UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**APLICAÇÃO DAS SISTEMÁTICAS Sm/Nd E Rb/Sr
NO MACIÇO ITATINS (SP)**

Jefferson de Lima Picanço

Orientador: Prof. Dr. Colombo C. G. Tassinari

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica

SÃO PAULO
1994

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

APLICAÇÃO DAS SISTEMÁTICAS Sm/Nd E Rb/Sr
NO MACIÇO ITATINS (SP)

Jefferson de Lima Picanço

Orientador: Prof. Dr. Colombo C. G. Tassinari

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO JULGADORA

nome

ass.

Presidente:

Dr. C.C.G.Tassinari

Examinadores:

Dr. M.A.S.Basei

Dr. M.A.F.de Oliveira

SÃO PAULO
1994

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

DEDALUS - Acervo - IGC

30900005405

**APLICAÇÃO DAS SISTEMÁTICAS Sm/Nd E Rb/Sr
NO MACIÇO ITATINS (SP)**

Jefferson de Lima Picanço

Orientador: Prof. Dr. Colombo C. G. Tassinari

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica

**SÃO PAULO
1994**

SUMÁRIO

SUMÁRIO	i
LISTA DE TABELAS	iii
LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE SIGLAS, CONVENÇÕES E ABREVIATURAS	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
AGRADECIMENTOS	x
1.0 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - APRESENTAÇÃO	1
1.2 - LOCALIZAÇÃO	2
1.3 - METODOLOGIA	3
1.3.1 - COLETA E PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS	3
1.3.2 - GEOCRONOLOGIA	4
A) Método K/Ar	4
B) Método Rb/Sr	5
C) Método Sm/Nd	6
2.0 - CONTEXTO GEOLÓGICO	9
2.1 - TRABALHOS ANTERIORES	9
2.2 - GEOLOGIA REGIONAL	13
2.2.1- COMPLEXO COSTEIRO	14
a) Suite Itatins	14
b) Sequência Cachoeira	16
2.2.2- COMPLEXO GNAISSICO-MIGMATÍTICO	18
2.2.3- SUÍTE GRANITOÍDE DE FÁCIES MIGMATÍTICA:	19
2.2.4 - ROCHAS MILONÍTICAS	19
2.3 - CARACTERÍSTICAS REGIONAIS DO METAMORFISMO	20
2.4 - PROCESSOS DE ANATEXIA E MIGMATIZAÇÃO	21
2.5 - CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS	23
2.6 - FEIÇÕES ESTRUTURAIS	27
3.0 - CONSIDERAÇÕES SOBRE A GEOCRONOLOGIA E GEOQUÍMICA ISOTÓPICA DE ROCHAS GRANULÍTICAS	29
3.1 - COMPORTAMENTO DOS ISÓTOPOS DE Sr E Nd NO SISTEMA MANTO/CROSTA	29

3.2 - GEOCRONOLOGIA DE TERRENOS GRANULÍTICOS	34
3.3 - EVOLUÇÃO ISOTÓPICA DO Sr, Pb E Nd EM TERRENOS GRANULÍTICOS	38
4.0 - RESULTADOS GEOCRONOLÓGICOS - DISCUSSÕES E INTERPRETAÇÕES	42
4.1 - RESULTADOS RUBÍDIO/ESTRÔNCIO	42
4.1.2 - Suite Itatins	42
4.1.2 - Sequência Cachoeira	49
4.1.3 - Complexo gnaissico-migmatítico	53
4.1.4 - Bloco Costeiro	55
4.2 - MÉTODO SAMÁRIO/NEODÍMIO	57
4.2.1 - Suite Itatins	57
4.2.2 - Sequência Cachoeira	59
4.3 - RESULTADOS POTÁSSIO/ARGÔNIO	62
5.0 - CONSIDERAÇÕES GEOTECTÔNICAS	67
6.0 - CONCLUSÕES	70
7.0 - BIBLIOGRAFIA	72

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Resultados analíticos dos padrões S10 e NBS-987 ao tempo do tratamento químico das amostras	6
TABELA 2 - Dados interlaboratórios para o padrão BCR-1	7
TABELA 3 - Paragêneses metamórficas das rochas do Maciço Itatins	19
TABELA 4 - Temperatura de fechamento (tc) do sistema K/Ar	36
TABELA 5 -Dados Rb/Sr para os granulitos Itatins	44
TABELA 6 - Dados Rb/Sr para kinzigitos ponta da Prainha (Sequência Cachoeira)	49
TABELA 7 - Dados Rb/Sr para paragneisses Itariri (Sequência Cachoeira)	49
TABELA 8 - Dados Rb/Sr dos migmatitos da Pedreira de Ana Dias	52
TABELA 9 - Dados Rb/Sr do neossoma dos Migmatitos de Mongaguá	55
TABELA 10 - Dados Sm/Nd para os granulitos Azeite (Suite Itatins)	57
TABELA 11 - Dados Sm/Nd para os paragneisses Itariri (Sequência Cachoeira)	60
TABELA 12 - Dados analíticos K/Ar disponíveis	64
TABELA 13 - Valores geocronológicos obtidos no Maciço Itatins.	67

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Mapa de localização	8
FIGURA 2 - Geologia Regional	12
FIGURA 3 - Geologia das áreas Itariri/Vale do Azeite e Prainha/guaraú	15
FIGURA 4 - Fenômenos de fusão parcial em rochas do Complexo Costeiro	23
FIGURA 5 - Dados Rb/Sr para rochas granulíticas do Maciço Itatins	24
FIGURA 6 - Dados Rb/Sr para rochas paraderivadas, migmatitos e granitos do maciço Itatins	26
FIGURA 7 - Geoquímica isotópica de reservatórios Crustais e mantélicos típicos	30
FIGURA 8 Dispersão de pontos ao longo de uma isócrona ideal, causado por entrada ou saída de Rb no sistema	31
FIGURA 9 - Evolução isotópica do Nd num reservatório condritico uniforme (CHUR)	32
FIGURA 10 - Calculo de uma idade modelo ou de residência crustal	33
FIGURA 11 - Evolução isotópica do Pb e do Sr para rochas granulitizadas muito depois de sua incorporação à crosta	39
FIGURA 12 - Evolução do Pb e do Sr para rochas granulitizadas pouco tempo após sua incorporação à crosta	40
FIGURA 13 - Efeito da adição de Rb num episódio t2 em suites granulíticas com baixas razões Rb/Sr formados num tempo t1	41
FIGURA 14 - Diagrama isocrônico de referência para os granulitos da Suite Itatins e para os pontos destes granulitos publicados por KAUL & TEIXEIRA (1982)	43
FIGURA 15 - Diagrama isocrônico Rb/Sr para os granulitos do tipo Azeite	43
FIGURA 16 - Dados Rb/Sr para os granulitos tipo Guaraú	48
FIGURA 17 - Diagrama isocrônico Rb/Sr para os kinzigitos da Ponta da Prainha, Peruipe.	51
FIGURA 18 - Diagrama isocrônico Rb/Sr para os gnaisses kinzigíticos de Itariri	53

FIGURA 19 - Diagrama isocrônico Rb/Sr para os Migmatitos de Ana Dias	54
FIGURA 20 - Diagrama de evolução do Sr para as rochas do Maciço Itatins e Bloco Costeiro.	55
FIGURA 21 - Diagrama isocrônico Rb/Sr para os migmatitos de Mongaguá (Bloco Costeiro)	57
FIGURA 22 - Diagrama isocrônico Sm/Nd em minerais para granulitos Azeite (JF7B)	59
FIGURA 23 - Diagrama isocrônico Sm/Nd em minerais para paragneisses Itariri (JP48a)	61
FIGURA 24 - Diagrama ϵ_{Nd} x ϵ_{Sr} para as rochas da Suite Itatins e Sequência Cachoeira	62
FIGURA 25 - Diagrama Temperatura de fechamento do sistema (Tc)X tempo (Ma)	64
FIGURA 26 - Localização das determinações K/Ar disponíveis	66

LISTA DE SIGLAS, CONVENÇÕES E ABREVIATURAS

IG-USP = Instituto de geociências - Universidade de São Paulo

CpGeo-USP = Centro de pesquisas Geocronológicas - USP

DeGeo-UFPr = Departamento de Geologia - Universidade Federal do Paraná

CNPq = Conselho Nacional de Pesquisas

FAPESP = Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

Ma = mega anna = 10^{-6} anos

Ga = giga anna = 10^{-9} anos

Rb/Sr = Método radiométrico Rubídio/Estrôncio

K/Ar = Método radiométrico Potássio/ Argônio

Sm/Nd = Método radiométrico Samário/Neodímio

MSWD = Mean Square Weight Desviation

I_{Sr} = Razão inicial de Sr^{87}/Sr^{86}

I_{Nd} = Razão inicial de Nd^{143}/Nd^{144}

Abreviaturas da mineralogia:

Bio - biotita

Ep - Epidoto

Mcc - Microclínio

Bst - bastite

FK - Feldspato Potássico

Opx - ortopiroxênio

Cpx - Clinopiroxênio

Gra - granadas

Op - opacos

Cl - clorita

Hb - hornblenda

Pla - Plagioclásio

Cumm - Cummingtonita

Hip - Hiperstênio

Qz - Quartzo

RESUMO

O maciço Itatins, no sul-sudeste do Estado de São Paulo, é uma região composta por rochas cujos protólitos foram incorporados à Crosta por volta de 2.5 Ga. e que sofreram a ação de episódios de metamorfismo de alto grau e fusão parcial. Compreende as rochas do Complexo Costeiro, representadas Suite Itatins e pela Sequência Cachoeira, as rochas graníticas da Suite Granitóide de Fácies Migmatítica e uma extensa área de rochas migmatíticas intermediárias entre estas duas (Complexo Gnaissico-Migmatítico).

A Suite Itatins compreende dois tipos principais de granulitos: Os granulitos tipo Azeite apresentam um comportamento geoquímico empobrecido em litófilos, com baixas razões Rb^{87}/Sr^{86} e os granulitos Guaraú, mais restritos em área, apresentando um comportamento geoquímico enriquecido em litófilos. Ambas as litologias tiveram seu sistema Rb/Sr afetados pela granulitização, gerando diagramas isocrônicos sem significação geológica.

As rochas da sequência Cachoeira tiveram seu sistema Rb/Sr menos alterado. Os kinzigitos da Ponta da Prainha indicaram idades pré-brasilianas que podem significar uma idade de metamorfismo, ou então idades intermediárias entre a provável geração dos protólitos e o metamorfismo granulítico. Os paragneisses Itariri indicaram idades brasileiras.

Os migmatitos de Ana Dias forneceram uma idade em torno de 720 Ma, interpretados como idade de migmatização. A paragênese mineral destas rochas é compatível com a formação de fundidos anatéticos em fácies granulito, e a idade obtida reflete a idade da migmatização em fácies granulito.

O sistema Sm/Nd apresentou-se mais sensível ao metamorfismo, através de uma isócrona mineral-rocha total em granulitos tipo Azeite, em paragênese equilibrada em fácies granulito, a qual obteve um resultado por volta de 607 Ma. Uma segunda isócrona mineral-rocha total, em paragneisses próximos a Itariri, obteve 580 Ma. As idades modelo Sm/Nd (TDM) para rocha total nos granulitos Azeite revelaram idades arqueanas (2,52 Ga). Para os paragneisses, o parâmetro TDM forneceu uma idade de 1.4 Ga, interpretada como uma provável idade de mistura de material das áreas-fonte dos protólitos.

As idades de resfriamento K/Ar obtidas para estas rochas estiveram em torno de 580 Ma para as biotitas e 656 Ma para os anfibólios.

As idades Rb/Sr de 530 Ma, obtidas para os Migmatitos de Mongaguá representam são idades de migmatização em fácies anfibolito. Uma determinação em biotita nestas rochas forneceu valores de 512 Ma.

Na datação geocronológica aplicada às rochas granulíticas e associadas que ocorrem no Maciço Itatins, o sistema Rb/Sr revelou-se pouco eficaz na datação de rochas granulitizadas após longa vivência crustal. Já o sistema Sm/Nd em minerais-rocha total mostrou-se bastante apto para datar as paragêneses minerais. Na maioria dos casos envolvendo isócronas granada/rocha total, as idades obtidas são de resfriamento. Desta forma, idades obtidas nestas isócronas possuem a mesma significação que isócronas Rb/Sr rocha total.

ABSTRACT

The Itatins Massif, in the southeast of São Paulo State, comprises the main geological units: a) The granulitic Itatins Suite, subdivided in Azeite granulites, enderbitic-charnoenderbitic, LIL-depleted, and the Guaraú granulites, charnockitic, LIL-enriched; b) The Cachoeira Sequence, composed by kinzigites, kinzigitic gnaisses, amphibolites and calciosilicatic rocks; c) Regional granitic-migmatitic rocks.

The Itatins Granulites have strongly disturbed isotopic systems, with great scatter in the analytical points. The Ponta da Prainha kinzigites record a pre-Brazilian age of 1.4 Ga in Rb/Sr Whole-rock isochron. The Itariri kinzigitic gnaisses have 601 My-old Rb/Sr Whole-rock isochron.

The Ana Dias Migmatites record a 720 Ma Rb/Sr WR isochron, which gives the age of migmatization. The mesosome of these granulites, equilibrated in granulite facies, suggests that age is related to the regional metamorphism in granulite-facies conditions.

The Mongaguá Migmatites have a Rb/Sr WR isochron age of 532 Ma. They are located in the Costeiro Block and record a significantly low isochronous age if compared with Itatins Massif ones. Biotite K/Ar ages of these rocks record 512 Ma.

The K/Ar cooling ages of the Itatins Massif are 590 Ma in biotites and 656 Ma in hornblende.

Two Sm/Nd mineral-WR isochrons have been obtained. The pyroxene-plagioclase-biotite-WR isochron recorded 607 $\pm$ 136 Ma from the Azeite Granulites, with Sm/Nd model ages 2.52 Ga. The garnet-plagioclase-biotite-WR isochron has 580 $\pm$ 22 Ma. These ages have been interpreted as cooling ages of that paragenesis from the granulite metamorphism. Sm/Nd mineral-WR isochrons were more successful to date granulites with previous crustal history after granulitization than the Rb/Sr Whole-rock isochrons.

AGRADECIMENTOS

Durante a elaboração deste trabalho, numerosas foram as contribuições que recebi, às quais sou muito grato. Entre todos, agradeço ao Prof Dr. Colombo Celso Gaeta Tassinari pela orientação, pelo apoio nas diferentes fases da pesquisa e pela paciente e criteriosa leitura do texto final.

Ao Prof. Dr. Koji Kawashita, ao Prof. Dr. Wilson Teixeira e ao Prof. Osvaldo Siga Jr, pelas sugestões e contribuições durante a execução de nossas análises no CpGeo. O Prof. Dr. Ian McReath apresentou inúmeras críticas e sugestões de grande valia. O Prof. José Manoel dos Reis Neto gentilmente nos facultou o acesso ao Laboratório de Petrografia do DG-UFPr e colaborou nos cálculos de idades e parâmetros isotópicos. Ao anônimo Relator, que muito contribuiu para melhorar o texto com inúmeras e proveitosas sugestões.

O corpo técnico do IG-USP e principalmente do CpGeo foi fundamental para a execução deste trabalho, a quem agradecemos nas pessoas dos técnicos Artur Onoe, Claudio Comerlatti, Décio Rosas, Helen e Ivone Sonoki, José Elmano Gouveia, Kei Sato, Margarida Martins, Paulo Filho e Walter Sproesser. Fica aqui um agradecimento especial a Liliane Petronilho, pela competência e dedicação com as quais conduziu seu trabalho.

Aos colegas Adilson Machiavelli, Edilton Santos, Fernando Campagnoli e Luis Rogério Bastos Leal, pela amizade e pelas inúmeras discussões que tanto nos enriqueceram. A geóloga Cláudia Inês Parellada, pelas preciosas sugestões para o Abstract. Ao Geólogo José Maria de Azevedo Sobrinho, pelo muito que percorremos e discutimos a geologia e as belezas da Serrania dos Itatins.

Agradeço também ao Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq) pela cessão da Bolsa de Estudos e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo auxílio de campo (Processo 89/1204-8).

Aos amigos Marcos Cruz Alves e Alcides Mario Amaral de Oliveira Jr, os quais cederam gentilmente seu tempo, seus conhecimentos e equipamentos de informática durante a edição final deste trabalho.

A Marili, Júlia e Pedro, pela alegria. A Dilma, Dodô, Zila e Rose, pela inspiração e incentivo constantes.

1.0 - INTRODUÇÃO

1.1 - APRESENTAÇÃO

A presente dissertação de Mestrado foi concebida e elaborada de acordo com as recentes discussões sobre a nova filosofia para a pós-graduação que vem sendo implantada no Instituto de Geociências da USP. Procuramos imprimir ao trabalho uma forma mais ágil e leve, sem a pretensão de esgotar os temas abordados, porém sem perder o rigor metodológico. O que intentamos com este proceder foi antes nosso aprimoramento técnico-científico, o que julgamos ser a função primeira de um curso de Mestrado.

A Geocronologia de rochas granulíticas, mais especificamente o estudo dos maciços granulíticos da costa sul-sudeste do Brasil, vem a ser um tema de importância para a compreensão dos processos que regem a formação destas rochas. E nossa atenção para com tais problemas datam já dos trabalhos de graduação, pela Universidade Federal do Paraná, quando tivemos a oportunidade de estudar mais de perto o Complexo Básico-ultrabásico de Piên. Já naquela época, nos intrigava o metamorfismo granulítico, seus problemas de processo em sistema aberto e suas implicações para a datação geocronológica e para a geoquímica isotópica.

Essa preocupação se insere num momento em que as rochas granulíticas vem se tonando o centro de um ativo debate, que só fez aumentar de importância e abrangência nos últimos vinte anos. Essa importância advém do caráter destas rochas, consideradas como típicas representantes da Crosta Continental Inferior (FOUNTAIN & SALISBURY, 1981; FOUNTAIN et al, 1990) e dos fenômenos de sua formação, envolvendo ativamente o manto Superior subjacente através de processos tais como *underplating* e deslaminação (por exemplo, DEWEY, 1986; NEWTON, 1987; RUDNICK & PRESER, 1990; RUDNICK, 1992). também são importantes nos processos de formação e diferenciação da Crosta continental como um todo (WELLS, 1981; MOORBATH et al., 1980; CLEMENS, 1990; VIELZEUF et al., 1990). Entretanto, da mesma forma que as rochas graníticas, os granulitos são o produto de diversos fenômenos envolvendo a criação e/ou diferenciação da Crosta Continental, refletindo os diferentes processos tectônicos e padrões P-T-t atuantes, bem como a heterogeneidade litológica da Crosta continental e a exumação diferencial das distintas formas de granulitos (HARLEY, 1989; THOMPSON, 1990).

Desta forma, buscamos um trabalho que pudesse dar conta destas complexidades: tentamos uma correlação dos dados coligidos neste trabalho com dados regionais. Procuramos também testar métodos utilizados com sucesso no estudo de outros terrenos granulíticos regionais. Procuramos também soluções próprias, dentro dos parâmetros metodológicos disponíveis. Assim, pudemos dispor de uma visão mais integrada dos processos de datação geocronológica de granulitos, acreditando serem a Geocronologia e a Geoquímica Isotópica poderosas ferramentas de estudo dos processos geológicos em geral. Isto porque, como todo método científico, apresenta impasses e problemas aparentemente insolúveis. Estes são, na verdade, os nós pelos quais a Ciência prossegue seu rumo, superando dialeticamente os problemas e avançando mais um patamar na aventura do conhecimento.

De forma a discutir a Geocronologia e a Geoquímica isotópica das rochas do maciço Itatins, a presente dissertação consta de uma parte introdutória, da qual fazem parte a apresentação, a localização da área estudada e a metodologia empregada (Capítulo 1). A seguir, apresentamos o nível atual de conhecimentos sobre a região, na forma de uma descrição da Geologia da área e dos trabalhos nela anteriormente desenvolvidos (Capítulo 2). O Capítulo 3 consta de uma breve compilação e revisão dos últimos desenvolvimentos teóricos na geocronologia e geoquímica isotópica de granulitos, discutindo as ferramentas e os problemas das diferentes metodologias de datação radiométrica empregada.

Os capítulos seguintes (Capítulo 4) constam da apresentação e discussão dos dados geocronológicos obtidos para as rochas do maciço Itatins, enquanto que os próximos discutem os modelos geotectônicos para a área (Capítulo 5) e as conclusões então obtidas (Capítulo 6). Nestes capítulos finais serão integrados os dados discutidos nos capítulos precedentes, objetivando a discussão dos problemas e de suas prováveis alternativas em termos de metodologias e de modelos geotectônicos.

