



# GEOQUÍMICA E MINERALOGIA DOS PRODUTOS DE ALTERAÇÃO E DE PALEOALTERAÇÃO DE ROCHAS FOSFATADAS DA REGIÃO DE IRECÊ, BA

V.C. Ferrari<sup>1</sup>, A.J. Melfi<sup>2</sup>, J.J. de Oliveira<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Pós-Graduação, Instituto de Geociências - NUPEGEL/USP, Caixa Postal 11.348, CEP 05422-970, São Paulo, SP

<sup>2</sup>Departamento de Solos e Nutrição de Plantas - ESALQ-USP e NUPEGEL/USP, Caixa Postal 9, CEP 13418-900, Piracicaba, SP

<sup>3</sup>Departamento de Geoquímica, Instituto de Geociências - UFBA, Rua Barão de Geremoabo s/n, CEP 40210-340, Salvador, BA

Recebido em 07/97; aprovado para publicação em 11/98

## ABSTRACT

*The weathering of Irecê phosphate deposits, represented by stromatolitic levels of Una Group, brought to different types of secondary ores. The study of mineralogical and geochemical evolution of these rocks allowed the differentiation of two types of weathering products, developed under distinguished climatic conditions. One of them, clearly in equilibrium with the actual climatic conditions, gave origin to less developed materials, indicated by carbonate weathering and primary ore fragmentation, proceeding, mainly, to residual apatite enrichment. The other one, older, named by the region miners as "rolados" seems more developed and rich in aluminous phosphate and neoformed kaolinites. It can be suggested that paleoalteration, which brought the "rolados" about have been developed under climatic conditions more humid and lateritic than the actual weathering.*

## RESUMO

*A alteração intempérica das rochas mineralizadas em fosfatos da região de Irecê, representadas por níveis estromatolíticos intercalados às rochas carbonáticas do Grupo Una, levou à formação de diferentes tipos de minérios secundários. O estudo da evolução mineralógica e geoquímica destas rochas permitiu diferenciar dois tipos de produtos de alteração, desenvolvidos em condições climáticas distintas. Um, nitidamente em equilíbrio com as condições climáticas atuais, originou materiais pouco desenvolvidos, marcados pela lixiviação dos carbonatos e fragmentação do minério primário, resultando, principalmente, no enriquecimento de apatita residual, e outro, mais antigo, denominado pelos mineradores da região de "rolados", apresenta-se mais evoluído e rico em fosfatos aluminosos e caolinitas neoformadas. Pode-se supor que as paleoalterações, que deram origem aos "rolados", desenvolveram-se em condições climáticas mais úmidas e laterizantes do que as alterações atuais.*

## INTRODUÇÃO

Na região de Irecê, as rochas mineralizadas em fosfato (minério primário) encontram-se, atualmente, submetidas às condições de clima semi-árido; todavia, os materiais que representam seus produtos de alteração nem sempre refletem as características do intemperismo que se desenvolve sob clima tropical seco.

Os perfis de alteração (minério "casa de abelha" e "cascalho") e os solos Podzólicos, Rendizinas e Cambissolos, derivados das rochas carbonatadas e fosfatadas amplamente distribuídas na região de Irecê, constituem o testemunho da alteração presidida pelo clima

atual, enquanto os Latossolos Vermelho-amarelos distróficos e a fácies "rolados" (minério secundário) constituem, provavelmente, as relíquias de um intemperismo vigoroso, desenvolvido em ambiente laterizante. Os resultados das análises químicas e mineralógicas realizadas sobre as mineralizações fosfatadas reforçam estas hipóteses.

O estudo das alterações das rochas fosfatadas de Irecê tem uma importância significativa, não somente do ponto de vista científico, uma vez que são raros os exemplos de ocorrência deste tipo de rocha e de minerais associados tal como apatitas, que coexistem com minerais neoformados, caolinita e

fosfatos secundários, mas também aplicado, pois permite a valorização de minérios secundários de baixo teor em fósforo.

## QUADRO FÍSICO

A área de estudo, distante cerca de 500 km de Salvador e balizada pelas coordenadas geográficas  $11^{\circ}18'$  e  $11^{\circ}24'$  Lat. Sul e  $41^{\circ}52'$  e  $41^{\circ}46'$  de Long. Oeste de Gr (Fig. 1), situa-se na região fisiográfica da Bacia de Irecê, na porção centro-ocidental da Bahia.

Geomorfologicamente, a área de estudo está contida na Bacia de Irecê, um extenso planalto peneplanizado, caracterizado por fei-

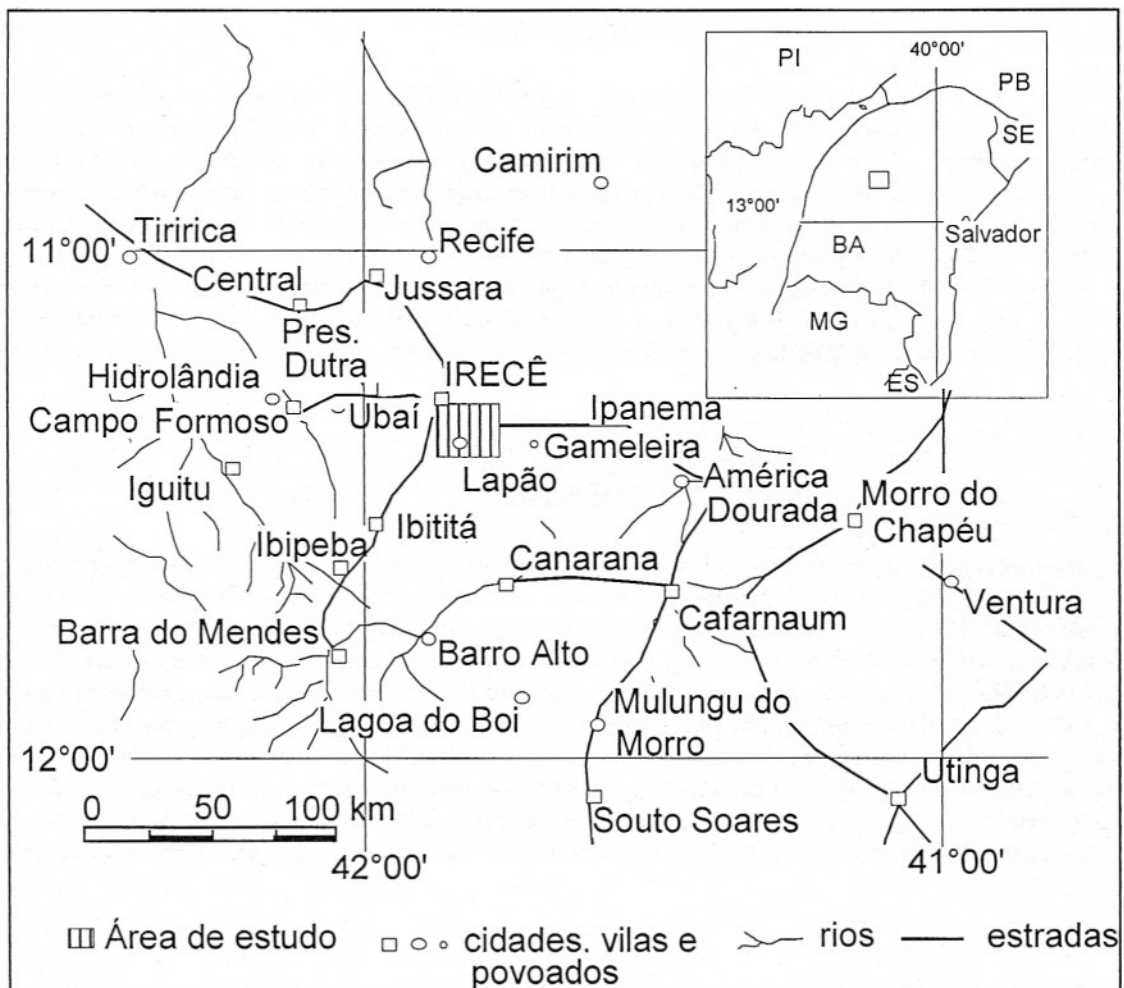


Figura 1 - Mapa de localização da área estudada.

