

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**O MAGMATISMO ALCALINO  
CRETÁCEO-TERCIÁRIO ASSOCIADO AO RIFT DE  
ASSUNÇÃO, PARAGUAI ORIENTAL:  
DETERMINAÇÕES RADIOMÉTRICAS PELO  
MÉTODO Ar-Ar**

Anderson Milan

Orientador: Prof. Dr. Celso de Barros Gomes  
Co-Orientador: Dr. Victor Velázquez Fernandez

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF-2003/09)

SÃO PAULO  
2003

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS



O magmatismo alcalino Cretáceo-Terciário associado  
ao *Rift* de Assunção, Paraguai Oriental: determinações radiométricas  
pelo método Ar-Ar  
TF-2003/09

Anderson Milan

Orientador: Prof. Celso de Barros Gomes  
Co-Orientador: Dr. Victor Velázquez Fernandez

**Monografia de Trabalho de Formatura**

São Paulo  
2003

TF  
M637  
Aim

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DOAÇÃO Seção
Cravuação-76rc
Data: 06/05/2004

O Departamento de Arqueologia e Geologia  
do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo  
recebeu em doação o material acima descrito.  
TT-2004

Anderson Filho

Coordenador: Prof. Osvaldo Luiz de Almeida  
Coordenadora: Dr.ª Vânia de Almeida

Responsável de Trabalho de Arqueologia

São Paulo  
2004

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC



30900014510



**O MAGMATISMO ALCALINO CRETÁCEO-  
TERCIÁRIO ASSOCIADO AO RIFT DE ASSUNÇÃO,  
PARAGUAI ORIENTAL: DETERMINAÇÕES  
RADIOMÉTRICAS PELO MÉTODO AR-AR**

**ANDERSON MILAN**

Monografia de Trabalho de Formatura

**Banca Examinadora**

Prof. Dr. Celso de Barros Gomes \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Excelso Ruberti \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Oswaldo Siga Junior \_\_\_\_\_

São Paulo

2003

## Agradecimentos

Escrevo de agradecer a todos os mestres que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Eu gostaria aqui agradecer a Deus e a meus pais, Domingos e Maria Isabel, pela grande e incondicional compreensão e ajuda. Também agradeço as minhas irmãs, Vanessa, Carol e Fabiana.

Ao Prof. Celso do Brasil Gomes pela orientação, apoio e palavras encorajadoras na preparação e execução deste trabalho, como também aos dois anos de iniciação científica.

Os meus sinceros agradecimentos ao Sr. Victor Valério Fernandes coordenador deste trabalho, pelas incalçáveis horas disponibilizadas, dedicação, paciência e amizade ao longo da realização tanto do texto, como das atividades de campo.

À FAPESP pelo apoio financeiro através do Projeto 01/01.044.

Aos amigos do campo Prof. Celso Bicconi, Drs. Luiz Carlos Sant'Ana e Marcelo Bruneri durante as viagens ao Paraguai.

Aos membros do Centro de Pesquisas Genômicas do IGC/USP, em especial ao Vasco e ao Abel.

A todos os amigos de família que não citarei nomes para não cometer o pecado de esquecer de alguém.

Em especial quero agradecer à amiga Ulisses por sempre estar comigo e me apoiar nas minhas ideias.

Aos grandes amigos Langido, Marcelo e Márcia por sempre terem me apoiado incondicionalmente.

As grandes amigas da CRUSP: Dra. Flávia, Regina e Patrícia entre outras.

**A meus pais**

**Domingos Milan e  
Maria Isabel Vieira Milan**

## Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todas as pessoas, que de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Em primeiro lugar agradeço a Deus e à meus pais, Domingos e Maria Isabel, pela eterna e incansável compreensão e ajuda. Carinho especial às minhas irmãs Vanessa, Sueli e Rosmari.

Ao Prof. Celso de Barros Gomes pela orientação, apoio e cuidados dispensados na preparação e revisão não só deste trabalho, como também aos dos anos de iniciação científica.

Os mais sinceros agradecimentos ao Dr. Victor Velázquez Femadez, co-orientador deste trabalho, pelas incansáveis horas dispensadas, dedicação, orientação e amizade ao longo da realização tanto do texto, como dos trabalhos de campo.

À FAPESP pelo apoio financeiro através do Projetos 01/0138-8.

Aos amigos de campo Prof. Cláudio Riccomini, Dra. Lucy Gomes Sant'Anna e Mariane Brumatti durante as viagens ao Paraguai.

Aos técnicos do Centro de Pesquisas Geocronológicas do Igc-Usp, em especial ao Vasco e ao Artur.

A todos os amigos de turma que não citarei nomes para não cometer o pecado de esquecer de alguém.

Em especial quero agradecer à amiga Urtiga pela confecção do abstract e pela ajuda nas revisões finais.

Aos grandes amigos Lampião, Marcelo e Márcio pelos longos anos de amizade e baladas incontáveis.

As grandes amigadas do CRUSP: Boi, Passivo, Sckroto e Bistekah todos irmãos.

## ÍNDICE

1. RESUMO.....	1
2. ABSTRACT.....	1
3. INTRODUÇÃO.....	1
3.1 Objetivos.....	3
3.2 Relevância do projeto.....	3
4. CONTEXTO GEOLÓGICO.....	4
5. METODOLOGIA DE TRABALHO.....	5
5.1 Trabalhos de Campo.....	5
5.2 Preparação das Amostras.....	23
5.3 Análises Radiométricas.....	27
5.3.1 O método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ .....	27
5.4 Procedimentos Analíticos.....	29
5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	30
5.1 Província Central.....	30
5.2 Província Assunção.....	32
6. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	32
6.2 Província Central.....	32
6.2.1 Análises Radiométricas.....	33
6.2 Província Assunção.....	34
6.2.1 Análises Radiométricas.....	35
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	35
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40

### **ANEXO I – Resultados radiométricos Ar/Ar para as Províncias Alcalinas Assunção e Central**

## 1. RESUMO

O magmatismo alcalino aqui estudado é caracterizado por dois pulsos principais: o primeiro, localizado na porção central do *Rift* de Assunção, é tratado como Província Central; o segundo situa-se no seu segmento ocidental, sendo referido na literatura como Província Assunção.

De modo geral, as análises Ar/Ar obtidas mostraram-se plenamente satisfatórias, com pequena variação entre os resultados coligidos e concordância bastante razoável com os dados disponíveis na literatura.

Para a Província Central, foram feitas 27 análises, em rocha total e concentrados minerais (biotita e plagioclásio). Os resultados sugerem dois eventos: um primeiro, o mais importante, entre 128-126 Ma e um segundo, mais difuso e associado principalmente aos corpos extrusivos, entre 116-114 Ma.

Para a Província Assunção, foram analisadas 9 amostras, todas em rocha total. As idades obtidas para esse magmatismo apontam um intervalo de 61-59 Ma.

## 2. ABSTRACT

The investigated alkaline magmatism is characterized by two main pulses: the first focussing the central portion of the Assunción Rift is recognized as the Central Province; the second one corresponds to its western section and is referred in literature as Assunción Province.

In a general way, the Ar/Ar analyses were completely adequate and show a small variation for the results as well as a reasonable correspondence with the literature data.

For the Central Province, 27 analyses were made on whole rock and mineral concentrates (biotite and plagioclase). The results suggest two distinct episode: the most important one between 128-126 Ma, and a latest and more diffuse event, mainly associated with the extrusive rocks, between 116-114 Ma.

For the Assunción Province, 9 samples were analysed on whole rock. The data indicate ages between 58 Ma and 56 Ma.

## 3. INTRODUÇÃO

A porção centro-leste do Paraguai oriental, de topografia plana, com altitudes máximas não ultrapassando a 500 m, é dominada por importante feição estrutural, o *Rift* de Assunção (DeGraff, 1985). Este apresenta orientação geral NW-SE e estende por cerca de 200 km e 25-40 km de largura, desde a cidade homônima até as cercanias da Cordilheira de Ybytyruzú (Fig. 1).

Com base em evidências morfológicas e na natureza e cronologia das atividades magmáticas associadas, é possível distinguir ao longo dessa estrutura três segmentos distintos.

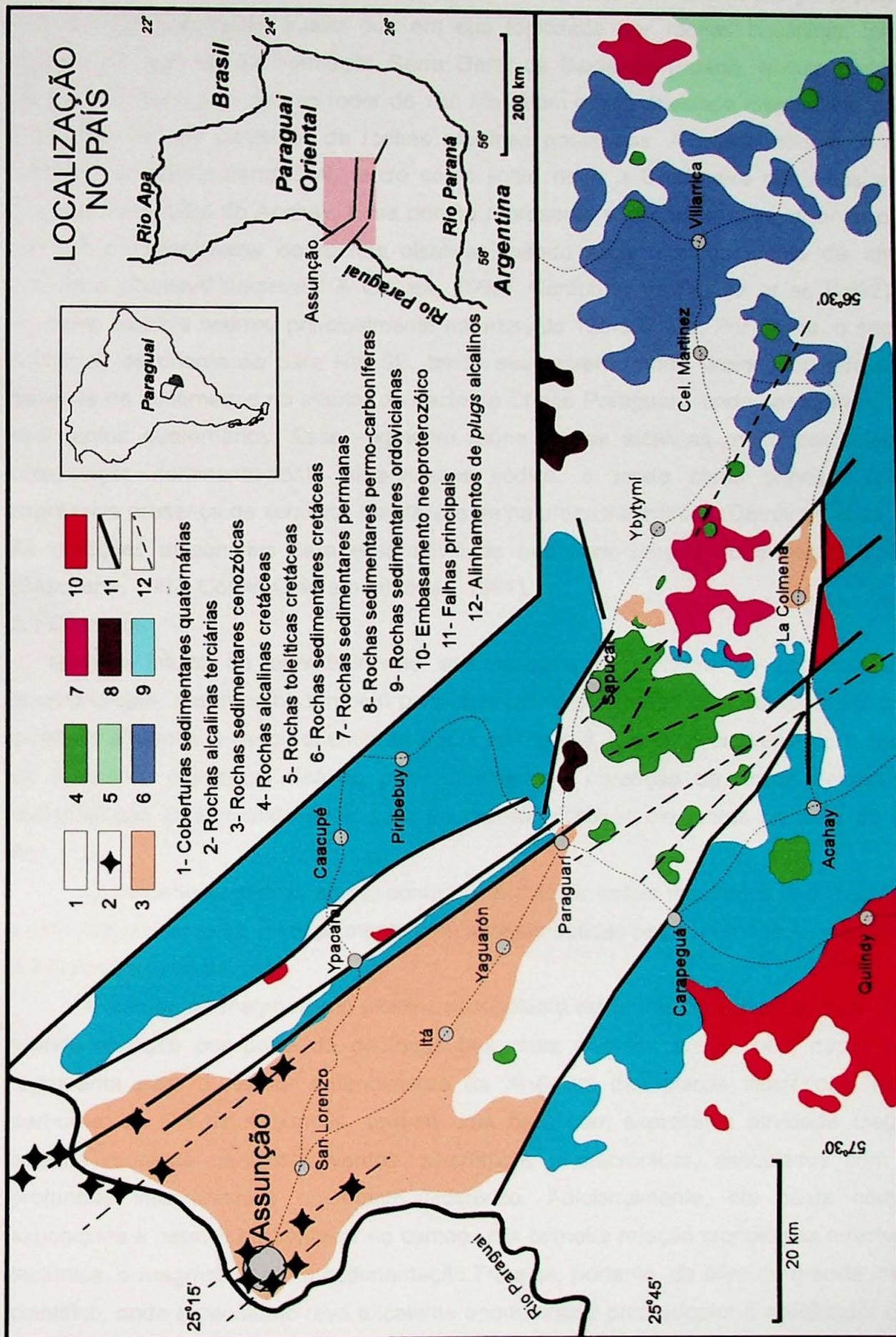


Figura 1. Mapa geológico do Rift de Assunção (extraído de Velázquez et al., 1998).

A região oriental, um dos seus braços mais difusos, com orientação geral para NW-SE, acha-se constituída quase que em sua totalidade por rochas basálticas toleíticas congêneres com as da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná, e cujo período de atividade vulcânica se deu ao redor de 130 Ma. Além dessa atividade magmática, ocorrem localmente corpos intrusivos de rochas alcalinas potássicas. A região central, a melhor definida, apresenta *trend* E-W, tendo como limite norte a Cordilheira dos Altos e como extremo sul a falha de Acahay. Essa porção representa o segmento congregando o maior número de ocorrências de rochas alcalinas, sendo estas marcadamente de afinidade potássica (Comin-Chiaramonti & Gomes, 1996). Conforme Velázquez *et al.* (1992), essa atividade alcalina ocorreu principalmente no intervalo 130-120 Ma. Por último, o segmento ocidental, de orientação para NW-SE, tendo seu extremo norte prolongado por algumas dezenas de quilômetros no interior da bacia do Chaco Paraguai, onde desaparece sob os sedimentos quaternários. Esse segmento reúne rochas alcalinas muito particulares, de composição predominantemente ultra-alcalina sódica, e tendo como principal feição a expressiva presença de xenólitos mantélicos de natureza lherzólítica (Demarchi *et al.*, 1988). As datações disponíveis para essa atividade permitem situá-la no intervalo 61-39 Ma (Bitschene, 1987; Comin-Chiaramonti *et al.*, 1991).

### 3.1 Objetivos

Com o intuito de contribuir não apenas para a melhoria do conhecimento da geocronologia, assim como também para uma futura correlação com outras manifestações alcalinas afetando o flanco oriental da Bacia do Paraná, julgou-se conveniente a execução de programa específico visando primordialmente à obtenção de novas determinações radiométricas pelo método Ar-Ar para as rochas alcalinas existentes na área do *Rift* de Assunção.

O trabalho pretende, ainda, comparar e discutir esses resultados com as idades já existentes na literatura, principalmente com aquelas obtidas pelos métodos K-Ar e Rb-Sr.

### 3.2 Relevância do projeto

O estudo do magmatismo alcalino associado a estruturas do tipo *rift* sempre mereceu grande atenção por parte de geólogos das mais diversas áreas, pelo papel que ele representa para o melhor entendimento da dinâmica das placas litosféricas. No caso particular do *Rift* de Assunção, tem-se uma área com expressiva atividade magmática alcalina reunindo múltiplos eventos, sincrônicos e diacrônicos, associados com falhas profundas intervenientes no manto litosférico. Adicionalmente, ela conta com boas exposições a permitir estabelecer no campo uma primeira relação cronológica envolvendo a tectônica, o magmatismo e a sedimentação. Trata-se, portanto, de área de grande interesse científico, onde o candidato teve excelente oportunidade para adquirir e aprofundar os seus conhecimentos geológicos.

Por outro lado, a escolha da metodologia Ar-Ar para o presente estudo encontra plena justificativa, considerando que a técnica utiliza equipamento de alta resolução, o que permite precisar as razões isotópicas por meio do aumento da temperatura em cada etapa sucessiva e não da quantidade absoluta de gás, levando, dessa forma, à determinação de uma série de idades aparentes independentes para um único grão. Este fator é de suma importância, uma vez que as idades obtidas para cada amostra proporcionarão maior controle de interpretação e permitirão, ao mesmo tempo, minimizar os problemas rotineiros de perda ou excesso de argônio radiogênico, mencionados com frequência como sendo uma das maiores dificuldades enfrentadas na metodologia convencional K-Ar.

#### 4. CONTEXTO GEOLÓGICO

A região em estudo, correspondente à porção centro-oriental do Paraguai, é caracterizada geologicamente por uma pequena exposição do embasamento e grandes seqüências sedimentares, além de extensos afloramentos de rochas toleíticas e diversificado magmatismo alcalino.

As rochas mais antigas da região afloram na porção SW da área, estendendo-se para S de forma praticamente contínua, e correspondem ao Grupo Caapucú, formado a partir de eventos tectono-metamórficos durante o Neoproterozóico. Essa unidade reúne um conjunto de rochas magmáticas e metamórficas caracterizado principalmente pela presença de granitos, riólitos, pórfiros, gnaisses e migmatitos (Kansler, 1987).

Durante o Paleozóico, ocorreu o primeiro ciclo de subsidência da Bacia do Paraná, gerando importante sedimentação correspondente ao Grupo Caacupé (aflorando nas porções S e N da área), de idade ordovociana-siluriana. Estratigraficamente essa unidade é dividida em duas formações: Paraguari e Piribebuy. A primeira engloba conglomerados e arenitos conglomeráticos basais formados por um sistema de rios entrelaçados. Já a segunda congrega arenitos com estratificação cruzada e lentes pelíticas originados em um sistema costeiro dominado por barras de infra-maré (Paes de Almeida *et al.*, no prelo). Já no final do Paleozóico (Permiano Médio) foram depositados arenitos com intercalações de argilitos avermelhados (que afloram entre as cidades de Paraguari e Villarrica) associados a deltas e planícies costeiras eólicas, correspondentes à Formação San Miguel (Orué, 1996).

No Mesozóico, formaram-se extensos depósitos de sedimentos arenosos avermelhados de origem eólica correspondente à Formação Misiones, de idade cretácea (Proyecto PAR 83/005, 1986). Ainda nesse período associados à abertura do Oceano Atlântico aparecem, a leste da cidade de Villarrica, extensas exposições de derrames toleíticos, também de idade cretácea, enquadrados na Formação Alto Paraná.

Durante o Terciário, uma importante atividade tectono-magmático-sedimentar foi responsável pela sedimentação de espesso pacote de rochas rudáceas e arenáceas grossas correspondentes à Formação Patiño (Sallun, 1999).

Sedimentos quaternários encontram-se distribuídos em áreas de planícies alagadas e ao longo dos leitos das principais drenagens, incluindo depósitos heterogêneos e materiais argilosos (Orué, 1996).

O magmatismo alcalino, controlado tectonicamente pelo *Rift* de Assunção acha-se representado por duas províncias. A primeira, localizada na porção central do *rift*, com idades entre 130-120 Ma, é conhecida na literatura como Província Central. As ocorrências consistem em um conjunto de rochas com grande diversidade agrupadas em duas séries distintas: (i) basanitos evoluindo para fonolitos e (ii) basaltos alcalinos passando para traquitos; as duas associações incluindo os seus respectivos termos intrusivos (Comin-Chiaramonti & Gomes, 1996). No conjunto, ocorrem na forma de *stocks*, *plugs*, derrames de lavas, complexos anelares e enxame de diques.

A segunda, Província Assunção, está situada no segmento ocidental do *rift* e contém rochas com idades entre 61-39 Ma e composição marcadamente sódica, consistindo em nefelinitos (ankaratritos) e fonolitos peralcalinos. A principal característica desse magmatismo é a presença expressiva de nódulos mantélicos de dimensões centimétricas, variando em composição de dunitos a lherzolitos (Comin-Chiaramonti *et al.*, 1991).

## 5. METODOLOGIA DE TRABALHO

### 5.1 Trabalhos de Campo

Os trabalhos de campo foram desenvolvidos em duas fases: a primeira em janeiro de 2001 e a segunda em agosto de 2002, sendo que em ambas as oportunidades contou-se com a participação, além do autor, dos geólogos Dr. Victor Velázquez Fernandez e Prof. Dr. Cláudio Riccomini. Reunindo as duas etapas foram realizadas 136 horas de trabalho e coletadas 56 amostras. Com o propósito de localizar as ocorrências e definir quando possível a geologia dos corpos foram empregados mapa geológico da região, na escala 1:250000, além de cartas topográficas da Dirección del Servicio Geográfico Militar do Paraguai, nas escalas 1:100000 e 1:50000. Além das amostras obtidas durante as atividades de campo, foram também utilizadas algumas outras coletadas pelos geólogos acima provenientes das localidades de Barcequillo (código da amostra GPA-44), da cidade de Fernando de la Mora, e do Cerro San José (PSJ-25), ocorrência situada a sudoeste da cidade de La Colmena.

Na medida do possível, as amostras estavam livres de alteração intempérica ou de qualquer outro tipo de "contaminação" (e.g. xenólitos mantélicos presentes nas rochas da Província Assunção), de forma a não interferir nos resultados analíticos.

Os pontos visitados são descritos abaixo e sua localização mostrada na Figura 2. Os códigos GPC (geocronologia-Província Central) e GPA (geocronologia-Província Assunção) foram empregados para as províncias alcalinas homônimas.

### **Cerro Arrúa-í**

O Cerro Arrúa-í (Foto 1) está localizado a 10 km, na direção SW, da cidade de Yaguarón. Sua área de ocorrência é de aproximadamente 3,8 km<sup>2</sup> e é composto, na sua maior parte, por sienodioritos. As amostras foram coletadas numa pedreira que se encontra em pequeno alto topográfico, a SW da elevação de maior expressão. Uma das amostras corresponde ao *stock* sienodiorítico (código GPC 43) e a outra a de um dique traquítico, cujo código é GPC 44.

### **Cerro Santo Tomás**

O corpo aflora a 4 km, na direção NE, da cidade de Paraguari. O *stock* tem área aproximada de 3,2 km<sup>2</sup> e é composto por sienodioritos. Há também um dique de lamprófito, com aproximadamente 1,5 m de espessura, que corta o corpo intrusivo na direção NW. Na pedreira (Foto 2) que explora o corpo foram coletadas duas amostras, uma de sienodiorito e outra de lamprófito, cujos códigos são, respectivamente, GPC 14 e GPC 15.

### **Sapucaí**

Ao sul da cidade de Sapucaí, afloram diversos corpos alcalinos ocupando área total de aproximadamente 98 km<sup>2</sup>. As formas de ocorrência são diversas: *stocks*, *plugs*, lavas, camadas de tufos piroclásticos, brechas e diques.

Foram coletadas quatro amostras, sendo que a primeira, cujo código é GPC 16, localiza-se no flanco leste do Cerro Corá (Foto 3). A segunda, GPC 17, provém da encosta leste do Cerro Verde e a terceira, GPC 18, situa-se a 2 km do Cerro Verde na direção oeste. Todas correspondem a gabros alcalinos. A última, GPC 19, de leucita basalto, é encontrada na forma de um dique junto ao flanco oeste do Cerro Corá.

### **Potrero Guayacby**

O Potrero Guayacby situa-se a 3 km, na direção SW, da localidade de Bernardino Caballero e consiste em lavas de basalto alcalino cortadas por um dique (Foto 4) de leucita basalto com direção N40W e espessura aproximada de 1 m. Foram coletadas duas amostras, uma do dique e outra da lava, sendo os seus códigos, respectivamente, GPC 20 e GPC 21.

### **Cerro Fidel**

O Cerro Fidel encontra-se a 3 km, na direção SW, da localidade de Bernardino Caballero e possui diâmetro de aproximadamente 0,5 km e altitudes que chegam a 270 m. Trata-se de traquifonolitos ocorrendo na forma de *plug*, do qual foi coletada uma amostra no seu flanco sul, cujo código é GPC 22

### **Potrero Ybaté**

O afloramento situa-se a 13 km ao sul da localidade de Sapucaí. A ocorrência reúne lavas, camadas de tufos piroclásticos, brechas e diques, além de um *stock* que representa o maior corpo intrusivo da região (Foto 5). A amostra foi coletada no flanco norte do *stock* e corresponde a um sienodiorito, código GPC 23.

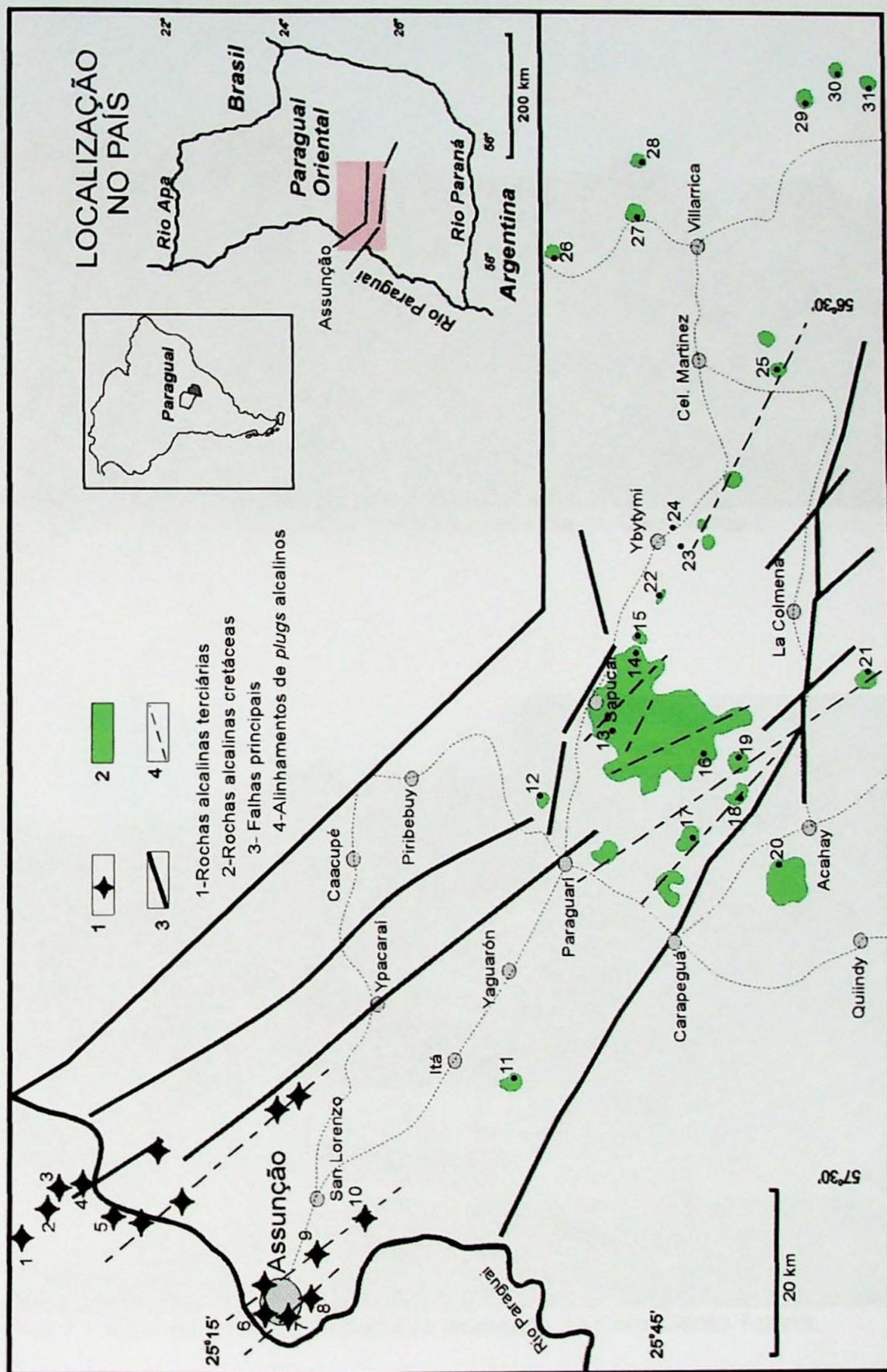


Figura 2 - Mapa de localização dos afloramentos visitados. 1, Cerrito; 2, Benjamin Aceval; 3, Estancia La Lomita; 4, Cerro Verde; 5, Cerro Confuso; 6, San Jorge; 7, Cerro Tacumbú; 8, Cerro Lambaré; 9, Barcequillo; 10, Cerro Nembu; 11, Cerro Arua-i; 12, Cerro Santo Tomás; 13, Sapucaí; 14, Potrero Guayacby; 15, Cerro Fidel; 16, Potrero Ybaté; 17, Cerro Yarygua-a; 18, Cerro Gimenez; 19, Cerro Medina; 20, Cerro Acahay; 21, Cerro San José; 22, Cerro Valle-i; 23, Serranía de Ybytymi; 24, Cerro Cañada; 25, Cerro Itapé; 26, Aguapety Portón; 27, Mbocayaty; 28, Cerro Capiitindy; 29, Cerro Santa Elena; 30, Cerro Km 23 e 31, San Benito (modificado de Velázquez et al., 1998).



Foto 1 – Vista panorâmica da pedreira localizada no Cerro Arrúa-í.



Foto 2 – Vista panorâmica da pedreira localizada no Cerro Santo Tomás.



Foto 3 – Vista panorâmica dos da região de Sapucaí.



Foto 4 – Vista panorâmica do dique de leucita basalto localizado no Potrero Guayacby.

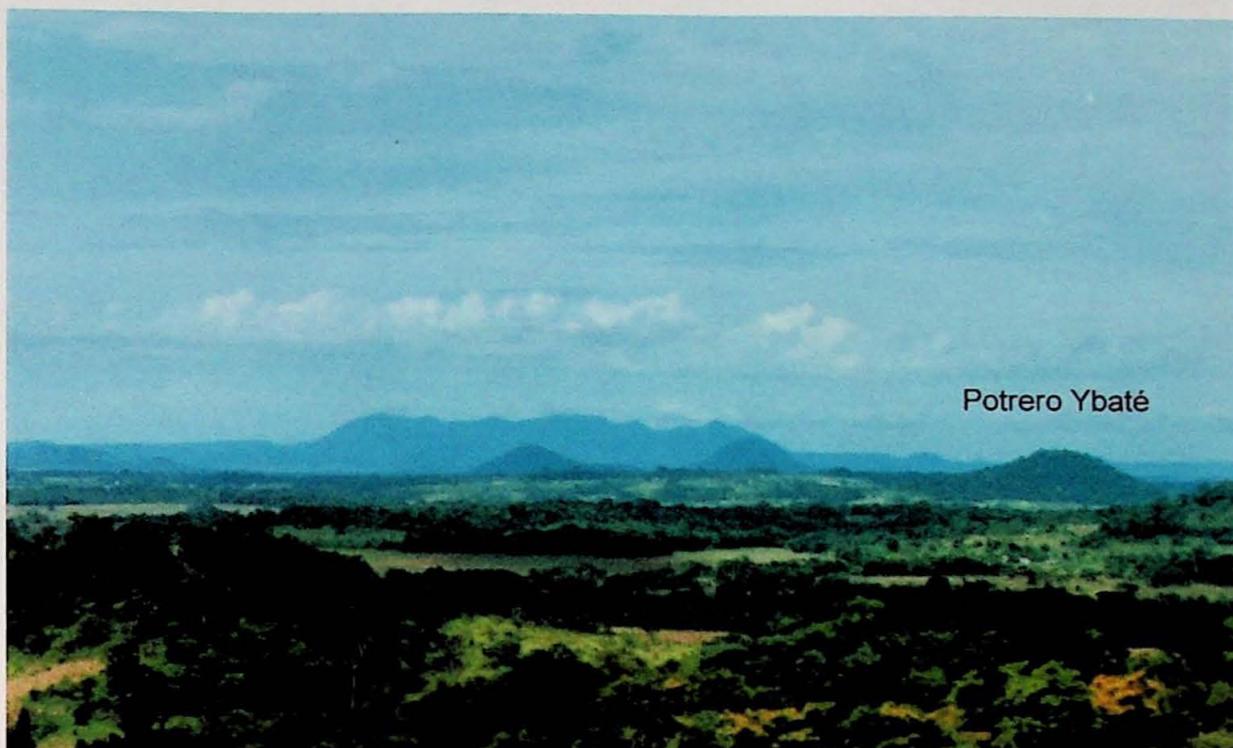


Foto 5 – Vista panorâmica do Cerro Potrero Ybaté.

### **Cerro Yarigua-á**

O cerro Yarigua-á localiza-se a aproximadamente 12 km a SE da localidade de Carapeguá. O *plug* fonolítico possui área de 0,4 km<sup>2</sup> e alcança altitudes que chegam a cota 333 m (Foto 6).

Foram coletadas duas amostras no flanco SW, uma mais próxima à base do cerro (GPC 49) e a outra do topo (GPC 50).

### **Cerro Gimenez**

O *plug* fonolítico que sustenta o Cerro Gimenez situa-se a 10 km na direção NE da cidade de Acahay, ocupando área de aproximadamente 0,5 km<sup>2</sup> e chegando a atingir cota de 294 m de altitude (Foto 7).