1.2 - LOCALIZAÇÃO

As áreas estudadas localizam-se no litoral sul do estado de São Paulo (fig. 1), abrangendo os municípios de Peruibe, Itariri e Pedro de Toledo. A área Itariri-Vale do Azeite tem o formato de um polígono irregular alongado no sentido E-W, compreendendo a vertente Norte da Serra dos Itatins. Está inteiramente contida na porção norte da folha Pedro de

Toledo (SG-23-V-A-II-4) em escala 1:50.000. A área Prainha-Guaraú tem um formato quadrangular alongado no sentido N-S, contida na porção centro-leste da mesma folha.

Distam cerca de 145 Km da capital, sendo acessíveis através das Rodovias Anchieta (SP-150) e dos Imigrantes (SP-160). A partir destas, segue-se pela rodovia Pe Manoel da Nóbrega - Pedro Taques (SP-55), a partir da qual se alcança a área Itariri-Vale do Azeite em sua porção nordeste. Alternativamente, pode-se seguir pela Rodovia Régis Bittencourt (BR-116) até esta alcançar a SP-55 no trevo de Pedro Barros. Após o trevo, é percorrido um trecho de aproximadamente 30 Km até Pedro de Toledo. Cerca de 1500 m após a entrada desta última cidade a área é atingida em sua porção noroeste. A partir do asfalto da SP-55 inúmeras estradas secundárias dão acesso ao restante da área. A melhor destas vias é a estrada para Igrejinha-Araribá, cerca de 200 m antes da ponte da SP-165 sobre o rio Azeite, na entrada de Itariri.

Para se alcançar a área Prainha-Guaraú, por outro lado, deve-se seguir até Peruibe e aí tomar a estrada Peruibe-Barra do Una, que corta a área longitudinalmente. Através de pequenos acessos particulares pode-se chegar a inúmeros costões e praias com bons afloramentos.

1.3 - METODOLOGIA

1.3.1 - COLETA E PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS

Os trabalhos de campo foram realizados em três etapas, em setembro e dezembro de 1989 e em maio de 1991, perfazendo um total de 21 dias de campo. Foram descritos mais de 63 pontos de afloramento, identificados com as siglas JF(4 a 13) e JP(1 a 54). As amostras foram coletadas em pontos mais favoráveis, procurando amostrar sistematicamente em um único ou no máximo dois pontos de ocorrência do mesmo material, com o fito de se construir isócronas verdadeiras e impedir misturas de material não-cogenético. Tal diretriz foi rigorosamente observada na amostragem de litologias paraderivadas e rochas migmatíticas. Nestas últimas procurou-se, sempre que possível, diferenciar neossoma de meso e paleossoma. Nas rochas granulíticas strictu sensu, onde as razões Rb^{87}/Sr^{86} são por vezes muito pequenas e com pouca variação, coletaram-se

amostras suplementares em pontos próximos para que se pudesse obter uma boa variação, condição essencial para se construir uma isócrona.

As amostras escolhidas para laminação foram descritas no laboratório de Petrografia do DMP/USP e no laboratório de Petrografia do Departamento de Geologia da UFPr. A análise petrográfica visou inicialmente a separação dos distintos litotipos e o estabelecimento de suas respectivas paragêneses. Estas informações nortearam a escolha das amostras para a geocronologia e para a separação de minerais para datação. Numa etapa posterior, uma revisão destes dados foi necessária para dar conta dos problemas encontrados na definição das diferentes isócronas, refinando as informações obtidas nas primeiras descrições petrográficas.

1.3.2 - GEOCRONOLOGIA

A) Método K/Ar

A rotina da metodologia K/Ar desenvolvida no CPGeo está descrita em AMARAL et al.(1966). A separação das diferentes fases minerais inicia-se pela britagem, efetuada em britador de mandíbula. O material resultante desta britagem é peneirado em fração 60 mesh, podendo ser de até 100 mesh para minerais mais agregados. Segue-se a retirada das fases magnéticas com imã de mão e a passagem do restante num separador isodinâmico tipo Frantz. A seguir as fases minerais assim separadas são purificadas pela catação manual em papel de filtro ou, eventualmente, pela catação em lupa.

A análise do K ocorre com ataque químico em duplicata e com a leitura por fotometria de chama, em aparelho MICRONAL B-262 com padrão interno de Lítio. Atualmente o ataque químico para análise do K no CPGeo está substituindo os antigos cadinhos de platina por Savillex autoclaváveis, o que diminui em muito a possibilidade de contaminação das amostras.

A análise do Ar ocorre a partir da extração deste gás em sistema de ultra-vácuo, com pressões finais inferiores a $6 \cdot 10^{-8}$ mm Hg. Aos gases liberados é misturada uma quantidade conhecida de traçador Ar^{38} spike. Logo depois, a amostra é purificada em fornos de Cobre-Cuo e Titânio, sendo a seguir coletada e transferida para o espectrômetro de fonte gasosa NUCLIDE tipo Reynolds MS-1. Desde KAWASHITA et al (1983), a leitura dos espectrômetros no CPGeo é feita de forma digital em microcomputador "on line".

As constantes utilizadas na datação K/Ar estão listados a seguir:

$$\begin{aligned}\lambda K^{40} &= 4.962 \cdot 10^{-10} \text{ anos}^{-1} \\ K^{40} &= 0.5 \cdot 10^{-10} \\ Ar^{40}/Ar^{36} (\text{atm}) &= 299.5 \\ K^{40} &= 0.1167\% \text{ total}\end{aligned}$$

B) Método Rb/Sr

As amostras para Rb/Sr são previamente britadas em britadores de mandíbula e pulverizadas em moinho de bolas revestidos de Tungstênio. Posteriormente, são submetidos a uma dosagem prévia de Rb e Sr por fluorescência de raio x (análise semi-quantitativa) e são selecionados para a construção de isócronas segundo sua dispersão. As amostras com teores entre 50- 500 ppm de Rb e/ou Sr tem suas razões Rb/Sr obtidas por fluorescência de raios x (KAWASHITA et al, 1990). Fora deste intervalo, as concentrações são determinadas pelo método de diluição isotópica, utilizando-se traçadores enriquecidos em Rb⁸⁷ e Sr⁸⁴, de acordo com os procedimentos de KAWASHITA (1972). As rochas estudadas em sua grande maioria foram datados por fluorescência de raios X; somente algumas destas mostras, com concentrações fora do intervalo de confiança indicado, foram determinadas por diluição isotópica.

As amostras foram atacadas com HF e HClO₄ a quente em cadinhos de teflon, durante aproximadamente 12 horas. O Rb e o Sr são separados por cromatografia líquida, com deposição de amostra em colunas com resinas catiônicas tipo Dowex 50w-x8, 200/400 mesh, com eluição em meio clorídrico. Atualmente, o ataque químico é feito com a deposição da amostra em savillex autoclaváveis, com evaporação em ambiente tipo classe 100. As resinas são mensuradas por volume, correspondendo a 11 ml de material em meio aquoso.

A reprodutibilidade dos resultados no CPGeo são controlados por meio do padrão NBS-987 (Carbonato de Sr.) e para o padrão interno S10. Os resultados durante o tratamento químico das amostras estudadas estão representadas a seguir. Os resultados do padrão NBS-987 mantiveram-se normais, enquanto que os resultados do padrão interno S10 mostraram variações importantes: valores inferiores a 1.29 indicam contaminação do laboratório por Sr durante o tratamento das séries de amostras. Por outro lado, verifica-se que as duas séries tratadas neste período são amostras com altos teores de Sr, de tal forma

que qualquer adição de Sr foi estatisticamente insignificante para alterar os resultados finais.

Amostras (No Laboratório)	Padrão interno S10	Padrão NBS-987
10659-10670	1.29214+/-08	0.710210+/-05
10967-10987	1.28599+/-24	0.710265+/-06
11266-11270	1.30186+/-13	-----
11291-11299	1.29933+/-57	-----
11901-11904	1.30267+/-09	0.710261+/-07

Resultados analíticos dos padrões S10 e NBS-987 ao tempo do tratamento químico das amostras.

As análises espectrométricas foram obtidas utilizando-se um aparelho tipo MICROMASS Vg-354, com coletor simples, e cujas características encontram-se descritas em SATO et al (1994).

Os resultados analíticos isocrônicos Rb/Sr foram calculados pelo programa Pisog, desenvolvido no CPGeo, sendo calculadas pelos métodos isocrônicos Williamson e Dcrono, discutidos em KAWASHITA et al (1991). Os calculos de idades foram feitos com desvio padrão de 1σ . As constantes utilizadas na datação Rb/Sr são:

$$\text{Sr}^{84}/\text{Sr}^{86} = 0.056584$$

$$\lambda \text{ Rb} = 1.42.10^{-11} \text{anos}^{-1}$$

$$\text{Sr}^{86}/\text{Sr}^{87} = 0.1194$$

$$\text{Rb}^{86}/\text{Rb}^{87} = 2.5920 \pm 0.0037$$

C) Método Sm/Nd

As amostras selecionadas para datação Sm/Nd foram inicialmente tratadas em britador de mandíbula, a partir de amostras com mais de 5 Kg. As amostras para rocha total foram pulverizadas em moinhos de bola revestido com tungstênio. Os separados minerais foram passados, após a britagem, em peneira fração 60 mesh. Segue-se a retirada das fases

magnéticas com imã de mão e a passagem da amostra resultante num separador isodinâmico tipo Frantz. A seguir as fases minerais são separadas por catação manual em papel de filtro e em lupa.

As amostras selecionadas para datação Sm/Nd são divididos para o ataque químico em duas alíquotas: a alíquota natural e a alíquota "spike". À alíquota "spike" é adicionado um traçador com quantidades mensuráveis de Sm e Nd. Ambas alíquotas são atacadas com HF/HNO₃ (2:1) e com HCl 6.2 N. A seguir, cada amostra é passada em colunas com resina catiônica e eluída com HCl 2,5 N. Nestas colunas, ditas primárias, o Sr são separados o Rb e o Sr, a partir da alíquota natural. As terras raras de ambas alíquotas são separadas com eluição de HCl 6.2 N. As amostras contendo terras raras são então levadas para colunas de teflon, ditas secundárias, e eluídas com HCl 2.6 N, quando é então separado o Sm do Nd.

A espectrometria para o método Sm/Nd no CPGeo-USP é feita com um espectrômetro Vg-354, com cinco coletores, sendo descrita em maiores detalhes em SATO et al (1990). A deposição de Nd é feita num dos filamentos laterais de tântalo, eluindo-se o Nd com H₃PO₄ de normalidade inferior a 0.1, secando-o ao ar livre mediante uma corrente inferior a 0.6 A sem que ocorra a oxidação. O Sm é analisado em forma metálica usando-se filamento simples de tântalo e depositado com H₃PO₄ 0.25 N. O padrão utilizado é o BCR-1. Os atuais erros para os teores de Sm e Nd são respectivamente 0,0007% e 0,001% (SATO, comun. pes.). Resultados publicados em KAWASHITA et al. (1990), em comparação com dados da literatura para o mesmo padrão, são apresentados a seguir:

	Nd ¹⁴³ / Nd ¹⁴⁴	Média (1σ)
monocoletor: f óxido (CPGeo)	0.512640-0.512697	0.512662+/-27
monocoletor: f óxido (Caltech)	0.512637-0.512641	0.512639+/-20

Tabela 2 - Dados interlaboratórios para o padrão BCR-1
fonte: KAWASHITA et al (1990)

Os resultados analíticos isocrônicos Sm/Nd foram calculados pelo programa Pisog, desenvolvido no CPGeo. Os cálculos de idades modelo e parâmetros isotópicos foram calculados pelo programa Epsilon-Nancy, no CPGeo. As constantes utilizadas na datação Sm/Nd são:

$(Nd^{146}/Nd^{144})_{p/norm} = 0.7279$
 $(Nd^{143}/Nd^{144})_{CHUR\ hoje} = 0.512638$
 $(Nd^{143}/Nd^{144})_{DM\ hoje} = 0.513114$

$\lambda_{Nd} = 6.54 \cdot 10^{-12} \text{ anos}^{-1}$
 $(Sm^{147}/Nd^{144})_{CHUR\ hoje} = 0.1967$
 $(Sm^{147}/Nd^{144})_{DM\ hoje} = 0.222$

MAPA DE PONTOS E AMOSTRAGEM

2.0 - CONTEXTO GEOLÓGICO

2.1 - TRABALHOS ANTERIORES

Os primeiros trabalhos na região foram desenvolvidos por COUTINHO (1971), que realizou um perfil E-W de Peruibe à Pedro Barros, pela primeira vez descrevendo os hiperstênio-gnaisses, e rochas associadas, circunscritas pela falha de Cubatão ao "Bloco Costeiro". Neste mesmo ano, GIRARDI et al (1971), apresentaram um estudo sobre as granadas dos kinzigitos da Ponta da Prainha. SADOWSKI (1974b) distingue o "Maciço Itatins", separado do "Bloco Costeiro" pela Falha de Itariri. Posteriormente, SADOWSKI et al (1978) fizeram uma distinção dentro do Maciço Itatins, dividindo-o em dois blocos, denominados Miracatu (W) e Peruibe (E), separados por uma falha de rejeito oblíquo e direção NE.

Como parte dos grandes projetos de mapeamento ao longo da década de 70, MORGENTHAU et al (1975) incluíram as rochas granulíticas no Complexo Gnáissico-Migmatítico, representando essencialmente resíduos paleossomáticos das rochas do embasamento do Cinturão Açungui, retrabalhado no ciclo Brasileiro. SILVA et al. (1977,1978) foram os primeiros a utilizar a denominação "Complexo" Itatins para os enderbitos e kinzigitos, então formalmente separados do Complexo Gnáissico-Migmatítico. Posteriormente, no Projeto Integração e detalhe geológico no Vale do Ribeira (SILVA et al, 1981; BATOLLA Jr et al, 1981; e SILVA, 1981), foi efetuada a separação das unidades arqueanas - Complexo Itatins e Sequência Cachoeira - dos migmatitos regionais, supostamente transamazônicos, bem como dos granitóides de anatexia brasileiros que ocorrem na área. Posteriormente, num trabalho de síntese, SILVA (1986) eleva a Sequência Cachoeira à categoria de Complexo, por este autor entendida como gerada no Arqueano médio (c. 3.3 Ga), correspondendo a Terrenos granito-greenstone de baixo grau.

Mais recentemente, os trabalhos de mapeamento desenvolvidos pelo IPT (DANTAS et al, 1987), mapeando em escala 1:50.000 as folhas Juquiá e Miracatu cobrem parcialmente a área de ocorrência de granulitos Itatins. Os trabalhos gerados por este mapeamento (DANTAS et al, 1987; GIMENEZ Fº et al., 1987) caracterizaram a região ao sul da falha de Cubatão como constituída por rochas granulíticas, gnáissicas, migmatíticas, graníticas e vulcano-sedimentares referentes ao Complexo Costeiro, Complexo Gnáissico-Migmatítico

e Suite Granitóide de Fácies Migmatítica. Os autores utilizaram a denominação de Complexo Costeiro com o mesmo sentido dado por HASUI et alii (1981), identificando sua ocorrência na folha Miracatu na forma de restos parcialmente preservados da remobilização e anatexia subseqüentes. Foram incluídas no Complexo Costeiro as Suites Itatins e Ortognáissica e a Seqüência Cachoeira. Os dados químicos gerados por este último trabalho de mapeamento foram posteriormente reagrupados e discutidos por FIGUEIREDO et al.(1988), que indicaram um "trend" álcali-cálcico para as litologias analisadas para as folhas Juquiá e Miracatu.

A área situa-se no âmbito do Maciço de Joinville (HASUI et al ,1975; redefinido por BASEI et al, 1988), conforme a figura 2. No entanto, as diversas reinterpretações ocorridas na porção sul do Maciço (BASEI, 1985; BASEI et al, 1988; BASEI et al ,1990; SIGA Jr. et al, 1990) conduziram à uma completa reformulação dos modelos de evolução geológica da região, levando BRITO NEVES (1989) a desaconselhar a denominação Maciço de Joinville com conotação geotectônica. Os três domínios geológico/geocronológicos atualmente reconhecidos na área do Maciço mais a sul não apresentam limites facilmente reconhecíveis na região do presente estudo face ao grau de conhecimento que dela hoje se possui.

As denominações Bloco, Maciço e Complexo, freqüentemente empregadas para as litologias granulíticas e associadas que ocorrem na Serra dos Itatins trazem implícita uma forte conotação geotectônica - representam porções mais antigas da crosta, remobilizadas total ou parcialmente em ciclos tectônicos posteriores. Tais conceitos estão presentes tanto nos trabalhos de integração regional (HASUI et al, 1981; BISTRICHI et al, 1981; HASUI E OLIVEIRA, 1984), quanto nas sínteses interpretativas mais recentes(CORDANI & BRITO NEVES, 1982; IYER et alii, 1987). No presente trabalho empregaremos o termo Maciço Itatins com conotação geográfica, empregando as subdivisões e a nomenclatura utilizada por SADOWSKI (1974) e SADOWSKI et alii (1978) na denominação dos diferentes segmentos crustais a nível regional.

FIGURA 2 - CONTEXTO REGIONAL
BASEADO EM JANINI & VILHAIN, 1992

A geocronologia da área (SILVA et al., 1981; TEIXEIRA, 1982; KAUL & TEIXEIRA, 1982), tem apresentado para as rochas enderbíticas e kinzigíticas analisadas idades Rb/Sr arqueanas, com possíveis remobilizações de material durante o Ciclo Transamazônico e, mais provavelmente, no Ciclo Brasileiro. Uma única determinação K/Ar mostra idade de resfriamento brasileira. Com base nestes resultados, KAUL & TEIXEIRA (1982) sugerem que o Maciço Itatins é constituído por rochas antigas, Arqueanas, afetadas durante os Ciclos Transamazônico e Brasileiro, sendo em consequência correlacionado com o complexo de Serra Negra (PR) e com o Cráton de Luis Alves (SC), também no âmbito do Maciço de Joinville. A geocronologia da área voltará a ser discutida, de forma mais detalhada, no capítulo 4.

2.2 - GEOLOGIA REGIONAL

A área de afloramento dos terrenos granulito-gnáissico-migmatíticos em estudo abrange parcialmente a folha Pedro de Toledo, em escala 1:50.000. Foram selecionadas dentro deste estudo duas áreas principais: a) a área de Itariri/Vale do Rio do Azeite, abrangendo a Serra dos Itatins ; b) a área Ponta da Prainha/Praia do Guaraú, próxima a Peruibe (figura 1). Ambas áreas estão localizadas no Maciço Itatins, bloco Peruibe, segundo a nomenclatura de SADOWSKI (1974) e SADOWSKI et al (1978), como pode ser visto na Figura 2.

A nomenclatura e a denominação das unidades ocorrentes nestas áreas seguirão a classificação de DANTAS et alii (1987a) para a folha Miracatu. Assim, ambas áreas estão constituídas predominantemente pelas litologias do Complexo Costeiro (Suite Itatins e Sequência Cachoeira), com ocorrências subordinadas de litologias do Complexo Gnáissico-Migmatítico e da Suite Granitóide de Fácies Migmatítica. Localmente, associadas a zonas de falha, podem ocorrer rochas miloníticas. Todo este conjunto está cortado por diques de diabásio de idade mesozóica. Boa parte da região esta recoberta por depósitos sedimentares recentes de origem continental e marinha. Estas duas últimas unidades não serão abordados neste trabalho.

2.2.1- COMPLEXO COSTEIRO

As rochas do Complexo Costeiro compreendem a Suite Itatins e a Sequência Cachoeira. Ocorrem nas folhas Juquiá, Miracatu e Pedro de Toledo, apresentando nesta última sua maior área de exposição. Estão relacionados principalmente ao bloco Peruibe, fragmento oriental do Maciço Itatins.

a) Suite Itatins

É a principal unidade ocorrente na folha Pedro de Toledo, perfazendo 80% das litologias da área de Itariri/Vale do Azeite e mais de 90% na área Prainha/Guaráú. Ocorrem de forma descontínua pela área, desde a forma de paleossomas granulíticos de dimensões métricas/decimétricas, até corpos com várias dezenas de quilômetros quadrados. A maior extensão ocorre desde as proximidades de Itariri até a Ponta da Prainha, abrangendo grande parte da folha Pedro de Toledo.