ções cársticas, apresentando altitudes da ordem de 750 m.

Os dois principais rios que drenam a região são o Verde e o Jacaré, ambos afluentes do médio Rio São Francisco.

O clima da região é semi-árido segundo a classificação de Köppen (Bsh), caracterizado por temperatura média anual em torno de 25°C e pluviosidade média anual da ordem de 600 mm, irregularmente distribuída e concentrada entre os meses de novembro e abril. A vegetação nativa, a caatinga hipo e hiperxerófila, em virtude da fertilidade natural dos solos, foi, em larga escala, destruída para dar lugar às culturas sazonais de milho, feijão e mamona.

Do ponto de vista da geologia, a área de estudo encontra-se situada na unidade estrutural denominada Bacia de Irecê (Misi, 1979), localizada na porção central do cráton São Francisco, onde ocorreu a deposição da seqüência carbonática-sedimentar do Grupo Una, cronocorrelato aos sedimentitos do Grupo Bambuí. Esta seqüência faz parte de uma região não afetada pela orogênese brasileira (600 Ma.  $\pm$  100), constituída de coberturas sedimentares do Proterozóico Superior.

O Grupo Una é subdividido em Formação Bebedouro e Formação Salitre. A primeira apresenta-se de forma alongada, bordejando a bacia, e constitui a unidade basal deste grupo. Relaciona-se à sedimentação glaciogênica, enquanto a segunda jaz no topo da seqüência e é, tipicamente, de origem marinha, constituída, particularmente, por sedimentos argilosos e carbonatos, sendo bem mais argilosa e detrítica no Grupo Bambuí e bem mais carbonatada no Grupo Una (Misi, 1979).

A Formação Salitre abrange uma área bem maior que a da Formação Bebedouro, sendo seus terrenos caracterizados por solos espessos e relevo monótono, no qual

se destacam morros sustentados por camadas dolomitizadas e/ou silicificadas. Os contatos com a Formação Bebedouro podem ser concordantes ou interdigitados. A idade admitida para a deposição da Formação Salitre situa-se entre 767 e 900 M.a. A referida formação é constituída por duas unidades distintas, com base nos ambientes deposicionais. A primeira é representada pelos calcilitos, pelitos e margas de laminação planoparalela, e laminitos algais. A outra, pelos calcarenitos, dolarenitos oolíticos quartzosos, silixitos ooidais com estromatólitos e calcários intraclásticos, dominados, ocasionalmente, por laminações cruzadas.

O primeiro conjunto faciológico é interpretado como um ambiente de planície de maré, onde predominam os processos de suspensão sobre os de tração, com períodos de exposição. O segundo é tido como um ambiente de intermaré a submaré, na zona de influência de águas marinhas e continentais. Os termos oolíticos intercalados aos dololitos indicam processos de tração em águas agitadas, alternados a processos de suspensão (Bomfim *et al.*, 1985).

## APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

No estudo das diferentes fácies dos minérios fosfatados, foram amostrados perfis de alteração desenvolvidos atualmente sobre estromatólitos mineralizados em  $P_2O_5$ , onde puderam ser definidas, além do minério primário, as várias fácies dos minérios secundários e amostras superficiais, representando um outro tipo de minério secundário, de ocorrência mais localizada, denominado "rolados".

As características mineralógicas e cristal químicas do minério fosfatado e sua evolução foram estudadas por microscopia óptica,

difração de raios X, microscopia eletrônica de varredura e espectrometria infravermelha (espectros tratados com transformada de Fourier). A evolução geoquímica, por sua vez, apoiou-se em análises químicas globais para elementos maiores (espectrometria de absorção atômica, colorimetria, fotometria de chama e gravimetria) e para os elementos terras raras (ativação neutrônica). Os teores em  $CO_2$  das apatitas foram obtidos por espectrometria infravermelha, utilizando os métodos propostos por Lehr *et al.* (1968) e Sheib *et al.* (1984, in Nathan, 1984). Os parâmetros da cela unitária *a* e *c* das apatitas foram calculados através dos dados de difratometria de raios X, pelo método utilizado por Flicoteaux (1982) e comparados aos obtidos por Lehr *et al.* (1968), Freund & Knobel (1977), Farmer (1974), McClellan (1980), Slansky (1980) e Baumer *et al.* (1990).

### Minério primário

A mineralização primária está relacionada a uma fácies interpretada como submaré superior, na qual se desenvolveram estromatólitos colunares e calcarenitos dolomíticos/dolarenitos de granulção fina a grossa, de cor creme avermelhada a cinza escura da Formação Salitre do Grupo Una (unidade Nova América). Estas rochas apresentam intervalos mineralizados, com espessuras variáveis (até 25 m), de acordo com observações feitas nos testemunhos de furos de sondagens realizados pela CBPM (Monteiro, 1988, 1989 e 1990).

As mineralizações fosfatadas estão associadas ao estromatólito do tipo colunar de crescimento vertical, predominando os organismos dos Supergrupos Kussielides (tipo *Jurusania Krylov*) e *gymnosolenides* (tipo *Gymnosolen*). As mineralizações ocorrem:

- nas estruturas colunares cilíndricas a sub-cilíndricas dos estromatólitais, representada por finas camadas de colofana criptocristalina, incolor, alternando-se com camadas de carbonato de cálcio/magnésio; estes arranjos cilíndricos alcançam comprimentos de até 12 cm;

- nos espaços entre as estruturas colunares estromatolíticas, ocorrendo como clastos, associados a calcários dolomíticos, e oóides globulares, de cor escura, de carbonato e fosfato.

Algumas estimativas para a composição mineralógica quantitativa do minério primário, obtidas pelo método utilizado por Lucas & Prevot (1984), o qual relaciona a altura dos picos de maior intensi-

dade dos difratogramas de raios X dos diferentes minerais com sua porcentagem, revelaram a presença de apatita (74%), dolomita (24%), calcita (12%) e quartzo (1%). A apatita, único mineral de minério, apresenta características (parâmetro cristalográfico  $a = 9,365 \text{ \AA} \pm 0,004 \text{ \AA}$ ) que a coloca próxima de uma fluorapatita padrão ( $\sim 9,367 \text{ \AA}$ , de acordo com McClellan, 1980), com baixo teor de  $\text{CO}_2$  ( $\sim 1,5\%$ ).

Amostras de sondagens, analisadas por Boujo *et al.* (1994), permitiram caracterizar quimicamente o minério primário:  $\text{SiO}_2$  (1,8%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (0,7%),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (0,4%),  $\text{MgO}$  (5,45%),  $\text{CaO}$  (47,4%),  $\text{P}_2\text{O}_5$  (28,9%) e P.F. (12,5%).

