

## O GREENSTONE BELT DO RIO ITAPICURU: UMA BACIA DO TIPO BACK-ARC FÓSSIL

MARIA G. SILVA\*

**ABSTRACT** THE RIO ITAPICURU GREENSTONE BELT (BAHIA): A FOSSIL BACK-ARC BASIN. A model for the geotectonic evolution of the Rio Itapicuru granite-greenstone terrain is proposed herein, based on the integration of geochemical, metamorphic and structural data. Although spilitized, the basalts preserved geochemical signatures typical of ocean floor tholeiites (OFB). They show flat to enriched patterns of LREE, and flat patterns of HREE contrasting with negative and low values of epsilon Nd, thus, pointing to an environment compatible with a marginal basin. The andesitic and dacitic lavas and pyroclastics display a calc-alkaline affiliation, and were formed, at least in part, in a subaerial environment similar to a continental margin volcanic arc. The sintectonic granite-gneiss domes show calc-alkaline affiliation, with an origin in the mantle. The entire sequence was affected by one main deformational event related to the closure of the basin and the emplacement of the granite-gneiss domes resulting in a sinformal structure. The metamorphic grade varies from amphibolite at the margins grading to greenschist facies in the center. Geochronological studies point to the existence of an Archaean basement (2.9 Ga). The supracrustal sequence however, has an early Proterozoic age (2.5-1.8 Ga). These characteristics support the interpretation of the Rio Itapicuru greenstone belt as a supracrustal sequence accumulated in a back-arc basin, related to a collision/subduction process at the beginning of the Proterozoic.

*Keywords:* Greenstone belt, volcanosedimentary sequences, back-arc basin, São Francisco craton, Bahia, Brazil, Early Proterozoic, tholeiites, calc-alkalines, active margins, turbidites, granites, komatiites.

**RESUMO** Com base na integração dos dados geoquímicos, metamórficos e estruturais, propõe-se um modelo de evolução geotectônica para o *Greenstone Belt* do Rio Itapicuru (Bahia). As rochas basálticas apresentam feições compatíveis com toleitos de fundo oceânico (OFB), com características transicionais entre MORB e IAT. As lavas e piroclásticas andesíticas e dacíticas são de filiação cálcio-alcálica, com características geoquímicas e isotópicas compatíveis às de andesitos dos modernos ambientes de margens continentais ativas. Os granitóides sintectônicos são geoquimicamente similares aos vulcanites félsicos e intermediários. Toda a seqüência foi afetada por um evento metamórfico de natureza dinamo-termal, resultante do fechamento da bacia e da colocação dos domos granito-gnáissicos. O fechamento da bacia é responsável também pelo padrão de deformação sinformal da seqüência, de zonas contínuas de cisalhamento paralelas ao eixo maior da sinforme e de pequenas estruturas de cavalgamento. O grau metamórfico varia da fácies anfíbolito, nas bordas da seqüência, à fácies xisto verde, no centro. Estudos geocronológicos apontam para uma idade proterozóica inferior (Transamazônica) para o terreno *granito-greenstone* e uma idade arqueana para os terrenos migmatito-gnáissicos circundantes. As características gerais dão suporte à interpretação de que os terrenos *granito-greenstone* do Rio Itapicuru tenham sido gerados num ambiente similar às modernas bacias de *back-arc*, resultantes de uma tectônica de colisão-subdução.

*Palavras-chaves:* *Greenstone belt*, seqüência vulcanossedimentar, bacia de *back-arc*, Craton do São Francisco, Bahia, Brasil, Proterozóico Inferior, toleitos, cálcio-alcálicas, margens continentais ativas, turbiditos, granitos, komatiitos.

**INTRODUÇÃO** O terreno *granito-greenstone* da Região do Médio Itapicuru, no Estado da Bahia, abrange uma área superior a 7500 km<sup>2</sup>, limitada pelos paralelos 38° 55' e 39° 35' oeste e pelos meridianos 10° 10' e 11° 35' sul (Fig. 1).

As rochas supracrustais desse terreno, com espessura de aproximadamente 9,5 km, compreendem rochas vulcânicas máficas (na base), rochas vulcânicas intermediárias a félsicas, além de sedimentos elásticos e químicos, tanto intercalados nas rochas vulcânicas como formando um pacote individualizado no topo da seqüência.

As intrusivas são predominantemente granitóides de natureza sin e pós-tectônica, embora ocorram, subordinadamente, sills gabróticos e corpos subvulcânicos intermediários a félsicos. Apenas um corpo ultramáfico, de posicionamento duvidoso, foi encontrado até o momento nesses terrenos.

Duas fases de deformação afetaram a seqüência (Silva & Matos 1991). A fase inicial (D1) foi resultante de uma tectônica tangencial, concomitante ao fechamento da bacia e diapirismo granítico. A esta fase estão relacionados os eventos F1, de deformação cisalhante de *trend*

N-S e o evento F2, responsável pelo desenvolvimento de uma sucessão de anticlinais e sinclinais, de eixo N-S e vergência para leste. A fase D2 está representada por um dobramento de grande amplitude, que afetou também o embasamento e cujo fechamento se encontra na porção sul da estrutura *greenstone*.

Três eventos metamórficos distintos afetaram a seqüência (Silva 1983, 1987): 1. um evento inicial, de natureza hidrotermal (M1), de fundo oceânico, que espilitizou parcialmente as rochas vulcânicas; 2. um evento subsequente regional (M2), progressivo, da fácies xisto verde a anfíbolito, sin F2 e concomitante com a colocação dos granitos sin-tectônicos; e 3. um evento final (M3) de natureza termal, localizado em torno dos corpos intrusivos pós-tectônicos.

Todo o conjunto encontra-se encravado em rochas gnáissico-migmatíticas arqueanas do embasamento do Cráton do São Francisco (Almeida 1977).

Muito embora o contato entre as supracrustais e os terrenos gnáissico-migmatíticos não tenha sido diretamente observado, estudos do comportamento metamórfico bem como

\* Curso de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Rua Caetano Moura, 123, Federação, CEP 40210-340, Salvador, Bahia, Brasil

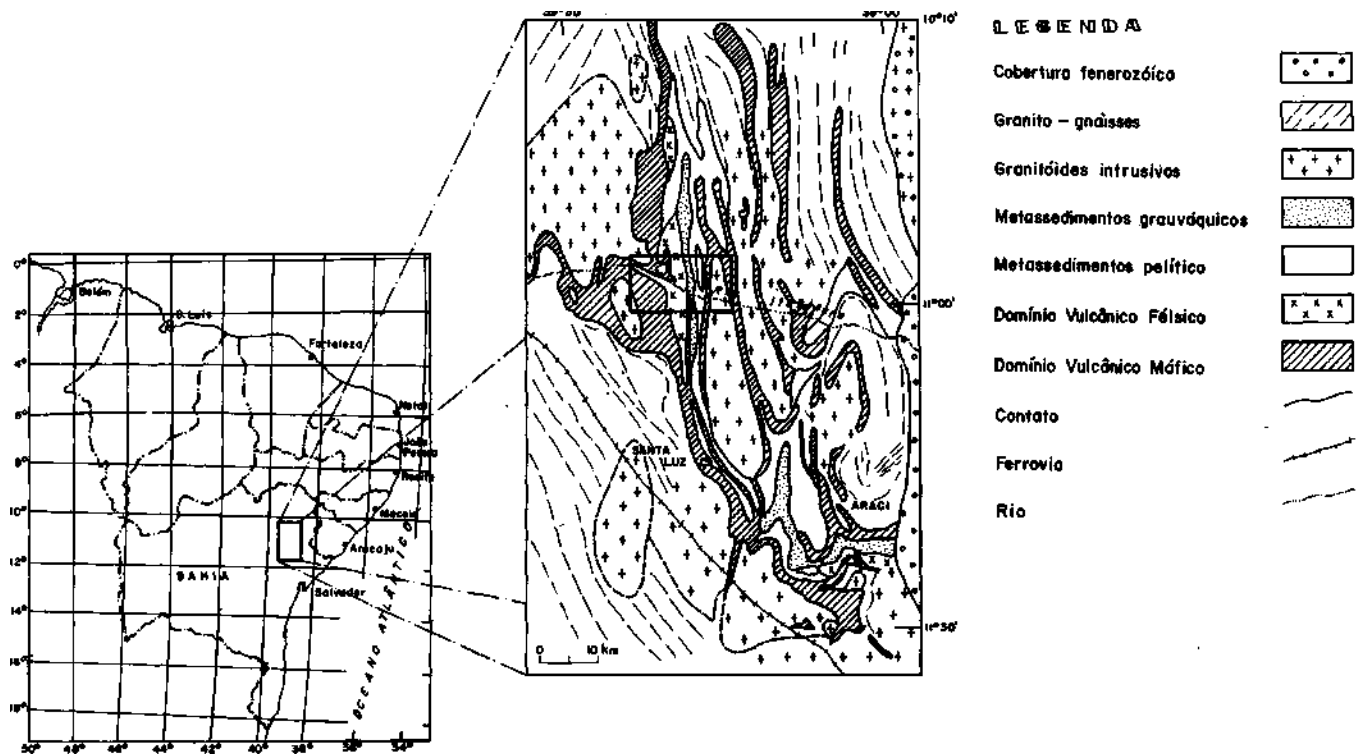


Figura 1 - Mapas de localização e geológico simplificados do Greenstone Belt do Rio Itapicuri. Quadro localizando a área da figura 2, selecionada para estudos petrográficos e litogeoquímicos de detalhe