As amostras foram coletadas no flanco SW, cujos códigos são GPC 45 e GPC 46.

### **Cerro Medina**

O cerro Medina está situado a aproximadamente 15 km na direção NE da cidade de Acahay. O *plug* fonolítico possui área de 1,3 km<sup>2</sup> e atinge cotas de 248 m de altitude (Foto 8).

As amostragens foram realizadas no flanco NE do Cerro, cadastrando-se duas amostras: uma na base (GPC 47) e outra no topo (GPC 48).



Foto 6 – Vista Panorâmica do Cerro Yarigua-á (à direita).



Foto 7 – Vista panorâmica do Cerro Gimenez.

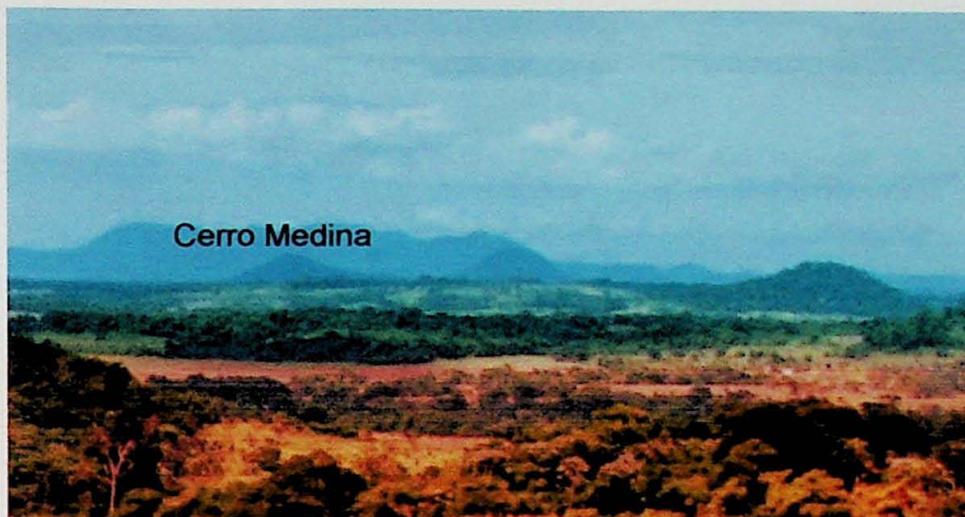


Foto 8 – Vista panorâmica do Cerro Medina.

### **Cerro Acahay**

O maciço circular de Acahay (Foto 9), distante cerca de 4 km a NW da cidade homônima, cobre área de 17 km<sup>2</sup> e seu ponto mais alto, junto à borda, atinge 572 m. A sua porção central apresenta feições de subsidência de caldeira. O maciço apresenta grande variedade litológica: um anel externo constituído por essexitos e sienodioritos, com a parte central composta por teralitos, gabros essexíticos, gabros alcalinos, além de traquibasaltos e traquitos.

As amostras foram coletadas em duas pedreiras existentes na porção NE do corpo, sendo uma de traquibasalto, código GPC 12 (Foto 10) e a outra, código GPC 13, de gabro alcalino (Foto 11).

### **Cerro Valle-í**

O cerro Valle-í dista aproximadamente 6 km a oeste da vila de Ybytymí. Trata-se de dique fonolítico de cerca de 0,3 km<sup>2</sup> e direção NW.

As amostras foram coletadas, respectivamente, nos flancos S (GPC 55) e N (GPC 56).

### **Serranía de Ybytymí**

O afloramento está a aproximadamente 5 km, na direção SW, da localidade de Ybytymí, próximo ao centro da cordilheira. Trata-se de um dique orientado segundo EW, com espessura não ultrapassando 80 cm. A amostra coletada, código GPC 24, corresponde a um tefrito.

### **Cerro Cañada**

O corpo aflora a 4 km, na direção NW, da vila de Ybytymí. Representa um *stock* constituído por gabros alcalinos a nefelina sienitos e cumulatos ijolíticos, totalizando área aproximada de 0,8 km<sup>2</sup>. Ocorrem também lavas associadas de basalto alcalino. Foram coletadas duas amostras no flanco oeste do morro: uma de basalto alcalino, código GPC 25, e outra de gabro alcalino, código GPC 26.

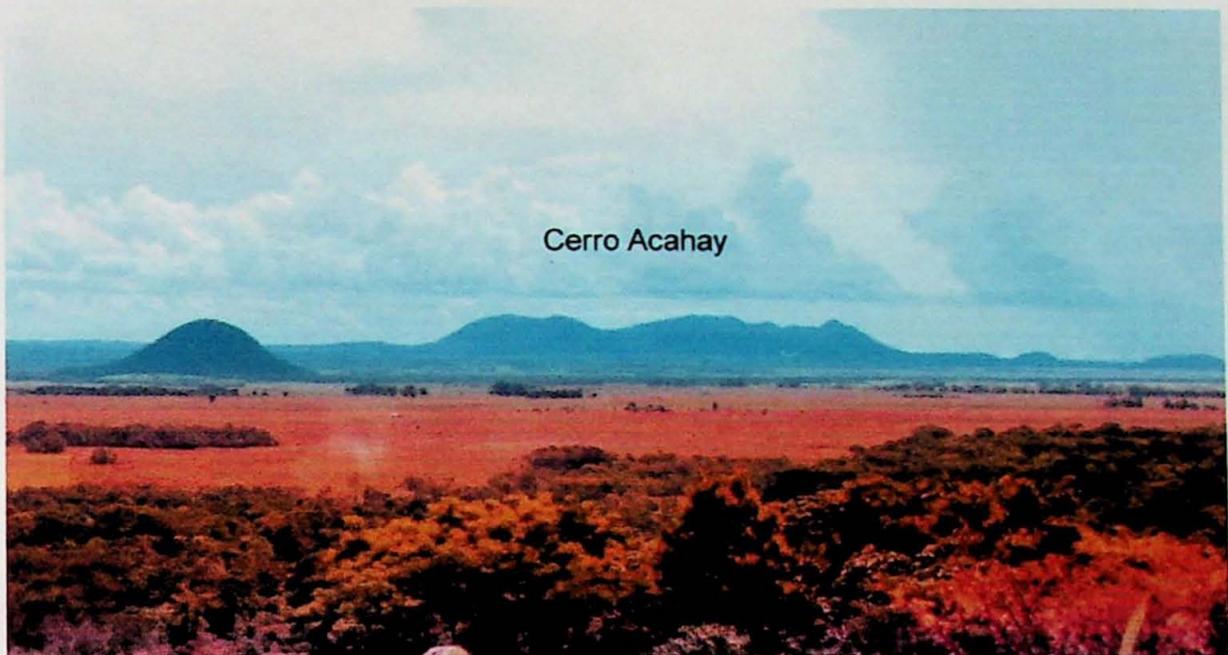


Foto 9 – Vista panorâmica do Cerro Acahay.



Foto 10 – Vista da pedreira, que explora um traquibasalto, localizada no Cerro Acahay.



Foto 11 – Vista geral da pedreira, que explora um gabro alcalino, localizada no Cerro Acahay.

### **Cerro Itapé**

O afloramento encontra-se a aproximadamente 5 km a SE da vila de Itapé (Foto 12). No flanco sul do morro foi amostrado um dique de direção N44W, petrograficamente classificado como tefrito (código da amostra GPC 29).

### **Aguapety Portón**

O *stock* aflora cerca de 20 km ao norte da cidade de Villarrica e ocupa área aproximada de 0,2 km<sup>2</sup>. O corpo tem como litotipos teralitos, nefelina sienitos e principalmente gabros essexíticos e essexitos. A amostra, código GPC 30, foi coletada em uma pedreira (Foto 13) e corresponde a um essexito.

### **Mbocayaty**

Nessa localidade aflora um *stock* shonkinítico circular com área aproximada de 1,5 km<sup>2</sup>. No afloramento também ocorrem rochas extrusivas (traquibasaltos) que, por não estarem *in situ*, não foi possível estabelecer a sua geometria e relações estruturais com a rocha encaixante. Na pedreira (Foto 14) que explora essas rochas foram coletadas duas amostras, uma correspondente ao traquibasalto e outra ao shonkinito, respectivamente, códigos GPC 31 e GPC 32.

### **Cerro Capiitindy**

O afloramento localiza-se a 10 km, na direção NE, da cidade de Villarrica. O *plug* (Foto 15) possui área de cerca de 0,8 km<sup>2</sup> e é composto essencialmente por traquifonolitos. Na área também ocorre um dique de traquito, cujas dimensões são de difícil observação, uma vez que apenas pequenos blocos estão presentes. Foram coletadas duas amostras, uma do corpo principal, código GPC 33, e outra do dique, código GPC 34.

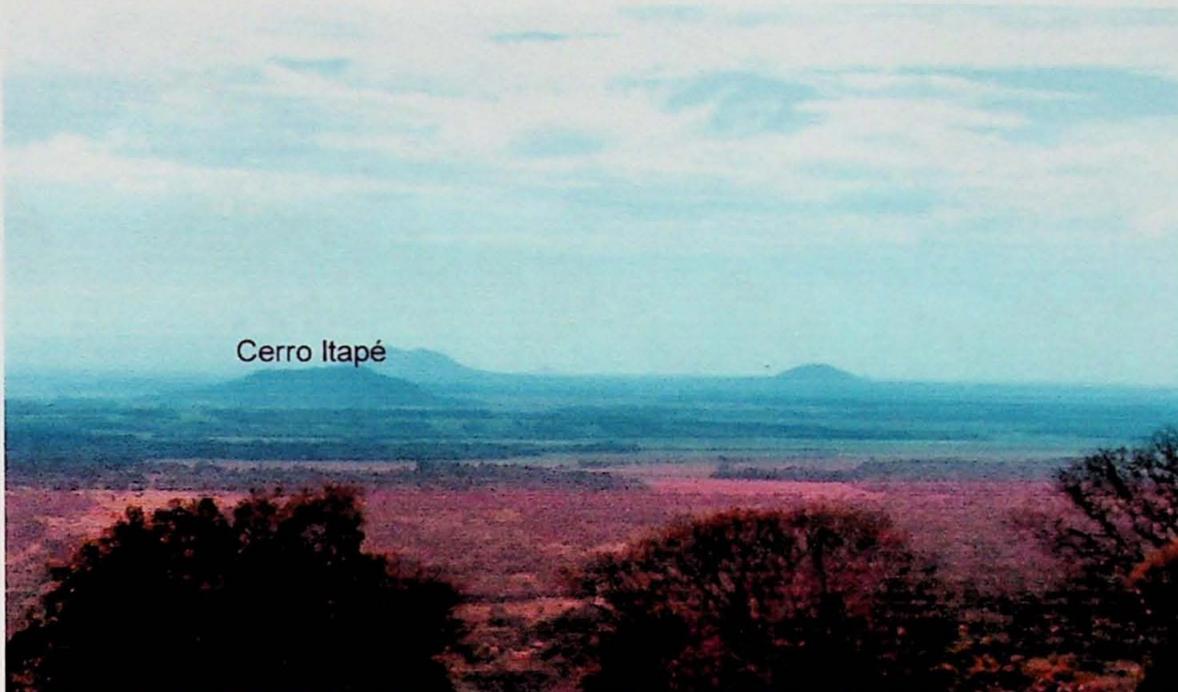


Foto 12 – Vista panorâmica do Cerro Itapé.

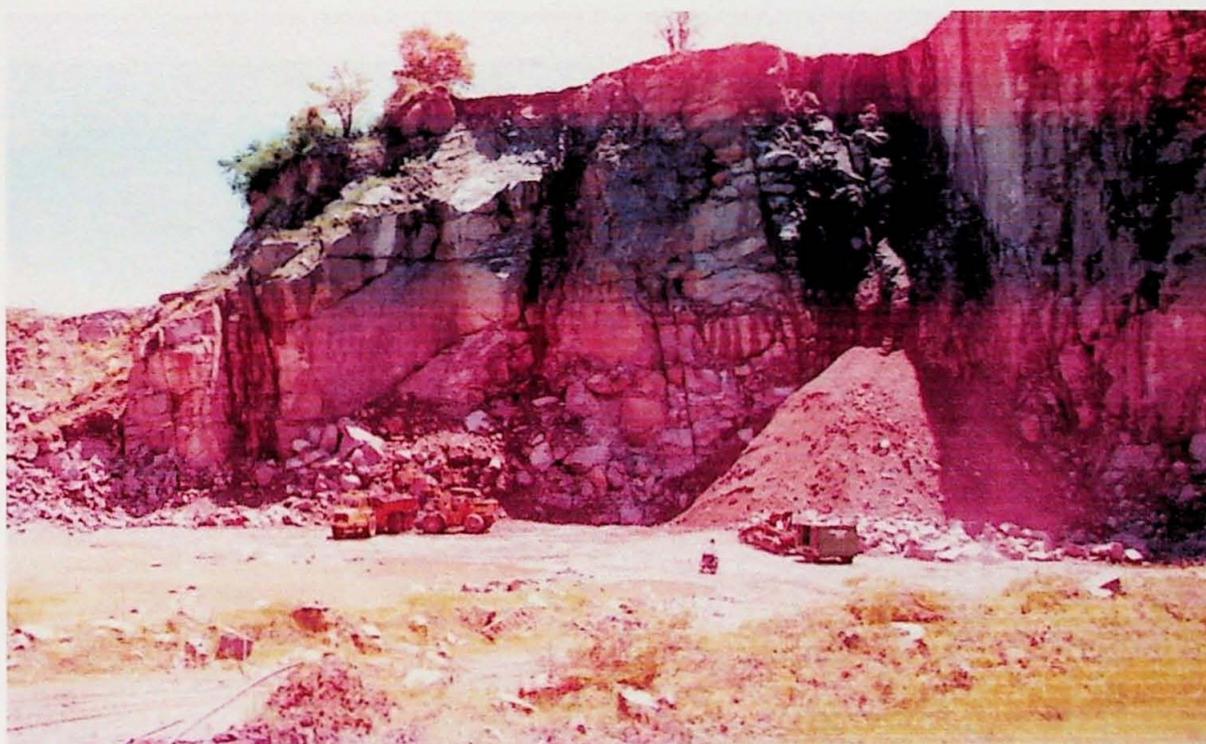


Foto 13 – Vista geral da pedreira Aguapety Portón.



Foto 14 – Vista panorâmica da pedreira de Mbocayaty.

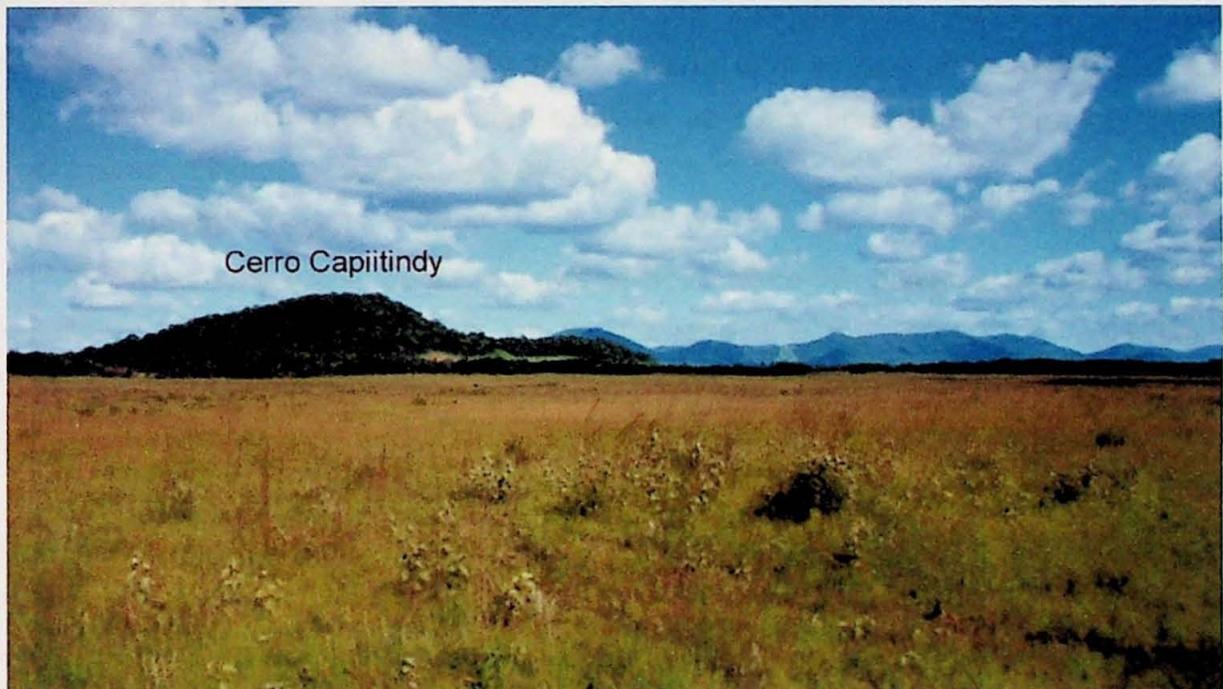


Foto 15 – Vista panorâmica do Cerro Capiitindy.

### **Cerro Santa Elena**

O afloramento situa-se na porção SW da Cordilheira de Ybyturuzú a 6,5 km, na direção NE, da vila de Ñumi. Ele corresponde a um *stock* (Foto 16) e apresenta como litologia principal tefritos e, mais subordinadamente, basanitos, basaltos alcalinos, gabros essexíticos e essexitos. A amostra foi coletada na região central e corresponde a um essexito, tendo por código GPC 36.

### **Cerro Km 23**

O afloramento está localizado a 1 km, na direção NE, do vilarejo de Roque G. de Santa Cruz. O maciço circular (Foto 17) cobre área aproximada de 0,8 km<sup>2</sup> e tem como litotipos gabros essexíticos a essexitos.

Foram coletadas três amostras: duas no flanco SW, códigos GPC 39 e GPC 40, e uma no flanco sul, código GPC 41.

### **Cerro San Benito**

O Cerro San Benito (Foto 18) localiza-se a aproximadamente 2,5 km do vilarejo de Roque G. de Santa Cruz. No local foi amostrado um dique, com 80 cm de espessura, que corta o flanco sul do morro e apresenta litologia tefrítica. A amostra coletada foi codificada como GPC 42.

### **Cerrito**

A pedreira (Foto 19) situa-se a 1 km, na direção sul, da cidade de Benjamin Aceval, ao lado da rodovia Transchaco. O *plug*, que é explorado como material de empréstimo, tem como principal litologia nefelinitos portadores de xenólitos do manto. O corpo possui pequena expressão topográfica e só está exposto apenas nas escavações da pedreira, sendo, portanto, difícil determinar com exatidão as suas dimensões. Foram coletadas na pedreira duas amostras, códigos GPA 04 e GPA 05.

### **Benjamin Aceval**

O afloramento está localizado numa pedreira (Foto 20) distante 2,5 km da cidade de Benjamin Aceval. O *plug*, com 0,5 km de diâmetro e 80 m de altura, é constituído por nefelinitos portadores de xenólitos do manto. Coletou-se apenas uma amostra, GPA 06.

### **Estancia La Lomita**

O afloramento dista 4 km, na direção norte, da cidade de Villa Hayes. O corpo possui pequena expressão topográfica e suas dimensões não ultrapassam 0,4 km no maior eixo, além de no máximo 30 m de altura (Foto 21). Trata-se de *plug* de litologia nefelinítica do qual foi coletada uma única amostra, cujo código é GPA 07.

### **Cerro Verde**

Situada na cidade de Villa Hayes, a pedreira visitada (Foto 22) explora um *plug* com 0,2 km<sup>2</sup> de área e de natureza ankaratrítica, com xenólitos do manto. Apenas uma amostra foi coletada no afloramento, código GPA 08.



Foto 16 – Vista panorâmica do Cerro Santa Elena.



Foto 17 – Vista panorâmica do Cerro Km 23.



Foto 18 – Vista panorâmica do Cerro San Benito.



Foto 19 – Vista geral da pedreira Cerrito, na qual se pode notar a pouca expressão topográfica do corpo alcalino.



Foto 20 – Vista panorâmica da pedreira Benjamin Aceval.



Foto 21 – Vista panorâmica do *plug* localizado na Estancia La Lomita.



Foto 22 – Vista geral da pedreira do Cerro Verde.

### **Cerro Confuso**

O afloramento localiza-se numa pedreira (Foto 23) a 5 km ao sul da cidade de Villa Hayes. O corpo explorado (Minera Ypacaraí) é composto por fonolitos que ocorrem na forma de *plug*, ocupando área não superior a 0,2 km<sup>2</sup>. Nesse local foi coletada somente uma amostra, código GPA 09.

### **San Jorge**

A antiga pedreira San Jorge (hoje desativada) está situada na área urbana de Assunção, sendo por esse motivo difícil estabelecer as dimensões do corpo (a região está completamente tomada por residências), que aflora apenas em alguns cortes de barranco (Foto 24). Provavelmente trata-se de um *plug* e sua litologia é classificada como nefelinito. Foi coletada apenas uma amostra, cujo código é GPA 10.

### **Cerro Tacumbú**

O afloramento localiza-se na cidade de Assunção, ao norte do Cerro Lambaré, e possui aproximadamente 0,1 km<sup>2</sup> de área. Petrograficamente, consiste em nefelinitos com xenólitos do manto. A amostra foi coletada na antiga pedreira (Foto 25) e foi codificada como GPA 11.

### **Cerro Lambaré**

O *neck*, com área não superior a 0,03 km<sup>2</sup> (Foto 26), aflora na cidade de Assunção, próximo ao leito do rio Paraguai, e tem como litologia nefelinitos portadores de xenólitos do manto. A amostra, código GPA 03, foi coletada em um afloramento existente na estrada que dá acesso ao cume do morro (flanco SE).



Foto 23 – Vista panorâmica da pedreira Minera Ypacaraí localizada no Cerro Confuso.



Foto 24 – Vista de um corte da antiga pedreira de San Jorge (corte de barranco).



Foto 25 –Vista panorâmica da antiga pedreira localizada no Cerro Tacumbú.

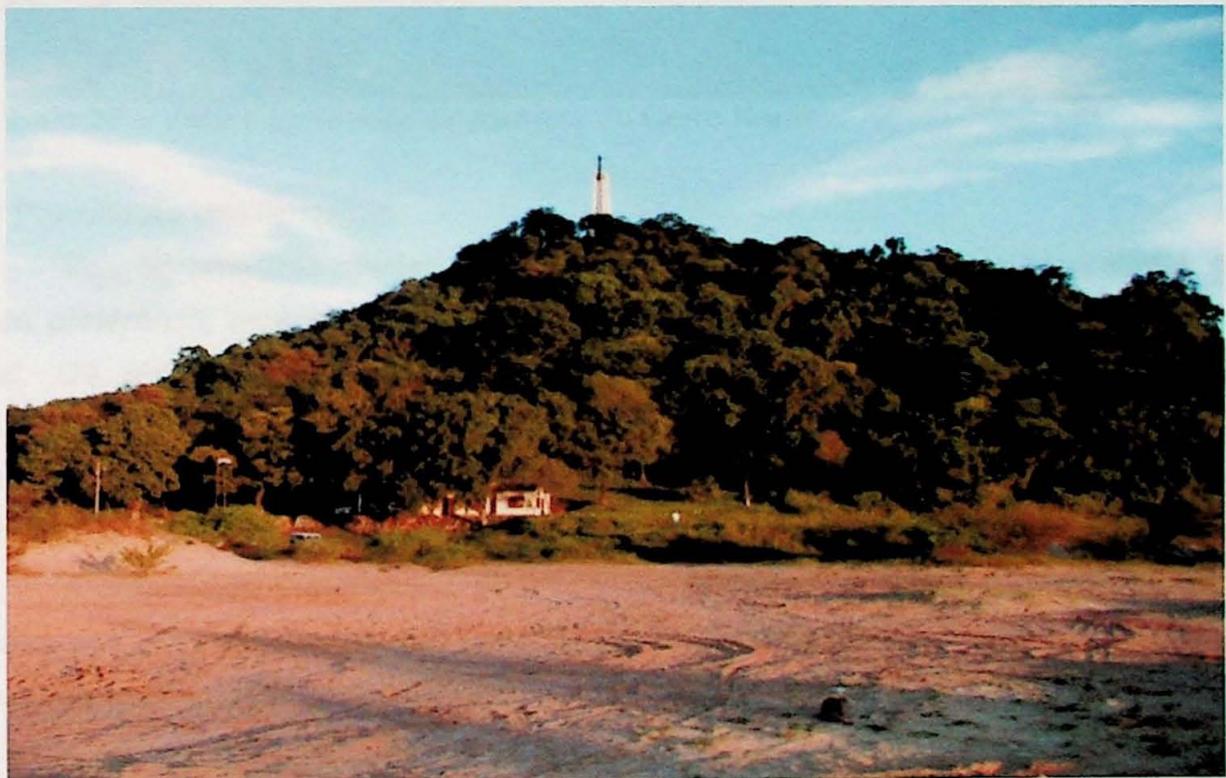


Foto 26 – Vista panorâmica do Cerro Lambaré.

## Cerro Ñemby

O afloramento situa-se a sul de Assunção, nas imediações do lugarejo de Ñemby. O *plug* ocupa área de aproximadamente 0,2 km<sup>2</sup> e tem como litologia nefelinitos com xenólitos do manto. Foram coletadas duas amostras, códigos GPA 01 e GPA 02, na pedreira atualmente em exploração (Foto 27).



Foto 27 – Vista panorâmica da pedreira do Cerro Ñemby.

### 5.2 Preparação das Amostras

Das 56 amostras coletadas, 43 foram preparadas para exame laboratorial, sendo dada preferência para as análises de concentrados minerais em detrimento às de rocha total. Os minerais separados foram preferencialmente biotita e, na sua ausência, plagioclásio, feldspato alcalino e leucita. Análises de rocha total ficaram restritas às amostras de granulometria muito fina (extrusivas). Na Tabela 1 estão listadas as amostras preparadas, bem como o material e a granulometria escolhida.

A preparação das amostras obedeceu às instruções recomendadas no laboratório do Centro de Pesquisas Geocronológicas da Universidade de São Paulo e os processos estão descritos nas Figuras 3 e 4, tanto para análise de rocha total quanto para de concentrado mineral.

Tabela 1 - Amostras preparadas para as análises radiométricas. RT, rocha total; Bi, biotita; PI, plagioclásio.

Localidade	Amostra	Litotipo	Material	Granulometria
Cerro Arrúa-i	GPC 43	Sienodiorito	RT/PI	16/25 # ; 60/80#
Cerro Santo Tomás	GPC 14	Sienodiorito	Bi	60/80 #
	GPC 15	Lamprófiro	Bi	> 60 #
Sapucaí	GPC 16	Gabro alcalino	PI	60/80 #
	GPC 17	Gabro alcalino	Bi	60/80 #
	GPC 18	Gabro alcalino	RT	16/25 #
	GPC 19	Leucita basalto	RT	16/25 #
Potrero Guayacby	GPC 21	Basalto alcalino	RT	16/25 #
Cerro Fidel	GPC 22	Traquifonolito	RT/Bi	16/25 # ; 60/80 #
Potrero Ybaté	GPC 23	Sienodiorito	Bi	60/80 #
Cerro Acahay	GPC 12	Traquibasalto	RT	16/25 #
	GPC 13	Gabro alcalino	Bi	60/80 #
Cerro San José	PSJ 25	Sienogabro	Bi	60/80 #
Serranía de Ybytymí	GPC 24	Tefrito	RT	16/25 #
Cerro Cañada	GPC 25	Basalto alcalino	RT	16/25 #
	GPC 26	Gabro alcalino	Bi	60/80 #
Cerro Itapé	GPC 29	Tefrito	RT	16/25 #
Aguapety Portón	GPC 30	Essexito	Bi	60/80 #
Mbocayaty	GPC 31	Traquibasalto	Bi	> 60 #
	GPC 32	Shonkinito	RT	16/25 #
Cerro Santa Elena	GPC 36	Essexito	PI	60/80 #
Cerro Km 23	GPC 39	Essexito	RT	16/25 #
	GPC 40	Essexito	RT	16/25 #
	GPC 41	Essexito	Bi	60/80 #
Cerro San Benito	GPC 42	Tefrito	Bi	> 60 #
	GPC 44	Traquito	RT	16/25 #
Cerrito	GPA 05	Nefelinito	RT	16/25 #
Benjamin Aceval	GPA 06	Nefelinito	RT	16/25 #
Estancia La Lomita	GPA 07	Nefelinito	RT	16/25 #
Cerro Verde	GPA 08	Nefelinito	RT	16/25 #
Cerro Confuso	GPA 09	Fonólito	RT	16/25 #
San Jorge	GPA 10	Nefelinito	RT	16/25 #
Cerro Tacumbú	GPA 11	Nefelinito	RT	16/25 #
Cerro Lambaré	GPA 03	Nefelinito	RT	16/25 #
Cerro Nemby	GPA 01	Nefelinito	RT	16/25 #

## PREPARAÇÃO PARA ANÁLISES DE ROCHA TOTAL

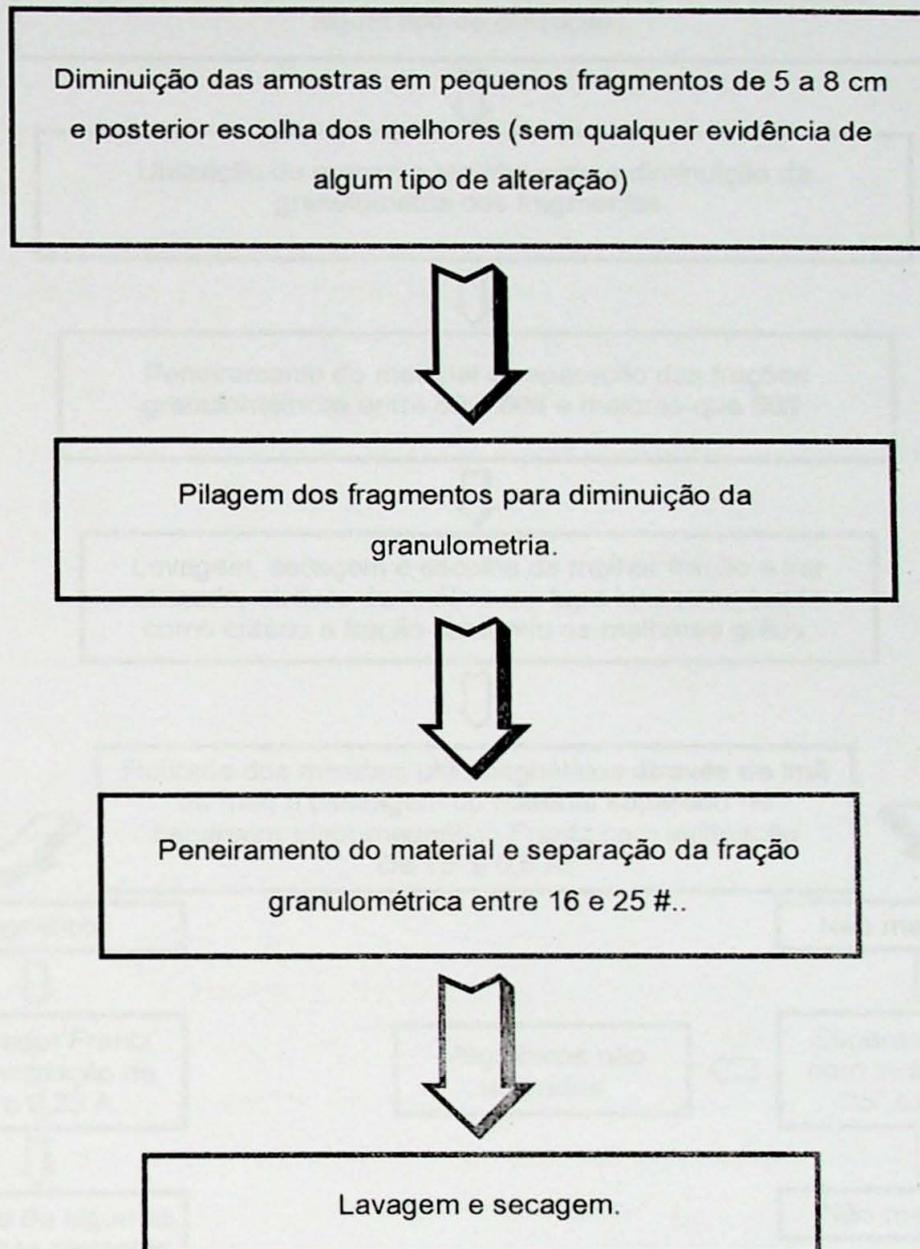


Figura 3. Fluxograma demonstrando o processo para a obtenção de material para análises radiométricas de rocha total.

