

Idades U-Pb (SHRIMP), Sm-Nd e Rb-Sr em Rochas do Maciço Itatins (SP): Evidências de Evolução Policíclica

JEFFERSON PICANÇO¹, COLOMBO C. G. TASSINARI^{1**},
UMBERTO G. CORDANI¹ e ALLEN P. NUTMAN²

¹Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, P.O. Box 20899,
05508-900 São Paulo, Brasil

²Australian National University, Austrália

Manuscrito recebido em 19 de setembro de 1996; aceito para publicação em 5 de maio de 1997

ABSTRACT

The Itatins massif is a high-grade complex in southeastern Brazil, consisting of enderbites and charnoenderbites, in association with granitic-migmatitic terranes.

SHRIMP U-Pb isotopic analyses of zircons from a charnoenderbite indicate the age of 2173 ± 18 Ma for the granulitic metamorphism. Sm-Nd mineral-whole-rock isochrons from samples of high-grade as well as medium-grade rocks yielded results between 610-580 Ma, which were interpreted as cooling ages of a superimposed amphibolite facies metamorphism. The whole-rock Sm-Nd depleted mantle model age (T_{DM}) of a granulitic gneiss is ca. 2,5 Ga, suggesting an archean age for the protolith.

The Rb-Sr data for whole-rock samples of granulites from Itatins exhibit a considerable scatter, which is interpreted to reflect Rb loss during the granulitic metamorphism. Only the Ana Dias migmatites record a 720 Ma Rb-Sr WR isochron, which is probably significant, and is considered as the age of migmatization. The geochronological results indicate a policyclic geological history for the Itatins Massif.

Key words: Itatins, granulitos, Sm-Nd, U-Pb.

INTRODUÇÃO

Os granulitos da Serra dos Itatins foram inicialmente descritos por Coutinho (1971) e por Giardi *et al.* (1971). Posteriormente, a região foi objeto de inúmeros projetos de mapeamento semi-detalhados ao longo dos anos 70 e início dos anos 80 (Silva *et al.*, 1978; Batolla Jr. *et al.*, 1981). Os trabalhos de mapeamento mais recentes foram relatados em Dantas *et al.* (1987).

*Pós-Graduação

**CNPq

Correspondência para: Colombo C. G. Tassinari
Instituto de Geociências, USP
Rua do Lago, 562, P.O. Box 20899
05508-900 São Paulo, SP

Os estudos geocronológicos da área (Kaul & Teixeira, 1982), com base em diagramas isocrônicos Rb/Sr, indicaram idades arqueanas para os granulitos, com possíveis remobilizações de material durante os Ciclos Transamazônico e Brasiliano. Os dados K/Ar em biotitas na região apresentam resultados por volta de 580/590 Ma (Kaul & Teixeira, 1982; Picanço, 1994), refletindo os episódios de resfriamento regional do ciclo brasileiro. Uma idade K/Ar em anfibólio (Picanço *op. cit.*) apresentou idade por volta de 650 Ma. Estes dados mostram que o ciclo brasileiro na região atingiu temperaturas de no mínimo 500°C.

Neste trabalho são apresentadas análises radiométricas adicionais pelo método Rb/Sr, além de novas análises pelas metodologias U-Pb em zir-

cões (SHRIMP) e Sm/Nd em minerais e em rocha total. As análises Rb/Sr e Sm/Nd foram realizadas no Centro de Estudos Geocronológicos da Universidade de São Paulo (CPGeo-USP), enquanto que as análises U-Pb pelo método SHRIMP (*Sensitive High Resolution Ion MicroProbe*) foram realizadas na Research School of Earth Sciences, Australian National University.

CONTEXTO GEOLÓGICO

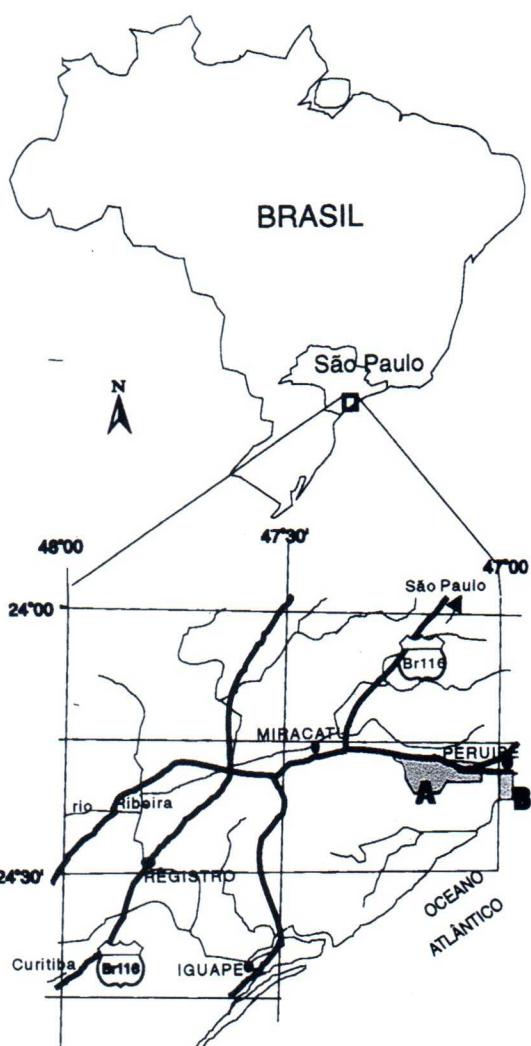
A faixa de ocorrência dos terrenos granulito-gnáissico-migmatíticos em estudo abrange parcialmente a folha Pedro de Toledo (1:50.000), em duas áreas principais, a área de Itariri/Vale do Rio do Azeite, incluindo a Serra dos Itatins, e a área Ponta da Prainha/Praia do Grajaú, próxima a Peruíbe (Fig. 1).

Segundo Dantas *et al.* (1987), as litologias de médio a alto grau na região foram subdivididas nas seguintes unidades: o Complexo Costeiro, o Complexo Gnáissico-Migmatítico e a Suite Granítóide de Fácies Migmatítica. Subordinadamente, ocorrem rochas miloníticas, localizadas no contexto da falha de Itariri. Neste trabalho, as duas primeiras unidades foram estudadas.

As rochas do Complexo Costeiro compreendem a Suite Itatins e a Sequência Cachoeira (Dantas *et al.*, 1987).

A Suite Itatins é constituída por rochas de composição dominante enderbítica/charno-enderbítica. Apresentam granulação média a grossa, com termos inequigranulares, raramente porfiríticos, de coloração cinza esverdeada a cinza acastanhada escura. A textura é variável, predominando a granoblástica inequigranular e a granular hipidiomórfica a xenomórfica, e suas estruturas variam de isótropas a freqüentemente gnáissicas. Sua mineralogia é formada por hiperstênio, plagioclásio, biotita vermelha (titanífera), microclínio, quartzo e hornblenda. Sua mineralogia acessória inclui apatita, epidoto, opacos e zircão. Evidências de migmatização são muito comuns. Por vezes contêm xenólitos e *boudins* de rochas básicas granulitzadas, com a formação de texturas agmatíticas.