Apresentam estruturas bastante diversas, variando de isotropas a freqüentemente gnáissicas. Estão invariavelmente migmatizadas. Por vezes contém xenólitos e *boudins* de rochas básicas granulitizadas, o que confere uma textura agmática à rocha, tanto mais perceptível quanto maior a migmatização superimposta. Esta migmatização corresponderia a dois episódios distintos de formação de neossomas. O primeiro episódio relaciona-se a estruturas mais heterogêneas, desde bandadas até *Schollen*, são de composição leucogranítica dominante e são geradas por difusão metamórfica e/ou fusão parcial "in situ". Pode ocorrer muitas vezes sob a forma de concentrações difusas leucogranitóides associadas a feldspato de coloração esverdeada, tal como descrito por GIMENEZ Fº et al.(1987). O segundo episódio está ligado à injeção de uma fase pegmatóide cinza-esverdeada bastante rica em FK e quartzo, em condições bem menos plásticas.

Existem dois tipos distintos de granulitos dentro da Suite Itatins. Os granulitos que ocorrem na praia do Guaráú representam somente uma pequena porção da área de Prainha/Guaráú, enquanto que os granulitos tipo Azeite são de longe o subtipo de maior ocorrência nas duas áreas focalizadas. Os granulitos Azeite são rochas de composição enderbitica/charno-enderbitica dominante. Apresentem granulação média a grosseira, com termos inequigranulares, raramente porfiróides, de coloração cinza esverdeada a cinza acastanhada escura. A textura é variável, predominando a granoblástica inequigranular e a granular hipidiomórfica a xenomórfica. Eventualmente, podem ocorrer texturas granonematoblásticas e granolepidoblástica, dependendo do teor em piroxênios, anfibólios

ESBOÇO GEOLÓGICO

UNIDADES LITOESTATIGRÁFICAS

- Q ALUVIÕES INDIFERENCIADOS
- PEM ZONA DE CISALHAMENTO DE ITARIRI (Milonito - Gnaisses).
- PEI SUITE GRANITOÍDE DE FÁCIES MIGMATÍTICA
- PEM COMPLEXO GNÁISSICO MIGMATÍTICO (Migmatitos de estrutura heterogênea)

COMPLEXO COSTEIRO

- PECK SEQUÊNCIA CACHOEIRA (Kinzigitos, Gnaisses, Kinzigitos, Anfibolitos)
- PEIA SUITE ITATINS
- PEIAr Granulitos Azeite Retrometamorfizados.
- PEIG Granulitos Guaráu

- CONTATO GEOLÓGICO
- FALHA, FRATURA
- FOLIAÇÃO GNAISSICA
- CLIVAGEM DE FRATURA
- ANTICLINAL SEM INDICAÇÕES DE CAIMENTO
- DATAÇÃO Rb/Sr
- DATAÇÃO K/Ar e Pb/Sr
- DATAÇÃO Rb/Sr e Sm/Nd

e biotita. Os minerais essenciais são quartzo, plagioclásio anti-pertítico, ortoclásio pertítico, hiperstênio, biotita, hornblenda e diopsídio, tendo como acessórios principais a apatita, opacos, zircão e titanita.

Na praia do Guaraú ocorrem de forma característica enderbitos leucocráticos de granulação fina à média, constituídos por quartzo, plagioclásio antipertítico, ortoclásio, apresentando conteúdos modais de hiperstênio e biotita bastante subordinados. Estas rochas apresentam-se migmatizadas, com indícios de retrometamorfismo em condições PT mais baixas. A mirmequitização dos cristais de plagioclásio e a reação do hiperstênio, produzindo biotita e opacos, são feições comuns destas rochas.

As relações de contato das rochas da Suite Itatins com as do Complexo Gnáissico-Migmatítico são transicionais, sob forma de zonas descontínuas predominando ora uma ora outra litologia, desde núcleos granulíticos de aparência isótropa até migmatitos, passando por granulitos parcialmente migmatizados. Com as rochas da Sequência Cachoeira o contato aparentemente é brusco, embora não se tenham ainda observações diretas.

b) Sequência Cachoeira

As rochas da Sequência Cachoeira encontram-se expostas, de acordo com SILVA et alii (1981), numa ampla região desde Morretes (Pr) até Pedro de Toledo (SP) sob forma de núcleos dispersos no embasamento gnáissico, migmatizado ou não. É constituída por kinzigitos e gnaisses kinzigíticos, anfíbolitos e metabasitos, rochas calciossilicáticas, mármore dolomíticos, xistos e quartzitos.

No Maciço de Itatins aflora parte desta unidade, sendo identificados kinzigitos e gnaisses kinzigíticos, anfíbolitos e metabasitos e rochas calciossilicáticas. Desta forma, serão descritas neste trabalho apenas estas litologias.

Os kinzigitos são mais freqüentemente encontrados como restitos e/ou encraves em meio aos migmatitos do Complexo Gnáissico-Migmatítico. Entretanto, diversos corpos de dimensões maiores, representáveis na escala 1:50.000, foram descritos tanto na folha Pedro de Toledo quanto na folha Miracatu.

Estas rochas são, em geral, de granulação grosseira a fina, tendo estrutura gnáissica e cor cinza esbranquiçada à escura. Petrograficamente, são sillimanita-biotita-granada gnaisses com percentagens variáveis destes três minerais máficos. Quartzo, microclínio e cordierita podem aparecer em proporções semelhantes às dos minerais mais freqüentes. Os acessórios mais comuns são plagioclásio (em geral, oligoclásio), opacos,

turmalina e clorita, podendo-se encontrar traços de apatita, zircão, sericita-muscovita e hidróxidos e/ou óxidos de ferro. As texturas encontradas variam, podendo ser descritas texturas granoblásticas, granonematoblásticas, porfiroblásticas e poiquiloblásticas.

Na Ponta da Prainha os kinzigitos encontram-se bastante afetados por migmatização, com o estabelecimento de padrões de veios neossomáticos. Em sua maioria encontram-se em equilíbrio metamórfico em graus de metamorfismo mais baixos, com poucos resíduos paleossomáticos melhor preservados em pequenos núcleos. Na área Itariri/Vale do Azeite foram descritos kinzigitos migmatizados, fundidos parcialmente e cortados por veios de material neossomático leucogranitóide com remobilização de FK e granada.

Os gnaisses kinzigíticos ocorrem sob a forma de um pequeno corpo aparentemente balizado por falhas próximo a Itariri, na área Itariri/Vale do Azeite. São rochas de estrutura bandada com predomínio de bandas centi a decimétricas. A granulação é média a fina, observando-se texturas granoblástica, lepidoblástica, granolepidoblástica, ou mesmo porfiroblástica. As bandas félsicas são constituídas principalmente por quartzo, plagioclásio (andesina, oligoclásio) e/ou microclinio, com pequena quantidade de máficos, em geral, biotita e algum anfibólio. Já as porções máficas mostram um aumento considerável nas percentagens de biotita e/ou anfibólio (hornblenda), granada e sillimanita. Como acessórios principais dos paragnaisses ocorrem muscovita, sericita, opacos, apatita, epidoto, zircão e titanita.

Segundo DANTAS et alii (1987a,b), os contatos dos gnaisses kinzigíticos com os migmatitos do Complexo Gnáissico-Migmatítico se dão de forma transicional, pelo aumento da migmatização. Com os kinzigitos, o contato é gradual, com aumento na percentagem de granada.

As relações de contato com os migmatitos do Complexo Gnáissico-Migmatítico são transicionais, de tal forma que restos de gnaisse kinzigítico jazem em meio a massas de neossoma granitóide. Na ponta da Prainha, no extremo leste da área, os kizingitos associados a enderbitos e lentes esparsas de rochas anfibolíticas são cortados por diques de composição enderbítica. Estes diques, boudinados e dobrados, apresentam dimensões decimétricas e são compostos por plagioclásio, quartzo, biotita, hiperstênio e, nas zonas de borda, ainda ocorre a granada.

Os anfibolitos, anfibólio xistos e metabasitos ocorrem distribuídos por toda a área. São rochas de estrutura orientada a xistosa, às vezes bandada e, raramente, maciça. A

granulação é média a fina, ocorrendo texturas granoblástica a nematoblástica, podendo eventualmente apresentar textura lepidoblástica.

Ocorrem na forma e de espessura de algumas centenas de metros encontradas intercaladas nos gnaisses kinzigíticos ou nos migmatitos do Complexo Gnaissico-Migmatítico. Na área Itariri-Vale do Azeite, nas proximidades de Itariri, as rochas calciossilicáticas podem estar associadas a gnaisses kinzigíticos em meio aos granulitos, podendo apresentar-se parcialmente migmatizados na forma de encraves ou lentes.

2.2.2- COMPLEXO GNAISSICO-MIGMATÍTICO

A rigor, praticamente todas as unidades do Complexo Costeiro encontram-se migmatizadas em graus variáveis, dependendo sobretudo de sua composição e das condições a que foram submetidas. Pode-se dizer, contudo, que a migmatização extensiva foi rara em ambas áreas focalizadas, ocorrendo em porções localizadas geralmente próximas à Falha de Itariri, na parte norte da área Itariri/Vale do Azeite. Na área Prainha/Guaráú o fenômeno ocorreu mais intensamente. Os migmatitos ocorrentes nas duas áreas podem ser correlacionados com os migmatitos descritos por GIMENEZ Fo et al.(1987) para a folha Miracatu

São rochas onde predominam as estruturas estromática e, em menor grau, dobrada. De maneira mais restrita, ocorrem estruturas flebítica, surreítica e ptigmática. Proporcionalmente, o paleossoma(ou, mais corretamente, mesossoma) prevalece sobre o neossoma.

Os neossomas são quase sempre graníticos (3b), de granulação média a grosseira, cor cinza claro, constituídos, principalmente, por microclínio, quartzo, plagioclásio, hornblenda e biotita. Na pedreira de Ana Dias a granada é bastante frequente no neossoma, associada a plagioclásio e biotita. Este mineral também é bastante comum em alguns neossomas obtidos a partir de kinzingitos, sendo associada ao FK. Os mobilizados neossomáticos dentro da Suite Itatins podem conter hiperstênio, sob forma de cristais euédricos sem orientações discerníveis, presente em veios de composição tonalítica-granodiorítica. Estes mobilizados serão tratados com mais detalhe no item 2.4.

Entre os mesossoma predominam os biotita gnaisses e os biotita-hornblenda gnaisses, homogêneos a bandados. Ocorrem com frequência mesossomas mais xistosos, ou mesossomas de natureza anfibolítica, calciossilicática ou kinzigítica. Resistatos de mármore, quartzito e metabasitos ocorrem em alguns lugares, como na Pedreira de Ana

Dias. Os mesossomas têm, em geral, composição variando de granito (3b) a tonalito, predominando a granodiorítica. Na Pedreira de Ana Dias foram observados contatos transicionais entre neossoma e paleossoma, observando-se zonas de natureza mesocrática, caracterizando, porções de mesossoma. Este mesossoma é constituído por hiperstênio, biotita, cumingtonita e plagioclásio. A quantidade de plagioclásio é altamente variável, podendo desaparecer completamente em algumas lâminas observadas, parecendo indicar que estes mesossomas são restitos formados através da fusão parcial e extração de material félsico a partir de rochas básicas/intermediárias.

2.2.3- SUÍTE GRANITÓIDE DE FÁCIES MIGMATÍTICA:

O produto final destes fenômenos de metamorfismo e/ou migmatização generalizada são os corpos granitóides que ocorrem em toda a região, agrupados por DANTAS et alii (1987) na Suite Granitóide de Fácies Migmatítica. Sua maior área de ocorrência, contudo, se dá na porção mais ocidental da área, correspondendo à Folha Miracatu. Esta distribuição parece refletir a presença de diferentes níveis crustais na região. Nas áreas focalizadas, ocorrem principalmente os granitóides porfiróides mesocráticos de DANTAS et alii (1987).

São na sua maioria rochas de composição granítica (3b), localmente granodiorítica, com textura porfiróide, gradando para texturas miloníticas nas proximidades das principais zonas de falhas. Observam-se megacristais de microclínio creme a esbranquiçado com até 5cm (em sua maioria 1cm), em matriz inequigranular orientada, de granulação média a grosseira e cor cinza média a clara. Os minerais essenciais são quartzo, microclínio, plagioclásio (andesina-oligoclásio) e biotita como máfico principal. Como acessórios ocorrem epidoto, apatita, titanita, carbonato, zircão opacos, allanita e clorita. Cumpre assinalar a ocorrência generalizada de enclaves variados de anfibolito, gnaisses, calciossilicáticas e quartzitos.

Os contatos com os migmatitos do Complexo Gnáissico-Migmatítico são transicionais, o mesmo ocorrendo em relação aos gnaisses granitóides de natureza milonítica encontrados ao longo da SP-55 entre Itariri e Pedro de Toledo.

2.2.4 - ROCHAS MILONÍTICAS

As rochas miloníticas mais expressivas na região em estudo estão associadas à Zona de Cisalhamento de Itariri. Estas rochas ocupam uma faixa que varia de 400 a 700m de largura, sendo representadas por milonito-gnaisses de composição granitóide, não raro migmatizados, assim como protomilonitos e milonitos. Localmente, são descritos cataclasitos e brechas, provavelmente associados a fenômenos de natureza rúptil.

2.3 - CARACTERÍSTICAS REGIONAIS DO METAMORFISMO

A superposição de fenômenos metamórficos e anatéticos na área em estudo torna bastante complexa a definição do(s) metamorfismo(s) gerador(es) dos granulitos. Também é complicada a definição dos eventos responsáveis pela formação dos neossomas e mesossomas nas rochas do Complexo Costeiro, culminando com a formação dos diversos corpos e mobilizados granitóides presentes nas áreas focalizadas. O metamorfismo dos granulitos Azeite pode ser caracterizado pela associação $Pl+Mcc+Qz+Opx+Bio+/-Cpx+/-Hb$. Evidências petrográficas indicam que esta associação é caracterizada pela retrogressão de Opx, substituído por $Bio+Op+Qz+/-Hb$. Na região da Igrejinha (área Itariri/Vale do Azeite), esta substituição é bastante característica, a ponto do hiperstênio encontrar-se completamente substituído e pseudomorfizado. No mapa geológico (figura 3) tal isógrada está tentativamente localizada, separando granulitos tipo Azeite mais ou menos afetados pela substituição do OPx dos granulitos Azeite onde esta associação ainda se encontra estável.

UNIDADES	LITOLOGIAS	fácies granulito	fácies anfibolito
SEQUÊNCIA CACHOEIRA	kinzigitos	(1) $Sill+Bio+Gra+FK+Qz$	(7) $Gra+Bio+Qz+Mq$
	paragnaisses	-----	
SUITE ITATINS	gran. Azeite	(2) $Plag+FK+Qz+Opx+Bio+Cpx+Hb$	(8) $Opx \rightarrow bio+Op+Qz+Hb$
	gran. Guaraú	(3) $Opx+Bio+FK+Qz$	(9) $Opx \rightarrow Bio+Qz$
	Piribolitos	(4) $Hb+Opx+Plag+Cpx$	
MIGMATITOS ANA DIAS	Neossoma	(5) $Gra+Bio+FK+Qz+Plag$	(10) $Bio+Hb+Op+Bst$
	Mesossoma	(6) $Opx+Bio+Plag+Qz$	(11) $Bio+Qz+Cumm+Op$

TABELA 3 - Paragêneses metamórficas das rochas do Maciço Itatins

A progradação do metamorfismo é evidenciado em lâmina pelo crescimento de Opx em interstícios de plagioclásio, chegando a envolvê-los completamente. A retrogressão é caracterizada pela reação de rehidratação $\text{Opx} \rightarrow \text{bio} + \text{Qz}$, evidenciada pela presença de cristais de hiperstênio envolvidos por biotita e quartzo. A biotita verde é a principal responsável pela presença ou não de alteração do hiperstênio: sua presença, associada a mineralogia retrógrada provoca a substituição de hiperstênio, que entretanto subsiste ainda nas porções mais qz-feldspáticas. A biotita vermelha ocorre em porções menos afetadas pela retrogressão, alterando-se facilmente para biotita verde. Bastante comum em diversas rochas é a presença constante de simplectitas de biotita e quartzo associados a hiperstênio, provavelmente produtos de descompressão a partir das condições de pico metamórfico (HARLEY, 1989; MOGK, 1990).

Os granulitos Guaraú estão fortemente retro-metamorfizados como principal característica. Os granulitos Guaraú do tipo A não apresentam senão resquícios de hiperstênio, intensamente substituído por $\text{Bio} + \text{Hb} + \text{Op} + \text{Bst}$. A mirmequitização do FK, a substituição de biotita vermelha por biotita castanha são feições bastante comuns. A mineralogia progradante é representada por hiperstênio + plagioclásio antipertítico + biotita + FK + quartzo. Os granulitos do tipo B apresentam pequenas percentagens modais de hiperstênio, também intensamente substituído por biotita, quartzo, opacos e bastite. As porções mais máficas constituem pequenas bandas, conferindo uma incipiente foliação à rocha. As rochas básicas associadas como xenólitos/boudins apresentam caracteristicamente a associação $\text{Hb} + \text{Opx} + \text{Pl} + \text{Cpx}$. Sua alteração retrógrada leva a formação de biotita, quartzo, opacos e cummingtonita.

O metamorfismo de metapelitos ocorreu em grau alto para os kinzigitos e grau médio para os paragnaisses estudados. A paragênese $\text{Sill} + \text{Bio} + \text{Gra} + \text{FK} + \text{Qz}$ é típica de grau alto e foi registrada nos kinzigitos da folha Miracatu por DANTAS et al. (1987). Na Ponta da Prainha os kinzigitos encontram-se retrometamorfizados, com cristais de granada englobando relictos de sillimanita. A recristalização de quartzo e a presença de mirmequita invadindo o FK evidencia os fenômenos de retrogressão nestas rochas. Ainda na Ponta da Prainha a presença de granada em diques decimétricos de enderbitos evidencia o metassomatismo localizado.

2.4 - PROCESSOS DE ANATEXIA E MIGMATIZAÇÃO

Os fenômenos de anatexia na região são responsáveis por pelo menos duas fases de geração de neossomas. A primeira fase está representada por neossomas leucogranitóides em veios e mobilizados, estando presentes em praticamente toda a área e sendo responsáveis pelo bandamento gnáissico destas rochas, bastante visível e pervasivo.

Alguns destes mobilizados são formados por feldspato cinzento, não raro charnockitóide, como observado nos granulitos Azeite (ponto jf-8). Estes neossomas charnockíticos caracterizam-se pela presença de grandes cristais euédricos de hiperstênio envoltos em matriz de quartzo e plagioclásio (An_{30-38}), evidenciando a anatexia diretamente associada ao metamorfismo granulítico da área. O evento gerador de neossomas parece sincrônico com diversas fases de dobramento, pela evidência bastante comum de veios leucogranitóides definindo um bandamento e transpondo outros de idêntica composição, tal como descrito no ponto jp-40 (figura).

Na pedreira de Ana Dias também se verifica a presença de neossomas formados por anatexia em fácies granulito, caracterizado pela presença da associação $gra+bio+FK+qz+/-Pl$ (WATERS, 1988; VIELZEUF et al., 1990). Tal associação é típica da anatexia de pelitos durante fenômenos de metamorfismo em ausência de fluidos (CLEMENS, 1990; WATERS, op. cit.; BARBOSA, 1990; MOGK, 1990). O neossoma destas rochas é constituído por $hyp+bio+cumm+/-Pl+/-qz$. Neossomas com granada e FK também são descritos no Vale do Azeite (ponto jp-47). Vale a pena salientar que estes fenômenos de fusão são mais extensivos em kinzigitos e gnaisses kinzigíticos do que nas rochas granulíticas *strictu sensu*. Na Ponta da Prainha pode-se observar diques de enderbito dobrados e boudinados, comportando-se como resisters durante a fusão parcial dos metapelitos (pontos jp-3 e jf-7; Figura 4). As texturas envolvidas são pinch-and-swell, boudinada, ptigmática e estromática.

O metamorfismo e a anatexia no Complexo Costeiro parece ter se dado de forma conexa, com as condições de fácies granulito predominando amplamente sobre as de fácies anfibolito, a qual estaria restrita e subordinada às porções mais próximas à Falha de Itariri. Existem poucos indícios de que tal metamorfismo em fácies granulito seja progradante sobre rochas em fácies anfibolito, como evidenciado pelo crescimento de hiperstênio sobre plagioclásio. O metamorfismo granulítico está ligado à mobilização de veios leucograníticos com composição granítica *strictu sensu* e, mais localizadamente, charnockítica. Estes veios são responsáveis pelo bandamento destas rochas e encontram-se envolvidos em pelo menos duas fases distintas de dobramento.