## SEPARAÇÃO DE CONCENTRADOS MINERAIS

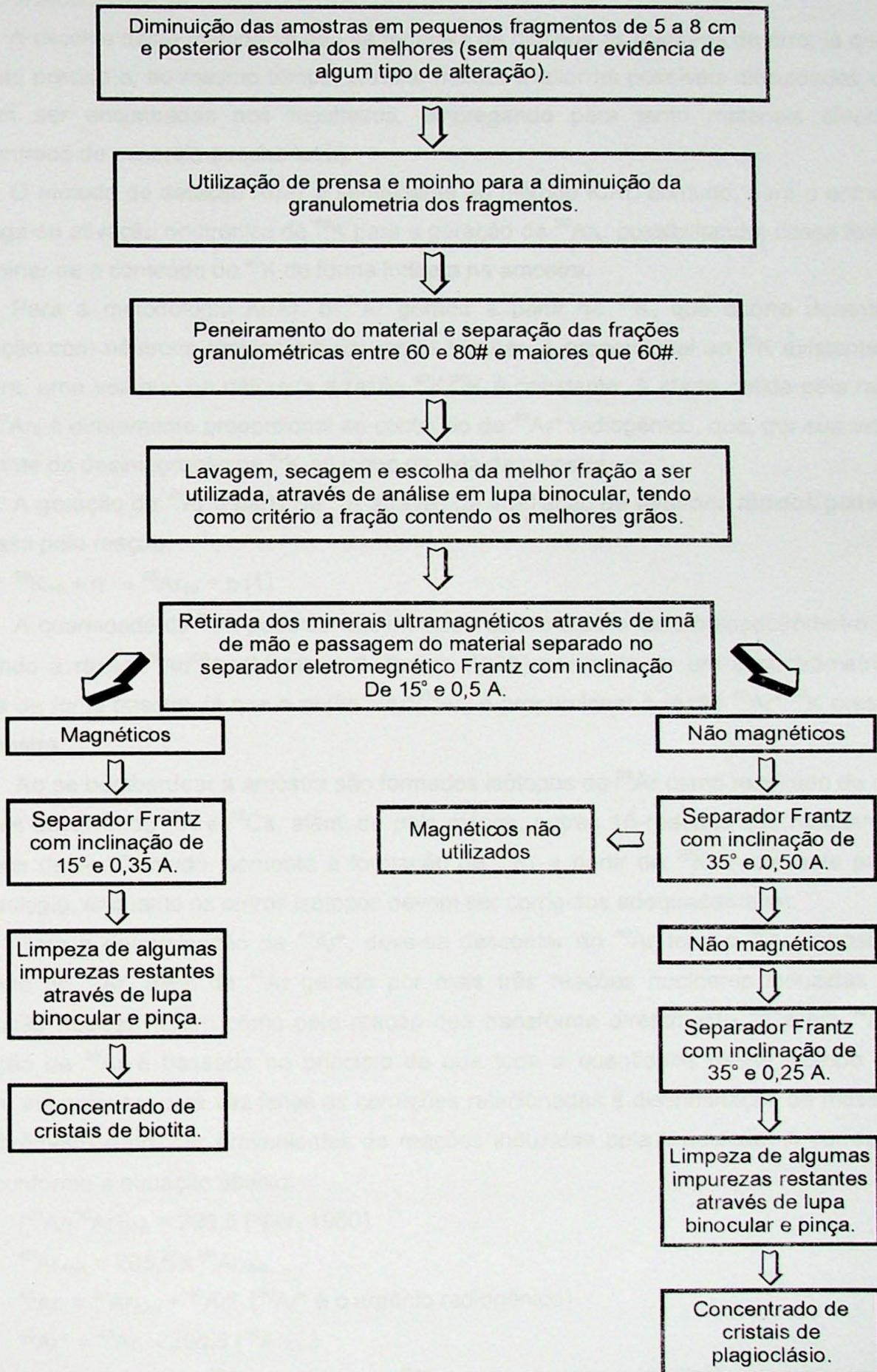


Figura 4. Fluxograma demonstrando o processo para separação para concentrado mineral.

### 5.3 Análises Radiométricas

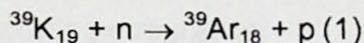
#### 5.3.1 O método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$

A escolha deste método se deu na tentativa de diminuir as margens de erro, já que é bastante preciso e, ao mesmo tempo, permite melhor avaliar as possíveis dificuldades que possam ser encontradas nos resultados, empregando para tanto materiais diversos (concentrado de minerais e rocha total).

O método de datação Ar/Ar é semelhante ao método K/Ar, contudo, para o primeiro emprega-se ativação neutrônica de  $^{39}\text{K}$  para a geração de  $^{39}\text{Ar}_k$ , possibilitando, dessa forma, determinar-se o conteúdo de  $^{40}\text{K}$  de forma indireta na amostra.

Para a metodologia Ar/Ar, o  $^{39}\text{Ar}$  gerado a partir de  $^{39}\text{K}$ , que ocorre durante a irradiação com nêutrons rápidos em um reator nuclear, é proporcional ao  $^{40}\text{K}$  existente na amostra, uma vez que na natureza a razão  $^{40}\text{K}/^{39}\text{K}$  é constante. A idade obtida pela razão  $^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}_k$  é diretamente proporcional ao conteúdo de  $^{40}\text{Ar}^*$  radiogênico, que, por sua vez, é resultante da desintegração de  $^{40}\text{K}$  ao longo da vida da amostra.

A geração de  $^{39}\text{Ar}$  a partir de  $^{39}\text{K}$  através da irradiação de nêutrons rápidos pode ser expressa pela reação:



A quantidade de  $^{39}\text{Ar}$  pode ser determinada com o auxílio de um espectrômetro  $\beta$  ou utilizando a razão  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  (Merrihue & Turner, 1965) por meio de um espectrômetro de massa de fonte gasosa, já que a razão  $^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}_k$  é proporcional à razão  $^{40}\text{Ar}^*/^{40}\text{K}$  presente na amostra.

Ao se bombardear a amostra são formados isótopos de  $^{39}\text{Ar}$  como resultado de duas reações envolvendo  $^{39}\text{K}$  e  $^{42}\text{Ca}$ , além, de pelo menos, outras 15 reações que resultam em isótopos de Ar. Contudo, somente a formação de  $^{39}\text{Ar}$  a partir de  $^{39}\text{K}$  é relevante para a metodologia, enquanto os outros isótopos devem ser corrigidos adequadamente.

Para a determinação de  $^{40}\text{Ar}^*$ , deve-se descontar do  $^{40}\text{Ar}$  total o  $^{40}\text{Ar}$  atmosférico baseado no  $^{39}\text{Ar}$ , além do  $^{40}\text{Ar}$  gerado por mais três reações nucleares induzidas pela irradiação nuclear, assim como pela reação que transforma diretamente  $^{40}\text{Ca}$  em  $^{36}\text{Ar}$ . A correção de  $^{36}\text{Ar}$  é baseada no princípio de que toda a quantidade desse isótopo é de origem atmosférica, uma vez feitas as correções relacionadas à discriminação de massa do espectrômetro e do  $^{36}\text{Ar}$  provenientes de reações induzidas pela irradiação. A correção é feita conforme a equação abaixo:

$$(^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar})_{\text{Atm}} = 295,5 \quad (\text{Nier, 1950})$$

$$^{40}\text{Ar}_{\text{Atm}} = 295,5 \times ^{36}\text{Ar}_{\text{Atm}}$$

$$^{40}\text{Ar}_t = ^{40}\text{Ar}_{\text{Atm}} + ^{40}\text{Ar}^* \quad (^{40}\text{Ar}^* \text{ é o argônio radiogênico})$$

$$^{40}\text{Ar}^* = ^{40}\text{Ar}_t - 295,5 (^{36}\text{Ar}_{\text{Atm}})$$

A quantidade de  $^{39}\text{Ar}_k$  derivada do  $^{39}\text{K}$  gerada durante a irradiação de uma amostra pode ser calculada pela equação:

$$^{39}\text{Ar} = ^{39}\text{K} \Delta T \int \varphi(\varepsilon) \sigma(\varepsilon) d\varepsilon \quad (2)$$

Onde:

$^{39}\text{Ar}$ : números de átomos de  $^{39}\text{Ar}$  que se formam durante a irradiação;

$^{39}\text{K}$ : número de átomos de  $^{39}\text{K}$  inicialmente presentes na amostra;

$\Delta T$ : tempo decorrido da irradiação;

$\varphi(\varepsilon)$ : fluxo de nêutrons rápidos com a energia  $\varepsilon$ ;

$\sigma(\varepsilon)$ : sessão de choques para a energia  $\varepsilon$ .

Para a realização das análises, as amostras são colocadas, juntamente com as amostras padrão (monitores) de idades K/Ar bem conhecidas, em um recipiente de alumínio selado para fins de irradiação no reator com um fluxo integrado de  $10^{16}$ - $10^{18}$  nêutrons/cm<sup>2</sup>, durante um período que pode variar de 30 a 100 horas. Após a irradiação, as amostras ficam em repouso, durante duas a três semanas, para que a radiação emitida venha a alcançar níveis toleráveis para a posterior extração do Ar.

Na técnica de extração a laser, são suficientes alguns grãos selecionados e montados num suporte adequado (cobre OFHC em geral). A extração é realizada sob condições de ultra-alto vácuo, empregando-se feixe de raios laser focalizado com a ajuda de microscópio petrográfico.

Durante a irradiação, o teor de  $^{40}\text{Ar}^*$  radiogênico já existente na amostra não é afetado, logo a quantidade de átomos desse isótopo resultante do decaimento natural de  $^{40}\text{K}$  pode ser calculado pela seguinte reação:

$$^{40}\text{Ar}^* = (\lambda_e/\lambda) ^{40}\text{K} (e^{\lambda t} - 1) \quad (3)$$

Substituindo-se a equação 3 na equação 2 chega-se à razão  $^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}_k$ :

$$^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}_k = (\lambda_e/\lambda) (^{40}\text{K}/^{39}\text{K} \Delta T) [(e^{\lambda t} - 1) / \int \varphi(\varepsilon) \sigma(\varepsilon) d\varepsilon] \quad (4)$$

A equação 4 é calculada com certa precisão, porém, em virtude da falta de conhecimento exato dos parâmetros de integração  $\varphi(\varepsilon)$  e  $\sigma(\varepsilon)$ , usa-se, então, um artifício para definir o parâmetro de irradiação J:

$$J = (\lambda_e/\lambda) (^{40}\text{K}/^{39}\text{K}) \Delta T \int \varphi(\varepsilon) \sigma(\varepsilon) d\varepsilon \quad (5)$$

Substituindo-se o parâmetro J na equação 3 tem-se:

$$^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}_k = [(e^{\lambda t} - 1)/J] \quad (6)$$

Logo, J é igual a:

$$J = (e^{\lambda t} - 1) / ^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}_k \quad (7)$$

Assim, utilizando-se uma amostra padrão de idade bem conhecida ( $t_c$ ), o valor de J pode ser calculado:

$$J_p = (e^{\lambda t_c} - 1) / (^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}_k)_p \quad (7b)$$

Onde o índice **p** diz respeito aos parâmetros correspondentes à amostra padrão. Devido à variabilidade do parâmetro J, conforme a mudança do espectro de energia do fluxo de nêutrons no interior do reator, faz-se necessária a colocação de várias amostras monitoras no recipiente a ser irradiado.

Após a obtenção da variação do parâmetro J nas amostras padrão irradiadas, pode-se determinar, através da interpolação de resultados, o seu valor para as amostras de idade desconhecida. Feito isso, a idade das amostras é determinada através da equação:

$$t = (1/\lambda) \ln [1 + J ({}^{40}\text{Ar}^*/{}^{39}\text{Ar}_k)] \quad (8)$$

Após a determinação do parâmetro J, toma-se indispensável a obtenção da razão  ${}^{40}\text{Ar}^*/{}^{39}\text{Ar}_k$ , que deve ser determinada tanto para a amostra de idade desconhecida quanto para a amostra padrão. Essa razão é obtida, mediante operações matemáticas (para detalhes ver McDougall & Harrison, 1999), recorrendo-se à seguinte equação:

$$\frac{{}^{40}\text{Ar}^*}{{}^{39}\text{Ar}_k} = \frac{({}^{40}\text{Ar}/{}^{39}\text{Ar})_{\text{med}} - 295,5 ({}^{36}\text{Ar}/{}^{39}\text{Ar})_{\text{med}} + 295,5 ({}^{36}\text{Ar}/{}^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} ({}^{37}\text{Ar}/{}^{39}\text{Ar})_{\text{med}} - {}^{40}\text{Ar}_k}{{}^{39}\text{Ar}_k} \frac{1 - ({}^{39}\text{Ar}/{}^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} ({}^{37}\text{Ar}/{}^{39}\text{Ar})_{\text{med}}}{1 - ({}^{39}\text{Ar}/{}^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} ({}^{37}\text{Ar}/{}^{39}\text{Ar})_{\text{med}}}$$

Onde:

med: quantidades totais medidas no espectrômetro;

K: induzido por nêutrons em K;

Ca: induzido por nêutrons em Ca.

Para realização dos procedimentos, foram utilizados na ocasião os seguintes equipamentos:

- Reator nuclear CENE-IEA-R1 do IPEN, Instituto de Pesquisas Nucleares Energéticas da USP;
- Espectrômetro de massa MAP-215-50;
- Laser de íons de Ar;
- Linha para extração e purificação de gás composta por uma bomba VARIAN-turbo-V7L, que é assistida por uma bomba rotatória E2M5, uma bomba iônica *noble dide* e duas bombas *getter* SAES GP50;
- Computadores e microscópios.

Descrições mais completas dos equipamentos, assim como das técnicas analíticas empregadas podem ser encontradas no trabalho de Vasconcelos *et al.* (2001).

#### 5.4 Procedimentos Analíticos

Após a preparação mecânica do material (ver item 4.2), foram escolhidos, em média, 20 grãos de cada amostra, montados em discos de alumínio, posteriormente irradiados, ao lado dos monitores de fluxo neutrônico (amostras padrão), no reator nuclear pelo período de até 100 horas.

Decorrido o tempo necessário para que a irradiação atingisse níveis toleráveis para a manipulação, foram separados três grãos, dos 20 irradiados, de cada amostra e colocados em disco de cobre (*pit*), sob condições de ultra alto-vácuo (aproximadamente de  $10^{-10}$  torr) e aquecidos a uma temperatura de 200°C, para a eliminação de qualquer contaminante gasoso que por ventura fosse aderido ao sistema. Feito isso, o disco de cobre foi coberto

com uma "janela" de sílica e, posteriormente, fundido por meio de um laser acoplado a um espectrômetro de massa.

Para todas as amostras foi utilizada a técnica de fusão por etapas, onde a potência do laser é mantida por um período de tempo e incrementada a cada etapa, permitindo a extração de Ar dos diversos reservatórios de gás da amostra. A potência do laser e a quantidade de etapas programadas variaram de amostra para amostra.

Após a extração dos gases, fez-se uma purificação dos voláteis ativos ( $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$ ,  $H_2O$ , hidrocarbonos entre outros) que foram liberados junto com o Ar para posterior medida das quantidades dos isótopos de Ar no espectrômetro de massa.

Para cada amostra foram obtidos, na medida do possível, três dados que se apresentam de forma distinta. O primeiro corresponde a uma idade integrada, calculada a partir da quantidade total de argônio liberado. O segundo caracteriza uma idade platô, que representa o espectro de idades formadas pelas diferentes frações do gás liberado. O requisito para o estabelecimento dessas idades consiste que todas as frações juntas devam representar mais do que 50% do  $^{39}Ar$  liberado da amostra, e não apresentem entre elas diferenças de idade que possam ser detectadas a um nível de confiança de 95% (Fleck *et al.*, 1977, *apud* McDougall & Harrison, 1999). Alternativamente, as idades aparentes inicial e final do platô devem ser indistinguíveis ao nível de 2 sigma, e todas as frações liberadas devem estar dentro do nível de 1 sigma quando comparadas com o platô (Foland *et al.*, 1986, *apud* McDougall & Harrison, 1999). Uma terceira forma de apresentação dos resultados é o ideograma, que mostra os picos de maior probabilidade estatística para cada amostra, e, pode ou não, corresponder às idades integradas e platô.

## 5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Das duas províncias alcalinas tratadas neste trabalho, a Central é a que reúne o maior número de ocorrências e também a mais pesquisada, com diversos estudos focalizando a sua geocronologia. O mesmo não acontece com a Província de Assunção, tendo apenas o trabalho de Bitschene (1987) como fonte de dados. Na Tabela 2, é apresentado um resumo das idades disponíveis na literatura para as duas províncias.

### 5.1 Província Central

Para esse conjunto de rochas, Velázquez *et al.* (1992) (ver também Gomes *et al.*, 1996) reúnem um total de 48 análises radiométricas pelo método K/Ar, que inclui as determinações constantes dos trabalhos de Comte & Hasui (1971) e de Palmieri & Arribas (1975), revisadas por Sonoki & Garda (1988), onde é possível verificar que o intervalo de idades se estende de  $138,1 \pm 4,8$  a  $66,0 \pm 4,6$  Ma. Quando os dados disponíveis são colocados na forma de histograma de frequência, verifica-se que esse se mostra unimodal e tem como classe dominante o intervalo 120-130 Ma.

Tabela 2- Idades radiométricas disponíveis na literatura.

Localidade	Material	Método	Idade (Ma)	Ref.
Cerro Arrúa-í	Bi	K/Ar	132,3±8,4	9
Cerro Arrúa-í	RT	Rb/Sr	126,5±7,6	9
Cerro Santo Tomás	Bi	K/Ar	126,0±4,5	5
Cerro Santo Tomás	CF	K/Ar	136,8±5,0	5
Cerro Santo Tomás	RT	K/Ar	136,5±10,2	6
Cerro Santo Tomás	Bi	K/Ar	130,1±4,8	5
Cerro Santo Tomás	Bi	K/Ar	127,9±4,8	5
Cerro Santo Tomás	Bi	K/Ar	132±11,5	7
Cerro Santo Tomás	Ap	Traços de fissão	77,9±10,3	4
Cerro Santo Tomás	RT	Rb/Sr	128±8	1
Cerro Santo Tomás	RT	Rb/Sr	126,5±7,6	9
Sapucaí	RT	K/Ar	131,0±8,2	6
Sapucaí	RT	K/Ar	136,4±5,1	6
Sapucaí	RT	K/Ar	119,6±7,2	6
Sapucaí	RT	K/Ar	100,0±10,0	8
Sapucaí	RT	K/Ar	108,3±10,2	6
Sapucaí	RT	K/Ar	98,0±5,0	8
Sapucaí	RT	K/Ar	131,2±5,1	6
Sapucaí	RT	K/Ar	122,0±4,0	3
Sapucaí	RT	K/Ar	119,0±4,0	3
Sapucaí	RT	K/Ar	121,0±4,0	3
Sapucaí	RT	K/Ar	119,0±4,0	3
Sapucaí	RT	K/Ar	118,0±4,0	3
Sapucaí	RT	K/Ar	119,0±4,0	3
Sapucaí	RT	K/Ar	66,0±2,0	3
Sapucaí	RT	K/Ar	32,8±0,9	3
Sapucaí	RT	Rb/Sr	126,5±7,6	9
Potrero Ybaté	RT	Rb/Sr	126,5±7,6	9
Potrero Ybaté	FA	K/Ar	127,8±5,6	9
Cerro Acahay	RT	K/Ar	118,0±4,0	3
Cerro Acahay	Ap	Traços de fissão	91,4±5,3	4
Cerro Acahay	Ap	Traços de fissão	88,0±5,1	4
Cerro Acahay	Ap	Traços de fissão	95,4±4,3	4
Cerro Acahay	Ap	Traços de fissão	79,9±4,6	4
Cerro Acahay	Ap	Traços de fissão	87,3±8,1	4
Mbocayaty	FA	K/Ar	130,0±3,4	9
Mbocayaty	Bi	K/Ar	129,2±6,8	9
Mbocayaty	Bi	K/Ar	128,2±4,5	5
Mbocayaty	RT	Rb/Sr	126,5±7,6	9
Aguapety Portón	RT	K/Ar	138,1±4,8	5
Aguapety Portón	Bio	K/Ar	132,9±5,5	5
Aguapety Portón	RT	Rb/Sr	126,5±7,6	9
Aguapety Portón	RT	Rb/Sr	128±8	1
Cerro Km 23	Bi	K/Ar	131,9±5,0	5
Cerro Km 23	RT	K/Ar	115,8±4,2	5
Cerro Km 23	RT	Rb/Sr	128±8	1
Cerro Verde	RT	K/Ar	57,0±2,3	1
Cerro Confuso	RT	K/Ar	55,3±2,1	1
Cerro Confuso	RT	K/Ar	60,9±4,4	1
Cerro Confuso	RT	K/Ar	59,3±2,4	1
Cerro Tacumbú	RT	K/Ar	46,0±7,0	2
Cerro Tacumbú	RT	K/Ar	41,3±1,8	1
Cerro Lambaré	RT	K/Ar	48,9±2,0	1
Cerro Lambaré	RT	K/Ar	48,9±2,2	1
Cerro Nemby	RT	K/Ar	45,7±1,8	1

**Abreviações:** RT, rocha total; Ap, apatita; Bi, biotita; CF, concentrado félsico; FA, feldspato alcalino. **Referências:** 1. Bitschene (1987); 2. Comte & Hasui (1971); 3. G. Capaldi (dados inéditos); 4. Green *et al.* (1991); 5. Bitschene (1987), Sonoki & Garda (1988); 6. Palmieri & Arribas (1975), Sonoki & Garda (1988); 7. Comte & Hasui (1971), Sonoki & Garda (1988); 8. Palmieri & Arribas; 9. Velázquez *et al.* (1992).

Além dessas idades, constam também da literatura alguns outros resultados obtidos pelo método Rb/Sr e provindos basicamente de duas fontes: a primeira, do trabalho de Bitschene (1987), oferecendo valor médio de  $128 \pm 8$  Ma, e a segunda, de Velázquez *et al.* (1992), onde o valor médio é de  $126 \pm 7$  Ma. Pode-se notar que essas idades concordam de forma razoável com as obtidas pelo método K/Ar.

De forma mais restrita, o trabalho de Green *et al.* (1991) fornece idades de traços de fissão em cristais de apatita para seis amostras de rochas alcalinas, sendo cinco do maciço de Acahay e uma do *stock* do Cerro Santo Tomás. Os resultados coligidos indicam idades bem mais jovens que as apresentadas pelos dois métodos anteriores, com um intervalo que varia de  $77,9 \pm 10,3$  a  $94,5 \pm 4,5$  Ma.

Constam também da literatura idades paleomagnéticas obtidas por Ernesto *et al.* (1996) para 98 amostras de diques da Província Central. As direções de magnetização média para cada conjunto de rochas não diferem significativamente e, quando combinadas, fornecem dados que concordam com os determinados para a Formação Serra Geral da Bacia do Paraná, apontando uma idade próxima de 130 Ma.

## 5.2 Província Assunção

Como já mencionado, os dados radiométricos disponíveis para essa atividade não são muitos, Comte e Hasui (1971), empregando o método K/Ar em rocha total, determinaram uma idade de  $46 \pm 7$  Ma para o nefelinito do Cerro Tacumbú. Recorrendo à mesma técnica, Stormer *et al.* (1975) obtiveram uma idade de  $36 \pm 11$  Ma para o basanita do Cerrito Cantera. Contudo, as informações mais completas são as fornecidas por Bitschene (1987) e por Comin-Chiaramonti *et al.* (1991), que indicam um intervalo de idade compreendido entre 61 e 39 Ma para os nefelinitos dessa província, o que permite situá-la no Terciário.

## 6. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

### 6.1 Província Central

Essa atividade engloba grande número de corpos ocupando quase sempre as partes mais elevadas da região e, topograficamente, aparecendo na forma de cerros, com altura entre 100 e 500 m, ou de pequenas colinas. O modo de ocorrência é do mais variado, sendo possível distinguir-se desde pequenos diques, *plugs*, *stocks*, lavas, até verdadeiras massas intrusivas de características anelares (p.e. Cerro Acahay).

As ocorrências alcalinas exibem enorme diversidade petrográfica. A fácies intrusiva reúne sobretudo variedades de afinidade sienogábrica (gabros essexíticos, essexitos e sienodioritos), sendo a textura em geral fanerítica, hipidiomórfica granular a porfirítica (plagioclásios e/ou piroxênios como fenocristais). Subordinadamente, aparecem os tipos sieníticos (sienitos e nefelina sienitos) com textura fanerítica alotriomórfica e contendo como constituintes máficos mais comuns piroxênios, olivina, biotita e anfibólios. Já nos tipos félsicos predominam plagioclásio (suíte gábrica) e feldspato potássico (suíte sienítica).

Como acessórios podem ser citados apatita, titanita, opacos e, eventualmente, zircão. Por sua vez, a fácies efusiva (lavas e *plugs*) é caracterizada pela presença de rochas de afinidade basáltica e traquibasáltica, ao lado de algumas amostras de composição mais tefrítica exibindo forte tendência porfírica. Nestas, os fenocristais possuem dimensões milimétricas a centimétricas e são, em sua maior parte, representados por piroxênios, plagioclásio e, mais raramente, olivina e fósidos, imersos em matriz afanítica de caráter holocristalina.

Os enxames de diques constituem a feição geológica mais proeminente associada ao ambiente hipoabissal. Em geral, os corpos são verticais a subverticais e de espessura decimétrica a métrica, com valor médio da ordem de 4 a 6 m. Recortam indistintamente as demais rochas alcalinas, assim como as sedimentares encaixantes. Sua orientação preferencial é NW-SE, contudo, duas outras direções, NS e NE-SW, foram também reconhecidas.

Do ponto de vista petrográfico, os diques demonstram grande diversidade mineralógica e textural, permitindo a caracterização de vários litotipos: basaltos alcalinos, tefritos, traquiandesitos, traquifonolitos, traquitos e fonolitos. Como tendência geral, essas rochas apresentam forte caráter porfírico, notadamente as variedades de natureza tefrítica e fonolítica, com mega, feno e microcristais dos mais variados minerais. A matriz é em geral afanítica e de caráter preferencialmente holocristalina. Os traquiandesitos são freqüentemente microporfíricos, enquanto os traquitos se mostram porfíricos e portadores de cristais tabulares de feldspato potássico com forte orientação.

#### 6.2.1 Análises Radiométricas

Foram coletadas 41 amostras, das quais 27 foram analisadas, sendo que 22 foram selecionadas para este trabalho (Tabela 3). Os materiais utilizados foram rocha total e concentrados de minerais (biotita e plagioclásio). Os resultados completos estão reunidos no Anexo I.

Os dados coligidos podem ser agrupados em dois conjuntos: o primeiro reunindo as localidades de Cerro Arrúa-í ( $126,18 \pm 0,18$  Ma e  $126,13 \pm 0,16$  Ma), Cerro Santo Tomás ( $126,3 \pm 0,4$  Ma e  $127,2 \pm 0,6$  Ma), Sapucaí ( $126,0 \pm 0,4$  Ma), Cerro Fidel ( $126,43 \pm 0,17$  Ma), Potrero Ybaté ( $124,1 \pm 0,6$  Ma), Cerro Acahay ( $126,96 \pm 0,17$  Ma e  $126,3 \pm 0,3$  Ma), Cerro Cañada ( $126,1 \pm 0,5$  Ma), Cerro San José ( $126,4 \pm 0,4$  Ma), Aguapety Portón ( $126,1 \pm 0,3$  Ma), Mbocayaty ( $126,3 \pm 0,6$  Ma) Cerro Km 23 ( $127,7 \pm 1,1$  Ma) e Cerro San Benito ( $126,9 \pm 0,3$  Ma); o segundo os corpos de Sapucaí ( $114,7 \pm 0,3$  Ma,  $111,19 \pm 0,15$  Ma e  $110,90 \pm 0,12$  Ma), Potrero Guayacby ( $115,8 \pm 0,3$  Ma), Cerro Cañada ( $114,73 \pm 0,18$  Ma), Cerro Itapé ( $115,68 \pm 0,13$  Ma) e Cerro Santa Elena ( $117,77 \pm 0,14$  Ma). Para localidades que figuram em ambos os grupos trata-se de rochas distintas.

Tabela 3 – Idades Ar/Ar para as ocorrências da Província Central.

Localidade	Amostra	Material	Idade (Ma)	Figura
Cerro Arrúa-í	GPC 43	RT	126,18 $\pm$ 0,18	Anexo I – 10C
	GPC 44	RT	126,13 $\pm$ 0,16	Anexo I – 10F
Cerro Santo Tomás	GPC 14	Bi	126,3 $\pm$ 0,4	Anexo I – 11C
	GPC 15	Bi	127,2 $\pm$ 0,6	Anexo I – 11F
Sapucaí	GPC 17	RT	114,7 $\pm$ 0,3	Anexo I – 12B
	GPC 18	RT	126,0 $\pm$ 0,4	Anexo I – 12E
	GPC 19	RT	111,29 $\pm$ 0,15	Anexo I – 12M
	GPC 20	RT	110,90 $\pm$ 0,12	Anexo I – 12P
Potrero Guayacby	GPC 21	RT	115,8 $\pm$ 0,3	Anexo I – 13B
Cerro Fidel	GPC 22	Bi	126,43 $\pm$ 0,17	Anexo I – 14C
Potrero Ybaté	GPC 23	Bi	124,1 $\pm$ 0,6	Anexo I – 15C
Cerro Acahay	GPC 12	RT	126,96 $\pm$ 0,17	Anexo I – 20C
	GPC 13	Bi	126,3 $\pm$ 0,3	Anexo I – 20F
Cerro Cañada	GPC 26	Bi	126,1 $\pm$ 0,5	Anexo I – 23C
	GPC 25	RT	114,73 $\pm$ 0,18	Anexo I – 23E
Cerro San José	PSJ 25	Bi	126,4 $\pm$ 0,4	Anexo I – 21B
Cerro Itapé	GPC 29	RT	115,68 $\pm$ 0,13	Anexo I – 24B
Aguapety Portón	GPC 30	Bi	126,1 $\pm$ 0,3	Anexo I – 25B
Mbocayaty	GPC 31	Bi	126,3 $\pm$ 0,6	Anexo I – 26C
Cerro Km 23	GPC 41	Bi	127,7 $\pm$ 1,1	Anexo I – 29L
Cerro San Benito	GPC 42	Bi	126,9 $\pm$ 0,3	Anexo I – 30B

## 6.2 Província Assunção

A maioria dos afloramentos localiza-se nos arredores da cidade de Assunção (Fig. 2). No total, a província reúne 15 corpos principais, na forma de *plugs*, *necks*, lavas e diques, dentre os quais se destacam os de Cerro Ñemby, Cerrito e Cerro Confuso, atualmente explorados como pedreira para agregado de construção civil. Essa província pertence a uma suíte que consiste na quase totalidade em nefelinitos e ankaratritos em menor proporção, com tendência marcadamente sódica; mais restritamente ocorrem fonolitos.

