

D A U

Fosfatos Sedimentares Marinhos do Proterozóico Médio e Superior e do Cambriano da África e do Brasil: Geologia, Mineralogia, Geoquímica e Importância Econômica

A. BOUJO¹, R. TROMPETTE¹, R. FLICOTEUX², A. J. MELFI³, P. AFFATON⁴, A. BLOT⁵, M. D. MONTEIRO⁶, J. J. DE OLIVEIRA⁷ e P. MAGAT⁸

¹ORSTOM/ Núcleo de Pesquisa em Geoquímica e Geofísica da Litosfera, NUPEGEL/USP, Brasil

²Faculté de Saint Jérôme, Université d'Aix-Marseille III, França

³Departamento de Geofísica do Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo/ Núcleo de Pesquisa em Geoquímica e Geofísica da Litosfera, NUPEGEL/USP, Brasil

⁴Université du Bénin, Lomé, Togo

⁵ORSTOM, Bondy, França

⁶Companhia Baiana de Pesquisa Mineral, CBPM, Salvador, Brasil

⁷Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil

⁸ORSTOM, Montpellier, França

Manuscrito recebido em 18 de novembro de 1992; aceito para publicação em 24 de setembro de 1993

ABSTRACT

The innumerable deposits, mineralizations and evidences of sedimentary phosphate occurring in middle and upper Proterozoic and in the Cambrian of Brazil and western Africa led to the definition in this region of an important phosphate province (Afro-Brazilian phosphate province).

Geological, mineralogical, geochemical and economical studies carried out in Brazil (Irecê, BA; Rocinha, Lagamar, Patos de Minas, MG) and in Africa (Namel, Senegal; Bassar, Togo; Park W, Niger; Kodjari, Burkina Faso; Nouedgui and Bou Naga, Mauritania) made the characterization of this province possible.

Considering the geological point of view the existence of a close association between the phosphate genesis and the transition craton Pan-African/Brasiliano fold belt adjacent ridge was observed. The position of the Irecê phosphate, in the craton, must be considered as an exception. On the other hand it was possible to observe that phosphate genesis is younger in Brazil; starting in the middle Proterozoic and going on through upper Proterozoic. In Africa, the phosphate genesis appears only in the upper Proterozoic, extending for a longer period of time, up to lower Cambrian (Namel phosphate).

As regards mineralogical and geochemical aspects, the mineral of the phosphate ore deposit in the whole province is a fluor-apatite, sometimes with fluor deficit, preserving the chemical characteristics of carbonate-fluor-apatite. In the occurrence affected by metamorphism and/or weathering, the apatites show replacement of fluor by small amounts of hydroxyles.

Considering the economical aspects, these deposits, up to now, are only used for the production of milled natural or slightly acidified phosphates, strictly for regional uses. Nevertheless, their economical interest should not be underestimated, since the deposits of this province are situated in regions where the local economy does not allow agricultors access to high quality fertilizers and consequently which are too expensive for them.

Key words: sedimentary phosphates, Proterozoic, Cambrian, Africa, Brazil, geology, economics.

17 JUL. 1995

ORSTOM Fonds Documentaire

N° 41850 eal

Cote : B

An. Acad. bras. Ci., (1994) 66 (3)

INTRODUÇÃO

Durante a primeira metade deste século, o desenvolvimento agro-industrial conduziu à exploração e utilização intensivas dos fosfatos. No caso particular dos fosfatos marinhos, as principais jazidas exploradas estavam relacionadas a ocorrências pertencentes ao Cretáceo-Terciário. Foi somente no início dos anos 60, que as descobertas de inúmeras jazidas, distribuídas pelos cinco continentes, mostraram a importância do Proterozóico (sobretudo do Proterozóico médio e superior) e do Cambriano como grandes períodos geradores de fosfatos. Assim, indícios, mineralizações e jazidas dessa idade, são conhecidas na Europa (URSS, na sua parte asiática: Kazakhstan, Kara Tau), na Ásia (Mongólia, Coreia, China, Vietnam, Índia, Paquistão), na Austrália (Queensland, Northern Territories), na América do Norte (Michigan, Minnesota, de recente descoberta), na América do Sul (Brasil central e Bahia) e na África (principalmente África ocidental). A descrição dessas mineralizações deu origem a numerosos artigos, que foram reunidos na síntese "Phosphate deposits of the World" (Cook & Shergold, 1986). Nesta síntese podem ser destacadas as revisões regionais, como por exemplo aquelas feitas por Howard (1986) para a Austrália, Notholt & Brasier (1986) para a Europa, Slansky (1986) para a África, Li Yueyan (1986), Yanshin e Banerjee (1986) para a Ásia (respectivamente para a China, Rússia da Ásia e Mongólia e Índia), Christie & Sheldon (1986) para a América do Norte e Dardenne *et al.* (1986) para o Brasil. Somente uma pequena parte dessas mineralizações fosfatadas apresentam importância econômica. A finalidade deste trabalho é apresentar de forma sucinta os conhecimentos obtidos, até o presente momento, sobre os fosfatos proterozóicos e cambrianos, limitados ao conjunto Brasil e margem adjacente da África ocidental. Esta síntese justifica-se, não só pelo fato destas duas regiões terem pertencido, durante o Proterozóico e Cambriano, ao mesmo bloco continental, mas também pelas grandes semelhanças estratigráficas e paleogeográficas (Parenti Couto, 1985) (Figs. 1a e 1b) que permitem considerá-las como uma mesma província fosfática proterozóica-cambriana. Esta síntese apóia-se no estudo

das recentes descobertas no Brasil (Irecê) e Togo (Bassar) e no estudo de ocorrências já conhecidas no Senegal (Namel) e Brasil (Rocinha) que vêm completar e ampliar os dados apresentados por McClellan & Saavedra (1986), Blot *et al.* (1988), Boujo *et al.* (1988), Pascal & Aregba (1989), Rocha Araujo *et al.* (1992).

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DA PROVÍNCIA FOSFÁTICA

CONTEXTO GEOLÓGICO DAS OCORRÊNCIAS DE FOSFATOS NA ÁFRICA

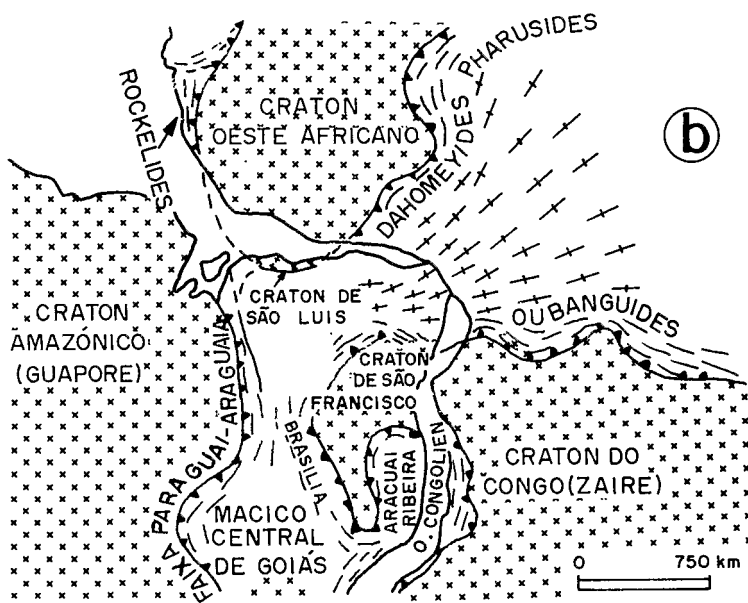
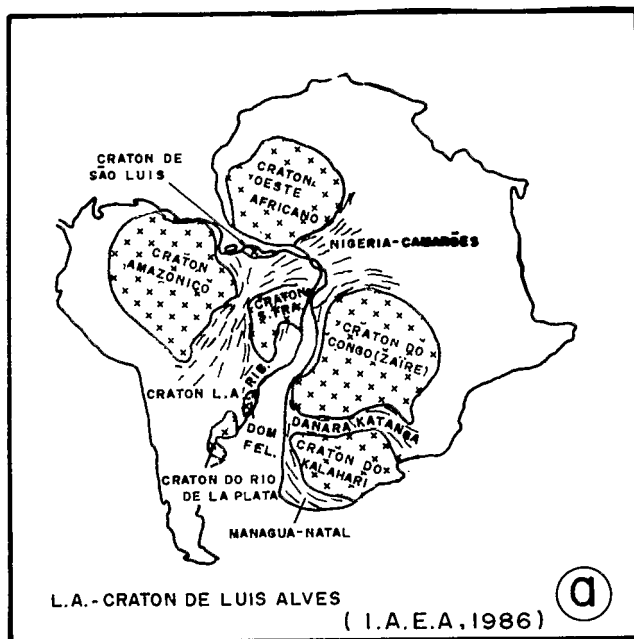
Do lado africano (Fig. 2), Slansky (1986) apresenta o posicionamento dos fosfatos em seu contexto estratigráfico e estrutural. Este trabalho, assim como a recente correlação entre a América do Sul e África, efetuada por Trompette (no prelo), com base na história da parte ocidental do Gondwana entre 2.000 e 500 Ma., fornecem a esta pesquisa os elementos de correlação indispensáveis.

A parte oeste da África, onde as ocorrências se concentram, é caracterizada pela existência de um craton constituído de terrenos arqueanos e proterozóicos inferior, estabilizados ao redor de 2.000 Ma. pela orogênese eburneana. Este craton aflora na parte norte (Dorsal Reguibat) e sul (Dorsal de Man) da área considerada. Na porção restante da área, ele está extensivamente mascarado por coberturas que constituem sua "superestrutura". Distingue-se uma seqüência inferior, de cerca de 1.000 a 600 Ma., sincrônica do ciclo Pan-africano-Brasiliiano e uma seqüência superior de idade essencialmente fanerozóica (Bozhko *et al.*, 1971; Clauer *et al.*, 1982).

Estas coberturas delimitam várias bacias (Fig. 2):

— a imensa bacia de Taoudéni, que ocupa a parte central do craton. A seqüência inferior é espessa de algumas centenas de metros a mais de 3000 metros (Bronner *et al.*, 1980). A seqüência superior fanerozóica mascara parcialmente, em direção nordeste, os contatos com a cadeia transahariana (Hoggar) de idade pan-africana;

— a bacia de Tindouf, ao Norte, que engloba uma seqüência inferior pouco espessa e de extensão re-






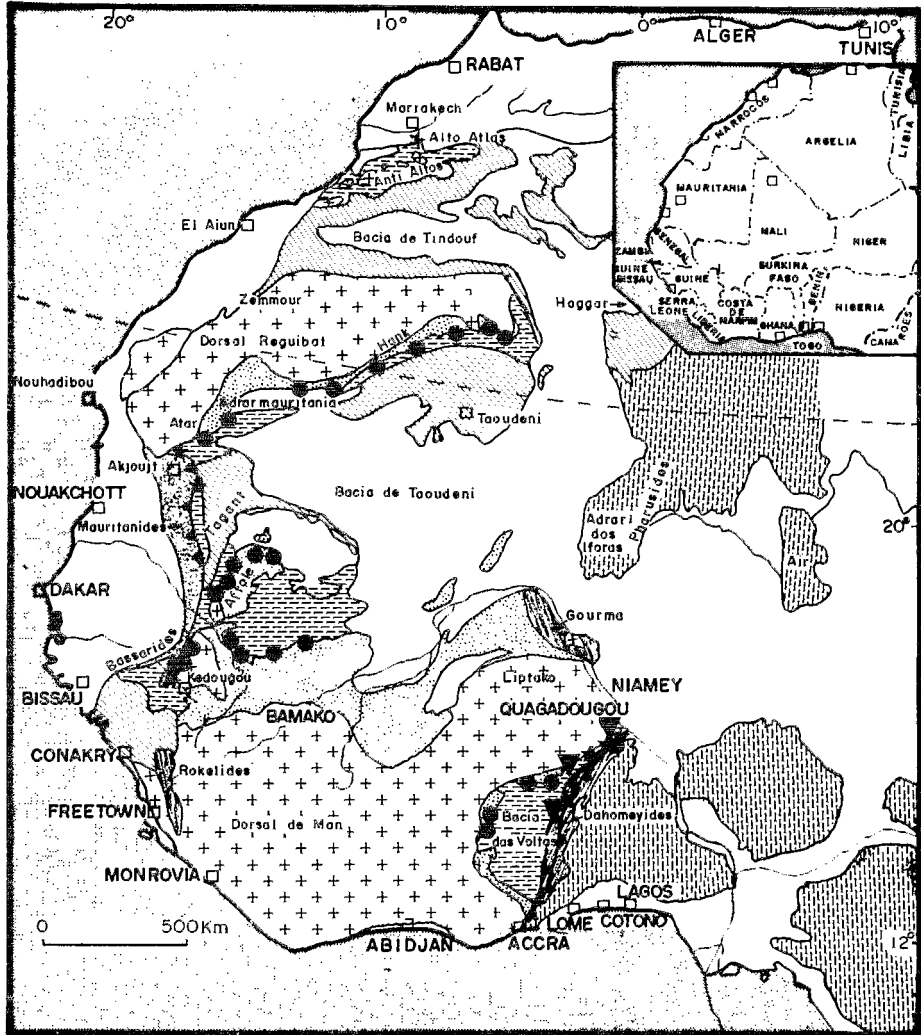
-  Faixas de idade panafricana / brasileira com sentido da vergencia
-  Embasamento policíclico geralmente remobilizado no panafricano
-  Embasamento Arqueano, Birrimiano / Transamazônico

Fig. 1 — Esquema estrutural das relações entre a África Ocidental e o Brasil no Proterozóico superior (segundo Trompette, 1984).