A migmatização destas rochas parece corresponder a dois episódios distintos de formação de



A - área Itariri-vale do rio Azeite

B - área Prainha-Guarau

Fig. 1 — Localização da área estudada.

neossomas. O primeiro episódio relaciona-se a estruturas heterogêneas, desde bandadas até *Schollen*. Os mobilizados neossomáticos são de composição leucogranítica, geradas por difusão metá-morfica e/ou fusão parcial "*in situ*", e podem conter hiperstênio, sob forma de cristais euédricos não-orientados que ocorrem em veios de composição tonalítica-granodiorítica. O segundo episódio está ligado à injeção de uma fase pegmatóide cinza-esverdeada bastante rica em feldspato potássico e quartzo, em condições menos plásticas.

As rochas dem kinzigiticamente, a calciosilicificação grossa coloração cítrica trograficamente. Quartzo, em proporções freqüentes. Ainda ser descriptivas matoblasticas

Na extre dade de Ponta contram-se e estabelecimento somáticos. N à localidade dos migmatizados por leucograníticos potássico e gr

Os gnais de um pequeno falhas próximas Azeite (Fig. com bandas média a fina, lepidoblástica firoblástica. Azo, plagioclásio microclínio, e nada. As porfíticas e/ou a sillimanita.

Nos migmatitos estruturas estro. Localmente, metá-morfica, surreíticas sossoma) sem

Os neosmássias média, cor cínico, quartzo, pedreira de Agranito. Este material

As rochas da Seqüência Cachoeira compreendem kinzigitos e gnaisses kinzigiticos e, secundariamente, anfibolitos, metabasitos e rochas calciosilicáticas. Os kinzigitos apresentam granulação grossa a fina, possuem estrutura gnáissica e coloração cinza esbranquiçada a mais escura. Petrograficamente, são sillimanita-biotita-granada gnaisses. Quartzo, microclínio e cordierita podem aparecer em proporções semelhantes às dos minerais mais freqüentes. As texturas encontradas variam, podendo ser descritas texturas granoblásticas, granone-matoblásticas, porfiroblásticas e poiquiloblasticas.

Na extremidade oriental do maciço, na localidade de Ponta da Prainha (Fig. 2), os kinzigitos encontram-se afetados por migmatização, com o estabelecimento de diversos padrões de veios neossomáticos. Na área Itariri/Vale do Azeite, próximo à localidade de Igrejinha, foram descritos kinzigitos migmatizados, fundidos parcialmente e cortados por veios de material neossomático leucogranítóide com remobilização de feldspato potássico e granada.

Os gnaisses kinzigiticos ocorrem sob a forma de um pequeno corpo aparentemente balizado por falhas próximo a Itariri, na área Itariri/Vale do Azeite (Fig. 2). São rochas de estrutura bandada com bandas centí a decimétricas. A granulação é média a fina, observando-se texturas granoblástica, lepidoblástica, granolepidoblástica, ou mesmo porfiroblástica. As bandas félscicas apresentam quartzo, plagioclásio (andesina, oligoclásio) e/ou microclínio, com máficos em quantidade subordinada. As porções máficas são constituídas por biotita e/ou anfibólio (hornblenda), granada e sillimanita.

Nos migmatitos regionais predominam as estruturas estromatítica e secundariamente dobrada. Localmente, podem ser observadas estruturas flebítica, surreítica e ptigmática. O paleossoma (ou mesossoma) sempre prevalece sobre o neossoma.

Os neossomas são graníticos, de granulação média, cor cinza claro, constituídos por microclínio, quartzo, plagioclásio, hornblenda e biotita. Na pedreira de Ana Dias, o neossoma dos migmatitos possui granada associada a plagioclásio e biotita. Este material também é comum nos neossomas ob-

tidos a partir de kinzigitos, associada ao feldspato potássico.

Entre os mesossomas predominam biotita gnaisses e biotita-hornblenda gnaisses, homogêneos e bandados. Ocorrem com freqüência mesossomas mais xistosos, ou mesossomas de natureza anfibolítica, calciosilicática ou kinzítica. Resistatos de mármore, quartzito e metabasitos ocorrem em alguns locais. Os mesossomas têm, em geral, composição variando de granito a tonalito, predominando composições granodioríticas. Na Pedreira de Ana Dias (Fig. 2), foram observados mesossomas constituídos quase que exclusivamente por hipersônio, biotita, cummingtonita e plagioclásio. Outras amostras mostram-se menos empobrecidas, possuindo porções com mais biotita, plagioclásio e quartzo.

MÉTODOS ANALÍTICOS

METODOLOGIA Rb/Sr

As amostras submetidas para datação Rb/Sr foram previamente britadas em britadores de mandíbula e pulverizadas em moinhos revestidos de tungstênio. Posteriormente, foram submetidas a dosagem prévia de Rb e Sr por fluorescência de raio X (análise semi-quantitativa) e selecionadas para determinações isocrônicas segundo suas razões Rb/Sr. As amostras com teores entre 50-500 ppm de Rb ou Sr tiverem suas razões Rb/Sr obtidas por análises de precisão de fluorescência de raio X (Kawashita *et al.*, 1990). Fora deste intervalo as concentrações são determinadas pelo método de diluição isotópica, utilizando-se traçadores enriquecidos em ^{87}Rb e ^{84}Sr , de acordo com os procedimentos descritos em Kawashita (1972).

As amostras foram atacadas com HF e HClO₄ a quente em cadrinhos de teflon, durante aproximadamente 12 horas. O Rb e o Sr foram separados em colunas catiônicas tipo DOWEX 50W-X8, 200-400 mesh, com eluição em meio clorídrico.