Em geral, os nefelinitos são rochas de granulação fina e porfíricas, portadoras de fenocristais de olivina, com dimensões aproximadas de 2 mm, e, subordinadamente, de clinopiroxênio. Ao microscópio, os clinopiroxênios são fortemente zonados e exibem coroas de reação. Os fenocristais de olivina são em geral anédricos, sem zoneamento e com evidências de deformação autoclástica. A matriz é afanítica e composta predominantemente por clinopiroxênios, olivina, opacos e nefelina, raros micrólitos de plagioclásio e vidro intersticial. Já os fonolitos apresentam textura afírica à vista desarmada. Ao microscópio, exibem microfenocristais de feldspato alcalino sudidiomórficos de até 0,3 mm. A matriz apresenta textura hialina, sendo composta por clinopiroxênios, feldspato alcalino e nefelina, este último normalmente ocupando espaços intersticiais. A grande maioria dos cristais se mostra xenomórfico a subidiomórfico.

Como característica marcante dessas rochas cite-se a presença de nódulos mantélicos com composição variável de lherzolito a dunito. Mineralogicamente, eles acham-se constituídos por olivina e piroxênios (orto e clino), tendo espinélio como principal acessório. A textura é predominantemente xenomórfica granular, na qual a olivina exibe extinção ondulante e deformação lamelar, enquanto os piroxênios são xenomórficos com abundantes lamelas de exsolução. O espinélio é intersticial e de ocorrência irregular.

### 6.2.1 Análises Radiométricas

Nesses corpos foram coletadas 12 amostras, sendo que 9 analisadas. Em virtude da granulação muito fina dessas rochas todas as análises foram feitas em rocha total. Detalhes dos resultados analíticos podem ser encontrados no Anexo I.

Das análises realizadas, os valores coligidos (Tabela 4) podem ser divididos em três grupos. Assim, para as ocorrências de Cerrito, Benjamin Aceval e San Jorge, as idades obtidas foram, respectivamente,  $56,5 \pm 0,8$ ,  $56,0 \pm 0,4$  Ma e  $57,0 \pm 0,3$  Ma; para o corpo de Cerro Tacumbú, a idade obtida foi de  $58,4 \pm 0,4$  Ma; e para as ocorrências de Estancia Lalomita, Cerro Verde, Cerro Confuso, Lambaré e Ñemby os resultados foram, respectivamente,  $59,7 \pm 0,4$ ,  $61,3 \pm 0,3$ ,  $60,5 \pm 0,2$ ,  $60,9 \pm 0,3$  Ma e  $60,7 \pm 0,3$  Ma.

Tabela 4 – Idades Ar/Ar para as ocorrências da Província Assunção.

Localidade	Amostra	Material	Idade (Ma)	Figura
Cerrito	GPA 05	RT	$56,0 \pm 0,8$	Anexo I - 1C
Benjamin Aceval	GPA 06	RT	$56,0 \pm 0,4$	Anexo I - 2B
Estancia Lalomita	GPA 07	RT	$59,7 \pm 0,4$	Anexo I - 3B
Cerro Verde	GPA 08	RT	$61,3 \pm 0,3$	Anexo I - 4A
Cerro Confuso	GPA 09	RT	$60,5 \pm 0,2$	Anexo I - 5A
San Jorge	GPA 10	RT	$57,0 \pm 0,3$	Anexo I - 6B
Cerro Tacumbú	GPA 11	RT	$58,4 \pm 0,4$	Anexo I - 7A
Cerro Lambaré	GPA 03	RT	$60,9 \pm 0,3$	Anexo I - 8B
Cerro Ñemby	GPA 01	RT	$60,7 \pm 0,6$	Anexo I - 9C

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De modo geral, as análises realizadas foram satisfatórias e os resultados para as idades platô, integradas e de ideogramas de densidade de probabilidade se mostraram bastante coerentes para os vários corpos investigados.

Contudo, uma análise mais apurada dos diagramas de idade aparente  $^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}_k$  versus proporção de argônio liberado permite extrair algumas informações adicionais. Assim, para as análises em rocha total, algumas amostras exibem em seu espectro um excesso de Ar nas primeiras etapas, a de mais baixas temperaturas, que chega até a comprometer a obtenção de idades platô. Esse excesso pode ter-se refletido numa variação maior entre os valores fornecidos em cada grão, sendo ainda que algumas das idades mais antigas guardam relação íntima com o super excesso inicial.

Para as idades conseguidas em cristais de biotita, alguns dos espectros apresentaram um excesso de Ar nas primeiras etapas, a temperaturas menores, bem como nas etapas finais, a temperaturas mais altas, ou até mesmo em ambas.

As análises efetuadas em cristais de plagioclásio também exibiram uma variação expressiva de Ar nas etapas de mais baixa temperatura, sendo mesmo que em alguns deles a característica mais marcante é a quantidade extremamente baixa no início do espectro.

A distribuição heterogênea do excesso de argônio, bem como da falta parcial, tanto nas análises de rocha total quanto nas de concentrados minerais, levou a um comprometimento do significado geológico das idades em alguns casos, sendo esse devido ao deslocamento de  $^{39}\text{Ar}$  por recuo (*recoil*) durante a sua criação por ocasião do bombardeamento de nêutrons (Huneke & Smith, 1976). Outra possibilidade é que, no caso de rocha total, fases minerais mais ricas em Ar tenham provocado desequilíbrio nas primeiras etapas e se estabilizado posteriormente, ou ainda, que não tenha havido mudança ou equilíbrio do Ar radiogênico preexistente na rocha. Para os cristais, esse desequilíbrio (perda ou falta de argônio) poderia estar ligado à presença de inclusões de outros minerais com relações diferentes de Ar.

Em termos de interpretação, os resultados radiométricos Ar/Ar obtidos, a exemplo das idades K/Ar, refletem a época de colocação e resfriamento desses corpos na crosta, já que não há registro de eventos metamórficos na área posteriores ao magmatismo alcalino capazes de alterar o equilíbrio radiogênico nas amostras.

Para as amostras provenientes da Província Central, as idades coligidas guardam também boa concordância com as existentes na literatura. Assim para a localidade de Cerro Arrúa-í, apesar das dificuldades com o excesso de Ar, que levou a uma grande variação das idades entre si, foi possível identificar duas idades bastante coerentes  $126,18 \pm 0,18$  Ma (sienodiorito) e  $126,13 \pm 0,16$  Ma (traquito; Fig. 5-11), que, quando comparadas com os valores já estabelecidos (K/Ar e Rb/Sr,  $132,3 \pm 8,4$  Ma e  $126,5 \pm 7,6$  Ma, respectivamente; Tabela 2, segundo Velázquez *et al.*, 1992), vê-se que as diferenças não são significativas.

Já o corpo principal de Cerro Santo Tomás apresentou uma idade de  $126,3 \pm 0,4$  Ma (Fig. 5-12), e o dique associado de  $127,2 \pm 0,6$  Ma, valores estes muito próximos aos das idades Rb/Sr constantes dos trabalhos de Velázquez *et al.* (1992),  $126,5 \pm 7,6$  Ma, e de Bitschene (1987),  $128 \pm 8$  Ma, assim como aos das idades K/Ar, que variam desde  $126,0 \pm 4,5$  Ma até  $136,8 \pm 5,0$  Ma (Tabela 2). A metodologia empregada não conseguiu diferenciar apropriadamente a relação cronológica entre os corpos (*stock* e dique), visto que nos trabalhos de campo foi possível verificar-se que o dique é de formação posterior. Provavelmente isso se deva a um excesso de argônio no último *step* utilizado no platô.

Para a localidade de Sapucaí (Fig. 5-13), devido ao grande número de ocorrências existentes, observa-se uma ampla dispersão de valores ( $32,8 \pm 0,9$  a  $136,4 \pm 5,1$  Ma, K/Ar;  $126,5 \pm 7,6$  Ma, Rb/Sr, Tabela 2). Já as idades obtidas neste trabalho são bem consistentes, mostrando dois eventos diferentes: um primeiro, mais antigo, com a idade de  $126,0 \pm 0,4$  Ma (lava de basalto alcalino) e um segundo, um pouco mais jovem, com idades de  $114,7 \pm 0,3$ ,  $111,29 \pm 0,15$  Ma e  $110,90 \pm 0,12$  Ma.

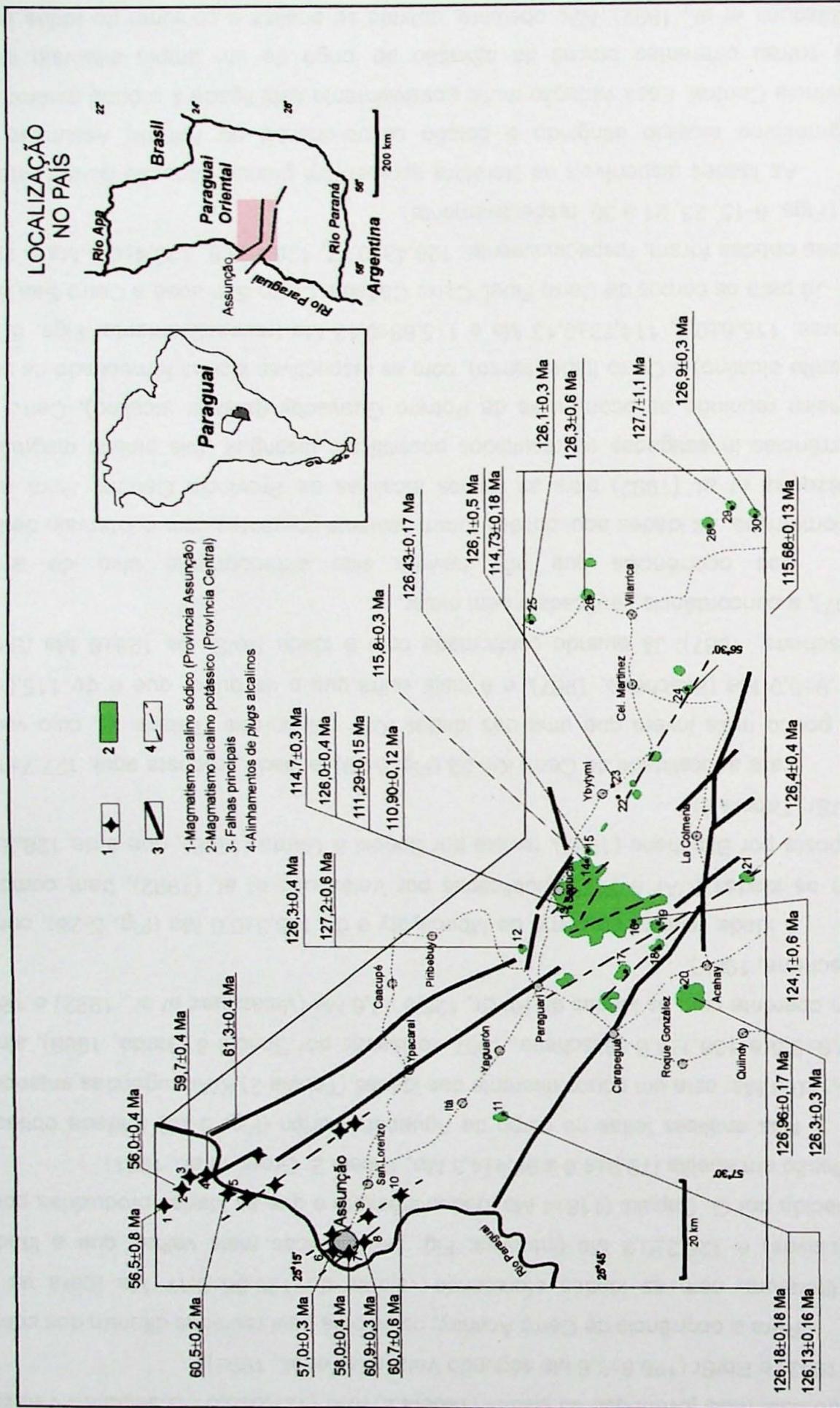


Figura 5 - Mapa esquemático ilustrando a distribuição dos afloramentos e as idades Ar/Ar para as rochas alcalinas associadas ao Riff de Assunção. 1, Cerrito; 2, Benjamin Aceval; 3, Estancia La Lomita; 4, Cerro Verde; 5, Cerro Conifuso; 6, San Jorge; 7, Cerro Tacumbu; 8, Cerro Lambaré; 9, Barcequillo; 10, Cerro Nemby; 11, Cerro Arrúa-I; 12, Cerro Santo Tomás; 13, Sapucaí; 14, Potrero Guayacby; 15, Cerro Fiel; 16, Potrero Ybaté; 17, Cerro Yanygua-á; 18, Cerro Gimenez; 19, Cerro Medina; 20, Cerro Acahay; 21, Cerro San José; 22, Serranía de Ybytymi; 23, Cerro Itapé; 25, Agupaty Portón; 26, Mbcavaty; 27, Cerro Capitindý; 28, Cerro Santa Elena; 29, Cerro Km 23 e 30; Cerro San Benito (modificado de Velázquez et al., 1998).

Para a localidade de Potrero Ybaté a idade obtida foi de  $124,1 \pm 0,6$  Ma (Fig. 5-16), sendo esta mais jovem que as idades (Tabela 2) K/Ar ( $127,8 \pm 5,6$  Ma segundo Velázquez *et al.*, 1992) e Rb/Sr ( $126,5 \pm 7,6$  Ma segundo Velázquez *et al.*, 1992).

Para a ocorrência de Cerro Acahay, os valores aqui reunidos diferem dos constantes na literatura, com as idades oferecendo valores de  $126,96 \pm 0,17$  Ma (para as rochas extrusivas) e  $126,3 \pm 0,3$  Ma (intrusiva; Fig. 5-20) ambas mais velhas que a idade K/Ar fornecida por G. Capaldi ( $118 \pm 4$  Ma, dados inéditos) e que as idades produzidas por traços de fissão em apatita ( $79,9 \pm 4,6$  a  $95,4 \pm 4,3$  Ma, Tabela 2; Green *et al.*, 1991).

Nas análises feitas no corpo de Aguapety Portón (Fig. 5-25) a idade obtida foi de  $126,1 \pm 0,3$  Ma, esta um pouco diferente das idades (Tabela 2) K/Ar sugeridas anteriormente,  $132,9 \pm 5,5$  e  $138,1 \pm 4,8$  (Bitschene, 1987, revisadas por Sonoki & Garda, 1988), ainda que bem coerente com as idades de Rb/Sr,  $126,5 \pm 7,6$  Ma (Velázquez *et al.*, 1992) e  $128 \pm 8$  Ma (Bitschene, 1987).

A idade relativa ao corpo de Mbocayaty é de  $126,3 \pm 0,6$  Ma (Fig. 5-26), compatível com as idades K/Ar e Rb/Sr publicadas por Velázquez *et al.* (1992), bem como com a proposta por Bitschene (1987), revista por Sonoki & Garda (1988), que é de  $128,2 \pm 4,5$  Ma (Rb/Sr; Tabela 2).

Para a localidade do Cerro Km 23 (Fig. 5-29), a idade proposta aqui,  $127,7 \pm 1,1$  Ma é um pouco mais jovem que uma das idades K/Ar disponíveis (Tabela 2), cujo valor é de  $131,9 \pm 5,0$  Ma (Bitschene, 1987), e é mais velha que o de outra, que é de  $115,8 \pm 4,2$  Ma (Bitschene, 1987). Já quando confrontada com a idade Rb/Sr de  $128 \pm 8$  Ma (Bitschene, 1987), a concordância verificada é bem maior.

Das ocorrências que não haviam sido anteriormente alvo de avaliações radiométricas, as idades aqui obtidas foram bastante coerentes com o intervalo definido por Velázquez *et al.* (1992) para as rochas alcalinas da Província Central. Para as novas ocorrências investigadas os resultados possibilitam distinguir dois pulsos magmáticos. O primeiro reunindo as ocorrências de Potrero Guayacby (basalto alcalino), Cerro Cañada (basalto alcalino) e Cerro Itapé (tefrito), com as respectivas idades fornecendo os seguintes valores:  $115,8 \pm 0,3$ ,  $114,73 \pm 0,13$  Ma e  $115,68 \pm 0,13$  Ma (respectivamente, Figs. 5-14, 23 e 24). Já para os corpos de Cerro Fidel, Cerro Cañada, Cerro San José e Cerro San Benito as idades obtidas foram, respectivamente,  $126,43 \pm 0,17$ ,  $126,1 \pm 0,5$ ,  $126,4 \pm 0,4$  Ma e  $126,9 \pm 0,3$  Ma (Figs. 5-15, 23, 21 e 30, respectivamente).

As idades disponíveis na literatura apresentam grande variação para o intervalo do magmatismo alcalino atingindo a porção centro-oriental do *Rift* de Assunção junto à Província Central. Essa variação muito possivelmente está ligada à própria dinâmica do *rift*, que sofreu diferentes etapas de ativação ao longo de um amplo intervalo de tempo (Velázquez *et al.*, 1992). Não obstante, quando se analisa o conjunto de todas as idades

Ar/Ar em um histograma de frequência nota-se a o predomínio de dois intervalos: um entre 128 Ma e 124 Ma com a moda entre 128 Ma e 126 Ma (Fig. 6), e outro entre 117 Ma e 110 Ma (Fig. 7). Este último, um pouco difuso e ainda não proposto na literatura, refere-se provavelmente a uma reativação tardia com extrusão principalmente de lavas. Contudo, pode-se notar que o intervalo 128-126 Ma é mais importante no qual a maioria dos corpos associados ao segmento central do *rift* foi gerado.

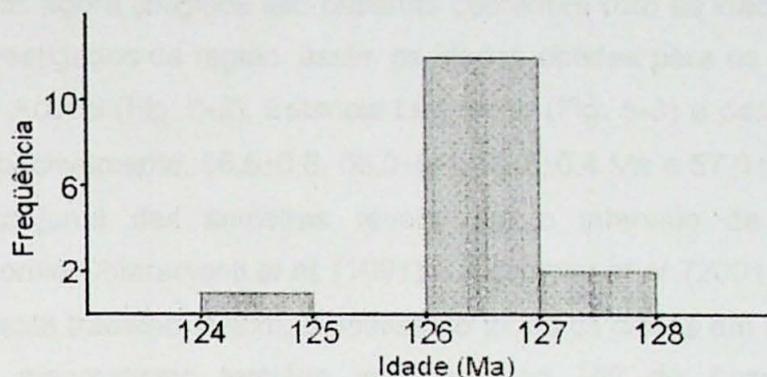


Figura 6 – Histograma de frequência para as rochas do primeiro evento associado à Província Central.

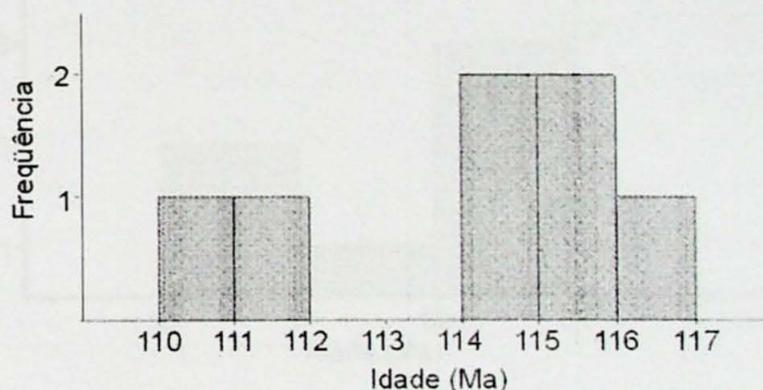


Figura 7 – Histograma de frequência para as rochas do segundo evento associado à Província Central.

Para as ocorrências correspondentes à Província Assunção, os novos dados (Tabela 4, Fig. 5) são um pouco diferentes dos constantes na literatura (Tabela 2). Assim, comparando-se as idades Ar/Ar para a localidade de Cerro Ñemby com a idade K/Ar da literatura, nota-se que houve um aumento significativo no valor, que era de  $45,7 \pm 1,8$  Ma (Bitschene, 1987), e neste trabalho é de  $60,7 \pm 0,6$  Ma (Fig. 5-10). Do mesmo modo, para as análises correspondentes ao corpo do Cerro Tacumbú, as idades disponíveis (K/Ar) indicavam valores de  $46,0 \pm 7,0$  (Comte & Hasui, 1987) e de  $41,3 \pm 1,8$  Ma (Bitschene, 1987), sendo obtido aqui um valor de  $58,4 \pm 0,4$  Ma (Fig. 5-7). Outra diferença significativa que se fez notar foi para o corpo de Cerro Lambaré, com idades K/Ar de  $48,9 \pm 2,0$  e  $48,9 \pm 2,2$  (Bitschene, 1987); já a idade Ar/Ar foi de  $60,9 \pm 0,3$  Ma (Fig. 5-8). Mudança menor foi

registrada para as amostras de Cerro Confuso, que ofereceram o valor de  $60,5 \pm 0,2$  Ma (Fig. 5-5) pelo método Ar/Ar, e deram valores de  $60,9 \pm 4,4$ ,  $59,3 \pm 2,4$  Ma e de  $55,3 \pm 2,1$  Ma (Bitschene, 1987) pelo método K/Ar. Assim também para a localidade de Cerro Verde não houve variação muito acentuada. A idade K/Ar ofereceu um valor de  $57,0 \pm 2,3$  Ma (Bitschene, 1987), enquanto que a Ar/Ar foi de  $61,3 \pm 0,3$  Ma (Fig. 5-4). Por outro lado, apesar de não existir qualquer informação sobre a idade das demais ocorrências conhecidas na literatura, os dados agora coligidos são bastante coerentes com as idades definidas para os outros corpos investigados da região, assim as idades obtidas para os corpos de Cerrito (Fig. 5-1), Benjamin Aceval (Fig. 5-2), Estancia La Lomita (Fig. 5-3) e para o de San Jorge (Fig. 5-6) foram, respectivamente,  $56,5 \pm 0,8$ ,  $56,0 \pm 0,4$ ,  $59,7 \pm 0,4$  Ma e  $57,0 \pm 0,3$  Ma.

A análise conjunta das amostras revela que o intervalo de tempo proposto anteriormente por Comin-Chiaramonti *et al.* (1991) e Riccomini *et al.* (2001) é mais jovem do que o conseguido neste trabalho. Assim, a análise de todos os dados em um histograma de frequência para o magmatismo terciário associado ao *Rift* de Assunção indica um predomínio de valores para o intervalo 61-55 Ma, com a moda correspondendo ao intervalo 61-59 Ma (Fig. 8), que parece ser o mais indicado para o magmatismo.

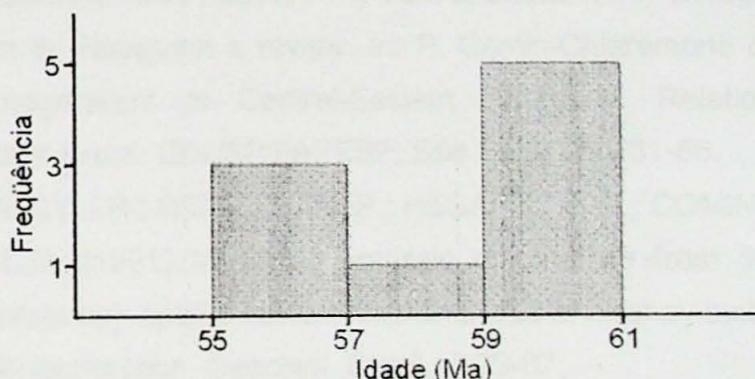


Figura 8 – Histograma de frequência para as rochas da Província Assunção.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BITSCHENE, P.R. (1987) Mesozoicher und Kanozoicher magmatismus in OstParaguay: Arbeinteznur geologie und petrologie zweier alkaliprovinzen. Ph.D. Thesis, Heidelberg University, 317p.
- COMIN-CHIARAMONTI, P. & GOMES, C.B. (1996) Alkaline magmatism in Central-Eastern Paraguay. Relationships with coeval magmatism in Brazil. EDUSP/FAPESP, São Paulo, 464p.
- COMIN-CHIARAMONTI, P.; CIVETTA, L.; PETRINI, R.; PICCIRILLO, E.M.; CENSI, P.; BITSCHENE, P.R.; DEMARCHI, G.; DE MIN, A.; GOMES, C.B.; CASTILLO, A.M.C.; VELÁZQUEZ, J.C. (1991) Tertiary nephelinitic magmatism in Eastern Paraguay:

- petrology, Sr-Nd isotopes and genetic relationships with associated spinel-peridotite xenoliths. *Eur. J. Mineral.*, **3**:507-525.
- COMTE, D. & HASUI, Y. (1971) Geochronology of Eastern Paraguay by potassium-argon method. *Rev. Bras. Geoc.*, **1**:33-43.
- DE GRAFF, J.M. (1985) Late Mesozoic crustal extension and rifting on the western of Paraná basin, Paraguay. *Geol. Soc. Amer. Abst.*, **17**, p. 560.
- DEMARCHI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; DE VITO, P.; SINIGOI, S.; CASTILLO, A.M.C. (1988) Lherzolite-dunite xenoliths from Eastern Paraguay: petrological constraints to mantle metasomatism. In: E.M. Piccirillo & A.J. Melfi (eds.) *The Mesozoic flood volcanism on the Paraná Basin: petrogenetic and geophysical aspects*. IAG-USP, São Paulo, pp.207-227.
- ERNESTO, M.; RODAS, C.R.S.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; GOMES, C.B.; PICCIRILLO, E.M.; BELLINI, G.; CASTILLO, A.M.C.; VELÁZQUEZ, J.C.; CUNDARI, A. (1996) Paleomagnetic data from the Central Alkaline Province, Eastern Paraguay. In: P. Comin-Chiaramonti & C.B. Gomes (eds.) *Alkaline magmatism in Central-Eastern Paraguay. Relationships with coeval magmatism in Brazil*. EDUSP/FAPESP, São Paulo, pp. 31-56.
- GOMES, C.B.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; VELÁZQUEZ, V.F.; ORUÉ, D. (1996) Alkaline magmatism in Paraguay: a review. In: P. Comin-Chiaramonti & C.B. Gomes (eds.) *Alkaline magmatism in Central-Eastern Paraguay. Relationships with coeval magmatism in Brazil*. EDUSP/FAPESP, São Paulo, pp. 31-56.
- GREEN, P.F.; DUDDY, I.R.; O'SULLIVAN, P.; HEGARTY, K.A.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; GOMES, C.B. (1991) Mesozoic potassic magmatism from the Asunción-Sapucaí graben (Paraguay): apatite fission track analyses of Acahay suite and implications for hydrocarbon exploration. *Geochim. Brasil.*, **5**:79-87.
- HUNEKE, J.C. & SMITH, S.P. (1976) The realities of recoil:  $^{39}\text{Ar}$  recoil out of small grains and anomalous patterns in  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating. *Geochim. Cosmochim. Acta Suppl.* (Proceedings of Seventh Lunar Science Conference), **7**:1987-2008.
- KANZLER, A. (1987) The Southern Precambrian in Paraguay: geological inventory and age relations. *Zbl. Geol. Paläont.*, (7/8):753-765.
- McDOUGALL, I. & HARRISON, T.M. (1999) *Geochronology and thermochronology by  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  method*, 2<sup>nd</sup> ed. Oxford University Press, 269p.
- MERRIHUE, C. & TURNER, G. (1965) Trace elements determinations and K-Ar dating by mass spectroscopy of neutron-irradiated samples. *Trans. Amer. Geophys. Un. Abst.*, **46**, p125.
- NIER, A.O. (1950) A redetermination of the relative abundances of isotopes of carbon, nitrogen, oxygen, argon and potassium. *Phys. Rev.*, **77**:789-793.

- ORUÉ, D. (1996) Síntese da geologia do Paraguai Oriental, com ênfase para o magmatismo alcalino associado. Dissertação de Mestrado, IG-USP, São Paulo, 163p.
- PALMIERI, J.H. & ARRIBAS, A. (1975) El complejo alcalino potásico de Sapucaí (Paraguay Oriental). Congr. Ibero-Amer. Geol. Econ., Buenos Aires, 2:267-300.
- PROYECTO PAR 83/005 (1986) Mapa geológico del Paraguay. Asunción, PNUD-MDN, Texto explicativo, 270p.
- RICCOMINI, C.; VELÁZQUEZ, V.F.; GOMES, C.B. (2001) Cenozoic lithospheric faulting in the Asunción Rift, eastern Paraguay. J. South Amer. Earth Sci., 14:625-630.
- SALLUN, A.E.M. (1999) Relações entre a tectônica e a sedimentação cenozóica na região do Graben de Ypacarai (Rift de Assunção, Paraguai Oriental). Trabalho de formatura, IG-USP, 59p.
- 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. Bol. IG-USP, Sér. Cient., 19:63-85.
- STORMER, J.C.; GOMES, C.G.; TORQUATO, J.R.F. (1975) Spinel lherzolite nodules in basanite lavas from Asunción, Paraguay. Rev. Bras. Geoc., 5:176-185.
- VASCONCELOS, P.M.; ONOE, A.T.; KAWASHITA, K.; SOARES, A.J.; TEIXEIRA, W. (2001)  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology at the Instituto de Geociências, USP (em preparação).
- VELÁZQUEZ, V.F.; GOMES, C.B.; CAPALDI, G.; COMI-CHIARAMONTI, P.; ERNESTO, M.; KAWASHITA, K.; PETRINI, R.; PICCIRILLO, E.M. (1992) Magmatismo alcalino Mesozóico na porção centro oriental do Paraguai: aspectos geocronológicos. Geochim. Brasil., 6:23-35.
- VELÁZQUEZ, V.F.; RICCOMINI, C.; GOMES, C.B.; (1998) ^Tectônica mesozóica no *Rift* de Assunção, Paraguai Oriental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40, Belo Horizonte. Anais...Belo Horizonte: SBG, p. 112.

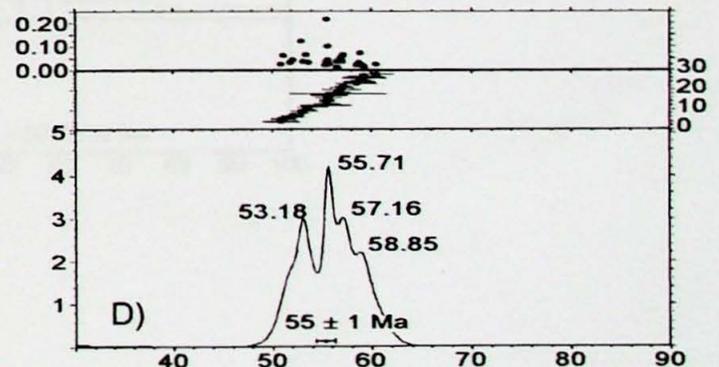
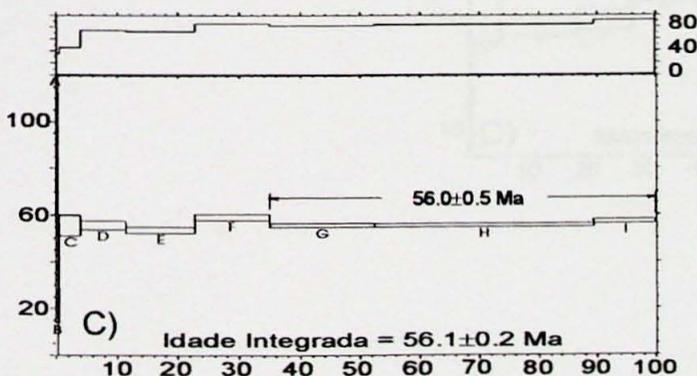
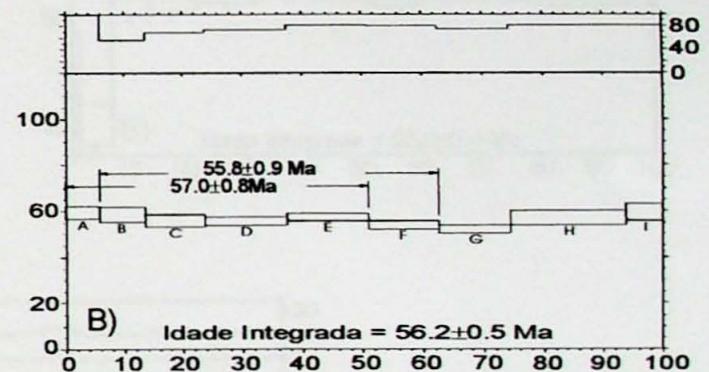
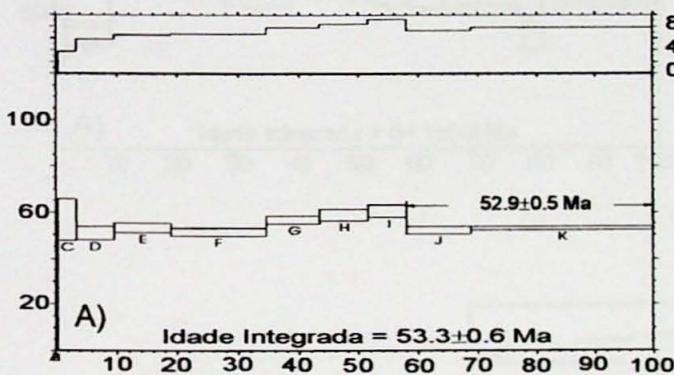


## 1. Cerrito

O plug de nefelinito está situado a 1 km da cidade de Benjamin Aceval, ao lado da rodovia Transchaco (Fig. 5-1).

