

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**Petrografia e geocronologia U/Pb (TIMS) de rochas alcalinas da
Ilha de São Sebastião (SP).**

Enos Nobuo Sato

**Orientador: Prof. Dr. Silvio Roberto Farias Vlach
Co-orientador: Prof. Dr. Miguel Ângelo Stipp Basei**

**MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2006/18)**

**SÃO PAULO
2006**

TF
S253
EN.p

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Petrografia e geocronologia U/Pb (TIMS) de rochas
alcalinas da ilha de São Sebastião (SP)**

Enos Nobuo Sato

Monografia de Trabalho de Formatura



Banca Examinadora

Prof. Dr. Silvio Roberto Farias Vlach

Profa. Dra. Cláudia Passarelli

Prof. Dr. Oswaldo Siga Júnior

São Paulo

2006

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC



30900024108

Petrografia e geocronologia U/Pb (TIMS) de rochas alcalinas da Ilha de
São Sebastião (SP).

Enos Nobuo Sato



Orientador: Prof. Dr. Silvio Roberto Farias Vlach
Co-orientador: Prof. Dr. Miguel Ângelo Stipp Basei

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2006/18)

-São Paulo-
2006

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**Petrografia e geocronologia U/Pb (TIMS) de rochas alcalinas da Ilha de
São Sebastião (SP).**

Enos Nobuo Sato

**Orientador: Prof. Dr. Silvio Roberto Farias Vlach
Co-orientador: Prof. Dr. Miguel Ângelo Stipp Basei**

**MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2006/18)**

**-São Paulo-
2006**

Ficha catalográfica preparada pelo Serviço de Biblioteca e Documentação do Instituto
de Geociências da Universidade de São Paulo

Sato, Enos Nobuo

Petrografia e geocronologia U/Pb (TIMS) de
rochas alcalinas da Ilha de
São Sebastião (SP) / Enos Nobuo Sato - São Paulo,
2006.

65 f.: il + anexos

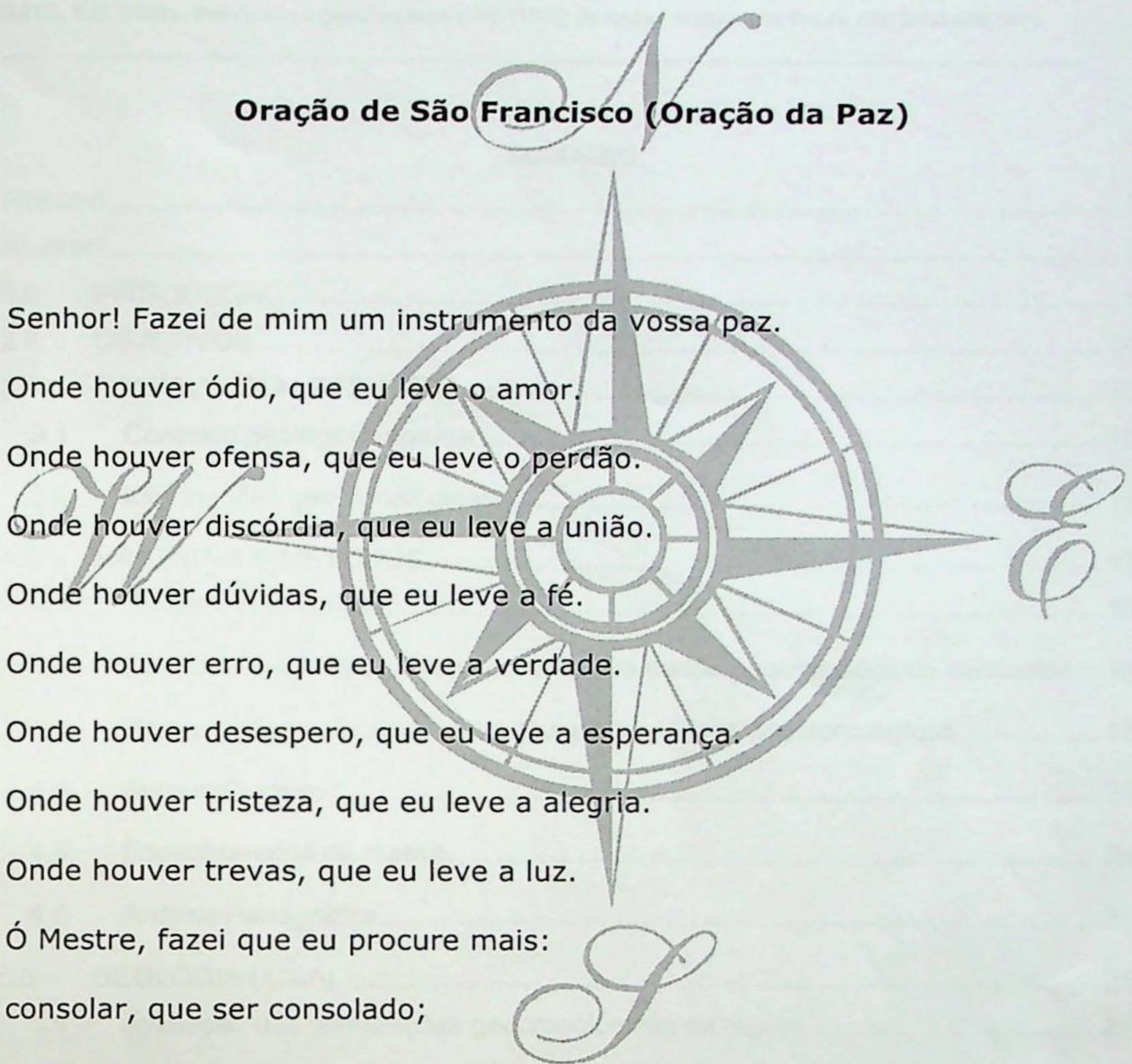
=

Monografia de Trabalho de Formatura : IGC/USP -

Orient. : Vlach, Silvio Roberto Farias

Co-orient: Basei, Miguel Ângelo Stipp

1. Geocronologia 2. Método U/Pb (TIMS) 3. Ilha
de São Sebastião (SP): Rochas alcalinas I. Título



Oração de São Francisco (Oração da Paz)

Senhor! Fazei de mim um instrumento da vossa paz.

Onde houver ódio, que eu leve o amor.

Onde houver ofensa, que eu leve o perdão.

Onde houver discórdia, que eu leve a união.

Onde houver dúvidas, que eu leve a fé.

Onde houver erro, que eu leve a verdade.

Onde houver desespero, que eu leve a esperança.

Onde houver tristeza, que eu leve a alegria.

Onde houver trevas, que eu leve a luz.

Ó Mestre, fazei que eu procure mais:

consolar, que ser consolado;

compreender, que ser compreendido;

amar, que ser amado.

Pois é dando que se recebe.

É perdoando que se é perdoado.

E é morrendo que se vive para a vida eterna.

Atribuída a São Francisco de Assis (Giovanni di Pietri)

SUMÁRIO

Resumo	7
Abstract	8
1.0 INTRODUÇÃO	9
2.0 OBJETIVOS	10
3.0 TRABALHOS ANTERIORES	10
3.1 Contexto geológico regional	10
3.2 Informações geocronológicas	11
4.0 MATERIAIS E MÉTODOS	13
4.1 Trabalhos de campo	13
4.2 Levantamento bibliográfico e análise dos dados geocronológicos existentes ...	16
4.3 Preparação e seleção de amostras para análises geocronológicas	17
4.4 Ataque Químico	21
4.5 Espectrometria de massa	24
4.6 Análise Petrográfica	24
5.0 GEOLOGIA LOCAL	25
5.1 Avaliação das informações geocronológicas da região	27
6.0 PETROGRAFIA	33
6.1 Álcali-feldspato sienitos do Maciço São Sebastião	33
6.2 Álcali-feldspato sienitos do Maciço de Serraria	36
7.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
7.1 Idades U/Pb	39
7.2 Cronoestratigrafia K/Ar	46
7.3 Imagens de elétrons retro-espalhados	46
10.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
11.0 BIBLIOGRAFIA	51

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 Intervalos obtido a partir das médias dos dados de cada metodologia, em Ma, indicado idades das rochas alcalinas da província alcalina Serra do Mar Norte compilados da literatura.

Quadro 2 Fluxograma ilustrando os procedimentos para a obtenção de concentrados(Laboratório de preparação de amostras -CPGeo).

Quadro 3 Procedimentos de ataque químico para preparação de amostras para espectrometria de massa(Laboratórios U/Pb do CPGeo).

Quadro 4 Resultados de datações K-Ar, presentes na bibliografia, para as rochas alcalinas da Ilha de São Sebastião(Sonoki & Garda, 1988).

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa geológico esquemático da Ilha de São Sebastião com localização dos pontos onde foram coletadas amostras para obtenção de idades U/Pb, modificado de Hennies & Hasui, 1977.

Figura 2 Ilustração da cronoestratigrafia das rochas mesozóicas da Ilha de São Sebastião, elaborada a partir de dados geocronológicos K/Ar.

Figura 3 Fotomicrografias ilustrando aspectos petrográficos típicos do álcali-feldspato sienito (amostra IBLE-18) do Maciço de São Sebastião, Ilha de São Sebastião.

Figura 4 Fotomicrografias ilustrando aspectos petrográficos do álcali-feldspato sienito (amostra IBLE-S) do Maciço de Serraria, Ilha de São Sebastião.

Figura 5 Diagrama QAP da I.U.G.S. (Streikesen, 1976) para classificação petrográfica dos álcali-feldspato sienitos dos maciços de São Sebastião(verde) e Serraria(vermelho).

Figura 6 Diagrama Tera & Wasserburg (1973,1974) apresentando os valores obtidos para as razões $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ e $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ em zircões na amostra IBLE-18.

Figura 7 Diagrama Tera & Wasserburg (1973,1974) apresentando os valores obtidos para as razões $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ e $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ em zircões na amostra IBLE-S.

Figura 8 Diagrama Tera & Wasserburg(1973,1974) apresentando os valores obtidos para baddeleyítas, nas razões $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ e $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, amostra IBLE-S.

Figura 9 Resumo das idades U/Pb

Figura 10 Imagem de elétrons retro-espalhados modo topográfico detalhando a forma do cristal de Baddeleyíta, amostra IBLE-S(maciço Serraria). Base da imagem 50 μm .

Figura 11 Imagens de elétrons retro-espalhados em modo composicional (BEI-COMPO) obtidas a partir de cristais de zircão da amostra IBLE -18(maciço de São Sebastião). Base menor da foto de aproximadamente 70 μm .

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Histograma com a distribuição das idades K/Ar das rochas alcalinas da Ilha de São Sebastião, os picos apresentados indicam respectivamente a 2^a e 3^a fases do magmatismo.

Gráfico 2 Ideograma das idades K/Ar dos Sienitos da Ilha de São Sebastião.

Gráfico 3 Comparação das quantidades de Chumbo e Urânio nas amostras estudadas

ANEXOS

ANEXO I Resultados analíticos U/Pb para frações de zircão e baddeleyíta dos álcali-feldspato sienitos da Ilha de São Sebastião.

ANEXO II Espectro de dispersão de energia (EDS) para cristal de baddeleyíta do álcali-feldspato sienito do Maciço Serraria, Ilha de São Sebastião.

Resumo

Petrografia e geocronologia U/Pb (TIMS) de rochas alcalinas félsicas da Ilha de São Sebastião (SP)

O número de determinações geocronológicas existentes para rochas dos maciços alcalinos que constituem a Província Alcalina Serra do Mar é significativo. Entretanto, embora mais recentemente tenham sido obtidos dados com as sistemáticas Rb/Sr e/ou Ar/Ar, a grande maioria corresponde a determinações K/Ar, as quais têm sido postas à prova e questionadas à luz de dados mais recentes. Parte importante da província é formada de rochas sieníticas supersaturadas ou próximas à saturação em sílica, as quais apresentam zircão e/ou baddeleyíta como minerais acessórios, que são geocronômetros excepcionais e permitem determinar idades de cristalização magmática com sistemática U/Pb (TIMS). Estes fatos e o excelente controle existente nos laboratórios do CPGeo-USP, que resulta contaminação diminuta de Pb, permitem a aplicação alternativa de um método de alta precisão para determinar idades de cristalização em rochas alcalinas jovens da província. Para um primeiro teste, foram selecionadas amostras dos Maciços São Sebastião e Serraria, situados, respectivamente, ao sul e ao norte da Ilha de São Sebastião (*Ilhabela*), uma das ocorrências mais expressivas da província no litoral norte do Estado de São Paulo. As amostras selecionadas são álcali-feldspato sienitos leucocráticos com estruturas maciças. A mineralogia principal é mesopertita, algum quartzo, clinopiroxênio (hedenbergita), anfibólios cálcico e sódico-cálcico, olivina (faialita, São Sebastião) e biotita (Serraria). As fases acessórios são apatita, titanita, minerais opacos, zircão e baddeleyíta (Serraria). Foram obtidas cinco frações de zircão concordantes para o Maciço São Sebastião, com uma idade média de $84,8 \pm 0,6$ (2σ) Ma e três para o Maciço Serraria, com média em $85,1 \pm 0,4$ Ma. Uma fração isolada de baddeleyíta deste último, datada pela primeira vez com sucesso no CPGeo-USP, resultou em $84,14 \pm 0,96$ Ma. Estes valores indicam idades de cristalização de ca. 85 Ma para as rochas alcalinas félsicas da Ilha. Idades muito similares às idades K/Ar prévias em biotita de $84,5 \pm 3,36$ para o *stock* Serraria e de $81,4 \pm 5,5$ para o *stock* de São Sebastião.

Abstract

Petrography and geochronology U/Pb (TIMS) in alkaline felsic rocks from São Sebastião Island (SP).

There are a great number of geochronological determinations available for alkaline massifs of the Serra do Mar Province. Although Rb/Sr and Ar/Ar data have been obtained more recently, the great majority of data are composed by K/Ar determinations, which are questionable when confronted with the more recent data. An important part of the Serra do Mar alkaline province is formed by supersaturated magmas or nearly saturated magmas with zircon and baddeleyite as accessory minerals. These two minerals are exceptional geochronometers for determining precise magmatic crystallization ages using U/Pb systematics. These facts and the excellent controls in Centro de pesquisas geocronológicas (CPGeo – USP) laboratories, with low Pb contamination, allow the application of high precision method to determine crystallization ages in young alkaline rocks from this province of northern coast of São Paulo. The selected samples are massive, leucocratic alkali feldspar syenites. The main mineralogical constituent is mesoperthite, accompanied by some quartz, clinopyroxene (hedenbergite), amphiboles (Ca and Ca-Na), olivine (fayalite-São Sebastião stock) and biotite (Serraria stock). The accessory phases are apatite, titanite, opaque minerals, zircon and baddeleyite (Serraria). Five concordant fractions of zircon crystals were obtained for the São Sebastião stock, with a mean age of $84,8 \pm 0,6 \text{ Ma} (2\sigma)$, and three for Serraria stock, with an mean age of $85,1 \pm 0,4 \text{ Ma}$. A unique baddeleyite fraction was dated for the first time in the CPGeo-USP, providing an age of $84,14 \pm 0,96$ for Serraria stock. These values point to an age of circa 85Ma for the crystallization age of felsic alkaline rocks of São Sebastião Island, very close to the K/Ar ages obtained in biotite for the Serraria stock ($84,5 \pm 3,36 \text{ Ma}$) and the for São Sebastião stock. ($81,4 \pm 5,5 \text{ Ma}$).

1.0 INTRODUÇÃO

Existe na literatura uma quantidade significativa de dados geocronológicos, particularmente obtidos com a sistemática K/Ar em concentrados minerais e/ou rocha total, para as rochas alcalinas mesozóicas da Província Alcalina Serra do Mar Norte (Sonoki & Garda, 1988).

Estes dados permitem reconhecer os traços geocronológicos gerais dos eventos magmáticos na província, entretanto o valor interpretativo de diversos deles têm sido questionados recentemente (e.g., Ulbrich *et al.*, 2002). Atualmente, para a elaboração de modelos petrogenéticos e geodinâmicos mais adequados, idades absolutas mais precisas mostram-se necessárias e diversos esforços têm sido feitos no sentido de se obter idades absolutas pelos métodos Rb/Sr e particularmente Ar/Ar, que resulta em determinações muito precisas (e.g., Enrich, 2005).

Os resultados K/Ar e Ar/Ar referem-se às idades de resfriamento das rochas ígneas, ou seja, indicam a idade em que a temperatura do sistema tornou-se inferior às temperaturas de fechamento do sistema isotópico considerado, em geral biotita e/ou anfibólio (e.g. Dickin, 1997). Naturalmente, esta idade se aproxima muito da idade real de cristalização magmática no caso de intrusões rasas e jovens, que não foram afetadas por eventos térmicos posteriores significativos. Neste sentido, determinações geocronológicas através de sistemáticas que resultem em idades precisas de cristalização são muito desejáveis já que, além de definir melhor a idade real de cristalização dos magmas, permite, juntamente com dados K/Ar e Ar/Ar, avaliar a história de resfriamento dos corpos magmáticos.

A exemplo de diversas outras ocorrências de rochas alcalinas da Província Alcalina Serra do Mar (Almeida, 1983, Enrich *et al.*, 2005), na Ilha de São Sebastião associam-se variedades de rochas alcalinas félsicas supersaturadas e insaturadas em sílica. Nas rochas supersaturadas ou próximas à saturação em sílica como é o caso de parte dos Maciços São Sebastião (Augusto, 2003) e Serraria (Lima, 2001), zircão é um mineral acessório tipicamente presente. Por outro lado, baddeleyita (ZrO_2) é um acessório potencial nas rochas saturadas ou insaturadas em sílica, preferencialmente de caráter não agpaítico.

A presença de zircão e potencialmente baddeleyíta, aliada à otimização das condições analíticas do CPGeo, que tem se refletido nos últimos anos em teores de Pb dos "brancos" analíticos muito baixos, incentivam a aplicação da sistemática U/Pb em zircão e baddeleyíta pelo método convencional (TIMS). O sucesso deste empreendimento abre perspectivas muito interessantes para a aplicação de um método alternativo de datação das rochas alcalinas jovens, que além da alta precisão, resultam, potencialmente, em idades relacionadas diretamente ao evento de cristalização magmática.

2.0 OBJETIVOS

O objetivo principal proposto para este Trabalho de Formatura é a aplicação pioneira do método U/Pb convencional (TIMS, *espectrometria de massa por ionização termal*) em zircão e/ou baddeleyíta para a datação do evento de cristalização magmática que originou rochas alcalinas félsicas jovens, mesozóicas. Para tanto foram selecionadas amostras representativas de sienitos supersaturados dos maciços de São Sebastião e Serraria, da Ilha de São Sebastião (*Ilhabela*), uma das ocorrências mais expressivas do magmatismo alcalino da Província Serra do Mar no litoral norte do Estado de São Paulo.

Adicionalmente, apresentar-se-ão as principais características petrográficas das amostras selecionadas para o estudo geocronológico e os resultados obtidos serão comparados com os dados geocronológicos disponíveis para as ocorrências alcalinas da província na região litorânea do Estado de São Paulo.

3.0 TRABALHOS ANTERIORES

3.1 Contexto geológico regional

As rochas encaixantes presente na região são formadas por rochas metamórficas e ígneas de natureza granítica pertencentes ao Complexo Costeiro (Hasui *et al*, 1981).

As rochas metamórficas são compostas de gnaisses e migmatitos, bandados, de granulação média, ricos em porfiroclastos e porfiroblastos de feldspato.