A reprodutividade dos resultados do CPGeo foi controlada por meio do padrão NBS-987 (Carbonato de Sr) e pelo padrão interno S10, conforme a Tabela I. As análises espectrométricas foram obtidas utilizando-se um aparelho tipo MICRO-

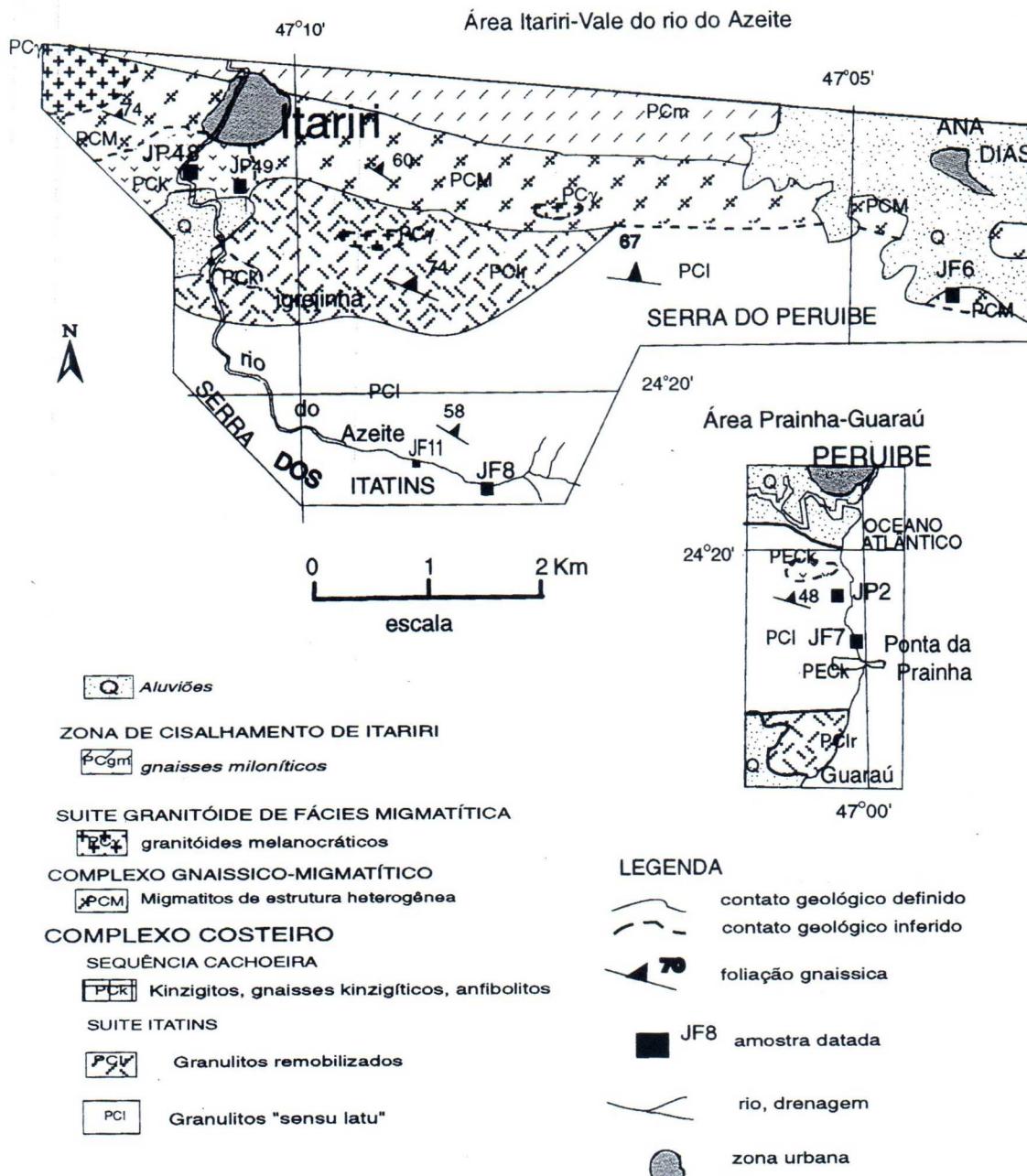


Fig. 2 — Geologia da área e localização das amostras.

MASS VG-354, com coletor simples, e cujas características encontram-se descritas em Sato *et al.* (1995). As idades Rb/Sr foram calculadas pelo método de Williamson (1968), discutidos em Kawashita *et al.* (1990).

MÉTODO Sm/Nd

As amostras selecionadas para datação Sm/Nd foram inicialmente britadas e foram passadas em peneiras entre frações de 60 e 100 mesh. Seguiu-se

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

Fig.
colet:
Prain

a retirada das
separador mag
minerais foran

As amostr
são divididas
quotas: a alíq
alíquota "spik
quantidades cc
quotas são at
HCl 6.2N. As
lunas com resi

Dados an.

Amostras (nº laboratório)
10659-10670
10967-10981
11266-11270
11291-11295
10659-10670

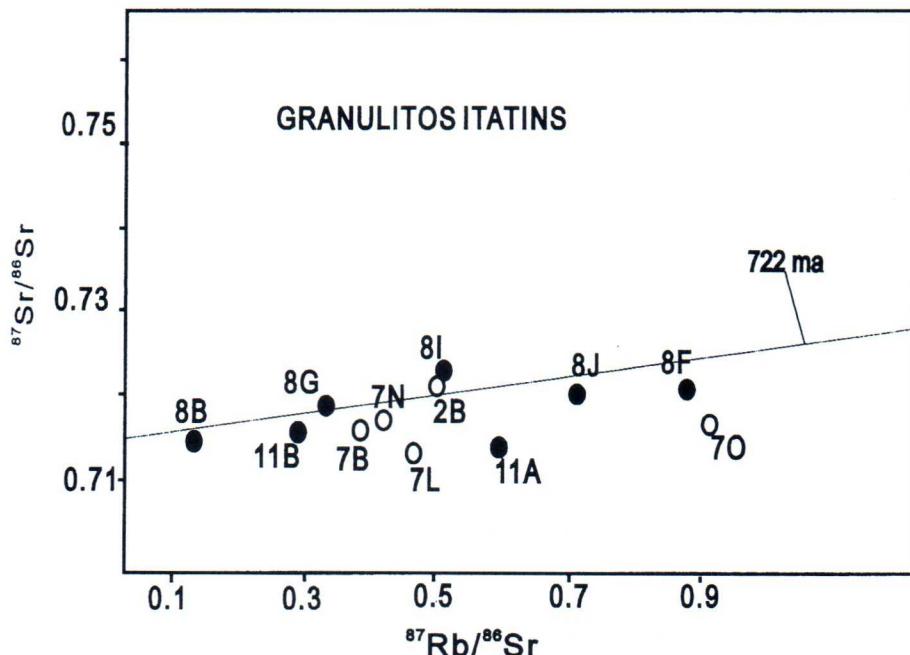


Fig. 3 — Diagrama isocrônico Rb/Sr para os granulitos da Suite Itatins. Círculos cheios: amostras coletadas no alto vale do rio Azeite. Círculos vazios: Amostras coletadas nas proximidades da Ponte da Prainha. A isócrona de 722 Ma para os migmatitos Ana Dias está plotada como referência.

a retirada das fases magnéticas com ímã de mão e separador magnético tipo Frantz. A seguir as fases minerais foram purificadas por catação manual.