As idades platô obtidas mostraram pequena dispersão entre elas, contudo, os valores produzidos são muito próximos:  $52,9 \pm 0,5$  Ma e  $56,0 \pm 0,5$  Ma (Figs. A e C, respectivamente). Para um dos grãos foi possível estabelecer duas idades platô,  $55,8 \pm 0,9$  Ma e  $57,0 \pm 0,8$  Ma (Fig. B). Da mesma forma, os valores para as idades integradas referentes às análises individuais deram pequena diferença:  $53,3 \pm 0,6$ ,  $56,2 \pm 0,5$  e  $56,1 \pm 0,2$  Ma (Figs. A, B e C, respectivamente). As médias aritméticas para as idades platô e integrada são concordantes, respectivamente,  $55,42$  Ma e  $55,2$  Ma, além de próximas ao valor definido para a análise conjunta dos três grãos em função da densidade de probabilidade, que resulta em  $55 \pm 1$  Ma (Fig. D).

Apesar de apresentarem valores bastante coerentes entre si, a idade platô de  $56,5 \pm 0,5$  Ma (Fig. C) parece ser a que melhor representa o corpo tanto técnica quanto geologicamente.

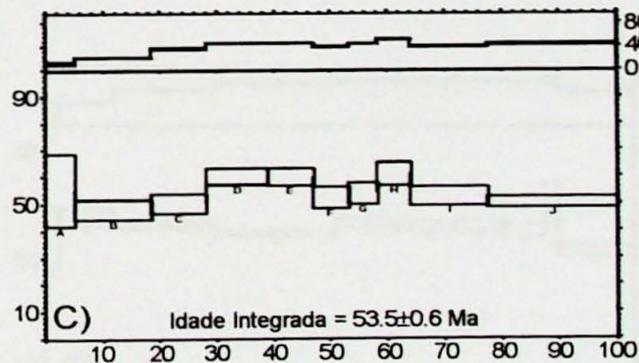
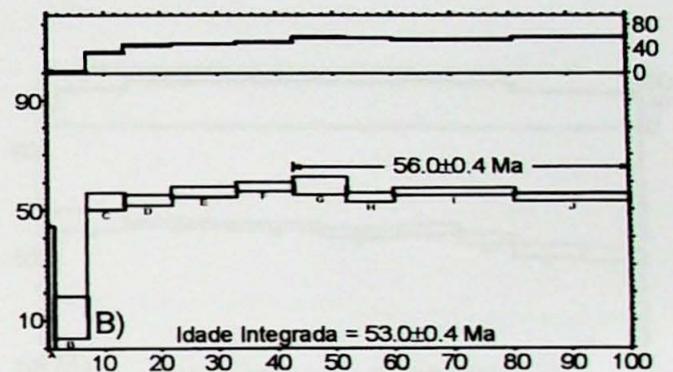
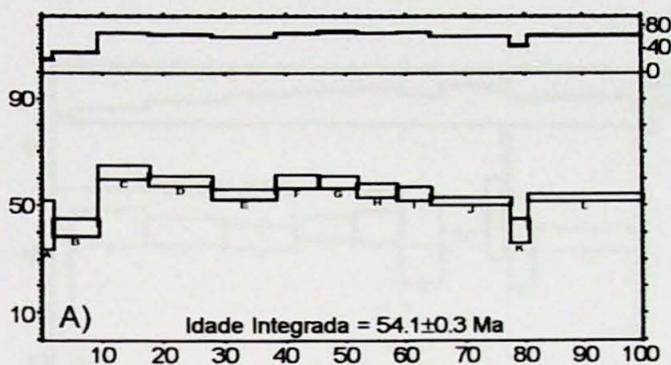


## 2. Benjamin Aceval

O corpo está localizado a uma distância de 2,5 km ao sul da cidade de Benjamin Aceval (Fig. 5-2). O *plug* nefelinítico possui 0,5 km de diâmetro e 80 m de altura.

Dos três grãos analisados somente um produziu idade platô,  $56,0 \pm 0,4$  Ma (Fig. 7B). Já as idades integradas mostraram valores bastante coerentes:  $54,1 \pm 0,3$ ,  $53,0 \pm 0,4$  e  $53,5 \pm 0,6$  Ma (Figs. 7A, B e C, respectivamente). A média aritmética para as idades integradas é de 53,53 Ma, que é um pouco inferior à da idade platô.

Para esta ocorrência a idade que mais representa o corpo é a da idade platô de  $56,0 \pm 0,4$  Ma (Fig. B), uma vez que os outros grãos analisados apresentam distorções devido à variação da quantidade de gás liberado nos *steps*.

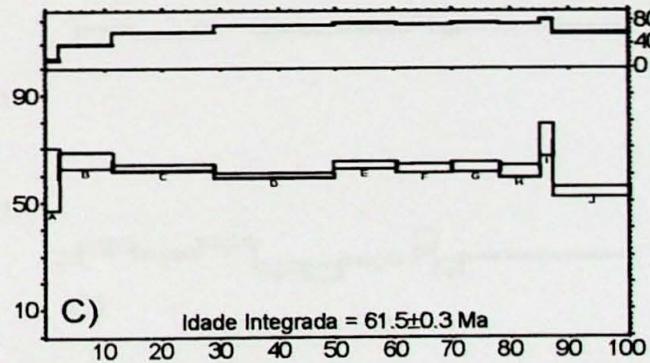
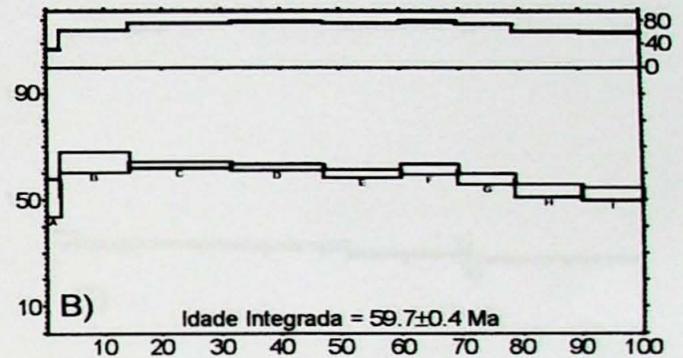
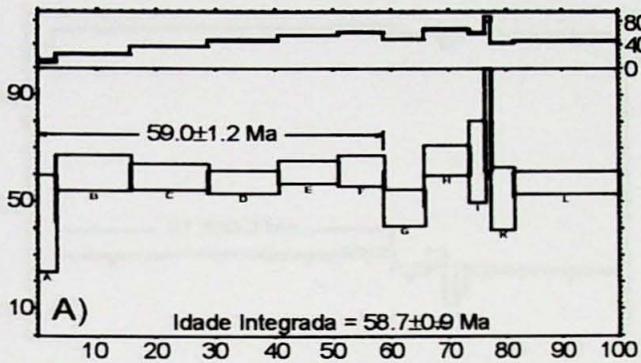


### 3. Estancia La Lomita

Esta ocorrência nefelinítica situa-se a 4 km, na direção norte, da cidade de Villa Hayes (Fig. 5-3), sendo que o corpo possui pequena expressão topográfica, forma alongada e suas dimensões não ultrapassam 0,4 km no maior eixo e no máximo 30 m de altura.

Na análise individual somente foi possível chegar-se a apenas uma idade platô para os três grãos analisados, que indicou um valor de  $59,0 \pm 1,2$  Ma (Fig. A). Para as idades integradas, os valores mostraram-se bastante homogêneos, com pequena variação entre os três grãos ( $58,7 \pm 0,9$ ,  $59,7 \pm 0,4$  e  $61,5 \pm 0,3$  Ma; Figs. A, B e C, respectivamente) e média aritmética de 59,96 Ma, que se aproxima muito da idade platô.

Das análises realizadas a idade integrada de  $59,7 \pm 0,4$  Ma (Fig. B) é a que demonstra maior confiabilidade, bem como menor dispersão na liberação de gás.

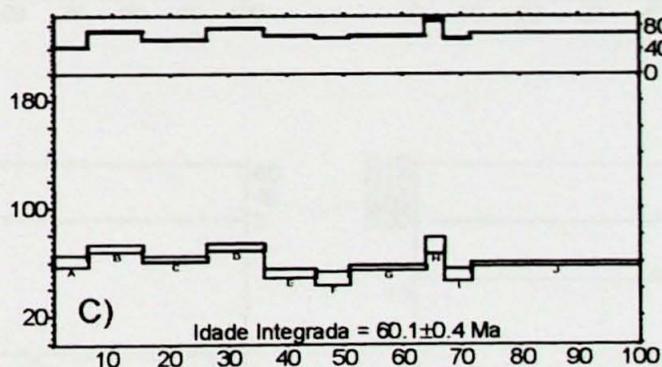
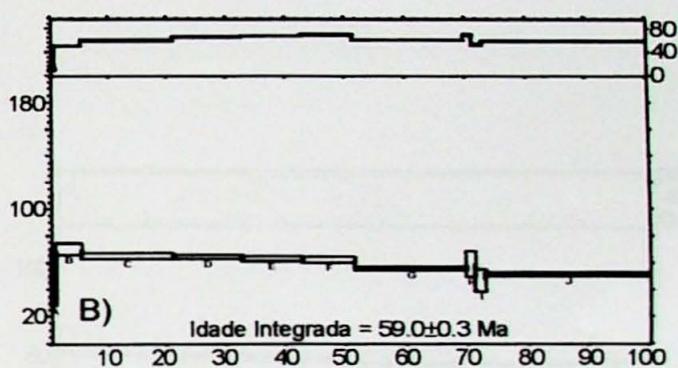
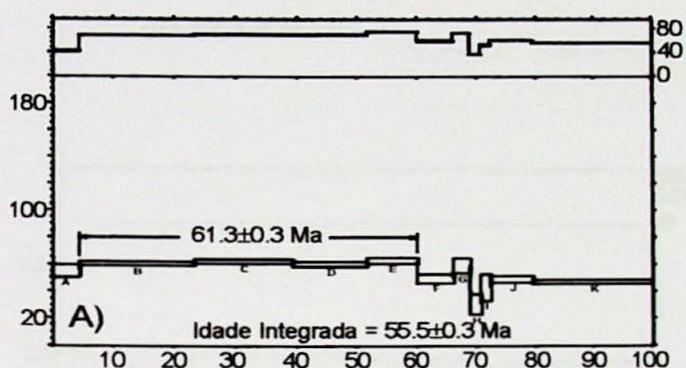


#### 4. Cerro Verde

Situada na cidade de Villa Hayes (Fig. 5-4), a pedreira de Cerro Verde explora um *plug* com 0,2 km<sup>2</sup> de área e de natureza nefelinítica, com xenólitos do manto.

Na avaliação individual dos grãos, somente em um deles os requisitos estatísticos exigidos para a obtenção da idade platô foram atendidos, gerando uma idade de  $61,3 \pm 0,3$  Ma (Fig. A). Já as idades integradas tiveram uma variação entre os valores:  $55,5 \pm 0,3$ ,  $59,0 \pm 0,3$  e  $60,1 \pm 0,4$  Ma (Figs. A, B e C) com uma média aritmética de 58,2 Ma, que é um pouco inferior à da idade platô.

Para este corpo a idade mais representativa é a platô de  $61,3 \pm 0,4$  Ma (Fig. A), não exibindo dispersões significativas, além de ser bastante coerente com os resultados obtidos para as outras ocorrências.

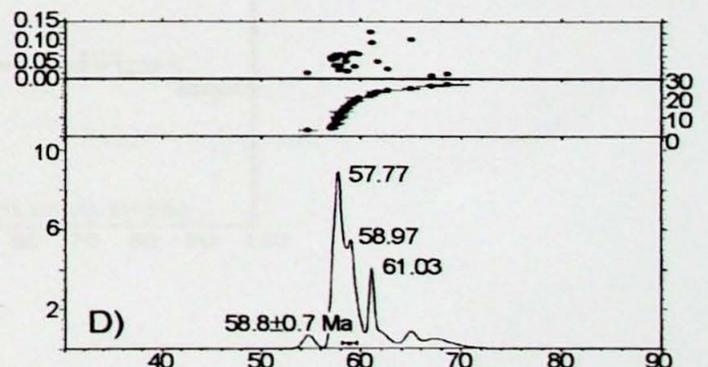
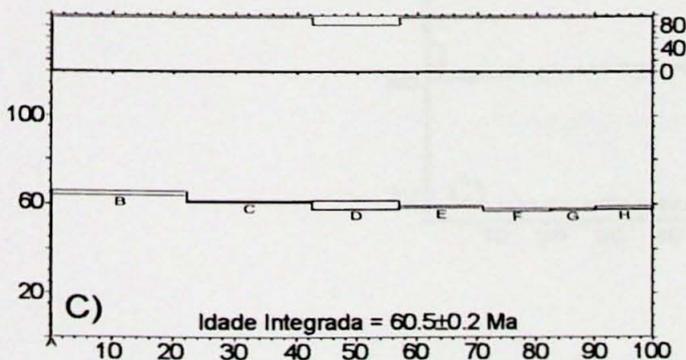
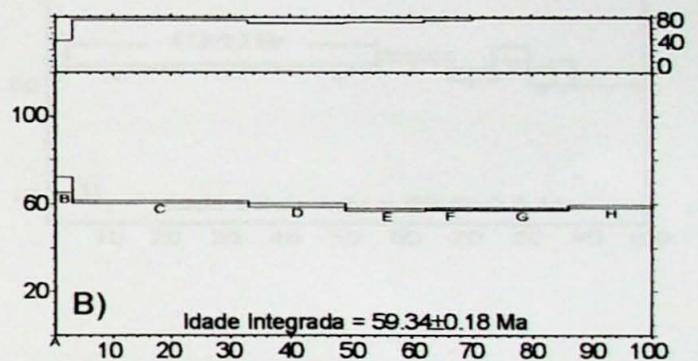
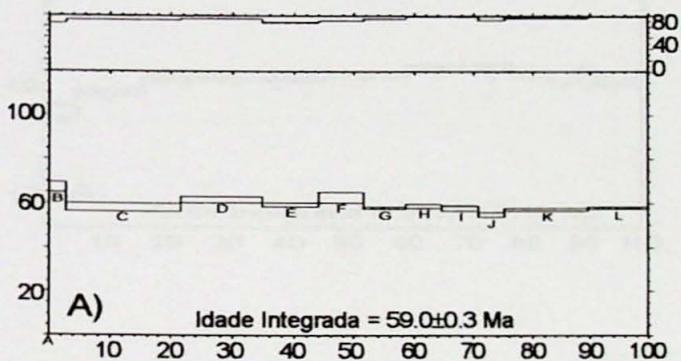


## 5. Cerro Confuso

A ocorrência localiza-se a 5 km ao sul da cidade de Villa Hayes (Fig. 5-5). Trata-se de um *plug* ocupando área aproximada de 0,2 km<sup>2</sup>, e considerado como sendo o único corpo de caráter fonolítico encontrado na Província Assunção.

Para as datações individuais não foi possível estabelecer-se qualquer idade platô, contudo, para as idades integradas, os valores gerados não são discrepantes: 59,0±0,3, 59,34±0,18 e 60,5±0,2 Ma (Figs. A, B e C, respectivamente), com uma média aritmética de 59,61 Ma. Por outro lado, quando se analisam os três grãos conjuntamente no diagrama de densidade de probabilidade reconhecem-se três picos principais, 57,77 (o de maior densidade), 58,97 Ma e 61,03 Ma, sendo a idade mais provável de 58,8±0,7 Ma (Fig. D), esta pouco inferior às coligidas individualmente.

Tendo em vista que os três grãos analisados apresentam valores próximos, a idade integrada de 60,5±0,2 (Fig. C) Ma é a que melhor representa o corpo, tanto técnica quanto geologicamente.

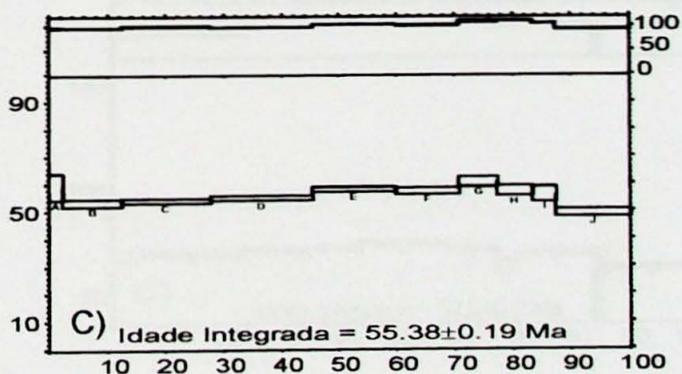
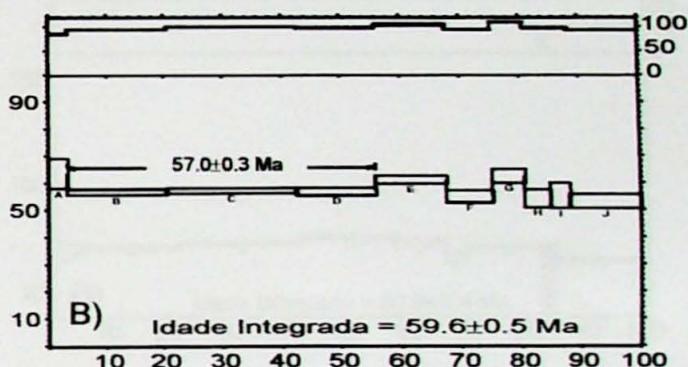
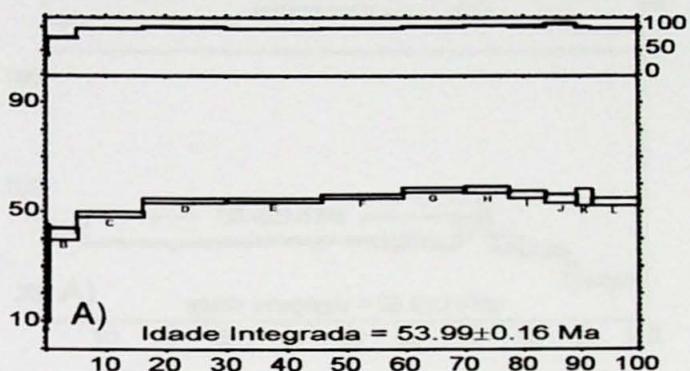


## 6. San Jorge

A antiga pedreira de nefelinito de San Jorge (hoje desativada) está situada na área urbana de Assunção (Fig.5-6), sendo por esse motivo difícil estabelecer as dimensões do corpo (a região está tomada por residências), que aflora apenas em alguns cortes de barranco.

Para as datações individuais foi possível obter-se somente uma idade platô:  $57,0 \pm 0,3$  Ma (Fig. B). Já as idades integradas não indicaram resultados discrepantes:  $53,99 \pm 0,16$  Ma,  $59,6 \pm 0,5$  Ma e  $55,38 \pm 0,19$  Ma (Figs. A, B e C, respectivamente). A média aritmética para elas é de aproximadamente  $55,52$  Ma, que é um valor pouco menor que o da idade platô.

Para o corpo de San Jorge a idade indicada é a platô de  $57,0 \pm 0,3$  Ma (Fig. B), que é a mais coerente com o restante das análises.

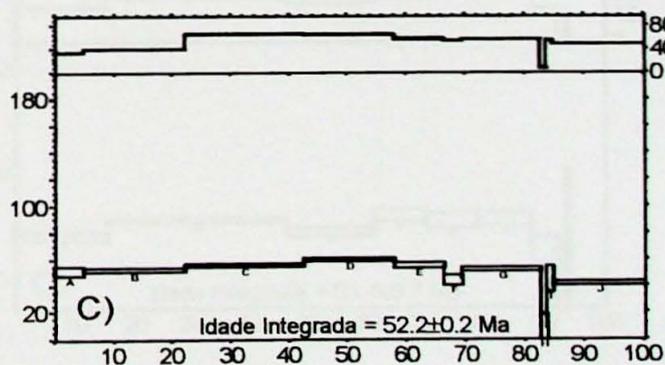
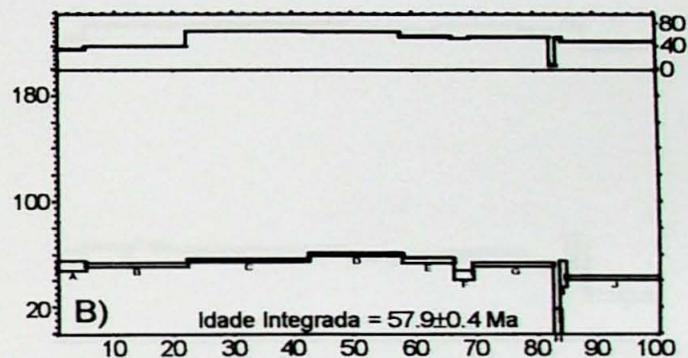
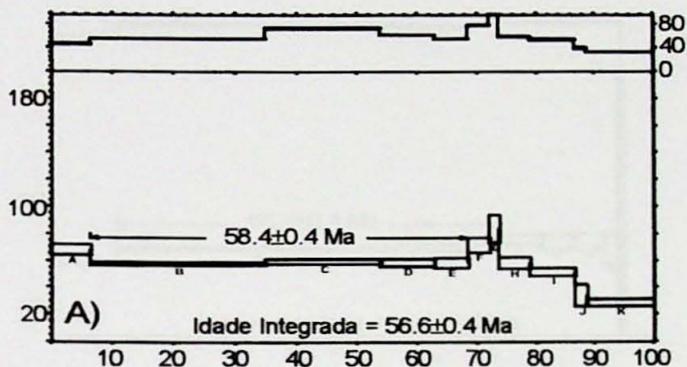


## 7. Cerro Tacumbú

O afloramento localiza-se na cidade de Assunção, ao norte do Cerro Lambaré (Fig. 5-7), e possui aproximadamente 0,1 km<sup>2</sup> de área.

A partir das análises individuais foi somente possível definir a idade platô para um dos grãos, que resultou em  $58,4 \pm 0,4$  Ma (Fig. A). As idades integradas mostraram pequena discrepância entre os valores, resultando nas seguintes idades:  $55,6 \pm 0,4$ ,  $57,9 \pm 0,4$  e  $52,2 \pm 0,2$  Ma (Figs. A, B e C), com uma média aritmética de 55,23 Ma, esta um pouco inferior à da idade platô.

Apesar da grande variação entre os resultados obtidos, é possível definir a idade platô de  $58,4 \pm 0,4$  Ma (Fig. A) como representando a ocorrência, uma vez que foi conseguida com um número razoável de *steps*, além de ser coerente com os outro resultados coligidos.

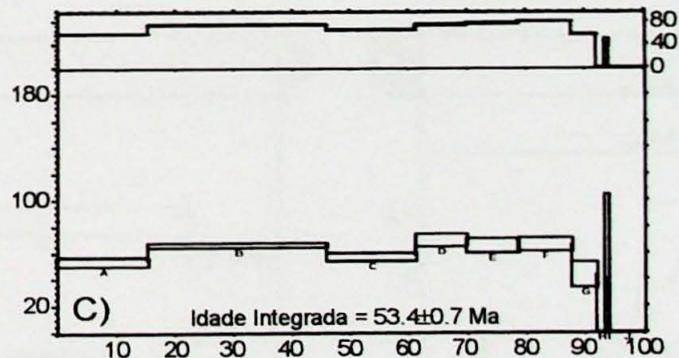
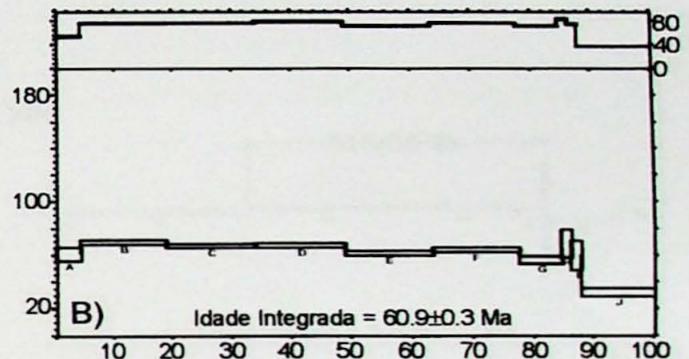
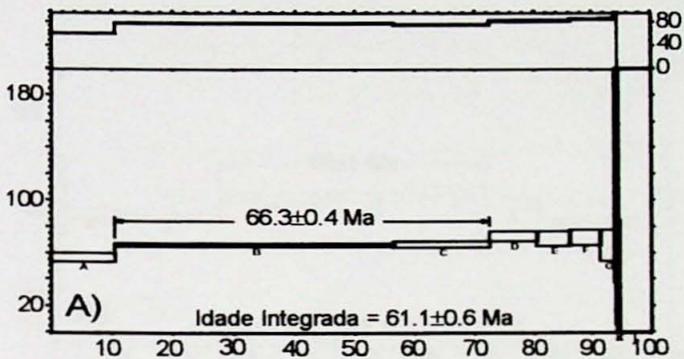


## 8. Cerro Lambaré

O *neck*, com área não superior a 0,2 km<sup>2</sup>, localiza-se na cidade de Assunção (Fig. 5-8), próximo ao leito do rio Paraguai, e tem como litologia nefelinitos portadores de xenólitos do manto.

Na análise individual dos grãos apenas um deles atingiu os requisitos estatísticos para a geração de uma idade platô, fornecendo o valor de  $66,3 \pm 0,4$  Ma (Fig. A). Já as idades integradas tiveram uma oscilação bastante significativa entre os valores, estes se colocando bem abaixo da idade platô:  $61,1 \pm 0,6$ ,  $60,9 \pm 0,3$  e  $53,4 \pm 0,7$  Ma (Figs. A, B e C, respectivamente), com uma média aritmética de 58,46 Ma.

Para esta ocorrência a idade integrada de  $60,9 \pm 0,3$  Ma (Fig. B) é tida como a mais representativa, já que os outros grãos apresentaram excesso de Ar nos *steps* de mais alta temperatura.

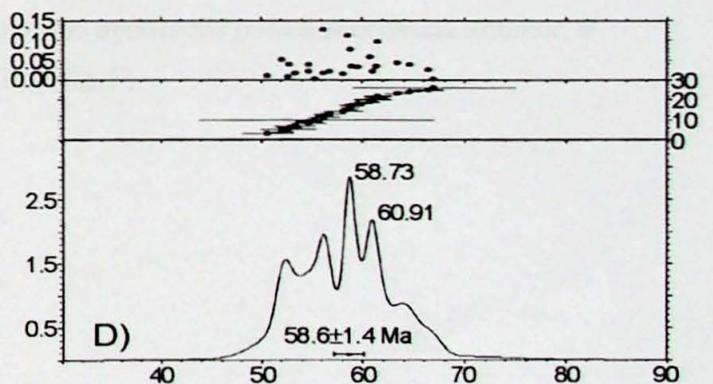
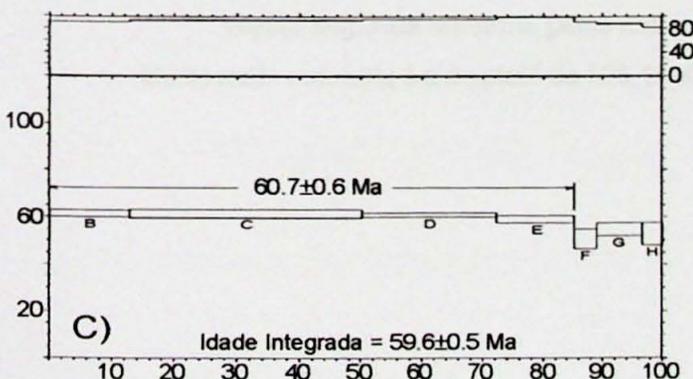
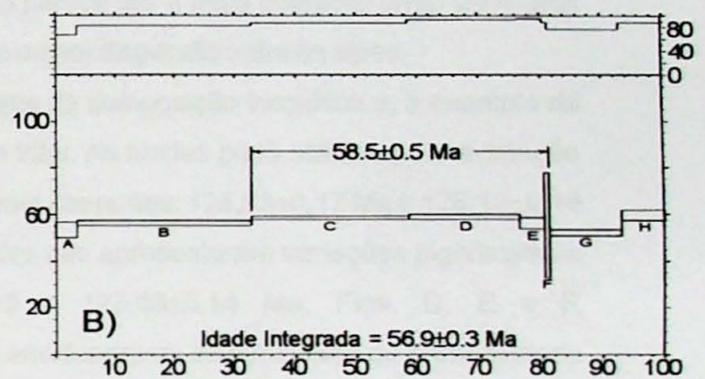
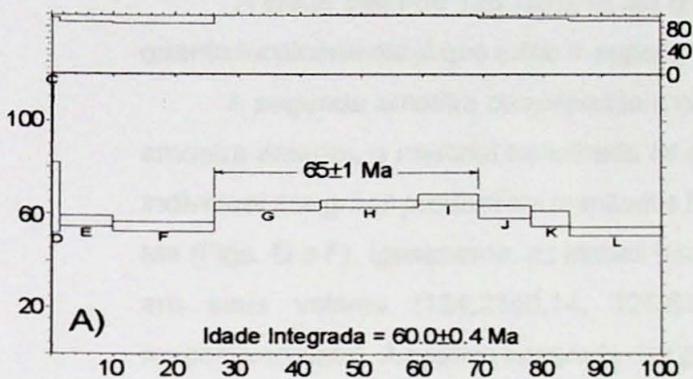


## 9. Cerro Ñemby

O plug nefelinítico está situado a sul de Assunção, na localidade de Ñemby (Fig. 5-10), e ocupa área de aproximadamente 2 km<sup>2</sup>.

Os três grãos analisados deram idades platô com três valores distintos:  $65 \pm 1$ ,  $58,5 \pm 0,5$  e  $60,7 \pm 0,6$  Ma (Figs. A, B e C, respectivamente). Da mesma forma, as idades integradas mostraram valores muito próximos:  $60,0 \pm 0,4$ ,  $56,9 \pm 0,3$  e  $59,6 \pm 0,5$  Ma (Figs. A, B e C, respectivamente). A média aritmética é de 61,4 Ma para a idade platô e de 58,83 Ma para a idade integrada, guardando, assim, boa concordância com a idade obtida a partir da análise da densidade de probabilidade para cada grão, que forneceu dois picos principais, 58,73 Ma e 60,91 Ma, e como idade mais provável de  $58,6 \pm 1,4$  Ma (Fig. D).