## Estudo das Alterações (minérios secundários)

### As alterações atuais

Os perfis amostrados estão localizados nos alvos Fazenda Juazeiro e Fazenda Três Irmãs (Fig. 2), assim definidos no Projeto Irecê-Lapão (Monteiro, 1988, 1989 e 1990). A partir do estudo de vários perfis de alteração, encontrados em pedreiras e trincheiras localizadas na área de estudo, foi possível esquematizar um perfil que representasse um modelo, incluindo todas as fácies de alteração existentes na região. Com base nas diferenças mineralógicas e morfológicas apresentadas pelo

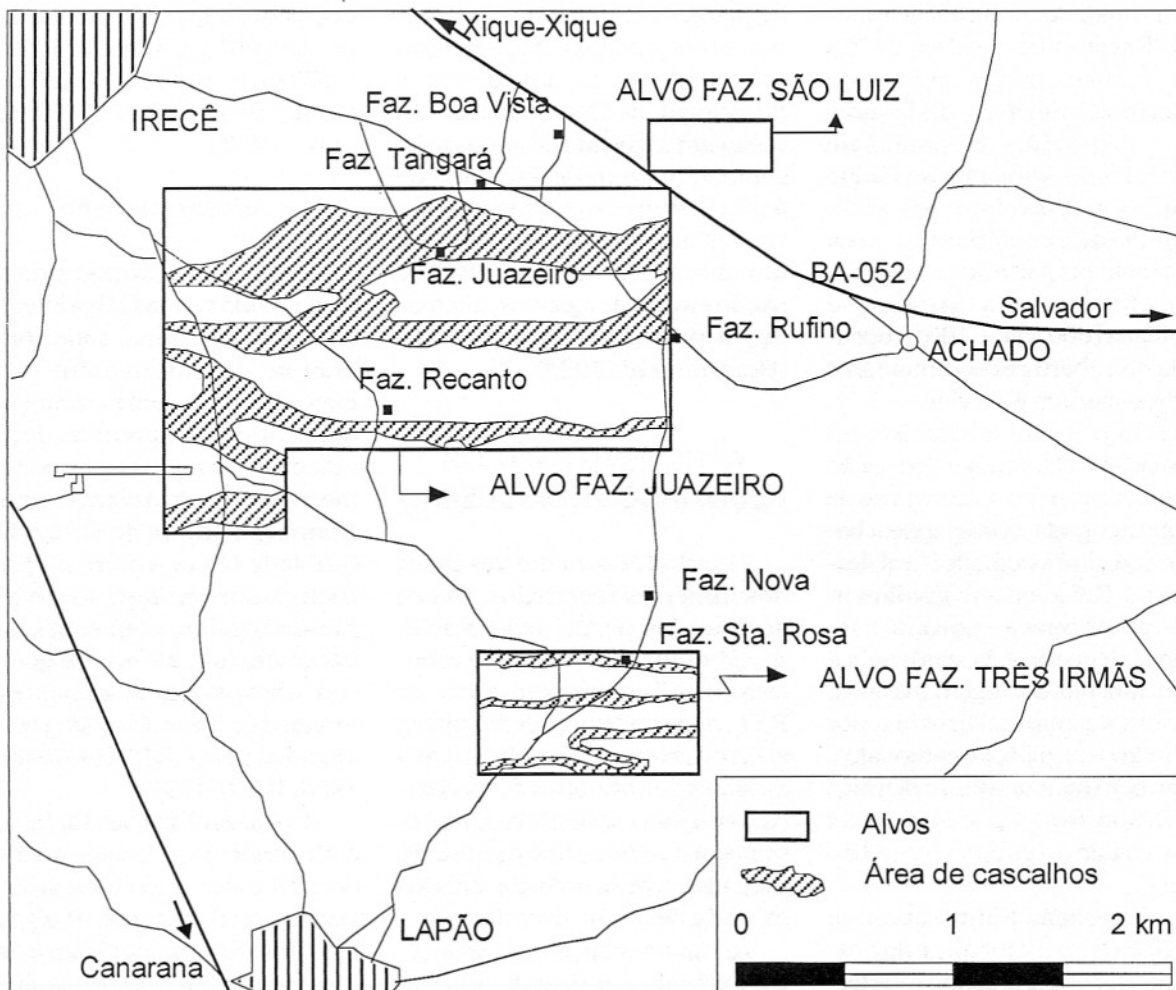


Figura 2 - Mapa de localização de alvos do Projeto Irecê Lapão Fase III, Reprogramação (CBPM).

material constituinte, o perfil tipo apresenta, da base para o topo, a seguinte distribuição de fácies: (a) rocha fresca (minério primário), (b) casa de abelha (minério lixiviado), (c) cascalho com estrutura preservada e cascalho sem estrutura preservada (minério eluvial) e (d) solo (Fig. 3).

A fácies casa de abelha representa o estágio inicial de alteração, em contato brusco e irregular com a fácies rocha fresca. A estrutura primária, do tipo estromatolítica, encontra-se totalmente preservada, apresentando vazios e restos de carbonato entre as colunas e entre as camadas da coluna enriquecida em apatita. Os vazios, provenientes da dissolução dos carbonatos, podem estar parcialmente preenchidos por fragmentos de estromatólito, que aparecem no seio de uma matriz areno-argilosa de cor avermelhada, rica em quartzo e caolinita. A fase

apatítica identificada aos raios X é a fluorapatita, a qual apresenta uma textura granular, com granulometria muito fina (<1 mm de diâmetro), semelhante à do minério primário.

A fácies cascalho, tipicamente eluvial, provém da evolução da fácies casa de abelha, que se desagrega em fragmentos heterométricos. Esta fácies foi subdividida em duas subfácies: uma, onde o minério "casa de abelha" mostra-se fraturado, porém com os fragmentos justapostos, sem deslocamento - subfácies cascalho com estrutura preservada. Os espaços intercolunares, mais importantes que na fácies anterior, encontram-se totalmente preenchidos pelo mesmo material areno-argiloso avermelhado encontrado na casa de abelha. Na outra subfácies, os fragmentos aparecem remanejados e deslocados, o que provoca uma importante variação

de volume - subfácies cascalho sem estrutura preservada. Nesta subfácies, a matriz areno-argilosa avermelhada, rica em quartzo e caolinita, é dominante, tornando-se cada vez mais importante à medida que se sobe no perfil. Os fragmentos, por sua vez, para o topo do perfil, diminuem de tamanho e de quantidade aparecendo imersos na matriz. As características estruturais, texturais e mineralógicas dos fragmentos (cascalhos) são semelhantes àquelas encontradas na fácies casa de abelha. Fluorapatita, com características morfológicas semelhantes àquelas encontradas no minério primário, continua sendo o mineral dominante nos fragmentos (cascalhos).

Os solos que recobrem as fácies de alteração dos estromatólitos, em geral pouco espessos (< 1 m), não constituem minério. São, em geral, representados pelos Cambissolos eutróficos de tex-

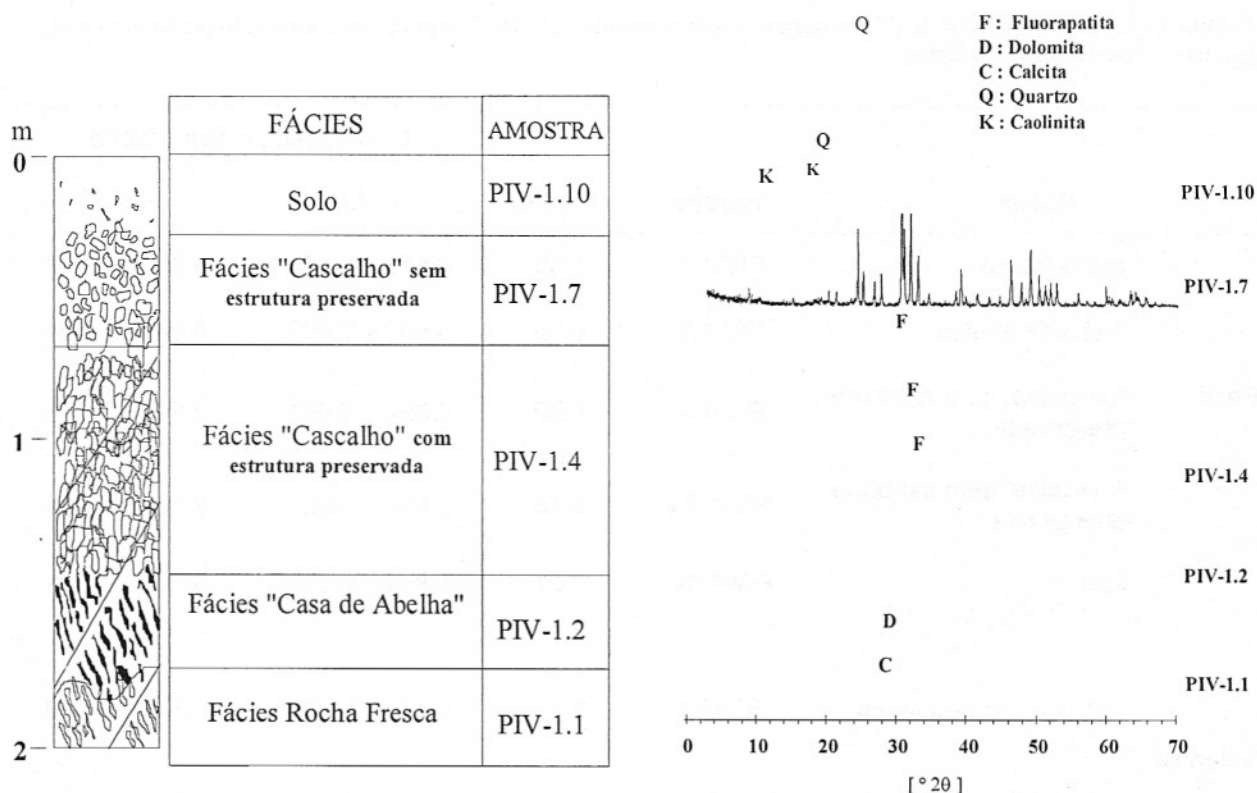


Figura 3 - Perfil de alteração e difratogramas de raios X das diferentes fácies do perfil.

