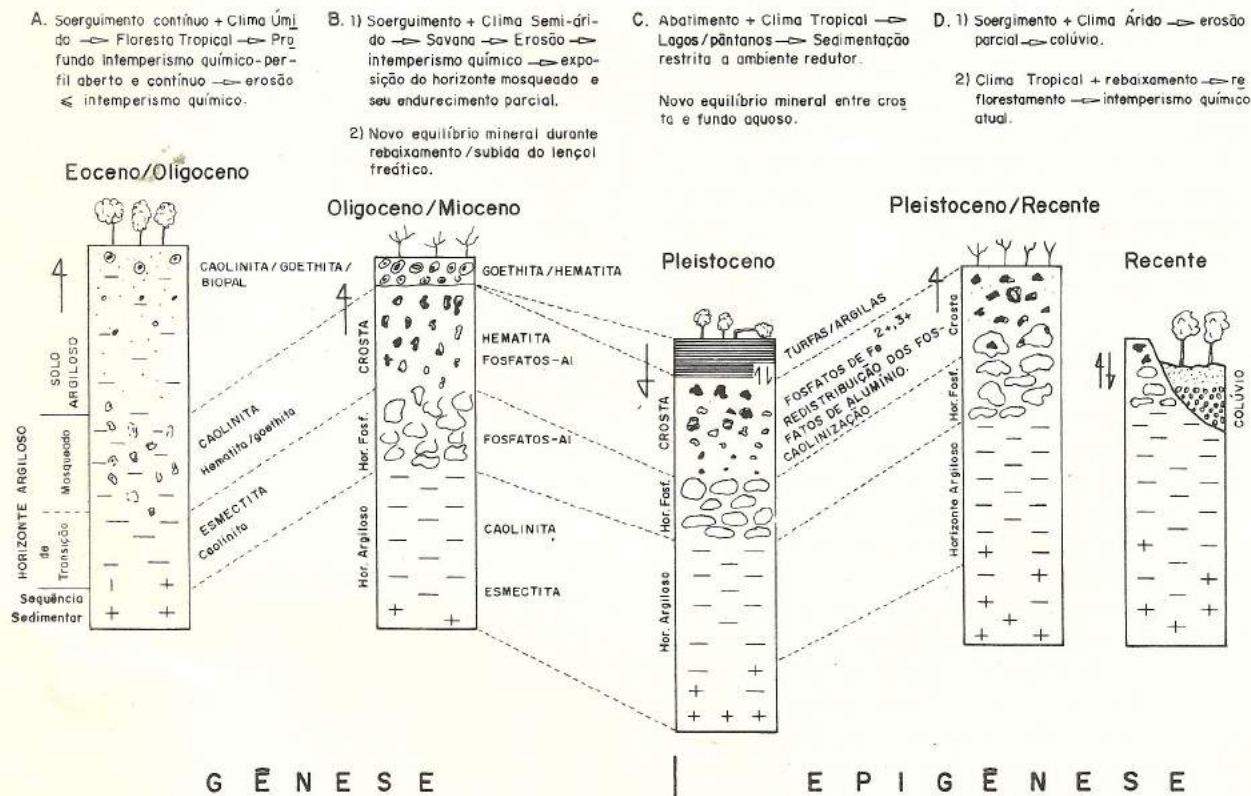


Figura 12 - Gênese e epigênese dos lateritos de Jandiá.



de ferro; e

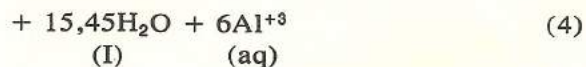
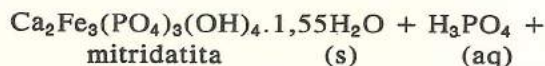
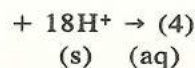
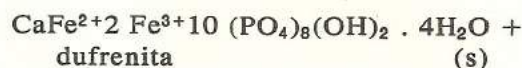
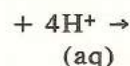
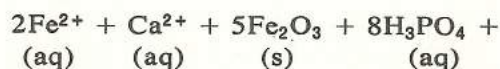
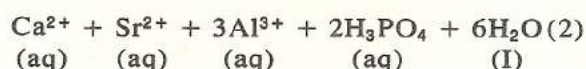
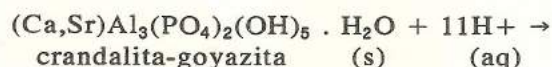
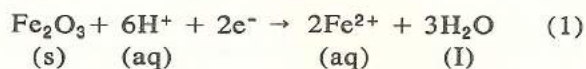
pelas modificações químicas substanciais no topo do perfil.