A idade platô indicada para essa ocorrência é a de  $60,7 \pm 0,6$  (Fig. C), pois é a que apresenta o espectro com menor perturbação, bem como um maior número de steps.



## 10. Cerro Arrúa-í

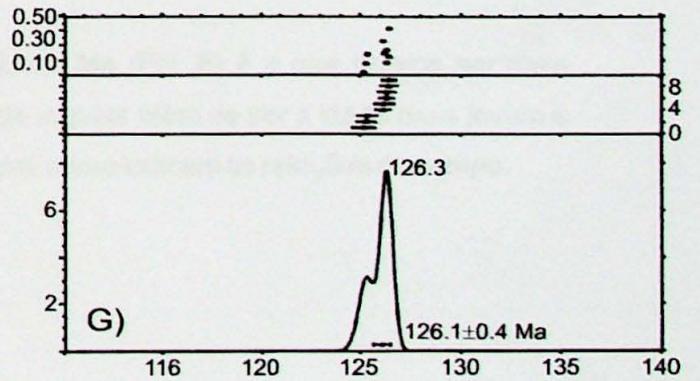
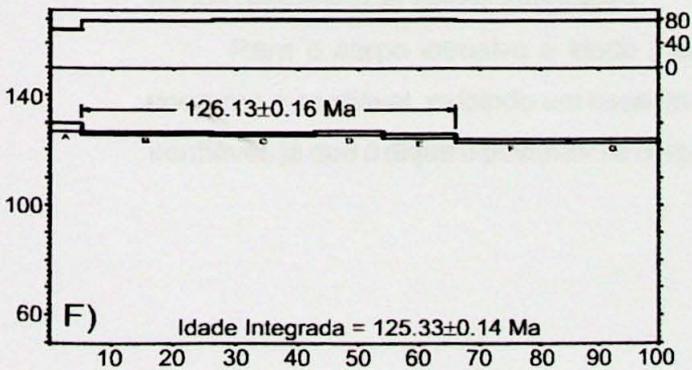
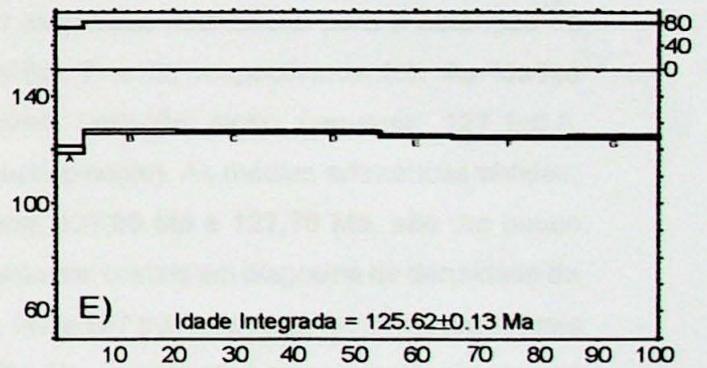
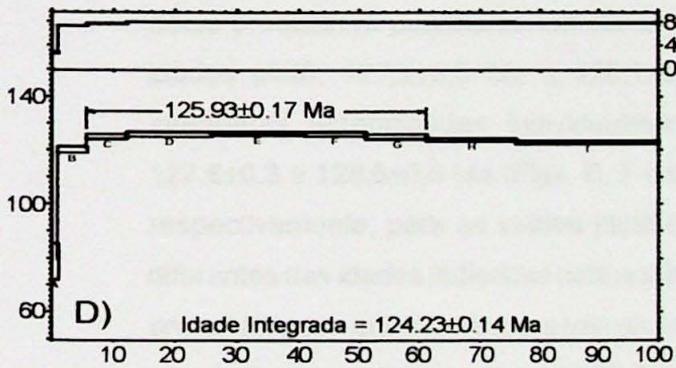
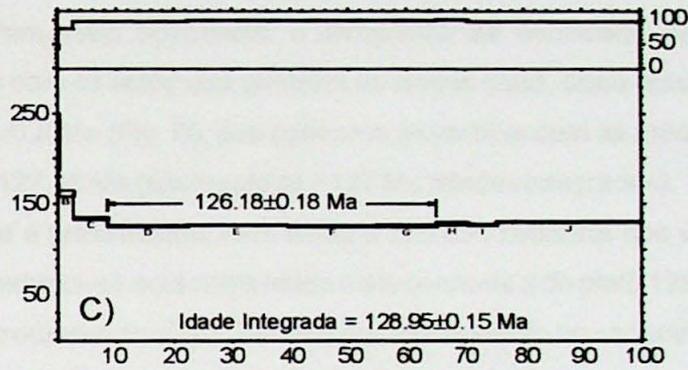
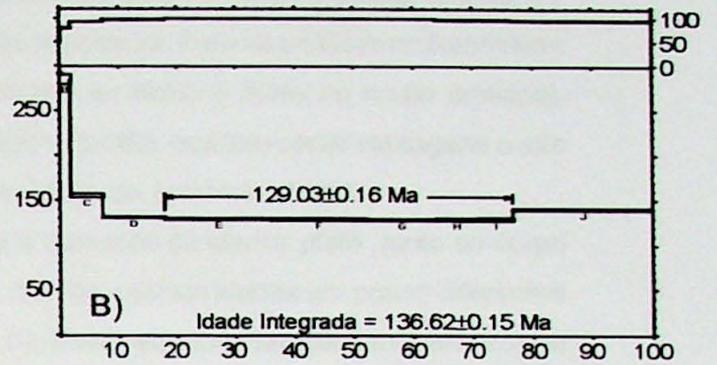
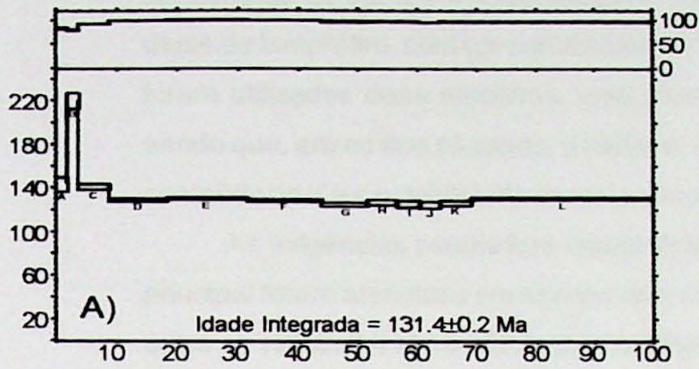
O Cerro Arrúa-í está localizado a 10 km, na direção SW, da cidade de Yaguarón (Fig. 5-11). Sua área de ocorrência é de aproximadamente 3,8 km<sup>2</sup> e é composto por sienodioritos e, subordinadamente, por essexitos, sienitos, traquiandesitos e fonolitos. As amostras foram coletadas numa pedreira que se encontra em pequeno alto topográfico, a SW da elevação de maior expressão. Uma das amostras corresponde ao *stock* sienodiorítico e a outra a de um dique traquítico.

A primeira amostra é um sienodiorito e o material empregado no trabalho analítico foi rocha total. Nas análises individuais foi possível a obtenção de idades platô em dois dos grãos analisados, valores estes que se mostraram bastante coerentes: 129,03±0,16 Ma e 126,18±0,18 Ma (Figs. B e C, respectivamente). Já as idades idades integradas apresentaram discordâncias, que resultaram em valores bem diferentes: 131,4±0,2, 136,62±0,15 e 128,95±0,15 Ma (Figs. A, B e C, respectivamente), para uma média de 132,25 Ma.

A idade platô de 126,18±0,18 Ma (Fig. C) parece ser a mais coerente tanto geologica quanto tecnicamente já que exhibe o espectro com menor dispersão entre os *steps*.

A segunda amostra corresponde a um dique de composição traquítica e, a exemplo da amostra anterior, o material trabalhado foi rocha total. As idades platô obtidas pela avaliação individual dos grãos produziram resultados bastante coerentes: 125,93±0,17 Ma e 126,13±0,16 Ma (Figs. D e F). Igualmente, as idades integradas não apresentaram variações significativas em seus valores (124,23±0,14, 125,62±0,13 e 125,33±0,14 Ma; Figs. D, E e F, respectivamente). A análise integrada dos grãos em ideograma de densidade de probabilidade (realizado apenas com os *steps* das idades platô) aponta como mais provável a idade de 126,1±0,4 Ma (Fig. G).

Nesta segunda amostra, pelos mesmos motivos apontados para a ocorrência anterior, a idade mais coerente é a do platô de 126,13±0,16 Ma (Fig. F).



## 11. Cerro Santo Tomás

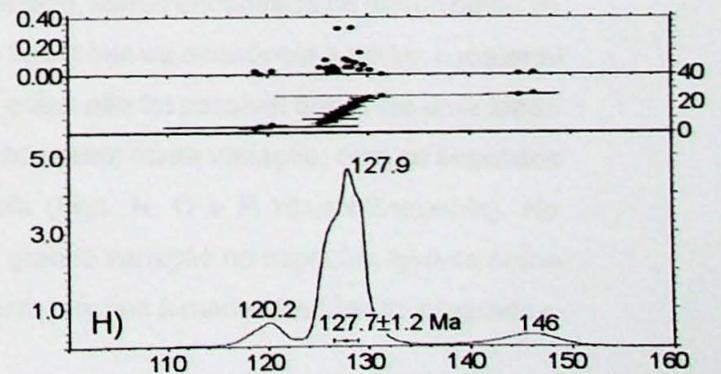
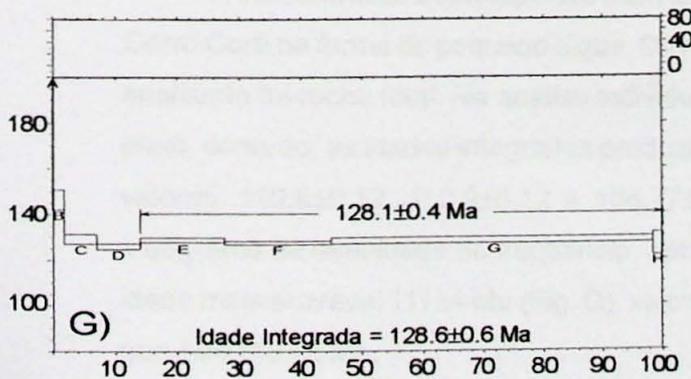
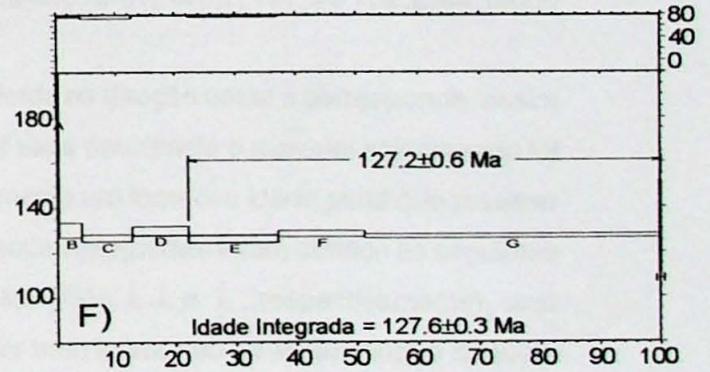
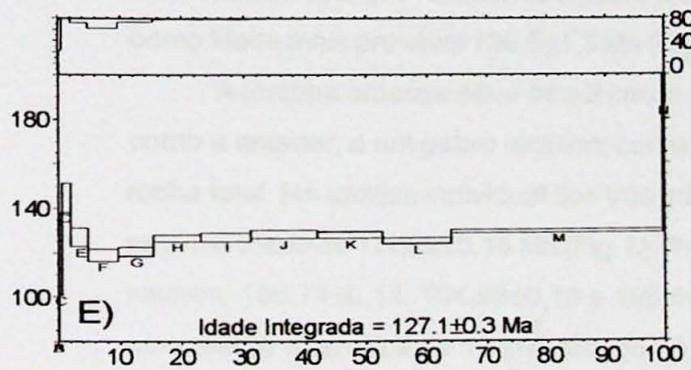
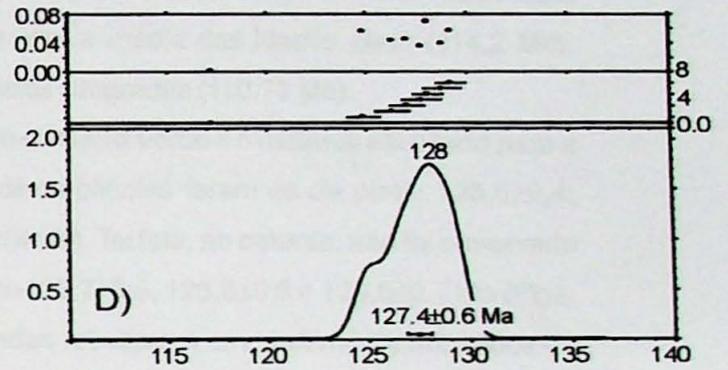
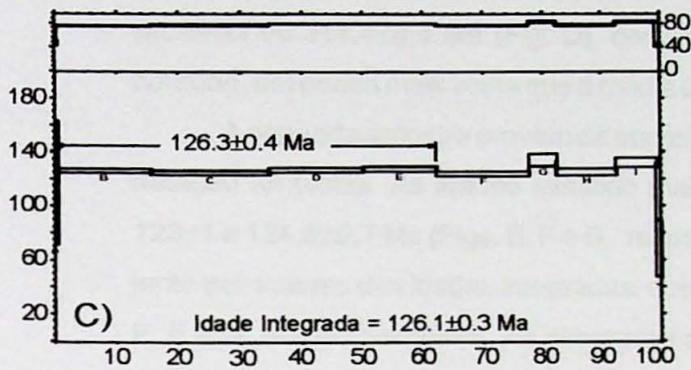
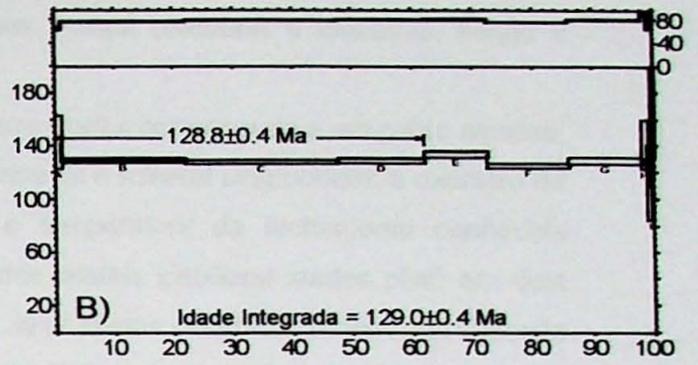
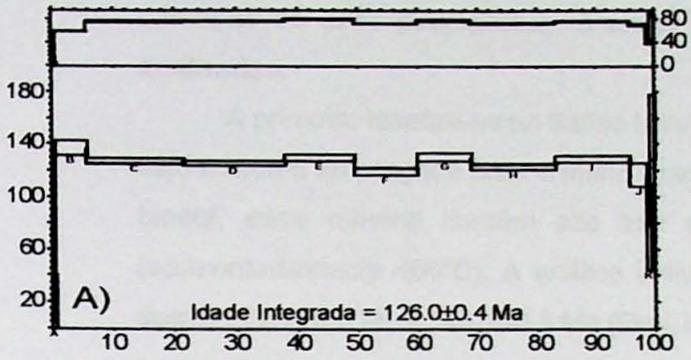
O corpo aflora a 4 km, na direção NE, da cidade de Paraguari (Fig. 5-12). O *stock* tem área aproximada de 3,2 km<sup>2</sup> e é composto por sienodioritos. Cortando o corpo principal tem-se um dique de lamprófito, com aproximadamente 1,5 m de espessura. Para as análises radiométricas foram utilizadas duas amostras, uma correspondendo ao dique e outra ao corpo principal, sendo que, em ambos os casos, o material escolhido foi biotita, que tem como vantagens o alto conteúdo de K e a estabilidade da temperatura de fechamento, próxima à 350°C.

As exigências estatísticas necessárias para a obtenção de idades platô junto ao corpo principal foram atendidas em apenas dois cristais, que forneceram idades um pouco diferentes entre si: 128,8±0,4 Ma e 126,3±0,4 Ma (Figs. B e C). Essa pequena variação também ocorreu nas idades integradas, obtendo-se os seguintes valores: 126,0±0,4, 129,0±0,4 e 126,0±0,4 Ma (Figs. A, B e C). Para essa ocorrência, o ideograma de densidade de probabilidade foi conseguido somente com os *steps* que geraram as idades platô, disso resultando como idade mais provável 127,4±0,6 Ma (Fig. D), que concorda muito bem com as médias aritméticas das análises individuais: 127,55 Ma (idades platô) e 127 Ma (idades integradas).

Tendo em vista a proximidade, bem como a alta concordância dos valores obtidos nas análises individuais, admite-se aqui como idade mais coerente a do platô 126,3±0,4 Ma (Fig. C), à vista de exibir maior número de *steps*, além de menor dispersão no espectro como um todo.

No tocante ao dique, na avaliação individual dos três cristais analisados somente dois deles produziram patamares em atendimento às exigências estatísticas para a obtenção de idades platô: 127,2±0,6 Ma e 128,1±0,4 Ma (Figs. F e G, respectivamente). As idades integradas determinadas individualmente exibiram variação muito pequena: 127,1±0,3, 127,6±0,3 e 128,6±0,6 Ma (Figs. E, F e G, respectivamente). As médias aritméticas obtidas, respectivamente, para as idades platô e integrada, 127,65 Ma e 127,76 Ma, são um pouco diferentes das idades indicadas pela análise conjunta dos cristais em diagrama de densidade de probabilidade, que aponta para três picos: 120,2, 146 e 127,9 Ma. Assume-se como idade mais provável para o corpo o valor de 127,7±1,2 Ma (Fig. H), mostrando boa concordância com os dados referentes às idades integradas.

Para o corpo intrusivo a idade platô 127,2±0,6 Ma (Fig. F) é a que parece ser mais coerente e confiável, exibindo um espectro bastante regular, além de ser a idade mais jovem e confiável, já que o dique é posterior ao corpo principal, como indicam as relações de campo.



## 12. Sapucaí

Ao sul da cidade de Sapucaí (Fig. 5-13), afloram diversos corpos alcalinos ocupando área total de aproximadamente 98 km<sup>2</sup>. As formas de ocorrência são diversas: *stocks*, *plugs*, lavas, camadas de tufos piroclásticos, brechas e diques. Foram coletadas 9 amostras, sendo 4 analisadas.

A primeira localiza-se no flanco leste do Cerro Corá e corresponde a um gabro alcalino, cujo material empregado para a análise radiométrica foi o mineral plagioclásio; a exemplo da biotita, esse mineral contém alto teor de K e temperatura de fechamento conhecida (aproximadamente 400°C). A análise individual dos cristais viabilizou idades platô em dois deles, 114,7±0,3 Ma e 113,7±0,3 Ma (Figs. B e C). Já as idades integradas mostraram variação bem pequena, com os seguintes valores: 111,8±0,3, 109,8±0,3 e 110,6±0,3 Ma (Figs. A, B e C). A partir do ideograma de densidade de probabilidade, composto apenas pelos *steps* das idades platô, é possível identificar dois picos principais, 113,4 Ma e 114,9 Ma, com uma idade mais provável de 114,4±0,4 Ma (Fig. D), concordante com a média das idades platô (114,2 Ma), contudo, um pouco mais velha que a média das idades integradas (110,73 Ma).

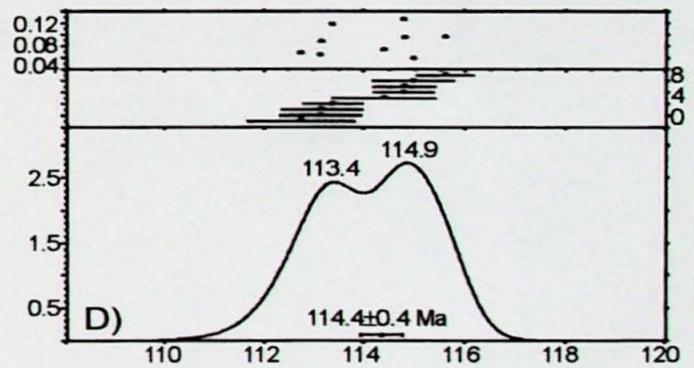
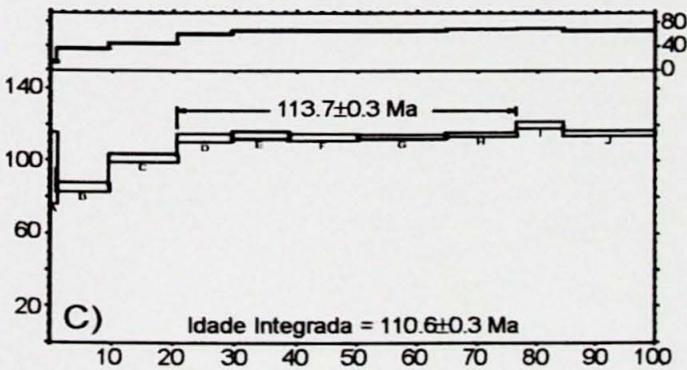
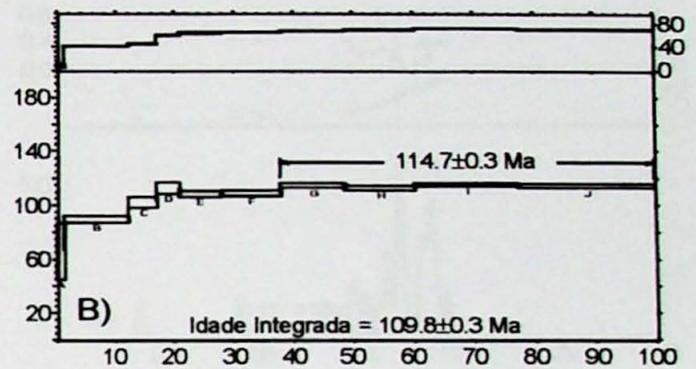
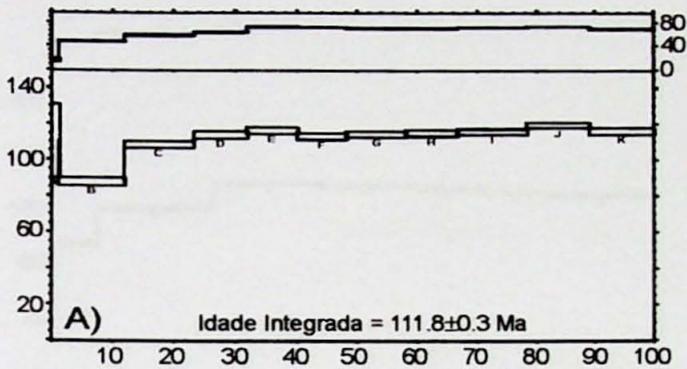
A segunda amostra provém da encosta leste do Cerro Verde e o material escolhido para a datação foi biotita. As idades exibindo maiores discrepâncias foram as de platô: 126,0±0,4, 123±1 e 124,6±0,7 Ma (Figs. E, F e G, respectivamente). Tal fato, no entanto, não foi observado junto aos valores das idades integradas, que deram 126,7±0,3, 126,6±0,6 e 126,0±0,7 Ma (Figs. E, F e G, respectivamente). As diferenças apontadas resultaram em uma média aritmética de 124,5 Ma para as primeiras, que se mostra um pouco mais baixa que a fornecida para as idades integradas, de 126,43 Ma, este último valor mais próximo do indicado no diagrama de densidade de probabilidade, que resultou em quatro picos principais, 124,1, 126,1, 127,9 e 132,2 Ma, tendo como idade mais provável 126,5±1,3 Ma (Fig. H).

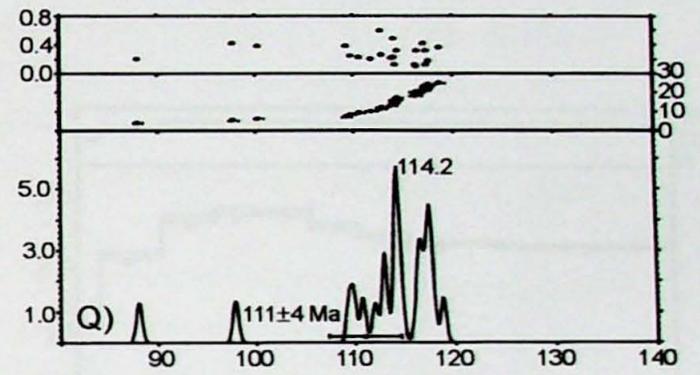
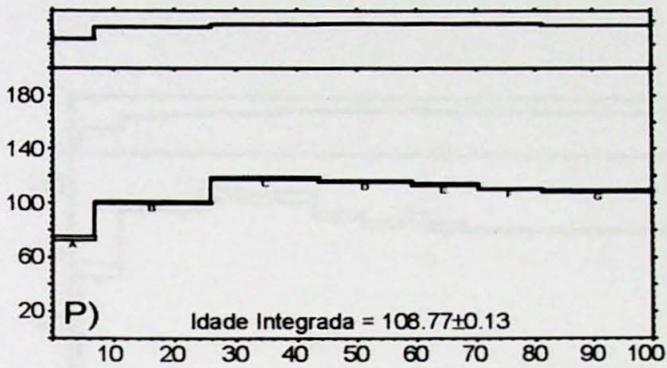
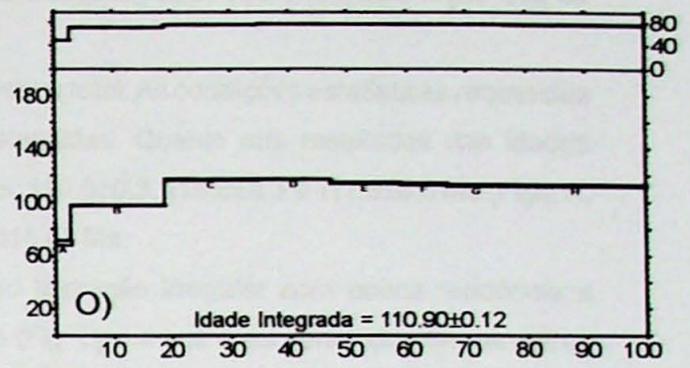
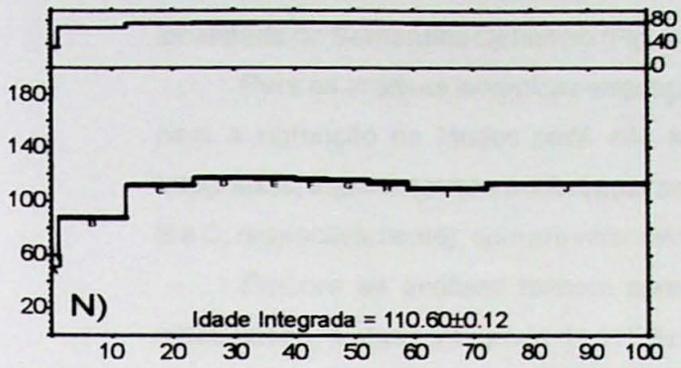
A terceira amostra situa-se a 2 km do Cerro Verde na direção oeste e corresponde, assim como a anterior, a um gabro alcalino; contudo, para essa ocorrência o material selecionado foi rocha total. Na análise individual dos três grãos, somente um forneceu idade platô que resultou em uma idade de 111,29±0,15 Ma (Fig. L). Para as idades integradas foram obtidos os seguintes valores: 106,74±0,14, 104,99±0,13 e 106,44±0,13 Ma (Figs. I, J, e L, respectivamente), com uma média aritmética de 106,05 Ma, que é um valor bem inferior ao da idade platô e daquela mostrada no ideograma de densidade de frequência (realizado somente com os *steps* de platôs e pseudo-platôs), que é de 112,1±0,8 Ma (Fig. M).

A última amostra corresponde a um leucita basalto, sendo encontrada no flanco oeste do Cerro Corá na forma de pequeno dique. Da mesma forma que na ocorrência anterior, o material analisado foi rocha total. Na análise individual dos grãos não foi possível definir-se uma idade platô, contudo, as idades integradas produziram idades sem muita variação, com os seguintes valores: 110,6±0,12, 110,9±0,12 e 108,77±0,13 Ma (Figs. N, O e P, respectivamente). No ideograma de densidade de frequência, apesar da grande variação no espectro, tem-se como idade mais provável 111±4 Ma (Fig. Q), valor este bem próximo à média das idades integradas, que é de 110,06 Ma.

Foram identificados dois períodos de atividade magmática, assim que para a segunda amostra (Figs. E, F, G e H) a idade platô de  $126,0 \pm 0,4$  Ma (Fig. E) é a mais correta tanto técnica quanto geologicamente, mostrando-se coerente com o restante das análises realizadas.

No tocante ao segundo grupo de amostra, de idade mais jovem, os valores mais coerentes, embora um pouco dispersos entre si, são: para a primeira amostra (Figs. A, B, C e D),  $114,7 \pm 0,3$  Ma (Fig. B), para a terceira (Figs. I, J, L e M),  $111,29 \pm 0,15$  Ma (Fig. L), e para a quarta,  $110,9 \pm 0,12$  Ma (Fig. O).



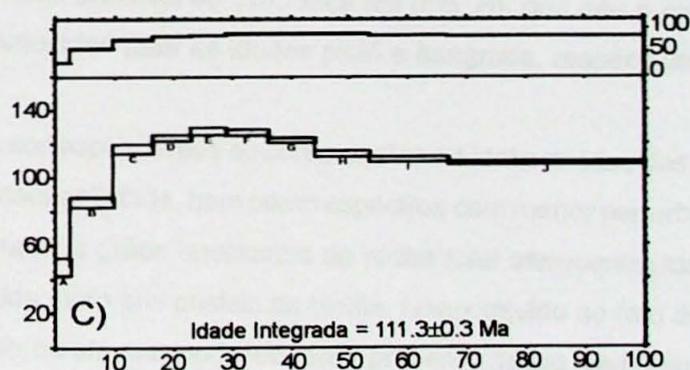
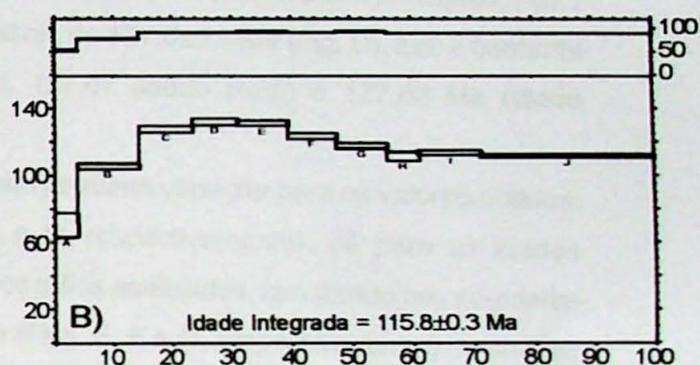
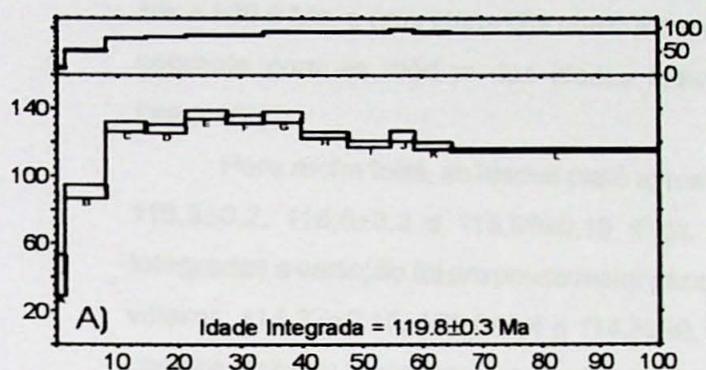


### 13. Potrero Guayacby

A ocorrência de basalto alcalino de Potrero Guayacby situa-se a 3 km, na direção SW, da localidade de Bernardino Caballero (Fig. 5-14).