Figure 1 - Location and simplified geological map of the Rio Itapicuri Greenstone Belt. Quadrangle refers to the area from figure 2

do padrão de deformação apontam para a existência de forte descontinuidade entre esses dois domínios (Davison *et al.* 1988). Essas evidências indiretas, somadas aos resultados geocronológicos até o momento obtidos para as rochas dessa área (2,9 Ga para as rochas gnássico-migmatíticas e 1,8 Ga para os granitóides sin-tectônicos, Gáal *et al.*, em elaboração); 2,1 Ga para os andesitos e 2,2 Ga para os basaltos da seqüência supracrustal, M.G. Silva, em elaboração), sugerem que as rochas gnássico-migmatíticas sejam o embasamento da seqüência supracrustal.

Para a realização de estudos geoquímicos nos diferentes litotipos do conjunto *granito-greenstone*, foi selecionada uma área de aproximadamente 150 km<sup>2</sup>, localizada ao longo do Rio Itapicuri, em seu curso médio (Fig. 2), onde a exposição continua das rochas facilitou o trabalho de amostragem. Essa área compreende um sinclinal deitado cujo anticlinal adjacente é ocupado pelo corpo granitóide sintectônico do Ambrósio.

Este trabalho teve por objetivos: 1. a definição da afinidade geoquímica das diferentes rochas supracrustais; 2. a identificação do ambiente geotectônico no qual essas rochas foram geradas e dos processos envolvidos na gênese; 3. propiciar uma discussão, ainda que de caráter preliminar, acerca das relações entre o terreno *granito-greenstone* e os terrenos metamórficos de alto grau adjacentes, e, por fim 4. a proposição de um modelo de evolução para essa porção do Cráton do São Francisco.

**ROCHAS VULCÂNICAS MARCAS Aspectos macro e microscópicos** A porção basal da seqüência supracrustal consiste em um pacote, de aproximadamente 5 km de espessura, de rochas vulcânicas máficas, compreendendo basaltos maciços (predominantes), basaltos porfiríticos, basaltos variolíticos, basaltos amigdaloidais e brechas de fluxo. Em alguns locais aparecem estruturas do tipo *pillow-lava* muito bem preservadas.

As vulcânicas máficas situam-se nas bordas da estrutura sinclinal, ocupando cerca de 60% da área de exposição do *greenstone*.

Nas porções marginais, onde o grau metamórfico corresponde à fácies anfíbolito do evento M2, esses basaltos apresentam a paragênese hornblenda+plagioclásio cálcico. Na transição das bordas para o centro da seqüência a paragênese é do tipo hornblenda actinolítica+oligoclásio+epidoto+carbonato+ titanita, típica da fácies epidoto anfíbolito do evento M2. No centro do *greenstone*, onde as rochas foram menos afetadas pelo evento tectono-termal de fechamento da bacia, as paragêneses resultantes do evento M1 não foram significativamente obliteradas pelas reações metamórficas do evento M2, sendo ainda facilmente reconhecíveis feições relativas ao evento de espilitização. Predomina nesta porção do *greenstone* a paragênese actinolita+clorita+albita+carbonato+quartzo+epidoto+"leucocênio", pertencente à fácies xisto verde de metamorfismo.

Nos basaltos variolíticos as variolas possuem no máximo 1,5 cm de diâmetro e consistem num aglomerado de cristais de plagioclásio+quartzo+carbonato. Esta textura foi interpretada por Silva (1983) como decorrente de um fenômeno de imiscibilidade de líquidos.

As *pillows* possuem desde 15 cm até 2 m de diâmetro e apresentam margens afaníticas e fraturas radiais, feições indicativas de resfriamento brusco. O material *inter-pillow* é basáltico afanítico, tendo sido totalmente espilitizado pelo evento metamórfico de fundo oceânico, como evidenciado nos afloramentos menos afetados pelo evento M2 de metamorfismo.

Os basaltos porfiríticos, raros na seqüência, apresentam antigos fenocristais de piroxênio, totalmente transformados em anfíbolito.

As brechas de fluxo associam-se aos derrames em almofadas. Consistem em fragmentos de tamanho variado de lava basáltica maciça, englobados por lava basáltica afanítica fortemente espilitizada.

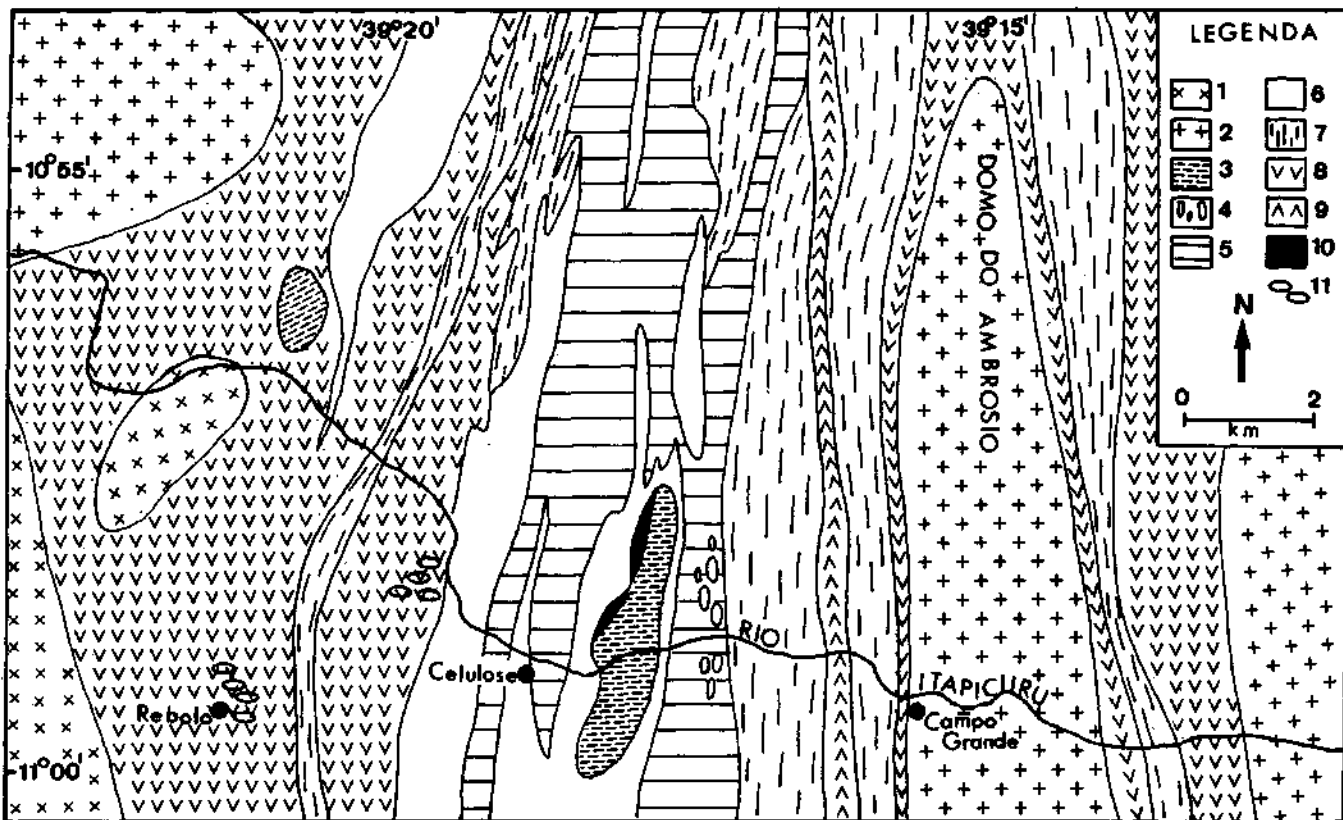


Figura 2 - Mapa geológico da porção central do Greenstone Belt do Rio Itapicuru. 1. Granitoides pós-tectônicos; 2. Granitoides sin-tectônicos; 3. Corpos félsicos subvulcânicos; 4. Aglomerados vulcânicos félsicos; 5. Tufos andesíticos e dacíticos; 6. Lavas andesíticas e dacíticas; 7. Sedimentos elásticos e pelíticos; 8. Basaltos toleíticos; 9. Gabros; 10. Rochas ultramáficas; 11. Pillow-lavas

Figure 2 - Geological map of the central part of the Rio Itapicuru Greenstone Belt. 1. Post-tectonic granitoids; 2. syn-tectonic granitoids; 3. Felsic subvolcanic bodies; 4. Felsic agglomerates; 5. Andesitic and dacitic tuffs; 6. Andesitic and dacitic lavas; 7. Clastic sediments; 8. Tholeiitic basalts; 9. Gabbros; 10. Ultramafics; 11. Pillow-lavas

**Geoquímica** Silva (1987) realizou análises químicas de elementos maiores e traços, por fluorescência de raios X, em um grupo selecionado de amostras de basaltos (53), peridotitos (30), andesitos e dacitos (15) e granitos (23). Dentro desse grupo foram ainda selecionadas, sete amostras de basaltos, seis amostras de peridotitos e duas amostras de andesitos para análises, por ICP, de elementos terras-raras.