**Fosfatos de ferro** - Na região do Gurupi, fosfatos de ferro ferroso e ferro-cálcio como dufrenita, mitridatita, beraunita, lazulita e kingsmountita foram encontrados em Jandiá, Trauíra e Pedra Grande do Gurupi, associados ao topo dos seus perfis lateríticos. Em outros lateritos, estes minerais não são noticiados na literatura. Eles são típicos dos minérios de ferro limoníticos, formados sob condições pantanosas a lacustres (Palache et al., 1951; Moore, 1970; Blanchard & Denahan, 1968; Robertson, 1982). Também são freqüentes em ambientes hidrotermais e pegmatíticos (Palache et al., 1951; Moore, 1970; Robertson, 1982; Nriagu, 1984).

O ambiente sedimentar restrito parece ter sido aquele que levou à formação dos fosfatos de ferro de Jandiá. O estabelecimento de lagos e pântanos sobre superfícies lateríticas antigas apresenta-se como um processo comum, pós lateritização, que se pode observar nos inúmeros depósitos de bauxita descritos por Bárdossy (1983) pelo mundo, por Grubb (1979) e Aleva (1981) na Guiana e Suriname e naquelas da região Amazônica (Costa, 1980; Tricart, 1985). Em geral se formam turfas, calcários, sapropelitos e argilitos piritosos. O estabelecimento destes ambientes lacustres e/ou pantanosos é favorecido pela impermeabilidade da crosta, que acumula águas pluviais durante período climático chuvoso e semi-árido, gerando condições ácidas e redutoras (Levinson, 1980) por meio de subsidência, abatimento ou de elevação do lençol freático. Na Amazônia, lagos e sedimentos lacustres são encontrados lado a lado, no mesmo corpo laterítico, sendo o melhor exemplo Seis Lagos, no Amazonas. Na região do Gurupi, onde se encontra Jandiá, os próprios corpos lateríticos mostram evidência de intensa atividade neotectônica após sua formação.