tura média argilosa (EMBRAPA-SNLCS, 1974). No perfil tipo, cerca de 5% do volume total do solo é constituído por cascalho (0,2 a 2,5 cm) de fragmentos estromatolíticos, quartzo, concreções de ferro e de manganês. A mineralogia da fração < 2 mm é constituída de quartzo, caolinita e traços de apatita.

A preservação da apatita, único mineral de fosfato encontrado nas diferentes fácies do minério secundário e no solo, possibilitou estudos cristalóquímicos comparativos com a fluorapatita do minério primário. Estudos por difratometria de raios X e por espectroscopia infravermelho (Ferrari *et al.*, 1993; Ferrari, 1994) permitiram constatar que as apatitas encontradas nas diferentes fácies do perfil tipo são muito próximas da apatita original, diferenciando-se por apresentarem teores cada vez mais baixos em CO<sub>2</sub>, em direção

ao topo do perfil, e ligeiras variações nos parâmetros *a* e *c* da cela unitária (Tabela 1). Esses dados, comparados com aqueles obtidos por McClellan (1980) e Slansky (1980) permitiram situar as apatitas das diferentes fácies do minério secundário como um tipo intermediário entre a fluorapatita e a francolita.

Os resultados das análises químicas obtidos para o perfil tipo (Fig. 4) indicam que, inicialmente, na primeira fase de alteração, ocorre um enriquecimento de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, o qual se mantém aproximadamente constante nas fácies alteradas (PIV-1.2 e PIV-1.7), diminuindo, bruscamente, no solo (PIV-1.10). O aumento de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> observado nas fácies de alteração deve-se, principalmente, à preservação dos cristais de apatita, resistentes ao intemperismo de clima semi-árido e à intensa lixiviação dos carbonatos, que pratica-

mente são eliminados já nas fases iniciais de alteração, como pode ser constatado pelo quase total desaparecimento do MgO na fácies casa de abelha (PIV-1.2) e diminuição no valor da razão CaO/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Trata-se, portanto, de um enriquecimento relativo de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Todas as fácies de alteração apresentam-se enriquecidas em ETR em relação à rocha fresca (Fig. 5a). A curva de distribuição dos elementos na fácies casa de abelha guarda uma certa semelhança com a rocha fresca, enquanto as amostras de solo, apesar de apresentarem-se também enriquecidas, exibem um padrão de distribuição distinto, com nítido empobrecimento em ETRP.

Comparando-se os padrões ETR com a mineralogia apresentada pelas diferentes amostras do perfil, pode-se estabelecer que os minerais fixadores de ETR não são os mesmos nos diferentes horizon-

**Tabela 1** - Conteúdo médio de CO<sub>2</sub> obtido por infravermelho (\* DRX) e parâmetros cristalográficos (*a* e *c*) das apatitas do perfil e dos "rolados".

Fácies	amostra	CO <sub>2</sub> (%)	Dimensões da cela unitária		
			<i>c</i> (Å)	<i>a</i> (Å)	
rocha fresca	PIV-1.1	1,55	6,879 ± 0,004	9,359 ± 0,007	
"casa de abelha"	PIV-1.2	0,88	6,890 ± 0,002	9,369 ± 0,004	
Perfil	"cascalho" com estrutura preservada	PIV-1.4	0,79	6,892 ± 0,001	9,369 ± 0,005
	"cascalho" sem estrutura preservada	PIV-1.7a	0,76	6,890 ± 0,001	9,366 ± 0,004
	solo	PIV-1.10	0,61	6,899 ± 0,008	9,368 ± 0,011
"rolados"	tipo nódulos pequenos	IV-4A *	3,15	6,882 ± 0,004	9,344 ± 0,010
	tipo nódulos maiores	IV-4B *	1,70	6,888 ± 0,007	9,357 ± 0,007

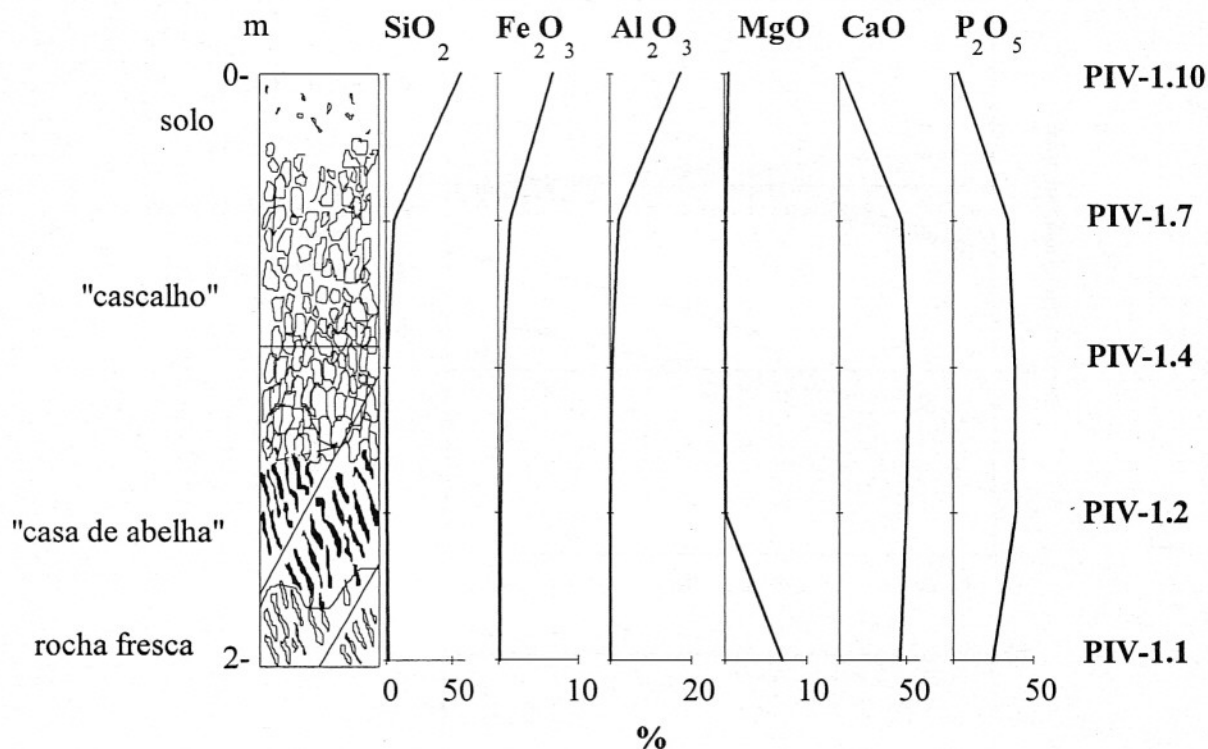


Figura 4 - Distribuição dos principais elementos no perfil de alteração.

tes. No minério primário e na fácies casa de abelha, os ETR estariam concentrados única e exclusivamente na fluorapatita, enquanto, no solo, seriam os argilominerais os principais concentradores de ETR. A fácies cascalho deve ser considerada intermediária entre as duas situações anteriores por apresentar curvas de distribuição de ETR que poderiam indicar contribuição da argila e da apatita. Assim, a análise dos padrões de ETR permite agrupar os minérios fosfatados, que evoluem a partir da rocha fresca mineralizada. A medida que ocorre um enriquecimento em P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, verifica-se, igualmente, um enriquecimento em ETR, conservando o aumento dos ETR em relação aos ETRP em todas as fácies onde a apatita encontra-se preservada. Os solos apresentam valores bem mais elevados em ETR, entretanto a curva de distribuição exibe empobrecimento em ETRP.