Figura 4 - Fenômenos de fusão parcial em rochas do Complexo Costeiro. A) Diques de composição enderbítica dobrados e boudinados, Ponta da Prainha; B) Mobilizados neossomáticos transpondo mobilizados anteriores de mesma composição. Vale do Azeite, ponto jp-41)

A retrogressão generalizada é responsável pela substituição de Opx por Bio+Hb+Qz. Ocorre de forma mais intensa na porção norte da área Itariri/Vale do Azeite e é pervasiva na área Prainha/Guarau. A segunda fase de geração de neossomas compreende essencialmente neossomas pegmatóides e granitóides bastante grosseiros, de coloração cinza a cinza-esverdeada, e ocorre em condições bem menos plásticas que a primeira, evidenciado pela frequente injeção deste material em fraturas e planos de descontinuidade.

2.5 - CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS

Os primeiros trabalhos sistemáticos de litogeoquímica na área foram realizado por FIGUEIREDO et al.(1988) analisando amostras coletadas durante os trabalhos de campo para a confecção do mapa geológico referente à folha Miracatu (DANTAS et al.,1987).

FIGURA 5- Diagrama Rb/Sr para rochas granulíticas do Maciço Itatins. Simbologia: Círculos: granulitos Azeite; Xizes: granulitos Guaraú; Triângulos: Charnockitos Ubatuba (GASPARINI & MANTOVANI,1979); Cruzes: Granulitos Jequié (BARBOSA,1990); Pontos: Granulitos Itatins de FIGUEIREDO et al.(1988) .

O diagrama Rb/Sr da figura 5 foi construido com dados de análises de fluorescência de raios X para Rb e Sr, obtidos para seleção de amostras para datação efetuada no CPGeo-USP e com alguns dos dados de FIGUEIREDO et al.(1988). Como se pode ver, os granulitos Azeite caem num campo bastante largo de razões Rb/Sr. Pode-se observar, entretanto, a presença de populações distintas: a) os granulitos com menores razões Rb/Sr (Pontos 8A,8B,8H,11B,12A); b)granulitos com maiores razões Rb/Sr (pontos 8E,8F,8G,11A); e c) granulitos com razões intermediárias entre estes dois extremos. Os granulitos com menores razões Rb/Sr são mais básicos - o ponto 8B contém hornblenda +/- clinopiroxênio, além de feições progradantes do metamorfismo granulítico

e reações de rehidratação em estado sólido. Os granulitos com maiores razões Rb/Sr apresentam maiores sinais de retrogressão (destruição do hiperstênio, principalmente) e feições de fusão parcial, apresentando-se cortados por mobilizados quartzo-feldspáticos, algumas vezes charnockiíticos (ponto jf-8). Da mesma forma, existe uma grande concordância com os granulitos tipo Azeite encontrados na área Itariri/Vale do Azeite com os encontrados na área Prainha/Guará, evidenciando uma notável homogeneidade destas rochas. Os hornblenda-gnaisses, charnockitos e enderbitos de FIGUEIREDO et al. (1988) plotam bastante próximos ao campo dos granulitos Azeite, embora sejam mais enriquecidos em Sr que estes. Pode-se observar também dois grupos distintos com alto Rb/Sr (8D, 109A e B) e com baixo Rb/Sr (MR176 A,B,C).

Os granulitos tipo Guará são plotados no gráfico da fig 5 em dois agrupamentos distintos: os granulitos tipo Guará-A possuem razões mais elevadas. De composição charnockítica predominante, este subtipo representa uma das litologias mais evoluídas da área. Para comparação, estão plotados o campo de ocorrência dos charnockitos de Ubatuba, estudados por GASPARINI & MANTOVANI (1979). Os granulitos tipo Guará-B também são enriquecidos em Rb e empobrecidos em Sr se comparados aos granulitos Azeite, embora com razões Rb/Sr menores que as do subtipo A. Para comparação são plotados pontos de enderbitos e charnockitos Jequié-Mutuípe de BARBOSA (1990). A dissimilaridade entre os dois sub-tipos parece relacionada a presença do hiperstênio, o que tornaria o subtipo B mais rico em Sr, bem como a mirmequitização generalizada do tipo B, promovendo o aporte de K em relação ao Ca. Os granulitos Guará são bastante distintos composicional e petrograficamente dos granulitos Azeite, podendo tratar-se de duas sequências distintas, não geneticamente relacionadas. São granulitos ácidos e não-empobrecidos em LIL, com características de rochas mais evoluídas, enquanto que os granulitos Azeite são rochas mais básicas e relativamente mais empobrecidas em Rb. Estudos mais aprofundados sobre as características geoquímicas das duas litologias podem esclarecer melhor as relações de ambas entre si e entre as outras litologias do Complexo Costeiro.

O ponto de enclave básico amostrado nos granulitos Guará (5B) é mais rico em Sr e mais pobres em Rb que os dados de metabasaltos do Domínio Jequié-Mutuípe e que o enclave básico (MR327F). Tal feição parece indicar ou um *trend* magmático similar ao proposto para os metabasaltos por BARBOSA (1990), ou, alternativamente, rochas básica originalmente pobres em Rb ou que perderam seu Rb durante o metamorfismo granulítico.

FIGURA 6 - Diagrama Rb/Sr para gnaisses paraderivados, migmatitos e granitos do Maciço Itatins. Simbologia : círculo, gnaisses paraderivados; quadrado, migmatitos; cruzes, granitos. Sombreado: área de ocorrência dos granulitos Itatins.

Os pontos de paragnaisses e kinzigitos constroem duas modas principais para a ocorrência de rochas metapelíticas (figura 4). Os paragnaisses são relativamente mais pobres em Sr e não apresentam muita dispersão. Os kinzigitos apresentam variações grandes, desde pontos com baixas razões Rb/Sr (7K e7U) até rochas mais desenvolvidas, podendo talvez representar diferenças quanto ao metamorfismo destas litologias. Os neossomas de migmatitos da Pedreira de Ana Dias formam um alinhamento que atravessa o campo de ocorrência dos kinzigitos e dos granitóides da área. Este fato pode indicar uma ligação entre estas litologias, uma vez que tais neossomas tem composição compatível com granitóides do tipo S. Os mesossomas amostrados são bastante pobres em Rb e similares aos pontos de rochas básicas discutidas anteriormente. Dadas as características das rochas a que pertencem, constituídas por assembléias minerais anidras, faz sugerir um provável caráter restítico para estas rochas.

Os subtipos granitóides discutidos por DANTAS et al. (1987) e analisados por FIGUEIREDO et al. (1988) plotam um vasto campo que abrange não só os neossomas

migmatíticos como também uma parte da área de ocorrência dos granulitos Azeite. Alguns destes pontos de granitóides tem razões Rb/Sr similares aos granulitos Azeite mais evoluídos discutidos anteriormente. Desta forma, estes campos possivelmente podem indicar uma ligação entre a Suíte Granitóide de Fácies migmatítica e a Suíte Itatins. É bastante significativo que os pontos dos granitóides menos evoluídos geoquimicamente, os granitóides porfiróides mesocráticos de DANTAS et al. (1987), plotam dentro do campo de ocorrência dos granulitos Azeite. Este fato pode indicar uma relação genética entre o metamorfismo granulítico e a anatexia, conforme proposto, entre outros, por VIELZEUF et al. (1990). A contribuição dos granulitos Guaraú para a granitogênese da região parece ser bem mais restrita, podendo estar relacionada também com os kinzigitos.

2.6 - FEIÇÕES ESTRUTURAIS

O *trend* geral das áreas focalizadas compreende predominantemente direções entre N60-30°W, com variações modais para E-W. As direções E-W predominam sobretudo próximo à falha de Itariri, sugerindo uma forte influência desta zona de cisalhamento nas direções de foliação. Esta foliação principal compreende um bandamento gnaissico-migmatítico predominante, com a generalizada ocorrência de veios neossomáticos. Localmente, tal bandamento pode estar presente na forma de uma foliação milonítica. Foram também descritos uma clivagem de fratura com direção N40-50°E presente na região da Igrejinha (área Itariri/Vale do Azeite), bastante concordante com o padrão de fraturamento observado para o bloco Peruibe, de caráter rúptil preponderante e bastante visível em imagens de radar.

Foram identificadas na folha Miracatu quatro fases de geração de dobras por DANTAS et al. (1987), relacionadas às distintas fases de deformação na área. Estas fases são perfeitamente correlacionáveis com as estruturas observadas na área do presente estudo. O evento de dobramento mais antigo é representado por dobras isoclinais, intrafoliais, centi a decimétricas, observáveis em bandamento gnáissico ou composicional de alguns núcleos paleossomáticos, bem como em xenólitos de gnaisses em meio aos enderbitos. É representada por um bandamento gnáissico fino, caracterizado pela orientação de minerais nemetoblásticos.

A segunda fase foi a responsável pelo bandamento gnáissico-migmatítico fortemente transposto. É constituída por dobras de tamanho centimétrico a métrico, de estilo cerrado a isoclinal com ápices espessados e flancos adelgaçados. É marcado pela

presença de abundantes veios neossomáticos formados e dobrados nesta mesma fase por novas gerações de mobilizados (Figura 4b). Frequentemente, dobras intrafoliais centi a decimétricas são encontradas em meio ao bandamento gnáissico-migmatítico.

A terceira fase é dada, principalmente, por dobras abertas de natureza isópaca afetando o bandamento metamórfico anterior. Apresentam dimensões de dezenas a centenas de metros. As atitudes dos planos axiais, geralmente, mostram orientação NW a WNW com mergulhos sub-verticais. A última fase é observável dobrando veios neossomáticos pegmatóides tardios (2ª geração) e pela inflexão geral das estruturas para NE. São dobras cujo plano axial tem direção NE e mergulhos sub-verticais.

A Zona de Cisalhamento de Itariri, no limite norte/nordeste do Maciço de Itatins, é a principal estrutura disruptiva da área. Tem caráter sinistral, segundo SILVA et alii (1981), e direção aproximadamente E-W a NW-SE com mergulhos de 60 a 70° NE. Sua espessura varia de 400 a 700m podendo atingir a largura máxima de 2 Km. Numerosos falhamentos com direção N40-50°E, dos quais o mais importante parece ser a falha dos rios do Peixe e Espriado (GIMENEZ Fº et alii 1987), são de caráter predominantemente rúptil. Aparentemente estes falhamentos estruturam a Serra dos Itatins conjugados com falhas e fraturas paralelas à falha de Itariri, formando um padrão reticulado bastante perceptível em fotos aéreas e imagens de radar.

3.0 - CONSIDERAÇÕES SOBRE A GEOCRONOLOGIA E GEOQUÍMICA ISOTÓPICA DE ROCHAS GRANULÍTICAS

3.1 - COMPORTAMENTO DOS ISÓTOPOS DE Sr E Nd NO SISTEMA MANTO/CROSTA

O comportamento dos elementos radioativos (U,Rb,Th,K), notadamente os dois primeiros, tem sido um constante desafio para a geocronologia de terrenos granulíticos. O empobrecimento destes elementos durante a granulitização dá lugar a terrenos com razões U/Pb e Rb/Sr muito baixas, muito embora este fenômeno não seja geral em terrenos granulíticos.

A caracterização dos componentes da Crosta Continental Inferior e do Manto Superior em termos das razões Rb/Sr, U/Pb,Th/Pb,Sm/Nd e razões isotópicas associadas (respectivamente Sr^{87}/Sr^{86} , Pb^{206}/Pb^{204} , Pb^{207}/Pb^{204} , Pb^{208}/Pb^{204} , Nd^{143}/Nd^{143}) é essencial para o estudo da evolução Crosta/Manto, bem como das interações magmas/Crosta, uma vez que as razões isotópicas acima mencionadas determinam as taxas de evolução do Sr, Pb e Nd.

O sistema Rb/Sr comporta caracteristicamente elementos geoquimicamente muito distintos e bastante aptos a sofrerem fracionamento em processos ígneos e metamórficos. O Rb concentra-se em porções meso e supracrustais de composição granítica, em concentrações acima de 100 ppm. Na crosta inferior e no Manto é empobrecido, chegando a teores médios da ordem de 10 ppm. Ocorre em minerais como biotita e FK, particularmente comuns em suítes ígneas ácidas e gnaisses em fácies anfibolito.

Existem numerosos problemas relacionados com o exato mecanismo da migração de Rb. Durante o metamorfismo, o transporte por fluidos está envolvido ao menos em distâncias de dezenas de metros (COLLERSON, 1982; BRIDGEWATER et al. 1989). Durante processos de fusão parcial, a mobilidade do Rb é controlada pela biotita até cerca de 57% de fusão. Para valores maiores de fusão o controle passa a ser feito pelo plagioclásio (RUDNICK, 1992; RUDNICK & PRESER, 1990). Entretanto, estes autores também demonstram que a retenção de líquido no resíduo, fenômeno bastante comum, pode ser responsável pela retenção de Rb, rebaixando significativamente as razões K/Rb.

O Sr, por outro lado, apresenta uma variação muito menos marcada que o Rb na crosta. É geoquimicamente bastante similar ao Ca, o qual acompanha associado à minerais cálcicos, como hornblenda e plagioclásio, os quais estão presentes num largo número de

ambientes crustais. Entretanto, BRIDGEWATER et al. (1989) mostram razões isotópicas de Sr crescendo numa porção marginal com 10 cm de largura num dique básico metamorfozado cortando gnaisses ácidos no Craton Norte-Atlântico. Este resultado foi interpretado como resultado da perda de Sr radiogênico causada pela substituição de biotita por clorita durante metamorfismo de baixo grau. Pelo menos parte deste Sr móvel foi incorporado nas bordas de cristais de hornblenda. Migração de Sr em escalas de metros ou dezenas de metros também pode ser esperado entre litologias contendo Sr em mineralogias bastante contrastantes, tal como mármore (originalmente ricos em Sr) e pelitos (pobres em Sr). BRIDGEWATER et al. (1989) também cita o incremento em Sr de cerca de 400 ppm em média para 600 ppm, como resultado de movimento de fluidos em gnaisses adjacentes a zonas de cisalhamento durante a retrogressão de gnaisses arqueanos em fácies granulito.

FIGURA 7 - Geoquímica isotópica de reservatórios crustais e mantélicos típicos. Para discussão ver texto. Extraído de MOORBATH & TAYLOR, 1986.

A evolução dos isótopos de Sr é condicionada pelo fracionamento de Rb, que se torna bastante enriquecido na Crosta Superior, conforme a figura 7. Como consequência deste fato, a Crosta Inferior e o Manto, com baixas razões Rb^{87}/Sr^{86} , apresentam uma evolução bastante retardada das razões Sr^{87}/Sr^{86} . As razões iniciais Sr^{87}/Sr^{86} (ISr) de material da crosta superior apresentam valores altos, da ordem de 0,708 ou maiores, enquanto que tanto os materiais do Manto Superior quanto da Crosta Inferior geralmente apresentam valores baixos, entre 0,700 e 0,704. Os valores intermediários entre estes dois extremos são de difícil interpretação - tanto podem representar composições isotópicas anômalas ou, mais provavelmente, indicar de processos de mistura entre material crustal e magmas mantélicos ascendentes.

Perdas de Rb, sem qualquer migração e/ou reequilíbrio de Sr, durante um evento secundário abaixam as razões Rb^{87}/Sr^{86} dos pontos individuais. Esta perda não altera as razões Sr^{87}/Sr^{86} de uma dada isócrona (BRIDGEWATER et al. 1989), tal como

exemplificado na figura 6. Se o fenômeno ocorre num tempo logo após o sistema Rocha Total começar a evoluir, o primeiro efeito será a dispersão pelo lado esquerdo da isócrona original. Se o tempo desta perda de Rb até o presente for grande comparada ao tempo da perda de Rb até o tempo de formação inicial de rochas, o efeito de idade terá tendência a apagar esta dispersão. Este fenômeno causará principalmente o aumento das razões iniciais da isócrona sem mudar substancialmente as idades obtidas. Por outro lado, o ganho de Rb durante um evento secundário aumenta a razão Rb^{87}/Sr^{86} e produz uma razão inicial espúria e mais baixa que a original.

FIGURA 8 - Dispersão de pontos ao longo de uma isócrona ideal, causados pela entrada ou saída de Rb no sistema.

O sistema Sm/Nd apresenta a particularidade de pertencerem ambos os elementos ao grupo das Terras Raras, exibindo portanto um alto nível de coerência durante muitos processos geoquímicos, tais como diferenciação ígnea, metamorfismo e sedimentação. Concentram-se em minerais como a allanita, esfeno, apatita, zircão, granada, hornblenda e piroxênios. Esfeno, allanita e apatita apresentam preferência por Terras Raras leves (LREE). Granada e zircão apresentam forte preferência por Terras raras pesadas (HREE). A figura 7 mostra a evolução da razão Nd^{143}/Nd^{143} para o conjunto Manto Superior/Crosta Continental. Como se depreende da figura, o maior fracionamento do

sistema Sm/Nd se dá durante a diferenciação Manto/Crosta, ocasionando para a Crosta continental como um todo uma razão Nd^{143}/Nd^{144} bem menos radiogênica que a da maioria das fontes magmáticas mantélicas. A evolução do Nd no Manto é razoavelmente bem estudada, com o reconhecimento de que a maior parte das rochas crustais originaram-se não à partir de um modelo condritico (CHUR) e sim provavelmente a partir de um Manto empobrecido em terras raras leves (DM) (JACOBSEN & WASSERBURG, 1984), conforme a figura 10.

FIGURA 9 - Evolução isotópica do Nd num reservatório condritico uniforme (CHUR). O magma formado por fusão parcial tem baixas razões Sm/Nd em relação ao CHUR, enquanto que os sólidos residuais possuem uma alta razão Sm/Nd. Como resultado, a atual razão Nd^{143}/Nd^{144} de rochas formadas a partir de líquidos silicáticos é menor que a do CHUR, enquanto que a razão Nd^{143}/Nd^{144} dos sólidos residuais é mais alta. Se o magma se forma num segundo episódio de fusão deste manto "empobrecido", as rochas ígneas resultantes tem razões iniciais Nd^{143}/Nd^{144} maiores que o CHUR. Segundo FAURE, 1986.

FIGURA 10 - Cálculo de uma idade modelo ou de residência crustal para rochas derivadas de um magma separado a partir de um reservatório condritico (CHUR) ou de manto empobrecido (DM) num evento anterior. A data é calculada à partir das razões Nd/Nd e Sm/Nd da rocha e é baseada na pressuposição de que o sistema tenha permanecido constante desde que o material foi separado de suas fontes magmáticas no manto. Baseado em FAURE, 1986

Além da datação isocrônica convencional em rocha total ou em minerais, o método Sm/Nd apresenta ainda dois poderosos instrumentos de análise da evolução da Crosta. Em primeiro lugar, as idades-modelo Sm/Nd em Rocha Total, que são definidas como estimativas do tempo ao qual as rochas atuais ou seus protólitos foram derivados do Manto Superior (Fig 10). O imenso poder interpretativo desta determinação, contudo, depende primordialmente do paradigma de evolução mantélica - CHUR ou DM - admitido, podendo fornecer idades divergentes em até 200 Ma (ARNDT & GOLDSTEIN, 1987). por outro lado, o metamorfismo granulítico pode provocar distorções nas idades-modelo, conforme COLLERSON et al (1989). O método $Sm-Nd$ ainda dispõe dos valores de ϵ_{Nd} , condritica (CHUR) ou do Manto empobrecido (DM) (FIG 10). O valor ϵ_{Nd} para uma dada rocha num tempo t significa uma evolução semelhante à do Manto, enquanto que valores positivos indicam uma evolução radiogênica da razão Nd^{143}/Nd^{143} , típicas de Manto empobrecido em Nd em relação ao Sm . Valores negativos, não radiogênicos, indicam uma evolução em ambiente crustal. Assim, pode-se saber, com as idades modelo e o parâmetro ϵ_{Nd} , a idade de geração do protólito de uma dada rocha, bem como determinar se uma idade obtida representa efetivamente acreção ou retrabalhamento crustal.

O sistema Sm/Nd , assim como os demais elementos terras raras, são considerados como imóveis em relação ao metamorfismo - evidências isotópicas mostram idades Sm/Nd em Rocha Total concordantes com idades U/Pb em zircões em terrenos onde os

sistemas Rb/Sr e Pb/Pb mostram-se perturbados. No entanto, o movimento de fluidos durante a formação de novas assembléias minerais pode afetar o sistema Sm/Nd, com mudanças nas razões Sm/Nd e Nd/Nd. A dispersão verificada por estas mudanças está sujeita, como no sistema Rb/Sr, aos efeitos de idade, muito embora não possa ser assumido aqui que um dos elementos possa ser mais móvel que outro.