Os resultados dessa análises revelaram as seguintes características gerais para os metabasaltos:

1. os teores de SiO<sub>2</sub> situam-se entre 45 e 55%, TiO<sub>2</sub> entre 0.5 e 2.0% e o somatório de álcalis não ultrapassa 3%. O Fe-total (calculado como Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) oscila entre 10 e 17%, enquanto os valores de MgO situam-se entre 4,5 e 7,54%;
2. todas as amostras possuem quartzo e hiperstênio normativos sendo portanto supersaturadas em sílica;
3. predominam basaltos com teores de Fe-total acima de 12%, que podem ser classificados, de acordo com BVSP (1981), como ferro basaltos;
4. os basaltos são tipicamente de ambiente oceânico, como evidenciado pelo diagrama da figura 3, e pertencem à série toleítica de diferenciação, caracterizada por um enriquecimento contínuo em ferro, paralelamente a um empobrecimento em magnésio (Figs. 4a e 4b), no decurso da diferenciação magmática;
5. os padrões de ETR (elementos terras-raras) apontam para a existência de dois derrames basálticos distintos: os basaltos tipo I (Fig. 5a), caracterizados por apresentarem padrões planos de terras raras, tanto no domínio das terras-raras leves (TRL) quanto no das terras-raras pesadas (TRP), e os basaltos tipo II (Fig. 5b) com um leve enriquecimento das TRL em relação às TRP; e

6. quanto à origem dessas rochas, foi demonstrado por Silva (1987), com base em cálculos petrogenéticos, que os basaltos tipo I e II são diferenciados de líquidos distintos, gerados a partir de diferentes percentuais de fusão de uma mesma fonte mantélica

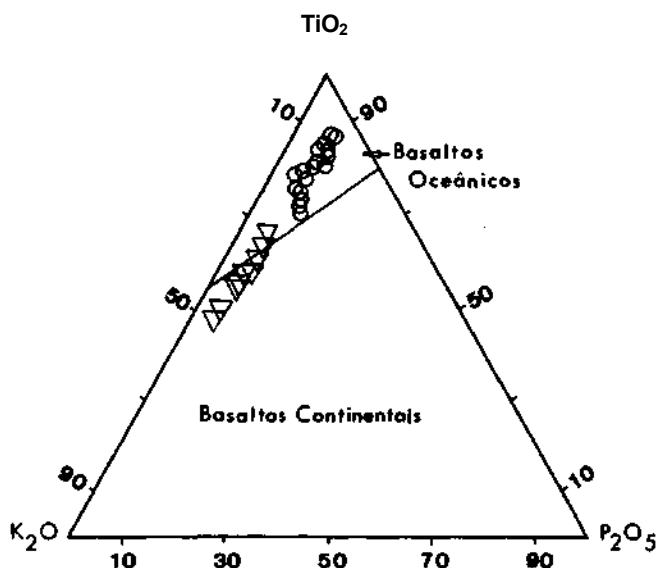


Figura 3 - Basaltos do Rio Itapicuru ocupando o campo dos basaltos oceânicos no diagrama TiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, proposto por Pearce et al. (1975)

Figure 3 - The TiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> diagram (from Pearce et al. 1975) showing the Rio Itapicuru basalts occupying the ocean floor basalt (OFB) field

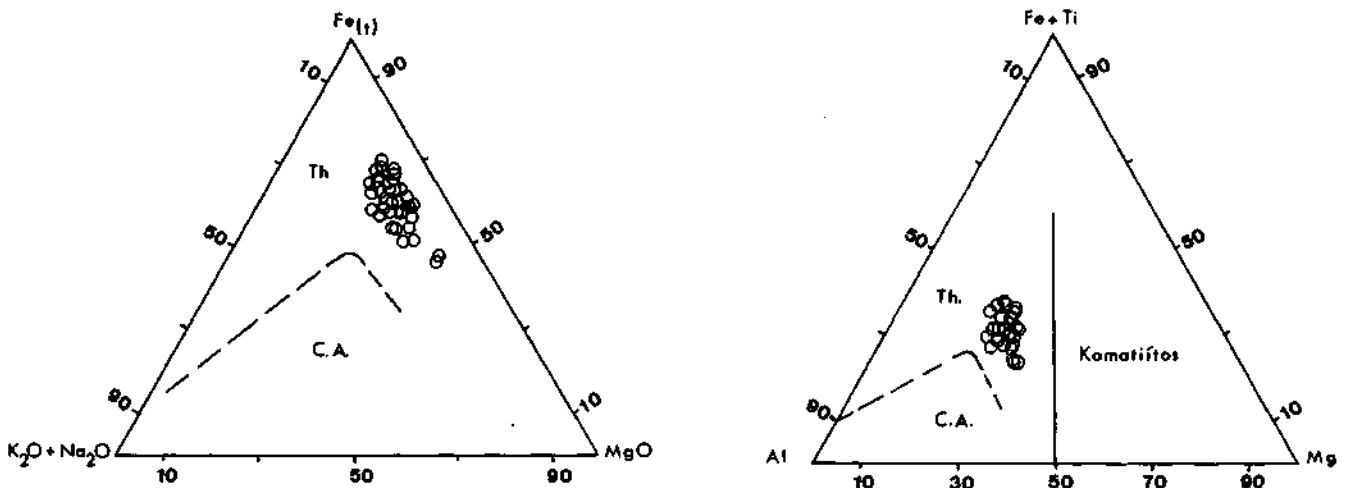


Figura 4- a. Diagrama AFM e b. Diagrama de Jensen. Basaltos do Rio Itapicuru ocupando os campos reservados a basaltos de filiação toleítica. C.A. (cálcio-alcálinas), Th (toleíticos)

Figure 4 - a. AFM diagram and b. Jensen Plot showing the Rio Itapicuru basalts in the tholeiitic field. C.A. (calc-alkalines), Th (tholeiites)

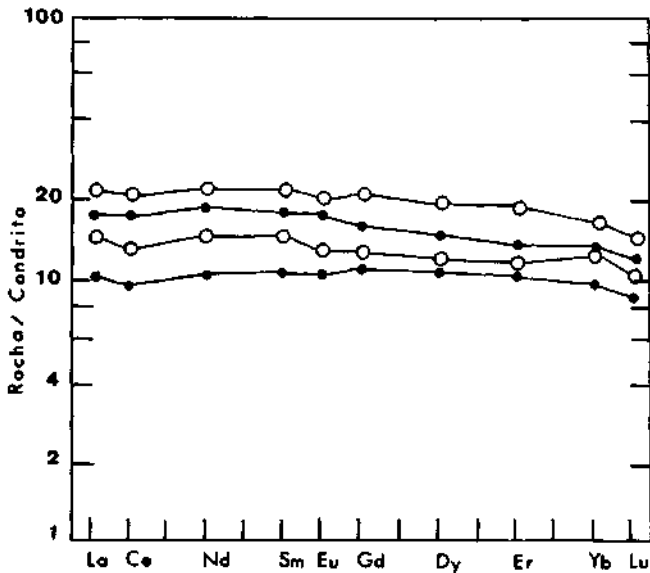


Figura 5a - Valores normalizados de terras-raras de basaltos do tipo I

Figure 5a - Chondrite-normalized rare earth elements pattern for the type I basalts

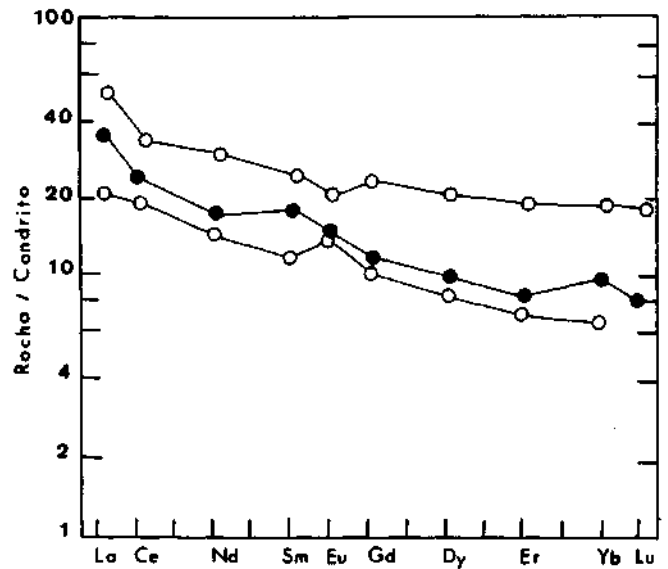


Figura 5b - Valores normalizados de terras-raras de basaltos do tipo II

Figure 5b - Chondrite-normalized rare earth elements pattern for the type II basalts

De acordo com BVSP (1981), basaltos oceânicos podem ser gerados em ambientes de tectônica de colisão (toleitos de arcos de ilhas), em ambientes de tectônica de extensão (cadeias mesoocênicas e bacias de *back-arc*) e em ambientes intraplacas oceânicos, anorogênicos (basaltos de ilhas oceânicas).