- | | | | |
|--|---|--|--|
| | Cinturão pos-paleozóico e alpino | | Ordoviciano Superior e mais jovem |
| | Ordoviciano inferior, Cambriano, Proterozóico Terminal | | Proterozóico Superior |
| | Embasamento Pré-cambriano | | Cinturão das Mauritanides |
| | Formações sedimentares dobradas e parcialmente metamorfisadas durante a orogénese panafricana | | Rochas metamórficas panafricanas e embasamento reativado |
| | Fosforita (Jazida potencial) | | Tilito (<i>in</i> Deynoux e Trompette, 1976) |
| | Indício | | Cavalgamento |

Fig. 2 — Mapa geológico esquemático da África do Oeste (Slanky, 1986 e Boujo & Blot, 1988).

duzida (Sougy, 1964). Naquela das Voltas, a sudeste, a seqüência é ampla e atinge 3000 m de espessura (Affaton, 1990);

— os pequenos afloramentos das “Séries” de Sekondies e Accrarian que, em Gana, acompanham a costa atlântica e representam as partes destacadas da bacia brasileira do Parnaíba-Maranhão (Wit *et al.*, 1988).

Cinturões dobrados limitam os cratons, de maneira particularmente nítida a Leste e Oeste e muito menos nitidamente a Norte e Sul (Fig. 2).

A borda Leste é batizada por fragmentos da cadeia pan-africana transahariana que aflora em Hoggar, em Gourma e nos Dahomeides (Caby, 1987; Affaton, 1990). A oeste, as cadeias pan-africanas dos Rokelides e dos Bassarides são prolongadas pelos Mauritanides, onde se associam deformações pan-africanas e hercínianas. Na cadeia dos Bassarides, em particular, onde duas tectogêneses foram identificadas (Villeneuve & Dallmeyer, 1987; Dallmeyer & Villeneuve, 1987), as ocorrências fosfáticas situam-se na seqüência ou sub-ciclo pan-africano superior, cuja idade está compreendida entre 600-650 Ma. (Pan-africano I) e 575-550 M.a. (Pan-africano II) (Fig. 3).

O limite dos cratons, ao contrário, não aparece nitidamente no Norte, onde a cobertura paleozóica da bacia de Tindouf mascara todo o contato, e ao Sul, onde o traço da costa atlântica é um limite artificial, sem significado estrutural, sendo o craton de São Luís, no Brasil, uma parte do craton do oeste-africano em terras brasileiras (Figs. 1a e 1b, segundo Almeida *et al.*, 1977).

As mineralizações fosfáticas ocorrem tanto nas coberturas tabulares ou pouco dobradas do ciclo pan-africano, *senso lato*, dos cratons (borda Sudoeste da bacia Taoudéni, no Senegal Oriental, bacia das Voltas) como nas cinturas pan-africanas dobradas (cadeia transahariana no Níger e no Togo). Na realidade, elas se localizam preferencialmente não muito longe da transição craton/cadeia (Villeneuve, 1984; Ouedraogo, 1982; Affaton, 1990; Maurin, 1978-1979; Blot, 1988; Boujo *et al.*, 1988; Trompette, 1989; Pascal & Aregba, 1989; Maurin *et al.*, 1979; Pascal & Sustrac, 1989). Com efeito, todas estas mineralizações foram afetadas

por uma tectônica que se manifesta com maior ou menor intensidade em função de sua localização em relação à cadeia. Desta forma, as jazidas de Arly e de Kodjari, situadas próximas da borda Noroeste da bacia das Voltas (Fig. 4), não podem ser consideradas como parte do craton propriamente dito, pois sofreram uma tectônica de falhas que provocou deslocamentos de vários metros, ou mesmo de várias dezenas de metros. As jazidas de Ta-

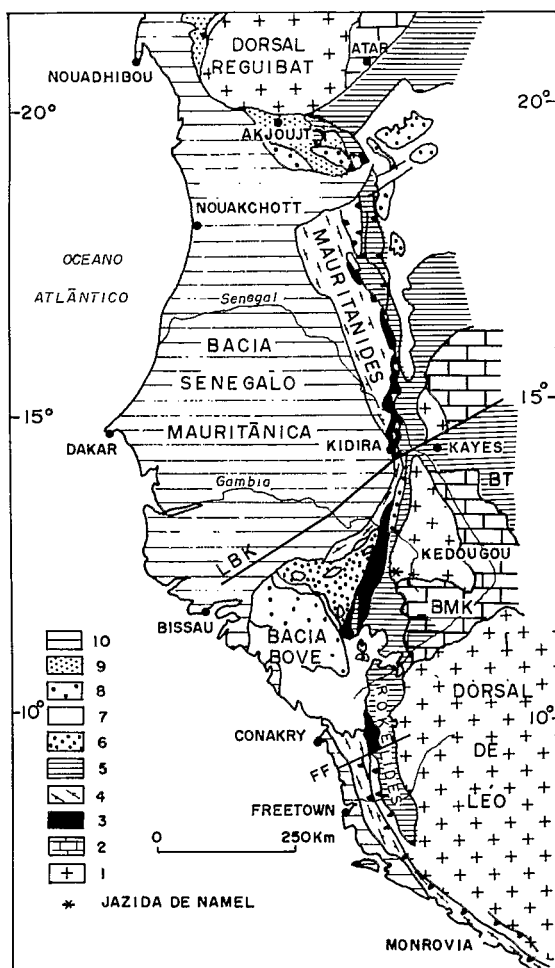


Fig. 3 — Esquema geológico da orla ocidental do craton oeste africano. 1 — Embasamento. 2 — Sedimentos do Proterozóico superior. 3 — Formações vulcânicas básicas do Pan-africano I (seqüência de “riff”). 4 — Margem ativa do Pan-africano I. 5 — Sedimentos preenchendo as bacias do Pan-africano II. 6 — Cambro-Ordoviciano. 7 — Ordoviciano e Siluriano. 8 — Devoniano. 9 — Cavalgamentos Hercinianos. 10 — Sedimentos mesocenozóicos da Bacia Senegalo-Mauritanica. LBK — Lineamento tectônico de Bissau-Kidira. FF — Falha de Forecariah. BMK — Bacia de Madina-Kouta. (Villeneuve, 1984).

poa e de Mekrou, no interior e mais próximas da cadeia, são afetadas por uma tectônica branda (dobras com grande raio de curvatura do rio Tapoa, e bem mais fechadas no rio Mekrou). Finalmente, Aloub Djouana, cuja posição é a mais interna, encontra-se localizada nas primeiras "nappes de charriages" da cadeia de Buem.

Devido à raridade de dados paleontológicos e radiométricos, as formações proterozóicas e paleozóicas inferiores portadoras de mineralizações fosfáticas são aproximadamente correlacionáveis entre si, graças a existência de uma seqüência guia que associa três termos litológicos, denominados "triade": um tilito, formação glacial geralmente continental, calcários e dolomitos com barita e sile-

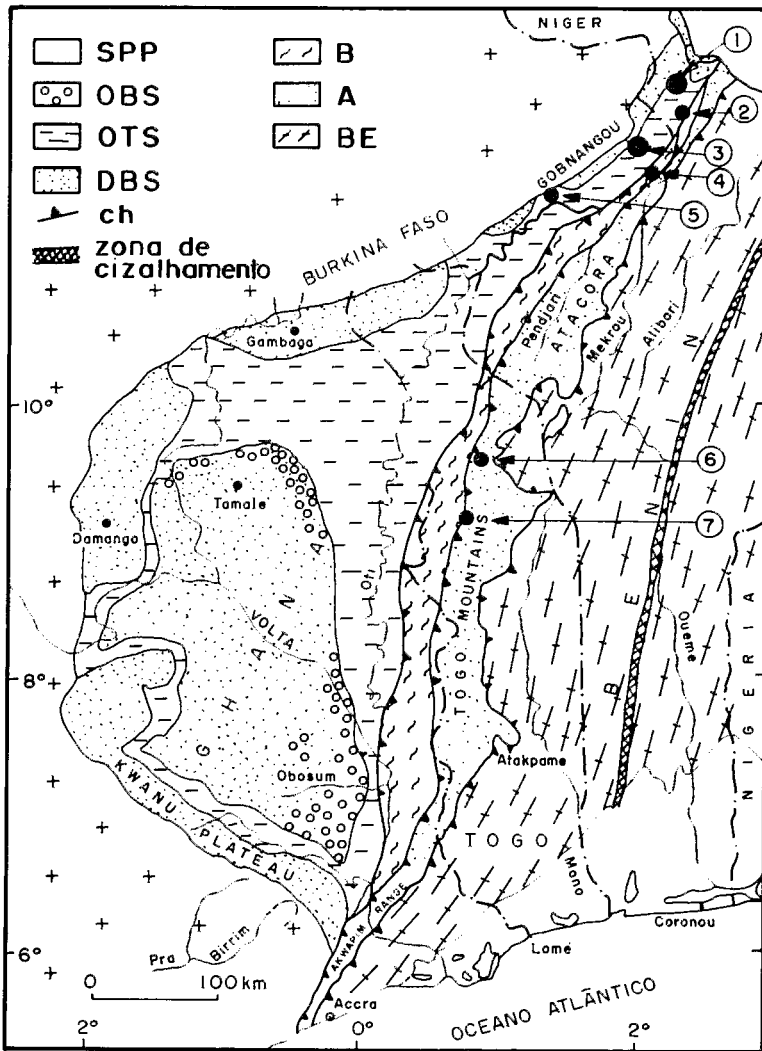


Fig. 4 — Esquema estrutural da Bacia das Voltas e das Dahomeides, com localização das jazidas fosfatadas do Proterozoico superior (segundo Affaton, 1990, modificado por Pascal & Aregba, 1989 e por Boujo & Blot, 1988). *Bacia das Voltas*: SPP — Sedimentos pós-paleozóicos. OBS — Supergrupo de Obosum. OTS — Supergrupo do Oti. DBS — Supergrupo de Dapaong-Bombouaka. *Dahomeides*: B — Unidade estrutural do Buem. A — Unidade estrutural de Atacora-Serie de Kande. BE — Complexo da planície do Benin. *Indícios e jazidas de fosfatos*: 1 — Tapoa (Níger). 2 — Mekrou (Níger-Benin). 3 — Kodjari (Burkina Faso). 4 — Aloub Djouana (Burkina Faso). 5 — Arly (Burkina Faso). 6 — Bassar IV (Togo). 7 — Bassar I, II, III (Togo).

xitos de origem vulcano-sedimentar, sendo esta última fácies, para os geólogos de campo, a mais facilmente identificável.

Esta correlação deve ser considerada aproximada, pois a idade do tilito varia de acordo com a região considerada. Segundo as datações efetuadas, ele seria mais velho na bacia das Voltas (cerca de 660 Ma. — Rb/Sr sobre argilo-minerais — Deynoux *et al.*, 1978; Clauer & Deynoux, 1987) e mais jovem no oeste da bacia de Taoudéni (Adrar da Mauritania) onde as idades Rb/Sr obtidas sobre frações inferiores a 2 μ m de folhelhos sobrejacentes a tilitos são da ordem de 595-620 M.a. (Clauer *et al.*, 1982). A interpretação dessas datações sobre minerais argilosos é sempre delicada: a idade medida é a da sedimentação? É aquela da diagênese mais ou menos precoce? O heterocronismo constatado corresponde, provavelmente, a um heterocronismo das diagêneses mais que o dos depósitos? Esta datação aproximada do tilito (e as reservas que ela suscita) faz com que, às vezes, prefira-se utilizar como elemento de correlação a discordância observada no seu muro (Bertrand-Sarfati *et al.*, 1987), em particular na cadeia dos Bassarides e que é associada à tectogênese do Pan-africano I.

Esta incerteza quanto à idade do tilito é reencontrada nas idades das ocorrências de fosfatos de Kodjari (bacia das Voltas) e de Namel (borda SSW da bacia de Taoudéni). Os dois possuem uma localização estratigráfica muito semelhante, isto é, no teto ou na parte superior da tríade. Portanto, os fosfatos de Kodjari parecem ser um pouco mais velhos que 600 Ma. enquanto que aqueles de Namel são associados, com uma fáunula onde aparece *Al-damella attleborensis* Shaler e Foerste, micromoluscos da parte mais inferior do cambriano (Culver *et al.*, 1988).

Abstração feita a este problema de idade, o tilito está presente e é reconhecido em numerosos sítios assinalados na Fig. 2, de acordo com Deynoux & Trompette (1976) e reportam a esse evento glacial os mixtitos de origem ainda mal definida conhecidos nos Mauritanides orientais e nos Dahomeyides ocidentais. Trompette *et al.*, 1980 assinalam a posição particular das jazidas nas bordas dos cratons e nas unidades externas das cinturas dobradas. Este fato evidencia os controles estrati-

gráficos e paleogeográficos exercidos sobre as mineralizações fosfáticas.