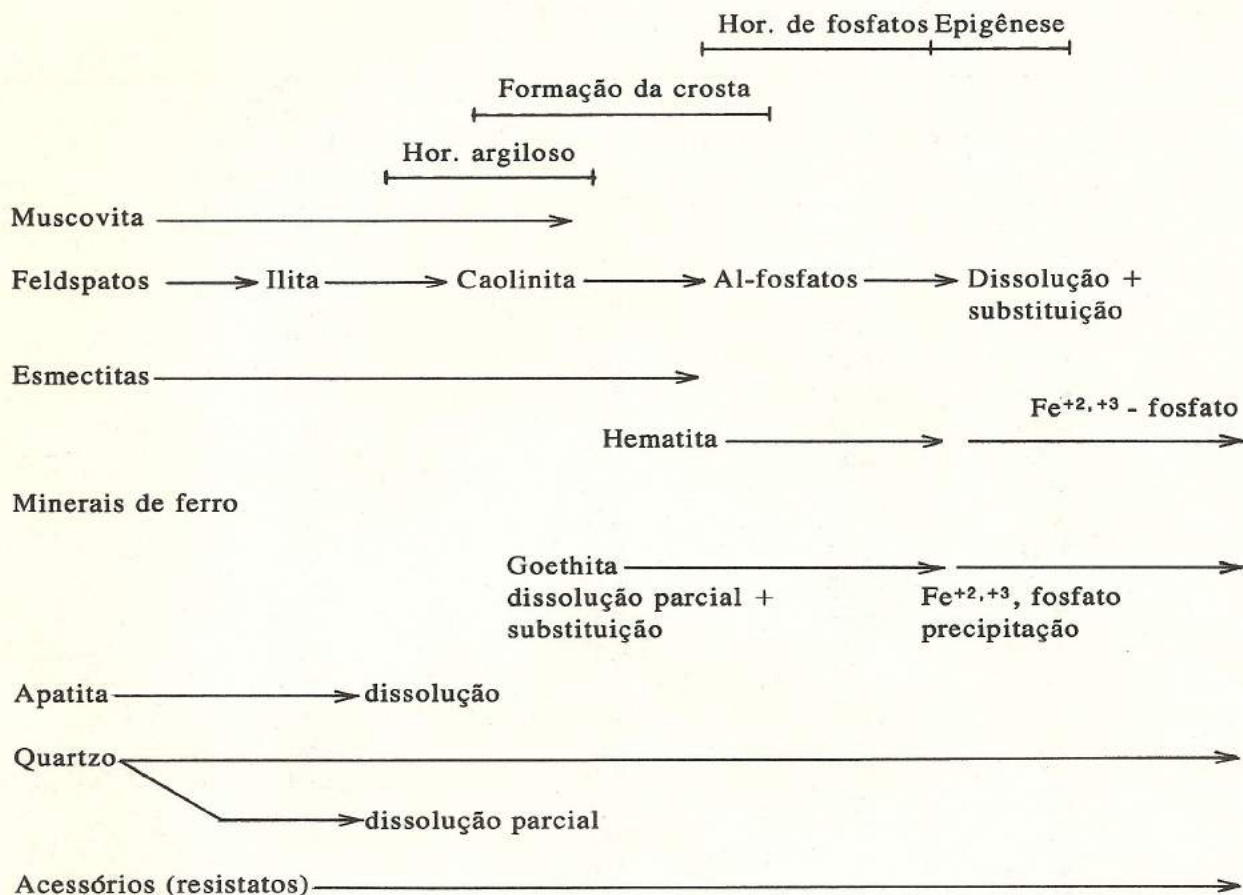
Em Jandiá, durante um período de subsidência e/ou estabilidade tectônica com elevação do lençol freático (Fig. 12C), instalou-se ambiente semelhante, que interagiu com o substrato (a crosta ferruginosa), rico em ferro e fósforo. Em decorrência da elevada acidez e do baixo conteúdo de O<sub>2</sub> da água do fundo, a mineralogia da crosta foi desequilibrada, e a procura de

novo equilíbrio levou à formação dos fosfatos de ferro às expensas da dissolução parcial dos oxi-hidróxidos de ferro e fosfatos de alumínio da crosta com redução parcial do ferro, conforme as seguintes reações químicas:



Ao lado de fosfatos de ferro, reprecipitaram-se crandalita, variscita e wardita, conforme se pode observar a seguir:





A precipitação de fosfatos de ferro neste tipo de ambiente é comum (Flicoteaux & Lucas, 1984), onde os fosfatos mais comuns são, entretanto, vivianita (Rose et al., 1979; Levinson, 1980), apatita e mesmo Al-fosfatos (Cowgill, 1963). A formação de fosfatos de ferro, às custas de um substrato constituído de formação ferrífera e rocha rica em ferro, é proporcionada também por guanos, bastante comuns nas ilhas atuais e antigas (Flicoteaux & Lucas, 1984), e mesmo na região do Gurupi, na ocorrência da Serra do Piriá; porém a mineralogia diverge daquela encontrada em Jandiá, consistindo, principalmente, de strengita, fosfosiderita e leucofosfita.