As amostras selecionadas para datação Sm/Nd são divididas para o ataque químico em duas alíquotas: a alíquota natural e a alíquota "spike". À alíquota "spike" é adicionado um traçador com quantidades conhecidas de Sm e Nd. Ambas as alíquotas são atacadas com HF/HNO₄ (2:1) e com HCl 6.2N. A seguir, cada amostra é passada em colunas com resina catiônica, e eluída com HCl 2.5N.

TABELA I
Dados do padrão NBS-87 ao tempo da análise das amostras estudadas.

Amostras (nº laboratório)	Padrão interno S10	Padrão NBS-87
10659-10670	$1,29214 \pm 08$	$0,710210 \pm 05$
10967-10987	$1,28599 \pm 24$	$0,710210 \pm 06$
11266-11270	$1,30186 \pm 13$	—
11291-11299	$1,29933 \pm 57$	—
10659-10670	$1,29214 \pm 09$	$0,710261 \pm 07$

Nestas colunas, ditas primárias, são separados o Rb e o Sr, a partir da alíquota natural. As terras raras de ambas as alíquotas são separadas com eluição de 6.2N. As amostras contendo terras raras são levadas para colunas de teflon, ditas secundárias, e eluídas com HCl 2.6N. Neste processo o Sm é separado do Nd.

A espectrometria de massa para o método Sm/Nd é feita com um espectrômetro Micromass VG-354, com cinco coletores, sendo descrita em detalhes por Sato *et al.* (1995). A deposição de Nd é feita num dos filamentos laterais de tântalo, com H₃PO₄ de normalidade inferior a 0.1N, secando-o ao ar livre mediante uma corrente inferior a 0.6A, sem que ocorra oxidação. O Sm é analisado em forma metálica usando-se filamento simples de tântalo e depositado com H₃PO₄ 0.25N. O padrão de controle utilizado é o BCR-1. Dados analíticos interlaboratórios do padrão são apresentados e discutidos em Sato *et al.* (*op. cit.*).

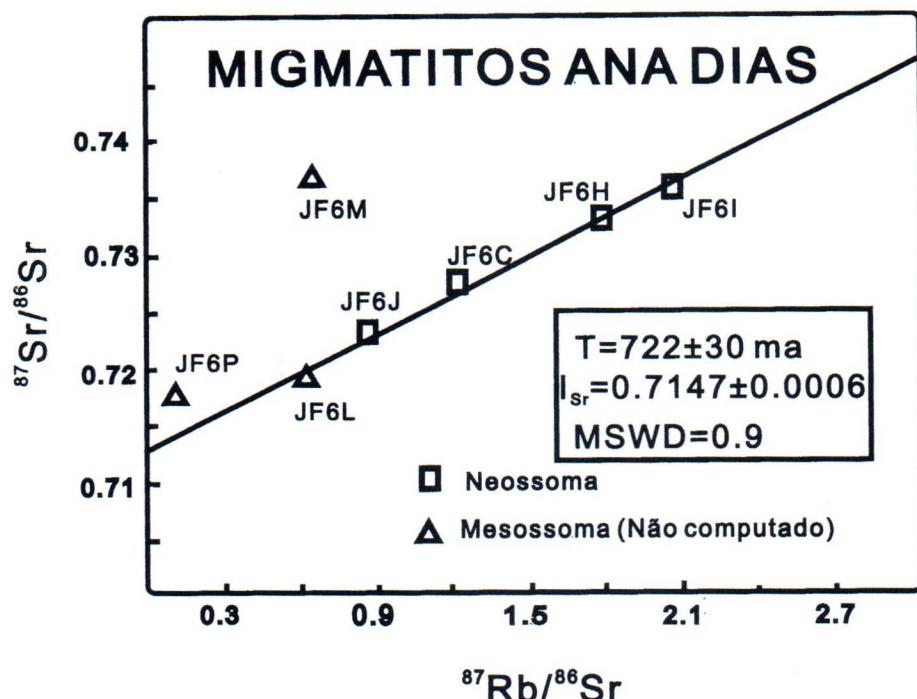


Fig. 4 — Diagrama isocrônico Rb/Sr para os migmatitos de Ana Dias.

MÉTODO U-Pb EM ZIRCÓES (SHRIMP)

A partir de cerca de 5 kg de amostra, os zircões foram separados por métodos padrão de separação do CPGeo-USP, utilizando-se de líquidos

pesados e separadores magnéticos. A grande quantidade de apatita presente na amostra foi dissolvida utilizando-se HNO_3 1N à quente. A amostra foi ainda submetida à catação manual com auxílio de lupa binocular.

As
ções de
foram co
petidas c
foram ut
rial data
analítico
al. (198

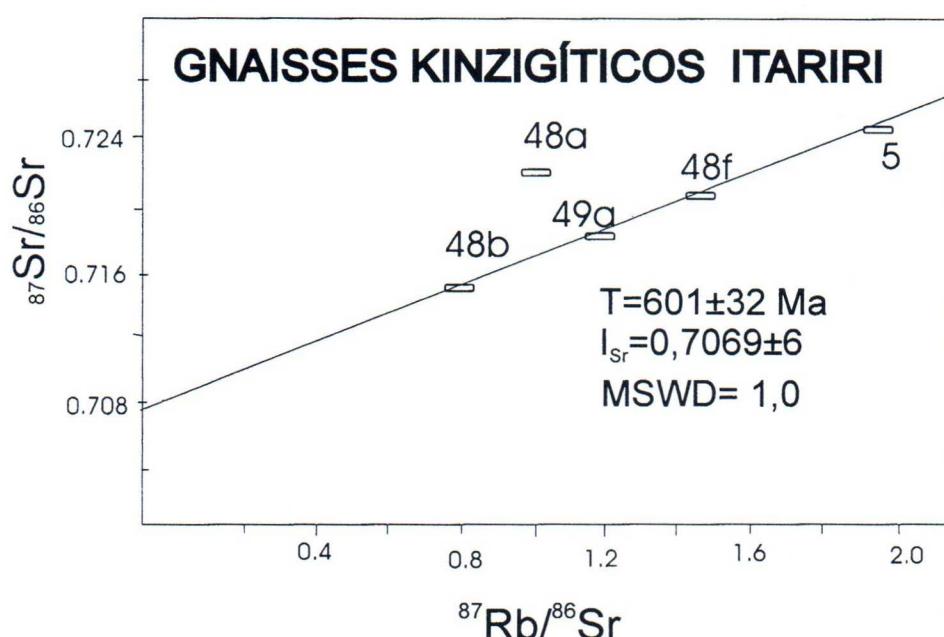


Fig. 5 — Diagrama isocrônico Rb/Sr para os paragneisses Itariri.