Esses controles não são, no entanto, exercidos de maneira sistemática, nem no tempo, nem no espaço: efetivamente, Boudzoumou & Trompette (1988) descreveram um episódio glacial mais antigo que aquele associado à "tríade", situado no mesmo tipo de contexto paleogeográfico (transição craton do oeste do Congo/cadeia pan-africana do mesmo nome), que não comporta nenhuma mineralização fosfática associada. A idade deste episódio glacial é mal conhecida; na cadeia pan-africana do oeste do Congo, ela é posterior àquela dos granitos e microgranitos datados (zircão pelo método U/Pb) de 1.027 Ma. (Cahen *et al.*, 1984). Ela é anterior à orogênese pan-africana que dobrou esses diamictitos e seria portanto mais velho que 620 Ma., talvez 730 Ma., se considerarmos os resultados obtidos sobre as unidades internas da cadeia (Rb/Sr). Como será visto mais adiante, um episódio glacial mais ou menos equivalente é observado no Brasil, no craton de São Francisco e na cadeia Brasileira adjacente. Ele é datado de 900 Ma., em média.

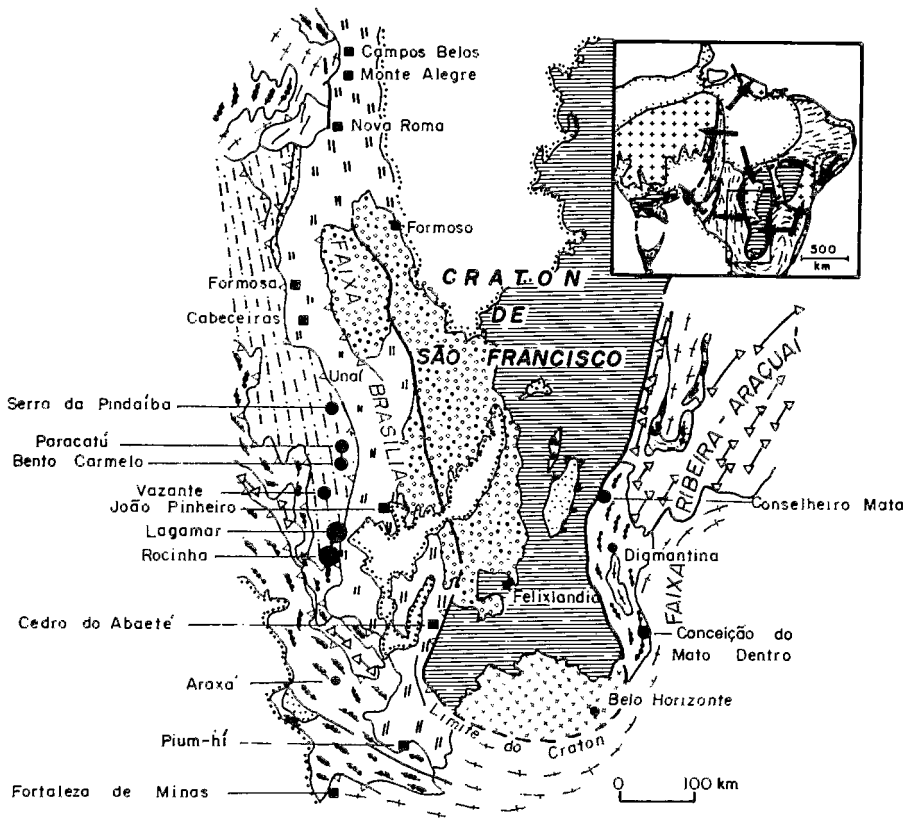
Portanto, na África não se conhece nenhuma ocorrência de fosfato, localizada na cobertura tabular da parte central de um craton.

CONTEXTO GEOLÓGICO DAS OCORRÊNCIAS DE FOSFATO NO BRASIL

Na América do Sul são encontradas as mesmas megaestruturas brasileiras que na África (Fig. 1a), tais como:

- cratons que afloram em grandes extensões (cratons Amazônico e do São Francisco) ou restritos a pequenas áreas (cratons de São Luís, de Luís Alves e do Rio da Prata);
- coberturas tabulares ou muito pouco dobradas, contemporâneas ao ciclo Brasileiro (Pan-africano);
- cadeias marginais de idade brasileira (Fig. 1b).

Entretanto, a história geológica é mais complexa que na África e torna-se conveniente ressaltar as diferenças existentes: se, da mesma forma que para o craton do oeste-africano, uma orogênese transamazoniana (= eburneana) consolidou o bloco



Faixa Brasília

Craton de São Francisco

Faixa Araçuá-Ribeira

- Prot. Sup. {
- Fm. Três Marias
 - Seqüência Unai
 - Fm. Ibiá

- Cobertura cretácica a' quaternária
- Fm. Três Marias
 - Gr. Bambuí
 - Fm. Jequitai

SGr São Francisco

- ?
- Gr. Macaúbas

- Prot. Méd. {
- Gr. Paranoá
 - Gr. Araxá e Canastra

- SGr Espinhaço

- SGr. Espinhaço

- Arq./Prot. Inf. {
- Embasamento policíclico

- Embasamento não diferenciado

- Embasamento policíclico

Fosforitos: Fm. Três Marias
Seqüência Unai
Gr. Paranoá
e Canastra pro parte

★ Indício } Proterozóico superior
■ Indício }
● Jazida } Proterozóico médio
● Indício }

Fig. 5 — Esquema geológico da parte meridional do craton de São Francisco e das faixas adjacentes (fontes: Schobbenhaus *et al.*, 1978; Parenti Couto, 1985; Rocha Araujo, 1988 e Rocha Araujo *et al.*, 1992).

São Francisco-Congo (Zaire), ao redor de 2.000 Ma., a história posterior do conjunto é bem mais complicada. Ela se inicia pela abertura de rifts durante o Proterozóico médio, cuja idade correta é ainda mal estabelecida. Para os mais velhos dentre

eles, ela seria próxima de 1.700-1.750 Ma. (Brito Neves *et al.*, 1980; Turpin *et al.*, 1988; Cordani *et al.*, 1989). Esses rifts são os lugares de deposição de sedimentos detríticos que correspondem notadamente aos Grupos Araxá-Canastra e parte do Espi-

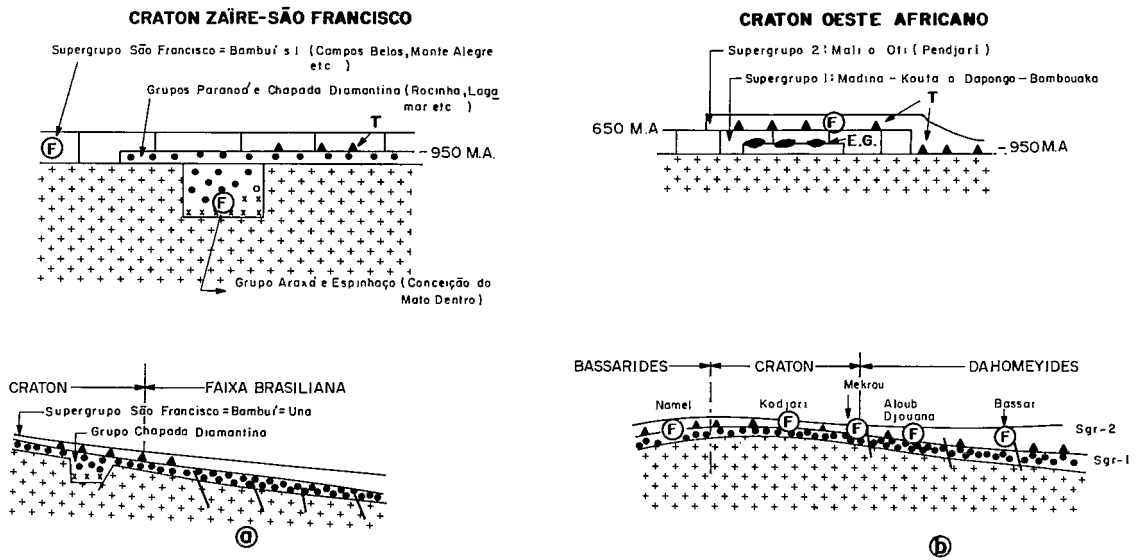


Fig. 6 — Esquemas de correlação cobertura cratônica/ metassedimentos das faixas (F: fosfato; T: tilito; E.G.: elementos glaciais).

nhão (Figs. 5, 6 e 7). A parte superior dessas seqüências representa uma cobertura transgressiva sobre os cratons e, localmente, como o início de preenchimento metassedimentar de certas cadeias do Brasileiro (= pan-africanas). Nota-se aqui a presença de uma das mais antigas ocorrências de fosfato, até agora conhecidas no Brasil; aquela de Conceição do Mato Dentro (relatórios inéditos da COMIG, Belo Horizonte). Entretanto, Sá *et al.* (1984), consideram como mais velha a ocorrência de Juazeiro, na Bahia, que é considerada de idade Transamazônica (Proterozóico inferior). Esta ocorrência não foi levada em consideração nesta síntese, não pelo fato de possuir uma idade mais antiga, mas sim por se encontrar intercalada em uma seqüência muito metamorfizada e fortemente deformada, onde toda reconstituição sedimentológica e/ou paleogeográfica é impossível.

Acima e, amplamente, transgressivo, o Supergrupo do São Francisco, às vezes denominado Bambuí (*sensu lato*), a Formação Bebedouro e o Grupo Una recobrem uma boa parte do craton de São Francisco e encontram-se em parte ou na totalidade nas cadeias brasileiras adjacentes (Figs. 5 e 6), onde são dobrados e metamorfizados. Sobre a parte meridional do craton, eles se iniciam por um tilito continental, a Formação Jequitá que se espessa em direção das cadeias brasileiras adjacentes

(cadeias de Brasília e Araçuaí), passando por fácies gláciomarinhas representados pela formação Ibiá (Dardenne, 1979; Rocha-Campos & Hasui, 1981b) e o Grupo Macaúbas (Rocha Campos & Hasui, 1981b; Uhlein, 1991) (Fig. 5). Esta glaciação foi reconhecida como mais antiga que aquela da África ocidental, iniciada pela “tríade” (Pflug & Scholl, 1975), sendo porém mais jovem que os filões básicos datados de 1.111 ± 56 Ma. no Estado da Bahia (método K/Ar sobre plagioclásios; Sá *et al.*, 1976) ou de 906 ± 2 Ma. no Estado de Minas Gerais (método U/Pb aplicado sobre zircão e baddeleyita; Machado *et al.*, 1989). Além disso, ele é mais antigo que as mais velhas datações obtidas pelo método Rb/Sr sobre material sedimentar da parte sobrejacente do Supergrupo São Francisco e do Grupo Una, seja 695 ± 12 Ma. em Minas Gerais e 920 ± 42 Ma. no estado da Bahia (Thomaz Filho & Bonhomme, 1979; Brito Neves *et al.*, 1980; Macedo & Bonhomme, 1984). Desta forma, como na África, a idade do tilito é ainda controversa sendo, provavelmente, por volta de 900 Ma.

Ocorrências de fosfatos, mais ou menos importantes, acompanham as diferentes fases dessa história geológica. Inúmeros trabalhos de prospecção geológica possibilitaram, para algumas poucas, uma exploração econômica.

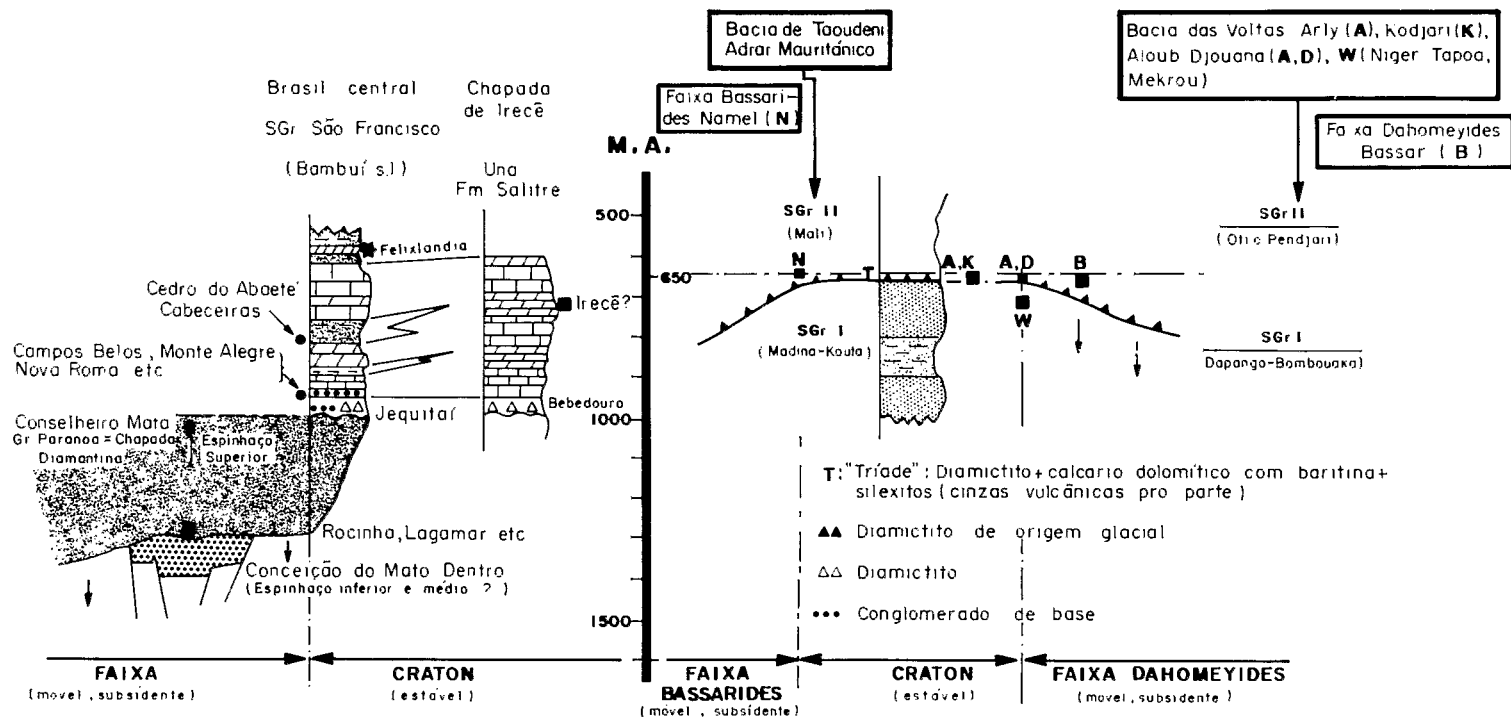


Fig. 7 — Esquema de correlação dos indícios e jazidas de fosfatos sedimentares proterozóicos e cambrianos da África e do Brasil.