**Modificações químicas** - No topo do perfil laterítico de Jandiá (crosta ferruginosa e horizonte de fosfatos), ao contrário de outros depósitos de fosfatos lateríticos, elementos como Sr, TR, Ba, Zr (Fig. 8) decrescem abruptamente do horizonte de fosfatos para a crosta, fato não observado no Poço 2, que não contém fosfato de ferro (Fig. 7). Esta mudança abrupta só pode ser explicada através da neoformação dos fosfatos de ferro, às expensas da crandalita-

goyazita e hematita, onde Sr, TR, Ba e Zr, que estavam na estrutura da crandalita, foram liberados e não incorporados na nova estrutura, sendo assim lixiviados. Nos perfis lateríticos fosfáticos há diminuição gradual dos teores de Sr, TR, Ba, Zr e Nb, proporcional à diminuição dos teores de fosfatos de alumínio. Estes elementos formam uma associação típica de perfis lateríticos com fosfatos (Costa, 1982), inclusive em Jandiá, não sendo encontrada em ambiente lacustre e/ou pantanoso.

A Tabela 9 mostra alguns aspectos químicos composicionais de mitridatita, crandalita-goyazita e mistura de dufrenita, mitridatita e wardita.

As modificações químicas provocadas pela epigênese se ressaltam também na perda da correlação positiva e significativa para P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-SrO, SrO-Rb, SrO-CaO, SrO-Ba, SrO-Zr (Fig. 11), destruindo a associação Ca-P-Sr-Ba-Rb-TR-Zr-Nb, o que não ocorre nos perfis de lateritos fosfáticos não epigenetizados. Portanto, a perda brusca de SrO, Ba, Zr e Nb da associação geoquímica acima e a redução parcial de Fe<sup>3+</sup> para Fe<sup>2+</sup> são as fortes evidências químicas da interação da crosta com o ambiente lacustre e/ou



Tabela 9 – Composição química de minerais de Jandiá.

	Mitridatita (1)	Crandalita-goyazita (2)	Mitridatita (19,5%) Dufrenita (19%) Wardita (36%) (3)
	%	%	%
SiO <sub>2</sub>	0,19	1,71	9,01
TiO <sub>2</sub>	-	1,44	0,94
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,76	31,40	16,11
Fe <sub>2</sub> O <sub>3t</sub>	37,30	5,26	24,35
CaO	17,36	7,59	5,19
MgO	0,12	0,22	0,26
SrO	0,31	8,77	0,66
MnO	0,02	0,03	0,03
Na <sub>2</sub> O	0,39	0,86	2,65
K <sub>2</sub> O	0,35	0,29	0,21
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	33,10	29,35	28,24
H <sub>2</sub> O	9,80	12,55	11,46
H <sub>2</sub> O	0,20	0,52	0,81
	ppm	ppm	ppm
B	-	2180	349
Cu	33	119	78
Ni	55	-	-
Ga	-	251	170
V	-	300	150
Gr	-	1404	344

Fonte: Reymão (1983). (1) 97% de mitradatita; (2) 90,6% crandalita-goyazita, 5% de hematita + goethita, 3,0% quartzo e anatásio; (3) 8,4% crandalita-goyazita, 9% de quartzo e 6,2% hematita.

pantanosos superimpostos, ambiente este que se sucedeu à lateritização.

Finalmente, na fase semi-árida do Pleistoceno, Jandiá foi parcialmente soerguido, erodido, e assistiu à sedimentação e à pedogênese holocênica (Fig. 12D).

## CONCLUSÕES

O perfil laterítico de Jandiá é, em termos gerais, correlacionável aos demais da região do Gurupi, e caracteriza-se pela sua riqueza em fosfatos de alumínio e de ferro. Quimicamente, os altos teores de Sr, e em parte de Ba, Rb, e SiO<sub>2</sub>, sugerem uma composição fosforítica para a rocha mãe de Jandiá. O perfil é contemporâneo com os lateritos maduros da região Amazônica e apenas a sua parte superior foi alterada por ambiente lacustre e/ou pantanoso, provocando a formação de fosfatos de ferro. Esse ambiente deve ter sido comum e com formação subsequente à lateritização, pois