As mudanças verificadas no conteúdo de Terras Raras e de seu espectro normalizado pode ocorrer de diversas formas. Uma delas, através dos limites de fácies metamórfica, em resposta a formação de novas assembléias mineralógicas, particularmente se a mudança é associada à movimentos de fluidos. O surgimento de piroxênios a partir da hornblenda pode provocar um enriquecimento em Terras Raras leves durante o metamorfismo progradante. Tal enriquecimento elementos terras raras leves também pode ocorrer durante o metamorfismo retrógrado, quando ocorre a quebra de assembléias minerais à base de granada + hornblenda para formação de biotita. A mineralogia acessória em pequenas quantidades também pode ter um papel importante nestes processos. A introdução de veios migmatíticos pode alterar a química das Terras Raras, conforme BRIDGEWATER et al. (1989). A presença de recristalização de clorita, biotita, epidoto e carbonatos durante fenômenos de cisalhamento tardios podem apresentar conteúdos de Terras Raras leves até 10 vezes maiores que rochas de mesma composição não afetadas pelo cisalhamento. Estes mesmos autores discutem exemplos de litologias paraderivadas do Cráton Norte-Atlântico com baixos conteúdos totais em Terras Raras e que sofreram a ação de fluidos contendo estes elementos provenientes de rochas circunvizinhas.

Também a migmatização pode provocar distúrbios no sistema Sm/Nd, como percebido no forte intercâmbio geoquímico verificado entre veios graníticos e os *gray gneisses* da Groenlândia estudados por COLLERSON (1982). Este autor mostra uma dispersão similar para os valores de ϵ_{Nd} ao tempo da intrusão. O crescimento de allanita nestes gnaisses, próximos às injeções granitóides, sugere trocas de Terras Raras entre os dois pacotes litológicos e é interpretado como introdução de Nd radiogênico controlado pela troca de fluidos entre os granitóides e os gnaisses.

3.2 - GEOCRONOLOGIA DE TERRENOS GRANULÍTICOS

A geocronologia de granulitos é bastante complicada, dadas as suas características de processo em sistema aberto, com a presença ou não de fluidos e fases fundidas, o transporte de elementos LIL. O principal problema, sem dúvida, é o transporte de elementos radiativos e radiogênicos, alterando por vezes significativamente as razões isotópicas das litologias envolvidas. Longe de constituir um empecilho para a abordagem geocronológica de tais terrenos, a evidência de que tais elementos possam ser redistribuídos pelo metamorfismo regional e a integração destes dados isotópicos com dados de campo e petrológicos podem representar um sensível ganho de informações sobre os processos envolvidos na formação de terrenos de alto grau.

Do ponto de vista geocronológico, devido ao comportamento de Rb, U e Th no metamorfismo granulítico, a datação isocrônica Rb/Sr e U-Th-Pb dos protólitos destas rochas torna-se praticamente inviável. TAYLOR (1990) mostra que as largas variações nas razões Sr^{86}/Sr^{87} existentes nos granulitos de Langoy-Vesteralen (Noruega) não são amparadas pelas presentes - e muito baixas - razões Rb^{87}/Sr^{87} , deixando claro a ocorrência de severo empobrecimento de Rb, bem como a pouca efetividade do metamorfismo para efetuar alguma rehomogenização isotópica de Sr em larga escala. Para os isótopos de Pb, o mesmo autor também mostra que, apesar dos distúrbios verificados no sistema U-Th-Pb dos gnaisses Viken, os dados isotópicos de Pb definem um arranjo linear dos seus dados no diagrama Pb/Pb. Tal arranjo não define uma verdadeira isócrona, e sim uma isócrona fictícia, fornecendo resultados sem nenhuma significação em termos geológicos e que são geralmente mais antigos que a idade de geração dos protólitos - no caso dos gnaisses Viken, foi obtida idade de 3400 Ma para protólitos gerados em 2,7 Ga e metamorfisados em 1,8 Ga.. TAYLOR (1990) condiciona a detecção de resultados espúrios como este à comparação dos resultados Pb-Pb com outras metodologias, como idades-modelo Sm-Nd ou através da discrepância entre resultados radiométricos Pb-Pb e Rb/Sr, bem como a detecção de empobrecimento do Rb em rochas com conteúdo anômalo de Sr.

Contudo, estes resultados não são gerais em todos os terrenos granulíticos, existindo exemplos de regiões bem datadas e com isócronas Rb/Sr e Pb/Pb confiáveis. A condição requerida neste caso, que requer uma homogeneidade isotópica pré-metamórfica, só pode ser buscada na origem comagmática destes protólitos granulíticos, com um intervalo de tempo bastante curto entre a formação dos protólitos e o metamorfismo

(MOORBATH & TAYLOR, 1986). Com efeito, nestes casos, a homogeneidade isotópica inicial dos elementos radiogênicos não podem ser atribuídas à processos metamórficos, enquanto que suas atuais razões isotópicas Rb/Sr e U/Pb poderiam ser o produto de um evento de alto grau. Com vista no exposto, pode-se concluir que granulitos com boas e concordantes isócronas Rb/Sr, Pb/Pb e Sm-Nd, são casos de granulitos cujo metamorfismo seguiu muito estreitamente os processos de geração de crosta, como por exemplo os gnaisses *Amitsoq* da Groenlândia citados por MOORBATH et al, (1980).

Outro problema bastante comum da geocronologia de granulitos é a presença de rochas com razões Rb/Sr e U/Pb muito baixas e uniformes, que nos conduzem com frequência a idades com erros superiores à ± 100 Ma. Por isso, TAYLOR (1990) propõe dois litotipos supracrustais para datar com erros menores a idade do metamorfismo :a) datação Rb/Sr de metapelitos, onde, dada a retenção de Rb e a relativamente baixa concentração de Sr, as razões Rb^{87}/Sr^{86} são mais altas e apresentam maior variação; e b) datação Pb/Pb em mármore, que podem indicar a idade da recristalização metamórfica graças às grandes variações das razões U/Pb encontradas em muitos mármore. TAYLOR & KAALSBEK (1990) apresentam três datações em mármore dos cinturões eoproterozóicos da Groenlândia Oriental com erros analíticos de no máximo 20 Ma.

Além dos sistemas de datação em rocha total, numerosos progressos foram feitos em geocronologia de fases minerais, envolvendo os sistemas U/Pb, K/Ar, Ar/Ar, Rb/Sr, Sm/Nd. As idades obtidas através da combinação destes métodos e de dados petrográficos e mineralógicos podem aumentar significativamente o número de informações disponíveis sobre a cronologia dos eventos e a duração dos processos envolvidos no metamorfismo granulítico.

Para relacionar as idades obtidas pelos diferentes sistemas em minerais aos processos geológicos é essencial que se conheça a temperatura de bloqueio para um dado mineral (*Closure Temperature* - T_c), definida como "a temperatura do mineral experimentada ao tempo dado por sua idade" (DODSON, 1973, apud MEZGER 1990). A equação de DODSON requer que a fase mineral esfrie a partir de temperatura ligeiramente maior que a T_c . Se o mineral crescer abaixo da T_c e for posteriormente submetido a temperaturas ligeiramente maiores que a T_c , ele pode não ser completamente reequilibrado e grava uma idade que não corresponde a T_c , posto que é mais antiga. Quando o mineral cresce à temperaturas maiores que a T_c , será mais jovem. Uma vez correlacionado com dados geotermométricos, é possível determinar se as idades obtidas relacionam-se com o crescimento e/ou resfriamento do mineral, ou seja, na sua relação

com o metamorfismo progradante ou retrógrado. A tabela 6 apresenta alguns valores de T_c , baseados principalmente em MEZGER (1990).

MINERAL	TEMPERATURA (°C)
Hornblenda	500-450
Muscovita	350-400
Biotita	300
Flogopita	450

TABELA 4 - Temperatura de fechamento (T_c) do sistema K/Ar. Baseada em MEZGER (1990)

Os sistemas Ar/Ar e K/Ar tem na hornblenda seu mineral mais amplamente utilizado, uma vez que possui o maior T_c para ambos os sistemas - cerca de 500 °C. MEZGER (1990) nota que este valor pode ser bastante variável, dependendo da composição do mineral e das razões de resfriamento, sugerindo que um melhor controle da composição e do estado estrutural destes minerais pode aumentar a precisão do método.

Um problema bastante comum no sistema K/Ar é a retenção de Ar em hornblenda, requerendo uma cuidadosa análise do material analisado.

Os minerais do grupo das micas fornecem idades K/Ar e Ar/Ar bastante precisas, embora a biotita possa ser apta à incorporação de Ar. MEZGER (1990) mostra que a T_c para Ar^{40} em biotita é função da composição e mostra uma significativa dependência da pressão. para a maioria das biotitas está ao redor de 300°C, porém aumenta com a razão Fe/Mg e pode chegar a 450°C na flogopita.

Dadas as suas características, o sistema Sm/Nd somente pode ser usado na construção de isócronas, requerendo ao menos dois componentes analisados. Se ambos os componentes forem minerais, seria necessário que possuissem idêntica T_c . Para evitar ambiguidades, sugere-se preferencialmente isócronas mineral-rocha total. Dentre todos, o mineral mais promissor para este método seria a granada, uma vez que este é um mineral formador de rocha com forte preferência por Terras raras pesadas, portanto enriquecido em Sm/Nd. No entanto existem ainda muitas dúvidas a respeito da interpretação de isócronas Granada/Rocha total. MEZGER et al (1991), estudando diversas isócronas minerais no escudo Canadense chegam a conclusão de que, ao menos para granadas metamórficas com granulometria entre 0.1-0.5 mm, a T_c é de 600+/-30°C. Também

concluem que, ao menos para as litologias analisadas, as idades obtidas são antes idades de resfriamento do que idades de formação de paragêneses minerais.

3.3 - EVOLUÇÃO ISOTÓPICA DO Sr, Pb E Nd EM TERRENOS GRANULÍTICOS

Para efeito comparativo, serão discutidos neste item alguns aspectos dos isótopos de Pb juntamente com o Sr e Nd, para melhor ilustrar as diferentes formas de evolução isotópica. Existem duas formas gerais de evolução isotópica de terrenos granulíticos (MOORBATH, 1984; MOORBATH & TAYLOR, 1986; TAYLOR, 1990): a primeira ocorre quando o metamorfismo granulítico efetua o empobrecimento de Rb, U e Th durante ou pouco após o evento formador de crosta no qual foram gerados seus protólitos. Este parece ser o caso dos granulitos Lewisianos, gerados e metamorfisados em cerca de 2700 Ma, que possuem razões Rb^{87}/Sr^{86} e mesmo razões atuais Sr^{87}/Sr^{86} próximas ao MORB, apesar de sua longa vivência crustal. Da mesma forma, os dados U-Pb discutidos por MOORBATH & TAYLOR (1986) também revelam razões Pb^{207}/Pb^{204} e Pb^{206}/Pb^{204} menos radiogênicas, para uma idade de 2680 $\pm$ 60 Ma ($\mu_1=7,7$), confirmando sua origem mantélica. A evolução destes terrenos podem ser visualizadas na figura 10. Tais terrenos apresentam hoje uma composição isotópica bastante característica, sendo usados como traçadores na investigação da interação magmas/crosta, como os estudos sobre as vulcânicas terciárias da ilha de Skye, na Escócia.

FIGURA 11 - Evolução isotópica do Pb e do Sr para rochas granulitizadas muito tempo depois de sua incorporação à crosta. (a) Evolução isotópica do Pb para rochas do Arqueano Superior (2,7 Ga) submetido à metamorfismo em fácies granulito e empobrecimento em U à 1,8 Ga. este é o caso dos gnaisses Viken, Langoy, Noruega Setentrional. As três amostras ilustradas abarcam toda a variação isotópica de Pb medidas nesta rocha atualmente. Note-se a ausência de homogenização isotópica regional do Pb durante o metamorfismo granulito; (b) Evolução isotópica do Sr de rochas do Arqueano Superior (2,7 Ga) submetidas a metamorfismo granulítico e empobrecimento em Rb à 1,8 Ga: Caso dos granulitos Reggedalsvatn, Langoy, Noruega Setentrional. Note que não houve homogenização isotópica regional durante o metamorfismo em fácies granulito. Figura extraída de MOORBATH & TAYLOR (1986).

Quando o metamorfismo granulítico é superposto à protólitos com longa história crustal, conforme discutido anteriormente, provoca o empobrecimento de U, Th e Rb em sistema aberto, gerando composições isotópicas de Sr e Pb incompatíveis com as razões elementopai/elemento-filho observadas para estas rochas. A evolução isotópica deste tipo de terreno é mostrada na figura 11a (TAYLOR, 1990), para os gnaisses Viken discutidos anteriormente. A figura 11b, que mostra a evolução isotópica dos granulitos de Riggedalsvatn-Langoy, apresenta uma evolução Rb^{87}/Sr^{86} extremamente rápida em fácies anfibolito, seguido de um metamorfismo granulítico em 1,8 Ga, sem homogenização isotópica do Sr. No diagrama Rb/Sr x Sr/Sr os dados se espalham abaixo e à esquerda de alguma isócrona de referência plausível (Ver figura 8).

FIGURA 12 - Evolução do Pb e do Sr para rochas granulitizadas pouco tempo após sua incorporação à crosta. (a) Evolução isotópica do Pb para granulitos do Arqueano Superior (2.7 Ga), os quais sofreram metamorfismo em fácies granulito e empobrecimento em U imediatamente após a formação de Crosta Continental: o caso dos granulitos Scourian do Complexo Lewisiano, Escócia Setentrional. A maioria das amostras analisadas desenvolveu-se até o presente com razões U/Pb muito baixas até mesmo em relação ao Manto (linha pontilhada). A área hachurada representa a evolução de composições isotópicas não-radiogênicas de quinze ou vinte amostras analisadas. (b) Evolução isotópica do Sr (área hachurada) e gnaisses em fácies anfibolito (linhas individuais), todos os granulitos sofreram severa depleção em Rb imediatamente após a formação da Crosta. A evolução do Manto é mostrada pela linha pontilhada. Figura extraída de MOORBATH & TAYLOR, 1986

MOORBATH & TAYLOR (1986) consideram alguns exemplos de crosta empobrecida que sofre episódios tardios de enriquecimento em litófilos, em episódios posteriores ao metamorfismo granulítico: a figura 13a mostra o efeito da adição variável de Rb num tempo t_2 num terreno empobrecido tipo Scourian, ou seja, possuindo evolução não-radiogênica e composição isotópica do Sr relativamente homogênea. Assim, temos não só um caso de "apagamento" da história crustal prévia, bem como a ausência de contraste entre a evolução isotópica da Crosta empobrecida e do Manto. Por outro lado, uma crosta granulítica empobrecida em U apresenta uma evolução isotópica do Pb muito mais retardada que a do Manto. As figuras 13a e 13b mostram duas possíveis situações envolvendo adição de U em 1,8 Ga em granulitos metamorfisados em 2,7 Ga. A figura 11b ilustra a homogenização isotópica através de anatexis crustal, apresentando uma composição isotópica claramente menos radiogênica que o manto.

FIGURA 13 - Efeito da adição de Rb num episódio t_2 em suites com baixas razões Rb/Sr(a) Efeito da adição variável de Rb num tempo t_2 numa suite granulítica com baixas razões Rb/Sr formados num tempo t_1 , os quais preservaram uma composição isotópica não-radiogênica relativamente homogênea entre t_1 e t_2 . Os números representam as novas razões Rb/Sr. (b)Efeito da adição de U num tempo t_2 para uma suite de granulitos com baixa razão U/Pb, formados num tempo t_1 , com homogenização isotópica do Pb em t_2 durante anatexis crustal. Figura extraída de MOORBATH & TAYLOR, 1986.

4.0 - RESULTADOS GEOCRONOLÓGICOS - DISCUSSÕES E INTERPRETAÇÕES

4.1 - RESULTADOS RUBÍDIO/ESTRÔNCIO

Foram realizadas 44 determinações Rb/Sr, cujos dados analíticos constam das Tabelas 5 a 9. Deste total, 20 pontos correspondem a rochas granulíticas, 10 a paragneisses e kinzigitos e 14 a migmatitos. Estes dados foram interpretados em diagramas isocrônicos. Quando possível, os cálculos das idades foram feitos, para isócronas, pelo método Williamson. Quando para errócronas, os cálculos de idade foram executados pelo método Dcrons, ambos executados pelo programa PiSOG, desenvolvido no CPGeo. A diferenciação entre isócronas e errócronas é feita de acordo com o valor do MSWD obtido, as errócronas possuindo valores maiores que 2,5 (KAWASHITA et al, 1990). No entanto, na medida em que este parâmetro depende da incerteza das medidas das razões isotópicas, verifica-se portanto que ao se trabalhar com razões isotópicas medidas com erros menores, é maior a possibilidade de vir a construir errócronas (KULLERUD, 1991; TASSINARI et al, 1993). A discussão sobre os diferentes métodos de cálculos de idade e sua utilização pode ser encontrada em KAWASHITA et al (1991). Os valores de idades apresentados estão calculados para 1σ .

4.1.2 - Suite Itatins

Os granulitos Azeite mostram uma grande dispersão de pontos, que não permitiram a construção de isócronas tanto nos pontos coletados no alto rio do Azeite (pontos JF-08/JF-11), quanto nos pontos coletados na Ponta da Prainha (pontos JF-7/JP-2). O comportamento destes pontos, com baixas razões Rb^{87}/Sr^{86} e altas razões Sr^{87}/Sr^{86} , é altamente indicativo da perda de Rb sofrida por estas rochas em certo estágio de seu desenvolvimento, levando à dispersão hoje verificada. Parece sugestivo, entretanto, que isócronas de referência construídas com pontos destes granulitos e com pontos de granulitos publicados por KAUL E TEIXEIRA (1982) apresentem um *trend* brasileiro com idade de aproximadamente 600 Ma (Figura 14).

Figura 14 - Diagrama isocrônico de referência com granulitos da Suíte Itatins e com granulitos publicados por KAUL E TEIXEIRA (1982).

FIGURA 15 - Diagrama isocrônico Rb/Sr para os granulitos tipo Azeite.

Da movimentação destes pontos, ganhando e perdendo Rb, parece ter sido completamente destruída a isócrona Rb/Sr dos granulitos Azeite. Os pontos de granulitos

tipo Azeite, na ponta da Prainha tem um comportamento similar ao previamente discutido, evidenciando a movimentação de Rb e a permanência do Sr durante a granulitização.

Desta forma, pode-se concluir, a partir dos dados geocronológicos, que a granulitização no Maciço Itatins ocorreu algum tempo após a formação do seu protólito. A dispersão verificada pelos pontos de granulitos Azeite é bastante similar com exemplos discutidos no capítulo anterior (Figura 11). Portanto, a migração e o empobrecimento em Rb verificado em alguns destes pontos (8B, 8G, 8I, 11B) e o enriquecimento verificado em outros (8J, 8F) é compatível com o comportamento destas rochas analisados anteriormente no item geoquímica (item 2.5). Assim, os pontos mais evoluídos (8J, 8F) são os pontos que possuem estreita ligação com fenômenos de fusão parcial, como por exemplo a presença de mobilizados charnockitóides. Portanto, em vista destes fatos, se conclui que a homogenização isotópica para o sistema Rb/Sr destas rochas não foi completa, gerando diagramas isocrônicos completamente caóticos, típico de rochas granulitizadas após longa vivência crustal.