O presente estudo está apoiado nos trabalhos recentes de Campos Neto (1984), Dardenne *et al.* (1986) e Rocha Araujo (1988) para o Brasil central e de Bomfim (1986); Monteiro (comunicação oral) e Misi & Kyle (1990), para o Estado da Bahia. Estes trabalhos permitem as seguintes conclusões:

— desde o Proterozóico médio, no estágio precoce de preenchimento do rift, cuja idade ainda necessita ser melhor definida (cerca de 1.700 Ma.), aparece um primeiro indício de fosfato, aquele de Conceição do Mato Dentro (Figs. 5, 6 e 7);

— pouco depois, no Proterozóico médio, na base do preenchimento metassedimentar da cadeia de Brasília, provavelmente entre 950 e 1350 (?) M.a., as jazidas sedimentares de Rocinha e de Lagamar e as ocorrências assinaladas na Fig. 5 (Dardenne, 1979; Campos Neto, 1984; Rocha Araujo, 1988), traduzem uma segunda fase de mineralização. Na parte terminal do Proterozóico médio e sempre na cadeia, o indício de Conselheiro Mata (Correia Neves *et al.*, 1976) marca uma terceira e pouco importante ocorrência da fosfatogênese;

— no Proterozóico superior (Supergrupo São Francisco) um novo episódio de mineralização fosfática se desenvolve nas regiões localizadas na transição craton/cadeia (indícios de Campos Belos, Monte Alegre, Nova Roma, Formoso, Formosa, Cabeceiras, João Pinheiro, Cedro do Abaeté, Pium-Hi), mas também na cobertura cratônica (indício de Felixlândia, geralmente colocado na Formação Serra da Saudades, mas às vezes incluído na parte inferior da Formação Três Marias (Parenti Couto, 1980) e bem mais ao norte, no Estado da Bahia, a jazida de Irecê, no Grupo Una, equivalente lateral do Grupo Bambuí, de acordo com Bomfim, 1986; Parenti Couto, 1980; Dardenne *et al.*, 1986; Rocha Araujo, 1988; Boujo *et al.*, 1991 (Figs. 5 e 7).

Resumindo, no Brasil central todos os indícios e jazidas de fosfato se repartem entre o Proterozóico médio (Supergrupo Espinhaço, Grupos Paranoá e Canastra, de idade Rifeano médio, ou seja ao redor de 1350 (?) - 900 Ma.) e o Proterozóico superior (Supergrupo São Francisco, Grupo Bambuí e Formação Três Marias aos quais atribui-se idades entre 900-600 Ma.). No Brasil oriental (Bahia), de acordo com os conhecimentos atuais,

somente o Proterozóico superior (Grupo Una) parece mineralizado.

COMPARAÇÕES E CONCLUSÕES

Nesta extensa província fosfática afro-brasileira, grandes semelhanças, mas também diferenças sensíveis se manifestam nos diferentes aspectos da história geológica dos dois continentes e nas especificidades da fosfatogênese.

Na África afloram cratons estabilizados ao redor de 2.000 Ma., amplamente recobertos por coberturas tabulares e bordejadas por cinturamentos dobradas de idade pan-africana. No nível do Proterozóico superior e do Cambriano inferior, mineralizações fosfáticas, mais ou menos importantes, encontram-se localizadas na zona de transição craton/cadeia ou nas unidades externas da cadeia. Elas são controladas pela estratigrafia e paleogeografia. Contrariamente, não se conhece, atualmente, nenhuma mineralização na cobertura tabular da parte central do craton.

No Brasil, a história tectônica posterior à cratonização transamazônica é bem mais complexa e, desde o Proterozóico médio, é acompanhada da abertura de "rifts" onde, muitas vezes, se colocaram rochas alcalinas, no seio de sedimentos detríticos, aos quais se associa a mais antiga ocorrência de fosfato, até hoje conhecida no Brasil: Conceição do Mato Dentro.

Diversas fases de fosfatogênese posteriores originaram os fosfatos proterozóicos brasileiros: os primeiros durante o proterozóico médio e os últimos no Proterozóico superior (Figs. 5 e 7).

A localização privilegiada dessas mineralizações é igualmente na zona de transição craton/cadeia. A cobertura tabular do craton não parece ser um metalotecto favorável. Conhece-se, entretanto, na parte Sul do craton, a ocorrência de Felixlândia e bem mais ao Norte, no Estado da Bahia, a jazida de Irecê.

A posição espaço-temporal dos fosfatos é esquematizada nas Figs. 6 e 7, onde as principais ocorrências e jazidas são assinaladas em função de sua posição em relação ao craton, a zona de transição ou a cadeia, e em função de sua associação litológica. Convém assinalar que, na Fig. 7, a escala

de tempo é válida, somente, para regiões estáveis do craton e não para zonas subsidentes da cadeia, em razão do aumento considerável de espessura originadas por depósitos mais ou menos síncronos daqueles do craton.

A propósito deste controle temporal, uma diferença importante deve ser destacada entre a África e o Brasil: no Brasil, ao longo da transição entre o bloco de São Francisco e a cadeia Brasileira de Brasília, os indícios de fosfatos são sensivelmente contemporâneos de uma sedimentação glaciogênica, datada de cerca de 900 Ma. Ao contrário, na África Central, nenhum indício, até hoje conhecido, é associado à diamictitos de mesma idade depositados ao longo da transição entre a bacia cratônica de oeste do Congo e a cadeia Pan-africana do mesmo nome.

Estes dois exemplos mostram de forma clara o carácter relativo do controle temporal; todas as condições paleogeográficas sendo iguais (transição craton/cadeia), constata-se que o fosfato deposita-se por volta de 600 Ma. na África ocidental e ao redor de 900 Ma., no Brasil. Entretanto, no craton de São Francisco, a ocorrência de Felixlândia e a jazida de Irecê poderiam ser aproximadamente síncronas, talvez um pouco mais antigas à fosfatogênese de 600-650 Ma. Enfim, o controle litostratigráfico se revela muito mais variado no Brasil que na África. As ocorrências e jazidas são aqui associadas de acordo com Rocha Araujo, (1988) à:

— sedimentos detríticos, sensivelmente contemporâneos ao "rifting" Espinhaço (Conceição do Mato Dentro);

— sedimentos detríticos finos e/ou dolomitos a estromatólitos em sua maior parte pertencentes ao Grupo Paranoá da porção superior do Proterozóico médio, isto é, o Espinhaço superior. São as ocorrências da Serra da Pindaíba, Paracatú, Bento Carmelo, etc., e as jazidas de Rocinha e Lagamar, todas situadas do lado ocidental do craton. A leste, associada a esta fácies, foi observado um único depósito: Conselheiro Mata;

— siltitos (Cedro do Abaeté, Formoso e Cabeceiras), conglomerados de base (Nova Roma, Campos Belos, Monte Alegre e Formosa) e/ou dolomitos a

estromatólitos (Pium-Hi, Felixlândia e Irecê), nos Grupos Bambuí-Una do Proterozóico superior (Figs. 5 e 7).

Concluindo, a província fosfática afro-brasileira do Proterozóico médio ao Cambriano é caracterizada por:

— uma fosfatogênese que se desenvolve preferencialmente na zona de transição craton/cadeia adjacente. A posição de Irecê, em pleno craton, deve ser considerada excepcional;

— uma fosfatogênese bem mais precoce no Brasil, com início no Proterozóico médio e prolongando-se pelo Proterozóico superior, enquanto que na África, além de mais tardia, se prolonga por mais tempo; efetivamente, ela é desconhecida no Proterozóico médio, aparecendo somente no Proterozóico superior, continuando até o Cambriano inferior (Namel, Senegal).

MINERALOGIA E GEOQUÍMICA DAS ROCHAS FOSFÁTICAS

Os conhecimentos mineralógicos e geoquímicos relativos aos fosfatos da província afro-brasileira, sintetizados nas Tabelas I a IV e Fig. 8, apoiam-se em dados provenientes de três diferentes tipos de fontes:

— dados mineralógicos e geoquímicos obtidos a partir de estudos recentes, alguns ainda não publicados sobre as jazidas e ocorrências de Namel no Senegal oriental e Bassar no norte do Togo, na África e Rocinha (Minas Gerais) e Irecê (Bahia) no Brasil;

— dados geoquímicos provenientes de trabalhos mais antigos, como os de Lucas *et al.* (1980) sobre as ocorrências da bacia das Voltas, no Burkina Faso;

— dados mineralógicos e geoquímicos contidos na síntese de McClellan & Saavedra (1986) e que se referem à maior parte das precedentes, assim como aquelas da bacia das Voltas, na parte situada no Níger.

A composição mineralógica das rochas fosfáticas, obtida através da análise por difração de raios X (Tabela I), é caracterizada pela predominância de apatita em todas as amostras analisadas.

TABELA I

Composição mineralógica (%) de amostras de fosfatos cambrianos e proterozóicos (segundo McClellan & Saavedra, 1986; Blot, 1986; Truong, 1987; Pascal & Aregba, 1989; Flicoteaux, dados novos).

Origem		Apatita	Quartzo	Muscovita Sericita	Calcita	Dolo- mita	Caoli- nita	Goethita	Fosfatos Supérgenos	Fluorita	Minerais pesados
Senegal											
Namel -	Superfície	59	26	traços				1			
	8 m prof.	59	9	traços	15			1			
Mauritania											
Nouedgui	505	22	57	11				6		traços	2 (H,T)
Bou Naga	506	20	55	6				6		1	2 (H,T)
	522	26	59	8				4		1	2 (H,T)
Burkina Faso											
Kodjari -	Poço 2	65	24	6			1	2	1 (Wa)		
	Poço 3	43	40	11			1	3	1 (Wa)		
Niger											
Parque W -	Amostra A	65	30					2	2 (Vi)		
	Amostra B	70	25					2	2 (Vi)		
Togo											
Bassar -	Superfície	90	10								
	Sondagem	80	20								
Brasil											
Lagamar		66	13	9			5	3			
Patos de Minas		60	15	16			1	2	3 (Wa, Cr)		
Rocinha		75	13,5	7			4	0,5			
Irecê -	Superfície	98		(2) esmectita							
	Sondagem	74		(2) esmectita		24					

com exceção daquelas da Mauritânia. A apatita aparece associada ao quartzo e/ou à sílica mineral, salvo no caso de Irecê. Os filossilicatos (illita, clorita ou esmectita) têm um caráter mais variável e os feldspatos são excepcionais. Calcita e dolomita são observadas nas amostras de sondagens, enquanto que fosfatos aluminosos e/ou férricos (crandalita, milsita, vivianita, vavelita), caolinita e goethita são, por vezes, detectadas nas amostras de superfície. Esta oposição entre carbonatos e minerais supérgenos é reflexo da alteração meteórica. Convém, igualmente, assinalar a mineralogia particular da fração silicatada de Namel, onde o metamorfismo, induzido por intrusões doleríticas, leva à formação de talco, cuja alteração forma esmectitas ricas em ferro. Enfim, calcita de origem secundária está, por vezes, presente em rochas predominantemente carbonatadas, como no caso de Irecê.