Os migmatitos são caracterizados por texturas estromáticas, com mesossoma gnáissico, leucossoma granítico e melanossoma formados por bandas centimétricas de minerais máficos.

Distinguem-se ainda nas rochas encaixantes da região piroxênios granulitos, granulitos quartzo feldspáticos, kinzigitos, charnokitos e rochas granito-gnáissicas a hiperstênio incluindo anfibolitos e serpentinitos localmente migmatizados. Ocorrências isoladas de metagabros, metadioritos e quartzo-dioritos e ortoanfibolitos podem ser identificadas no Planalto de Juqueriquerê (IPT, 1981).

Rochas intrusivas básicas ocorrem cortando as encaixantes da região na forma de diques de composição ácida a intermediária (Garda, 2001) e são contemporâneas ao magmatismo da Bacia do Paraná (137 -127 Ma) (Turner *et al*, 1994).

O magmatismo posterior na região é representado pelos corpos alcalinos do litoral norte representados pelas ocorrências nas Ilhas de São Sebastião (Freitas, 1944, 1947; Lima, 2001; Augusto, 2003), Búzios (Björnberg & Ellert, 1955; Alves, 1996), Vitória (Motoki, 1986) e Monte de Trigo (Enrich, 2000; 2005), onde afloram nefelina sienitos, álcali feldspato sienitos, álcali feldspatos sienitos com nefelina (pulaskitos), nefelina gabros (teralitos), nefelina monzogabros/nefelina monzosienitos (essexitos), álcali feldspatos sienitos com quartzo (nordmarkitos) e fonólitos (tinguaítos) que são cortados por diversos e numerosos diques não individualizados, representantes da terceira fase de magmatismo, na região, com variedades de microsienitos, traquitos, lamprófiros picríticos, camptonitos, monchiquitos, biotita lamprófiros, tefritos e raros alnöitos (Garda, 2001).

As demais unidades são representadas, em geral, por depósitos neogênicos, formados por terrenos arenosos praias, depósitos flúvio-marinhos e depósitos de mangue além de aluviões.

3.2 Informações geocronológicas

Os dados geocronológicos disponíveis para a Ilha de São Sebastião (Hennies & Hasui, 1968; Amaral *et al.*, 1966) e adjacências somam 24 determinações K/Ar em minerais ou em rocha total de rochas sieníticas, gábricas e diques diversos (lamprófiros, fonólitos, andesitos e tinguaítos).

As idades K/Ar obtidas em piroxênios, feldspatos alcalinos, plagioclásios, anfibólios e biotitas ou em rocha total foram compiladas por Sonoki & Garda (1988) a partir dos trabalhos de Hennies & Hasui (1968), Amaral *et al.* (1966), Motoki (1986), Alves (1988) e foram recalculadas considerando as constantes de decaimento de Steiger & Jaeger (1977). Os resultados obtidos apontam um intervalo muito amplo, entre ca. 50 e 100 Ma, os quais levaram diversos autores a definir, por tentativa, diferentes fases para

este magmatismo (e.g., fases inicial, representada por diques, principal (rochas plutônicas), e tardia (rochas de diques), ver detalhes em Amaral *et al.*, 1966 e Sonoki & Garda, 1988).

A integração dos dados existentes e avaliação das médias para as idades K/Ar sugerem que, de uma forma geral, as rochas alcalinas se colocaram regionalmente entre 76,4 e 117 Ma. Na Ilha de São Sebastião, as rochas sieníticas, relacionadas à fase magmática principal, teriam idades entre 80,7 e 86,2 Ma (considerando os erros das determinações isotópicas), enquanto que as rochas gábricas estratiformes associadas teriam se colocado entre 73,5 e 102,5 Ma, sendo grosso modo, contemporâneas, e, finalmente, a última fase do magmatismo, representada essencialmente pelos diques, teria ocorrido entre 76,4 e 81,8 Ma (Amaral *et al.*, 1966; Hennies & Hasui, 1968; Sonoki & Garda, 1988; Alves, 1966 e Motoki, 1986).

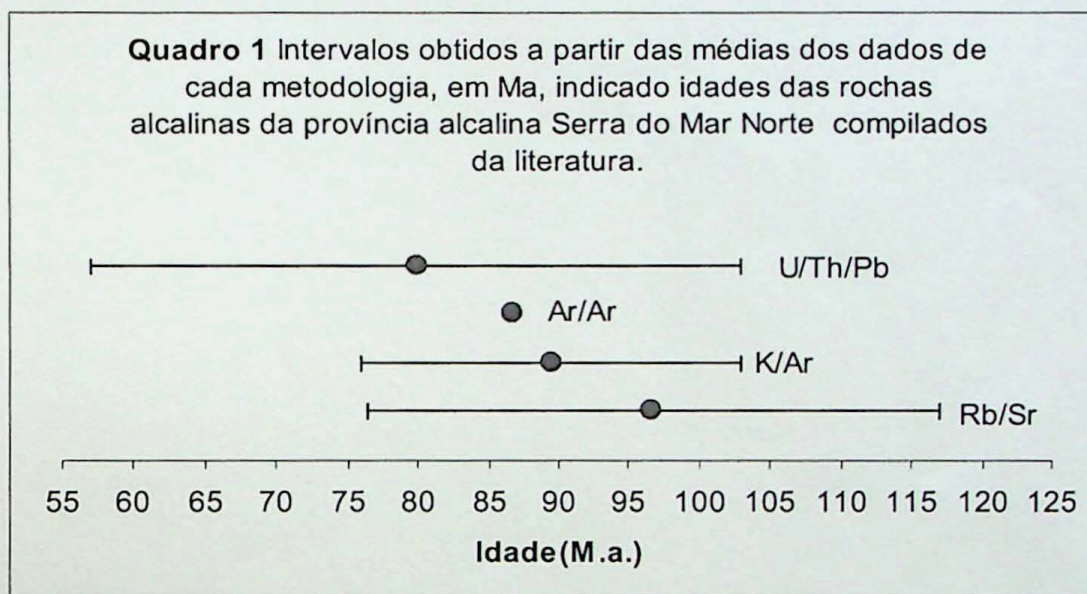
Determinações pela sistemática Rb/Sr obtidas em rocha total ou concentrados minerais e rocha total das rochas alcalinas da província estão disponíveis na região litorânea apenas para as Ilhas de Búzios, Vitória e São Sebastião. No primeiro caso uma isócrona de referência obtida por Alves (1996) aponta para uma idade de cristalização 78 ± 2 Ma, com razão inicial $[r_i = (^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0]$ $0,7050 \pm 0,0001$. No caso da Ilha Vitória, uma isócrona obtida para um álcali-feldspato sienito resultou em uma idade de 101 ± 2 Ma, com $r_i = 0,7049 \pm 0,002$, Motoki (1986). Montes-Lauar *et al.* (1995) apresentaram por sua vez uma isócrona de referências para rochas sieníticas da Ilha de São Sebastião, com 81 ± 3 Ma. Os dados destes últimos autores, selecionados e recalculados com o *software* IsoPlot (Ludwig, 2003), resultaram em uma idade de referência de 87 ± 11 Ma e $r_i = 0,704 \pm 0,0002$.

Determinações Ar/Ar, de alta precisão, para rochas alcalinas litorâneas foram disponibilizadas apenas recentemente por Enrich (2005). Compreendem 07 determinações obtidas em concentrados de biotita e/ou anfibólio para rochas alcalinas (olivina gabro com nefelina, teralito, nefelina sienito, álcali-feldspato sienito com nefelina, biotita lamprófiro e fonólito peralcalino) da Ilha Monte de Trigo. Os resultados indicaram valores de $86,5 \pm 0,5$ Ma (idade platô) e $86,7 \pm 0,4$ (idades integradas) para as rochas gábricas, $86,46 \pm 0,4$ Ma e $86,6 \pm 0,4$ Ma, respectivamente, para as rochas sieníticas, $87,2 \pm 0,5$ Ma e $86,9 \pm 0,4$ Ma (biotita lamprófiro) e $84,4 \pm 1$ Ma e 86 ± 1 Ma (fonólito peralcalino) e indicam intervalos de tempo muito reduzidos, possivelmente inferiores aos erros analíticos, entre as diferentes manifestações magmáticas.

No caso dos álcali-feldspato sienitos da Maciço São Sebastião da Ilha de São Sebastião existem ainda determinações geocronológicas pelo método químico Th-U-Pb_T

com microsonda eletrônica em cristais de torita (Augusto, 2003). Os resultados indicaram um intervalo entre 75 e 85 Ma; entretanto, devido às características deste método, particularmente os limites de detecção do Pb, os erros analíticos associados (ca. 15-18 Ma) são muito elevados.

O **Quadro 1** sintetiza os intervalos de idades absolutas, para a fase principal do magmatismo, existentes para a Ilha de São Sebastião e adjacências obtidas por metodologias diversas.



4.0 MATERIAIS E MÉTODOS

As atividades desenvolvidas para este trabalho de formatura incluíram trabalhos de campo, de laboratório e de gabinete.

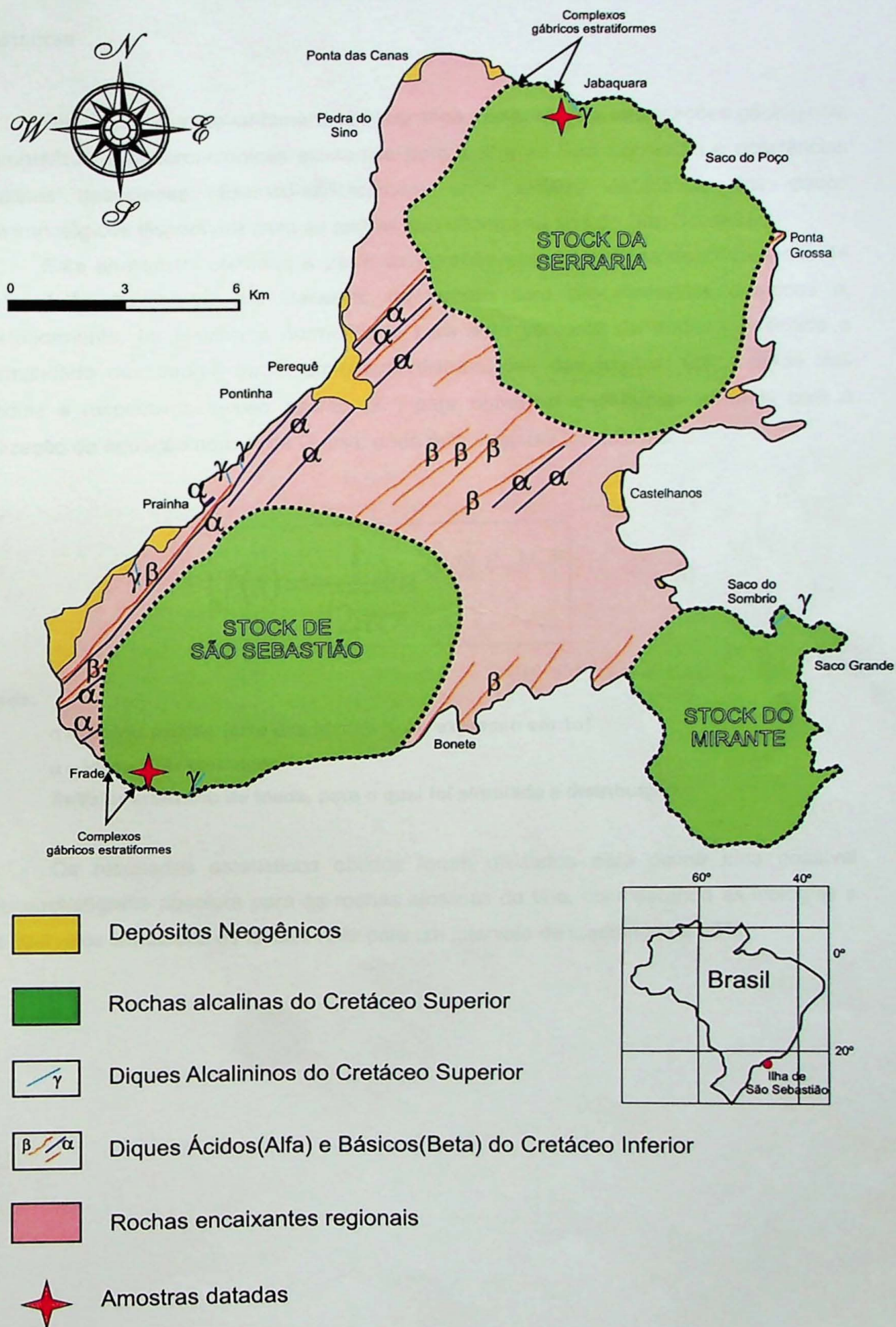
4.1 Trabalhos de campo

Os trabalhos de campo incluíram três etapas de curta duração, realizadas entre os meses de Março e Maio de 2006. Nestas etapas foram realizados levantamentos gerais de campo, os quais incluíram principalmente descrições de afloramentos e coleta de amostras típicas das variedades de sienitos e de rochas gábricas que afloram nas regiões dos extremos Norte (Maciço Serraria) e Sul (Maciço São Sebastião) da Ilha de São Sebastião (cf. definições no item 5.0 Geologia Local).

Durante os trabalhos de campo foram coletadas diversas amostras de rochas sieníticas e gábricas, com pesos variando entre 5 e 7 kg. Dentre as amostras coletadas foram selecionadas duas amostras de sienitos para estudos petrográficos e geocronológicos detalhados. A localização das amostras selecionadas está indicada no mapa geológico esquemático da Ilha de São Sebastião, representado na **Figura 1**.



Figura 1. Mapa geológico esquemático da Ilha de São Sebastião com localização dos pontos onde foram coletadas amostras para obtenção de idades U/Pb, modificado de Hennies & Hasui, 1977.



4.2 Levantamento bibliográfico e análise dos dados geocronológicos existentes

Foi efetuado um levantamento bibliográfico das principais informações geológicas, petrográficas e geocronológicas existentes para a Ilha de São Sebastião e ocorrências alcalinas associadas. Efetuou-se também uma análise estatística dos dados geocronológicos disponíveis para as rochas que afloram na Ilha de São Sebastião.

Esta análise foi efetuada a partir da geração das estatísticas descritivas dos 14 dados K/Ar disponíveis em literatura, de acordo com procedimentos clássicos e, posteriormente, foi testada a normalidade para este conjunto de dados. Verificada a normalidade dos dados, foram simuladas distribuições das idades, utilizando-se das médias e respectivos desvio padrão (2σ) para obtenção das curvas normais com a utilização da equação normal de Gauss, dada pela seguinte formulação:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(1/2)[(X-\mu)/\sigma]^2} \quad (I)$$

Onde:

σ = Desvio padrão (erro das idades K-Ar, expresso em 1σ)

μ = Idade K/Ar calculada

X = Valor arbitrário de idade, para o qual foi simulada a distribuição.

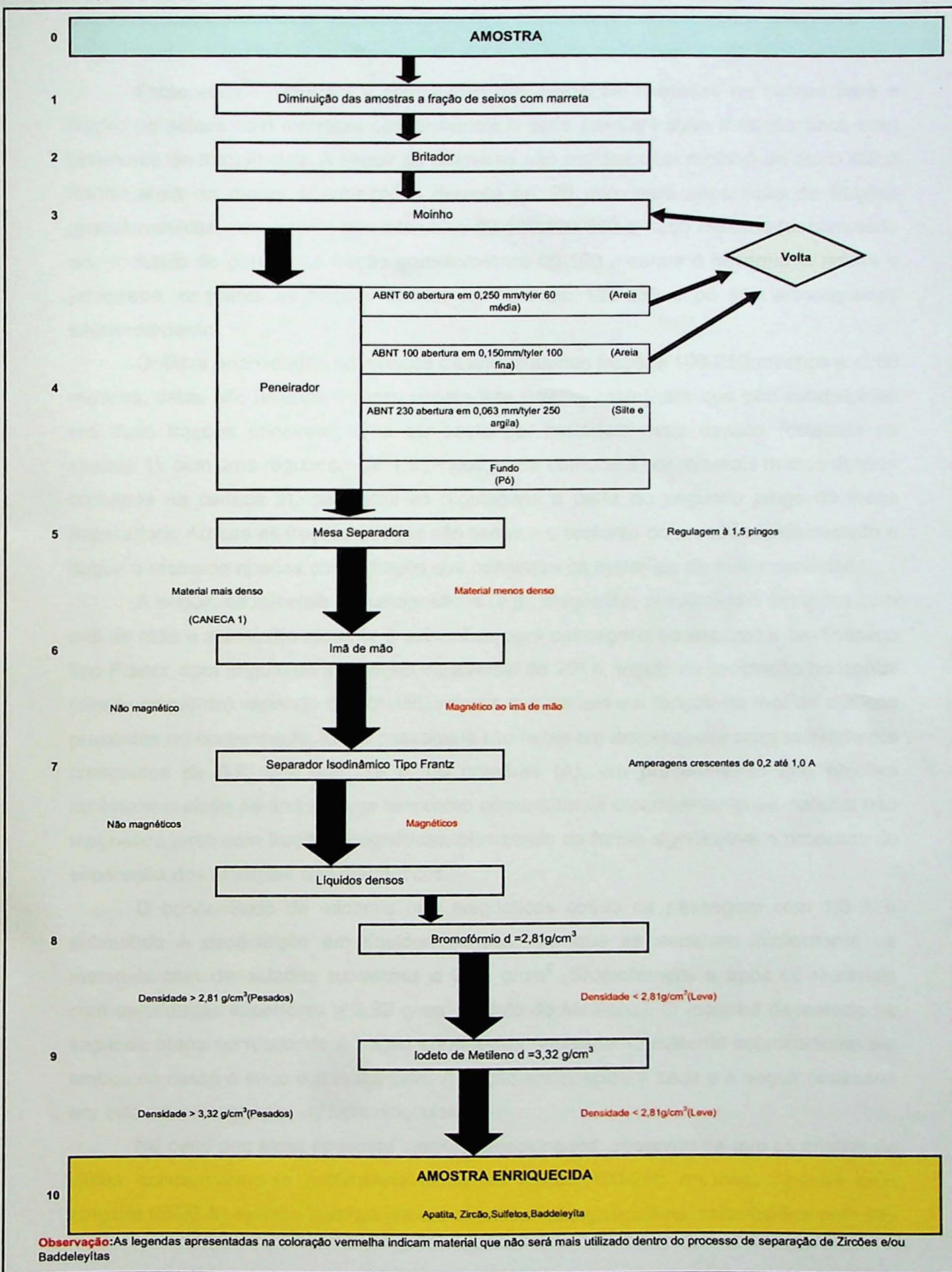
Os resultados estatísticos obtidos foram utilizados para definir uma possível cronoestratigrafia absoluta para as rochas alcalinas da Ilha, considerando as litologias e os intervalos simulados de idades K/Ar para um intervalo de confiança de 95%.

4.3 Preparação e seleção de amostras para análises geocronológicas

A preparação de amostras para análise geocronológica foi efetuada nos laboratórios do Centro de Pesquisas Geocronológicas do Instituto de Geociências (CPGeo-USP). No Laboratório de preparação de amostras do CPGeo, foram preparadas rochas representativas dos álcali feldspatos sienitos dos maciços de São Sebastião e Serraria. Diversas amostras de rochas sieníticas e gábricas foram preparadas e entre estas duas amostras, representativas de álcali-feldspato sienitos, representativas dos Maciços São Sebastião e Serraria, respectivamente, foram selecionadas por se mostrarem mais promissoras durante a análise dos concentrados obtidos para determinações geocronológicas U/Pb. A localização destas amostras está representada na **Figura 2**.