Visando definir o ambiente de formação das rochas basálticas do Rio Itapicuru, diagramas discriminatórios foram construídos utilizando-se basicamente os elementos que se demonstraram menos susceptíveis aos processos secundários.

Vale aqui ressaltar que foi feita uma análise do comportamento dos elementos maiores e traços, diante dos processos secundários (Silva 1987), tomando por base diagramas de razões moleculares (DRM) propostos por Pearce (1968), usando  $P_2O_5$  como oxido normalizador. A escolha do  $P_2O_5$  deve-se à inexistência de apatita nas rochas basálticas dessa porção do Itapicuru, o que permitiu assumir que não houve fracionamento do fósforo.

De acordo com o diagrama de Pearce & Cann (1973), os basaltos do Itapicuru pertencem ao grupo dos toleitos de baixo

K (Fig. 6), típicos tanto de ambientes de fundo oceânico (OFB) quanto de arcos de ilhas (IAT). A natureza exclusiva de fundo oceânico desses basaltos fica entretanto evidente nos diagramas das figuras 7a e 7b, construídos de acordo com Pearce (1975) e Garcia (1978), respectivamente.

Basaltos de fundo oceânico podem ser gerados tanto em cadeias mesoocênicas (MORB), quanto em bacias do tipo *back-arc*, sendo, em ambos os casos, produtos de uma tectônica de extensão.

Do ponto de vista geoquímico, basaltos de ambientes tipo MORB e de bacias do tipo *back-arc* são bastante semelhantes, o que levou alguns autores, exemplo de Jahn (1986), a propor uma classificação única para ambos os tipos. Entretanto, Hawkesworth *et al* (1977), Saunders & Tarney (1979) e Jahn (1986), ao realizarem trabalhos geoquímicos sistemáticos em basaltos de bacias do tipo *back-arc*, constataram a ausência, nesse tipo de ambiente, de rochas com padrões empobrecidos em TRL ( $Sm/La < 1$ ), similares aos padrões de basaltos tipo N-MORB. De acordo com esses autores, basaltos de bacias de

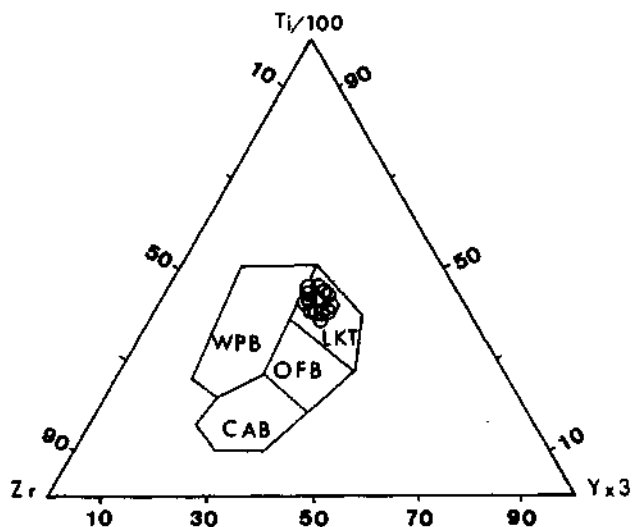


Figura 6 - Basaltos do Rio Itapicuru ocupando o campo destinado a toleitos de baixo K (LKT) no diagrama Ti/100-Zr-Y.3 proposto por Pearce & Cann (1973). WPB (basaltos de entre-placas), OFB (basaltos de fundo oceânico) e CAB (basaltos cálcio-alcálinos)

Figure 6 - Ti/100 - Zr - Y.3 diagram (from Pearce & Cann 1973) showing the Rio Itapicuru basalts in the low-K tholeiite field. WPB (within plate basalts), OFB (ocean floor basalts) and CAB (calc-alkaline basalts)

back-arc apresentam enriquecimento em TRL em relação às TRP, com razões  $(La/Lu)_n > 1$ , ou então razões  $(La/Lu)_n$  aproximadamente iguais a 1. Ainda segundo esses autores, a ausência em bacias de back-arc de basaltos empobrecidos em TRL, à semelhança de basaltos do tipo N-MORB, pode ter duas explicações:

1. a inexistência nessas bacias de um manto fonte empobrecido, similar ao manto fonte que dá origem à maioria dos basaltos de cadeias mesoceânicas (valores altamente positivos de eNd), ou 2. a existência desse manto fonte empobrecido, sendo o magma gerado posteriormente submetido a fenômenos de contaminação crustal, com conseqüente diminuição dos valores de Nd.

A freqüente ausência de basaltos com padrões empobrecidos em TRL mas com valores fracamente positivos de Nd nas bacias de back-arc parece apontar para a segunda hipótese.

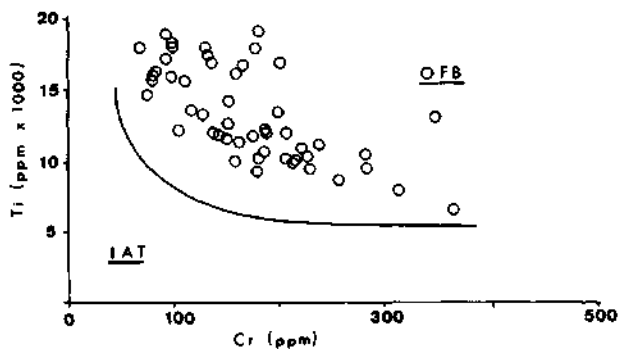


Figura 7a - Basaltos do Rio Itapicuru ocupando o campo destinado aos basaltos de fundo oceânico (OFB) no diagrama Ti-Cr proposto por Pearce (1975). IAT (toleitos de arcos de ilhas)

Figure 7a - Ti-Cr diagram (from Pearce 1975) showing the Rio Itapicuru basalts in the OFB (ocean floor basalts) field. IAT (island arc tholeiites)

As rochas basálticas do Rio Itapicuru, tanto os basaltos Tipo I com  $(La/Lu)_n$  aproximadamente igual a 1, quanto os basaltos tipo II, com  $(La/Lu)_n$  maior que 1, possuem Nd positivo (+4), apontando para uma fonte empobrecida.

Tal comportamento geoquímico dos basaltos do Rio Itapicuru nos permite levantar a hipótese dos mesmos terem sido gerados num ambiente do tipo back-arc. Entretanto, uma interpretação baseada apenas nas características geoquímicas dessas rochas não é, de forma alguma, definitiva. Outros dados relativos à geologia regional, comportamento metamórfico e estrutural, assim como as rochas associadas (presença de lavas e piroclásticas félsicas, além de sedimentos elásticos grossos), dão maior suporte à essa interpretação, como será discutido mais adiante.

**ROCHAS VULCÂNICAS FÉLSICAS Aspectos macro e microscópicos**

As rochas vulcânicas intermediárias e félsicas compreendem lavas e piroclásticas andesíticas a dacíticas que se situam na porção central da seqüência supracrustal, ocupando cerca de 25% da área de exposição do greenstone (Fig. 2). O contato entre essas rochas vulcânicas de natureza félsica e os vulcanites máficos nem sempre é observável. Quando aflorante, esse contato é por falhamento. Os derrames, são em sua maioria, porfíricos, com fenocristais de hornblenda e/ou plagioclásio nas lavas andesíticas e fenocristais de plagioclásio e quartzo nas lavas dacíticas. Derrames afaníticos são raros. Lentes irregulares de lavas variolíticas são encontradas intercaladas nos derrames porfíricos ou afaníticos.