A composição química foi obtida por diferentes métodos, de acordo com as amostras e elementos analisados. Os resultados relativos aos

elementos maiores (Tabela II) refletem a composição mineralógica global das rochas fosfatadas, qualquer que seja o método utilizado (via úmida: Blot, 1986 e Truong, 1987; fluorescência de raios X: McClellan & Saavedra, 1986; espectrometria de emissão a arco: Flicoteaux, Boujo, Panczer (dados inéditos). Os resultados referentes aos elementos-traços (Tabela III) são menos homogêneos, pois fazem aparecer grandes diferenças de acordo com os dados considerados, como por exemplo os de McClellan & Saavedra (1986), ou os dos outros autores. Estas diferenças provêm, provavelmente, do método analítico empregado. Se deixarmos de lado os dados de fluorescência de raios X, apresentados por McClellan & Saavedra (1986), constata-se, de acordo com Lucas *et al.* (1980), o caráter muito limitado do número de elementos-traços das rochas fosfatadas da província proterozóica-cambriana africano-brasileira. Com exceção do Sr e em menor grau do Ba ou do Mn, os teores em elementos-traços são muito baixos, freqüentemente, apenas superiores ao nível de detecção. Isto é

TABELA II

Composição química (elementos maiores em %) de fosfatos do Proterozóico médio e Cambriano inferior da "Província Afro-brasileira (segundo Lucas *et al.*, 1980; McClellan & Saavedra, 1986; Blot, 1986; Truong, 1987; Boujo *et al.*, 1988; Pascal & Aregba, 1989; Flicoteaux & Panczer, dados novos)

Origem	Nº de amostras analisadas	Referências	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	F	CO ₂	S	P.F.	CaO/P ₂ O ₅	F/P ₂ O ₅
Senegal																	
Namel – Superfície 8 m prof. Sondagem	10	McClellan &	29,8	0,02	0,8	0,8	1,9	34,0	0,01	0,04	24,2	2,0	0,5	0,01	3,5	1,40	0,083
		Saavedra	40,0	<0,002	0,4	0,7	1,1	30,4	0,09	0,05	19,0	1,9	4,8	0,06	7,7	1,60	0,100
		Boujo <i>et al.</i>	30,4	n.d.	0,9	1,1	2,3	36,8	n.d.	n.d.	23,4	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1,56
Mauritania																	
Nouedgui 505		McClellan	68,3	0,01	4,4	4,3	0,05	12,7	0,07	0,7	8,8	0,7	0,3	0,02	2,4	1,44	0,080
Bou Naga 506 522		&	66,7	<0,01	6,8	4,2	0,22	10,6	0,15	1,5	7,5	0,7	0,3	0,02	1,7	1,41	0,093
		Saavedra	69,0	0,01	3,1	3,3	0,19	13,9	0,07	0,6	10,0	0,9	0,7	0,02	1,2	1,39	0,070
Burkina Faso																	
Arly	5		21,7	n.d.	1,1	0,9	0,13	43,4	0,22	0,1	28,5	3,1	1,4	n.d.	n.d.	1,52	0,109
Kodjari – Superfície Sondagem	6	Lucas <i>et al.</i>	24,1	n.d.	2,4	1,3	0,19	40,0	0,17	0,2	27,8	2,7	1,8	n.d.	n.d.	1,40	0,097
	4		20,9	n.d.	3,2	1,4	0,39	41,5	0,16	0,5	28,4	2,8	1,8	n.d.	n.d.	1,46	0,099
Sond. calc.	8		29,2	n.d.	3,3	1,7	2,11	34,6	0,23	0,6	19,7	2,0	6,4	n.d.	n.d.	1,75	0,102
Poço 2		McClellan &	26,0	0,002	2,0	1,6	0,40	36,1	0,15	0,13	26,3	2,6	1,2	0,03	5,4	1,37	0,099
Poço 3		Saavedra	47,1	<0,002	2,2	1,8	0,13	23,2	0,10	0,22	17,0	1,7	1,8	0,03	4,6	1,36	0,100
Niger																	
Amostra A			4,7	0,05	1,6	0,8	0,13	49,0	0,20	0,09	35,2	3,6	2,1	0,14	5,1	1,39	0,102
Amostra B		McClellan &	4,1	0,05	1,6	9,4	0,21	40,6	0,28	0,08	29,0	2,7	1,1	0,33	9,4	1,40	0,093
Tapoa A		Saavedra	24,1	0,07	1,3	0,6	0,04	37,0	0,21	0,04	28,8	2,4	1,0	0,04	4,8	1,28	0,083
			B	25,0	0,12	1,8	1,4	0,03	39,5	0,21	0,02	29,6	2,4	1,0	0,03	3,1	1,33
Togo																	
Bassar – Superfície Sondagem Sondagem	5	Blot, Truong	6,3	0,06	2,1	1,0	0,10	51,2	0,02	0,01	38,7	2,4	0,6	0,01	0,01	1,32	0,062
		Pascal & Aregba	10,3	n.d.	3,7	3,7	0,24	45,8	n.d.	n.d.	33,3	2,9	n.d.	n.d.	n.d.	1,38	0,087
		Panczer	9,3	0,10	1,9	1,6	1,07	46,5	0,84	0,74	30,2	n.d.	4,8	0,54	3,9	1,54	
Brasil																	
Lagamar		McClellan &	19,2	0,22	4,6	2,4	0,37	39,6	0,17	0,8	27,4	2,6	1,3	0,02	6,2	1,44	0,095
Patos de Minas		Saavedra	29,5	0,02	8,4	3,5	0,88	24,1	0,08	1,9	18,1	1,6	0,7	0,30	8,5	1,33	0,089
Rocinha	5	Flicoteaux	17,5	0,07	2,7	1,2	0,15	45,6	0,13	0,39	29,9	1,8	0,2	0,02	2,8	1,53	0,060
Irecê – Superfície Sondagem	5	Flicoteaux &	1,0	0,02	0,4	0,2	0,13	53,7	0,34	0,06	39,2	2,5	0,6	0,32	1,5	1,36	0,064
		Boujo	1,8	0,03	0,7	0,4	5,45	47,4	0,11	<0,01	28,9	2,2	12,0	0,17	12,5	1,63	0,076

TABELA III
Composição em elementos traços (ppm) de fosfatos do Proterozóico médio e Cambriano inferior da "Província Afro-brasileira"
(mesmas referências da Tabela II). (1) Via úmida; (2) Fluorescência de raios X; (3) ICP.

Origem		Sr	Ba	Mn	V	Cr	Co	Cu	Ni	Zn	Nb	Zr	Sc	Y	[a] Å	[c] Å	Índice de refração médio
Senegal																	
Namel –	Superfície (2)	1100	1630	294	103		<16	1730	54						9,373	6,891	1,630
	8 m prof. 2	1830	5910	155	<10		<16	2510	60						9,360	6,893	1,627
Mauritania																	
Nouedgui	103 (2)	730	170	225		51		24	39	87					9,382	6,882	1,630
Bou Naga	506 (2)	450	450	201		48		16	47	107					9,370	6,880	1,630
	522 (2)	400	410	341		62		16	58	60					9,370	6,880	1,630
Burkina Faso																	
Arly –	Superfície (3)	1145	785	350													
Kodjari –	Superfície (3)	1661	860	403													
	Sondagem (3)	1443	641	173													
	Sond. calc. (3)	842	423	622													
	Poço 2 (2)	700	380	256		10		32	354	83							1,622
	Poço 3 (2)	400	430	217		<10		24	354	83							1,622
Niger																	
Amostra	A (2)	1100	440	170		17		<16	2120	94					9,364	6,889	1,624
	B (2)	1540	1950	248		116		<16	940	87					9,364	6,889	1,624
Tapoa	A (2)	1030	280	410		<10		24	63	54					9,357	6,891	1,627
	B (2)	190	580	410		161		<16	240	228					9,368	6,885	1,634
Togo																	
Bassar –	Superfície (1)	1260	350	270		21		18	10	16					9,367	6,885	
	Sondagem														9,371	6,887	
	Sondagem (2)	1553	190	295	11	17	17	6	29	27	4	11	2	82			
Brasil																	
Lagamar (2)	810	150	364		14		32	280	<34						9,366	6,892	1,624
Patos de Minas (2)		400	300	77		<10		120	720	168					9,371	6,890	1,626
Rocinha (3)	4942	183	<200	20	55	19	24	27	23	6	36	7	51		9,370	6,891	
Irecê –	Superfície	984	58	100	10	21	<5	10	8	69	7	12	2	14	9,364	6,891	
	Sondagem (3)	551	138	<100	15	26	<5	6	7	<5	6	25	10	22	9,365	6,891	

TABELA IV

Principais faixas de absorção infravermelho para amostras de apatitas das áreas mineralizadas de Namel (Senegal), Bassar (Togo), Rocinha e Irecê (Brasil). As faixas de absorção correspondentes aos silicatos e carbonatos não foram consideradas (segundo Lehr *et al.*, 1967; Baumer *et al.*, 1990)

	Namel	Bassar		Rocinha		Irecê	
	1156	112,1	111	40	104	6	84-115
PO ₄ ³⁻ v ₂	469,1	463,2	470,3	470	469	472,2	469
				567	571	569,5	571,2
PO ₄ ³⁻ v ₄	603,8	576,4	576,4	575	575	575,5	
		603,4	603,4	604	605	604,6	604,6
SO ₄ ²⁻		645,2					643
OH ⁻		741	746,7	749	749		
CO ₃ ²⁻ v ₂	865,7	864,7	864,7	864	866	864,8	
PO ₄ ³⁻ v ₁	965,1	965,3	964,7	966	964	964,6	965,1
	1044,6	1049,1	1049,1	1036*	1045	1045,1	1045,7
PO ₄ ³⁻ v ₃	1094,8	1093,9	1094,1	1094	1095	1095,5	1095,4
		1164,5					1130
SO ₄ ²⁻							1179,6
	1430,2	1429,4	1429,3	1428	1429	1429,9	1433,6
CO ₃ ²⁻ v ₃	1454	1454,3	1454,3	1454	1454	1454,2	1452,2
OH ⁻	3536,5		3537	3535	3538		
% CO ₂	1,33	0,53	0,33	0,87	0,60	0,84	
[α] Å	9,362	9,366	9,365	9,370	9,372	9,365	9,359

* Faixa deslocada em consequência da presença de caulinita;

v Freqüência de vibração.

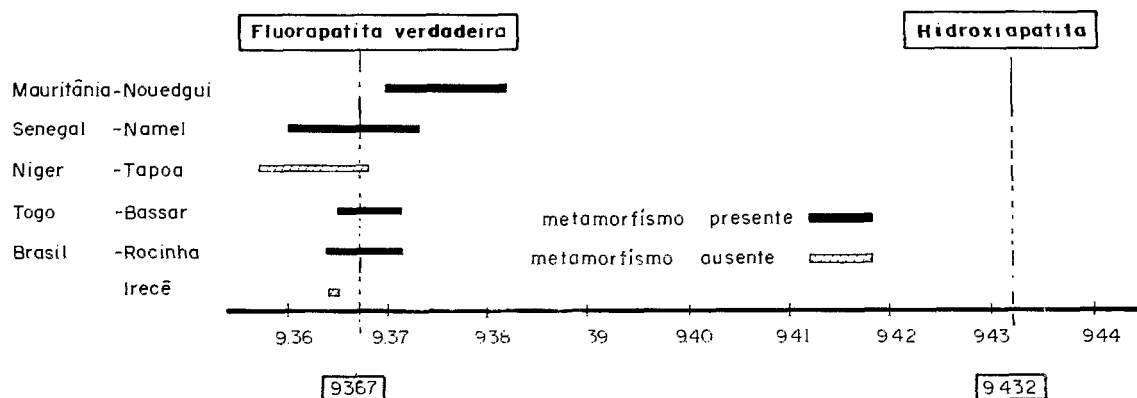


Fig. 8 — Variação da dimensão do parâmetro [a] das apatitas estudadas.

particularmente notável nas amostras pobres em argilo-minerais, como aquelas de Arly (Lucas *et al.*, 1980) ou de Irecê (Flicoteaux & Boujo, inédito). Esta pobreza em elementos-traços poderia estar, talvez, relacionada à composição da atmosfera e dos oceanos primitivos.

CARACTERÍSTICAS CRISTALOQUÍMICAS DAS APATITAS

As características cristaloquímicas das apatitas das rochas estudadas foram determinadas conjuntamente por análise química dos elementos maiores, análise por difração de raios X e espectrometria infra-vermelho.

Os resultados da análise química dos elementos maiores de rochas relativamente ricas em fosfatos de cálcio mostram que, nas amostras pouco ou não carbonatadas (Tabela II), as apatitas são relativamente pobres em Mg, Na e S e são caracterizadas por baixos teores em CO₂ e em menor grau, em F. Os valores da relação F/P₂O₅ estão compreendidos entre 0,060 e 0,102 e são, portanto, inferiores e superiores àqueles da fluorapatita estequiométrica: F/P₂O₅ = 0,089 (McClellan, 1980). Isto é verdadeiro, qualquer que seja a origem das análises químicas, porém é preciso notar que nas análises fornecidas por McClellan & Saavedra (1986) os valores encontrados são sistematicamente superiores àqueles encontrados pelos outros autores. Os valores da relação CaO/P₂O₅ são, exceto uma única, superiores àquelas da fluorapatita estequiométrica: CaO/P₂O₅ = 1,318 (McClellan, 1980). Elas são próximas, entretanto, dos valores 1,40 e 1,54, entre os quais estão compreendidas as relações das fluorapatitas carbonatadas (Lucas *et al.*, 1980). A análise química dos elementos maiores ressalta que as apatitas das amostras não carbonatadas das jazidas e ocorrências estudadas apresentam simultaneamente características de carbonato-fluorapatitas e de fluorapatitas, se bem que o flúor seja frequentemente deficitário.

Os resultados da análise por difração de raios X colocam em evidência a fraca dispersão das dimensões dos parâmetros cristalinos (Tabela III e Fig. 8) das apatitas para o conjunto das amostras

estudadas. Essas dimensões, em particular aquela do parâmetro [a], compreendido entre 9,357 e 9,382Å, são características de fluorapatitas com baixo conteúdo em CO₃²⁻ substituído por PO₄³⁻, de fluorapatitas verdadeiras ([a] = 9,367Å, McClellan, 1980) e de apatitas intermediárias entre estas últimas e as hidroxiapatitas ([a] = 9,342Å, Posner *et al.*, 1958) (Fig. 8). Dimensões características destes três tipos de apatitas, próximas umas das outras, foram calculadas no interior de uma mesma ocorrência. Elas são independentes da natureza dos minerais associados, da posição topográfica das amostras coletadas e parecem, em primeira aproximação, independentes da idade da ocorrência amostrada. Ao contrário, parece que, estatisticamente, estas dimensões aumentam das apatitas da bacia das Voltas e de Irecê para as apatitas de Bassar, da região de Lagamar-Rocinha (Patos de Minas) e de Nouedgui-Bou Naga, o que significa que elas aumentam das apatitas das zonas estáveis para as apatitas das zonas móveis, afetadas pelo tectonometamorfismo das orogêneses brasileiras e pan-africanas. O caso de Namel é um pouco particular, na medida em que esta ocorrência não foi afetada pelo metamorfismo pan-africano (Villeneuve, 1984), mas por um metamorfismo induzido por doleritos ligados à abertura do Oceano Atlântico.