#### As paleoalterações

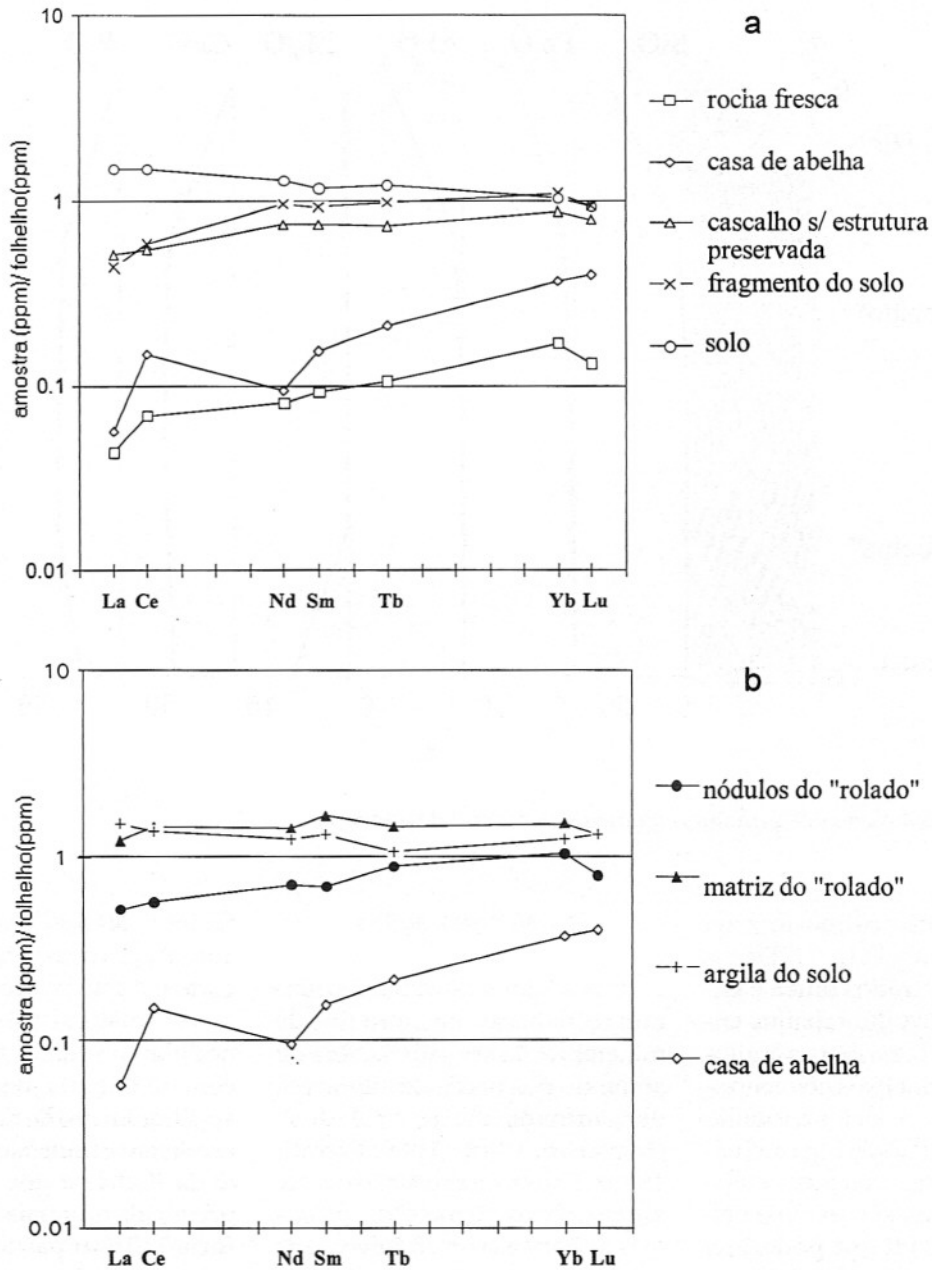
Os estudos realizados permitiram reconhecer um outro tipo de mineralização secundária, fora do contexto dos perfis de alteração, denominada fácies "rolados" (Monteiro, 1988 e 1989; Ferrari, 1994). Esta mineralização ocorre em pequenas depressões, próximas a níveis estromatolíticos, que ocupam as posições mais elevadas do relevo, observadas na área do alvo Fazenda São Luiz.

Trata-se de blocos e seixos arredondados, de superfície ferruginizada e lisa. O material é, provavelmente, resultante do desmantelamento de um nível de brecha ou conglomerado, contendo fragmentos de estromatólitos, quartzo, nódulos envolvidos por matriz alumino-fosfatada. Duas fácies foram identificadas: "rolados" do tipo nodular, cujos fragmentos são revestidos por um córtex alumino-fosfatado, e a

fácies "rolados" do tipo brecha, com fragmentos angulares, sem córtex, e com pouca matriz.

As análises totais da fácies nodular, obtidas sobre amostras com nódulos pequenos e grandes ao difratômetro de raios X (Fig. 6), revelaram a mineralogia dominante da matriz e dos nódulos. Os principais minerais identificados foram fluorapatita, dolomita, calcita, millisita e quartzo.

A matriz apresenta-se com textura granular (<1 mm), constituída de fosfato aluminoso (millisita), fluorapatita, quartzo e rara gibbsita. Ao MEV, observou-se que os vazios presentes na matriz, nos fragmentos e nos nódulos estão, indiscriminadamente, preenchidos por apatitas secundárias nas mais variadas formas (Pr. I - Fotos 1, 2, 3, e 4) e crandallita, cujos finos cristais (5 mm) apresentam-se na forma de pequenos tetraedros (Pr. I - Fotos 5 e 6). As apatitas podem ocorrer associadas à



**Figura 5** - Distribuição dos ETR, normalizados para o folhelho: a - diferentes fácies do perfil. b - nódulos e matriz da fácies "rolados".

caolinita com hábito de *acordeon* (Pr. II - Fotos 1, 2 e 3) (Ferrari, 1994).

Alguns cristais de fluorapatita apresentam feições de dissolução, tanto na superfície como no interior (Pr. II - Fotos 4, 5 e 6). Aos raios X, estes cristais apresentaram parâmetros cristalográficos próximos aos da fluorapatita. A espectroscopia ao infravermelho indicou que a apatita é mais