suas evidências foram encontradas não só em Jandiá, mas em Trauíra e Pedra Grande do Gurupi. O estudo sistemático destes perfis poderão elucidar parte da evolução geológica, neotectônica e paleo-ecológica da região do Gurupi, contribuir com a prospecção de fosfatos na Amazônia, e enaltecer a importância dos lateritos como registro geológico.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a constante contribuição da minha esposa Walmeire Alves de Melo Costa, em todas as fases deste trabalho. Também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, ao Serviço Alemão de Intercâmbio Acadêmicos - DAAD, a Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP pelo apoio financeiro e ao meu colaborador polivalente Anselmo José Monteiro dos Santos durante a preparação do manuscrito.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEVA, G.J.J. (1981) Essential differences between the bauxite deposits along the southern and northern edges of the Guiana Shield, South America. *Econ. Geol.*, **76**: 1142-1152.
- BÁRDOSSY, G. (1983) A comparison of the main lateritic bauxite regions of our globe. In: Melfi, A.J. & Carvalho, A. (Eds.), *Lateritisation Processes*, IAG/USP, São Paulo, p. 15-56.
- BLANCHARD, F.N. (1972) Physical and chemical data for crandallite from Alachua County, Florida. *Am. Mineralogist*, **57**: 473-484.
- BLANCHARD, F.N. & DENAHAN, S.A. (1968) Cacoenite and beraunite from Florida. *Am. Mineralogist*, **53**: 2096-2101.
- COSTA, M.L. (1980) Geologia, mineralogia, geoquímica e gênese dos fosfatos de Jandiá, Cansa Perna e Itacupim no Pará e Pirocaua no Maranhão. Dissertação de mestrado, NCGG/UFGA, Belém, 132p.
- COSTA, M.L. (1982) Petrologisch-Geochemische Untersuchungen zur Genese der Bauxite und Phosphat-Laterite der Region "Gurupi" (Ost-Amazonien) Erlangen (RFA). Tese de doutorado, Mineralogisches Institut, Universität Erlangen-Nuernberg, 189 p.
- COSTA, M.L. (1984) A dinâmica da formação de lateritas: o exemplo do NE do Pará e NW do Maranhão. In: Congr. Bras. Geol., **33**, Rio de Janeiro, Anais, Rio de Janeiro, SBG, 4823-4837.
- COSTA, M.L. (1990) General geological setting of the Amazon laterites. *Rev. Bras. Geoc.* (submitted).
- 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, **4**: 1982-1996.
- COWGILL, U.M. (1963) An apparently triclinic dimorph of crandallite from tropical swamps sediments in El Petén, Guatemala. *Am. Mineralogist*, **48**: 1144-1153.
- DUNN, P.J., PEACOR, D.R., WHITE, J.S. & PAMIK, R.A. (1979) Kingsmountite, a new mineral, isostructural with montgomeryite. *Can. Miner.*, **17**: 579-582.
- FLICOTEAUX, R. & LUCAS, J. (1984) Weathering of Phosphate Minerals. In: *Phosphate Minerals*. J.O. Nriagu & P.B. Moore (Eds.), Springer, Berlin, 292-317.
- GRUBB, P.L.C. (1979) Genesis of bauxite deposits in the Lower Amazon Basin and Guianas coastal plain. *Econ. Geol.*, **74**(4): 735-750.
- KOTSCHOUBEY, B. & TRUCKENBRODT, W. (1981) Evolução poligenética das bauxitas do distrito de Paragominas - Açailândia (Estados do Pará e Maranhão). *Rev. Bras. Geoc.*, **11**(3): 193-202.
- KRONBERG, B.I., FYFE, W.S., NESBITT, H.W., MELFI, A.J. (1983) Kinetics and geochemistry of weathering. In: Melfi, A.J. & Carvalho, A. (eds.), *Lateritisation Processes*, IAG/USP, São Paulo, 271-279.
- KROOK, L. (1979) Sediment petrographical studies in northern Suriname. Amsterdam, Vrije Universiteit, Academisch Proefchrift Utrecht, 154p.
- LEMONS, V.P. (1990) Evolução mineralógica e geoquímica dos lateritos sobre rochas do complexo ultramáfico carbonatítico de Mairuru, Belém. Tese de doutorado, CPGG/UFGA, 260p.
- LEMONS V.P. & COSTA, M.L. (1989) Aspectos mineralógicos dos lateritos da Serra de Mairuru, PA. In: Congr. Bras. Geol., **2**, Rio de Janeiro, Anais, SBG, 375-384.
- LEVINSON, A.A. (1980) Introduction to exploration geochemistry. 2nd, Ed. App. Publishing Ltd., Illinois, 924p.
- LOTTERMOSER, B.G. (1989) Rare-earth element mineralization within the Mt. Weld carbonate laterite, western Australia. *Lithos*, **24**: 151-167.
- LUCAS, Y. (1989) Systèmes pédologiques en Amazonie Brésilienne: équilibres, déséquilibres et transformations. Tese de doutorado, Université de Poitiers, 157p.
- MENOR, E.A. (1975) La sédimentation phosphatée: pétrographie, minéralogie et géochimie des gisements de Talba (Sénégal) et d'Olinda (Brésil). Tese de doutorado, Universidade Louis Pasteur, Strasbourg, 154p.
- MOORE, P.B. (1970) Crystal chemistry of the basic iron phosphates. *Am. Mineralogist*, **55**: 135-169.
- NRIAGU, J.O. (1984) Their Properties and General Modes of Occurrence. In: *Phosphate Minerals*, J.O. Nriagu & P.B. Moore (Eds.), Springer, Berlin, 1-136.
- OLIVEIRA, N.P. (1980) Mineralogie und geochemie des phosphatführenden laterite von Itacupim und Traura, Nordbrasilien. Tese de doutorado, Mineralogisches Institut, Universität Erlangen-Nuernberg, Erlangen, RFA, 159p.
- OLIVEIRA, N.P., SCHWAB, R.G. (1980) Itacupim: um exemplo da influência do fósforo sobre o desenvolvimento de perfis lateríticos. In: Congr. Bras. Geol., **31**, Camboriú, Anais, SBG, **1**: 184-196.
- PALACHE, C., BERMAN, H., FRONDEL, G. (1951) *The System of Mineralogy*. John Wiley and Sons, Inc., vol. 2, Ed., New York, 1124p.