Para as análises isotópicas empregou-se rocha total. As condições estatísticas requeridas para a obtenção de idades platô não foram atendidas. Quanto aos resultados das idades integradas, estes mostraram diferenças sensíveis:  $119,8 \pm 0,3$ ,  $115,8 \pm 0,3$  e  $111,3 \pm 0,3$  Ma (Figs. A, B e C, respectivamente), com um valor médio de 115,63 Ma.

Embora as análises tenham apresentado liberação irregular com pouca tendência a estabilidade, a idade integrada de  $115,8 \pm 0,3$  Ma (Fig. B) é a que mais concorda com os outros resultados obtidos.



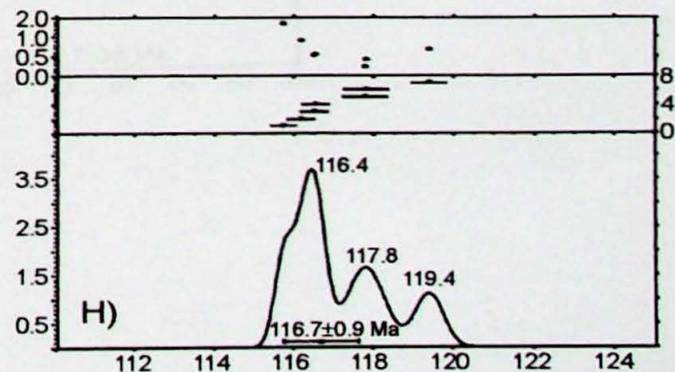
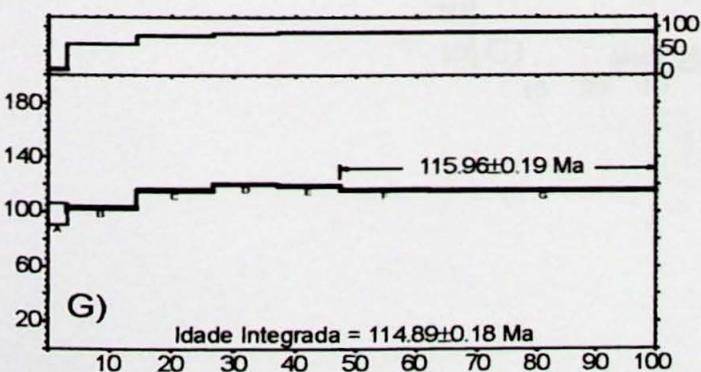
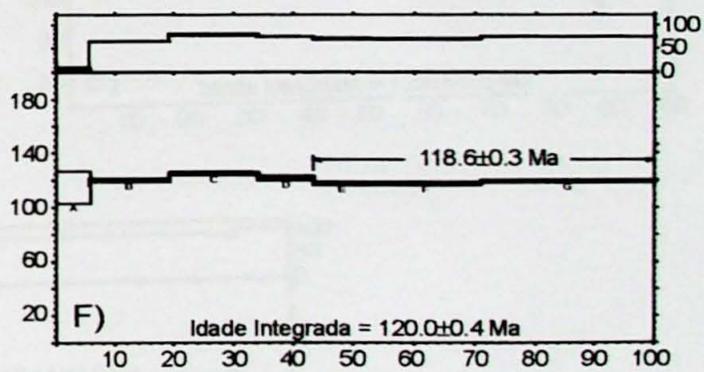
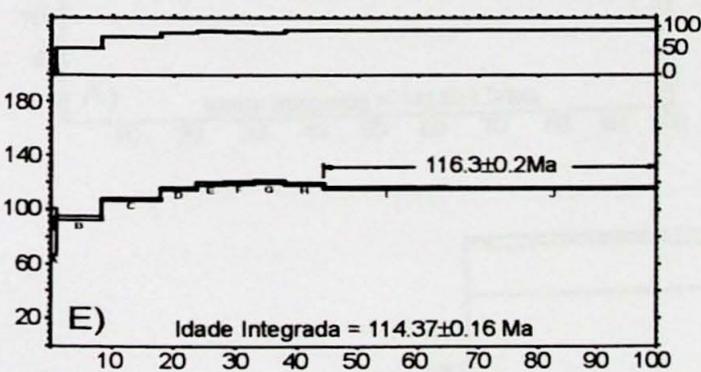
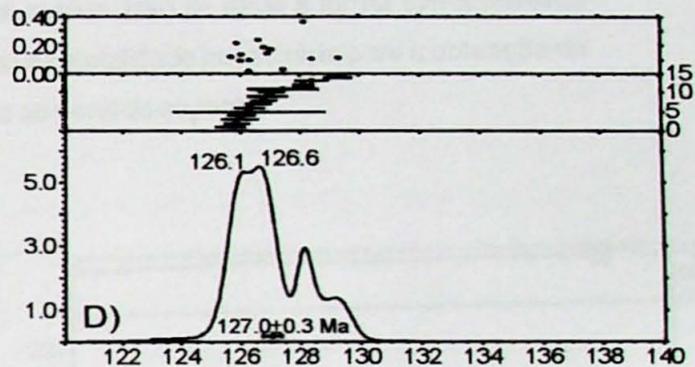
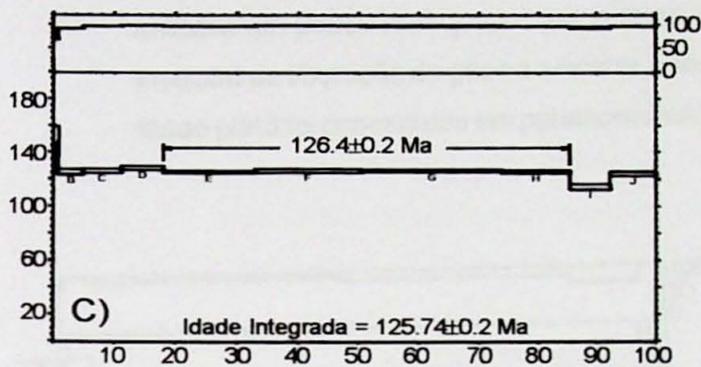
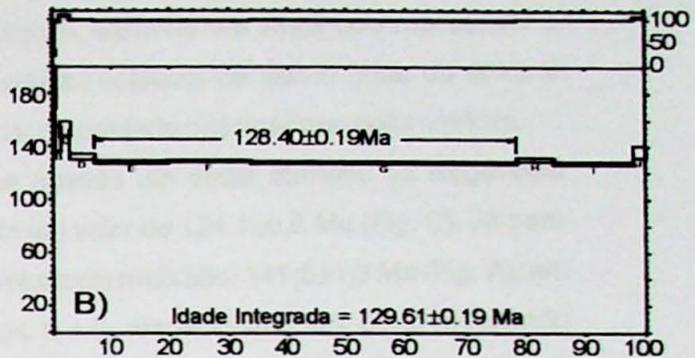
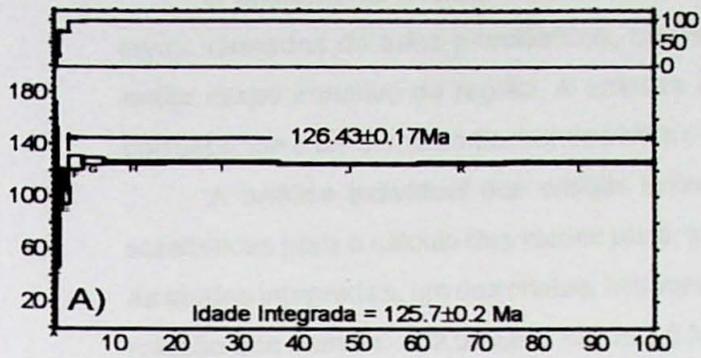
#### 14. Cerro Fidel

O Cerro Fidel encontra-se a 3 km, na direção SW, da localidade de Bernardino Caballero (Fig. 5-15) e possui diâmetro de aproximadamente 0,5 km e altitudes que chegam a 270 m. Trata-se de traquifonólitos ocorrendo na forma de *plug*, dos quais foram analisados radiometricamente cristais de biotita e rocha total.

Na avaliação individual dos cristais de biotita obteve-se idades platô para os três casos, e com valores bastante coerentes:  $126,43 \pm 0,17$ ,  $128,40 \pm 0,19$  e  $126,4 \pm 0,2$  Ma (Figs. A, B e C, respectivamente). Já para as idades integradas houve variação maior, com um dos cristais dando um valor mais alto:  $125,7 \pm 0,2$ ,  $129,61 \pm 0,19$  e  $125,74 \pm 0,20$  Ma (Figs. A, B e C, respectivamente). A análise integrada dos três cristais em um ideograma de densidade de frequência (realizado somente nos *steps* utilizados para a obtenção das idades platô indicou dois picos principais, 126,1 Ma e 126,6 Ma, e uma idade tida como a mais provável, de  $127,0 \pm 0,3$  Ma (Fig. D), que é bastante coerente com as médias das idades individuais, 127,07 (idade platô) e 127,02 Ma (idade integrada).

Para rocha total, as idades platô apresentaram pequena variação para os valores obtidos:  $116,3 \pm 0,2$ ,  $118,6 \pm 0,3$  e  $115,96 \pm 0,19$  Ma (Figs. A, B e C, respectivamente). Já para as idades integradas a variação foi um pouco maior para um dos grãos analisados, resultando nos seguintes valores:  $114,37 \pm 0,16$ ,  $120,0 \pm 0,4$  e  $114,89 \pm 0,18$  Ma (Figs. E, F e G, respectivamente). A análise conjunta feita no ideograma de densidade de probabilidade (feito somente com os *steps* utilizados na geração das idades platô) apresentou três picos principais em 116,4, 117,8 e 119,4 Ma e uma idade como sendo a mais provável de  $116,7 \pm 0,9$  Ma (Fig. H), que não é muito discrepante das médias aritméticas fornecidas para as idades platô e integrada, respectivamente, 116,95 Ma e 116,42 Ma.

Para as rochas correspondentes ao corpo de Cerro Fidel a análise dos cristais de biotita foi a que ofereceu maior confiabilidade, bem como espectros com menor perturbação em relação às amostras de rocha total. Os grãos analisados de rocha total ofereceram idade mais recente e muito diferente da obtida junto aos cristais de biotita, talvez devido ao fato de analisar-se grãos menos ricos em argônio, ou até mesmo fases sem a presença desse elemento. Em função disso a idade considerada para o corpo é a do platô de  $126,43 \pm 0,17$  Ma (Fig. A), gerada a partir de número bastante razoável de *steps*, além de bastante coerente com o restante dos corpos.

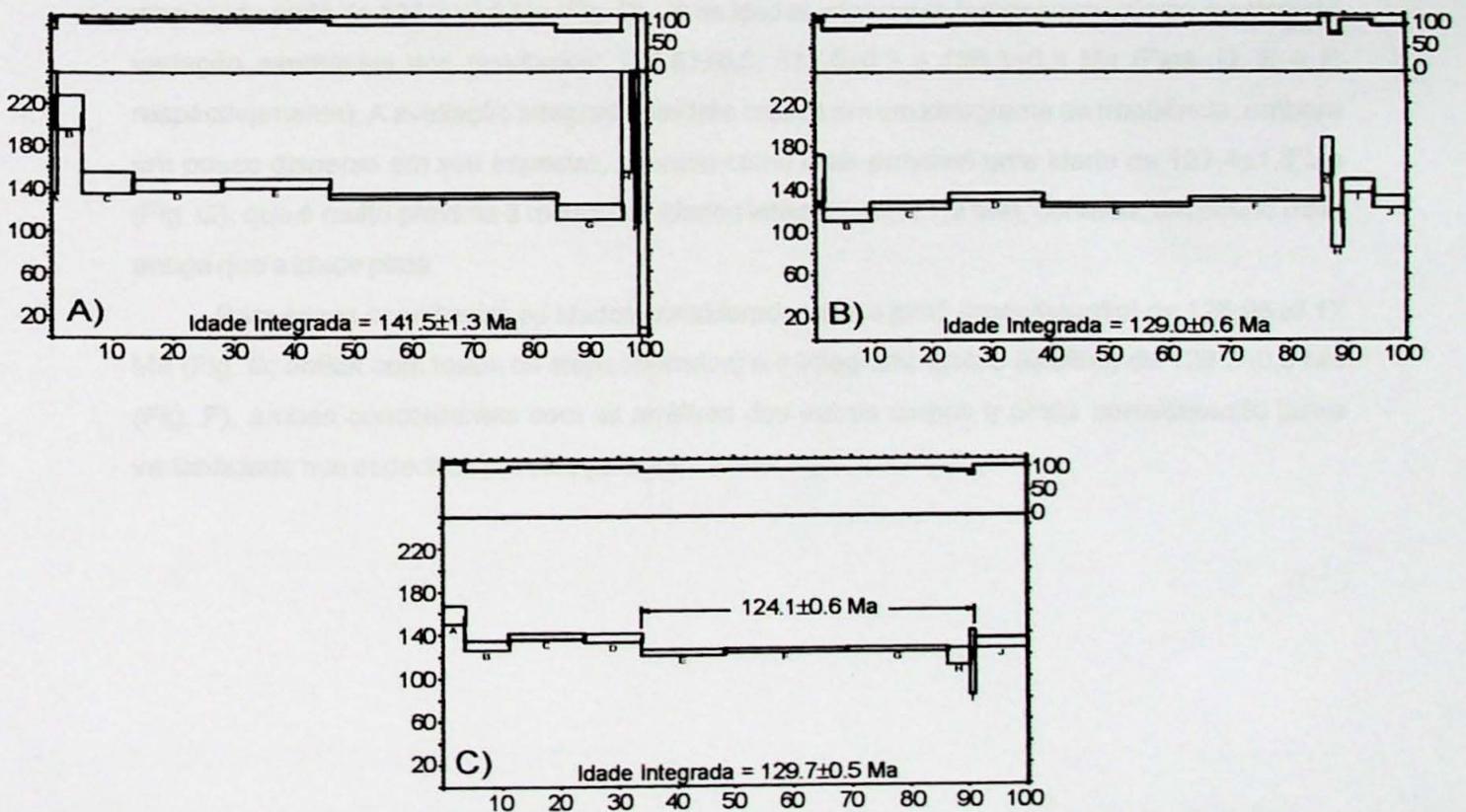


## 15. Potrero Ybaté

O afloramento localiza-se a 13 km ao sul do lugarejo de Sapucaí (Fig. 5-16). Aí ocorrem lavas, camadas de tufos piroclásticos, brechas e diques, além de um *stock* que representa o maior corpo intrusivo da região. A amostra analisada foi coletada no flanco norte do *stock* e corresponde a um sienodiorito, sendo biotita o material empregado nas análises radiométricas.

A análise individual dos cristais indicou que apenas um deles atendeu as exigências estatísticas para o cálculo das idades platô, gerando um valor de  $124,1 \pm 0,6$  Ma (Fig. C). Já para as idades integradas, um dos cristais forneceu um valor bem mais alto,  $141,5 \pm 1,3$  Ma (Fig. A), em relação aos demais,  $129,0 \pm 0,6$  e  $129,7 \pm 0,5$  Ma (Figs. B e C, respectivamente), disso resultando uma média aritmética de  $133,43$  Ma, bastante diferente da idade platô.

Para essa amostra de sienodiorito a idade platô de  $124,1 \pm 0,6$  Ma é a mais indicada, muito embora um pouco mais jovem que o restante dos corpos. Isso se deve à forma extremamente irregular de liberação de gás na amostra, sendo que a estabilidade necessária para a obtenção da idade platô foi conseguida em patamares inferiores ao geral do espectro.



## 16. Cerro Acahay

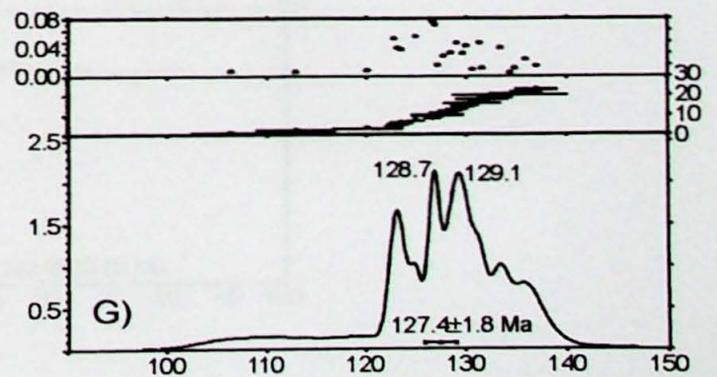
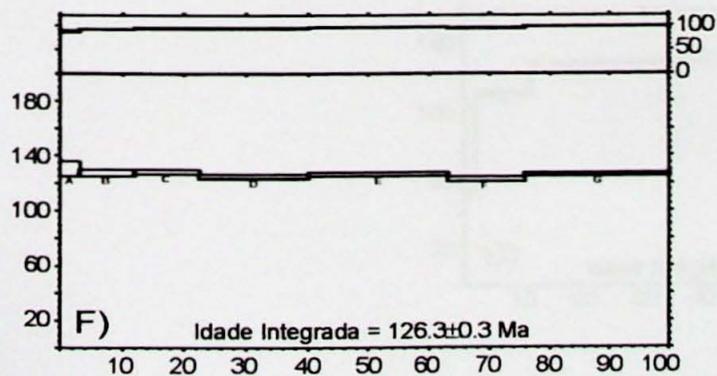
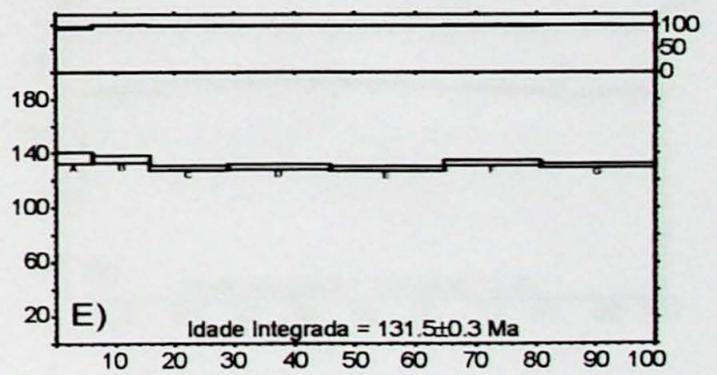
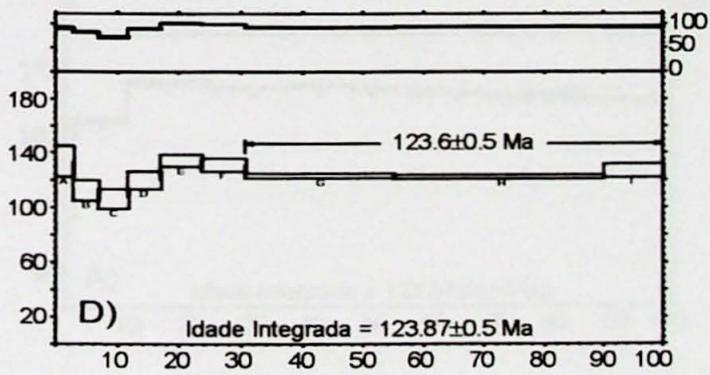
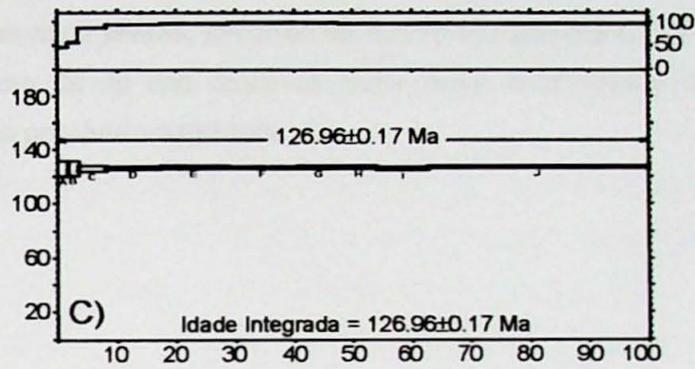
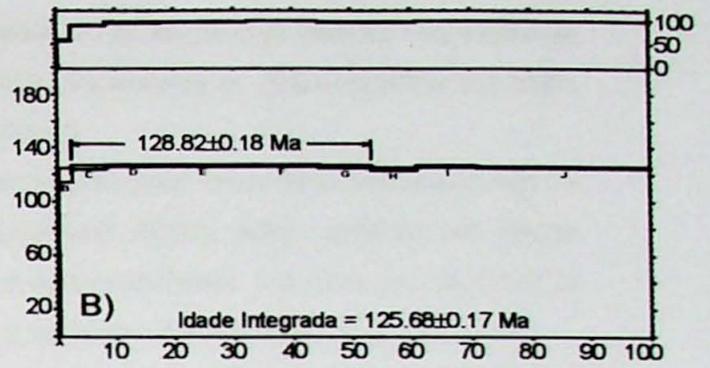
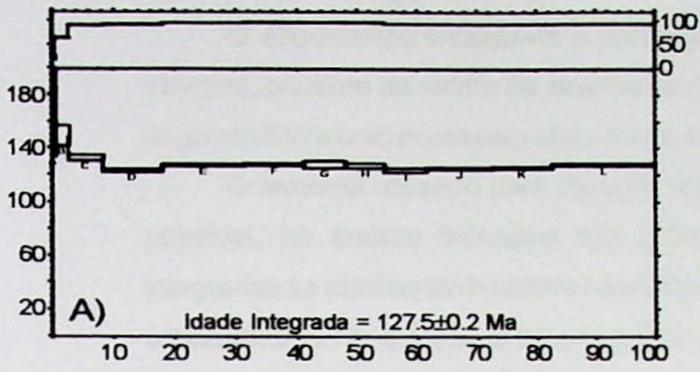
O maciço circular de Acahay, situado cerca de 4 km a NW da cidade homônima (Fig. 5-20), cobre área de 17 km<sup>2</sup> e seu ponto mais alto, junto à borda, atinge 572 m. A sua porção central apresenta feições de subsidência de caldeira. O maciço apresenta grande variedade litológica: um anel externo constituído por essexitos e sienodioritos e a parte central composta por teralitos, gabros essexíticos, gabros alcalinos, além de traquibasaltos e traquitos.

Para essa ocorrência foram coletadas duas amostras, com uma correspondendo a um traquibasilto e utilizando rocha total para as análises; e a outra sendo de gabro alcalino, com biotita como material empregado.

Para o traquibasilto, a avaliação individual dos três grãos analisados mostrou que em dois deles tomou-se possível a obtenção de patamares que atendessem às exigências estatísticas para as idades platô, estas fornecendo os valores de  $128,62 \pm 0,18$  Ma e  $126,96 \pm 0,17$  Ma (Figs. B e C, respectivamente). Para as idades integradas produzidas individualmente a variação foi muito pequena:  $127,5 \pm 0,2$ ,  $125,68 \pm 0,17$  e  $126,96 \pm 0,17$  Ma (Figs. A, B e C, respectivamente), com um valor médio de 126,71 Ma aproximando-se das idades platô.

Para a ocorrência de gabro alcalino, a avaliação individual dos cristais indicou para um deles uma idade platô de  $123,6 \pm 0,5$  Ma (Fig. D). Já as idades integradas forneceram valores mostrando variação expressiva nos resultados:  $123,87 \pm 0,5$ ,  $131,5 \pm 0,3$  e  $126,3 \pm 0,3$  Ma (Figs. D, E e F, respectivamente). A avaliação integrada dos três cristais em um ideograma de frequência, embora um pouco disperso em seu espectro, apontou como mais provável uma idade de  $127,4 \pm 1,6$  Ma (Fig. G), que é muito próxima à média das idades integradas (127,2 Ma), contudo, um pouco mais antiga que a idade platô.

Para essas ocorrências as idades consideradas são a platô (traquibasilto) de  $126,96 \pm 0,17$  Ma (Fig. C; obtida com todos os *steps* liberados) e a integrada (gastro alcalino) de  $126,3 \pm 0,3$  Ma (Fig. F), ambas concordantes com as análises dos outros corpos e ainda apresentando baixa variabilidade nos espectros por elas gerados.

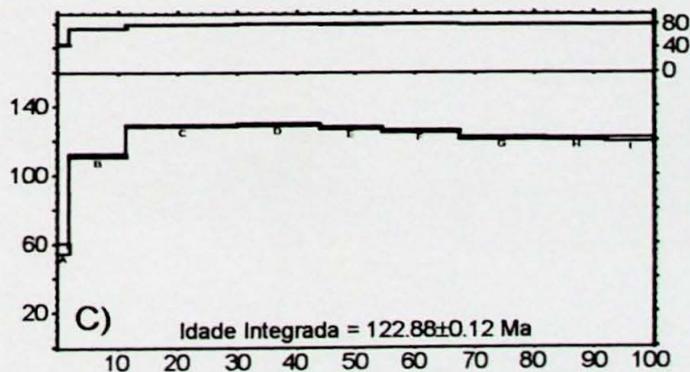
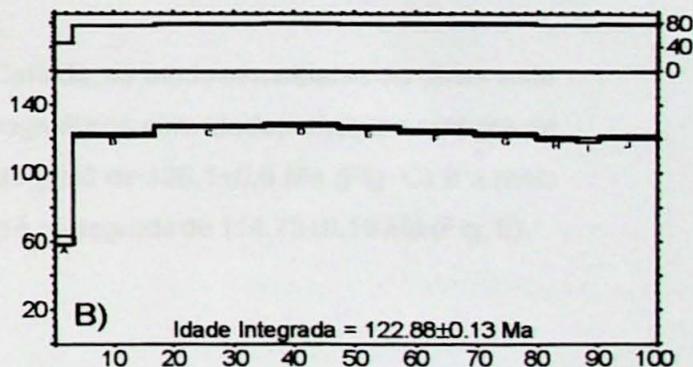
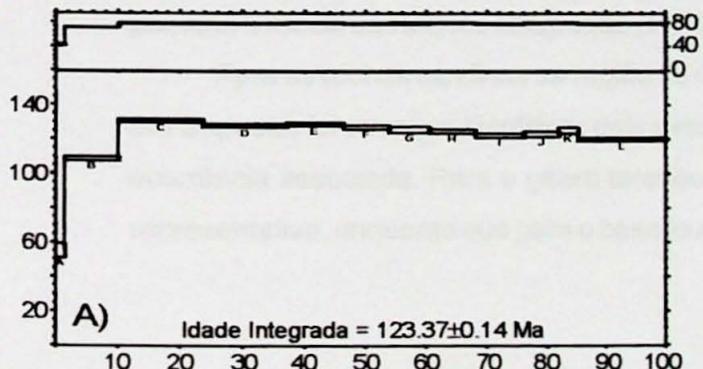


## 17. Serrania de Ybytymí

O afloramento localiza-se a aproximadamente 5 km, na direção SW, da localidade de Ybytymí, próximo ao centro da cordilheira (Fig. 5-22). Trata-se de um dique de tefrito orientado segundo EWe com espessura não ultrapassando 80 cm.

O material utilizado para datação foi também rocha total. Para essa ocorrência não foi possível, na análise individual dos grãos, estabelecer idades platô, contudo, as idades integradas se mostraram bastante coerentes e com valores próximos:  $123,37 \pm 0,14$ ,  $122,88 \pm 0,13$  e  $122,88 \pm 0,12$  Ma (Figs. A, B e C, respectivamente), com uma média aritmética de 123,01 Ma.

A análise dessa rocha não permitiu que se chegasse a uma idade coerente tanto técnica quanto geológica com o restante das amostras. Isso é provavelmente devido a liberação bastante irregular de Ar e atingindo principalmente fases pobres nesse elemento, o que levou à obtenção de idades mais jovens, carentes de significado geológico. Além disso, a ausência, seguida de excesso de Ar nos steps de mais baixa temperatura, dificultou alcançar-se posteriormente uma possível estabilidade.



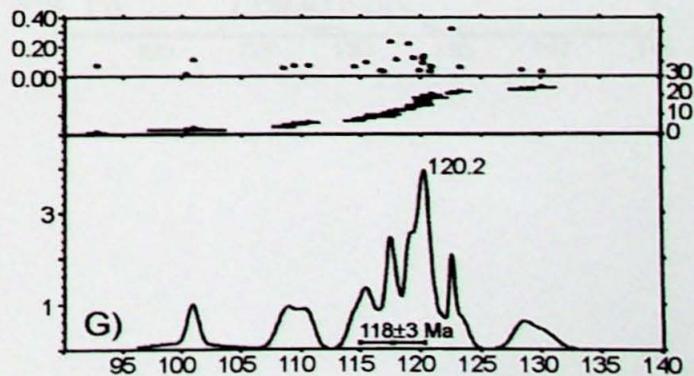
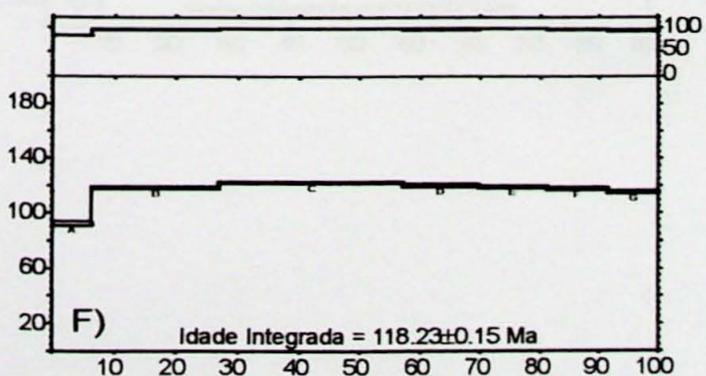
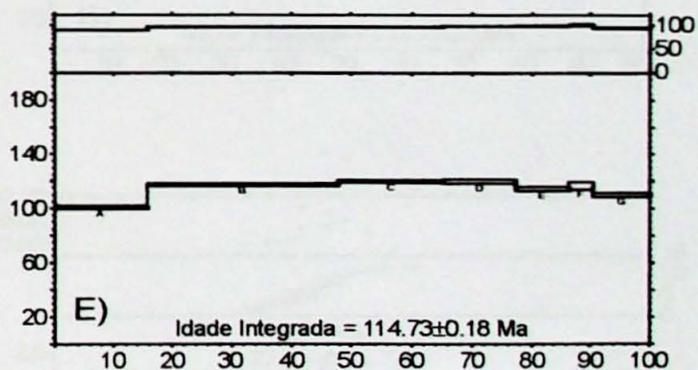
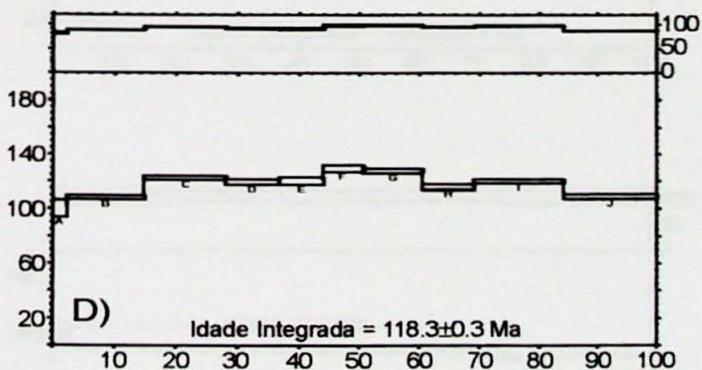
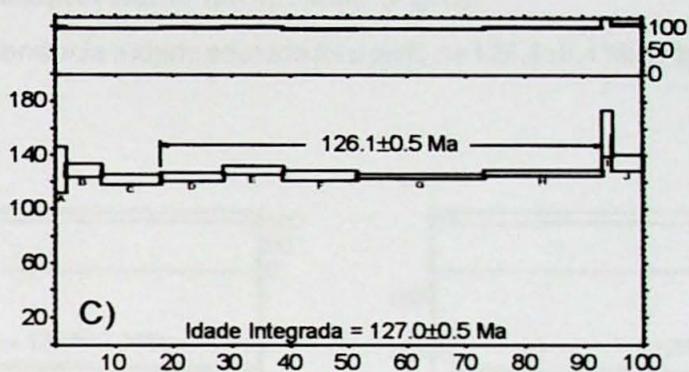
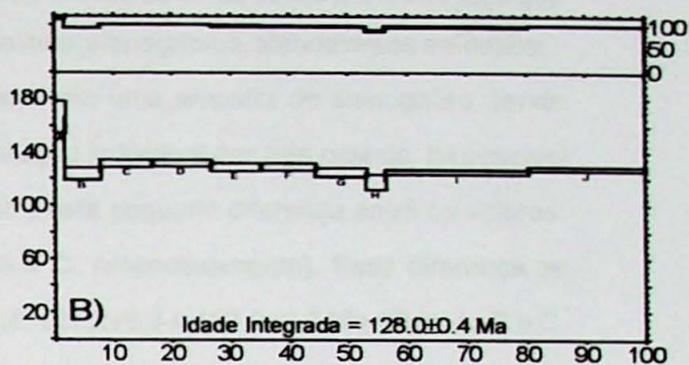
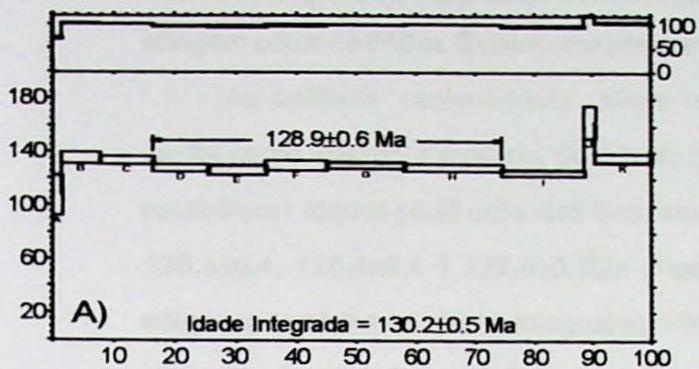
## 18. Cerro Cañada

O corpo aflora a 4 km, na direção NW, da localidade de Ybytymí (Fig 5-23). Representa um *stock* formado por gabros alcalinos, nefelina sienitos e cumulos ijolíticos, ocupando área aproximada de 0,6 km<sup>2</sup>. Ali também ocorrem lavas associadas de basalto alcalino. Foram coletadas e analisadas duas amostras no flanco oeste do morro: uma de basalto alcalino e a outra de gabro alcalino.