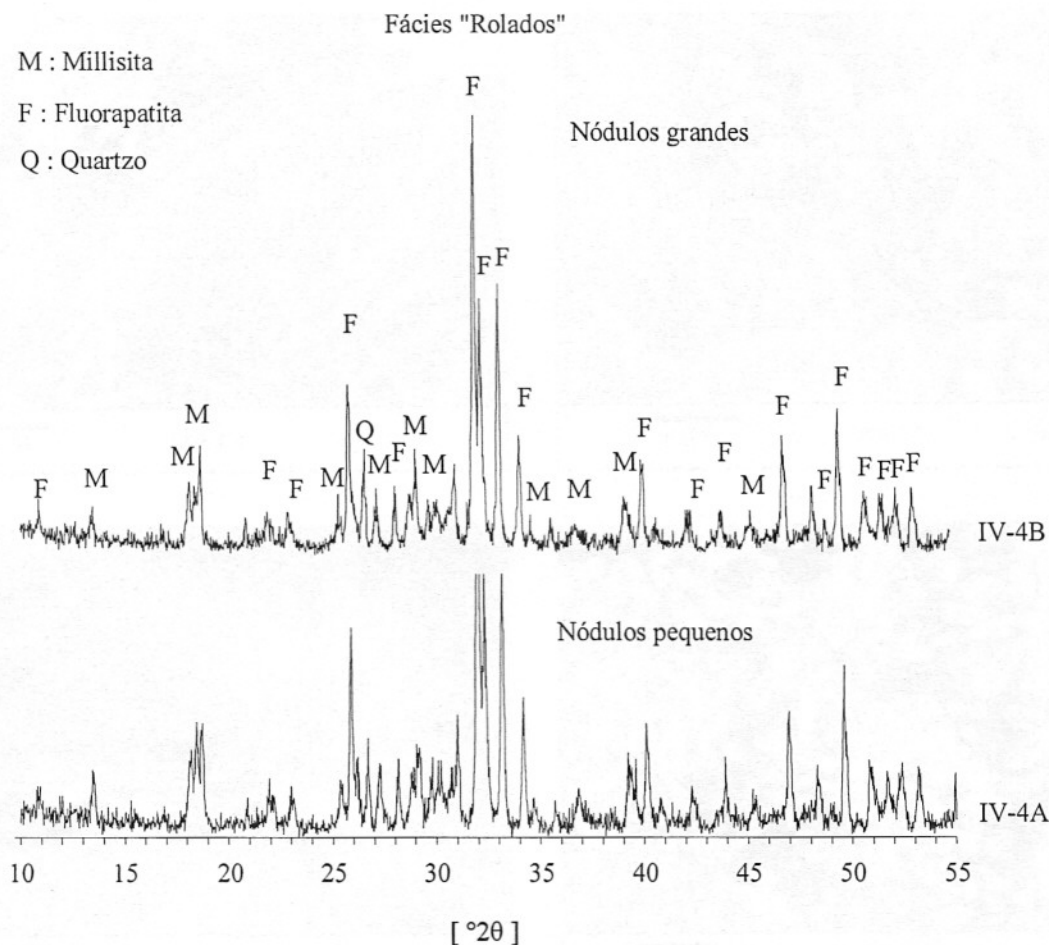
enriquecida em  $\text{CO}_2$  que as apatitas da fácies rocha fresca, com valores maiores na matriz (Tabela 1).

Os nódulos são, freqüentemente, constituídos de um núcleo fosfatado, em geral representados por fragmentos de estromatólitos (1 a 5 mm), de forma irregular. Trata-se de calcarenitos e dolomitos revestidos por uma pelí-

cula (0,5 a 3 mm) de fosfato de alumínio criptocristalino (millisita?) de coloração esbranquiçada, microlaminada, alternando-se com camadas mais ricas em Fe.

Estes nódulos, ao microscópio óptico, aparecem fragmentados na matriz, o que é observado pelo truncamento das estruturas do revestimento. A camada externa dos nódulos é circundada por vazios





**Figura 6** - Difractogramas de raios X da fácies "rolados" do tipo nodular.

preenchidos, freqüentemente, por apatitas secundárias.

O minério fácies "rolados", cujas características morfológicas e mineralógicas são totalmente diferentes daquelas apresentadas pelo material do perfil tipo, mostra um teor de  $P_2O_5$  semelhante ao das fácies casa de abelha e cascalho (PIV-1.2, PIV-1.4 e PIV-1.7). No entanto, o teor de CaO é menor do que os teores observados nos minérios do perfil. O baixo valor da razão  $CaO/P_2O_5$  pode ser explicado pela presença de fosfatos aluminosos tipo crandallita e millisita, atestado pelo alto teor de Al e baixo teor de Si da fácies "rolados".

Analisando os padrões de ETR das amostras da fácies "rolados",

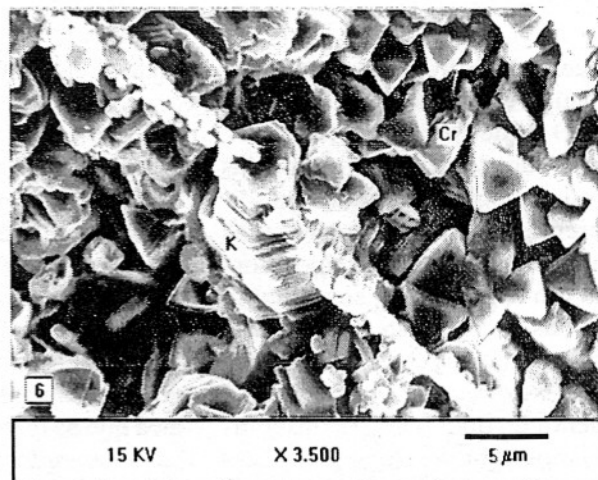
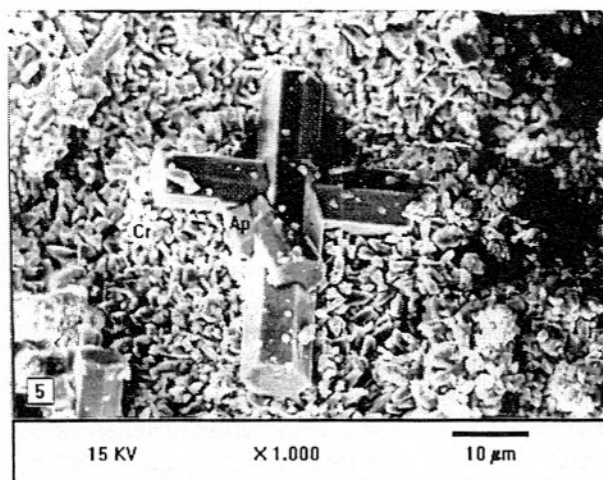
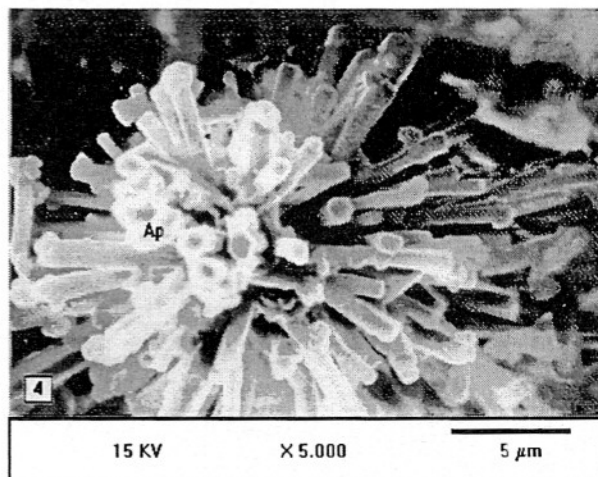
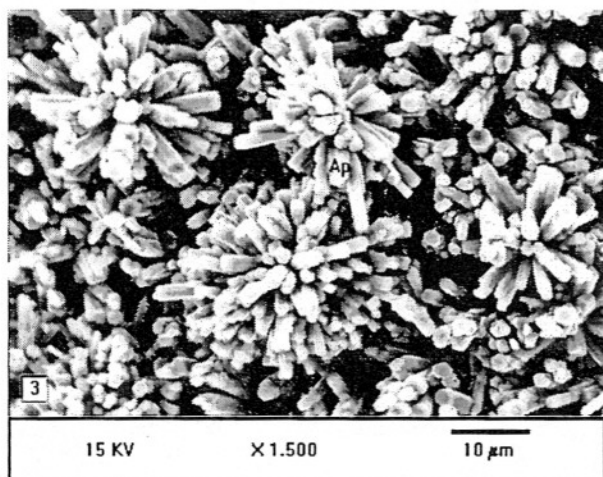
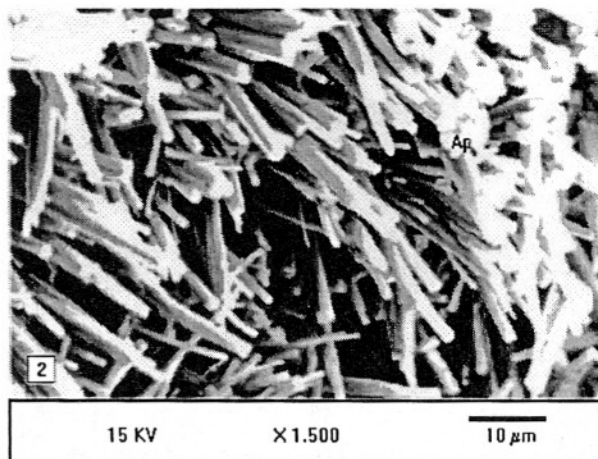
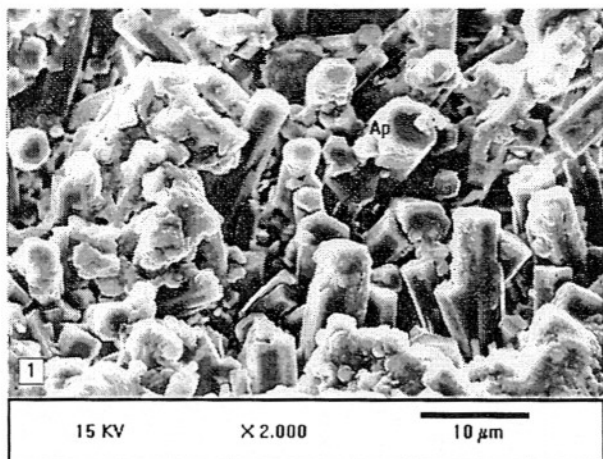
pode-se encontrar uma identidade com as amostras do perfil. Os nódulos da fácies "rolados", constituídos de estromatólitos, apresentam uma curva de distribuição de ETR semelhante à apresentada pela fácies cascalhos, porém com teores mais elevados (Fig. 5b). Já o padrão apresentado pela matriz dos "rolados" é semelhante ao padrão da matriz dos solos, o que indica que os ETR estariam associados aos argilominerais.