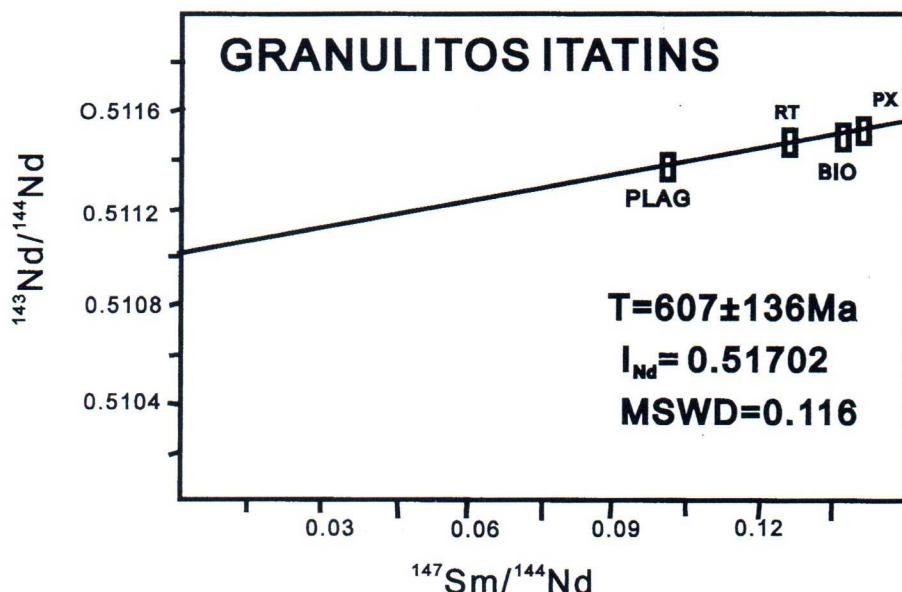


Fig. 6 — Diagrama isocrônico Sm/Nd mineral-rocha total para os granulitos JP48D.

As razões isotrópicas de Pb e as concentrações de U-Th-Pb nos grãos individuais de zircão foram controladas pelo padrão SL 13. Análises repetidas deste padrão durante cada sessão analítica foram utilizadas no cálculo das incertezas do material datado. Outros detalhes dos procedimentos analíticos podem ser encontrada em Compston *et al.* (1984). As idades médias apresentadas neste

trabalho (Tab. VIII) são médias ponderadas derivadas das razões $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ de análises selecionadas, correspondendo aos lugares isotopicamente menos perturbados de grãos de zircão. Estes sítios apresentam de forma característica componentes pouco radiogênicos de Pb, com situação próxima da concórdia para cada ponto analítico (Fig. 8).

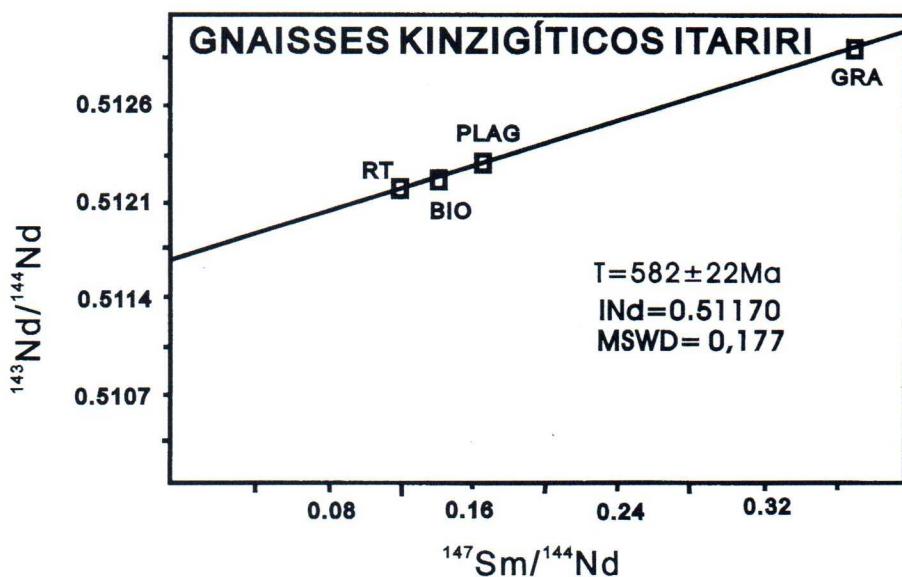


Fig. 7 — Diagrama isocrônico Sm/Nd mineral-rocha total para os paragnaisse Itariri.

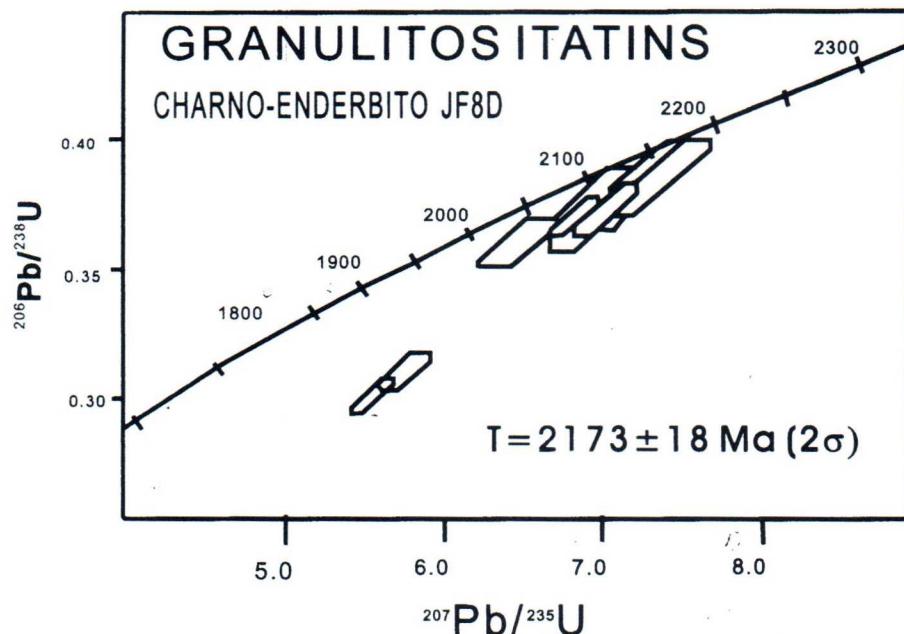


Fig. 8 — Diagrama concórdia U-Pb para os granulitos Itatins (amostras JF8D, alto vale do rio Azeite).

DISCUSSÃO DOS DADOS GEOCRONOLÓGICOS

MÉTODO Rb/Sr

Os granulitos Itatins mostraram uma tal dispersão de pontos que não permitiram a construção de isócronas, tanto para os pontos coletados no alto rio do Azeite (Tabela II), quanto nos pontos coletados na Ponta da Prainha (Tabela III). Estas amostras possuem baixas razões $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ e altas razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, o que é sugestivo da perda de Rb sofrida por estas rochas em certo estágio de sua evolução.