Os procedimentos seguidos para a obtenção dos concentrados correspondem as recomendações indicadas pelo Laboratório de Preparação de Amostras do CPGeo-USP e podem ser subdivididas em cerca de dez etapas principais, conforme descritas a seguir e sintetizadas pelo fluxograma apresentado no **Quadro 2**.

Quadro 2 Fluxograma ilustrando os procedimentos para a obtenção de concentrados (Laboratório de preparação de amostras -CPGeo)



Estas etapas incluíram a cominuição das amostras coletadas no campo para a fração de seixos com marretas convencionais e após para a fração a fração brita, com britadores de mandíbulas. A seguir as amostras são moídas com moinho de disco até a fração areia ou menor e peneiradas durante ca. 20 min. para separação de frações granulométricas, usualmente nos intervalos 60-100, 100-250 e <250 *meshes* (denominada pó, ou fundo de panela). A fração granulométrica 60-100 *meshes* é novamente moída e peneirada, enquanto as frações obtidas no intervalo 100-250 e pó são armazenadas separadamente.

Obtidas quantidades adequadas de amostras nas frações 100-250 *meshes* e <250 *meshes*, estas são levadas à mesa separadora (*Wilfley table*), em que são subdivididas em duas frações principais: uma composta por materiais mais densos (coletada na caneca 1), com uma regularidade de 1,5 *pingos*, outra composta por minerais menos densos (coletada na caneca 2), que inclui as regulagens a partir do segundo *pingo* da mesa separadora. Ambas as frações obtidas são secas e o restante do procedimento descrito a seguir é efetuado apenas com a fração que concentra os materiais de maior densidade.

A seguir, os minerais ferromagnéticos (e.g., magnetita, pirrotita) são extraídos com imã de mão e a amostra restante é submetida para passagens ao separador isodinâmico tipo *Frantz*, com ângulo de inclinação transversal de 20° e ângulo de inclinação horizontal (direita-esquerda) variando de 10°-15°, valores que variam em função do teor de máficos presentes no concentrado. Estas passagens são feitas em amperagens progressivamente crescentes de 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 e 1,0 ampères (A), um procedimento que objetiva minimizar o efeito de arrasto, que tem como consequência o carreamento de material não magnético junto com frações magnéticas, otimizando de forma significativa o processo de separação dos materiais não magnéticos.

O concentrado de minerais não magnéticos obtido na passagem com 1,0 A é submetido à decantação em líquidos densos, em que se separam inicialmente os materiais com densidades superiores a 2,81 g/cm³ (Bromofórmio) e após os materiais com densidades superiores a 3,32 g/cm³ (Iodeto de Metileno). O material decantado na segunda etapa corresponde à fração enriquecida desejada. O material sobrenadante em ambos os casos é seco e armazenado. A fração enriquecida é seca e a seguir analisada em estereomicroscópio, ou lupa binocular.

No caso dos álcali-feldspato sienitos selecionados, observou-se que os cristais de zircão concentraram-se preferencialmente na fração 100-250 *meshes*. Apenas uma amostra (IBLE-S) revelou baddeleyíta em quantidades significativas, reconhecida pelo seu

hábito, tipicamente em “espada”, com estrias longitudinais e cor tipicamente castanha escura a amarronzada, e a maior concentração deste mineral foi observada na fração pó.

Posteriormente foi realizado um refinamento com *split* dos concentrados obtidos, a partir do qual foram analisadas em maior detalhe as diferentes frações dos cristais de zircão e baddeleyitas presentes. Neste procedimento, os concentrados são submetidos a uma separação eletromagnética refinada. O separador isodinâmico tipo *Frantz* é regulado com amperagem de 1,5 A, fazendo-se o ângulo de inclinação transversal decrescer progressivamente desde +6° até 0°, com gradação de 2° em 2°, a partir de 0°, o ângulo é decrescido de grau em grau para a obtenção de diferentes frações não-magnéticas (denominadas -1°, -2°, -3°, ..., NM, etc.). Este procedimento possibilita a separação de diferentes frações com características eletromagnéticas distintas (e.g., cristais de zircão com quantidades menores de ferro, que tendem a perder menos chumbo, cf. Silver & Deutsch, 1963).

A etapa seguinte corresponde ao processo final de purificação das diferentes frações obtidas, particularmente as não-magnéticas, que é a catação de cristais previamente imersos em álcool, os quais podem ser separados de acordo com a sua tipologia morfológica em lupa binocular. Para este procedimento foi utilizada a lupa Olympus SZH 10 *Research stereo* com polarizadores de luz e sistema para imageamento digital.

As frações obtidas para as duas amostras de rochas sieníticas preparadas (IBLE-18 e IBLE-S) foram analisadas em detalhe para a determinação das frações que continham zircões e/ou baddeleyitas com características propícias para obtenção de idades isotópicas (cristais límpidos, bem formados, pouco fraturados, livres de inclusões, etc.). A análise em lupa mostrou que frações de ambas as amostras selecionadas apresentavam cristais de zircão e que a amostra IBLE-S apresentava adicionalmente baddeleyita.

A escolha pela baddeleyita ocorreu, pois o mineral possui características bastante semelhantes ao zircão, em relação a procedimentos de preparação de amostras, e por usualmente apresentar resultados 98 a 100% concordantes, além de reter quase todo o chumbo radiogênico ao longo do tempo geológico (Krogh *et al*, 1984).

A seguir, os cristais de zircão e de baddeleyita foram catados nas frações com menor susceptibilidade magnética, que apresentavam o maior número de cristais com dimensões, colorações e características morfológicas, fraturas, inclusões, zonamentos similares. Em relação à baddeleyita, mineral de ocorrência quantitativamente muito subordinada, foi observada maior concentração de cristais nas frações 100-250 meshes e

pó de susceptibilidades magnéticas M-3 e M-4, as quais foram então utilizadas. A premissa natural adotada no procedimento de catação é a de que cristais com as mesmas características fazem parte de uma mesma população e que, portanto, cristalizaram contemporaneamente.

Após a catação e separação das diferentes populações foi estimada a massa total dos cristais selecionados em cada fração a partir da relação:

$$m = d \times v \quad (II)$$

Onde:

d = densidade média do mineral (zircão $\approx 4,4 - 4,8$ g/cm³, baddeleyíta $\approx 5,5 - 6,0$ g/cm³).

v = volume, avaliado em lupa e/ou a partir das imagens digitais, considerando estimativas para o comprimento, a largura e a espessura média dos cristais e o seu número.

m = massa total de uma determinada fração

Por se tratarem de rochas relativamente jovens a massa de cada uma das frações consideradas foi relativamente elevada quando comparada ao normalmente utilizado para rochas neoproterozóicas. Assim, no caso da amostra IBLE-18 foram separadas seis frações de cristais de zircão com massas estimadas entre 43 e 80 μ g; já no caso da amostra IBLE-S foram obtidas quatro frações de zircão, com massas entre 41 e 54 μ g. As quantidades muito reduzidas de baddeleyíta presentes nesta última amostra permitiram separar uma única fração deste mineral, com aproximadamente 78 μ g.

4.4 Ataque Químico

Os procedimentos para o ataque químico das frações purificadas de zircão e baddeleyíta são sumarizadas no **Quadro 3** e brevemente descritas a seguir. Correspondem aos procedimentos de rotina adotados nos laboratórios do CPGeo-USP (Basei *et al*, 1995).

As frações purificadas de zircão e baddeleyíta foram a seguir individualmente lavadas em HCl para extração de impurezas superficiais e de Pb ambiental, secas e submetidas ao ataque químico com HF e HNO₃ em microbombas de teflon®. À solução ácida é adicionado o *spike* de ²⁰⁵Pb e as microbombas são mantidas em estufa sob 200°C

por três dias, para a diluição dos cristais. A seguir, a solução é transferida para um saviilex de 7ml, evaporada a seca e retomada com 2 gotas (ca. 80 μ l) de HCl (3N).

A solução resultante é levada para colunas de troca iônica previamente lavadas (coluna de resina aniônica *Eichron* 1 x 8.200 à 400 *mesh*) para a separação e purificação de U e Pb, através da lixiviação dos outros elementos químicos sob diferentes concentrações de ácido clorídrico. O U e o Pb são coletados com 8 gotas de água MilliQ®.

A solução final resultante pode ser agora depositada em filamentos de Re, para posterior leitura no espectrômetro de massa, para análise das razões isotópicas.

Quadro 3 Fluxograma ilustrando os procedimentos de ataque químico para preparação de amostras para espectrometria de massa(Laboratórios U/Pb do CPGeo)

ETAPA	OBJETIVO
0 Amostra Enriquecida	Obtida após o procedimento de <i>split</i> para a obtenção frações separadas em diferentes susceptibilidades magnéticas
1 Catação	Catação manual criteriosa para a separação de cristais de zircão e baddeleyitas
2 Separação de populações de zircão com características distintas	Seleção de populações com grau de limpidez, grau de metamictização e morfologia semelhantes/ mais apropriadas.
3 Pesagem dos cristais das populações de zircões/badeleyitas	Estimar o peso das frações através da relação entre volume e densidade
4 Abrasão Química	Lavagem das frações com ácidos para a retirada de Pb comum(laboratório/amostra)
5 Ataque químico e adição de spike ²⁰⁵	Com ácido fluorídrico(HF) e ácido nítrico em microbombas de Teflon®, para dissolução dos cristais
6 Dissolução de cristais	Estufa por 3 dias a 200°C, dissolução dos cristais
7 Transferência da solução de cristais dissolvidos	Em savillex de 7 ml, para armazenamento em continuidade de etapas de analíticas
8 Evaporação I	Evaporação de ácido fluorídrico à seco
9 Adição de HCl(6N)	Com aquecimento em chapa por 24h à 60-80°C
10 Evaporação II	Evaporação da solução à seco
11 Adição de HCl(3N)	Retomada para passagem em colunas de troca iônica
12 Colunas de troca iônica	Separação e purificação de U e Pb
13 Coleta de Urânio(U) e Chumbo(Pb)	Solução coletada com 10 ml de água MilliQ®
14 Deposição da solução em filamentos de Rênio	Para leitura em espectrômetro de massa
16	AMOSTRA PREPARADA PARA ESPECTROMETRIA DE MASSA

4.5 Espectrometria de massa

As análises por espectrometria de massa foram realizadas com espectrômetro *Finnigan*, modelo MAT 262, com altíssima precisão (Sato & Kawashita, 2002).

No espectrômetro foi realizada a termoionização das amostras previamente enriquecidas em U e Pb nas colunas de troca catiônica e as leituras quantitativas das respectivas razões isotópicas.

O tratamento e a análise dos dados isotópicos obtidos para as frações selecionadas de zircão e baddeleyita foram efetuados com auxílio dos *softwares* PB DAT (Ludwig, 1993) e IsoPlot (Ludwig, 2003).

4.6 Análise Petrográfica

As análises petrográficas foram efetuadas no Laboratório de Microscopia Petrográfica do Departamento de Mineralogia e Geotectônica.

A partir de seções delgadas e/ou polidas para amostras típicas de álcali-feldspato sienitos com quartzo, seções mais típicas foram descritas ao microscópio petrográfico, utilizando-se das técnicas clássicas (Mackenzie *et al.*, 1995). As descrições foram efetuadas em microscópio Olympus BX40 no Laboratório de Microscopia Óptica e foi realizado um levantamento fotográfico com utilização de Câmara Digital Olympus C5060-ADU e utilização de Microscópio Olympus BX50, para o registro das principais características texturais, petrográficas e descrição da morfologia e contexto dos cristais de zircão presentes na rocha.

A caracterização petrográfica de detalhe incluiu a determinação modal das amostras estudadas com microscópio Leitz-Wetzlar Ortholux com *charriot* acoplado e a utilização de contador de pontos. Foram contados, em média, 590 pontos por amostra.

4.7 Imageamento de elétrons retro-espalhados (BSE) e espectroscopia de dispersão de energia (EDS).

Foram obtidas imagens de elétrons retro-espalhados em modos composicional (BEI-COMPO) e topográfico e análises qualitativas por espectrometria de dispersão de energia (EDS) no Laboratório de Microsonda Eletrônica do Departamento de Mineralogia

e Geotectônica. O equipamento utilizado é uma microsonda eletrônica JEOL JXA-8600S, com 01 espectrômetro ED e sistema de automação Noran. Os trabalhos efetuados objetivaram principalmente a caracterização de eventuais zonamentos nos cristais de zircão e baddeleyíta, bem como a caracterização desta última através de EDS.

As imagens e as determinações EDS foram realizadas em seções delgadas polidas e em montagens de grãos em lâmina no caso da baddeleyíta, metalizadas com película de carbono em evaporador AUTO 306 da Edwards.

5.0 GEOLOGIA LOCAL

As ocorrências alcalinas da Província Serra do mar (Almeida, 1983) são restritas as ilhas próximas, a costa Atlântica e o maciço de Ponte Nova, todas elas no estado de São Paulo (Riccomini *et al.*, 2005). A província é dividida em três setores (Norte, Central e Sul) correspondentes às áreas de maior soerguimento no durante o cenozóico ao longo da costa continental do sudeste do Brasil (Riccomini *et al.*, 2005).

O magmatismo alcalino da região sudeste do Brasil é correlacionado aos eventos de ativação tectono-magmáticos da plataforma Sul Americana (Almeida, 1983) e evolução da margem continental brasileira (Ulbrich & Gomes, 1981).

Dentro deste contexto a Ilha de São Sebastião, no litoral norte do Estado de São Paulo, é parte da plataforma do sudeste do Brasil. É resultado da abertura do oceano Atlântico Sul com início há entre de ~131 e 126 Ma. Apresenta uma área de 337 km² e é composta por três maciços, ou “stocks” de rochas alcalinas, separados entre si por septos de rochas encaixantes regionais e denominados Serraria, São Sebastião e Mirante (ver **Figura 2**).

As rochas encaixantes que afloram na ilha incluem rochas metamórficas, migmatíticas e ígneas de natureza granítica do Complexo Litorâneo (Hasui, 1981). As rochas metamórficas são compostas de gnaisses e migmatitos, bandados, de granulação média, ricos em porfiroclastos e porfiroblastos de feldspato. Apresentam foliação milonítica marcada pela isorientação de micas e anfibólios. Os migmatitos são caracterizados por texturas estromáticas, com mesossoma gnáissico, leucossoma granítico e melanossoma formado por bandas centimétricas de minerais máficos.

Em alguns locais ocorrem grandes intercalações de rochas graníticas, de granulação média, com marcante textura protomilonítica a milonítica. A foliação dessas

rochas apresenta orientação geral em torno de N50E com mergulhos médios a altos para NW.

Ocorrem ainda diques de rochas ígneas máfico-ultramáficas cortando as rochas do Complexo Litorâneo. Esses diques representam uma extensão dos enxames de diques costeiros do sudeste do Brasil (Tomba & Sato, 2006), que são relacionados aos eventos tectono-magmáticos que afetaram a plataforma Sul-americana a partir do eocretáceo. (Almeida, 1998). A composição química dos diques varia de básica a intermediária e alcalina (Garda & Garda, 2001).

Determinações radiométricas K-Ar indicaram idades situadas no intervalo eocretáceo para as intrusões de afinidades básica a intermediária e neocretácea para os diques de afinidade alcalina. Os diques de afinidade básica a intermediária são formados por basaltos e diabásios com textura afanítica a fanerítica fina com orientação média em torno de N50E. Os diques alcalinos são constituídos genericamente por lamprófios com textura microporfirítica, ricos em ocelos preenchidos por carbonato e/ou sílica com atitudes variando entre N55-70E (Tomba & Sato, 2006).

No extremo norte da ilha, nas localidades da Ponta das Canas e Pacuíba afloram rochas gábricas dos Complexos Gábricos Estratiformes, essas ocorrências foram anteriormente estudadas por Lima (2000). Augusto (2003) descreve a ocorrência rochas semelhantes na porção sul da ilha, nas proximidades da Praia da Fazenda. Foram também foram identificados gabros na localidade da cachoeira dos Três Tombos. Em geral esses gabros são constituídos por leucogabros, mesogabros de granulação variada com estrutura bandada e aspecto cumulático. Associados a esses litotipos ocorrem também peridotitos, piroxenitos e anortositos de estrutura ora maciça ora cumulática (Lima, 2001).

A textura das rochas gábricas mostra granulação média a grossa e a estrutura bandada é marcada por intercalações cumuláticas com alternância de leitos máficos, constituídos principalmente por piroxênios, e félsicos, constituídos principalmente por plagioclásio. São rochas mesocráticas, com índice de cor variando entre 30 e 35%, com caimento do mergulho sob as rochas dos maciços sieníticos.

Rochas alcalinas félsicas, dominantes na Ilha, constituem três maciços de contornos subcirculares, topograficamente bem marcados, separados por septos da rocha encaixante neoproterozóica e denominados Serraria (ao Norte), São Sebastião (ao Sul) e Mirante (no extremo Sudeste), os quais ocupam juntos ca. 203 km², cerca de 60 % da área total da Ilha. Petrograficamente estão representadas por variedades de álcali-feldspato sienitos supersaturados (com quartzo modal) a sienitos saturados e finalmente

tipicamente insaturados (nefelina sienitos), com estruturas maciças ou orientadas, chegando a traquitóides, e texturas inequigranulares a porfíricas com granulações médias a grossas.

5.1 Avaliação das informações geocronológicas da região

Encontram-se disponíveis na literatura 14 determinações geocronológicas efetuadas com o método K-Ar em minerais e rochas, as quais foram compiladas e recalculadas por Sonoki & Garda (1988). Dez determinações foram obtidas para amostras da região Sul da Ilha, incluindo o Maciço Serraria, do corpo gábrico e diques associados, quatro para o Maciço Mirante e rochas associadas e apenas uma para o Maciço São Sebastião, o **Quadro 4** apresenta as idades K/Ar compiladas de Sonoki & Garda (1988) para as rochas da Ilha de São Sebastião.

Quadro 4 Resultados de datações K-Ar, presentes na bibliografia, para as rochas alcalinas da Ilha de São Sebastião

N°	Localização		N° de campo	N° de Laboratório	Rocha	Material	K (%)	⁴⁰ Ar (*10 ⁻⁶ cc SPT/g)	⁴⁰ Ar Atm (%)	Idade magmática (Ma)	
	Latitude	Longitude									
1*	45°21'	23°46'	UC-624-26	-	Fonólito****	Biotita	7.12	23.1	16.7	81.6	-
2	45°21'	23°46'	ROF-3788	SPK-35	Sienito	Biotita	7.115	24.0	8.1	84.8	2.2
3	45°21'	23°46'	GA-IB-3	SPK-177	Sienito	Biotita	7.102	23.8	6.3	84.2	2.7
4	45°21'	23°46'	GA-IB-3	SPK-178	Sienito	Feldspato Alcalino	5.843	19.1	4.2	82.2	2.9
5	45°21'	23°46'	GA-4	SPK-140	Ne Monzogabro/Ne monzosienito**	Biotita	6.92	24.0	14.8	87.1	5.3
6	45°21'	23°46'	GA-4-IB	SPK-176	Ne Monzogabro/Ne monzosienito**	Feldspato Alcalino	5.306	21.0	5.8	99.0	2.7
7	45°21'	23°46'	GA-4-IB	SPK-505	Ne Monzogabro/Ne monzosienito**	Feldspato Alcalino	5.421	20.5	12.8	94.7	4.4
8***	45°13'	23°54'	IB-241	SPK-1251	Traquilo	Rocha total	4.52	14.1	17.6	78.5	5.5
9***	45°15'	23°45'	IB-217	SPK-1252	Traquilo	Rocha total	4.55	14.02	14.9	77.6	7.8
10***	45°15'	23°45'	IB-215	SPK-1253	Sienito	Biotita	7.11	23.97	18.7	84.7	6.0
11***	45°20'	23°44'	IB-250	SPK-1254	Gabro	Plagioclásio	0.213	0.7470	73.2	88.0	20.3
12***	45°24'	23°52'	IB-77	SPK-1255	Sienito	Biotita	7.32	23.70	18.8	81.4	5.5
13***	45°16'	23°56'	IB-227	SPK-1259	Ne Sienito	Anfibólito	1.19	4.053	40.7	85.6	8.8
14***	45°13'	23°54'	IB-243	SPK-1328	Fonólito*	Rocha total	3.93	12.95	25.5	82.8	6.2

Fonte: Sonoki, I.K. & Garda, G.M. (1988) Idades K-Ar de Rochas alcalinas do Brasil Meridional e Paraguai Oriental: compilação e adaptação às novas constantes de decaimento.