TABELA 5 -Dados Rb/Sr para os granulitos Itatins

No LAB	Amostra	Rocha	Rb(ppm)	Sr(ppm)	Sr87/sr86	Rb87/Sr86	REF
5020	892 JC 266	Opdalito			0.7557	1.39	1
5021	892JC273A	Granulito			0.7180	0.62	1
5022	892 JC 274	Gnaiss			0.7496	1.25	1
5023	892 JC 275	Opdalito			0.7223	0.62	1
5024	892 JC 278	Enderbit			0.7228	0.52	1
5025	892JC 277B	Opdalito			0.7198	0.67	1
4563	AT 262A	kinzigito			0.7275	0.76	2
4564=4448	AT 262B	kinzigito			0.7324	0.97	2
4565	AT 262C	kinzigito			0.7422	1.16	2
2413=2318	PE 20A	Granulito			0.7117	0.07	3
2319	PE 20B	Granulito			0.7160	1.10	3
2321	PE 20D	Granulito			0.7194	1.36	3
2320	PE 20C	Granulito			0.7144	0.82	3
2412	PE 1A	Granulito			0.7224	0.56	3
2415	PE 24A	Granulito			0.7194	0.23	3
10756	JF 8B	Granulito	30.0	685.3	0.71518+/-21	0.127+/-4	N/T
10665	JF 8F	Granulito	147.7	491.0	0.723740+/-7	0.872+/-25	N/T
10666	JF 8G	Granulito	53.3	478.0	0.71947+/-9	0.323+/-9	N/T
10667	JF 8I	Granulito	78.0	460.0	0.72378+/-7	0.492+/-14	N/T
10668	JF 8J	Granulito	106.7	438.0	0.72202+/-8	0.796+/-20	N/T
10669	JF 11A	Granulito	104.0	513.0	0.71541+/-9	0.587+/-17	N/T
10670	JF 11B	Granulito	46.0	468.0	0.71627+/-23	0.285+/-8	N/T

Continuação da tabela 5

No LAB	Amostra	Rocha	Rb(ppm)	Sr(ppm)	Sr87/sr86	Rb87/Sr86	REF
10978	JF 7B	Granulito	72.0	554.7	0.71716+/-7	0.376+/-11	N/T
10979	JF 7L	Granulito	100.3	634.7	0.71553+/-6	0.458+/-13	N/T
10980	JF 7N	Granulito	70.7	499.3	0.71995+/-22	0.410+/-12	N/T
10981	JF 7O	Granulito	71.3	228.0	0.71998+/-8	0.906+/-26	N/T
10982	JP 2B	Granulito	86.7	511.0	0.72401+/-8	0.492+/-14	N/T
10967	JP 5A	Granulito	167.3	93.3	0.83503+/-7	5.255+/-147	N/T
10969	JP 5E	Granulito	123.0	90.7	0.83285+/-7	3.973+/-111	N/T
10970	JP 5I	Granulito	98.0	257.0	0.74777+/-6	1.108+/-31	N/T
10971	JP 5J	Granulito	124.0	236.0	0.75000+/-10	1.527+/-43	N/T
11901	JP5D1	Granulito	117.7	59.1	0.88211+/-6	5.863+/-163	N/T
11902	JP5D2	Granulito	106.8	60	0.87866+/-7	5.238+/-146	N/T
11903	JP5D4	Granulito	118.1	71.6	0.87617+/-8	4.853+/-135	N/T
11904	JP5D5	Granulito	111	80.9	0.871+/-7	4.035+/-112	N/T

Referências: 1 - RADAMBRASIL 2 - CPRM (Silva et al, 1981) 3 - IYER/CpGeo

Da mesma forma, os granulitos Guaraú mostraram, tão somente, a delimitação dos subtipos A e B discutida no item geoquímica, formando duas concentrações de pontos sem significado geológico aparente. A remobilização de litófilos durante a granulitização parece ter se processado de forma intensa, como já analisado anteriormente, por meio da destruição do hiperstênio e a mirmequitização dos feldspatos. A maciça alteração do hiperstênio pode ter levado a remobilização do Ca e do Mg presentes no mineral em favor de plagioclásios ou biotitas, respectivamente.

FIGURA 16 - Dados Rb/Sr para os granulitos tipo Guaraú. Os pontos 5D1-5D5 correspondem à isócrona a partir de uma amostra singular. Todos os pontos são do mesmo afloramento

Foi construída uma isócrona a partir de uma única amostra de granulitos tipo Guaraú B (figura 16), cortadas e selecionadas em quatro amostras menores. As amostras 5D4 e 5D5 representam as porções mais leucocráticas, com a presença de um mobilizado quartzo-feldspático abrangendo cerca de 20% da amostra. Estes pontos são os mais primitivos e com menor razão Rb^{87}/Sr^{86} . As amostras 5D1 e 5D2 apresentam mais e maiores cristais de hiperstênio fortemente substituído para biotita, clorita e opacos. Estas amostras no diagrama isocrônico forneceram uma idade de $432 \pm 43,8 \text{ Ma}$, com $I_{Sr} = 0.84621 \pm 0,003$ ($MSWD = 0,0513$; coeficiente de correlação = 0.99940).

Estes dados podem representar um episódio que efetuou a rehomogenização destas amostras a nível de amostra de mão ($\sim 10 \text{ cm}$). O mais provável é que esta idade

represente a discreta atuação de um episódio metamórfico de baixo grau, o qual não teria sido suficiente para efetuar uma homogenização isotópica em mais larga escala, muito embora não tenha sido constatado nenhum evento metamórfico desta época na área estudada.

O paralelismo das distintas populações de pontos analíticos de Granulitos Guaraú no diagrama da figura 16 parece indicar a presença de numerosos episódios localizados de homogenização isotópica, tal como o descrito para a isócrona a partir de uma amostra singular. No entanto, a disposição dos pontos parece indicar uma idade mais antiga, dependendo do método utilizado para efetuar os cálculos. Um cálculo isocrônico tipo Williamson, por exemplo, forneceria uma idade em torno de 1,8 Ga.

O diagrama de evolução isotópica do Sr para os granulitos Guaraú em amostra singular revela que o protolito destas rochas foi gerado há no mínimo 1.7 Ga. Tal idade parece bastante significativa, constituindo-se em evidência de que estas rochas tem uma longa vivência crustal.

Os granulitos Guaraú são enriquecidos em Rb (portanto similares à outros terrenos não-empobrecidos em litófilos) e apresentam uma forte retrogressão metamórfica. Esta retrogressão se caracteriza petrograficamente pela destruição do hiperstênio e pela mirmequitização do plagioclásio, gerando dois subtipos geoquimicamente distintos: Guaraú A, com alta razão Rb^{87}/Sr^{86} e Sr^{87}/Sr^{86} , e Guaraú B, com altas razões Rb^{87}/Sr^{86} e médias razões Sr^{87}/Sr^{86} , gerando duas populações distintas no gráfico Rb/sr. As análises Rb/Sr de amostras singulares obtiveram resultados que indicam uma idade de homogenização isotópica para estas rochas (Figura 16).

Os dados geocronológicos obtidos para os granulitos da Suite Itatins contrasta com os dados de KAUL & TEIXEIRA (1982). Na isócrona de referência obtida por estes autores verifica-se que os pontos nº 274 e 266 tem conteúdo em Rb e Sr compatível com os granulitos Guaraú B, de alta razão Sr^{87}/Sr^{86} e médias razões Rb^{87}/Sr^{86} . Isto foi confirmado pelo mapa de pontos de coleta destas rochas, quando plotados todos os pontos de granulitos obtidos neste trabalho, verifica-se que a isócrona arqueana teria sido obtida a partir de uma mistura de material não cogenético (Figura 14)

4.1.2 - Sequência Cachoeira

Os kinzigitos da Ponta da Prainha, quando alinhados no diagrama isocrônico, fornecem uma idade de $1469 \pm 48,9$ Ma, com $ISr=0.7145$, constituído-se numa errócrona (Ver discussão anterior) Esta reta, com $MSWD=6.02$, foi construída com 4 pontos, uma

vez que o ponto JF-7D apresenta-se com um teor anômalo de Rb em relação aos demais, que rebaixou sua razão Sr^{87}/Sr^{86} . Dos pontos que construíram a reta, o ponto JF-7K é o que se apresenta menos perturbado pela migmatização, sem grandes desarranjos texturais e/ou metamórficos. Seu posicionamento, no entanto, controla a idade e a razão inicial da reta. O alinhamento dos outros três pontos forneceria uma idade pouco mais jovem com razão inicial mais alta. Estes três pontos apresentam evidências texturais e mineralógicas de retrabalhamento. A dispersão de pontos verificada foi causada, provavelmente, por uma perturbação posterior ao reequilíbrio isotópico da rocha. Este fato indica que a idade ora obtida constitui uma idade mínima de metamorfismo. Por outro lado, a falta de controle deste resultado em outras litologias ou metodologias pode levar a considerar esta idade como uma idade híbrida entre dois eventos distintos.

TABELA 6 - Dados Rb/Sr para kinzigitos ponta da Prainha (Sequência Cachoeira)

No Lab	Amostra	Rb(ppm)	Sr(ppm)	Sr^{87}/sr^{86}	Rb^{87}/Sr^{86}	REF
10983	JP7D	184.6	316	0.73544 $\pm$ 7	1.695 $\pm$.048	N/T
10984	JP7F	119	208	0.74936 $\pm$ 7	1.663 $\pm$.047	N/T
10985	JP7K	70.7	365	0.72627 $\pm$ 7	0.562 $\pm$.016	N/T
10986	JP7Q	120	302.5	0.74048 $\pm$ 7	1.152 $\pm$.032	N/T
10987	JP7R	144	285	0.74335 $\pm$ 8	1.467 $\pm$.041	N/T

TABELA 7 - Dados Rb/Sr para paragneisses Itariri (Sequência Cachoeira)

No LAB	Amostra	Rb(ppm)	Sr(ppm)	Sr^{87}/sr^{86}	Rb^{87}/Sr^{86}	REF
11266	JF 5	111.8	161.7	0.72448 $\pm$ 6	2.004 $\pm$ -.057	N/T
11267	JP48A	71	183.3	0.72156 $\pm$ 8	1.123 $\pm$ -.032	N/T
11268	JP48D	61.2	203.4	0.71460 $\pm$ 20	0.871 $\pm$ -.025	N/T
11269	JP48F	97.1	180.7	0.72006 $\pm$ 19	1.557 $\pm$ -.044	N/T
11270	JP49A	94.8	215.7	0.71758 $\pm$ 12	1.273 $\pm$ -.036	N/T

FIGURA 17- Diagrama isocrônico Rb/Sr para os kinzigitos da Ponta da Prainha, Peruíbe.

O diagrama de evolução do Sr (Figura 20) indica que os kinzigitos Prainha derivaram de protólitos com no mínimo 2.0 Ga. Este fato torna a evidenciar a longa residência crustal para as rochas Itatins e Cachoeira, tal como verificado para os granulitos Guaraú.

O metamorfismo dos kinzigitos Prainha ocorreu em condições de grau alto, como registrado na folha Miracatu por DANTAS et al.(1987). No entanto, indícios de retrogressão e anatexia destas rochas parece ter sido evidente na área Prainha/Guaraú. Desta forma, a idade obtida, levemente deslocada pelos pontos analíticos afetados pela retrogressão, ou pode ser uma idade de metamorfismo ou meramente uma idade deslocada entre dois eventos distintos, no Proterozóico Superior e no Proterozoico Inferior/Arqueano.

Os gnaisses kinzigíticos de Itariri apresentam uma idade isocrônica de 601 ± 32 Ma, com $I_{Sr}=0.707$ (MSWD= 0,9664) para 4 pontos. O ponto JP-48a foi excluído do cálculo por situar-se provavelmente numa isócrona paralela, formada a partir da homogenização de diferentes materiais. Trata-se de uma feição bastante comum em rochas metassedimentares, como nos gnaisses migmatíticos de natureza kinzigítica de Boissucanga, analisados por TASSINARI (1988).

O diagrama de evolução do Sr para estas rochas mostra rápidas evoluções da razão Rb/Sr. Este fenômeno é típico de rochas recentes, as quais geralmente apresentam, no diagramas de evolução isotópica, uma diferença de idade muito curta entre a geração dos protólitos e o metamorfismo. Este parece ser o caso dos gnaisses kinzigíticos de Itariri, que possuem uma razão inicial bastante baixa (0,707) e que induzem a uma idade mínima, no diagrama, de 700 Ma para a origem dos protólitos. Isto implicaria em rochas rapidamente retrabalhadas pelos processos exógenos e submetida a metamorfismo e fusão parcial num intervalo de 100 Ma. Isto pode indicar, evidentemente, rochas com tempo de residência crustal bastante pequeno. Por outro lado, uma razão Sr^{87}/Sr^{86} tão baixa pode indicar tão somente a presença de rochas formadas a partir de sedimentos de composição básica ou intermediária. Em vista de outras evidências a serem adiante discutidas, esta última hipótese parece ser a mais provável. Também se pode observar neste diagrama que os paragneisses não estão relacionados com as demais rochas do Maciço Itatins, apresentando-se abaixo de praticamente todas as retas de evolução mostradas no gráfico da figura 20.

Os resultados Rb/Sr em litologias da Sequência Cachoeira, forneceram valores aparentemente melhores que os obtidos para as rochas da Suite Itatins, embora possuam ainda algumas incertezas. O resultado de 1.4 Ga, por exemplo, nos kinzigitos não é amparado por nenhum outro resultado radiométrico, podendo tratar-se de uma idade intermediária entre dois eventos distintos. O resultado de 0.6 Ga para os paragneisses, no entanto, pode ser considerada uma idade de metamorfismo.

FIGURA 18 - Diagrama isocrônico Rb/Sr para os gnaisses kinzigíticos de Itariri

4.1.3 - Complexo gnaissico-migmatítico

Os migmatitos da Pedreira de Ana Dias forneceram uma idade de $722 \pm 30 \text{ Ma}$ para 4 pontos amostrados. Esta isócrona marca a idade da formação do mobilizado neossomático, sendo portanto uma idade de migmatização. No entanto, verificou-se que a paragênese deste mobilizado, composta por granada, FK, plagioclásio e biotita é uma paragênese típica de mobilizados neossomáticos em fácies granulito (WATERS, 1988; VIELZEUF et al, 1990). Desta forma, a idade assim obtida não só é uma idade de migmatização e formação de mobilizados neossomáticos, como também é uma idade de formação de mobilizados neossomáticos em fácies granulito.

TABELA 8 - Dados Rb/Sr dos migmatitos da Pedreira de Ana Dias

No LAB	Amostra	Material	Rb(ppm)	Sr(ppm)	Sr87/sr86	Rb87/Sr86	REF
10659	JF6C	neossoma	292	113	0.72779+/-9	1.231+/-0.035	N/T
10660	JF6H	neossoma	342	193	0.73295+/-9	1.808+/-0.051	N/T
10662	JF6I	neossoma	325	610	0.73609+/-6	2.073+/-0.058	N/T
10663	JF6J	neossoma	320	86	0.72350+/-6	0.864+/-0.0031	N/T
10664	JF6M	mesossoma	78	210	0.73639+/-8	0.645+/-0.030	N/T
10754	JF6L	mesossoma	24.39	114.9	0.71917+/-6	0.615+/-0.0031	N/T
10755	JF6P	mesossoma	3.848	112.57	0.71762+/-21	0.0986+/-0.0006	N/T

Obs - As amostras 6L e 6P foram calculadas por diluição isotópica

No diagrama de evolução do Sr (Figura 20), os migmatitos Ana Dias localizam-se abaixo das retas de evolução dos granulitos Guaraú e dos kinzigitos Cachoeira, não estando portanto a eles geneticamente relacionadas. De acordo com a reta obtida, os migmatitos de Ana Dias tiveram seus protólitos gerados há, no mínimo, 1.0 Ga.

Os pontos do mesossoma destes mesmos migmatitos não possuem sequer alinhamento no diagrama isocrônico da figura 19. Embora não tenham contado dos cálculos para a construção da isócrona, os pontos 6P e 6L situam-se bastante próximo à reta obtida. Conforme discutido no item 2.5, estes pontos são empobrecidos em Rb, chegando ao extremo com o ponto 6M, constituído por ortopiroxênio e que praticamente não possui plagioclásio e quartzo. Pode-se supor, com base nestes dados, que o evento de 720 Ma marcado pelos pontos de neossoma também afetou o mesossoma, que foi ao menos parcialmente homogenizado durante este evento.

FIGURA 19 - Diagrama isocrônico Rb/Sr para os Migmatitos de Ana Dias

FIGURA 20 - Diagrama de evolução do Sr para as rochas do Maciço Itatins e Bloco Costeiro. Para discussão ver texto.

Possivelmente os fenômenos de fusão parcial em fácies granulito (Ver item 2.4) que deram origem à fundidos à base de biotita, plagioclásio, FK e granada nos neossomas empobreceram o mesossoma em Rb. A saída de minerais férteis como o plagioclásio e a

biotita devem ser determinantes neste processo, uma vez que estes minerais controlam a presença de Rb durante os processos de fusão (RUDNICK,1992). Por tudo isto, os migmatitos da Pedreira de Ana Dias constituem-se um excelente modelo para estudar a mobilidade dos elementos litófilos em fusão parcial de fácies granulito.

4.1.4 - Bloco Costeiro

Para efeito de comparação, foram coletadas amostras para datação Rb/Sr em migmatitos em Mongaguá, que fazem parte do Bloco Costeiro, a norte da falha de Itariri. Os migmatitos de Mongaguá construíram uma isócrona de 532 ± 31.3 Ma, com $ISr = 0.708$ ($MSWD = 1.3222$). Os pontos JP-18H e JP-18K foram descartados por apresentarem conteúdo anômalo de Rb, o que contribuiu para que estes pontos analíticos se situassem a esquerda da isócrona. A perda localizada de Rb nestas amostras parece indicar a presença de fluidos posteriores ao fechamento do sistema isotópico nestas rochas. A idade refere-se a formação da assembléia mineralógica em fácies anfibolito presente no neossoma, tratando-se portanto de uma idade de migmatização.

Compreende uma idade mais jovem do que as idades do metamorfismo obtidas no Bloco Miracatu, e são plenamente concordantes com a idade de resfriamento K/Ar (511 Ma) obtida neste mesmo afloramento. A localização destas amostras, bem como as idades obtidas estão provavelmente relacionadas com os episódios colisionais relacionados com a orogênese Rio Doce na região (CAMPOS NETO & FIGUEIREDO, 1993).

TABELA 9 - Dados Rb/Sr do neossoma dos Migmatitos de Mongaguá

No LAB	Amostra	Rb(ppm)	Sr(ppm)	Sr87/sr86	Rb87/Sr86	REF
10972	JP18B	193.7	304.3	0.72228 $\pm$ 14	1.845 $\pm$.052	N/T
10973	JP18E	183.7	152.7	0.73402 $\pm$ 27	3.491 $\pm$.098	N/T
10974	JP18F	196.3	256	0.72562 $\pm$ 6	2.223 $\pm$.063	N/T
10975	JP18H	140.7	414.3	0.72026 $\pm$ 9	0.984 $\pm$.028	N/T
10976	JP18I	242.7	429.7	0.72035 $\pm$ 9	1.637 $\pm$.046	NT/
10977	JP18K	138.7	282.7	0.72168 $\pm$ 16	1.422 $\pm$.040	N/T

O diagrama de evolução do Sr (Figura 20) mostra para estas rochas uma idade mínima de incorporação dos protólitos à crosta em cerca de 600 Ma. Por outro lado, a posição da reta de evolução destes migmatitos localiza-se abaixo de todas as outras retas de evolução isotópica, evidenciando mais uma vez tratar-se de uma composição distinta, reforçando as diferenças entre o Maciço Itatins e o Bloco Costeiro.

FIGURA 21 - Diagrama isocrônico Rb/Sr para os migmatitos de Mongaguá (Bloco Costeiro)

4.2 - MÉTODO SAMÁRIO/NEODÍMIO

Técnicas de datação Sm/Nd foram empregados em granulitos e paragneisses do Maciço Itatins para determinar as respectivas idades dos protólitos e dos metamorfismos. Assim, o método foi empregado na obtenção de idades modelo em rocha total e de isócronas internas mineral-rocha total. Foram então obtidas pelo método Sm/Nd duas idades modelo em rocha total e duas isócronas internas mineral /rocha total. A primeira refere-se aos granulitos Azeite, amostra JF-7B. A segunda corresponde à amostra JP-48a, paragneisses Itariri.

As isócronas foram calculadas pelo programa PiSog, desenvolvido no CPGeo, através do método Wendt-2, o qual é mais indicado para o cálculo de idades Sm/Nd de acordo com as especificações de KAWASHITA et al, (1991).

4.2.1 - Suite Itatins

Foram separados concentrados de plagioclásio, biotita e piroxênio, em conjunto com a rocha total da qual foram oriundos, para que se pudesse datar a paragênese metamórfica em fácies granulito. A amostra jp-7B possui tanto orto quanto clinopiroxênios. A dificuldade de separação manual entre os dois tipos levou a que fossem considerados juntos. Os altos teores de Sm e Nd obtidos na tabela 10 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.