As amostras de neossoma dos migmatitos heterogêneos encontrados na Pedreira de Ana Dias forneceram uma idade Rb/Sr em rocha total de $722 \pm 30 \text{ Ma}$, com razão inicial (I_{Sr}) = $0,71469 \pm 0,00056$, com MSWD (Mean Square Weighted Desviation) igual a 0.9 para 4 pontos analisados. Esta idade indica provavelmente a época da migmatização, com formação do mobilizado neossómatico composto por granada, feldspato potássico, plagioclásio e biotita. Os pontos do mesossoma destes mesmos migmatitos não se alinham no diagrama isocrônico apresentado. Embora não tenham constado dos cálculos para a construção da isócro-

TABELA II
Dados Rb/Sr em rocha total para os granulitos Itatins (Alto vale do rio do Azeite)

Nº lab.	Amostra	Rocha	Rb(ppm)	Sr(ppm)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$
10756	JF 8B	granulito	30,0	685,3	$0,71518 \pm 21$	$0,127 \pm 4$
10665	JF 8F	granulito	147,7	491,0	$0,723740 \pm 7$	$0,872 \pm 25$
10666	JF 8G	granulito	53,3	478,0	$0,71947 \pm 9$	$0,323 \pm 9$
10667	JF 8I	granulito	78,0	460,0	$0,72378 \pm 7$	$0,492 \pm 14$
10668	JF 8J	granulito	106,7	438,0	$0,72202 \pm 8$	$0,796 \pm 20$
10669	JF 11A	granulito	104,0	513,0	$0,71541 \pm 9$	$0,587 \pm 17$
10670	JF 11B	granulito	46,0	468,0	$0,71627 \pm 23$	$0,285 \pm 8$

TABELA III
Dados Rb/Sr em rocha total para os granulitos Itatins (Ponta da Prainha).

Nº lab.	Amostra	Rocha	Rb(ppm)	Sr(ppm)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$
10978	JF 7B	granulito	72,0	554,7	$0,71716 \pm 7$	$0,376 \pm 11$
10979	JF 7L	granulito	100,3	634,7	$0,71553 \pm 6$	$0,458 \pm 13$
10980	JF 7N	granulito	70,3	499,3	$0,71995 \pm 22$	$0,410 \pm 12$
10981	JF 7O	granulito	71,3	228,0	$0,71998 \pm 8$	$0,906 \pm 26$
10982	JP 2B	granulito	86,7	511,0	$0,72401 \pm 8$	$0,492 \pm 14$

TABELA IV
Dados Rb/Sr dos migmatitos da Pedreira de Ana Dias.

Nº lab.	Amostra	Material	Rb(ppm)	Sr(ppm)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$
10659	JF 6C	neossoma	292,0	113,0	$0,72779 \pm 9$	$1,231 \pm ,035$
10660	JF 6H	neossoma	342,0	193,0	$0,73295 \pm 9$	$1,808 \pm ,051$
10662	JF 6I	neossoma	325,0	610,0	$0,73609 \pm 6$	$2,073 \pm ,058$
10663	JF 6J	neossoma	320,0	86,0	$0,72350 \pm 6$	$0,864 \pm ,0031$
10664	JF 6M	mesossoma	78,0	210,0	$0,73639 \pm 8$	$0,645 \pm ,030$
10754	JF 6L	mesossoma	24,39	114,9	$0,71917 \pm 6$	$0,615 \pm ,0031$
10755	JF 6P	mesossoma	3,848	112,57	$0,71762 \pm 21$	$0,0986 \pm ,0006$

Obs.: As amostras 6L e 6P foram determinadas por diluição isotópica.

TABELA V
Dados Rb/Sr dos gnaisses kinzigíticos de Itariri (Seqüência Cachoeira).

Nº lab.	Amostra	Rb(ppm)	Sr(ppm)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$
11266	JF 5	111,8	161,7	$0,72448 \pm 6$	$2,004 \pm ,057$
11267	JP 48A	71	183,3	$0,72156 \pm 8$	$1,123 \pm ,032$
11268	JP 48D	61,2	203,4	$0,71460 \pm 20$	$0,871 \pm ,025$
11269	JP 48F	97,1	180,7	$0,72006 \pm 19$	$1,557 \pm ,044$
11270	JP 49A	94,8	215,7	$0,71758 \pm 12$	$1,273 \pm ,036$

na, os pontos 6L e 6P situam-se bastante próximos à reta obtida.

Os gnaisses kinzigíticos de Itariri apresentaram uma idade isocrônica de 601 ± 32 Ma, $I_{\text{Sr}} = 0,7069 \pm 0,0006$ ($MSDW = 0,9$) para 4 pontos (Fig. 4). O ponto JP 48A foi excluído dos cálculos. A razão inicial destes pontos é baixa para rochas metassedimentares, podendo se tratar de rochas com contribuição de material pouco radiogênico,

com pouco tempo de residência crustal ou então trata-se de material com composição mais básica.

MÉTODO Sm/Nd

Foram separados concentrados de plagioclássio, biotita e piroxênio de gnaisses granulíticos da Ponta da Prainha (ponto JF-7B). A amostra possui tanto orto quanto clinopiroxênios. A dificuldade de separação manual entre os dois tipos levou a que

TABELA VI
Dados Sm/Nd para os granulitos Itatinis (amostra JP 7B – Ponta da Prainha).

Nº lab.	Material	Sm(ppm)	Nd(ppm)	$^{147}\text{Sm}/^{143}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$
SPS 74	piroxênio	22,4	97,7	0,1393 ± 2	0,511578 ± 38
SPS 75	plagioclásio	4,6	28,5	0,0985 ± 2	0,511409 ± 22
SPS 76	biotita	4,9	22,1	0,1360 ± 2	0,511540 ± 46
SPS 77	RT	1,1	5,2	0,1253 ± 1	0,511523 ± 36

fossem analisados juntos. Os altos teores de Sm e Nd obtidos (Tab. VI), indicam a predominância de clinopiroxênios na amostra. A presença de biotita foi sugerida pela análise petrográfica, que indicou a predominância de biotita vermelha na associação, a qual é estável em condições de fácies granulito.

A isócrona obtida forneceu uma idade de 607 ± 136 Ma, $\epsilon_{\text{Nd}}(600) = -16,6$ (MSWD = 0,1), indicando se tratar de materiais com vida crustal significativa quando submetidas ao metamorfismo durante a orogenia brasileira. O elevado erro analítico resultante do cálculo é justificado pela pouca diferença nas razões $^{147}\text{Nd}/^{143}\text{Nd}$.