* A amostra nº 1 (UC-624-26) e referida em Amaral et al (1966) e foi coletada por Turner F.J. (7)

** Essexito – Variedade de nefelina monzogabro ou nefelina monzodiorito com títano augita, kaersutita e ou biotita com labradorita, menos álcali feldspato e nefelina. (Le Maitre, 2002)

*** As amostras de número 8 a 14 foram compiladas e adaptadas a partir das contantes de Steiger & Jaeger (1977) do trabalho de Hennes & Hasui (1968) Geocronologia das rochas eruptivas alcalinas da Ilha de São Sebastião, SP.

**** O lingualito é considerado uma variedade hipobassal de fonólito, com feldspato alcalino, nefelina, com ou sem outros foids, biotita e egrina, o que caracteriza a textura lingualítica.

As idades K/Ar são idades de resfriamento, que indicam a época em que a temperatura do sistema isotópico tornou-se inferior à temperatura de fechamento do referido sistema, com valores que decrescem progressivamente do anfibólio para a biotita e finalmente para o feldspato alcalino. Representam, portanto, idades algo mais novas que as idades de cristalização dos magmas. Naturalmente, no caso de rochas relativamente jovens, não submetidas a eventos termais significativos posteriores, e cristalizadas em ambientes mais rasos (e.g. rochas subvulcânicas e plutônicas de baixa profundidade) com resfriamento relativamente rápido, as idades de resfriamento são uma aproximação muito adequada das idades reais de cristalização.

As estatísticas descritivas convencionais foram geradas para o conjunto de 14 dados K/Ar. A média (μ) obtida para o conjunto de todos os dados K-Ar foi de 86,0Ma com desvio padrão (σ) de 3,7Ma. A mediana do conjunto de dados é 84,5Ma, valor próximo à média acima referida (86,0 Ma), indicando baixa influência de valores extremos na média, fornecendo desta forma subsídio para a utilização da média aritmética como medida de boa precisão. O intervalo de confiança (95%) obtido para todas as idades é de 21,4 Ma, o que resulta em valores máximo de 99,0Ma e mínimo de 77,6Ma para as idades.

Considerando-se apenas os valores obtidos para as rochas sieníticas (06 amostras), a idade média calculada é de 83,8Ma, com desvio padrão de 1,1 Ma obtida.

A simulação das distribuições de idades para as rochas da Ilha foi efetuada considerando-se um intervalo entre 70-110Ma, com um incremento progressivo de 4 Ma. Os valores da variável frequência (%) foram calculados através da função densidade da probabilidade normal e os valores simulados, para a confecção de ideogramas, baseados na idade das rochas determinadas pelo método K/Ar. Em todos os casos, o desvio padrão foi assumido como o erro descrito para cada uma das datações (σ). Foram calculados valores de frequências para 13 entre as datações disponíveis na bibliografia.

Os intervalos de confiança para todas as determinações K/Ar existentes na bibliografia, com grau de confiança de 95%, foram calculados para a montagem da cronoestratigrafia absoluta das rochas da ilha de São Sebastião.

Os resultados das simulações das distribuições das idades, para os todas as idades e para as cinco determinações isotópicas K/Ar nos sienitos, são apresentadas nos **Gráficos 1 e 2**.

Gráfico 1 Histograma com a distribuição das idades K/Ar das rochas alcalinas da Ilha de São Sebastião, os picos apresentados indicam respectivamente a 2^a e 3^a fases do magmatismo.

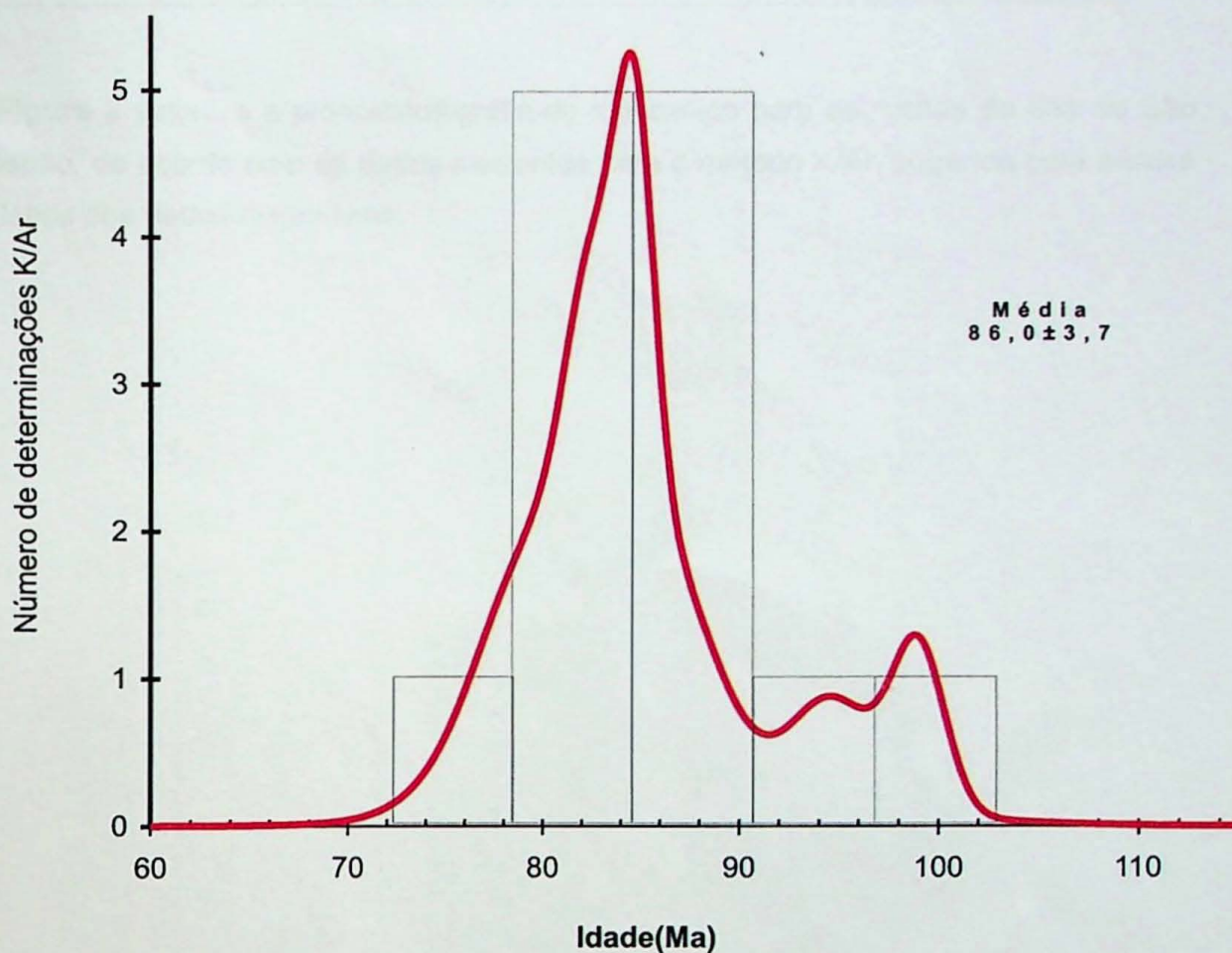
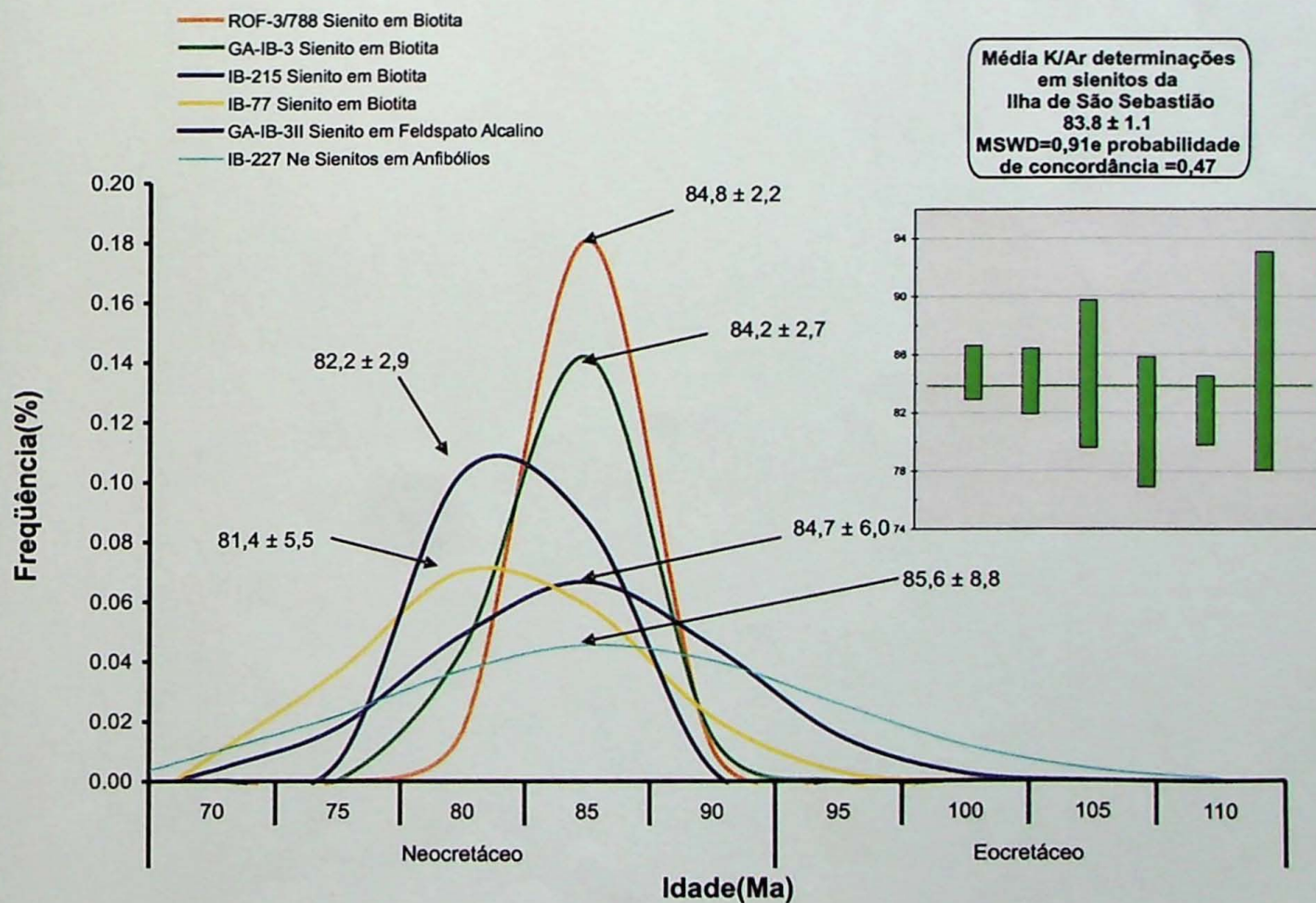


Gráfico 2 Ideograma das idades K/Ar dos sienitos da Ilha de São Sebastião



E a **Figura 2** sintetiza a cronoestratigrafia do mesozóico para as rochas da Ilha de São Sebastião, de acordo com os dados existentes para o método K/Ar, sugerida pela análise estatística dos dados disponíveis.

Figura 2 Ilustração da cronoestratigrafia do mesozóico para as rochas da Ilha de São Sebastião

Ilha de São Sebastião													
Rochas datadas pelo método K-Ar													
EON	ERA	PERÍODO	ESTÁGIO	IDADES	3a. Fase		2a. Fase				1a.Fase		
					Traquitos	Fonolitos	Sienitos	Ne Sienitos	Ne Monzogabros/Ne monzosienitos	Gabros	Bassaltos de composição básica a intermediária		
FANEROZÓICO	MESOZÓICO	CRETÁCEO (135 -65 Ma)	Neo	Maastrichtiano	65.0								
				Campaniano	72.0								
				Santoniano	83								
				Coniaciano	87								
				Turoniano	88								
				Cenomaniano	92								
		Eo	Albiano	96									
			Aptiniano	108									
			Barremiano	113									
			Hauteriviano	117									
			Valanginiano	123									
			Beriansiano	131									
Magmatismo Serra Geral 137 - 127 Ma (Turner,1994)					Intrusões de afinidade básica a intermediária								

Adaptado de International Stratigraphic Chart, UNESCO(2004)

Num Os números discriminados em vermelho indicam a idade de resfriamento dos diferentes tipos litológicos

6.0 PETROGRAFIA

Foram analisadas ao microscópio diversas amostras representativas das rochas sieníticas dos Maciços São Sebastião e Serraria. As descrições apresentadas a seguir referem-se mais especificamente, entretanto, as duas amostras selecionadas (IBLE-18 e IBLE-S, respectivamente) para as determinações geocronológicas. Dados modais são apresentados na **Figura 5** (diagrama QAP) e permitem classificar estas rochas como álcali-feldspato sienitos de características supersaturadas, apresentando quartzo modal. Alguns aspectos mineralógicos e texturais são ilustrados nas **Figuras 3 e 4**.

6.1 Álcali-feldspato sienitos do Maciço São Sebastião

São rochas leucocráticas (com IC entre 5 e 10) de colorações verdes escuras a verdes acinzentadas que apresentam estruturas maciças ou com leve orientação de cristais tabulares mais desenvolvidos de feldspato alcalino e texturas inequigranulares a seriadas com granulações médias a grossas, em que se destacam cristais de feldspato alcalino que alcançam 1,5 cm.

Ao microscópio a textura é dominada por cristais tabulares de feldspato alcalino; os minerais máficos e acessórios estão distribuídos intersticialmente e ocorrem na forma de cristais maiores isolados ou constituindo agregados de vários cristais associados.

O feldspato alcalino, que alcança mais de 90 % modal é tipicamente idiomórfico a subidiomórfico e mesopertítico, as lamelas de albita constituindo filmes de espessuras variáveis. Os cristais estão invariavelmente geminados de acordo com a Lei de Carlsbad e, na fase potássica, observa-se o desenvolvimento em geral mais difuso da geminação em grade, típica do microclínio. Os contatos entre os diversos grãos são irregulares ou interpenetrados e nestas regiões observa-se o desenvolvimento proeminente de albita pós-magmática, que aparece ora formando "*swapped rims*", ora formando cristais subidiomórficos e límpidos de albita praticamente pura.

O quartzo é muito subordinado, raramente atingindo 2-4 % em volume. Aparece tipicamente intersticial, xenomórfico e com uma leve extinção ondulante.

Os minerais máficos incluem piroxênio, anfíbios, olivina e biotita. O piroxênio é o principal mineral máfico. Apresenta-se idiomórfico a subidiomórfico e com alguma frequência apresenta zonamento composicional evidenciado por núcleos mais incolores e

bordas com pleocroísmo em tons de verde. Opticamente pode ser classificado como um clinopiroxênio da série diopsídio (núcleos) - hedenbergita (bordas), com ângulos de extinção (z^c) variáveis entre 37 e 42°. Diversos cristais de piroxênio encontram-se parcialmente substituídos por anfibólio.

Os anfibólios são subidiomórficos e tipicamente apresentam zonamento composicional bem marcado, com núcleos cálcicos a sódico-cálcicos, evidenciados pelo pleocroísmo em tons de verde acastanhado a incolor, e bordas sódico-cálcicas ou mesmo sódicas com pleocroísmo em tons de marrom a pastel e azul escuro a levemente amarelado.

A olivina é um mineral máfico típico destas rochas. Ocorre como cristais isolados ou nos agregados junto com os demais minerais máficos. Apresenta-se como cristais idiomórficos a subidiomórficos parcial a totalmente alterados para agregados de fases opacas e agregados castanhos de filossilicatos. Aparece também como cristais menores parcialmente alterados incluídos em clinopiroxênio ou anfibólio cálcico. É tipicamente uma faialita, com $2V_x$ entre 60 e 70°.

A biotita, com pleocroísmo em tons de castanho, é intersticial, subidiomórfica a xenomórfica. Aparece também mantendo parcialmente outros minerais máficos e os minerais opacos.

Os minerais acessórios, normalmente idiomórfico e mais diminutos, incluem principalmente opacos (magnetita e ilmenita), zircão e apatita. Algumas amostras apresentam chevkinita, minerais do grupo do pirocloro e torita, entre outros (Augusto, 2003). Os cristais de zircão observados em lâminas petrográficas são cristais idiomórficos a xenomórficos e, em geral, constituem mais de uma população, com características morfológicas distintas, alguns com inclusões, outros cristais mais limpos (gemas). Aparecem como cristais maiores isolados ou menores, inclusos em cristais de feldspato alcalino, anfibólios e biotita.

A **Figura 3** apresenta algumas das principais características da amostra IBLE-18.

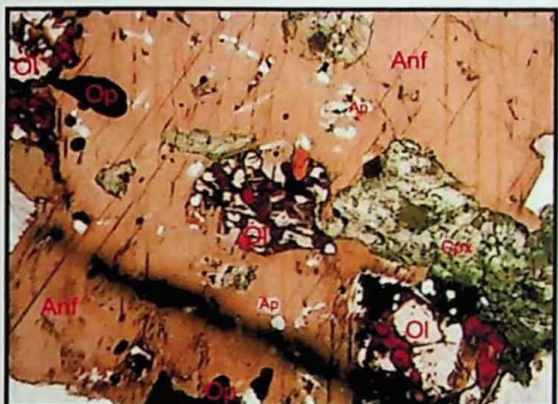
Figura 3 Fotomicrografias ilustrando aspectos petrográficos típicos do álcali-feldspato sienito (amostra IBLE-18) do Maciço de São Sebastião, Ilha de São Sebastião.



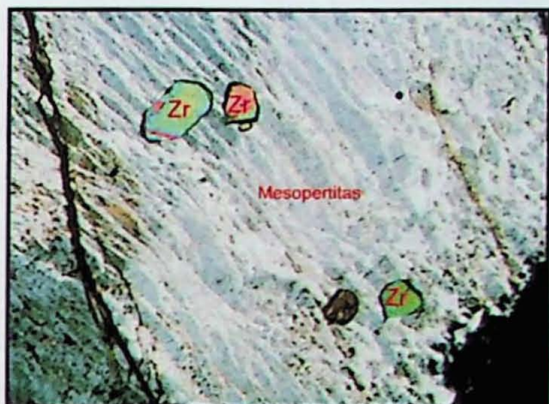
Fotomicrografia 1 - Zircão com núcleo rico em inclusões não identificadas. O feldspato alcalino apresenta *swapped rims* e o anfibólio (pós magmático) apresenta em suas bordas hábito acicular. Foto com polarizadores cruzados e aumento de 10x. Lado maior da foto 1,31mm.