Os espectros infravermelhos (Tabela IV) foram obtidos em amostras provenientes de Bassar, Irecê, Namel e Rocinha. Esses espectros mostram bandas de absorção atribuíveis aos grupamentos atômicos característicos da apatita e dos principais minerais acessórios associados: calcita e dolomita no caso da amostra 84-11s de Irecê, quartzo, illita, caolinita ou talco no caso das outras amostras. As bandas de absorção atribuíveis aos grupamentos da apatita são as únicas indicadas na Tabela IV. Elas foram identificadas e indexadas a partir dos trabalhos de Lehr *et al.* (1967), Trombe *et al.* (1968), Legeros *et al.* (1968), Ross (1974), El Faleh (1988) e Baumer *et al.* (1990). As posições das bandas atribuíveis aos grupamentos PO₄³⁻ são idênticas àquelas descritas para diferentes apatitas naturais e sintéticas, salvo caso particular onde ocorre interferência com grupamentos SiO₄⁴⁻. As bandas a 643-645 cm⁻¹ e compreendidas entre 1130 e 1180 cm⁻¹, observadas nas amostras II 2-1 de Bassar e

84-11s de Irecê acompanham as quantidades de enxofre mais elevadas. Isto leva-nos a concordar com Baumer *et al.* (1990) que consideram a associação formada por essas bandas como característica da substituição de grupamentos PO_4^{3-} por SO_4^{3-} . Nota-se, que esta associação de bandas foi detectada, sobretudo, nas amostras carbonatadas, sugerindo que as amostras não carbonatadas, que contêm freqüentemente minerais de alteração supérgena como a caolinita, possuem uma apatita cujas características cristalográficas originais são profundamente modificadas.

As bandas de absorção a $864\text{-}866\text{ cm}^{-1}$, a $1428\text{-}1430\text{ cm}^{-1}$ e a 1445 cm^{-1} , observadas em todas as amostras desprovidas de minerais carbonatados (Tabela IV), são atribuíveis aos grupamentos CO_3^{2-} que substituem os PO_4^{3-} de uma apatita fluorada, de acordo com os trabalhos de Lehr *et al.* (1967), Legeros *et al.* (1968), Trombe *et al.* (1968) e El Faleh (1988) que estudaram apatitas naturais e sintéticas. Na ausência de minerais como calcita e dolomita, a presença de grupamentos CO_3^{2-} no retículo cristalino das apatitas é facilmente admitido e a posição ocupada pelas bandas características de CO_3^{2-} permite escolher entre dois sítios estruturais possíveis: de um lado a substituição de PO_4^{3-} e de outro a substituição de OH^- nos túneis situados ao longo dos eixos senários helicoidais. Neste último caso, para uma apatita totalmente hidroxilada, as bandas de absorção dos grupamentos CO_3^{2-} se situam a 883 cm^{-1} , 1465 cm^{-1} e 1542 cm^{-1} . A introdução progressiva do flúor no retículo da apatita hidroxilada, acompanha-se de uma mudança progressiva do sítio ocupado pelo CO_3^{2-} , sublinhado pelo desaparecimento da banda a 1542 cm^{-1} e aparecimento progressivo de uma banda que se desloca entre 1407 cm^{-1} e 1429 cm^{-1} . Na presença de minerais, tais como calcita e dolomita, bandas respectivamente a 712 cm^{-1} , 873 cm^{-1} e 1435 cm^{-1} ou a 725 cm^{-1} , 881 cm^{-1} e 1435 cm^{-1} , características do CO_3^{2-} estrutural desses dois minerais, aparecem ao lado das bandas do CO_3^{2-} estrutural da apatita quando ela existe. As bandas a 873 cm^{-1} e a 881 cm^{-1} , com freqüência, interferem entre si quando elas coexistem. A banda a 865 cm^{-1} da apatita se reduz a uma lombada. A banda a 1435 cm^{-1} se superpõe então à banda 1429 cm^{-1} da apa-

tita. É o que se observa para a amostra 84-11s de Irecê, onde nota-se, ao lado das bandas a 712 cm^{-1} e a 725 cm^{-1} , bandas a 878 cm^{-1} e $1433,6\text{ cm}^{-1}$. Desta discussão sobre as bandas atribuíveis ao CO_3^{2-} estrutural da apatita pode-se concluir que todas as amostras da Tabela IV, incluindo a amostra 84-11s de Irecê, contêm uma apatita fluorada, cujo PO_4^{3-} é substituído por CO_3^{2-} , o que significa uma apatita cristaloquimicamente próxima da francolita (Trombe *et al.*, 1968). Com exceção da amostra 84-11s de Irecê, onde a banda a $1433,6\text{ cm}^{-1}$ resulta da interferência de bandas a 1429 cm^{-1} da apatita e a 1435 cm^{-1} dos carbonatos, a altura das bandas a $1428\text{-}1430\text{ cm}^{-1}$ e a 1454 cm^{-1} permite calcular o teor em CO_2 das apatitas, utilizando o método proposto por Lehr *et al.* (1967). Este teor baixo, porém não negligenciável (0,33 a 1,33%, Tabela IV) é bem inferior àquele da francolita estequiométrica (6,30%, McClellan, 1980). Ela não mostra relações evidentes com a dimensão do parâmetro [a] calculado por difração de raios X.

As bandas a $741\text{-}749\text{ cm}^{-1}$ e a $3535\text{-}3538\text{ cm}^{-1}$, observadas nas amostras de Bassar, Namel e Rocinha, são atribuíveis respectivamente às vibrações de deformação e às vibrações de valência dos grupamentos OH^- , situados ao longo dos eixos senários helicoidais das apatitas. A incorporação do F^- na estrutura da hidroxilapatita mostra que as bandas ocupam as posições observadas desde que a relação OH^-/F^- da apatita é da ordem de 5%. Quando a relação aumenta, as bandas se deslocam para 631 cm^{-1} e para 3573 cm^{-1} e sua intensidade aumenta. A interpretação proposta para as bandas a $741\text{-}749\text{ cm}^{-1}$ e a $3535\text{-}3538\text{ cm}^{-1}$ é coerente com aquela das bandas a $864\text{-}866\text{ cm}^{-1}$, a $1428\text{-}1430\text{ cm}^{-1}$ e a 1454 cm^{-1} , pois ambas só são possíveis quando a apatita é predominantemente fluorada. Observa-se, entretanto, que os grupamentos OH^- aparecem somente nas amostras afetadas por um metamorfismo térmico (Namel) ou tectônico (Bassar e Rocinha).

Os dados obtidos por espectrometria infravermelho permitem portanto completar e precisar as informações da análise química e da análise difratométrica. Mostram que todas as apatitas analisadas são fluoradas e contêm CO_3^{2-} substituindo PO_4^{3-} qualquer que seja a dimensão do parâmetro

[a]. Estes dados evidenciam que as apatitas são do tipo francolita e colocam também em evidência a substituição parcial do F^- por OH^- nas apatitas afetadas por metamorfismo, principalmente aquelas das zonas móveis. Parece que existe, ainda, uma certa correlação entre esta substituição parcial e o aumento estatístico observado para [a]. É necessário, entretanto, notar que as porcentagens em OH^- detectados por espectrometria infravermelho não podem, por si só, explicar as baixas relações F/P_2O_5 , inferiores a 0,089-0,090, evidenciadas pela análise química de certas amostras. Finalmente, os teores em CO_2 , calculados a partir dos espectros infravermelhos (0,33 a 1,33%, Tabela IV), são superiores àqueles fornecidos pela análise química (0,20 a 0,60, Tabela III), como, aliás, é classicamente observado. Os fracos teores observados nas apatitas do tipo francolita, sugerem uma alteração superficial combinando os efeitos do clima e do tempo.

Concluindo, as apatitas das rochas fosfáticas da província afro-brasileira do Proterozóico médio-superior e do Cambriano inferior são fluorapatitas, por vezes deficitárias em flúor, que conservam características químicas de carbonato-fluorapatitas. Isto é particularmente visível nas amostras de superfície. Além disso, as amostras provenientes das regiões afetadas por metamorfismo mostram substituição do flúor por pequenas quantidades de hidroxila. Estas apatitas são, provavelmente, antigas carbonato-fluorapatitas cujas características primárias foram modificadas por uma complexa alteração metamórfica e intempérica. Com exceção do estrôncio, elas são pobres em elementos-traços, o que talvez seja uma conseqüência das condições paleogeográficas globais existentes durante esse período da história da Terra.

ASPECTOS ECONÔMICOS

O fosfato natural não é um minério caro, se bem que os fertilizantes, elaborados a partir desta matéria prima, são, freqüentemente, considerados muito onerosos para os agricultores.

Os parâmetros econômicos que determinam o preço do minério de fosfato explorado são muito diversos e variam sensivelmente de uma jazida

para outra. Porém, dentre eles, três são determinantes no plano de rentabilidade: o custo da exploração mineira; o custo do tratamento (enriquecimento do minério, que condiciona a qualidade do produto comercial obtido, seu preço e sua utilização); e o preço do transporte.

CUSTO DA EXPLORAÇÃO MINEIRA

O custo da exploração é determinado pela geometria da jazida: se tabular, monoclinal ou ao contrário, muito tectonizada e mais ou menos metamorfizada. Nos dois primeiros casos, uma exploração mecanizada, freqüentemente a céu aberto, gera um custo muito baixo. Além disso, as características físicas (dureza, compacidade) do minério de fosfato e de sua encaixante estéril, a existência de um manto de alteração espesso e friável, que facilita a extração das diferentes fácies, são critérios fundamentais.

A Tabela V evidencia as condições favoráveis para Irecê (afiorante), Rocinha (manto de alteração), Kodjari (monoclinal), menos favoráveis para a jazida de Tapoa (tectônica fraca) e talvez desfavoráveis para todas as outras jazidas.

CUSTO DO TRATAMENTO/ENRIQUECIMENTO DO MINÉRIO E QUALIDADE DO PRODUTO OBTIDO

Do fosfato produzido atualmente, 80% é destinado à fabricação de fertilizantes para a agricultura. A qualidade agrônômica e a rentabilidade do fosfato depende de sua solubilidade o que permite às plantas extrair e assimilar o fósforo essencial ao seu crescimento.

As grandes zonas de consumo de fosfato estão, essencialmente, concentradas na Europa (ao redor de 75% do consumo mundial, segundo as estatísticas anuais do I.F.A. – International Fertilizer Industry Association). Não é difícil, portanto, de se imaginar que a solubilidade do fosfato seja apreciada em relação às características (climáticas em particular) dos países temperados, ou mesmo mediterrâneos ou sahelianos. Esta solubilidade é classicamente medida por solventes convencionais: água, ácido cítrico, citrato de amônia. Ela varia, sensivelmente, em função do pH dos solos.

TABELA V
Alguns dados de ordem econômica e mineira sobre as jazidas estudadas

Jazidas	Geometria e estrutura	Possança do Minério (m)	Teor do minério (%)				Reservas (M.T.) e teor P ₂ O ₅ (%)	Tratamento	Produção uso	Fontes
			P ₂ O ₅	SiO ₂	R ₂ O ₃	MgO				
Namel	pouco						pouco			Boujo <i>et al.</i> , 1988; Pascal & Aregba
Sondagem CNAM-1	conhecida	aprox. 10	23,4	30,0	1,9	2,3	explorada			1989; Pascal & Sustrac, 1989
Arly	tabular	>1,5	28,5-29,6	21,7-29,1		0,13	<3 a 29%			Maurin, 1978-79; Trompette <i>et al.</i> , 1980; Lucas <i>et al.</i> , 1980; Trompette, 1989
Kodjari	monoclinal	aprox. 10	20-30	20-25	4,9-8,2		49 a 23% 24 a 28%	britagem	20.000 t/ano aplicação direta	Maurin, 1978-79; Boujo <i>et al.</i> , 1988; Pascal & Aregba, 1989; Maurin <i>et al.</i> , 1989; Ouedraogo, 1982
Aloub Djouana	tectonizada	10?	20-30	20-23	7,5-13,7		>100			Barthelet, 1975; Maurin, 1978-79
Tapoa	fracamente tectonizada	30-60	20-32	20-25			10 ⁹ a 20%			Lucas <i>et al.</i> , 1986
Mekrou	fortemente tectonizada	?					pouco explorada			
Bassar I, III e IV	metamorfizada e acavamento	2-8	32-36	6-11	1,8	0,02-0,6	<10	britagem	aplicação direta	Pascal & Aregba, 1989;
Bassar II	metamorfismo fraco e alteração	0,1-8	20-23	35-40		0,14	<5			Pascal & Aregba, 1989
Rocinha	30-40 m						227 a 5%	britagem e P APR	aplicação direta 20.000 t/ano atual. parada	Fusaro <i>et al.</i> , 1987; Barros, 1988; Damasceno, 1989
Lagamar	Idem						5,2 a 10%	Idem	Idem	Damasceno, 1989
Irecê tipo 02 "in situ"	fracamente tectonizada	<2,5 em níveis dec. a métricos	14,9		1,5	11,1	40 a > 10%	difícil - excesso de MgO	tratamento térmico (?)	Monteiro, 1990
Irecê tipo 01 "cascalho"		1 a 1,6	12,6	39,2	17,2	<0,5	4,0 a >12%	difícil - excesso de R ₂ O ₃	(2)	

(1) Prospecção de jazida ainda não concluída;

(2) Tratamento ainda não definido.