- REYMÃO, M.F.F. (1983) Estudo físico-químico de hidróxi-fosfatos e minerais associados ocorrentes na Chapada de Pirocaua (MA) e no Morro de Jandiá (PA). Dissertação de mestrado, NCGG/UFPA, Belém, PA, 153p.
- ROBERTSON, B.T. (1982) Occurrence of epigenetic phosphate minerals in a phosphatic iron-formation, Yukon Territory. *Canadian Mineralogist*, 20: 177-187.
- ROSE, A.W., HAWKES, H.E., WEBB, J.S. (1979) *Geochemistry in mineral exploration*. Acad. Press, 2nd, London, 657p.
- SCHWAB, R.G., COSTA, M.L., OLIVEIRA, N.P. (1983) Über die entwicklung von bauxiten und phosphat-lateriten der region Gurupi (Nordbrasilien). *Zbl. Geol. Paläont.*, part I, 3/4: 563-580.
- SCHWAB, R.G., HEROLD, H., COSTA, M.L., OLIVEIRA, N.P. (1989) The formation of aluminous phosphates through lateritic weathering of rocks. In: Balasubramanian et al. (Eds.), *Weathering: its products and deposits*. Theophrastus, Atenas, Vol. II, 369-386.
- TRICART, J. (1985) Evidence of Upper Pleistocene dry Climates in Northern South America. In: Douglas, I. & Spencer T., *Environmental change and tropical geomorphology*, BGRG, Londres, 378p.
- TRUCKENBRODT, W., KOTSCHOUBEY, B., GOES, A.M. (1982) Considerações a respeito da idade das bauxitas na parte leste da região amazônica. In: *Simp. Geol. Amaz.*, 1, Belém, Anais, SBG-NO, 1: 201-209.
- VALETON, I. (1972) *Bauxites*. Elsevier, Amsterdam, 226p.
- VIEILLARD, P., TARDY, Y., NAHON, D. (1979) Stability fields of clay and aluminium phosphates: parageneses in lateritic weathering of argillaceous phosphatic sediments. *Am. Mineral.*, 64: 626-634.