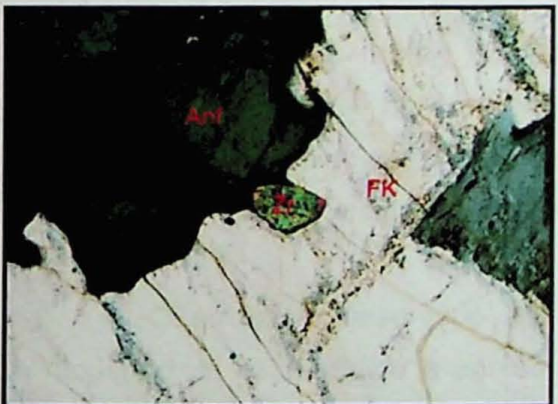
Fotomicrografia 2 - Cristal limpo de zircão incluído em anfibólio Ca-Na, apresentando fino halo peleocrítico, inclusão semi alterada de clinopiroxênio com bordas de anfibólio Na. Foto com polarizadores cruzados aumento de 10x. Lado maior da foto 1,31mm.



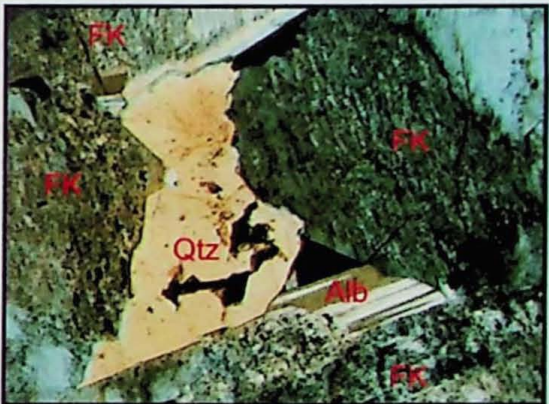
Fotomicrografia 3 - Amostra de álcali fedspato sienito do M. de São Sebastião. Cristal de anfibólio Ca com inclusões de olivina alterada, apatita e opacos, clinopiroxênio com zoneamento e bordas hedenbergíticas. Foto com luz plano polarizada, aumento de 4 x. Lado maior da foto 3,3 mm.



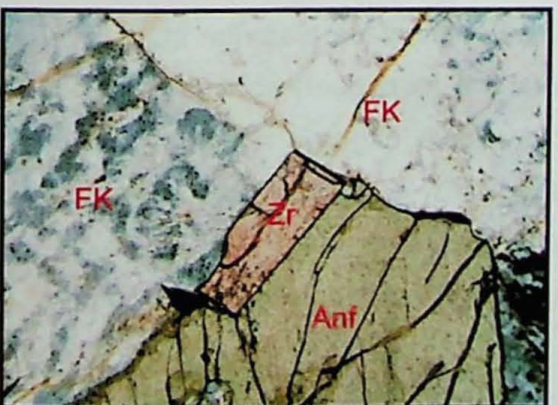
Fotomicrografia 4 - Amostra IBLE-18, cristais de zircões idiomórficos em mesoperititas (albitas nas porções claras e feldspato alcalino nas mais escuras). Foto com polarizadores cruzados aumento de 4 X. Lado maior da foto 3,3 mm.



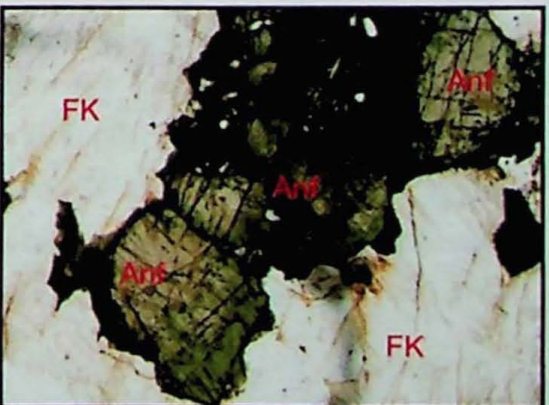
Fotomicrografia 5 - Amostra álcali feldspato Sienito São Sebastião, cristal de zircão subidiomórfico em contato com anfibólio e feldspato alcalino, polarizadores cruzados com aumento de 10 X. Lado maior da foto 1,31 mm.



Fotomicrografia 6 Amostra de álcali feldspato sienito ilustrando a ocorrência de quartzo intersticial (Qtz) a feldspato alcalino (FK) e albita pós-magmática em relação ao quartzo. Foto com luz plano polarizada aumento de 4x. Lado maior da foto 3,3 mm.



Fotomicrografia 7 - Cristal euédrico de zircão (Zr) levemente fraturado em contato reto com anfibólio (Anf) e feldspato alcalino (FK). Foto com luz plano polarizada aumento de 4x. Lado maior da foto 3,3 mm.



Fotomicrografia 8 - Cristais intersticiais de anfibólio (Anf) zonado com núcleos mais claro, cálcicos, e bordas mais escuras sódicas. Foto com luz plano polarizada aumento de 4x. Lado maior da foto 3,3 mm.

6.2 Álcali-feldspato sienitos do Maciço de Serraria

Estas rochas são leucocráticas (IC entre 5 e 7) de colorações creme a cinzenta esbranquiçada com estruturas maciças ou orientadas. A textura é inequigranular com tendência local a porfírica, com granulação média a grossa, marcada por cristais mais desenvolvidos de feldspato alcalino.

Quando comparados com os álcali-feldspato sienitos do Maciço São Sebastião, estas rochas se caracterizam por apresentar biotita como o principal mineral máfico, quantidades bem subordinadas de piroxênio e anfibólios e pela típica ausência de olivina faialítica.

O feldspato alcalino presente mostra características em parte similares as acima descritas, entretanto, deve ser destacado que parte significativa dos cristais, particularmente os menores, encontra-se muito substituída por albita, observando-se de forma abundante a denominada albita de *chessboard*. O desenvolvimento pós-magmático de albita intersticial também é mais marcado.

O quartzo observado em lâmina é xenomórfico e intersticial. Os cristais alcançam até 1 mm e apresentam localmente alguma extinção ondulante.

A biotita é o máfico dominante na rocha e aparece formando duas gerações texturais distintas, a primeira formada por cristais maiores (2,5 - 5,0 mm), com pleocroísmo em tons castanhos, normalmente formando agregados de vários cristais, a segunda formando cristais mais diminutos e intersticiais de pleocroísmo em tons mais claros.

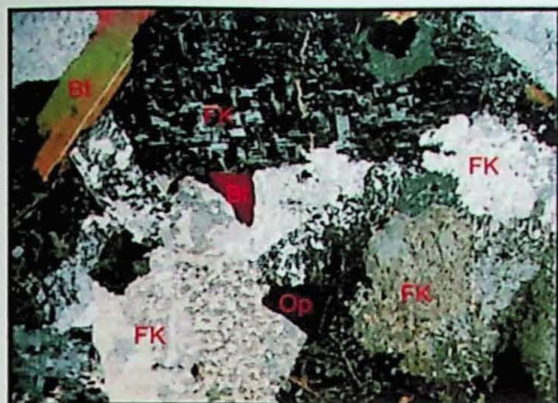
O piroxênio observado apresenta pleocroísmo incipiente e corresponde a um diopsídio. É xenomórfico e apresenta-se muito fraturado e substituído por anfibólio. O anfibólio é subidiomórfico e apresenta pleocroísmo em tons de verde acastanhado. Corresponde a um anfibólio cálcico e não mostra zonamentos composicionais muito marcados.

Os minerais acessórios incluem principalmente fases opacas, apatita e zircão. Os minerais opacos (magnetita e ilmenita) são subidiomórficos a xenomórficos e aparecem isolados ou em agregados com biotita, piroxênio e anfibólio. A apatita é idiomórfica e aparece como inclusões, mais tipicamente na biotita. O zircão é em geral límpido, subidiomórfico a xenomórfico e ocorre como cristais raros isolados ou, mais tipicamente, formando inclusões dentro de feldspato alcalino e/ou de minerais máficos.

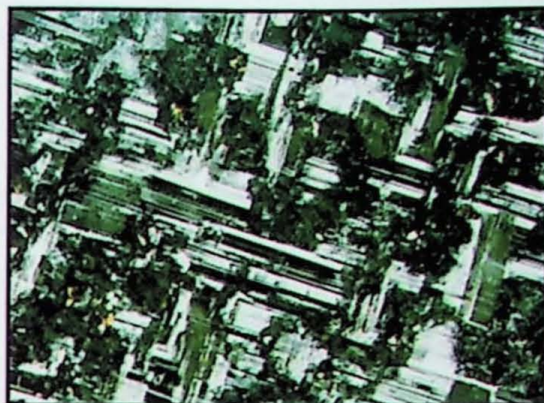
Nestas rochas, chama também a atenção a relativa abundância de carbonatos entre os minerais pós-magmáticos e/ou de alteração.

A **Figura 4** apresenta as principais características petrográficas da amostra IBLE-S.

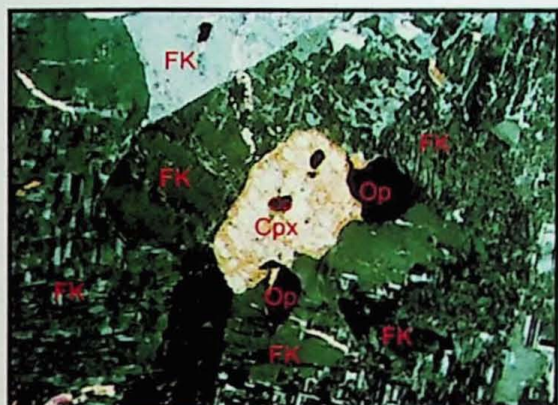
Figura 4 Fotomicrografias ilustrando aspectos petrográficos do álcali-feldspato sienito (amostra IBLE-S) do Maciço de Serraria, Ilha de São Sebastião.



Fotomicrografia 9 - Aspecto textural geral dos álcali feldspatos sienitos com mesopertitas e feldspato alcalino (FK) com textura tipo *chessboard*, biotita (Bt) e opacos. Foto com luz plano polarizada aumento de 1,25x. Lado maior da foto 10,2 mm.



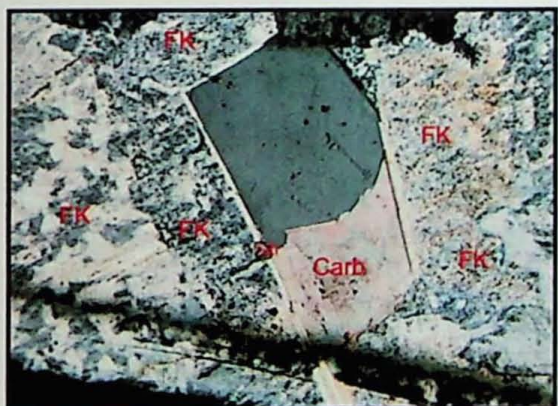
Fotomicrografia 10 - Detalhe de textura do tipo *chessboard* relativamente comum nos álcali feldspato sienitos do maciço Serraria. Foto com luz plano polarizada aumento de 10x. Lado maior da foto 1,3 mm.



Fotomicrografia 11 - Cristal xenomórfico de clinopiroxênio (Cpx) substituído para anfibólio (Anf) ao longo das bordas e fraturas junto com opacos em matriz que predominam feldspatos alcalinos (FK). Foto com luz plano polarizada aumento de 4x. Lado maior da foto 3,3 mm.



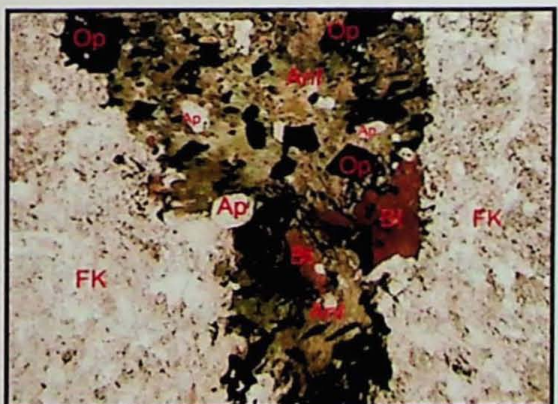
Fotomicrografia 12 - Pseudomorfo com quartzo tardio em feldspato alcalino. Foto com luz plano polarizada aumento de 4x. Lado maior da foto 3,3 mm.



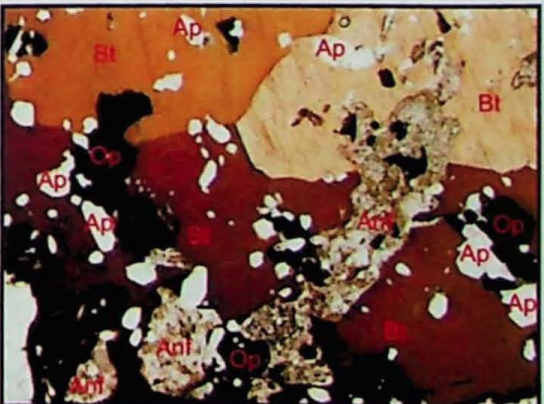
Fotomicrografia 13 - Cristal euédrico de carbonato (Carb) tardio, em álcali feldspato sienito junto a diminuto cristal xenomórfico de zircão (Zr) sobre feldspato alcalino mesopertítico (FK). Foto com luz plano polarizada aumento de 4x. Lado maior da foto 3,3 mm.



Fotomicrografia 14 - Detalhe do cristal de zircão xenomórfico da foto anterior. Foto com luz plano polarizada aumento de 10x. Lado maior da foto 1,3 mm.



Fotomicrografia 15 - Cristal de anfibólio cálcio-sódico intersticial a feldspato alcalino com inclusões de apatita (Ap), opacos (Op) e biotita (Bt). Foto com nicóis des cruzados aumento de 4x. Lado maior da foto 3,3 mm.



Fotomicrografia 16 - Cristais de biotita (Bt) com inclusões de apatita (Ap), opacos (Op) e clinopiroxênio (Cpx) com alteração de anfibólio ao longo das bordas. Foto com nicóis des cruzados aumento de 4x. Lado maior da foto 3,3 mm.

A **Figura 5** apresenta o diagrama QAP com a classificação das rochas dos maciços alcalinos.

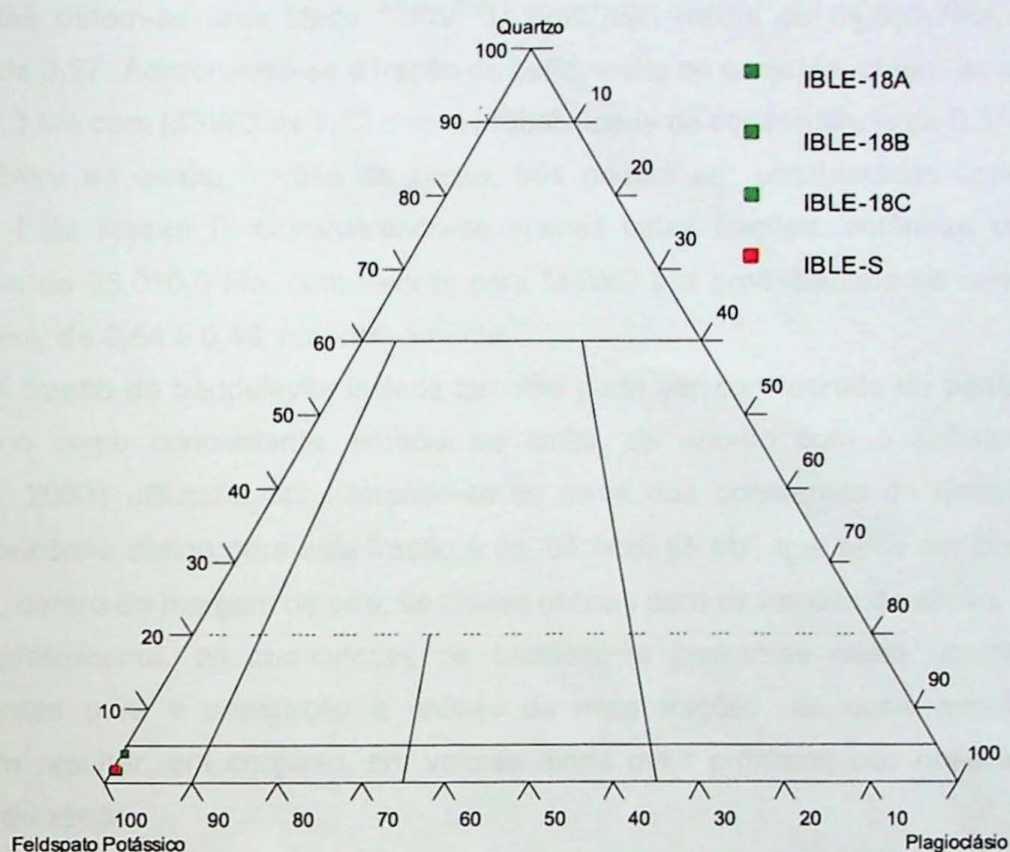


Figura 5 Diagrama QAP da I.U.G.S. (Streikesen, 1976) para dos dados modais dos álcali feldspatos sienitos dos maciços de São Sebastião(verde) e Serraria(vermelho).

7.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 Idades U/Pb

Os resultados das datações U/Pb obtidos nesta monografia podem ser considerados excelentes e incluem uma determinação em baddeleyíta, efetuada com sucesso pela primeira vez no CPGeo-USP. Os dados analíticos e resultados obtidos para as duas amostras de rochas sieníticas estudadas são apresentados no **Quadro I** (Resultados isotópicos U/Pb para zircões e baddeleyítas, dos sienitos dos maciços de São Sebastião e Serraria) apresentados no **Anexo I**.

Diagramas isotópicos Tera-Wasserbug, bem como diagramas de barras de idades para cada fração e/ou amostra são apresentados nas **Figuras 6, 7 e 8**.

No caso da amostra do Maciço Serraria, considerando as quatro frações de zircão analisadas obtem-se uma idade $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (206/238) média de $84,8 \pm 0,7 \text{ Ma}$, para um MSWD de 0,27. Adicionando-se a fração de baddeleyíta ao conjunto, obtém-se uma idade de $85 \pm 0,3 \text{ Ma}$ com MSWD de 1,12 e uma probabilidade de concordância de 0,34.

Entre as quatro frações de zircão, três podem ser consideradas concordantes (**Tabela I do Anexo I**). Considerando-se apenas estas frações, obtém-se uma idade concórdia de $85,0 \pm 0,5 \text{ Ma}$, com valores para MSWD e a probabilidade de concordância excelentes, de 0,54 e 0,46, respectivamente.

A fração de baddeleyíta isolada também pode ser considerada do ponto de vista estatístico como concordante, embora no limite, de acordo com o software IsoPlot (Ludwig, 2003) utilizado, considerando-se os erros das constantes de decaimento. A idade concórdia obtida para esta fração é ca. $84,14 \pm 0,96 \text{ Ma}$, que pode ser considerada idêntica, dentro da margem de erro, às idades obtidas para as frações de zircão.