Em regiões temperadas, o pH dos solos é geralmente próximo de 7, isto é, da neutralidade. Neste caso, o fosfato natural tricálcico, como a apatita, minério mais comumente explorado é, na grande maioria dos casos, insolúvel ou pouco solúvel, e portanto impróprio à assimilação pelas plantas. Entre todas as jazidas proterozóicas e cambrianas afro-brasileiras estudadas, por exemplo, somente aquelas de Bassar I e IV, no Togo, apresentam uma solubilidade em ácido cítrico igual ou superior àquela do fosfato de Gafsa, da Tunísia, considerada como o mais solúvel atualmente conhecido no mundo (Pascal & Aregba, 1989). Em todos os outros casos, é necessário aplicar processos físicos e/ou químicos destinados a tornar solúvel o fosfato e permitir seu emprego como fertilizante.

— *Por via física*, não se transforma o fosfato tricálcico natural, porém moendo-o finamente (80% < 200 mesh), aumenta-se, exponencialmente, a superfície de contato com as soluções dissolventes naturais dos solos e conseqüentemente, sua solubilidade. Este modo de tratamento fornece um fosfato moído que pode ser aplicado diretamente, constituindo-se assim em um produto pouco oneroso, adaptado às jazidas de importância de média a fraca, de interesse estritamente local (caso da exploração atual de Kodjari). Pode-se melhorar a solubilidade do fosfato moído através de uma leve acidificação (PAPR: Partially Acidulated Phosphate Rock para os americanos ou FOSNAP para os brasileiros). Esta foi a opção adotada para a exploração da jazida de Rocinha, atualmente parada devido a problemas econômicos (Damasceno, 1989).

— *Por via química*, transforma-se o fosfato tricálcico natural em produtos muito mais reativos e muito mais solúveis que, comumente são conhecidos como “superfosfatos”. Na realidade, são fosfatos mono ou bicálcicos, nos quais, ao fósforo, podem ser adicionados outros elementos fertilizantes como o potássio e o nitrogênio (adubos compostos NP ou NPK). Esses processos de enriquecimento são baseados no ataque do fosfato tricálcico natural por acidificação (mais comumente por ácido sulfúrico, porém, às vezes por

nítrico ou mesmo por clorídrico) gerando fertilizantes de grande qualidade. São, infelizmente, de alto custo e não podem ser aplicados a não ser em jazidas cujas reservas são importantes (para permitir a amortização da usina de tratamento) e cujas condições econômicas são muito favoráveis. Nenhuma das jazidas da Província afro-brasileira está, atualmente, sendo explorada desta maneira, pois não possuem essas condições.

Em regiões intertropicais, o pH dos solos é geralmente ácido, longe portanto da neutralidade, como por exemplo certos solos brasileiros que possuem valores de pH na faixa de 5. Em solos com pH desta ordem, a solubilidade pode ser multiplicada por um fator 3 ou 4, como mostra o recente trabalho de Morel (1988), que estudou, por traçagem isotópica, o comportamento do fósforo nos sistemas solo-adubo-plantas.

Quando se testa a solubilidade de um fosfato, os fatores clima e pH dos solos, onde os fertilizantes serão aplicados, não devem ser negligenciados.

PREÇO DO TRANSPORTE

Julgando-se pelos exemplos das jazidas atualmente em exploração no mundo, parece que a rentabilidade de uma exploração não pode suportar um transporte importante até o local de consumo (quando se trata de utilização doméstica) ou até o porto mais próximo (quando se trata de uma produção destinada à exportação). Atualmente, para as jazidas em exploração esta distância de transporte não ultrapassa 100 km. As grandes distâncias aos centros consumidores das jazidas aqui consideradas são, portanto, elas mesmas, dissuasivas para possibilitar uma exploração de sua produção. Ao contrário, a exploração de Kodjari e no futuro, aquelas de Rocinha, Irecê ou Bassar apresentam certamente um bom interesse regional.

CONCLUSÕES

Os fosfatos sedimentares da Província afro-brasileira de idade proterozóico-cambriano apresentam uma grande homogeneidade de características geológicas, mineralógicas e geoquí-

micas, temperadas por nuances na manifestação e na idade dos diferentes episódios de fosfatogênese.

Seu interesse econômico permanece, no estado atual dos conhecimentos, limitado à produção de fosfatos moídos naturais (Kodjari) ou apenas tratados (fosfatos parcialmente acidulados), de utilização estritamente regional. Este interesse não deve entretanto ser subestimado pela economia de regiões ou de país onde o agricultor não tem ainda acesso a fertilizantes de grande qualidade e, portanto, muito caro.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos organismos governamentais e às companhias minerais que, por sua atitude aberta, seu suporte logístico e por vezes financeiro, favoreceram a elaboração deste trabalho: no Burkina Faso, as autoridades do Projeto Fosfato, sob a direção de Dominique Ouataru; no Togo, a Direção do Centro ORSTOM de Lomé pelas pesquisas sobre Bassar (acompanhadas na França pelos trabalhos petrográficos, mineralógicos e geoquímicos de G. Panczer, na época na Universidade Louis Pasteur de Strasbourg); no Brasil, a Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (C.B.P.M.) que enormemente facilitou os estudos de campo, a amostragem das sondagens de Irecê e nos forneceu sem restrições seus documentos geológicos e técnicos e a COMIG, na pessoa do geólogo J.G. Parenti Couto. Os autores agradecem também o Prof. E.C. Damasceno, da Escola Politécnica da USP que, amavelmente colocou à nossa disposição uma importante documentação de caráter econômico e industrial. Finalmente, devemos ressaltar que parte dos trabalhos foram realizados com o suporte financeiro da FAPESP e do CNPq, através do convênio de Cooperação Internacional CNPq/ORSTOM.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFFATON, P., (1990), Le Bassin des Volta (Afrique de l'Ouest): une marge passive, d'âge protérozoïque supérieur, tectonisée au Panafricain (600 ± 50 M.a.). Edit. ORSTOM, Coll. Études et Thèses, 2 vol. 310 p.
- ALMEIDA, F. F. M. DE; HASUL, Y. NEVES B. B. DE B. & FUCH, R. A., (1977), Brazilian structural provinces; an introduction. *Earth Sci. Rev.*, 17: 1-29.
- BANERJEE, D. M., (1986), Proterozoic and Cambrian phosphorites. Regional review: Indian Subcontinent. In "Phosphate deposits of the world", Cook P.J. and Shergold J.H. Edit., vol. 1: pp. 70-90, Cambridge Univers. Press.
- BAUMER, A.; CARUBA, R. & GANTEAUME, M., (1990), Substitutions couplées $\text{SiO}^4 - \text{SO}^{2-} - \text{PO}^{3-}$ dans les phosphates sédimentaires d'origine marine. 13^e RAST, Grenoble.
- BERTRAND-SARFATI, J.; MOUSSINE-POUCHKINE, A. & CABY, R., (1987), Les corrélations du Protérozoïque au Cambrien en Afrique de l'Ouest: nouvelle interprétation géodynamique. *Bull. Soc. Géol. France*, 8 III. 5: 855-865.
- BLOT, A., (1986), Géochimie des phosphates précambriens du Togo. Relatório Interno ORSTOM, Centre de Lomé, Togo, 7 p.
- BLOT, A.; AFFATON, P.; SEDDOH, K.; AREGBA, A.; GODOUOU, K. S.; LENOIR, F.; DROUET, J. J.; SIMPARA, N. & MAGAT, P., (1988), Phosphates du Protérozoïque supérieur dans la chaîne des Dahomeyides (circa 600 M.a.) de la région de Bassar (Nord-Togo, Afrique de l'Ouest). *Journ. of Afric. Earth Sci.*, 7: 159-166.
- BOMFIM, L. F. C., (1986), Fosfato de Irecê (BA): um exemplo de mineralização associada à estromatolitos do Precambriano superior. Anais XXXIV Congres. Bras. Geol., Goiânia, Goiás, 1986, vol. 5: 2154-2167.
- BOUDZOUIMOU, F. & TROMPETTE, R., (1988), La chaîne ouest-congolienne au Congo: un socle polycyclique charrié sur un domaine subautochtone formé par l'aulacogène du Mayombe et le Bassin de l'Ouest Congo. *Bull. Soc. Géol. France*, 8, IV: 889-896.
- BOUJO, A. & BLOT, A., (1988), Les phosphates de Bassar. Étude particulière de Bassar II et Bassar III. Essai de synthèse d'ensemble. Rapport Interne, ORSTOM, Centre de Lomé, Togo, 25 p.
- BOUJO, A.; GIOT, D.; MAURIN, G.; PASCAL, M.; PRIAN, J. P. & SUSTRAC, G., (1988), Présentation générale des recherches de phosphate sédimentaire effectuées par le B.R.G.M. en Afrique. *Chron. Rech. Min.*, numéro spécial "phosphates", 3-50.

- BOUJO, A.; TROMPETTE, R.; FLICOTEAUX, R.; MELFI, A. J.; BLOT, A.; MONTEIRO, M. D.; OLIVEIRA, J. J. & MAGAT, P., (1991), Fosfatos sedimentares marinhos do Proterozóico médio e superior e do Cambriano da África e do Brasil: contexto geológico, mineralógico e geoquímico. Aspectos econômicos. *Resum. 3^a Congr. Brasil. Geoquim.*, São Paulo, 1: 64-67.
- BOZHKO, N. A.; KAZAKOV, G. A.; TROFIMOV, D. M.; KNORRE, K. G. & GATINSK, Y. U. A., (1971), New absolute dating of West African glauconites. *Acad. Nauk. SSSR, Doklady, Earth Sciences Section*, 198: 138-139 (AGI Translations).
- BRITO NEVES, B. B. DE; CORDANI, U. G. & TORQUATO, J. R. F., (1980), Evolução geocronológica do Precambriano do Estado da Bahia. In "Geologia e recursos minerais do Estado da Bahia", Inda H.A.V. and Duarte F.B. Edit. *Secr. Minas Energia (SME)*, Salvador, 3: 1-101.
- BRONNER, G.; ROUSSEL, J.; TROMPETTE, R. & CLAUER, N., (1980), Genesis and geodynamic evolution of the Taoudeni Basin (Upper Precambrian and Paleozoic), Western Africa. In "Dynamics of plate interiors", Bally A.W., Bender P.L., Mcgetchin N.T.R. and Walcott R.I. Edit. *Amer. Geophys. Union/Geol. Soc. Amer. Geodynamics Ser.*, 1: 81-90.
- CABY, R., (1987), The Pan-African belt of West Africa from the Sahara desert to the Gulf of Benin. In "The anatomy of Mountain Ranges", Schaer J.P. and Rodgers J. Edit., 129-170, Princeton Univ. Press.
- CAHEN, L.; SNELLING, N. J.; DELHAL, J. & VAIL, J. R., (1984), The geochronology and evolution of Africa. Clarendon Press, Oxford, 512 p.
- CAMPOS NETO, M. C., (1984), Litoestratigrafia, relações estratigráficas e evolução paleogeográfica dos grupos Canastra e Paranoa Região de Vazante, Lagamar, M.G. *Rev. Brasil. Geociênc.*, São Paulo, 14: 81-91.
- CHRISTIE, R. L. & SHELDON, R. P., (1986), Proterozoic and Cambrian phosphorites. Regional review: North America. In "Phosphate deposits of the world", Cook P. J. and Shergold J.H. Edit. vol. 1: 101-107, Cambridge Univ. Press.
- CLAUER, N.; CABY, R.; JEANNETTE, D. & TROMPETTE, R., (1982), "Geochronology of sedimentary and meta-sedimentary". *Precamb. Research*, 18 (1-2): 53-71.
- CLAUER, N. & DEYNOUX, M., (1987), New information on the probable isotopic age of the Late Proterozoic glaciation in West Africa. *Precambrian Res.*, 37: 89-94.
- COOK, P. J. & SHERGOLD, J. H., (1986), Phosphate deposits of the world - Vol. 1, Proterozoic and Cambrian phosphates. Cambridge Univ. Press, 386 p.
- CORDANI, U. G.; KAWASHITA, K.; SATO, K. & TAYLOR, P. N., (1989), Pb-Pb, Rb-Sr and K-Ar systematics of rocks types in Lagoa Real Uranium province, South Central Bahia, Brazil. *Abstr. 28th Intern. Bras. Congr. Washington*, 1: 327.
- CORREIA NEVES, J. M.; CARDOSO, R. N. & BRICHTA, A., (1976), Geologia e mineralogia de depósitos de wavelita e turquesa da região de Conselheiro Mata, Diamantina, Minas Gerais. *Anais XXIX Cong. Bras. Geol.*, Ouro Preto, vol. 3, 2: 207-217.
- CULVER, S. J.; POJETA JR. T. & REPETSKI, J. E., (1988), First record of Early Cambrian shelly microfossils from West Africa. *Geology*, 16: 596-599.
- DALLMEYER, R. D. & VILLENEUVE, M., (1987), $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ mineral age record of polyphase tectonothermal evolution in the southern Mauritanide orogen, southeastern Senegal. *Bull. Soc. Geol. Amer.*, 98: 602-611.
- DAMASCENO, E. C., (1989), The Patos de Minas phosphate deposit, Minas Gerais, Brazil, In "Phosphate deposits of the world" Notholt A.J.G., Sheldon K.P. and Davidson D.F. Edit., vol. 2: 100-103, Cambridge Univ. Press.
- DARDENNE, M., (1979), Les minéralisations de Plomb, Zinc, Fluor du Protérozoïque supérieur dans le Brésil central. *Thèse doct. Univ. P. et N. Curie*, Paris IV, 296 p. inédito.
- DARDENNE, M. A.; TROMPETTE, R.; MAGALHÃES, L. F. & SOARES, L. A., (1986), Proterozoic and Cambrian phosphorites. Regional review: Brazil. Cook P.J. and Shergold J.H. Edit. vol. 1: 116-131, Cambridge Univ. Press.
- DEYNOUX, M. & TROMPETTE, R., (1976), Late Precambrian mixtites: glacial and/or non glacial? Dealing especially with the mixtites of West Africa. *Americ. Journ. of Sci.*, 276 (10): 1302-1314.
- DEYNOUX, M.; TROMPETTE, R.; CLAUER, N. & SOUGY, J., (1978), Upper Precambrian and Lowermost Paleozoic correlations in West Africa and in the western part of Central Africa. Probable diachronism of the Late Precambrian tillite. *Geol. Rundschau*, 67 (2): 615-630.