A idade modelo manto empobrecido (TDM) obtida para a amostra JF-7B em rocha total indicou uma idade de 2,52 Ga para a origem de seus protólitos. Considerando-se que algum tipo de fracionamento da razão Sm/Nd possa ter ocorrido, em função dos episódios metamórficos, podemos considerar a época de 2,5 Ga como uma idade aproximada para o evento de diferenciação mantélica do protólito. Os dados de $\epsilon_{\text{Nd}}(0)$ calculados para a rocha total, apresentam resultados da ordem de -21,7, indicando uma forte origem crustal para seus protólitos.

A exemplo da isócrona anterior, foram separados para os gnaisses kinzigíticos de Itariri (amostra

JP-48A) concentrados de plagioclásio, biotita e granada, em conjunto com a rocha total da qual foram oriundos, para que se pudesse datar sua paragênese metamórfica. A paragênese granada + plagioclásio + biotita pode ser estável desde condições de fácies anfibolito. Os dados isotópicos estão na Tabela VII.

A isócrona obtida nos gnaisses kinzigíticos Itariri, forneceu uma idade de 582 ± 22 Ma, $\epsilon_{\text{Nd}}(600) = -3,3$, (MSWD = 0,2). O erro analítico reduzido deve-se à presença de granada, mineral que possui altas razões Sm/Nd e que por isso dá um bom afastamento nas razões $^{147}\text{Sm}/^{143}\text{Nd}$.

Se comparada com a isócrona Rb/Sr obtida nos gnaisses kinzigíticos de Itariri, há bastante concordância das idades dentro dos erros analíticos, refletindo a atuação do metamorfismo brasileiro em fácies anfibolito. Conforme discutido por Mezger *et al.* (1992), estas idades isocrônicas Sm-Nd em minerais podem representar tão somente idades de resfriamento do sistema logo após as condições de pico metamórfico, com a temperatura de fechamento do sistema para o sistema rocha total/granada situando-se em torno de 600°C.

A idade modelo (TDM) em rocha total obtida para os gnaisses kinzigíticos tem um valor de 1,47 Ga, $\epsilon_{\text{Nd}}(0) = 9,28$. Como a idade modelo Sm/Nd de

Fração	U
JP 8D-1	1
JP 8D-2	1
JP 8D-3	
JP 8D-4	1
JP 8D-5	2
JP 8D-6	1
JP 8D-7	2
JP 8D-8	2
JP 8D-9	2
JP 8D-10	

Nota: Razões

rochas de senta uma tópicas das idades valor de tência de gas e ma que os gados no ar proterozóicas. Pod fismo ge ocorreu p no Neop nas Sm/N

MÉTODO

A a granulom da e isótrite. A pop homogênes cristais grandes, Boa parte o que su alto grau as anális magnétic Seu conte

TABELA VII
Dados Sm/Nd para os gnaisses kinzigíticos de Itariri (amostra JP-48A).

Nº lab.	Material	Sm(ppm)	Nd(ppm)	$^{147}\text{Sm}/^{143}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$
SPS 78	RT	5,4	26,7	0,1233 ± 1	0,512162 ± 22
SPS 79	plagioclásio	2,1	7,5	0,1692 ± 1	0,612350 ± 18
SPS 80	biotita	0,6	2,6	0,1468 ± 1	0,512248 ± 29
SPS 81	granada	2,4	3,9	0,3752 ± 3	0,513124 ± 32

TABELA VIII
Análises U-Pb SHRIMP (Amostra JF 8D).

¹⁴³ Nd	Fração	U ppm	Th ppm	²³² Th/ ²³⁸ U	²⁰⁴ Pb ppb	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	207/206 idade Ma	Cone %
± 38	JP 8D-1	171	45	0,26191 ± 311	28	0,35999 ± 1002	6,45946 ± 23096	0,06409 ± 386	0,13014 ± 250	2099 ± 34	94
± 22	JP 8D-2	134	48	0,35854 ± 752	7	0,35535 ± 1459	7,35560 ± 30851	0,09910 ± 363	0,13844 ± 193	2207 ± 24	95
± 46	JP 8D-3	90	50	0,55701 ± 1045	6	0,37758 ± 1232	7,05681 ± 34258	0,15553 ± 513	0,13555 ± 435	2171 ± 57	95
± 36	JP 8D-4	141	58	0,41255 ± 643	4	0,38806 ± 1275	7,36418 ± 31390	0,11638 ± 440	0,13763 ± 321	2197 ± 41	96
	JP 8D-5	292	119	0,40706 ± 515	14	0,37074 ± 777	6,82842 ± 16159	0,11337 ± 176	0,13358 ± 116	2145 ± 15	94
	JP 8D-6	166	56	0,3394 ± 319	8	0,36536 ± 887	6,87113 ± 20482	0,09936 ± 303	0,13640 ± 198	2182 ± 25	92
	JP 8D-7	215	47	0,22052 ± 191	10	0,31112 ± 728	5,77768 ± 17353	0,07365 ± 405	0,13417 ± 219	2153 ± 28	81
	JP 8D-8	265	119	0,44815 ± 334	0	0,30136 ± 657	5,54655 ± 13438	0,13656 ± 172	0,13349 ± 109	2144 ± 14	79
	JP 8D-9	293	113	0,38656 ± 477	0	0,37327 ± 1014	7,02600 ± 21182	0,11538 ± 269	0,13652 ± 138	2183 ± 18	93
	JP 8D-10	77	33	0,42816 ± 1672	3	0,23874 ± 878	3,98399 ± 21463	0,13541 ± 974	0,12103 ± 424	1971 ± 64	70

Nota: Razões isotópicas U-Pb são dadas com 1σ de incerteza após correção para Pb comum.

rochas derivadas de sedimentos geralmente representa uma média ponderada das composições isotópicas das suas áreas-fonte, podemos considerar as idades obtidas como híbridas. Desta forma, o valor de 1,47 Ga representa provavelmente a existência de contribuições de áreas-fontes mais antigas e mais jovens que o valor obtido, indicando que os gnaisses kinzigíticos de Itariri não são gerados no arqueano, mas são produtos de rochas Neoproterozóicas e rochas Paleoproterozóicas/Arqueanas. Podemos portanto considerar que o metamorfismo gerador dos gnaisses kinzigíticos de Itariri ocorreu posteriormente à 1,47 Ga, provavelmente no Neoproterozóico, como indicado pelas isócronas Sm/Nd mineral-rocha total.

resultados das determinações SHRIMP estão plotados no diagrama concórdia da figura 8. Como se pode depreender, quase todos os pontos analíticos estão situados próximo da curva concórdia, e as análises indicam o valor médio para a idade de $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 2173 \pm 18$ Ma (2σ). Esta idade é interpretada como a idade de cristalização dos zircões em condições metamórficas em fácies granulito. A presença de zircões prismáticos sem zoneamento, por outro lado, indicam uma origem ígnea, podendo sugerir uma interpretação alternativa, segundo a qual a idade de 2,2 Ga é considerada como a idade do protólito. Neste caso, o metamorfismo granulítico teria ocorrido no final do Neoproterozóico, conforme indicado pelas idades isocrônicas Sm-Nd.