TABELA 10 - Dados Sm/Nd para os granulitos Azeite (Suite Itatins)

No Lab	Material	Sm (ppm)	Nd (ppm)	Sm147/Nd143	Nd143/Nd144	REF
SPS 74	PIROXÊNIO	22.4	97.7	0.1393+/-2	0.511578+/-38	N/T
SPS 75	PLAGIOCLÁSIO	4.6	28.5	0.0985+/-2	0.511409+/-22	N/T
SPS 76	BIOTITA	4.9	22.1	0.1360+/-2	0.511540+/-46	N/T
SPS 77	RT	1.1	5.2	0.1253+/-1	0.511523+/-36	N/T

A isócrona obtida forneceu uma idade de 607 +/- 136 Ma, $I_{Nd} = 0.511018$ (MSWD= 0.1160). O erro obtido é justificado pela pouca dispersão dos pontos analíticos ao longo da reta. O erro obtido, portanto, é muito grande para que se possa fazer qualquer inferência com alguma segurança. Este erro abrange desde a idade de granulitização obtida para os neossomas dos migmatitos de Ana Dias (720 Ma) até as idades de resfriamento K/Ar. No entanto, esta isócrona é capital, uma vez que estabelece o ciclo brasileiro *senso lato* (700-550 Ma) para a geração dos granulitos da Suite Itatins. A idade obtida é ainda muito incerta. De PAOLO (1987) sugere que isócronas internas mineral/rocha total em Sm/Nd sejam representativas da idade de cristalização de uma

dada paragéne mineral. No entanto, ainda existem algumas incertezas, conforme discutido adiante.

A idade modelo (TDM) obtida para a amostra de rocha total destes granulitos indicou uma idade de 2.52 Ga para a origem de seus protólitos. Os dados de ϵ_{Nd} calculados para este ponto analítico indicam se tratar de rochas já bastante diferenciadas quando submetidas ao metamorfismo granulítico durante o brasiliano. O ponto analítico Rocha total (amostra JP-7B), calculado o valor $\epsilon_{Nd}(0)$, quando plotados no diagrama $\epsilon_{Nd} \times \epsilon_{Sr}$ (figura 24), situaram dentro do campo para os terrenos granulíticos regionais, segundo TAYLOR E McLENNAN (1985)

FIGURA 22 - Diagrama isocrônico Sm/Nd em minerais para granulitos Azeite (JP7B)

4.2.2 - Sequência Cachoeira

Da mesma forma que para a isócrona anterior, foram separados para os paragneisses Itariri concentrados de plagioclásio, biotita e granada, em conjunto com a rocha total da qual foram oriundos, para que se pudesse datar sua paragéne

metamórfica. A paragénese gra+plag+bio pode ser estável desde condições de fácies anfibolito.

A isócrona obtida nos gnaisses kinzigíticos Itariri, ponto JP-48A, forneceu uma idade de 582 ± 22 Ma, $I_{Nd} = 0.511697$ (MSWD = 0.1772). O erro analítico bastante reduzido deve-se à presença de granada, mineral com altas razões Sm/Nd. A idade obtida apresenta alguns problemas de interpretação, uma vez que é aproximadamente concordante com as idades K/Ar em biotitas.

Se comparada com a isócrona Rb/Sr obtida nos mesmos gnaisses kinzigíticos Itariri, há bastante concordância de idades, contidas dentro dos respectivos erros analíticos, refletindo provavelmente um evento pelo menos em fácies anfibolito. No entanto, conforme discutido por MEZGER et al (1992), estas idades podem representar tão somente idades de resfriamento do sistema logo após as condições de pico metamórfico, com a Tc para o sistema rocha total/granada situando-se em torno de 600°C. A diferença de Tc entre a biotita em K/Ar e o sistema Sm/Nd granada/rocha total é que parece preocupante. Uma explicação seria a de que as granadas analisadas possuem uma Tc ainda mais baixa que a calculada por MEZGER et al (1992). Outra explicação seria um processo de resfriamento rápido em curto espaço de tempo, conduzindo a idades pouco espaçadas entre si. No entanto, ainda conforme MEZGER et al (op.cit.), embora ainda com interpretação incerta, esta técnica pode trazer importantes informações no processo de resfriamento inicial de rochas metamórficas máficas de alto grau, para as quais seria difícil obter informações de idade por qualquer outro cronômetro.

A idade modelo em rocha total obtida para estes paragnaisses tem um valor de 1.47 Ga. A idade modelo Sm/Nd de paragnaisses geralmente representa uma média ponderada das composições isotópicas das áreas-fonte dos protólitos, podendo ser uma idade híbrida. Desta forma, esta idade representa uma contribuição de fontes mais antigas (arqueanas, proterozóicas inferiores) com a contribuição de protólitos de áreas-fontes mais jovens. Observe-se ainda a presença de idades Rb/Sr da ordem de 1.4 Ga nos kinzigitos Prainha. Por outro lado, os dados de ϵ_{Nd} (0.6 Ga) bastante baixos, da ordem de -3.6, indicando uma evolução bastante lenta das razões isotópicas Sm/Nd, são sugestivos de rochas de composição mais básica, vindo daí as baixas razões iniciais Rb/Sr obtidas. No gráfico $\epsilon_{Nd} \times \epsilon_{Sr}$ (figura 24), os dados dos paragnaisses situam-se próximo ao campo dos granulitos regionais, os quais podem representar suas prováveis áreas-fonte.

Na figura 24 estão plotados dados $\epsilon_{Nd} \times \epsilon_{Sr}$ para diversas rochas granulíticas, no tempo presente. Verifica-se então que os pontos de granulitos Azeite caem fora do campo

relativo à crosta inferior, mostrando sobretudo que não apresentam uma típica assinatura de rochas infracrustais. Os pontos do gnaiss kinzigítico, ao contrário, caem dentro do campo relativo à Crosta inferior, denotando alguma contribuição de protolitos infracrustais em sua gênese.

FIGURA 23 - Diagrama isocrônico Sm/Nd em minerais para paragneisses Itariri (JP48a)

TABELA 11 - Dados Sm/Nd para os paragneisses Itariri (Sequência Cachoeira)

No Lab	Material	Sm (ppm)	Nd (ppm)	Sm147/Nd143	Nd143/Nd144	REF
SPS 78	RT	5.4	26.7	0.1233+/-1	0.512162+/-22	N/T
SPS 79	PLAGIOCLÁSIO	2.1	7.5	0.1692+/-1	0.512350+/-18	N/T
SPS 80	BIOTITA	0.6	2.6	0.1468+/-1	0.512248+/-29	N/T
SPS 81	GRANADA	2.4	3.9	0.3752+/-3	0.513124+/-32	N/T

Figura 24 - Diagrama E_{Nd} x E_{Sr} para as rochas da Suite Itatins e Sequência Cachoeira. Para discussão ver texto. Figura extraída de TAYLOR & McLENAN (1985).

4.3 - RESULTADOS POTÁSSIO/ARGÔNIO

Os dados K/Ar foram obtidos em três concentrados de biotitas e um de anfibólio. Das biotitas, duas são de granulitos (JF-8F, granulito Azeite e JP-5B, piribolito-granulitos Guaraú) e uma em migmatitos da Pedreira de Mongaguá (JP-18J). Uma amostra de anfibólio foi obtida também a partir dos piribolitos Guaraú (JP-5B). Além destes, são disponíveis mais três determinações: uma em biotita, obtida por KAUL & TEIXEIRA (1982) e uma em biotita e uma em flogopita, publicadas por TEIXEIRA (1982). Estes dados encontram-se na tabela 12.

As determinações em biotita obtidos no bloco Peruibe mostram idades de resfriamento regional em torno de 580 Ma, enquanto que a amostra de anfibólio obteve idade em trono de 650 Ma. Dada a diferença de Tc entre estes dois minerais (ver item 3.2), é bastante coerente que as idades de fechamento do sistema para o anfibólio sejam bem mais velhas que as idades obtidas em biotitas. Por outro lado, flogopitas do bloco Miracatu indicam idades de resfriamento metamórfico em cerca de 610 Ma. Este resultado, obviamente, depende do valor do Tc da amostra de flogopita. De acordo com

MEZGER, 1990, podemos inferir um valor de T_c para o mineral de cerca de 450°C, intermediário entre a determinação em biotita e em anfibólio. A outra determinação em biotita (IG-BIG), é a a mais baixa idade obtida para o Maciço Itatins. Pode ser interpretada como obtida a partir do resfriamento dos granitos da Suite Granitóide de Fácies Migmatítica.

O único dado K/Ar em biotita disponível para os migmatitos do bloco Costeiro, em Mongaguá, indica uma idade bem mais jovem (512 Ma) que as idades obtidas nos blocos Miracatu e Peruibe. Esta diferença é corroborada pela idade Rb/Sr obtida nos mesmos migmatitos, deixando evidente, em que pese o pouco número de determinações disponíveis, a dissimilaridade destes distintos blocos crustais.

A concordância de idades entre as amostras de biotita obtidas no presente trabalho, se comparada com as outras determinações disponíveis é bastante significativa. Embora estes dados ainda sejam precários a nível regional, parecem indicar que o resfriamento da biotita nos granulitos deu-se num intervalo de tempo em torno de 580 Ma. Idades de resfriamento mais antiga foi obtida pela determinação em anfibólio (656 Ma). Os valores obtidos para o Bloco Miracatu mostram uma idade de resfriamento de 610 Ma, obtido em flogopita de mármore atribuídos à Sequência Cachoeira. a outra idade corresponde a idade de resfriamento de biotitas dos granitóides da Suite intrusiva de fácies migmatítica (495 Ma).

De forma ainda bastante preliminar, pode-se sugerir, como na figura 26, idades mais antigas de resfriamento para os Blocos Miracatu e Peruibe em relação ao Bloco Costeiro. Os dados obtidos nos granulitos Azeite e Guaraú, no bloco Peruibe (respectivamente JF-8F e JP-5B), são idades de resfriamento a partir do metamorfismo granulítico. Colocando estes dados num gráfico $T(^{\circ}C) \times$ Tempo (figura 24), e assumindo para estes minerais uma temperatura de fechamento (T_c) tal como o proposto por MEZGER (1990), temos as diferenças de temperaturas de fechamento do sistema (T_c) para anfibólios e biotitas da amostra JP-5B com as respectivas diferenças de idade obtidas. Chega-se assim à razão de resfriamento de 2,7 °C/Ma para o período 650-580 Ma. Esta cifra parece indicar sobretudo um resfriamento mais lento para os granulitos deste intervalo de tempo.

FIGURA 25 - Diagrama Temperatura de fechamento do sistema (T_c) X tempo (Ma).

As idades K/Ar obtidas mostram de forma inequívoca que o ciclo Brasileiro afetou de modo significativo a região, apagando completamente quaisquer indícios de ciclos metamórficos anteriores. As idades de hornblenda e biotita indicam para os granulitos um padrão de resfriamento bastante lento, da ordem de $2,7\text{ }^{\circ}\text{C/Ma}$. Padrões de resfriamento lento podem indicar, entre outras coisas, que a crosta permanece mais tempo aquecida, com um suave soerguimento isostático promovendo bruscas quedas de pressão e uma lenta e contínua queda de temperatura. Outra evidência da presença de um padrão retrógrado de decompressão (BOHLEN, 1991) nas rochas da Suite Itatins são as *simplectitas* de biotita e plagioclásio descritas nos granulitos Azeite (item 2.3).

Os dados K/Ar também sugerem uma diferenciação entre diferentes blocos crustais: idades de resfriamento algo mais antigas ocorrem nos blocos Miracatu e Peruibe, que compõem o Maciço Itatins, enquanto que as idades mais jovens ocorrem no bloco norte (costeiro). Valores K/Ar em torno de 500 Ma ou mesmo mais baixos, provindos da região Mogi-Bertioga, imediatamente contígua à área estudada foram compilados por TASSINARI (1988). Estes dados reforçam a idade obtida em biotita para os migmatitos de Mongaguá (512 Ma), a qual mostrou-se sensivelmente mais baixa que as do bloco Itatins, acima de 580 Ma.

TABELA 12 - Dados analíticos K/Ar disponíveis (Localização na figura 1)

No Lab	No Campo	Material	%K	Ar40.10-6 (ccSTP/g)	ar atm (%)	idade (Ma)	REF
6829	JF8F	BIO-GRNL	7.1637+/- 0.5	190.35	1.75	591+/-11	N/T
6874R	JP18J=6831	BIO-MIG	6.8522+/- 1.787	157.39	3.79	512+/-16	N/T
6832	JP5B	BIO-GRNL	6.3884+/- 0.5	171.18	39.40	584+/-17	N/T
6868	JP5B	ANF-GRNL	1.0523+/- 0.5	32.43	13.23	656+/-15	N/T
4494	892 JC-278	BIO-GRNL	6.842	18.55	2.26	590+/-10	1
864	IG-BIG	FLOG-MAR	7.770+/-0.022	192.0	4.5	610+/-20	2
	IG-150	BIO-GRA				495	2

1-KAUL & TEIXEIRA (1982)

2-TEIXEIRA (1982)

5.0 - CONSIDERAÇÕES GEOTECTÔNICAS

Como vimos nos capítulos precedentes, a geocronologia indica a existência de rochas bastante antigas, cujos protólitos foram incorporados à Crosta próximo ao limite entre o Arqueano tardio e o Proterozoico Inferior, as quais sofreram episódios de granulitização e fusão parcial em tempos brasileiros. O comportamento do sistema Rb/Sr destas rochas é característico de rochas granulitizadas após longa vivência crustal, deixando seus sistemas isotópicos perturbados. O sistema Sm/Nd em minerais, ao contrário, não parece ter sido afetado, ao menos para as duas isócronas aqui calculadas.

A primeira fase do dobramentos observada, correspondendo a dobras reliquias preservadas em xenólitos e boudins nos granulitos pode ser correlacionada à episódios anteriores à granulitização, podendo corresponder a relictos de uma deformação horizontal pré-metamórfica, conforme descrita por NEWTON (1987) para muitos terrenos granulíticos.

As fases deformacionais seguintes, por outro lado, estão fortemente associadas a processos de fusão parcial e geração de neossomas, e tem uma duração temporal bastante longa e difícil de discernir com precisão neste nível de trabalho. As fases deformacionais F2 e F3 estão ligadas a estes episódios: a primeira é a formadora da estrutura gnáissica visível em algumas litologias, bem como da profusão de mobilizados granitóides/charnockitóides, podendo estar ligado a diversas fases ou subfases ou pulsos de geração de neossomas associados. A idade destes neossomas pode estar diretamente ligado à idade do metamorfismo granulítico, por volta de 720 Ma, sendo portanto a idade mais provável para a origem dos neossomas e dos eventos deformacionais F2. Os kinzigitos da Sequência Cachoeira atuaram de maneira rúptil no início desta fase, como pode ser atestado pela profusão de diques de composição tonalítica/enderbítica e de granulometria fina cortando os kinzigitos na Ponta da Prainha. Estes diques foram posteriormente engolfados nos processos metamórficos/anatéticos subsequentes, achando-se dobrados/boudinados e associados a fundidos neossomáticos. A fase F3 parece estar ligada a fenômenos tardios como os veios neossomáticos à base de FK injetados em fraturas. Esta fase pode estar associada a fenômenos de fusão parcial em fácies granulito instalados em níveis crustais ligeiramente inferiores. Em todo caso, estes veios podem ser balizados em no mínimo 580 Ma, idade de resfriamento das biotitas analisadas pelo

método K/Ar. A última fase, F4, ocorreu posteriormente em regime francamente rúptil, sendo responsável pelas clivagens de fratura de direção N40°E.

Os protólitos das rochas da Suite Itatins foram geradas durante o Arqueano, provavelmente num ambiente de convergência de Placas, seja de arco insular seja de margem cordilheirana (FIGUEIREDO et al, 1988). É de se supor que esta crosta fosse constituída por granulitos tipo Guaraú e tipo Azeite, entremeadas às quais teríamos diversos tipos de supracrustais, desde rochas pelíticas aluminosas, rochas carbonatadas e rochas vulcanogênicas básicas e ácidas, pertencentes à Sequência Cachoeira.

TABELA 13 - Valores geocronológicos obtidos no Maciço Itatins.

	SUITE ITATINS		SEQUÊNCIA CACHOEIRA		MIGMATITOS	
	AZEITE	GUARAÚ	KINZIGITO PRAINHA	GNAISSE ITARIRI	ANA DIAS	MONGAGUÁ
Rb/Sr	-----	432+/-43	1469+/-69	601+/-32	722+/-30	532+/-32
Sm/Nd (minerais)	607+/-136	-----	-----	582+/-22	-----	-----
Sm/Nd (modelo)	2,5 Ga.	-----	-----	1,4 Ga.	-----	-----
K/Ar	bio 591+/-11	bio 584+/-17	-----	-----	-----	bio 512+/-16
	-----	hb 656+/-15	-----	-----	-----	-----

Esta crosta arqueana foi afetada de maneira muito marcante pelos episódios compressionais do ciclo brasileiro, o qual submeteu a região à condições de fácies granulito, culminando com o metamorfismo, migmatização e anatexia generalizadas em todo o maciço Itatins, gerando os Migmatitos e os Granitóides associados. No entanto, as idades modelo Sm/Nd rocha total obtidas indicam a presença de idades relativas ao Proterozoico Inferior e ao Proterozoico médio.

É bastante provável que este episódio brasileiro tenha sido precedido por fenômenos distensivos, com a formação de pequenas bacias nas quais teriam sido depositados sedimentos pelítico-aluminosos.

Com a mudança no processo, de distensivo para compressivo, a Crosta Itatins seria então infracavalgada e submetida a condições de fácies granulito. Rapidamente

espessada, seriam então geradas as foliações metamórficas F2 e F3, associadas à granulitização e a migmatização *in situ*, como demonstrada pela geração de neossomas em 720 Ma. Este episódio representa também o pico da granitogênese observada em toda a região, principalmente no bloco Miracatu. Nas porções inferiores, ocorreriam paralelamente os processos de granulitização, hoje representados pela associação de rochas encontrada no bloco Peruibe.

A granulitização, como pode ser visto no bloco Peruibe ocorreu como um processo em sistema aberto, com ampla predominância de processos de fusão parcial sobre quaisquer outros. As pressões e temperaturas estimados para estas rochas por geotermometria, em torno de 750°C (AZEVEDO SOBRINHO, em preparação), indicam condições mesocrustais para estes fenômenos. Muito provavelmente, estas rochas atingiram estas condições PT muito rapidamente, sofrendo então um suave e contínuo processo de soerguimento, com os padrões de descompressão conforme sugerido pelas simplectitas de biotita e plagioclásio nos granulitos Azeite.

O maciço Itatins esteve ativamente envolvido no amplo processo de aglutinação do Gondwana Ocidental durante o ciclo brasileiro. A vergência estrutural para norte-nordeste indicam que o maciço foi infracavalcado por sob o Bloco Costeiro a norte. A falha de Itariri seria, neste momento, a expressão de uma zona de subducção do tipo A. Colocado em profundidade, granitizado e granulitizado, estas rochas também foram submetidas a cisalhamento e transportadas tectonicamente ao longo das zonas de cisalhamento de Itariri e Cubatão em extensões de até uma centena de quilômetros (SADOWSKI, 1991). É portanto descartada, em vista destes dados, qualquer relação com os terrenos granulíticos mais ao sul (Serra Negra, Luis Alves), dentro do contexto do Maciço de Joinville.