Na fácies "rolados", os cristais de fluorapatitas analisados ao MEV apresentam estruturas de corrosão, evidenciando a liberação de pequenas quantidades de  $P_2O_5$ , que podem, provavelmente, reagir com outros elementos, dando origem a fosfatos secundários.

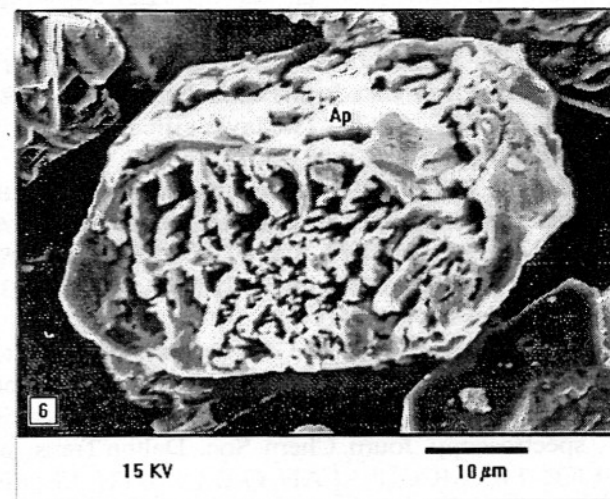
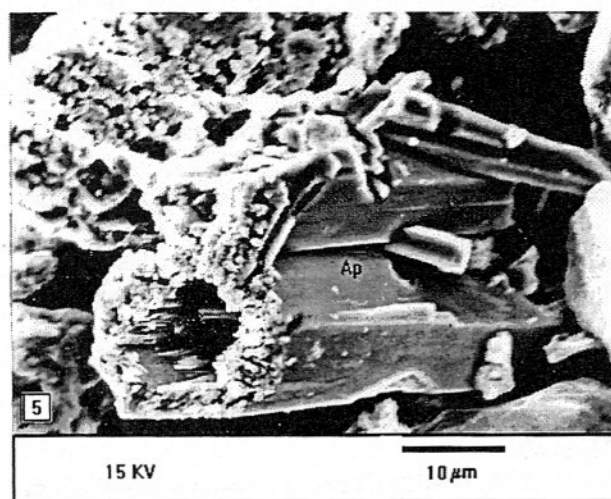
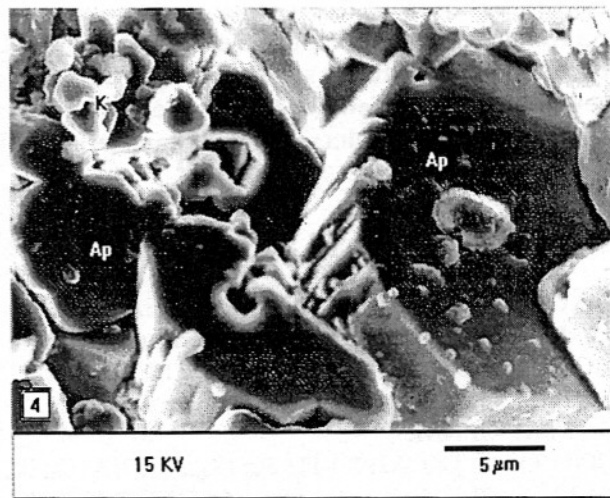
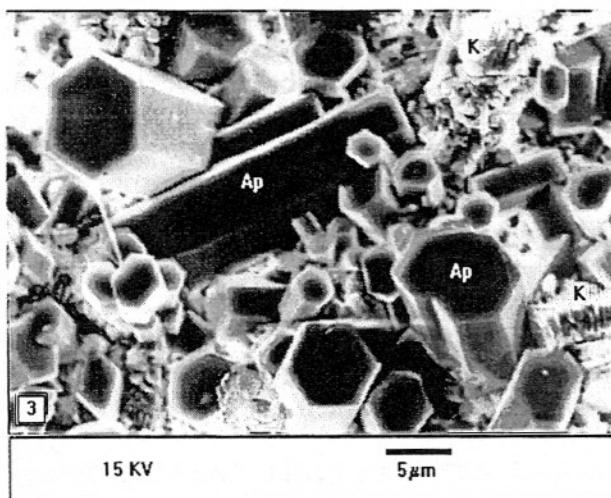
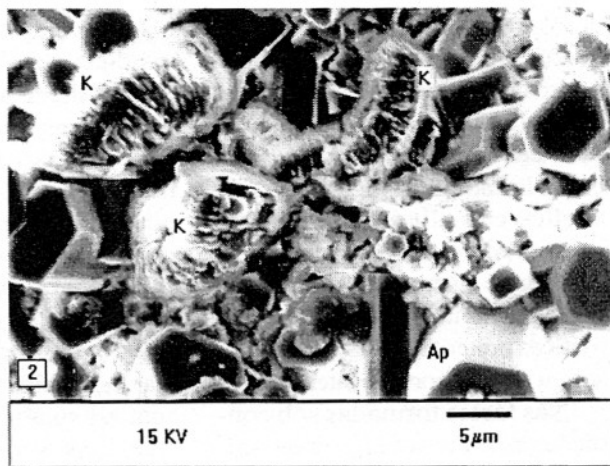
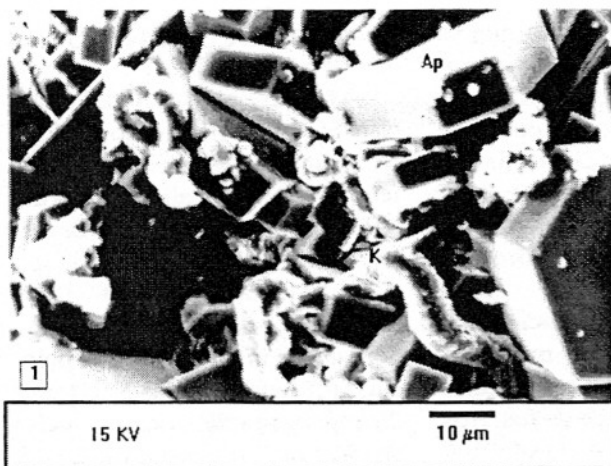
As análises efetuadas no presente trabalho permitiram colocar em evidência a existência de dois diferentes processos de alteração superficial do estromatólito mineralizado em fosfato. O primeiro deu origem ao perfil estudado na pedreira sendo caracterizado pela preservação da apatita em todas as fases de evolução (casa de abelha e cascalho), enquanto o segundo forma um material rico em fosfato aluminoso, tipo "rolados".