MÉTODO U-Pb EM ZIRCÓES (SHRIMP)

A amostra JF8D é um charno-enderbito de granulometria média a grossa, coloração esverdeada e isótropa, proveniente do alto vale do Rio Azeite. A população de zircões desta amostra é bastante homogênea, indicando uma fonte comum para estes cristais. Os zircões apresentam-se como cristais grandes, prismáticos, claros e sem zoneamento. Boa parte deles apresenta contornos arredondados, o que sugere terem se formado em condições de alto grau metamórfico. Os grãos selecionados para as análises U-Pb não apresentaram zoneamento magmático, e constituem uma população coerente. Seu conteúdo em U varia entre 70 e 300 ppm. Os

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos dados geocronológicos apresentados, podemos considerar que o Maciço granulítico Itatins teve uma história evolutiva claramente polícíclica. Seu protólito crustal provavelmente se diferenciou do manto superior no final do Arqueano (ca. 2,5 Ga). O metamorfismo granulítico ocorreu durante o Paleoproterozóico, próximo a 2,2 Ga, atingindo, conforme Azevedo Sobrinho (1995), a temperatura mínima de 759°C. Posteriormente, no Neoproterozóico, entre 700 e 580 Ma, as rochas regionais foram afetadas por um novo evento metamórfico, desta vez do fácies anfibolito alto

(Temperatura de 600-650°C, Azevedo Sobrinho, 1995), sendo que logo após este evento o maciço estabilizou-se tectonicamente, conforme sugerido pelas idades K-Ar em anfibólios (656 Ma) e em biotitas (ca. 580/590 Ma; Picanço, 1994).

O grande desequilíbrio isotópico mostrado pelo sistema Rb-Sr na maioria das rochas do maciço granulítico de Itatins pode ser explicado pela atuação de vários ciclos metamórficos superimpostos. Além disso, o estudo realizado mostrou de forma inequívoca que o sistema Sm-Nd se homogeneiza isotopicamente, nas fases minerais envolvendo granadas, quando a temperatura atinge 600°C.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP (processo 89/1204-8) e ao CNPq pelo financiamento desta pesquisa. Agradecem também a W. Compston, pelas facilidades concedidas para execução das análises U-Pb (SHRIMP), e ao corpo técnico do CPGeo-USP, pelo apoio prestado durante o desenvolvimento dos trabalhos analíticos. Finalmente, nosso agradecimento aos anônimos revisores dos Anais da Academia, pelas valiosas sugestões ao texto final.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZEVEDO SOBRINHO, J. M., (1995), *Petrologia dos Charnockitos da Região de Itariri (SP)*. Dissertação Mestrado IGUSP (inédita). São Paulo, 112p.
- BATOLLA JR., F.; SILVA, A. T. S. F. & ALGARTE, J. P., (1981), O Pré-Cambriano da região sul-sudeste do Estado de São Paulo e este-nordeste do Estado do Paraná, Simpósio Regional de Geologia, 2º, Curitiba. *Atas*. SBG, Curitiba, **1**: 94-108.
- COMPSTON, W.; WILLIAMS, I. S. & MEYER, C., (1984), U-Pb geochronology of zircons from Lunar breccia 73217 using a sensitive Mass-resolution ion microprobe. *J. Geophys. Res.*, **89** suppl.: b525-b534.
- COUTINHO, J. M. V., (1971), Pré-cambriano ao sul da cidade de São Paulo. In: Congresso Brasileiro de Geologia. *Bol. Esp.*, **2**: 53-62, SBG, São Paulo.
- DANTAS, A. S. L.; GIMENEZ F. A.; NAGATA, N.; FERNANDES, L. A. & FRASCÁ, M. H. B. DE O., (1987), Evolução geológica e estrutural da faixa costeira das regiões de Juquiá e Miracatu, sul do Estado de São Paulo. In: Simpósio Regional de Geologia, 6º, Rio Claro. *Atas*. Rio Claro, SBG, **1**: 173-189.
- GIRARDI, V. A. V.; MADUREIRA, F. J. B. & HYPÓLITO, R., (1971), As granadas metamórficas de Peruíbe, São Paulo. In: Congresso Brasileiro de Geologia, São Paulo. *Anais*, São Paulo, SBG, **1**: 40-51.
- KAUL, P. F. T. & TEIXEIRA, W., (1982), Archean and early proterozoic Complexes of Santa Catarina, Paraná and São Paulo states, south-southeastern Brazil: an outline of their geological evolution. *Rev. Bras. Geoc.*, **12** (1-3): 172-182, Mar-Set, 1982, São Paulo.
- KAWASHITA, K., (1972), *O método Rb/Sr em rochas sedimentares: aplicação às bacias do Paraná e Amazonas*. Tese IG-USP, (inédita). São Paulo, 111p.
- KAWASHITA, K.; SONOKI, I.; SATO, K. & SONOKI, H., (1990), Regressões lineares em geocronologia: isócronas, errócronas e pseudo-isócronas. *Bol. IG-USP*, série científica, **21**: 53-72.
- MEZGER, K.; ESSENE, E. J. & HALLIDAY, A. N., (1992), Closure temperature of the Sm/Nd system in metamorphic garnets. *Earth Plan. Sci. Let.*, **113**: 397-410.
- PICANÇO, J. L., (1994), *Aplicação das Sistemáticas Sm-Nd e Rb-Sr nas rochas granulíticas do Maciço Itatins*. Dissertação Mestrado IGUSP (inédita). São Paulo, 76pp.
- SATO, K.; TASSINARI, C. C. G.; KAWASHITA, K. & PETRONILHO, L., (1995), Método geocronológico Sm/Nd no Ig-USP e suas aplicações. *An. Acad. Bras. Ci.*, **67** (3): 313-336.
- SILVA, A. T. S. F.; CHIODI F. C.; CHIODI, D. K. & ALGARTE, J. P., (1978), Geologia integrada das folhas Iguape e Cananéia. In: Congresso Brasileiro de Geologia, XXX, Recife. *Anais*. Recife, SBG, **1**: 208-221.
- WILLIAMSON, J. H., (1968), Least-squares fitting a straight line. *Canadian Journal Physics*, **46**: 1845-1847.

SES

A PRIME
ATHROPH
FURNAS
MÁRCIO I
LEONARDO
ANTONIO
Credenciado
¹Departame
dade Federa
²Departame
Universidad
Departamen
Geologia, U
Durai
dos autore
atribuíveis
classificad
alleghani
fino a mé
intervalo i
do sítio (e
Paraná (e
BR-376).
Siluro-De
Arenicoli
Palaeophy
ichnosp.
tubularis
Borghi &
aqui trat
estratigráf
Inferior,
(Fernande