6.0 - CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos para as rochas do Maciço Itatins, podemos tecer as seguintes considerações:

- 1) O maciço Itatins é uma região composta por rochas cujos protólitos foram incorporados à Crosta por volta de 2.5 Ga. e que sofreram a ação de episódios de metamorfismo de alto grau e fusão parcial, resultando na formação das rochas da Suite Itatins e Sequência Cachoeira), das rochas graníticas da Suite Granitóide de Fácies Migmatítica e de uma extensa área de rochas migmatíticas intermediárias entre estas duas. O bloco Miracatu parece representar um nível crustal mais elevado, com o predomínio de granitos e migmatitos, enquanto que o bloco Peruibe representa um nível crustal inferior, caracterizado pela associação de migmatitos e granulitos migmatitizados.
- 2) A Suite Itatins apresenta dois tipos principais de granulitos: Os granulitos tipo Azeite, amplamente predominantes, e os granulitos Guaraú. Os granulitos tipo Azeite apresentam um comportamento geoquímico empobrecido em litófilos, com baixas razões Rb^{87}/Sr^{86} . O sistema Rb/Sr destas rochas foi perturbado pela ação dos fluidos metamórficos durante o brasiliano, gerando f desequilíbrio isotópico de seus pontos analíticos. Os granulitos Guaraú, por seu turno, apresentam um comportamento geoquímico enriquecido em litófilos, com altas razões Rb^{87}/Sr^{86} .
- 3) As rochas da sequência Cachoeira tiveram seu sistema Rb/Sr menos alterado. Os kinzigitos da Ponta da Prainha indicaram idades pré-brasílicas que podem significar idades intermediárias entre a provável geração dos protólitos e o metamorfismo granulítico, assim como também podem representar um episódio metamórfico distinto. Os paragneisses Itariri obtiveram idades brasileiras, confirmando a idade do metamorfismo brasileiro.
- 4) Os migmatitos de Ana Dias forneceram uma idade em torno de 720 Ma, interpretados como idade de formação dos neossomas destes migmatitos. Uma vez que a paragénese mineral destas rochas é compatível com a formação de fundidos anatóticos em fácies granulito, esta idade reflete a idade deste evento metamórfico anatótico. O mesossoma destas rochas, equilibrado em fácies granulito, é empobrecido em quartzo e feldspatos e apresenta seu sistema isotópico Rb^{87}/Sr^{86} desequilibrado, sendo considerado como um restito da migmatização.
- 5) O sistema Sm/Nd apresentou-se sensível ao metamorfismo, através de uma isócrona mineral-rocha total em granulitos tipo Azeite, em paragénese equilibrada em fácies granulito, obteve um resultado por volta de 607 Ma, concordante com a idade dos neossomas Ana Dias. Uma segunda isócrona interna, em paragneisses próximos a Itariri, obteve 580 Ma, em paragénese equilibrada em fácies anfibolito. As idades modelo Sm/Nd (TDM) para rocha total nos granulitos Azeite revelaram idades arqueanas, evidenciando uma idade antiga de incorporação à Crosta. Para os paragneisses, o parâmetro TDM forneceu uma idade de 1.4 Ga, interpretada como uma provável idade de mistura de material das áreas-fonte dos protólitos.
- 6) As idades de resfriamento K/Ar obtidas para estas rochas revelaram uma notável unidade de resultados entre as rochas granulíticas, em torno de 590 Ma para as biotitas e

650 Ma para os anfibólitos. Estes resultados confirmam diferenças nas idades de resfriamento obtidas para o bloco Peruibe, com idades ligeiramente mais antigas que o bloco Costeiro. Tal diferença pode ser indicativo de diferenças de nível crustal.

7) As idades Rb/Sr de 530 Ma, obtidas para o Bloco costeiro, em Mongaguá, são idades de migmatização em fácies anfibolito, indicando clara diferenças de nível crustal entre estas rochas e as do Maciço Itatins. Estes dados indicam o caráter dissimilar entre estes dois blocos crustais, hoje tectonicamente justapostos.

8) O maciço Itatins, do ponto de vista da evolução crustal, teve seus protólitos gerados em 2.4 Ga, sendo submetido a metamorfismo em fácies granulito durante o ciclo Brasileiro (0.7-0.55 Ga). Pode ter sofrido a atuação de eventos durante o Proterozóico Médio ou Inferior. O último episódio, menos marcado, parece ter sido em torno de 430 Ma.

Das metodologias e técnicas de datação geocronológica aplicadas às rochas granulíticas e associadas que ocorrem no Maciço Itatins, podemos tecer as seguintes considerações:

1) O sistema Rb/Sr em rocha total é pouco eficaz na datação de granulitos, quando o metamorfismo granulítico ocorre muito tempo após a formação do protólito, devido a remobilização do Rb durante o metamorfismo.

2) O sistema Sm/Nd mostrou-se bastante apto para datar minerais de mesma paragénesese, o que forneceria a idade de cristalização desta paragénesese. Cabe ressaltar que para sistemas granada/rocha total, MEZGER et al (1992) encontrou valores de fechamento do sistema da ordem de 600°C, sugerindo que sistemas granada/rocha total fornecem, na maioria dos casos, idades de resfriamento. Desta forma, idades obtidas nestas isócronas possuem a mesma significação que isócronas Rb/Sr rocha total, quando se torna possível obter estas isócronas durante a granulitização. Por tudo isto, o sistema Sm/Nd em minerais mostrou-se bastante adequado para datar a idade do metamorfismo granulítico em rochas geradas nestas condições.

7.0 - BIBLIOGRAFIA

- AMARAL,G.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA,K.; REYNOLDS,J.H. (1966)Potassium-argon ages of basaltic rocks from southern Brazil. *Geoch. Cosmoch. Acta*.30(2):159-189.
- ARNDT,N.T. & GOLDSTEIN,S.L. (1987) Use and abuse of crust-formation ages. *Geology*.15:893-895.
- BARBOSA,J. (1990) The granulites of the Jequié Complex, Bahia,Brazil - an expression of archaean-early proterozoic plate convergence.In:VIELZEUF,D. & VIDAL,P. (eds) *Granulites and Crustal Evolution*. NATO ASI Series.Series c, Mathematical and Physical sciences vol 311:195-221.
- BARNICOAT,A.C.(1987)The causes of the high grade metamorphism of the Scourie Complex, NW Scotland.In:PARK,R.G. & TARNEY (eds) *Evolution of the Lewisian and comparable precambrian high-grade terrains*. Geol. Soc. Sp.Publ nº 27:73-79.
- BASEI, M.A.S.(1985) *O Cinturão D. Feliciano em Santa Catarina*. São Paulo, Tese IGUSP,(ined).
- BASEI,M.A.S.;SIGA Jr.O.;VASCONCELLOS,J.P.;SANTAREM,P.C. (1988) Evolução geotectônica do Maciço de Joinville e faixas móveis adjacentes.Rel Fapesp (ined).
- BASEI,M.A.S.;SIGA Jr.O.; REIS NETO,J.M. (1990) O Batólito Paranaguá: Proposição, idade, considerações petrogenéticas e implicações tectônicas In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA,36º,Natal.Anais. SBG, Natal, 4:1684-1699.
- 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, V.1, p.94-108.
- BISTRICHI,C.A.,CARNEIRO,C.D.R.;DANTAS,A.S.L.;PONÇANO,W.L.;CAMPANHA,G.A.C.;NAGAT A; ALMEIDA, M.A.; STEIN,D.P.; MELO,M.S.; CREMONINI, O.A.(1981) Mapa geológico do Estado de São Paulo, Escala 1:500.000. São Paulo. IPT, monografias, 6.
- BOHLEN, S.R.(1991) On the formation of granulites. *Jour. of Met. Geol.* 9:223-229.
- BRIDGEWATER,D.;ROSING,M.;SCHIOTTE,L.;AUSTRHEIM,H.(1989) The effect of fluid-controlled element mobility during metamorphism on whole-rock isotope systems.In: BRIDGEWATER,D. (ed)*Fluid movements element transport and the composition of deep crust*.NATO ASI Series.Series c, Mathematical and Physical sciences vol 281:277-298
- BRITO NEVES, B.B. (1989) Maciços Medianos e Marginais.Evolução do conceito.*Bol. IG-USP, série didática nº3*,142pp.
- CAMPOS NETO, M. (1991) *A porção Ocidental da Faixa alto Rio Grande - ensaio de evolução tectônica*.Tese IGUSP (inédita).
- CAMPOS NETO, M. & FIGUEIREDO, M. C. H. (1992) A Orogênese Rio Doce.In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA,37º, São Paulo. *Bol. de Resumos*. SBG, São Paulo, 276-277.
- CLEMENS,J.D. (1990) The granulite-granite connexion.In:VIELZEUF,D. & VIDAL,P.(eds) *Granulites and Crustal Evolution*. NATO ASI Series.Series c, Mathematical and Physical sciences vol 311:25-36.

- COLLERSON, K.D.(1982)The Archean gnaiss complex of Northern Labrador.2. Mineral ages, secondary isochrons, and diffusion of strontium during polymetamorphism of the Uivak gneisses. *Can. J. Earth-Sci.* 20:707-718.
- COLLERSON, K.D.;McCULLOCH,M.T. & NUTMAN,A.P. (1989) Sr and Nd isotopic systematics of polymetamorphic archaean gneisses from southern western Greeland and northern Labrador. *Can. J. Earth-Sci.* 26:446-466.
- CORDANI,U.G. & BRITO NEVES,B.B.(1982)The geologic evolution of south America during Archaean and Early proterozoic. *Rev. Bras. Geoc.*, 12(1-3):78-88.
- 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.
- CHOUDARY,A.K.; HARRIS,N.B.W.; VAN CALSTEREN,P.; HAWKESWORTH,C.J. (1992) Pan-African charnockite formation in Kerala, South India. *Geol.Mag.* 129(3):257-264.
- DANTAS, A. S. L.;GIMENEZ Fo., A.; TEIXEIRA, A. L.; NAGATA, N.; FERNANDES, L. A.; ALBUQUERQUE Fo., J. L.; FRASCÁ, M. H. B. de O. (1987a) Geologia das folhas Juquiá (SG.23-V-A-I-4) e Miracatu (SG.23-V-A-II-3), Estado de São Paulo. São Paulo, SCT/IPT, 5 v. (IPT. Relatório,25371).
- DANTAS, A. S. L.; GIMENEZ Fo., A.; NAGATA, N.; FERNANDES, L. A.; FRASCÁ, M. H. B. de O. (1987b) Evolução geológica e estrutural da faixa costeira nas regiões de Juquiá e Miracatu, sul do Estado de São Paulo, In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 6º,Rio Claro.Atas. Rio Claro,SBG, V.1, p.173-189.
- De PAOLO,D.J. (1987) Neodymium isotope geochemistry - an Introduction. New York, Springer-Verlag,187 pp.
- DEWEY,J.F. (1986) Diversity in the Lower Continental Crust. In: DAWSON,J.B.; CARSWELL,D.A.; HALL,J.; WEDEPOHL K. H.(EDS) *The Nature of the Lower Continental Crust.* PARK,R. Geol. Soc. Sp.Publ no 24:71-78.
- FOUNTAIN, D.M. & SALISBURY,M.H. (1981)Exposed cross-sections through the Continental crust ; implications for crustal structure, petrology and evolution. *Earth Plan. Sci. Lett.*56:263-277.
- FOUNTAIN, D.M.;PERCIVAL,J.; SALISBURY,M.H.(1990) Exposed cross-sections of the continental crust - synopsis. In: SALISBURY,M.H. & FOUNTAIN, D.M. (eds) *Exposed cross-sections of the continental crust.* NATO ASI Series.Series c, Mathematical and Physical sciences vol317: 653-662.
- FAURE,G. (1986)*Principles of Isotope Geochemistry* (2ndEd.).New York, John Wiley & sons, 588 pp.
- FIGUEIREDO, M. C. H.; DANTAS, A. S. L.; FRASCÁ, M. H. B. de O.; RODRIGUES, E. P.; GIMENEZ Fo. (1988) Contribuição à petrografia e litoquímica das rochas granito-gnáissicas da faixa costeira na região sul-sudeste do Estado de São Paulo. In:CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA,XXXV, Belém. *Anais.Belém, SBG, V.3*, p.1080-1092.
- GASPARINI,P & MANTOVANI,M.M.(1979) Geochemistry of charnockites from São Paulo State, Brazil. *Earth Plan. Sci. Lett.*42:311-320.

- GIMENEZ Fo., A.; DANTAS, A. S. L.; NAGATA, N.; ALBUQUERQUE Fo, J. L.; FERNANDES, L. A.; TEIXEIRA, A. L. (1987) Geologia da folha Miracatu, sul-sudeste do Estado de São Paulo, In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 6o. Rio Claro. Atas. Rio Claro, SBG, V.1, p.225-241.
- GIRARDI, V. A. V.; MADUREIRA FO, J. B.; HYPÓLITO, R. (1971) As granadas metamórficas de Peruibe, São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, São Paulo. Anais. São Paulo, SBG, 1:40-51.
- HARLEY, S. L. (1989) The origin of granulites: a metamorphical perspective. *Geological Magazine* 126:215-247.
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; COIMBRA, A. M. (1975) The Ribeira folded belt, *Rev. Bras. Geoc.*, São Paulo, 5(4), p.257-266.
- HASUI, Y.; DANTAS, A. S. L.; CARNEIRO, C. D. R.; BISTRICHI, C. A. (1981) O embasamento Pré-Cambriano e Eopaleozóico em São Paulo. In: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000. São Paulo. V.1, p.12-45 (IPT. Monografias, 6. Publicação, 1184).
- HASUI, Y.; OLIVEIRA, M. A. F. (1984) Província Mantiqueira, setor Central. In: ALMEIDA, F. F. M. & HASUI, Y (eds) *O precambriano do Brasil*. São Paulo, Edgard Blucher, pp 308-344.
- IYER, S. S.; CHOUDHURI, A. & CORDANI, U. G. (1987) Granulite fácies rocks of Brazil: a review of their geological setting, geochronological evolution, Petrographic and Geochemical characteristics. *Journ. of Geol. Soc of India* 29:309-326.
- JACOBSEN, S. B. & WASSERBURG, G. J. (1984) Sm-Nd isotopic evolution of chondrites and achondrites, II. *Earth planet sci. Lett.* 67:137-150.
- JANASI, V. & ULBRICH, H. (1992) Inventário bibliográfico dos granitos do Estado de São Paulo. *Bol IG-USP Publ. Esp* nº 11, 253 pp.
- 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 IGUSP (inédita)
- KAWASHITA, K.; SATO, K.; SONOKI, I. (1983) Um sistema de aquisição de dados "on-line" em um espectrômetro de massas do Centro de Pesquisas Geocronológicas (CPGeo-USP). Rel. interno, 14 pp.
- 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.
- KAWASHITA, K.; SATO, K.; DIAZ, M.; TASSINARI, C. C. G. (1991) Metodologia Sm/Nd no IG-USP: testes e resultados preliminares. In: Congr. de geoq. dos Países de Língua portuguesa, 3º. Anais. 1:442-446.
- KULLERUD, L. (1991) On the calculations of isochrons. *Chem Geol. (Isotope Geosci. Sec.)* 87:115-124

- MEZGER,K. (1990) Geochronology of Granulites. In: VIELZEUF,D. & VIDAL,P.(eds) **Granulites and Crustal Evolution**. NATO ASI Series.Series c, Mathematical and Physical sciences vol 311: .
- 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.
- MOGK,D.W. (1990) A model for the granulite-migmatite Association in the Archaean basement of southwestern Montana. In: VIELZEUF,D. & VIDAL,P.(eds) **Granulites and Crustal Evolution**. NATO ASI Series.Series c, Mathematical and Physical sciences vol 311: 133-155.
- MOORBATH,S.(1984) Origin of granulites. **Nature** 312:290-291.
- MOORBATH ,S & TAYLOR, P.N.(1980) Evidências isotópicas para o crescimento dos continentes no precambriano. In:CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31^o, Balneário Camboriú. Boletins. Balneário Camboriú,SBG, Bol. Esp. No 06, 63 pag.
- MOORBATH & TAYLOR (1986) Geochronology and related isotope geochemistry of high-grade metamorphic rocks from the lower continental crust. **Geol. Soc. Sp. Publ.** nº 24, pp 211-220.
- MORGENTHAU, A.; BATOLLA Jr., F.; PINTO, G. G.; PAIVA, I. P.; DRUMOND, J. B. V. (1975) Projeto Sudelpa. **Relatório Final, Geologia**. São Paulo, CPRM., 18 V..
- NEWTON, R. (1987) Petrologic aspects of precambrian Granulite faciesterrains bearing on their origins. In: KRONER (ed) **Proterozoic Lithospheric Evolution**. Geodyn. Ser. 17, pp 11-26.
- RUDNICK R.L. (1992) Restites, Eu anomalies and the lower continental crust. **Geoch. Cosmoch. Acta** 56:963-970.
- RUDNICK R.L. & PRESPEY,T.(1990) Geochemistry of intermediate to Lower pressure granulites.In: VIELZEUF,D. & VIDAL,P.(eds) **Granulites and Crustal Evolution**. NATO ASI Series.Series c, Mathematical and Physical sciences vol 311:523-550.
- SADOWSKI, G.R.(1974b)Tectônica do complexo migmatítico da Serra do Cubatão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, Porto Alegre.Boletim de resumos.Porto Alegre, SBG,Bol nº1, pag. 90.
- SADOWSKI, G.R.(1991) A megafalha de Cubatão no sudeste Brasileiro. **Bol IG-USP**, 22:15-28.
- SADOWSKI, G. R.; DIAS NETO, C. M.; SILVA, M. E. (1978) Análise do fraturamento do Maciço de Itatins, Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA,XXX,Recife.Resumo das Comunicações.Recife,SBG, Bol. Nº-1, p. 60.
- SATO,K.; TASSINARI, C.C.G.; KAWASHITA, K.; PETRONILHO, L. (1994) Método geocronológico Sm/Nd no Ig-USP e suas aplicações. **An. Acad. Bras. de Ci.** (no prelo) .
- SIGA Jr,O.; BASEI, M.A.S.; KAWASHITA,K. (1990) Perfil térmico K/Ar através do maciço de Joinville (Pr e SC) e do cinturão D. Feliciano (SC) - implicações tectônicas.In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA,36^o,Natal. Anais. SBG, Natal, 4:1684-1699.
- SILVA, A. T. S. F. (1981) Tentativa de interpretação da gênese e evolução da infra-estrutura arqueana exposta entre Peruibe e Curitiba, SP. e PR.,In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA,III,Curitiba. Atas. Curitiba,SBG, V.1, p.133-147.

- SILVA, A. T. S. F. (1986) Os complexos de São Sebastião-Faxinal, Serra Negra e Cachoeira, de idade arcaica e suas relações Tectogenéticas e Metamórficas. Estados do Paraná e de São Paulo (Brasil). **Comun. Serv. Geol. de Portugal**, 1986. Fasc. 1/2:99-110.
- SILVA, A. T. S. F.; CHIODI Fo., C.; CHIODI, D. K.; PINHO Fo., W. D. (1977) Projeto Santos-Iguape. **Relatório Final, Geologia**. São Paulo. DNPM/CPRM, V.1.
- SILVA, A. T. S. F.; CHIODI Fo., 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, V.1, p.208-221.
- SILVA, A. T. S. F.; FRANCISCONI, O.; GODOY, A. M.; BATOLLA Jr., F. (1981) Projeto Integração e Detalhe Geológico no Vale do Ribeira. **Relatório Final, Integração Geológica**. São Paulo, CPRM, 15v..
- TASSINARI, C.C.G. (1988)As idades das rochas e dos eventos metamórficos da porção sudeste do estado de São Paulo. Tese IG-USP (inédita)
- TASSINARI, C.C.G. ; RAMIREZ,R; MUNIZAGA,F. (1993) Edad geoquímica isotópica Rb/Sr del yacimiento de cobre Mantos Blancos: relación temporal con el magmatismo jurásico. In: **Rev. Geol. de Chile** 20(2):193-205, Diciembre 1993.
- TAYLOR,P.N. (1990) Geochronology and radiogenic isotope evolution in granulite terrains (inédito).
- TAYLOR, P.N. & KAALSBEEK,F. (1990) Dating metamorphism of Precambrian marbles: examples for proterozoic Mobile Belts from Greenland. **Chem. Geol.** 86:21-28.
- TAYLOR,SR. & McLENNAN,S.M. (1985) **The Continental Crust: its Composition and Evolution: an Examination of the Geochemical Record preserved in Sedimentary Rocks**. Blackwell, Oxford, 312 pp.
- TEIXEIRA,W. (1982) Folhas SG-21(Assuncion), SG-22 (Curitiba) e SG-23(Iguape); Considerações sobre os dados radiométricos, interpretação e evolução geológica. Florianópolis, RADAMBRASIL, 1982, 41 pag. (Rel. ined. 595-6).
- THOMPSON,A.B.(1990) Fluids and melting in the granulite facies. in: VIELZEUF,D. & VIDAL,P.(eds) **Granulites and Crustal Evolution**. NATO ASI Series.Series C, Mathematical and Physical sciences vol 311:37-57.
- VIELZEUF,D.; CLEMENS,J.D.; PIN,C.; MOINET, E. (1990) Granites, Granulites and Crustal differentiation.In:VIELZEUF,D. & VIDAL,P.(eds) **Granulites and Crustal Evolution**. NATO ASI Series.Series c, Mathematical and Physical sciences vol 311:59-85.
- WATERS, D.J.(1988) Partial melting and the formation of granulite facies assemblages of Namaqualand, S. Africa.**Journ. Met. Geol.** 6:387-404.
- WELLS,P.R.A.(1981) Accretion of continental Crust: thermal and geodinamical consequences. **Philos. Trans. Royal Soc of London A** 301:347-357.