## CONCLUSÃO

Podemos afirmar que o intemperismo do minério de fosfato de Irecê promove a formação de diferentes tipos de minério secun-



**Prancha 1** - Fotomicrografia 1 - Apatitas secundárias com hábito prismático. (MEV); Fotomicrografia 2 - Apatitas secundárias com hábito fibroso. (MEV); Fotomicrografias 3 e 4 - Apatitas secundárias com hábito prismático e orientação radial. (MEV); Fotomicrografia 5 - Apatita secundária em cruz, imersa em cristais finos de crandalita. (MEV); Fotomicrografia 6 - Detalhes dos cristais de crandalita. (MEV).



**Prancha 2** - Fotomicrografia 1 - Caolinita tipo *acordeal* associadas a apatitas secundárias. Fácies "rolado". (MEV); Fotomicrografia 2 - Detalhe da fotomicrografia 1, mostrando *acordeal*s de caolinita e apatitas secundárias prismáticas. (MEV); Fotomicrografia 3 - Apatitas secundárias com hábito prismático associadas a cristais de caolinita hexagonais. (MEV); Fotomicrografias 4, 5 e 6 - Diferentes tipos de feições de dissolução em apatitas secundárias. (MEV).

dário, resultantes da atuação de dois mecanismos evolutivos. O primeiro, atual, apresenta como produto um material que evidencia estar em equilíbrio com as condições climáticas da região (casa de abelha, cascalho com estrutura preservada e sem estrutura preservada) e o segundo, onde o minério primário, sob condições climáticas pretéritas mais agressivas, sofreu uma importante lateritização.

Nas fácies formadas sob condições de clima atual, o único mineral de fosfato é a apatita do tipo intermediário entre a fluorapatita e a francolita. Sua morfologia e características texturais são preservadas durante a alteração. A apatita, devido a sua alta resistên-

cia ao intemperismo, acumula-se residualmente no perfil de alteração. A alteração das apatitas causou apenas uma ligeira perda de  $\text{CO}_2$ , que não permitiu transformações estruturais importantes, marcadas por uma constância dos valores dos parâmetros cristalográficos *a e c*.

Quanto ao minério fácies "rolados", sua morfologia e mineralogia, caracterizada pela presença de apatitas supérgenas e de fosfatos aluminosos, do tipo crandallita, millisita, caolinita e rara gibbsita, indicam uma alteração bem mais pronunciada, desenvolvida sob a ação de processos típicos de regiões de clima mais úmido e com características laterizantes.

## AGRADECIMENTOS

À Companhia Baiana de Pesquisa Mineral, na pessoa do geólogo M. Monteiro, pelo apoio que foi oferecido durante a realização dos trabalhos de campo, na cessão de material dos testemunhos de sondagens e documentação. Ao Dr. René Flicoteaux, pelas análises espectroscópicas no infravermelho e pelas sugestões apresentadas. Este trabalho representa parte dos resultados da dissertação de Mestrado do primeiro autor, que a concluiu com o auxílio do CNPq, através do Projeto "Geologia, Mineralogia e Geoquímica de Alteração dos Fosfatos de Irecê - Aplicações Econômicas" e FAPESP.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAUMER, A.; CARUBA R.; GANTEAUME M. (1990) Substitutions couplées  $\text{SiO}_4^{4-} + \text{SO}_4^{2-} \rightleftharpoons 2\text{PO}_4^{3-}$  dans le phosphates sédimentaires d'origine marine. 13<sup>e</sup> RAST, Grenoble, Avril 1990.
- BOMFIM, L.F.C.; ROCHA, A.J.D.; PEDREIRA, A.J.; MORAIS FILHO, J.C.; DE GUIMARÃES, J.T.; TESCH, N.A. (1985) Projeto Bacia de Irecê. Relatório final, Salvador. C.P.R.M., 3, Contrato SME / CPM/CPRM.
- BOUJO, A.; TROMPETTE, R.; FLICOTEAUX, R., MELFI, A.J.; AFFATON, P., BLOT, A.; MONTEIRO, M.D.; OLIVEIRA, J.J. DE; MAGAT, P. (1994) Fosfatos sedimentares marinhos do Proterozóico Médio e Superior e do Cambriano da África e do Brasil. Geologia, mineralogia, geoquímica e importância econômica. An. Acad. bras. Ci., **66**(3):293-318.
- EMBRAPA-SNLCS (1979) Levantamento exploratório - reconhecimento de solos da margem direita do rio São Francisco, Estado da Bahia. Bol. Técnico, **52**.
- FARMER, V.C. (1974) The layer silicates. In: V.E FARMER (Ed.) The infrared spectra of minerals. Mineralogical Soc., p.331-363.
- FERRARI, V.C. (1994) Estudo mineralógico e geoquímico dos minérios fosfatados de Irecê, Bahia. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 76p.
- FERRARI, V.C.; MELFI, A.J.; FLICOTEAUX, R. & OLIVEIRA, J.J. (1993) Comportamento das apatitas no intemperismo do minério fosfatado de Irecê, Bahia. In: Cong. Brasil. de Geoq., 4, Brasília. Resumos Expandidos, p.148-150.
- FLICOTEAUX, R. (1982) Gênese des phosphates alumineux du Senegal Occidental. Etapes et guides de l'alteration. Thèse Doctorat, Université d'Aix-Marseille III et Sci. Geol. Mém., Strasbourg, 67, 227p.
- FREUND, F. & KNOBEL, R.M. (1977) Distribution of fluorine in hydroxyapatite studied by infrared spectroscopy. Journ. Chem. Soc., Dalton Trans., p.1136-1140.
- LEHR, J.R.; MCCLELLAN, G.H.; SMITH, J.P.; FRAZIER, A.W. (1968) Characterization of apatites in commercial phosphate rocks. In: Colloque International Phosphates Minéraux Solides. Toulouse, 1967, 2, 29-44, Paris, Masson.
- LUCAS, J. & PREVOT, L. (1984) Synthèse de l'apatite par voie bactérienne à partir de matière organique phosphatée et de divers carbonates de calcium dans les eaux douces et marines naturelles. Chem. Geol., **42**:101-118.
- MCCLELLAN, G.H. (1980) Mineralogy of carbonate fluorapatites. Journ. Geol. Soc. London, **137**:675-681.
- MISI, A. (1979) O Grupo Bambuí no Estado da Bahia. In: H.V. INDA (Org.) Geologia e Recursos Minerais do Estado da Bahia, Salvador. SME/CPM, Textos Básicos, **1**:119-154.

- MONTEIRO, M.D. (1988) Projeto Irecê-Lapão, 1ª etapa. Reprogramação. Relatório não publicado, Convênio SME / CBPM, Salvador, 2 vol.
- MONTEIRO, M.D. (1989) Projeto Irecê-Lapão, 2ª etapa. Reprogramação. Relatório não publicado, Convênio SME / CBPM, Salvador, 2 vol.
- MONTEIRO, M.D. (1990) Projeto Irecê-Lapão, 3ª etapa e reprogramação. Relatório não publicado, Convênio SME / CBPM, Salvador, 2 vol.
- NATHAN, Y. (1984) The mineralogy and geochemistry of phosphorites. *In*: J. O. NRIAGU & P.B. MOORE (Eds.) Phosphates minerals. Springer-Verlag, Berlim, chap. 8, p.275-291.
- SLANSKY, M. (1980) Géologie des phosphates sédimentaires. Mém. du BRGM n° 114, 90 p.