As feições primárias dessas rochas estão muito bem preservadas, à exceção de alguns locais, onde as rochas foram submetidas a processos de cisalhamento. Em alguns afloramentos ao longo do Rio Itapicuru é possível observar linhas de fluxo primário e fraturas radiais de resfriamento brusco nas lavas andesíticas. Microscopicamente, foram reconhecidas feições texturais tais como arranjos pilotaxíticos e intersertais, golfos de corrosão em grãos de quartzo e quartzo bipiramidal.

Estas lavas foram, pelo menos em parte, afetadas pelos processos hidrotermais do evento metamórfico de fundo oceânico (M1), com o desenvolvimento da paragênese albita+clorita+epidoto+sericita+carbonato+quartzo.

As piroclásticas compreendem lentes de tufo de cinza, tufo de cristais, tufo líticos lapilli, tufo vítreos e aglomerados vulcânicos.

Uma lente contínua de quartzo albitito (sedimento vulcanoquímico), contendo até 30% de sulfetos (pirita, arsenopirita e raramente esfalerita) ocorre na interface entre as rochas

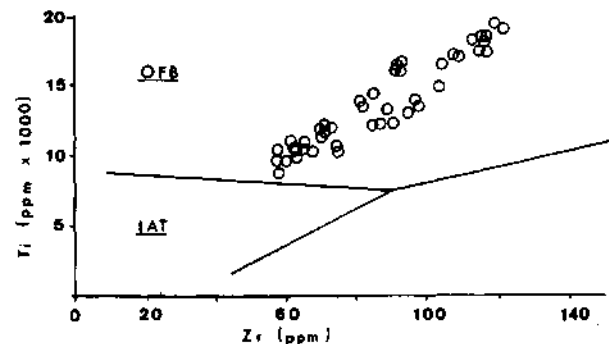


Figura 7b - Basaltos do Rio Itapicuru ocupando o campo dos basaltos de fundo oceânico (OFB) no diagrama Ti-Zr proposto por Pearce & Cann (1973), modificado por Garcia (1978). IAT (toleitos de arcos de ilhas)

Figure 7b - Ti-Zr diagram (from Pearce & Cann 1973, modified by Garcia 1978) showing the Rio Itapicuru basalts in the OFB (ocean floor basalts) field. IAT (island arc tholeiites)

vulcânicas intermediárias a félsicas e um pacote sedimentar sobrejacente (Fig. 2).

O arranjo espacial dessas rochas do domínio vulcânico félsico é zonado, com as lavas predominando na porção oeste do domínio e gradando, no sentido leste, para piroclásticas, vulcânicas epiclásticas e, por fim, vulcanoquímicas. Essa zonabilidade pode ser decorrente de um controle paleotopográfico. As lavas e piroclásticas representariam a parte mais elevada e mais próxima do centro vulcânico enquanto as vulcânicas epiclásticas e as vulcanoquímicas teriam sido depositadas numa porção topograficamente rebaixada do terreno. As vulcânicas epiclásticas possuem natureza turbidítica, o que aponta para uma considerável e abrupta diferença de relevo entre o centro vulcânico félsico e a porção da bacia onde foram depositadas as rochas turbidíticas.

Os efeitos dos eventos M1 e M2 são também aqui observados, muito embora grande parte das feições primárias esteja preservada.

Predominam paragêneses da fácies xisto verde com o desenvolvimento de albita, clorita, carbonato, sericita, epidoto, quartzo e hematita. Na maioria dos casos, as reações metamórficas do evento M2 não mascararam totalmente as evidências do evento M1. Nos aglomerados vulcânicos, por exemplo, os fragmentos tamanho bomba de lava andesítica possuem formato fusiforme, com bordas afaníticas de resfriamento. Essas bombas são uma das evidências dentro do pacote vulcânico félsico de que, pelo menos em parte, esse evento vulcânico se deu em ambiente sub-aéreo.

**Geoquímica** A análise química de amostras de lavas andesíticas e dacíticas aponta para a existência de um hiato de sílica entre o vulcanismo máfico e o evento vulcânico félsico, como ilustrado no diagrama da figura 8, caracterizando uma bimodalidade do vulcanismo.

Quando plotadas num diagrama do tipo AFM (Fig. 9), andesitos e dacitos configuram um *trend* geoquímico cálcio-alcalino de diferenciação magmática.

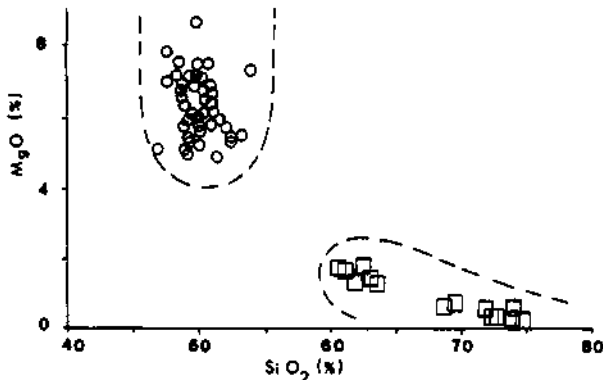


Figura 8 — Diagrama MgO-SiO<sub>2</sub> evidenciando o hiato de sílica existente entre os vulcanitos máficos e félsicos do Rio Itapicuru. Circulos representam as vulcânicas máficas e quadrados as vulcânicas félsicas

Figure 8 - MgO-SiO<sub>2</sub> diagram showing the silica gap between the mafic volcanics (circles) and felsic volcanics (squares)

O padrão de distribuição das terras-raras, com curvas muito inclinadas no domínio das TRL (Fig. 10) e alta razão La/Yb, aponta para uma similaridade com andesitos de margens continentais ativas. Essa similaridade é também notada quando se observa o padrão de distribuição de elementos incompatíveis, de comportamento relativamente imóvel (Fig. 11), normalizados em relação a um ORG (*ocean ridge granite*), usando valores de normalização de Pearce *et al.* (1984).

Considerando que as características geoquímicas apontaram para um ambiente do tipo arco de margem continental

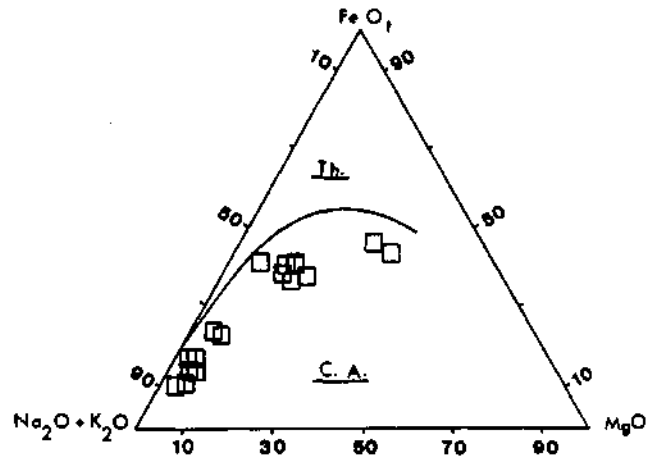


Figura 9 - Diagrama AFM mostrando o *trend* cálcio-alcalino desenvolvido pelas vulcânicas félsicas do Rio Itapicuru. CA (cálcio-alcalinas) e Th (toleitos)

Figure 9 - The AFM diagram, showing the calc-alkaline trend of the andesitic and dacitic lavas from the Rio Itapicuru Greenstone Belt. C.A. (calc-alkaline) Th (tholeiite)

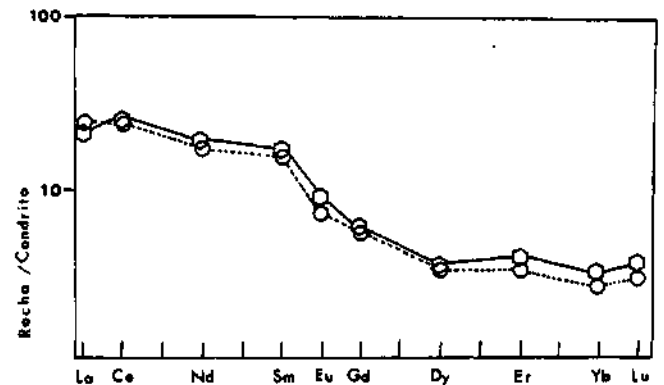


Figura 10- Valores normalizados de terras-raras de andesitos do Rio Itapicuru

Figure 10 - Chondrite-normalized rare earth elements pattern of the Rio Itapicuru andesites

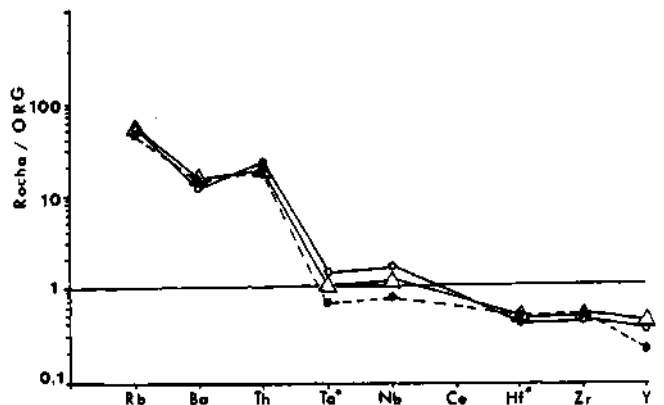


Figura 11 - Valores normalizados em relação a ORG (*ocean ridge granite*) de elementos incompatíveis das rochas andesíticas do Itapicuru

Figure 11 - Spider-diagram of the felsic and intermediate lavas of the Rio Itapicuru Greenstone Belt, normalized to an ORG (ocean ridge granite)

para as rochas andesíticas e dacíticas. Silva (1987) realizou alguns cálculos petrogenéticos, na tentativa de definir a natureza da fonte dessas rochas. Nesse trabalho ficou demonstrado, tomando por base os teores de Zr, Y, Nb, Ni e ETR,

que as vulcânicas máficas toleíticas e os vulcanites intermediários a félsicos não poderiam ter sido originados de uma mesma fonte magnética, através de processos de cristalização fracionada.