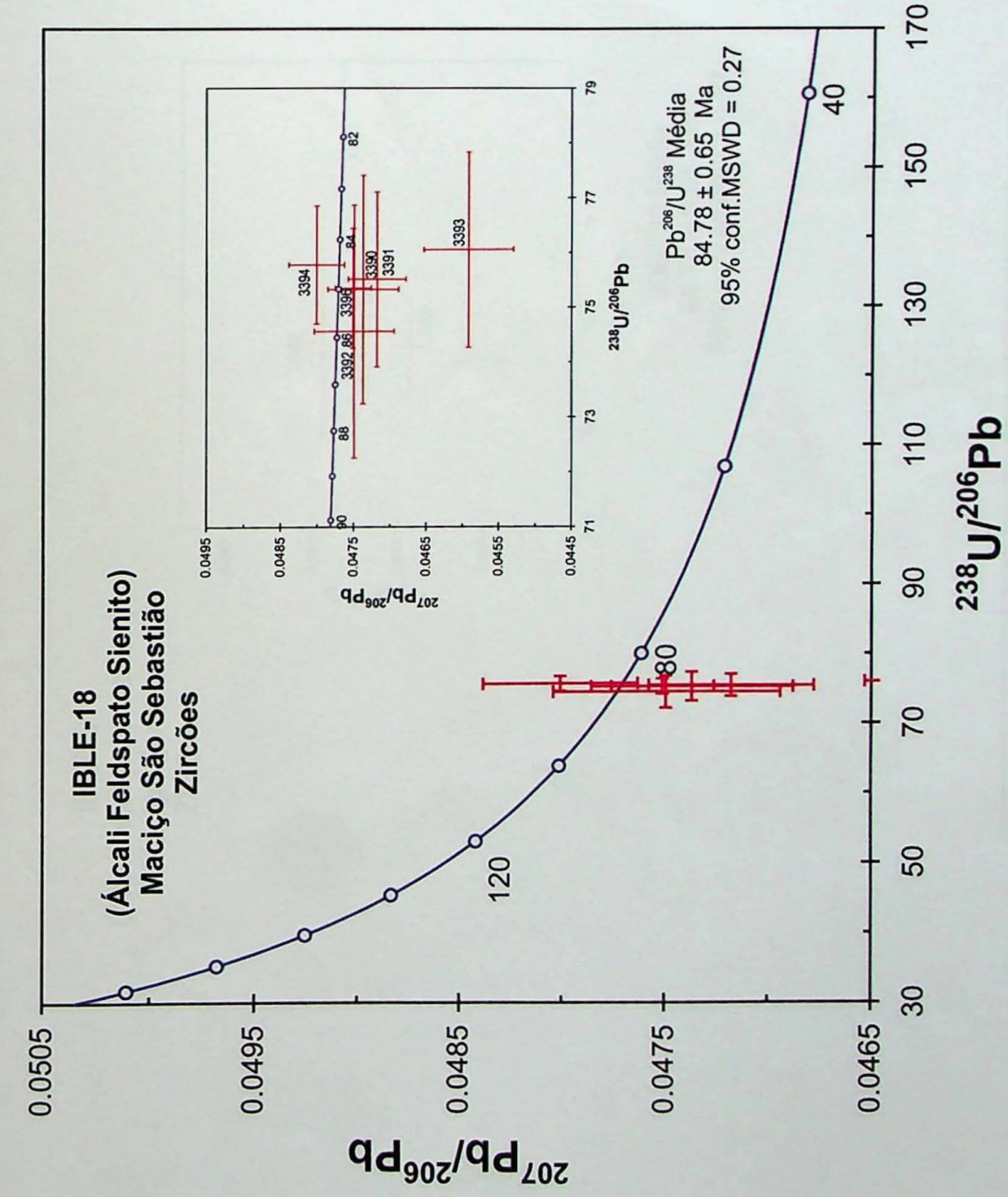
Infelizmente, as quantidades de baddeleyíta presentes nesta amostra foram insuficientes para a separação e análise de mais frações, as quais eventualmente poderiam resultar, em conjunto, em valores ainda mais próximos aos obtidos para as frações de zircão.

Considerando o conjunto dos dados, parece mais adequado adotar o valor de $85,0 \pm 0,5 \text{ Ma}$, o resultado obtido para as frações concordantes de zircão, como o melhor valor para a idade de cristalização da amostra IBLE-S (*stock* Serraria).

No caso da amostra do Maciço São Sebastião, a idade $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ média, considerando-se todas as 06 frações de zircão, é de $84,8 \pm 0,7 \text{ Ma}$, com um MSWD de 0,27.

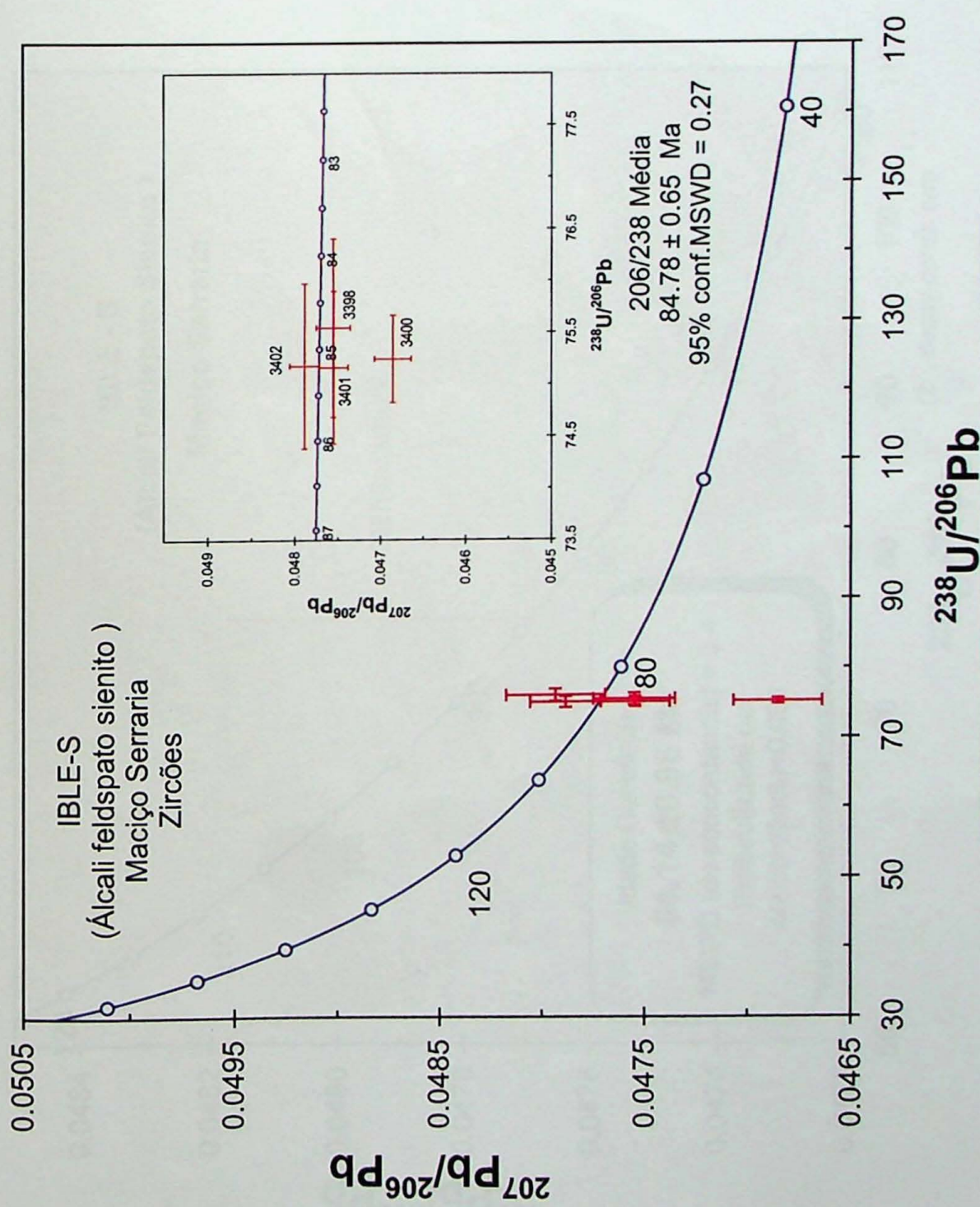
Uma das frações é tipicamente discordante (**Figura 9**), extraíndo-a do conjunto, obtem-se uma idade concórdia média muito similar para as demais frações, de $84,7 \pm 0,7 \text{ Ma}$, porém com valores relativamente elevado (3,8) e baixo (0,05) respectivamente para o MSWD e a probabilidade de concordância. Isto ocorre porque a 3391 (**Tabela I do Anexo 1 e Figura 9**), apresenta-se no limite de concordância, com idade concórdia com alto MSWD e baixa probabilidade, as quatro frações restantes apresentam idade média de $84,8 \pm 0,8 \text{ Ma}$, com MSWD de 1,2 e probabilidade de concordância de 0,28.

FIGURA 6 - Diagrama Tera & Wasserburg(1973,1974) apresentando os valores obtidos para as razões $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ e $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ em zircões, na amostra IBLE-18.



- 3390: Fração A composta por sete cristais de zircões entre 178 e 214 m, límpidos, transparentes, com raras inclusões ou fraturas, obtidos na fração magnética M-4 curtos, com faces e arestas arredondados, romboédricos e biterminados.
- 3391: Fração B composta por dezesseis cristais de zircões entre 95 e 142 m, límpidos, transparentes, com raras inclusões ou fraturas, obtidos na fração magnética M-4 curtos, arredondados, romboédricos e biterminados, distinguindo-se da fração 3390 no tamanho dos cristais.
- 3392: Fração C composta por 15 cristais de zircões entre 50 e 71 m, límpidos, transparentes, com raras inclusões ou fraturas obtidos na fração magnética M-4 curtos, arredondados, romboédricos biterminados, sendo a fração de cristais mais finos em relação ao tamanho dos grãos desta tipologia..
- 3393: Fração E composta por 3 cristais de zircões entre 382 e 474 m, com tendência tabular (relação comprimento x largura - 1:3) aparentemente sem inclusões, obtidos na fração magnética M-3, prismáticos longos e biterminados.
- 3394: Fração F composta por 2 cristais de zircões entre 393 e 411 m, com tendência tabular (relação comprimento x largura - 1:4), límpidos, transparentes, com raras inclusões ou fraturas, obtidos na fração magnética M-3 curtos, prismáticos longos e biterminados.
- 3396: Fração H composta por 6 cristais de zircões entre 285 e 325 m, límpidos, transparentes, com raras inclusões ou fraturas, obtidos na fração magnética M-3 curtos, prismático curtos, com hábito típico de zircões e biterminados.

FIGURA 7 - Diagrama Tera & Wasserburg(1973,1974) apresentando os valores obtidos para as razões $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ e $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ em zircões na amostra IBLE-S.



3398: Fração A composta por 16 cristais de zircões entre 142 e 190 m, os maiores presentes na rocha, límpidos, obtidos na fração magnética M-5, sem hábito particular definido com cloração levemente esverdeada.



3400: Fração C composta por 24 cristais de zircões alongados entre 142 e 285 m, límpidos, obtidos na fração magnética M-5, sem hábito particular definido com cloração levemente esverdeada.



3401: Fração D composta por 65 cristais de zircões entre 71,5 e 214 m, os menores presentes na rocha, límpidos, obtidos na fração magnética M-5, sem hábito particular definido com cloração levemente esverdeada.



3402: Fração E composta por 61 cristais de zircões entre 71,5 e 214 m, os menores presentes na rocha, límpidos, obtidos na fração magnética M-5, sem hábito particular definido com cloração levemente esverdeada.

Média = 84.97 ± 0.32 [0.38%] 95% conf.
Com baddeleyita
MSWD = 1.12, probabilidade de concordância = 0.34

FIGURA 8- Diagrama Tera & Wasserburg (1973, 1974) apresentando os valores obtidos para baddeleyitas, nas razões $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ e $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ amostrada IBLE-S.

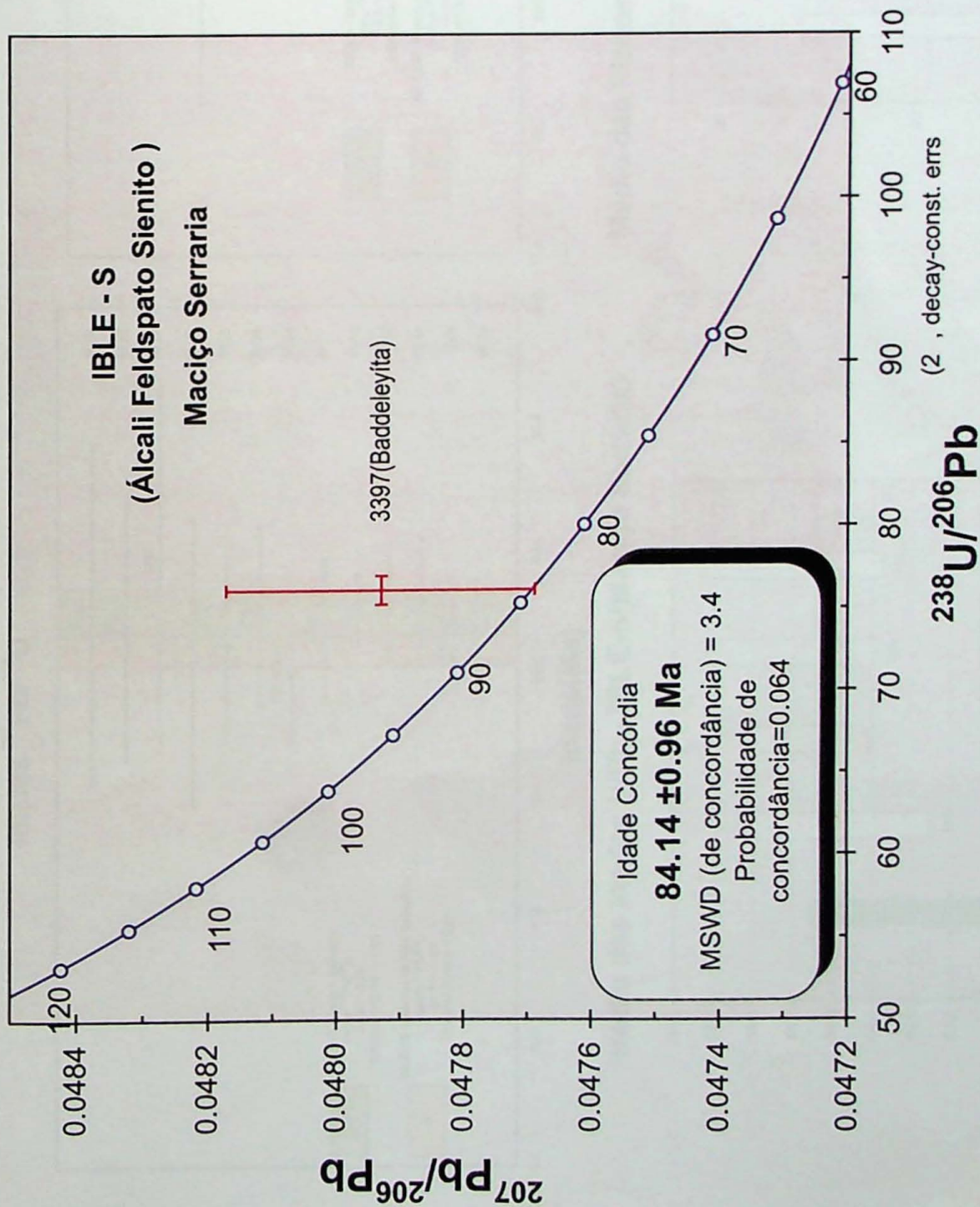


Foto I - População de baddeleyitas selecionadas para obtenção das idades U/Pb, fração 100-250, polarizadores decruzados. Base maior da foto 1,25 mm.

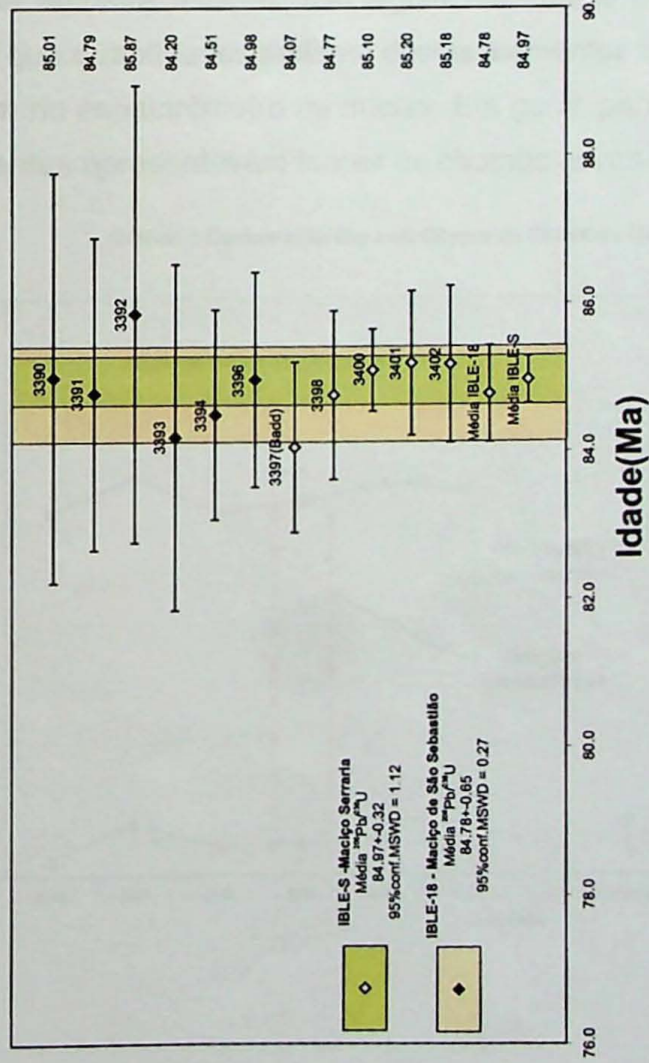


Foto II - População de baddeleyitas selecionadas para obtenção das idades U/Pb, fração 100-250, polarizadores decruzados. Base maior da foto 1,25 mm.

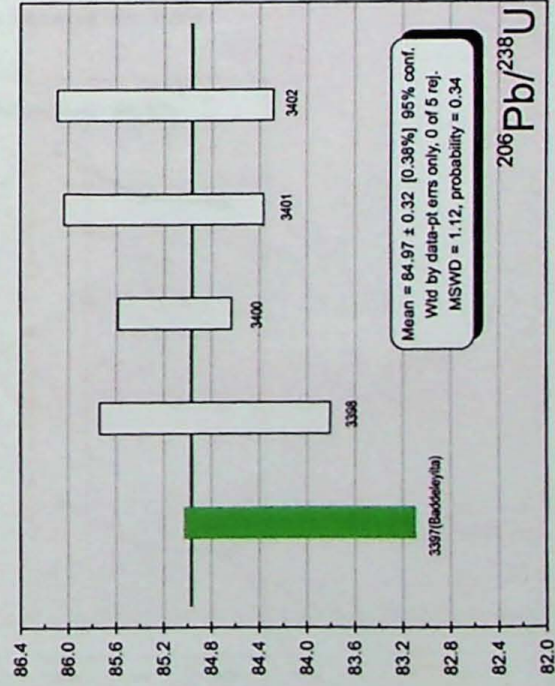
Idade $\text{U/Pb} (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \times ^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U})$ concordante obtida a partir de 180 cristais de baddeleyita das frações M-3 e M-4, com peso estimado de 77,68 μg .