- EL FALEH E. M., (1988), Les mécanismes de synthèse de l'apatite par activité bactérienne; rôle et comportement de quelques éléments minéraux. Application aux phosphates sédimentaires. Thèse Doct. Univ. Louis-Pasteur, Strasbourg, 287 p.
- HOWARD, P. F., (1986), Proterozoic and Cambrian phosphorites. Regional review: Australia. In: "Phosphate deposits of the world", Cook P.J. and Shergold J.H. Edit. vol. 1: 20-41, Cambridge Univ. Press.
- I.A.E.A (International Atomic Energy Agency), (1986). Correlation of Uranium geology between South America and Africa – Techn. Rept Ser., 270, 475 p.
- LEGEROS, R. Z.; TRAUTZ, O. R.; LEGEROS, J. P. & KLEIN, E., (1968), Carbonate substitution in the apatite structure. *Bull. Soc. Chim. France*, n° spec: 1712-1717.
- LEHR, G.; MCCLELLAN, G. H.; SMITH, J. P. & FRASIER, A. W., (1967), Characterization of apatites in commercial rocks. *Coll. Inter. Phos. Min. Sol.*, Toulouse: 29-44.
- LI YUEYAN, (1986), Proterozoic and Cambrian phosphorites. Regional review: China. In "Phosphate deposits of the world", Cook P.J. and Shergold J.H. Edit. vol. 1: 42-62, Cambridge Univ. Press.
- LUCAS, J.; PRÉVOI, L. & TROMPETTE, R., (1980), Petrology, mineralogy and geochemistry of the Late Precambrian phosphate deposit of Upper Volta (W. Africa). *Journ. Geol. Soc. London*, **137**: 787-792.
- LUCAS, L.; ILYIN, A. V. & KUHN, A., (1986), Proterozoic and Cambrian phosphorites deposits: Volta Basin, West Africa. In "Phosphate deposits of the world", Cook P.J. and Shergold J.H. Edit. vol. 1: 235-243, Cambridge Univ. Press.
- MACEDO, M. M. F. & BONHOMME, M., (1984), Contribuição à cronoestratigrafia das formações Caboclo, Bebedouro e Salitre na Chapada Diamantina (BA) pelos métodos Rb-Sr e K-Ar. *Rev. Brasil. Geociênc.*, São Paulo, **14**: 153-163.
- MACHADO, N.; SCHRANK, A.; ABREU, F. R. DE; KNAUER, L. G. & ALMEIDA ABREU, P. A., (1989), Resultados preliminares da geocronologia U/Pb na Serra do Espinhaço meridional. Anais 5º Simpósio Geol. Núcleo Minas Gerais. *Bol. Núcleos Brasília e Minas Gerais*, Belo Horizonte, **10**: 171-174.
- MCCLELLAN, G. H., (1980), Mineralogy of carbonate fluorapatites. *Jour. Geol. Soc. London*, **137**: 675-681.
- MCCLELLAN, G. H. & SAAVEDRA, F. N., (1986), Proterozoic and Cambrian phosphorites specialist studies: Chemical and mineral characteristics of some Cambrian and Precambrian phosphorites. In "Phosphate deposits of the world", Cook P.J. and Shergold J.H. Edit. vol. 1, pp. 244-267, Cambridge Univ. Press.
- MAURIN, G., (1978-1979), Étude géologique des phosphates de l'Est voltaïque. Gisement de Kodjari. Gites d'Aloub Djouana. Rapport Interne BUVOGMI-CDF-BRGM, 52 p.
- MAURIN, G.; GIOT, D.; SUSTRAC, G. & ZOUNGRAVA, E., (1989), The Kodjari and Aloub Djouana phosphate deposits, Burkina Faso. In "Phosphate deposits of the world", Notholt A.J.G., Sheldon R.P. and Davidson D.F. Edit. vol. 2: 219-225, Cambridge Univ. Press.
- MISI, A. & KYLE, J. R., (1990), Ambiente Sedimentar e origem das concentrações de sulfeto e de fosfato da região de Irecê-Lapão (Grupo Una, Proterozóico superior), bacia de Irecê, Bahia. *Resum. 36º Congr. Brasil. Geol.*, Natal, Brasil, p. 120.
- MOREL, C., (1988), Analyse, par traçage isotopique, du comportement du phosphore dans les systèmes sol-engrais-plante: conséquences en matière de fertilisation. Thèse Doct. Sc., Univ. Aix-Marseille III, 169 p.
- NOTHOLT, A. J. G. & BRASIER, M. D., (1986), Proterozoic and Cambrian phosphorites. Regional review: Europe. In "Phosphate deposits of the world", Cook P.J. and Shergold J.H., Edit. vol. 1: 91-100, Cambridge Univ. Press.
- QUEDRAOGO, Z. R., (1982), Contribution à l'étude des gisements de phosphates d'âge Précambrien du Sud-Est voltaïque Géologie. Valorisation. Thèse 3º cycle, Ecole Nat. Sup. Géologie Prosp. Min., Nancy, 202 p.
- PARENTI COUTO, J. G., (1980), Nota sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí na região de Felixlândia, Minas Gerais. *Rev. Bras. Geoc.*, **10**: 292-296.
- PARENTI COUTO, J. G., (1985), A correlação Brasil/África como base no estudo dos depósitos fosfáticos sedimentares do Estado de Minas Gerais (Brasil) e África d'Oeste (Bacia do Volta e Mauritânia). *Anais III Simp. Geol. Minas Gerais*, Belo Horizonte, **5**: 16-27.

- PASCAL, M. & AREGBA, A., (1989), Les phosphatites précambriennes de la région de Bassar (Togo). État des connaissances géologiques, caractérisation du minéral et perspectives de valorisation. *Chron. Rech. Min.*, **494**: 43-58.
- PASCAL, M. & SUSTRAC, G., (1989), Phosphorites deposits of Senegal. In "Phosphate deposits of the world", Notholt A.J.G., Sheldon R.P. and Davidson D.F. Edit. vol. 2: 233-246, Cambridge Univ. Press.
- PFLUG, R. & SCHÖLL, W. H., (1975), Proterozoic glaciations in Eastern Brazil: a review. *Geol. Rundschau*, **64** (1): 287-299.
- POSNER, A. S.; PERLOFF, A. & DIORO, A. F., (1985), Refinement of the hydroxyapatite structure. *Act. Cryst.*, **11**: 308-309.
- ROCHA ARAUJO, P. R., (1988), Les phosphorites d'âge protérozoïque moyen de Rocinha (Minas Gerais, Brésil) – Genese et évolution d'un gisement de phosphate tectonisé et métamorphisé au Brésilien (~600Ma). Thèse doct. Univ. Aix-Marseille III, France, 232 p., inédito.
- ROCHA ARAUJO, P. R. DA; FLICOTEUX, R.; PARRON, C. & TROMPETTE, R., (1992), "Phosphorites of Rocinha Mine – Patos de Minas (Minas Gerais – Brasil). Genesis and evolution of a Middle Proterozoic Deposit Tectonised by the Brasiliano orogeny (600 M.Y.). *Econ. Geol.*, **87**: 322-351.
- ROCHA-CAMPOS, A. C. & HASUI, Y., (1981a), Proterozoic diamictites of western Minas Gerais and eastern Goiás, Central Brazil. In "Earth's pre-pleistocene glacial record". Hamburg H.J. and Harland W.B. edit. 920-923, Cambridge Univ. Press.
- ROCHA-CAMPOS, A. C. & HASUI, Y., (1981b), Tillites of the Macaúbas group (Proterozoic) in Central Minas Gerais and Southern Bahia, Brazil. In "Earth's pre-pleistocene glacial record", Hambrey H.J. and Harland W.B. Edit. 933-938, Cambridge Univ. Press.
- ROSS, S. D., (1974), Phosphates and the other oxy-anions of Group V. In "The infrared spectra of minerals" Adland and Son Ltd. pp. 383-421.
- SÁ, E. F. J. DE; BARTELS, R. L.; BRITO NEVES, B. B. DE & MCREATH, I., (1976), Geocronologia e o modelo tectono-magmático de Chapada Diamantina e Espinhaço setentrional, Bahia. *Anais XXIX Congr. Bras. Geol.*, Ouro Preto, **4**: 205-227.
- SÁ, J. H. S.; LEITE, C. M. M.; CONCEIÇÃO FILHO, V. M. & OLIVEIRA, N. P. DE, (1984), Depósitos de rochas fosfáticas no município de Juazeiro, Bahia. *Anais XXXIII Congr. Bras. Geol.*, Rio de Janeiro, vol. VIII, 3724-3729.
- SCHOBENHAUS, C.; ALMEIDA CAMPOS, D. DE; DERZE, G. R. & ASMUS, H. E., (1984), Geologia do Brasil, DNPM Edit., 501 p.
- SLANSKY, M., (1986), Proterozoic and Cambrian phosphorites. Regional review: África. In "Phosphate deposits of the world" vol. 1: 108-115, Cook P.J. and Shergold J.H., Cambridge Univ. Press.
- SOUGY, J., (1964), Les formations paléozoïques du Zemmour noir (Mauritanie setentrionale). *Ann. Fac. Sc. Dakar*, **15** XII, 695 p.
- THOMAZ FILHO, A. & BONHOMME, M. G., (1979), Datations isotopiques Rb/Sr et K/Ar dans le Groupe Bambuí, à São Francisco (MG), au Brésil. Phase métamorphique brésilienne synchrone de la première phase panafricaine. *C.R. Acad. Sc. Paris, D*, **289**: 1221-1224.
- TROMBE, J. C.; BONEL, G. & MONTEIL, G., (1986), Sur les apatites carbonatées préparées à haute température. *Bull. Soc. Chim. France*, n° spécial: 1708-1711.
- TROMPETTE, R., (1984), Geodynamic evolution of Western Gondwana in Middle and Upper Proterozoic Time. *Abstr. XXVII Intern. Geol. Congr.*, Moscou, **II**: 404-405.
- TROMPETTE, R., (1989), Phosphorites of the Northern Volta Basin (Burkina Faso, Niger and Benin). In "Phosphate deposits of the world", Notholt A.J.G., Sheldon R.P. and Davidson D.F. Edit. vol. 2: 214-218, Cambridge Univ. Press.
- TROMPETTE, R., (no prelo), Geology of Western Gondwana (2000-500 Ma) Brasiliano aggregation of South America and Africa-Balkema.
- TROMPETTE, R.; AFFATON, P.; JOULIA, F. & MARCHAND, J., (1980), Stratigraphic and structural controls of Late Precambrian phosphate deposits of the Northern Volta Basin in Upper Volta, Niger and Benin, West Africa. *Economic Geol.*, 62-70.
- TRUONG, B., (1987), "Caractérisation du phosphate de Bassar", relatório interno, 3p.
- TURPIN, L.; MARUEJOL, P. & CUNNEY, M., (1988), U-Pb, Rb-SR and Sm-Nd chronology of granitic basement, hydrothermal albitites and uranium mineralization (Lagoa Real, South Bahia, Brazil). *Contr. Mineral. Petrol.*, **98**: 139-147.

- UHLEIN, A., (1991). Transição cráton-faixa dobrada: exemplo do cráton São Francisco e da faixa Araçuaí (ciclo Brasileiro) no estado de Minas Gerais – Tese dout. Univ. São Paulo, 295 p. inédito.
- VILLENEUVE, M., (1984). Étude géologique de la bordure Sud-Ouest du craton Ouest-African. La suture panafricaine et l'évolution des bassins sédimentaires protérozoïques de la marge NW du continent de Gondwana. Thèse d'Etat, Fac. Sc. St. Jérôme, Marseille, 552 p.
- VILLENEUVE, M & DALLMEYER, R. D., (1987), Geodynamic evolution of the Mauritanide, Bassaride and Rokelide orogens (West Africa). *Precambrian Res.*, **37**: 19-28.
- WIT, M. DE; JEFFREY, M.; BERGH, H & NICOLAYSSEN, L., (1988), Geological map of sectors of Gondwana reconstructed to their disposition 150 M.Y. Scale 1:10.000.000 Lambert equal projection centered at 20°S, 40°E. *Publ. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, Tulsa, USA.
- YANSHIN, A. L., (1986), Proterozoic and Cambrian phosphorites. Regional review: Asian part of USSR and Mongolian People's Republic. In "Phosphate deposits of the world", Cook P.J. and Shergold J.H. Edit. vol. 1. 63-69, Cambridge Univ. Press.