A possibilidade dessas rochas terem sido originadas a partir de líquidos derivados da fusão parcial da crosta continental pré-existente (embasamento gnáissico-migmatítico) foi igualmente descartada por Silva (1987), tendo em vista a baixa razão isotópica inicial de Sr (0,701) das lavas andesíticas e dacíticas.

Uma alternativa seria a derivação dessas rochas a partir da fusão parcial da crosta oceânica subductada e modificada, considerando o ambiente geotectônico no qual elas parecem ter sido geradas. Cálculos petrogenéticos demonstraram a viabilidade dessa hipótese, considerando 35% de fusão parcial de uma rocha quartzo eclogítica. Uma descrição pormenorizada desses cálculos pode ser encontrada em Silva (1987).

A rocha eclogítica seria o produto do metamorfismo de alto grau da crosta oceânica subductada, hipótese já anteriormente adotada por diversos autores (Green & Ringwood 1968, Condie & Harrison 1976, Condie 1976, Hawkesworth & O'Nions 1977, Jahn *et al.* 1980) para explicar a origem de rochas andesíticas de ambientes orogenéticos.

Nesse caso, os andesitos do Rio Itapicuru teriam sido originados numa margem continental ativa, margem essa adjacente à bacia de extensão onde foram geradas as rochas basálticas toleíticas.

**ROCHAS SEDIMENTARES** Lentes de *chert*, jaspilitos e formações ferríferas são freqüentemente encontradas intercaladas nas lavas toleíticas, evidenciando a existência de períodos de pausa na atividade vulcânica.

Os sedimentos associados às vulcânicas félsicas são de natureza predominantemente elástica e muito raramente de

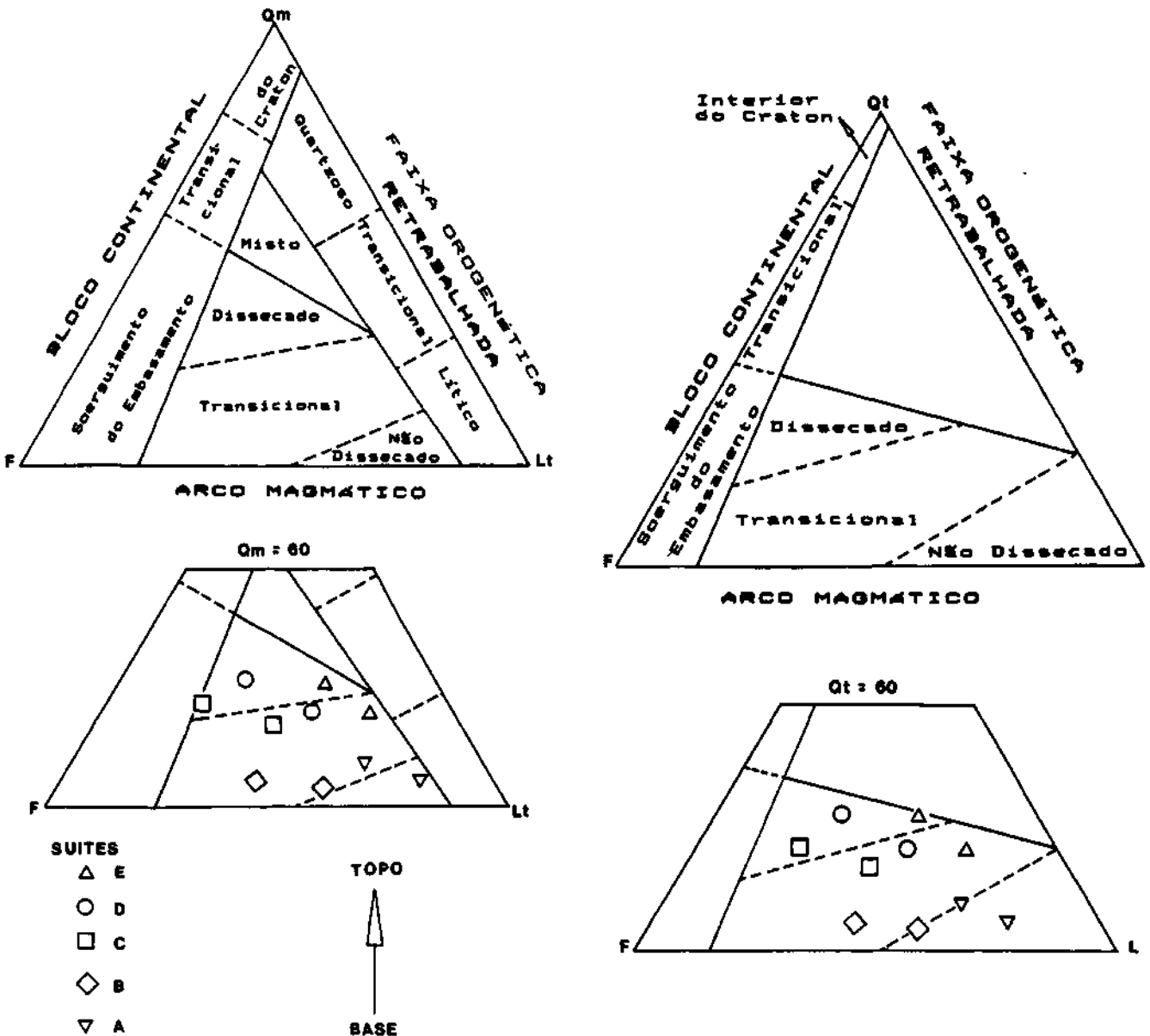


Figura 12 - Diagramas triangulares, de Dickinson *et al.* 1983, com as discriminações das áreas fontes de diferentes suites de rochas sedimentares do Rio Itapicuru. Q (quartzo), Qm (quartzo monocristalino), Qp (quartzo policristalino), Qt (Qm+Qp), F (feldspato), L (litoclastos), Lt (L+Qp). Suíte A: sedimentos da porção centro-norte, ao longo do rio Itapicuru. Suítes B, C e D: sedimentos da porção sul do greenstone, região de Araci

Figure 12 - Dickinson *et al.* (1983) diagram spotting the source areas of the clastic sediments of the Rio Itapicuru Greenstone Belt. Q (quartz), Qm (monocrystalline quartz), Qp (polycrystalline quartz), Qt (Qm+Qp), F (feldspar), L (lithoclasts), Lt (L+Qp). Suite A: central northern sediments. Suites B, C and D: sediments from the southern portion of the Rio Itapicuru Greenstone Belt, Araci region

natureza química. Trata-se de rochas vulcânicas epiclásticas (conglomerados, arenitos, siltitos e folhelhos), cuja composição mineralógica aponta para um retrabalhamento das rochas piroclásticas andesíticas e dacíticas. Estes sedimentos são ritmitos bem preservados, que exibem freqüentemente estruturas sedimentares, tais como foliação plana, estratificação cruzada e acamamento gradacional, evidenciando a sua natureza turbidítica.

Um trabalho recente realizado por Lebede & Hoppe (1990), aplicando o método de Dickinson *et al.* (1983), tornou evidente que a sedimentação elástica dessa seqüência foi decorrente da dissecação de rochas vulcânicas félsicas. Nos diagramas da figura 12 aparece um nítido *trend* de sedimentos oriundos de um arco de ilha imaturo (*undissected*) para sedimentos oriundos de um arco maturo (*dissected*). De acordo com os estudos realizados por esses autores, os sedimentos elásticos precoces foram depositados como turbiditos em ambiente marinho profundo, onde se associaram a sedimentos químicos. Os sedimentos mais grossos, que predominam nas porções superiores da seqüência, teriam sido formados em ambiente marinho raso. Nestes sedimentos mais grossos foi detectada a presença de alguns clastos oriundos de rochas externas ao ambiente da bacia de deposição (rochas do embasamento gnáissico-migmatítico).