FIGURA 9 Resumo das idades U/Pb

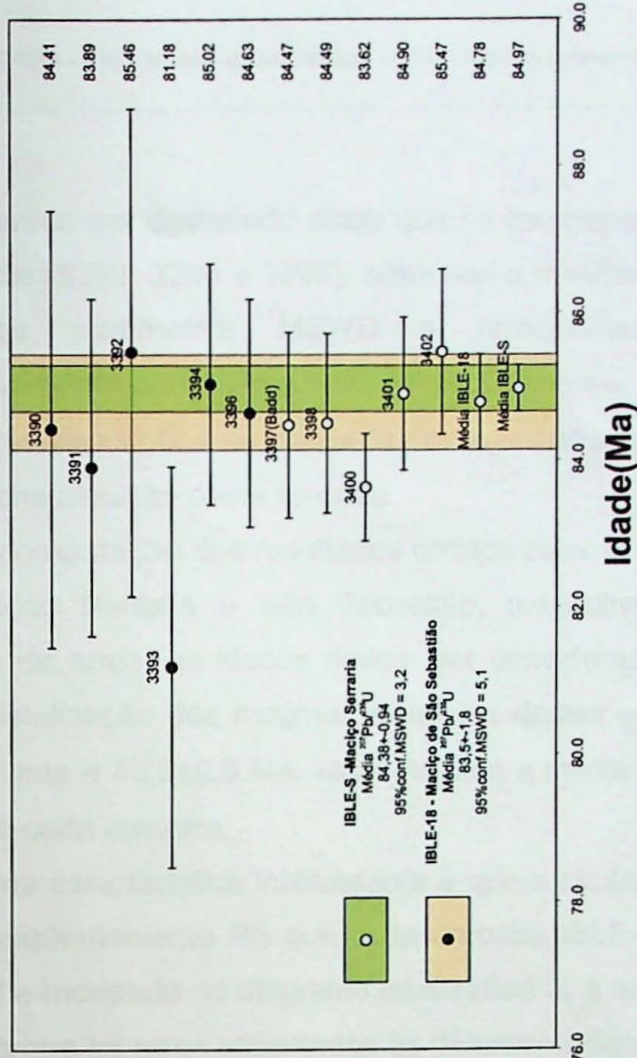
Idades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$



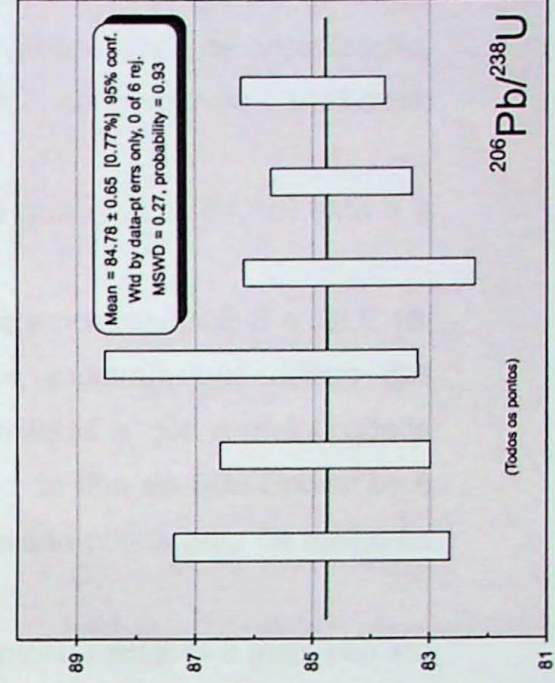
Média das Idades U/Pb - IBLE-S(Maciço Serraria)



Idades $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$



Média das Idades U/Pb - IBLE-18(Maciço São Sebastião)



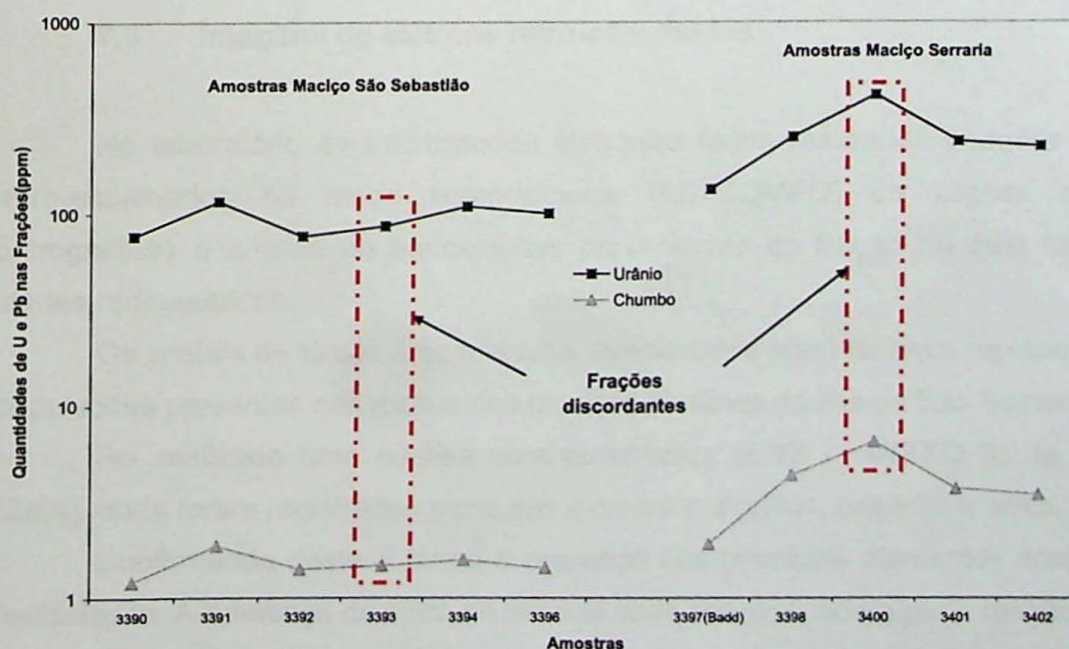
Merece ser destacado ainda que se selecionarmos as três frações mais próximas à concórdia (3392, 3394 e 3396), obtém-se o mesmo valor para a idade de cristalização, porém os parâmetros MSWD e probabilidade de concordância melhoram significativamente para 0,45 e 0,50, respectivamente.

A análise crítica do conjunto dos resultados sugere que o valor $84,8 \pm 0,8$ Ma é a idade de cristalização desta amostra.

A comparação dos resultados obtidos para ambas as amostras IBLE-S e IBLE-18, dos Maciços Serraria e São Sebastião, respectivamente, mostram que dentro dos intervalos de erros, as idades devem ser consideradas similares e que a melhor idade para a cristalização dos magmas sieníticos destes maciços da Ilha de São Sebastião é muito próxima a $85,0 \pm 0,6$ Ma, valor próximo a média ponderada obtida para os melhores valores de cada amostra.

Uma característica interessante é que o zircão da amostra IBLE-S é mais rico em U e conseqüentemente Pb que o da amostra IBLE-18, como evidenciado na **Tabela I (Anexo I)** e mostrado no diagrama do **Gráfico 3**, a seguir. Esta diferença é significativa e explica porque os erros associados às determinações isotópicas e aos cálculos finais das idades da amostra IBLE-18 são significativamente maiores que os da amostra IBLE-S, uma vez que quantidades maiores destes elementos irão resultar em melhor estatística de contagem no espectrômetro de massa. Em geral, para as amostras estudadas as frações concordantes apresentavam teores de chumbo acima de 1,43 ppm e urânio 101ppm.

Gráfico 3 Comparação das quantidades de Chumbo e Urânio nas amostras estudadas



7.2 Cronoestratigrafia K/Ar

A partir da interpretação dos resultados K/Ar, idades de resfriamento da rocha, para as rochas alcalinas da ilha de São Sebastião foi delineado um cenário claro da cronoestratigrafia absoluta das rochas alcalinas félsicas, correspondentes a segunda fase magmática e das rochas correspondentes à terceira fase de magmatismo.

Porém os dados ainda apresentavam erros significativos para uma adequada interpretação da história dessas rochas.

Apesar dos erros, idades K/Ar obtidas em biotitas são dados de qualidade quando comparados com os dados obtidos para zircões (idade de cristalização magmática) na mesma rocha, no caso do maciço de São Sebastião. Já as idades obtidas para o maciço Serraria são muito semelhantes indicando idades de resfriamento entre 84 e 85 Ma e de cristalização de 85 Ma.

No maciço de São Sebastião a diferença de idades de cristalização, de 84,7 Ma, e resfriamento, 81,4 Ma, é maior, indicando um intervalo de resfriamento para as rochas desde o início da cristalização até o resfriamento da rocha de aproximadamente 3,3 Ma.

A compilação e comparação dos resultados obtidos a partir da metodologia U/Pb se apresentam muito semelhantes aos resultados obtidos pela metodologia K/Ar em biotitas nos sienitos, principalmente.

Dados menos precisos, para as rochas da Ilha de São Sebastião, são observados dentro da metodologia K/Ar, quando se comparam os resultados obtidos em rocha total, feldspato alcalino, anfibólios e plagioclásios.

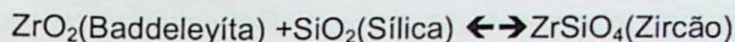
7.3 Imagens de elétrons retro-espalhados

No laboratório de microsonda eletrônica foram realizadas imagens de elétrons retro-espalhados no modo composicional (BEI-COMPO) de zircões em lâminas petrográficas e cristais de baddeleyíta provenientes da fração da qual foram obtidas idades radiométricas.

Os cristais de zircão e baddeleyíta selecionados eram os mais representativos das populações presentes nas rochas dos maciços alcalinos da ilha de São Sebastião.

Foi realizada uma análise semi-quantitativa (EDS – **ANEXO II**) da baddeleyíta (ZrO_2), onde foram registrados picos dos elementos zircônio, oxigênio e sílica.

Confirmando desta a forma a presença dos principais elementos constituintes da baddeleyíta. A presença da sílica no mineral pode ser explicada a partir reação:



Baddeleyítas e zircões são estáveis em ambientes relativamente insaturados e supersaturados em sílica (Keil & Fricker, 1974), fato observado nas rochas do maciço Serraria onde foi coletada a amostra com baddeleyítas, que apresentavam também zircões e quartzo.

Os zircões são um dos primeiros silicatos a se cristalizar e são estáveis a altas temperaturas cerca de $1676 \pm 7^\circ\text{C}$ (Butterman & Foster, 1967) da mesma forma baddeleyítas são estáveis a altas temperaturas ($<1170^\circ\text{C}$) e irão se formar até mesmo contemporaneamente aos zircões em função das quantidades de sílica disponíveis.

A baddeleyíta encontrada nos sienitos Serraria é primária e se cristalizou depois dos cristais de zircões encontrados na mesma rocha. Possivelmente quando a rocha já não apresentava mais sílica disponível. As imagens de elétrons retro-espalhados realizadas de baddeleyíta na microsonda são apresentadas a seguir, na **Figura 10**.

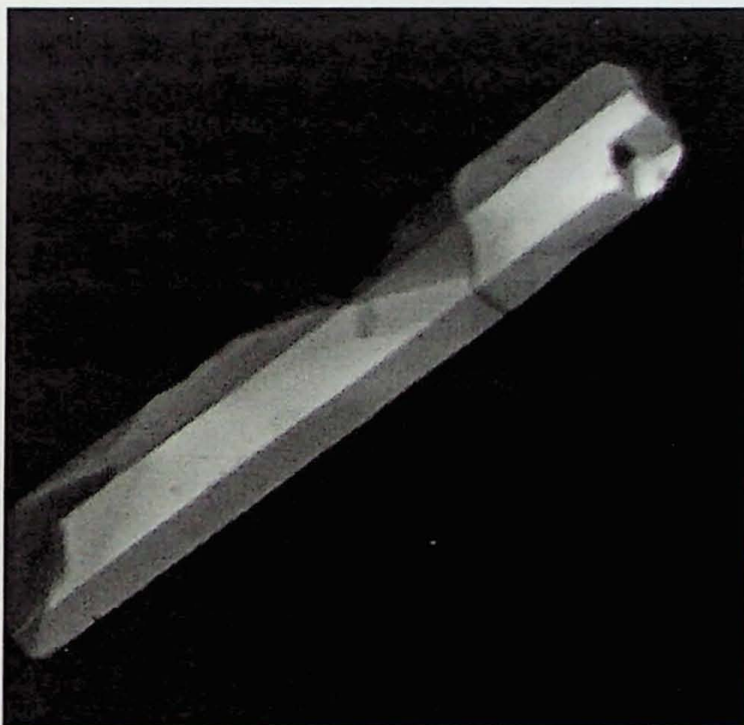


Figura 10 Imagem de elétrons retro-espalhados modo topográfico detalhando a forma do cristal de Baddeleyíta, amostra IBLE-S(maciço Serraria). Base da imagem $50\mu\text{m}$.

Um indício da diminuição da quantidade de sílica disponível seria a análise de EDS que apresenta cristais de baddeleyíta com sílica em sua composição, porém, não em quantidades suficientes para formar cristais de zircão.

A baddeleyíta presente na rocha possui idades muito semelhantes às idades K/Ar obtidas em biotitas confirmando sua cristalização posterior aos cristais de zircões e quase contemporânea aos cristais de biotita.

Portanto baddeleyítas forneceram a idade de estabilização do sistema, quando a maior parte do magma já cristalizou e trocas químicas ocorrem em pontos isolados na rocha são restritas.

Idades K/Ar obtidas para os sienitos do maciço Serraria (3 idades) vem reforçar a hipótese que, idades de resfriamento (84,2 a 84,8Ma) muito semelhantes as idades U/Pb obtidas para a baddeleyítas de 84,066(206/238), 84,469 (207/235), são idades de estabilização de temperatura do sistema na rocha, num intervalo entre as temperaturas de formação de cristais de anfibólios e biotitas.

Também foram obtidas imagens de elétrons retro espalhados de zircão, em lâminas petrográficas previamente metalizadas das amostras de cristais de zircões do maciço de São Sebastião. Esses cristais apresentaram a mesma composição tanto no núcleo como nas bordas, ZrSiO_4 . As imagens de cristais de zircão obtidas a partir da microsonda em modo composicional são apresentadas na **Figura 11**.

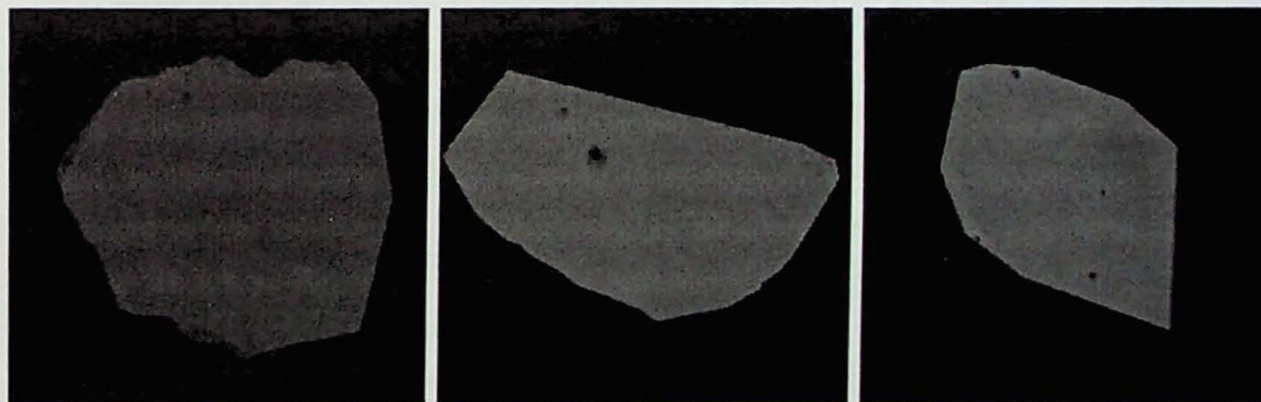


Figura 11 Imagens de elétrons retro-espalhados em modo composicional (BEI-COMPO) obtidas a partir de cristais de zircão da amostra IBLE -18(maciço de São Sebastião). Base menor da foto de aproximadamente 70 μm .

10.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As razões iniciais de $0,70615 \pm 5$ e $0,70507 \pm 8$ das rochas do maciço de São Sebastião muito semelhantes ao *Bulk Earth* ($R_0=0,7045$) indicam que o material formador destas rochas é de origem mantélica (Montes Lauer *et al*, 1995).

A isócrona de referência para estas rochas apresenta a idade de 80,8 Ma, indica a época de formação destas rochas.

Idades K/Ar obtidas em biotitas mostram a passagem, durante o resfriamento, pelo intervalo de temperatura correspondente a 200-300°C e apresentam idades de resfriamento de aproximadamente 81 Ma.

As idades U/Pb obtidas a partir da média de seis frações de zircões, provenientes do maciço de São Sebastião, é de $84,74 \pm 0,64$ Ma e é a idade de cristalização da rocha. Indicam conjuntamente um intervalo para a colocação dos corpos sieníticos entre 3 e 4 Ma.

No caso das rochas do Maciço Serraria a isócrona de referência apresentada indica a idade de formação da rocha de 84 Ma, com razões iniciais da ordem de 0,70533, da mesma forma que no maciço de São Sebastião, muito semelhante as razões do manto primitivo.

As idades K/Ar obtidas em biotitas apresentam médias de $84,5 \pm 3,36$ Ma, indicando a idade de resfriamento das rochas do maciço Serraria, muito próximas às idades U/Pb médias obtidas nas cinco frações datadas neste maciço de $84,97 \pm 0,32$ Ma. Especialmente as obtidas na fração compostas por baddeleyitas $84,14 \pm 0,96$ Ma que são semelhantes às idades de formação da rocha e de resfriamento e que possivelmente indicam uma idade de estabilização de temperatura (baddeleyita) no sistema de formação da rocha em condições de pouca ou nenhuma sílica no sistema.

Portanto para o Maciço Serraria é possível inferir um intervalo entre as idades de cristalização de formação da rocha em torno de 1 Ma.

Desta forma os *stocks* sieníticos da Ilha de São Sebastião são rochas de origem mantélica com idades Rb/Sr indicando um intervalo de idades entre 80 e 87 Ma para a formação destas rochas.

E intervalo entre 81,4 e 84,8 Ma, correspondente idade de resfriamento, K/Ar, destas rochas passando pelas temperaturas de formação dos cristais de biotita (~200 - 300°C).

Em relação às idades de cristalização, os maciços de São Sebastião e Serraria, apresentaram idades médias de cristalização de, respectivamente, $84,74 \pm 0,65$ e $84,97 \pm 0,32$ Ma. Sugerindo destas formas para o conjunto dos sienitos da Ilha de São Sebastião intervalos entre a formação da rocha e o resfriamento entre 1 e 7 Ma.

O estudo da baddeleyíta possibilitou a demonstração da potencialidade do mineral para a obtenção de idades U/Pb em rochas alcalinas relativamente jovens no tempo geológico, abrindo novas perspectivas para determinação de idades U/Pb em outros maciços pertencentes à província Serra do Mar. E até mesmo obtenção de idades U/Pb em rochas de caráter básico-ultrabásico de afinidade alcalina em rochas associadas ao magmatismo alcalino dentro da Província Serra do Mar.

De acordo:

Silvio R. Farias Vlach
Orientador

Miguel Ângelo S. Basei
Co-orientador

Enos Nobuo Sato

Enos Nobuo Sato
Aluno

20951

11.0 BIBLIOGRAFIA

AHRENS, L.H. (1955) The convergent lead ages of olds monazites and uranites. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **7**: 294-300.

ALMEIDA, F.F.M. (1983). Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozoicas da região meridional da plataforma Sul-Americana. *Rev.Bras.Geoc.* **13**(3) 139-158.