**ROCHAS ULTRAMÁFICAS** Apenas dois pequenos corpos ultramáficos foram até o momento identificados na seqüência. Esses corpos possuem posicionamento estratigráfico duvidoso, uma vez que suas relações de contato com as rochas encaixantes estão obliteradas por feições de cisalhamento.

Do ponto de vista petrográfico trata-se de peridotitos serpentinizados e carbonatizados, com texturas de *cumulus* ainda preservadas, evidenciadas pela presença constante de pseudomorfos de olivina. Entre os grãos de olivina observam-se placas opticamente contínuas de clinopiroxênio e mais raramente uma massa fina recristalizada a clorita e óxidos de ferro, de possível natureza vítrea primária. O clinopiroxênio ocorre também em cristais finos aciculares em arranjo estrelar.

O quimismo dessas rochas possui similaridades com o de rochas de natureza komatiítica conhecidas da literatura, destacando-se, dentre outras feições, os elevados teores de MgO variando entre 28 e 33%, teores de Ti inferiores a 0,3%, conteúdo de álcalis abaixo de 1%, razões  $Al_2O_3/TiO_2$  e  $Ti/Zr$  condriticas, além de altos teores de Ni e Cr.

Nos diagramas das figuras 13 e 14, é possível observar o comportamento das ultramáficas do Rio Itapicuru comparativamente a amostras de cumulos peridotíticos komatiíticos de outras partes do mundo (Nesbitt *et al.* 1979, Condie 1981, Arndt 1977).

**DISCUSSÃO** Os dados petrográficos e geoquímicos das rochas basálticas, acima sumarizados, dão suporte à proposição de um modelo de evolução da seqüência supracrustal do *greenstone belt* do Rio Itapicuru, num ambiente do tipo bacia de *back-arc* (Fig. 15). Igualmente favorável a esse modelo são os dados geocronológicos e isotópicos, o padrão de metamorfismo, o plutonismo, bem como outros aspectos da geologia regional.

A existência de uma plataforma continental, anterior à bacia, é confirmada pela idade arqueana (2,9 Ga, Gáal *et al.*, em elaboração) obtida nas rochas gnáissico-migmatíticas nas quais as supracrustais estão encravadas.

Isócronas Pb-Pb e idades modelo Sm-Nd (Silva, em preparação), revelaram a idade proterozóica inferior da seqüência supracrustal (2,1 Ga. para os andesitos e 2,2 Ga para os basaltos). O fechamento da bacia, concomitante à colocação de domos graníticos gnáissicos (Silva 1987, Davison & Matos 1988), parece ter ocorrido em torno de 1,8 Ga, considerando a idade Rb/Sr obtida para essas rochas (Gáal *et al.*, em elaboração).

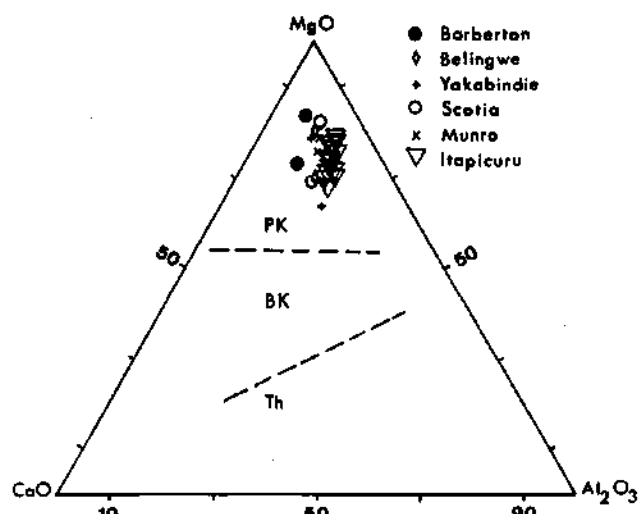


Figura 13 - Diagrama CaO-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, onde as ultramáficas do Rio Itapicuru plotam juntamente com amostras de outros greenstone belts (Arndt 1977, Nesbitt *et al.* 1979, Condie 1981). PK (peridotitos komatiíticos), BK (basaltos komatiíticos), Th (toleítos)

Figure 13 - CaO-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, diagram showing the ultramafics from the Rio Itapicuru plotting together with komatiitic rocks from others Greenstone Belt sequences (Nesbitt *et al.* 1979, Arndt 1977, Condie (1981); PK (komatiitic peridotites), BK (komatiitic basalts), Th (tholeiites)

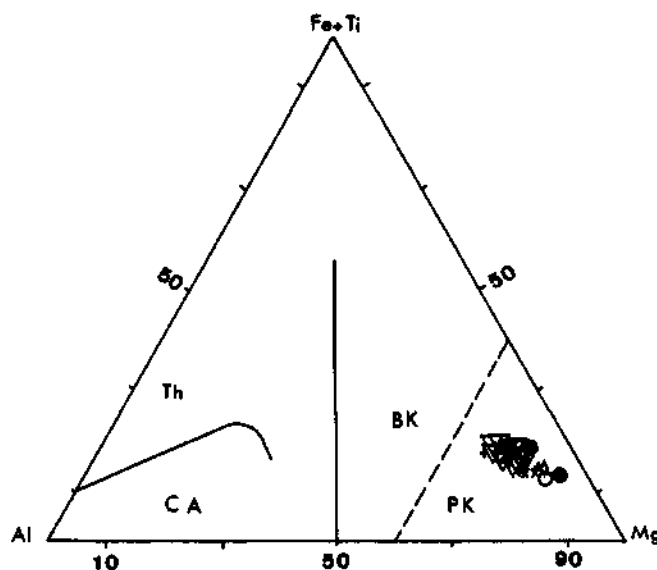


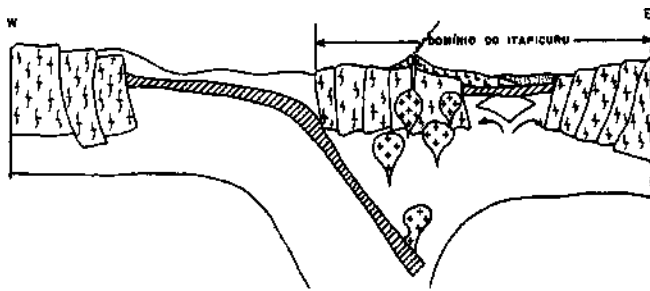
Figura 14 - Rochas ultramáficas do Rio Itapicuru, no diagrama de Jensen, ocupando o campo destinado a ultramáficas komatiíticas. Símbolos e legenda como na figura 13. CA (cálcio-alcálica)

Figure 14 - Jensen Plot for the Rio Itapicuru ultramafic rocks. Symbols and legend as in figure 13. CA (calc-alkaline)

O evento metamórfico regional, responsável pelo desenvolvimento de uma zonalidade metamórfica na seqüência, não ultrapassou os limites da fácies anfibolito de metamorfismo, com temperaturas máximas da ordem de 650°C e mínimas de 300°C e pressões variáveis entre 2 e 4 kbar (Silva 1983, 1987). Esse evento metamórfico teve seu pico entre 1,8-2,0 Ga, considerando a idade dos domos sintectônicos, coincidindo com o evento Transamazônico, largamente discutido na literatura geológica.

O plutonismo que afetou a seqüência supracrustal foi predominantemente granítico. São observados granitóides pós-





## LEGENDA

Crosta oceânica	
Crosta continental	
Lavas e piroclásticas	
Sedimentos	
Granitoides sintectônicos	

Figura 15 — Proposta de um modelo de evolução geotectônica para o Greenstone Belt do Rio Itapicuru (Bahia)

Figure 15 - Proposed geotectonic evolution model for the Rio Itapicuru Greenstone Belt (Bahia)

tectônicos de pequenas dimensões e granitoides elipsoidais, de margens foliadas, sin-tectônicos. De acordo com Silva (1987) os corpos sintectônicos são de quimismo calcio-alcálico, geneticamente correlatos ao evento vulcânico félsico.

Os trabalhos de Davison *et al.* (1988) e Davison & Matos (1987) deixam evidente a estreita relação entre a colocação dos domos graníticos sin-tectônicos e a deformação F2 da seqüência supracrustal.

A integração dos dados referentes ao plutonismo granítico e ao metamorfismo nos permite concluir que ambos os eventos são concomitantes, provavelmente relacionados ao fechamento da bacia de deposição.

**CONCLUSÕES** As feições litoestratigráficas e litogeoquímicas, o padrão de metamorfismo e deformação e os resultados preliminares de geocronologia da seqüência vul-

canossedimentar do Rio Itapicuru são similares às descritas na literatura geológica, como típicas de algumas seqüências vulcanossedimentares formadas em ambientes modernos do tipo bacias do tipo *back-arc*, tais como o Complexo Rocas Verdes, no Chile (Tarney *et al.*, 1976) e Scotia Sea (Weaver *et al.* 1979); Dentre os aspectos mais contundentes dessa similaridade, destacam-se:

1. a presença dominante de basaltos toleíticos de fundo oceânico, ricos em ferro;
2. o vulcanismo calcio-alcálico, com características geoquímicas compatíveis com as de vulcanitos de margens continentais ativas;
3. a presença de granitos sintectônicos, geneticamente correlatos aos andesitos;
4. a existência de uma fase subaérea do evento vulcânico félsico, com a geração de diferentes tipos de rochas piroclásticas;
5. a natureza turbidítica dos sedimentos elásticos e sua origem relacionada à dissecação de um arco vulcânico;
6. a presença de sedimentos marinhos profundos intercalados nas rochas vulcânicas máficas;
7. o metamorfismo predominantemente de baixo grau;
8. a existência de um evento inicial de deformação, de natureza tangencial;
9. o padrão de deformação sinformal, concomitante à colocação dos domos graníticos e ao pico do metamorfismo regional.

Bacias do tipo *back-arc* são geradas por rifteamento, simples ou múltiplo, na parte posterior de arcos de ilhas, em ambientes colisionais (Tamaki 1985). Esse rifteamento é originado a partir de um movimento divergente (extensional), gerado na placa sobrejacente, continental ou oceânica, em decorrência do movimento de subducção (Chase 1978, Uyeda & Kanamori 1979).

De acordo com essa definição, a caracterização do *greenstone belt* do Rio Itapicuru como uma bacia do tipo *back-arc* implica na existência de um ambiente de colisão do tipo arco-continente no Proterozóico Inferior, na porção nordeste do Cráton do São Francisco, Estado da Bahia.

**Agradecimentos** A autora agradece o trabalho de revisão, as críticas e sugestões apresentadas pelos professores Johildo Figueiredo Barbosa e Umberto Raimundo Costa, ambos do Curso de Pós-Graduação em Geologia do Instituto de Geociências da UFBA e aos dois revisores anônimos da RBG.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F. 1977. O Cráton do São Francisco. *Rev. Bras. Geoc.*, 7(4):349-364.
- SILVA, F.C. & MATOS, F.M.V. 1991. Economic geology and structural controls of orebodies from the medium Itapicuru gold district: Rio Itapicuru Greenstone Belt, Bahia, Brazil. In: SYMP. BRAZIL GOLD '91. Belo Horizonte, 1991. *Proceedings...* p. 629-635.
- ARNDT, N.T. 1977. Thick layered peridotite-gabbro lava flows in Munro Township. *Can. J. Earth Sci.*, 14:2620-2637.
- B VSR 1981. *Basaltic Volcanism in the Terrestrial Planets*. New York, Pergamon Press. 1286 p. (Basaltic Volcanism Study Project).
- CHASE, C.G. 1978. Extension behind island arcs and motions relative to hot spots. *J. Geoph. Research*, 83:5385-5387.
- CONDIE, K.C. 1976. Trace element geochemistry of Archean Greenstone Belts. *Earth Sci. Rev.*, 12:393-417.
- CONDIE, K.C. 1981. Archean Greenstone Belts. In: *Developments in Precambrian Geology*, 3. Amsterdam, Elsevier. 434 p.
- CONDIE, K.C. & HARRISON, N.M. 1976. Geochemistry of the archaean bulawayan Group, Midlands Greenstone Belt, Rhodesia. *Precamb. Res.*, 3:253-271.
- DAVISON, I. & MATOS, F.M.V. 1987. Basement or intrusion? The Ambrósio Dome, Rio Itapicuru Greenstone Belt, Bahia, Brazil. *Rev. Bras. Geoc.*, 17:442-449.
- DAVISON, I.; TEIXEIRA, J.B.G.; SILVA, M.G.; ROCHA NETO, M.B.; MATOS, F.M.V. 1988. The Rio Itapicuru Greenstone Belt, Bahia, Brazil: structure and stratigraphical outline. *Precamb. Res.*, 42:1-17.
- DICKINSON, W.; BEARD, L.S.; BRAKENRIDGE, G.R.; ERJAVEC, J.L.; FERGUSON, R.C.; INMAN, K.F.; KNEPP, R.A.; LINDBERG, F.A.; RYBERG, P.T. 1983. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 94:222-235.
- GARCIA, M.O. 1978. Criteria for identification of ancient volcanic arcs. *Earth Sci. Rev.*, 14:147-165.
- GREEN, T.H. & RINGWOOD, A.E. 1968. Genesis of the calc-alkaline igneous rock suite. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 18:105-162.
- HAWKESWORTH, C.J. & O'NIONS, R.K. 1977. The petrogenesis of some Archean volcanic rocks from southern Africa. *J. Petrol.*, 18:487-520.
- HAWKESWORTH, C.J.; O'NIONS, R.K.; PANKHURST, R.J.; HAMILTON, P.J.; EVENSON, N.M. 1977. A geochemical study of island arc and back arc tholeiites from the Scotia Sea. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 36:253-262.
- J AHN, B-M. 1986. Mid-ocean ridge or marginal basin origin of the East Taiwan ophiolite: chemical and isotopic evidence. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 92:194-206.
- JAHN, B-M.; AUVRAY, B.; BLAIAS, S.; CAPDEVILA, R.; CORNICHE, J.; VIDAL, F.; HAMEURT, J. 1980. Trace element geochemistry and petrogenesis of Finish greenstone belts. *J. Petrol.*, 21:201-244.
- LEBEDE, S. & HOPPE, A. 1990. Os sedimentos do Greenstone Belt do Rio Itapicuru. In: CONGR. BRAS. GEOL., 36. Natal, 1990. *Resumo das Comunicações...* Natal, SBG. p. 354.
- MIYASHIRO, A. 1961. Evolution of metamorphic belts. *J. Petrol.*, 2:277-311.
- NESSBITT, R.; SUN, S.S.; PURVIS, A. 1979. Komatiites: geochemistry and genesis. *Can. Mineral.*, 17:165-186.

- PEARCE, J.A. & CANN, J.R. 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analysis. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **19**:290-300.
- PEARCE, J.A. 1975. Basalt geochemistry used to investigate past tectonic environment on Cyprus. *Tectonophysics*, **25**:41-67.
- PEARCE, J.A., HARRIS, N.B.W.; TTNDLE, A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrol.*, **25**:956-983.
- PEARCE, T.H.; GORMAN, B.E.; BIRKETT, T.C. 1975. The  $TiO_2$ - $K_2O$ - $P_2O_5$  diagram: a method of discriminating between oceanic and non-oceanic basalts. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **24**:419-426.
- SILVA, M.G. 1983. *A Seqüência Vulkanossedimentar do Médio Rio Itapicuru, Bahia: Caracterização Petrográfica, Considerações Petrogenéticas Preliminares e Zoneografia Metamórfica*. Salvador. 88 p. (Dissertação de Mestrado, IG/UFBa).
- SILVA, M.G. 1987. *Geochemie, Petrologie und Geotektonische Entwicklung Eines Proterozoischen Grunsteingürtels: Rio Itapicuru, Bahia, Brasil. Alemanha*. 179 p. (Tese de Doutorado, Geologisches Institut der Universität).
- SOUNDERS, A.D. & TARNEY, J. 1979. The geochemistry of basalts from a back-arc spreading center in East Scotia Sea. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **43**:555-572.
- TAKEUCHI, H. & UYEDA, S. 1965. A possibility of present day regional metamorphism. *Tectonophysics*, **2**:59-68.
- TAMAKI, K. 1985. Two modes of back-arc spreading. *Geology*, **13**:475-478.
- TARNEY, J.; DAZIEL, J.W.D.; DE WITT, M. J. 1976. Marginal basin 'Rocas Verdes' complex from S. Chile: a model for Archaean Greenstone Belt formation. In: B.F. Windley, ed. *The Early History of the Earth*. London, WileyInterscience. p. 131-146.
- UYEDA, S. & KANAMORI, H. 1979. Back-arc opening and the mode of subduction. *J. Geoph. Research*, **84**:1049-1062.
- WEAVER, S.D.; SAUNDERS, A.D.; PANKHURST, R.J.; TARNEY, J. 1979. A geochemical study of magmatism associated with the initial stages of back arc spreading. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **68**:151-169.

MANUSCRITO A706

Recebido em 3 de setembro de 1991

Revisão do autor 3 de janeiro de 1992

Revisão aceita em 18 de fevereiro de 1992