ALMEIDA, F.F.M. & CARNEIRO, C.D.R. (1998) Origem e evolução da Serra do Mar. *Rev. Bras.Geoc.* **28**(2): p.135-150.

ALMEIDA, F.F.M. (1996). Correlação do magmatismo das bacias da margem continental brasileira com áreas emersas adjacentes. *Rev.Bras.Geoc.* **26**(3) 125-138.

ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; PONÇANO, W.L.; DANTAS, A.S.L.; CARNEIRO, C.R.; BISTRICHI, C.A. (1981) Mapa geológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000 – nota explicativa e mapas. São Paulo, IPT-DMGA.v1. (Monografia IPT, nº6).

ALVES, F.R. (1986) Contribuição ao conhecimento geológico e petrológico das rochas alcalinas da Ilha de Búzios, SP. Tese de doutoramento – IGC – USP, São Paulo. 274p.

AMARAL, G.; BUSHEE, J.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K. & REYNOLDS, J.H. 1967. Potassium argon ages of alkaline rocks from southern Brazil, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 31, 117-142, Northern Ireland,.

AUGUSTO, T. 2003 Petrografia e quimismo mineral de rochas gábricas e sieníticas do maciço de São Sebastião, Ilha de São Sebastião, SP. *Mon. Trab. Form.* 50p..

BASEI, M.A.S.; SIGA Jr., O.; SATO, K. SPROESSER, W.M. 1995 A metodologia Urânio-Chumbo na universidade de São Paulo. Princípios metodológicos, aplicações e resultados obtidos. *An. Acad. Bras. Ciênc.* **67** (2).

BELLIENI, G; MONTES-LAUAR, C.R. DE MIN, A. PICCIRILLO, E.M. CAVAZZINI, G; MELFIA, J. & PACCA I.G. 1990. Early and late cretaceous magmatism from São Sebastião Island (SE-Brazil): Geochemistry and petrology, *Geochimica Brasiliensis*. **4**(1), 59-83.

BELLIENI, G.; MONTES-LAUAR, C.R.; DE MIN, A.; PICCIRILLO, E.M.; CAVAZZINI, G.; MELFI, A.J.; MELFI, A.J.; PACCA, I.G. 1990. Early and late cretaceous magmatism from São Sebastião Island (SE – Brazil): Geochemistry and petrology, *Geochim. Bras.* **4** (1); 59-83.

BJÖRNBERG, A.J. S & ELLERTT, R. (1955) Observações geológicas e petrográficas sobre a Ilha de Búzios, *An. Acad. Brasil. Ciênc.*, **27**:169-182.

BUTTERMANN, W.C. & FOSTER, W. R. (1967) Zircon stability and the ZrO_2 - SiO_2 phase diagram, *The American Mineralogist* **52**; 880-885.

CORDANI, U.G. (1970) Idade do vulcanismo no Oceano Atlântico Sul. Separata do boletim IGA nº1, São Paulo.

CORFU, F.; HANCHAR, J.M.; HOSKIN, P.O.W.; KINNY, P. (2003) Atlas of zircon Textures.). *Reviews in mineralogy and geochemistry*, **53**, Zircon.

DAVISON, A. & Van BREEMEN (1988) Baddeleyite-zircon relationship in coronitic metagabbro, Greenville Province, Ontario: implications for geochronology. *Contrib. Mineral Petrol.* **100**: 291-299.

DICKIN, A.P. (1997). Lead isotopes. In: Radiogenic isotope geology. Ed 1, University Press, Cambridge, p.104-130.

DICKIN, A.P. (1995) Radiogenic Isotope Geology. Cambridge University Press, 490.

ENRICH, G.E.R. (2000) Geologia e química mineral da Ilha Monte de Trigo, Litoral Norte do Estado de São Paulo. Dissertação de mestrado, 173p. IGC-USP, São Paulo.

ENRICH, G.E.R. (2005) Petrogênese da suíte alcalina da Ilha Monte de Trigo, SP. *Tese de Doutorado*, 229p., IGc-USP, São Paulo.

FAURE, G. (1986) *Principles of Isotopic Geology*. New York, John Wiley, 589p.

FREITAS, R.O. (1944) Geomorfogênese da Ilha de São Sebastião. *Boletim da Associação dos Geógrafos Brasileiros*, vol. 4, p.16-30.

FREITAS, R.O. (1947) Geologia e petrologia da Ilha de São Sebastião. FFCLH, USP, São Paulo. Bol. 85, 244p.

GARDA, G.M. & GARDA, B. Quimismo dos minerais máficos e óxidos em diques alcalinos e de composições básicas a intermediárias da região costeira entre São Sebastião e Ubatuba, Estado de São Paulo, *Rev.inst.de Geoc.*, São Paulo, v.1, p.17-44, nov., 2001.

HANCHAR, J.M. & WATSON, E.B. (2003) Zircon saturation thermometry.). *Reviews in mineralogy and geochemistry*, 53, Zircon.

HEAMAN, L.M & LeCHEMINANT, A.N. 1993 Paragenesis and U-Pb systematics of baddeleyita (ZrO_2), *Chem. Geol.* 110: 95-126.

HENNIES, W.T. & HASUI, Y. (1981) Contribuição ao reconhecimento da geologia da Ilha de São Sebastião, Simpósio de Geologia Regional, SBG, São Paulo, 1:199-209.

HENNIES, W.T. & HASUI, Y. G. (1968) Geocronologia das rochas eruptivas alcalinas da Ilha de São Sebastião, SP. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 22, Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte, SBG, p. 145-148.

IPT (1981) Mapa geológico do Estado de São Paulo: escala 1: 500.000. São Paulo:,. 124 p

KEIL, K. & FRICKER P., E. (1974). Baddeleyite (ZrO_2) in gabbroic rocks from Axel Heiberg Island, Canadian Arctic Archipelago. *American Mineralogist*, **59**: 249-253.

KROGH, T.E.; CORFU, F.; DAVIS, D.W.; DUNNING, G.R; HEAMAN, L.M.; KAMO, S.L. ; MACHADO, N.; GRENNOUGH, J.D.; NAKAMURA, E. (1984) Precise U-Pb Isotopic ages of diabase dikes and mafic to ultramafic rocks using trace amounts of baddeleyite and zircon. In: Mafic Dikes Swarms, Editors: Halls, H.C. & Fahrig, W.F., Geological Association of Canada. Special Paper **34**, 147-152.

LE MAITRE, R.W. et alli (2002) Igneous Rocks – A classification and glossary of terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. Cambridge University Press. UK, Cambridge.

LIMA, G. A. 2001. Gabros estratiformes da região norte da Ilha de São Sebastião, SP. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, USP, 170p.

LUDWIG, R.K. (1993) PB DAT-A computer program for processing Pb-U-Th isotope data. Version 1.24. *Open-File Report 88-542*, Berkeley Geochronology Center, California, US.

LUDWIG, R.K. (2003) ISOPLOT 3.0 - A geochronological toolkit for Microsoft Excel™, Berkeley Geochronology Center, *Special Publication no4*, pp.70.

MACKENZIE, W.S.; DONALDSON, C.H.; GUILFORD, C. Atlas of igneous rocks and their textures. Harlow, Longman. 148 p. 1995.

MONTES-LAUAR, C.R; PACCA, I. G; MELFI A.J. & KAWASHITA, K. Late cretaceous alkaline complexes southeastern Brazil: Paleomagnetism and Geochronology, *Earth and Planetary Science Letters*. Vol.134, 425-440, 1995.

MOTOKI, A. (1986) Geologia e petrologia do maciço alcalino de Vitória, SP. Tese de doutoramento, IGC-USP, 245p.

PASSARELLI, C. (2006) Sistemática U-Th-Pb, método U-Pb. Notas de aula. Curso de geologia isotópica, 74p.

PARRISH, R.R. & NOBLE, S.R. (2003) – ZIRCON U-Th-Pb Geochronology by isotope dilution-Thermal Ionization Mass Spectrometry (ID-TIMS). *Reviews in mineralogy and geochemistry*, **53**, Zircon: 184 -213.

RICCOMINI, C.; VELÁSQUEZ, V.F.; GOMES, C.B. (2005) Tectonic controls of the mesozoic alkaline magmatism in central-southeastern Brazilian platform. In: *Mesozoic to Cenozoic alkaline magmatism in the Brazilian platform*, Comin-Chiaromonte, P. & Gomes, C.B.; **2**:31-55.

SATO, K. & KAWASHITA, K. (2002) Espectrometria de massas em geologia isotópica. *Geol.USP.Sér.Cient.São Paulo*, **2**, p.57-77.

SCHONE, B. & BOWRING, S.A. (2006) U-Pb systematics of the McClure Mountain syenite: thermochronological constraints on the age of the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ standard MMhb. *Contrib.Mineral Petrol.* **151**:615 -630.

SILVER, L. T., & DEUTSCH, S., (1963) Uranium-lead isotopic variations in zircons: a case study: *Journal of Geology*, **71**: 721–758.

SONOKI, I.K. & GARDA, G.M.(1988) Idades K-Ar de Rochas alcalinas do Brasil meridional e Paraguai oriental: compilação e adaptação às novas constantes de decaimento.São Paulo, *Boletim IG-USP, Série Científica*, **19**, p. 63-85.

STEIGER, R.H. & JÄGER, E.(1977) Subcommittee on geochronology: convention on the use of decay constants in geo- and cosmochemistry, *Earth and Planetary Science Letters*, **36**:359-362.

STREICKEISEN, A. (1976) To each rock its proper name. *Earth Science*, **12**:1-33.

THOMAS FILHO, A. & RODRIGUES, A.L. (1999) O alinhamento de rochas alcalinas Poços de Caldas-Cabo Frio (RJ) e sua continuidade na cadeia Vitória-Trindade. *Rev.Bras.Geoc.* **29**(2) 189-194.

THOMPSON, R.N.; GIBSON, S.A.; MITCHELL, J.G.; DICKIN, A.P.; LEONARDOS, O.H.; BROD, J.A.; GREENWOOD, J.C., (1988) Migrating Cretaceous-Eocene Magmatism in the Serra do Mar alkaline Province, SE Brazil: Melts from deflected Trindade Mantle Plume *J. Petrol.*, **39**(8):1493-1526.

TOMBA, C.L.B. & SATO, E.N. Campo de Esforços Controlador do Enxame de Diques Máfico-Ultramáficos da Ilha de São Sebastião, SP. *Resumos do XLIII Congresso Brasileiro de Geologia*, 2006.

TURNER, S.; REGELOUS, M.; KELLEY, S.; HAWKESWORTH, C.; MANTOVANI, M. (1994) Magmatism and continental break up in the South Atlantic high precision ^{40}Ar - ^{39}Ar geochronology. *Earth and Plan. Scien. Letters*. **121**:333-348.

ULBRICH, H.H.G. J; DEMAIFFE, D; VLACH, S.R.F. & KAWASHITA, K. (2002) Penecontemporaneous syenitic-phonolitic and basic-ultrabasic carbonatic rocks at the Poços de Caldas Massif, SE, Brazil: geologic and geochronology evidence. *Rev. Bras Geoc*; **32**:15-26.

ULBRICH, H.H.G.J & GOMES, C.B., (1981). Alkaline rocks from continental Brazil, *Earth Science Reviews*. Vol.17, 135-154.

VLACH, S.R., VILALVA, F.C.J., ULBRICH, M.N.C., ULBRICH, H.H. & VASCONCELOS, P.M. 2003 Phogopite from carbonatic veins associated with the Pocos de Caldas alkaline massif, SE Brazil mineralogy and ^{40}Ar - ^{39}Ar dating by the laser step heating method. IV South American Symposium on Isotope Geology, Salvador, Short papers **2**, 702-705.

WETHERILL, G.W. (1956) Discordant Uranium-Lead ages, I. *Trans. Amer. Geophys. Union*, **37**: 320-326.

ANEXOS

ANEXO I

Resultados isotópicos U/Pb para zircões e baddeleyítas, dos sienitos dos maciços de São Sebastião e Serraria.

Quadro I Resultados isotópicos U/Pb para zircões e baddeleyitas dos sienitos dos maciços de São Sebastião e Serraria.

N°	SPU	Fração	Pb ²⁰⁷ /U ²³⁵ #	Erro (%)	Pb ²⁰⁶ /U ²³⁸ #	Erro (%)	Coef.	U ²³⁸ /Pb ²⁰⁶ #	Erro (%)	Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁶ #	Erro (%)	Pb ²⁰⁶ /Pb ²⁰⁴	Pb (ppm)	U (ppm)	Peso (mg)	Pb ²⁰⁶ /U ²³⁸	Idade (Ma)	Pb ²⁰⁷ /U ²³⁵	Idade (Ma)	Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁶	Idade (Ma)
IBLE-18 Alkali Feldspato Sienito - Maciço de São Sebastião																					
1	3390	M-4 A(7)	0.08669	2.97	0.01327	2.77	0.938	75.33581	2.77	0.04737	1.03	206.73	1.21	76.8	0.05118	85	84	84	84	84	68
2	3391	M-4 B(16)	0.08613	2.29	0.01324	2.11	0.930	75.52186	2.11	0.04718	0.84	219.32	1.87	116.9	0.04421	85	84	84	84	84	58
3	3392	M-4 C(15)	0.08781	3.32	0.01341	3.09	0.937	74.57066	3.09	0.04749	1.16	134.30	1.41	77.0	0.04305	86	85	85	85	85	74
4	3393	M-3 E(3)	0.08324	2.72	0.01315	2.34	0.871	76.06067	2.34	0.04592	1.34	166.15	1.47	87.1	0.05245	84	81	81	81	81	-7
5	3394	M-3 F(2)	0.08734	1.64	0.01320	1.42	0.875	75.78571	1.42	0.04801	0.79	480.32	1.58	109.8	0.07565	85	85	85	85	85	100
6	3396	M-3 H(6)	0.08692	1.55	0.01327	1.45	0.941	75.35965	1.45	0.04751	0.52	585.65	1.43	101.0	0.07977	85	85	85	85	85	75
IBLE-S Sienito - Maciço Serraria																					
7	3397(Badd)	M-3,M-4(180)	0.08675	1.26	0.01313	1.15	0.916	76.18409	1.15	0.04793	0.51	361.85	1.90	133.3	0.07768	84	84	84	84	84	96
8	3398	M-5A(16)	0.08677	1.22	0.01324	1.14	0.939	75.54867	1.14	0.04755	0.42	393.29	4.33	249.5	0.04148	85	84	84	84	84	77
9	3400	M-5C(24)	0.08584	0.73	0.01329	0.56	0.779	75.24907	0.56	0.04685	0.46	1479.39	6.44	413.0	0.04373	85	84	84	84	84	42
10	3401	M-5D(65)	0.08721	1.04	0.01330	0.98	0.940	75.16762	0.98	0.04754	0.36	629.44	3.69	237.5	0.05378	85	85	85	85	85	77
11	3402	M-5E(61)	0.08781	1.12	0.01330	1.06	0.946	75.18062	1.06	0.04788	0.36	554.61	3.44	223.7	0.05197	85	85	85	85	85	93

SPU: Número de laboratório

Frações: os números entre parênteses indicam o número de grão selecionados

Chumbo radiogênico corrigido pelo branco e pelo chumbo inicial,Urânio corrigido para o branco

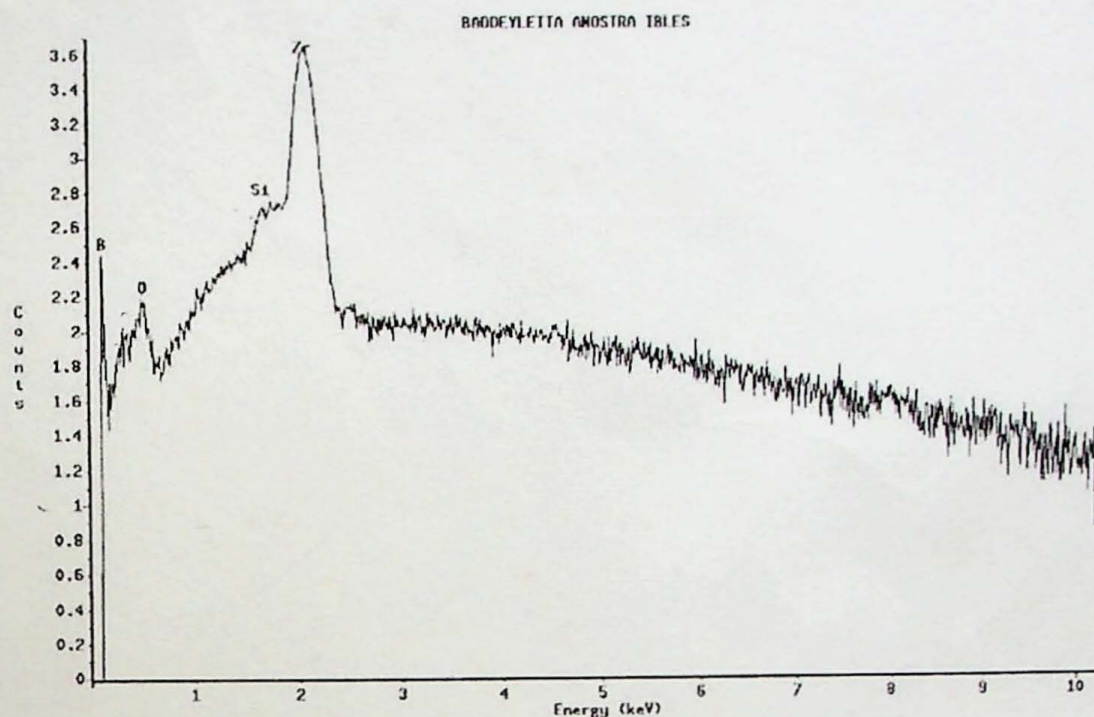
*Valores não corrigidos pelo branco ou chumbo comum

Concentrações de Urânio(U) e Chumbo(Pb) totais corrigidas pelo branco analítico.

Idades: Apresentadas em Ma utilizando software ISOPLOT/EX(1998) e constantes de decaimento radioativo recomendadas por Steiger and Jäger (1977).

ANEXO II

Espectro de dispersão de energia (EDS) para cristal de baddeleyíta do álcali-feldspato sienito do Maciço Serraria, Ilha de São Sebastião.



BADDEYLEITA AMOSTRA IBLES

Column	: JLO8600, Pioneer	Accelerating voltage	: 15
Take-off angle	: 40	Magnification	: 350
Acquisition type	: eds	Charge	: 2008.6
Creation time	: 2006/10/23 11:20	Beam current	: 20.086
Livetime	: 100	Beam spot size	: 0
Deadtime	: 7.042	Beam location	: 0.377289, 0.578266
Channels	: 1024	Working distance	: 11
Channel width	: 10	Stage X	: 40.304
Detector type	: Silicon/Lithium	Stage Y	: 39.164
Window type	: diamond	Stage Z	: 11.538
Window thickness	: 0.4	Stage tilt	: 0
Coating material	: Al	Stage rotation	: 0
Coating thickness	: 0.015	Contamination material	: none
Contact material	: Au	Contamination thickness	: 0
Contact thickness	: 0.02		
Crystal thickness	: 3		

File name : /usr/home/voyager/spectra_adm/bad_eds.eds

Notes:

Mon Oct 23 11:18:43 2006

Livetime : 11.2 Sec.
Technique: Least Squares Fit

Elements Present:
B(S), Pt(78)

Energy (keV)	Intensity (counts)	Elements Present
0.139	117	B Ka
2.069	4974	Pt Ma1

DOACAO
<i>IGC-OSP</i>
Data: <i>02/05/08</i>