Para as análises radiométricas do gabro alcalino, o material escolhido foi biotita. Na avaliação individual dos cristais foi possível o estabelecimento de idades platô em dois deles, que forneceram os seguintes valores: 128,9±0,6 e 126,1±0,5 Ma (Figs. A e C, respectivamente). Já as idades integradas mostraram pequena discrepância entre os valores, resultando nas seguintes idades: 130,2±0,5, 128,0±0,4 e 127,0±0,5 Ma (Figs. A, B e C, respectivamente) para uma média aritmética de 128,4 Ma, que é bastante próxima à média das idades platô (127,5 Ma).

Para a amostra de basalto alcalino, o material empregado foi rocha total. Nas análises individuais não foi possível estabelecer idades platô para quaisquer dos grãos. Já nas idades integradas um dos grãos ofereceu valor inferior aos dos outros: 118,3±0,3, 114,73±0,18 e 118,23±0,15 Ma (Figs. D, E e F, respectivamente). A avaliação conjunta dos grãos em um ideograma de densidade de frequência apresentou espectro disperso, com um pico principal em torno de 120,2 Ma, e como idade com maior probabilidade 118±3 Ma (Fig. G), que é muito próxima à média das idades integradas (117,08 Ma).

Para as rochas alcalinas da região de Cerro Cañada, de modo semelhante ao observado em Sapucaí, foi possível identificar dois eventos magmáticos com idades distintas embora de ocorrência associada. Para o gabro alcalino a idade platô de 126,1±0,5 Ma (Fig. C) é a mais representativa, enquanto que para o basalto alcalino é a integrada de 114,73±0,18 Ma (Fig. E).

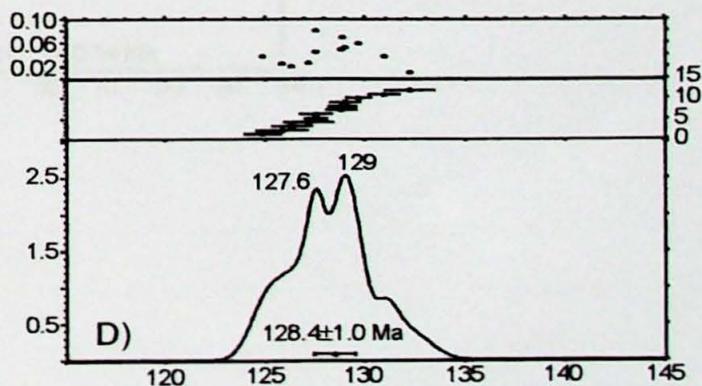
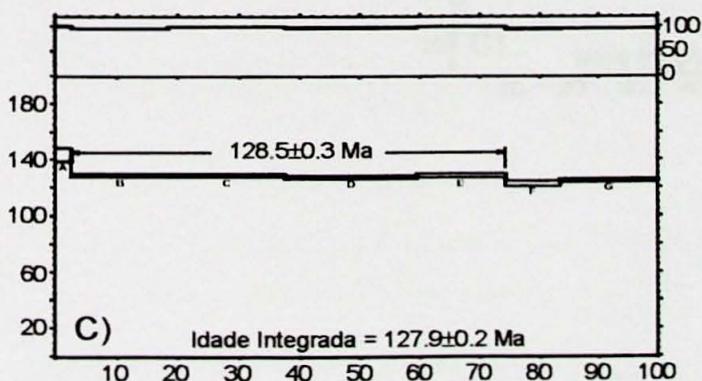
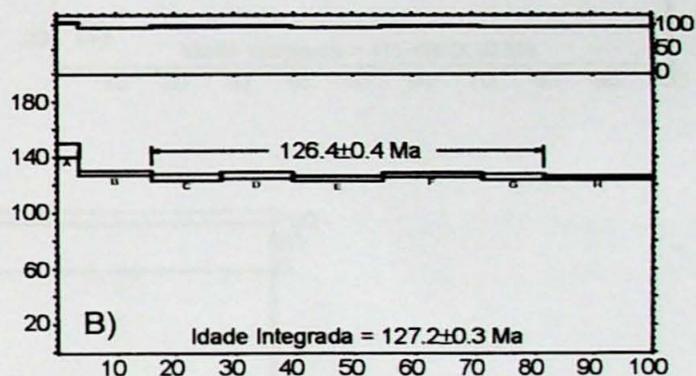
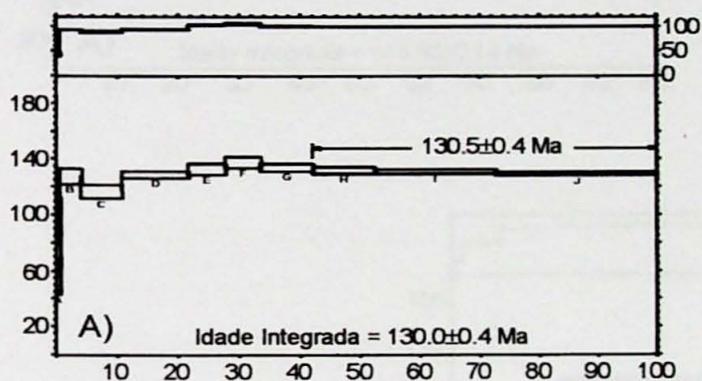


## 19. Cerro San José

O Cerro San José localiza-se a aproximadamente 15 km na direção SW da cidade de La Colmena (Fig. 5-21). Trata-se de um *stock* circular com área de cerca de 0,8 km<sup>2</sup> e altitudes que atingem cotas de 550 m. É composto por gabro alcalinos, sienogabros, sienodioritos e sienitos.

As análises radiométricas foram realizadas em uma amostra de sienogabro, tendo biotita como material escolhido. Com base na avaliação individual dos três cristais, foi possível estabelecer idades platô em todos eles, ainda que exista pequena diferença entre os valores: 130,5±0,4, 126,4±0,4 e 128,5±0,3 Ma (Figs. A, B e C, respectivamente). Essa diferença se estendeu também às idades integradas: 130,0±0,4, 127,2±0,3 e 127,9±0,2 Ma (Figs. A, B e C, respectivamente). A avaliação conjunta dos grãos em um ideograma de frequência (feito somente com os *steps* das idades platô) indicou dois picos principais, 127,6 Ma e 129 Ma, e uma idade tida como a mais provável de 128,4±1,0 Ma (Fig. D).

Para essa ocorrência a idade adotada foi a platô de 126,4±0,4 Ma (Fig. B).

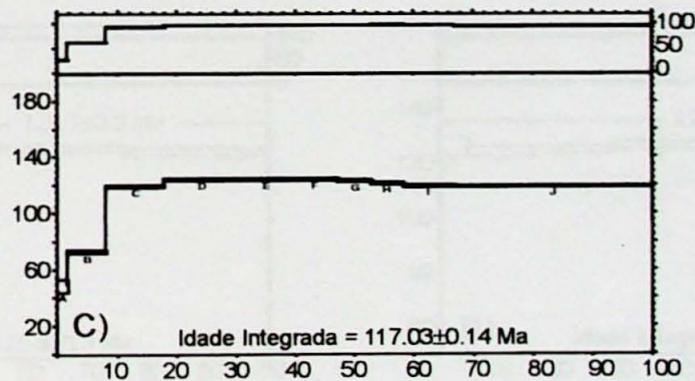
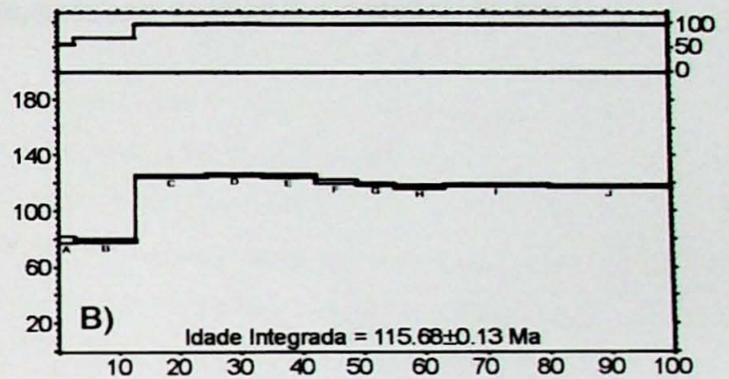
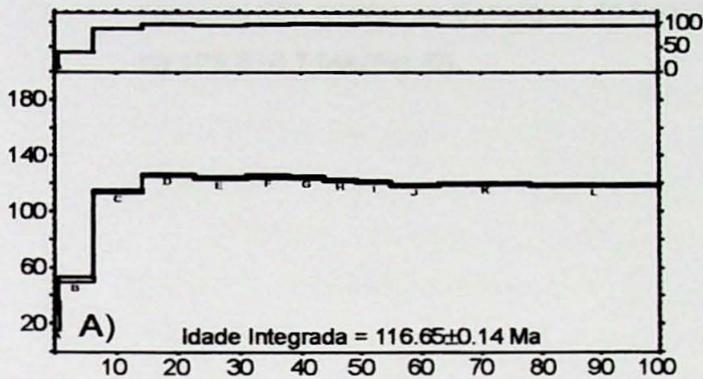


## 20. Cerro Itapé

Este dique de tefrito aflora a aproximadamente 5 km a SE da vila de Itapé (Fig. 5-24).

A datação individual dos grãos feita em rocha total não possibilitou a obtenção de idades platô, mas, em contrapartida, os resultados oferecidos pelas idades integradas se mostraram bastante coerentes:  $116,65 \pm 0,14$ ,  $115,68 \pm 0,13$  e  $117,03 \pm 0,14$  Ma (Figs. A, B e C, respectivamente), com uma média representativa de 116,45 Ma.

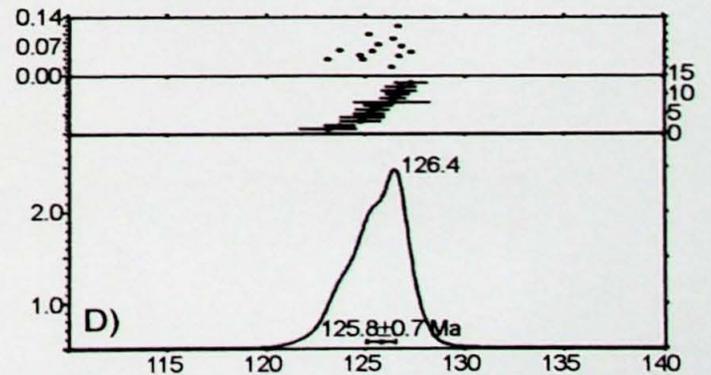
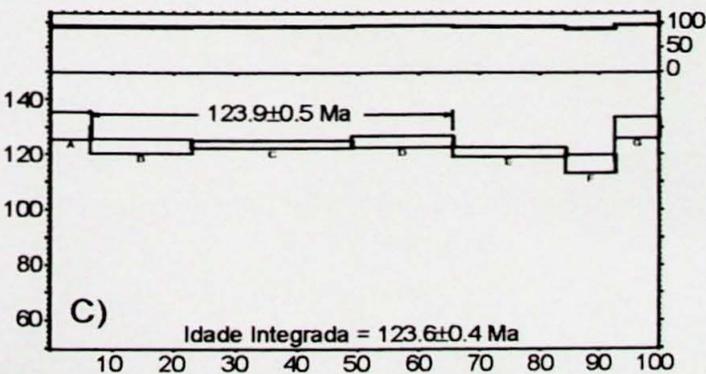
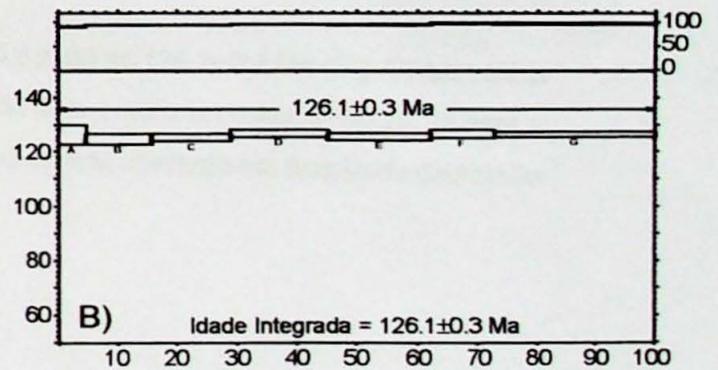
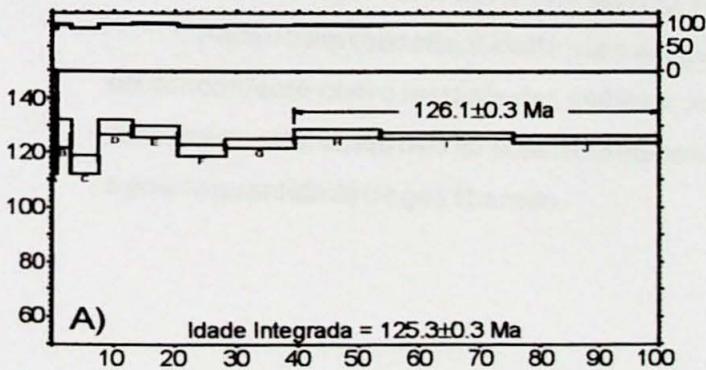
A idade mais adequada para esse dique seria a de  $115,68 \pm 0,13$  Ma (Fig. B) já que apresenta o espectro com menor variação.



## 21. Aguapety Portón

O *stock* aflora cerca de 20 km ao norte da cidade de Villarrica (Fig. 5-25) e ocupa área aproximada de 0,2 km<sup>2</sup>. O corpo tem como principais litotipos teralitos, nefelinas sienitos e sobretudo gabros essexíticos e essexitos. A amostra coletada para as análises corresponde a um essexito, sendo biotita o material utilizado.

As idades platô obtidas apresentaram pequena variação entre os valores, 126,10,3, 126,1±0,3 e 123,9±0,5 Ma (Figs. A, B e C, respectivamente). Da mesma forma, as idades integradas não forneceram resultados muito discrepantes, 125,3±0,3, 126,1±0,3 e 123,6±0,4 Ma (Figs. A, B e C). As médias aritméticas para as idades platô e integradas, respectivamente, de 125,37 Ma e 125 Ma, guardam concordância com a idade mais provável oferecida pela análise conjunta dos cristais no ideograma de freqüência (apenas para os *steps* das idades platô), que é de 125,8±0,7 Ma (Fig. D).



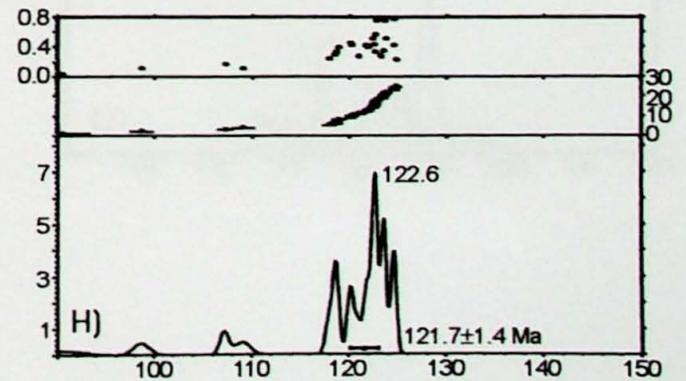
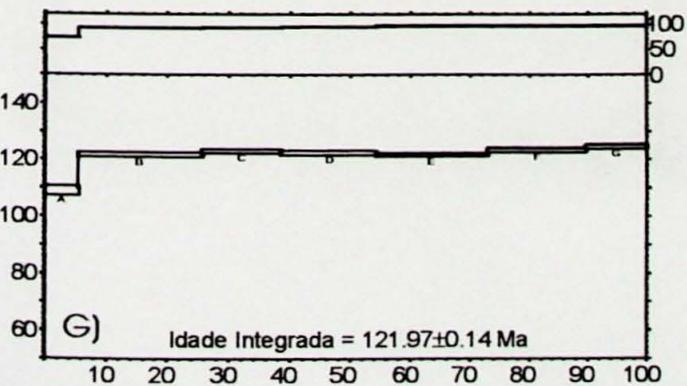
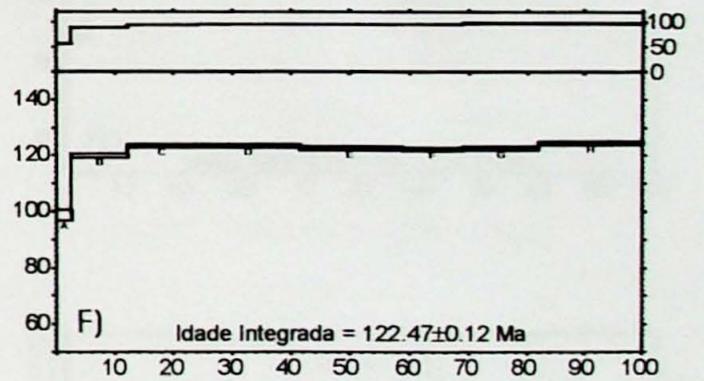
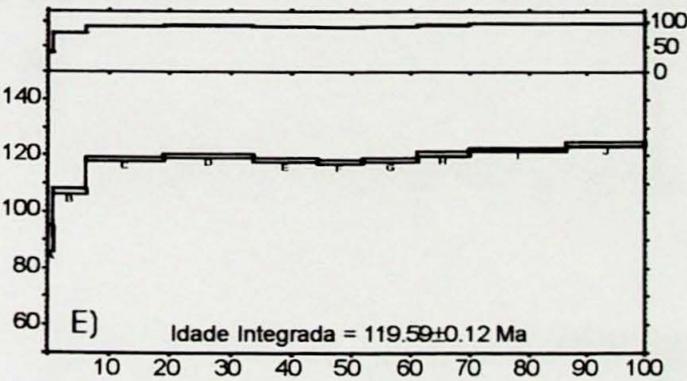
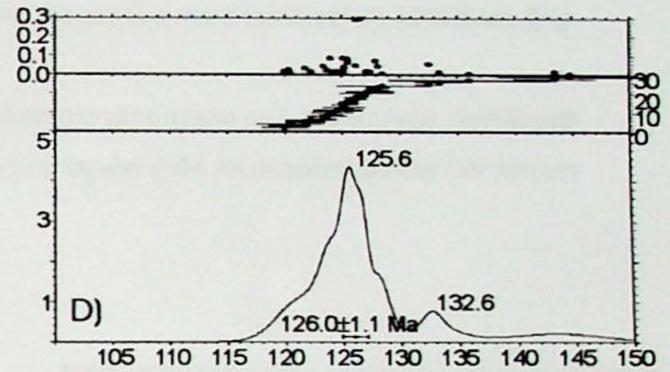
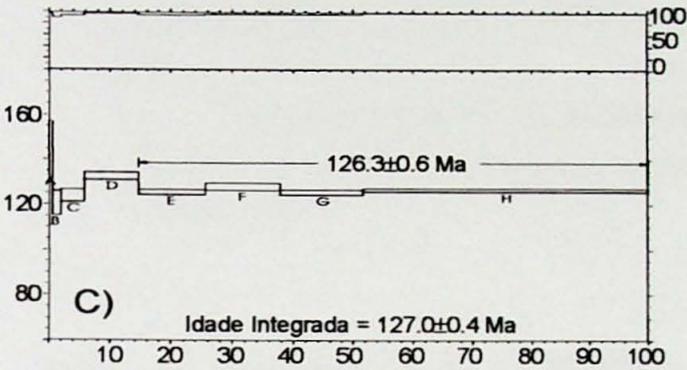
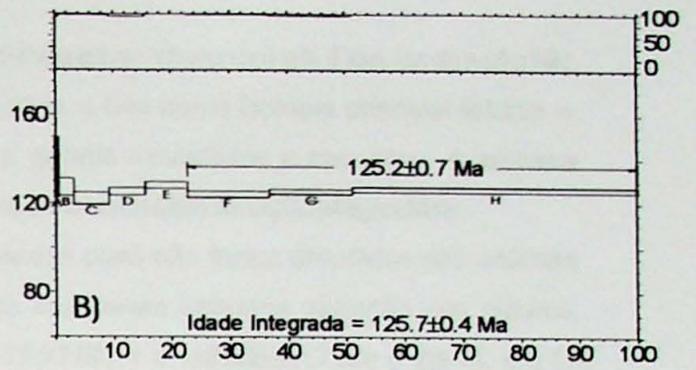
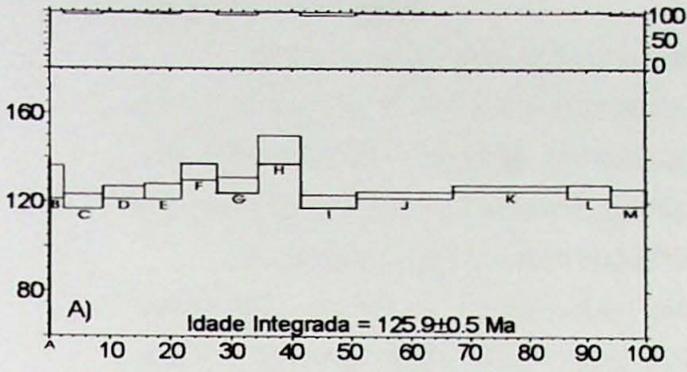
## 22. Mbocayaty

Nessa localidade aflora um *stock* shonkinítico circular com área aproximada de 1,5 km<sup>2</sup> (Fig. 5-26). No afloramento também ocorrem rochas extrusivas (traquibasaltos) que, por não estarem *in situ*, não foi possível estabelecer a sua geometria e relações estruturais com o material encaixante. Foram coletadas duas amostras, uma correspondente ao traquibasilto e a outra ao shonkinito.

Para o traquibasilto, as análises radiométricas foram efetuadas em cristais de biotita. A partir das análises individuais somente foi possível estabelecer-se idade platô para dois cristais, sendo, contudo, que os valores obtidos não apresentaram grandes diferenças: 125,2±0,7 Ma e 126,3±0,6 Ma (Figs. B e C, respectivamente). As idades integradas para os três cristais também resultaram em valores muito próximos: 125,9±0,5, 125,7±0,4 e 127,0±0,4 Ma (Figs. A, B e C, respectivamente). As médias aritméticas indicadas para as análises individuais, idades platô e integradas (respectivamente, 125,75 Ma e 126,2 Ma), se mostraram muito concordantes, com o valor do gráfico de densidade de probabilidade resultando em 126,0±1,1 Ma (Fig. D).

O material empregado para a datação da amostra de shonkinito foi rocha total. A partir da avaliação individual dos grãos não foi possível chegar-se a idades platô, ainda que as idades integradas tenham se mostrado uniformes: 119,59±0,12, 122,47±0,12 e 121,97±0,14 Ma (Figs. E, F e G, respectivamente), com uma média aritmética de 121,34 Ma. Esta é coerente com o resultado produzido no ideograma de frequência que, apesar da dispersão do espectro, tem como idade mais provável 121,7±1,4 Ma (Fig. H).

Para o traquibasilto, a idade mais adequada é a platô de 126,3±0,6 Ma (Fig. C) que, além de concordante com o restante das análises, foi obtida com a maioria do gás liberado. Já para a amostra de shonkinito não foi possível estabelecer uma idade coerente em função da dispersão e pouca quantidade de gás liberado.

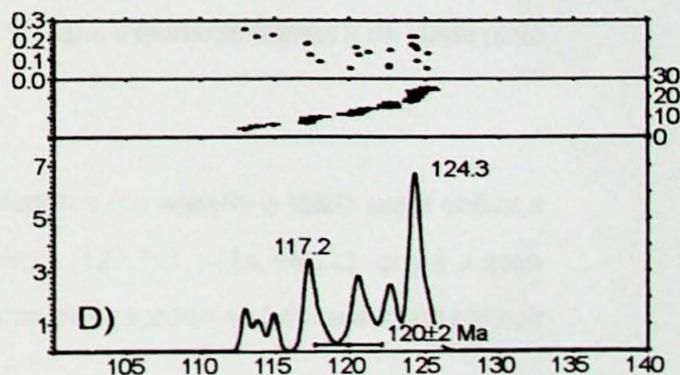
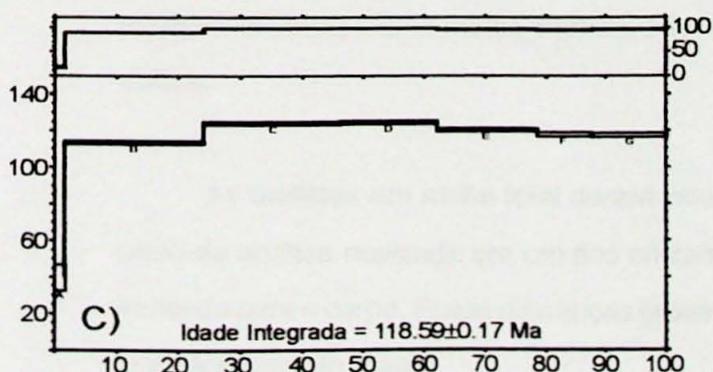
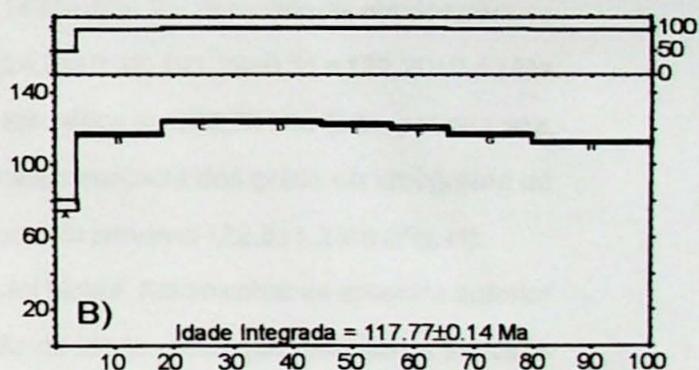
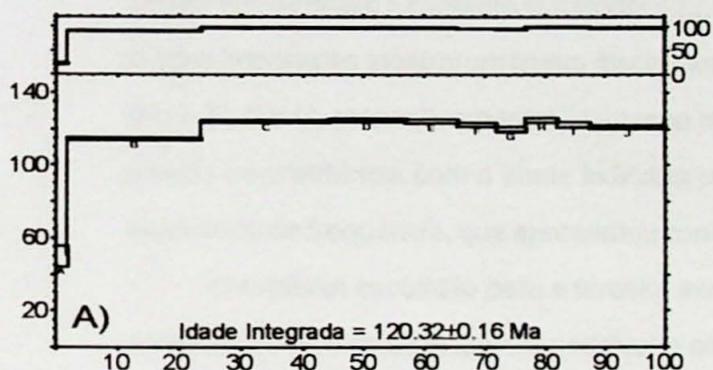


### 23. Cerro Santa Elena

O afloramento situa-se na porção SW da Cordilheira de Ybyturuzú a 6,5 km, na direção NE, da vila Ñumi (Fig. 5-28). Ele corresponde a um *stock* e tem como litologia principal tefritos e, subordinadamente, basanitos, basaltos alcalinos, gabros essexíticos e essexitos. A amostra escolhida para análise corresponde a um essexito e o material para datação plagioclásio.

Os requisitos para o estabelecimento de idades platô não foram atendidos nas análises individuais dos cristais. Já as idades integradas mostraram pequena variação nos valores, resultando nas seguintes idades:  $120,32 \pm 0,16$ ,  $117,77 \pm 0,14$  e  $118,59 \pm 0,17$  Ma (Figs. A, B e C, respectivamente), com uma média aritmética de 118,89 Ma. Este valor é próximo ao obtido a partir da análise conjunta dos cristais no ideograma de densidade de freqüência, exibindo dois picos principais, 117,2 Ma e 124,3 Ma, e uma idade tida como a mais provável de  $120 \pm 2$  Ma (Fig. D).

Para essa ocorrência não foi possível estabelecer uma idade que oferecesse significado geológico, tendo em vista a liberação extremamente irregular (não foi possível definir-se sequer idades platô).



#### 24. Cerro Km 23

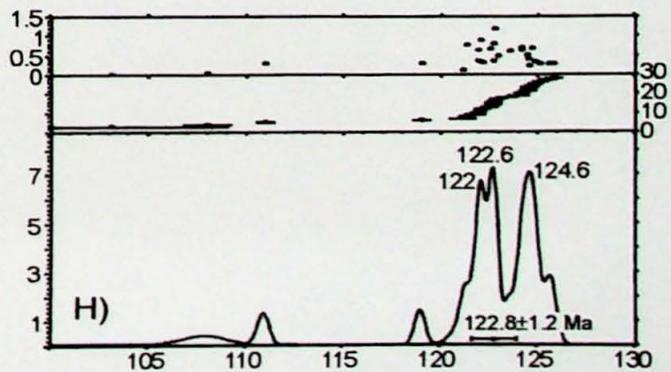
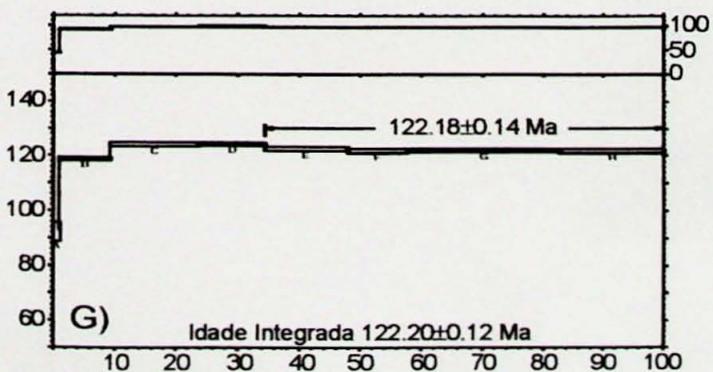
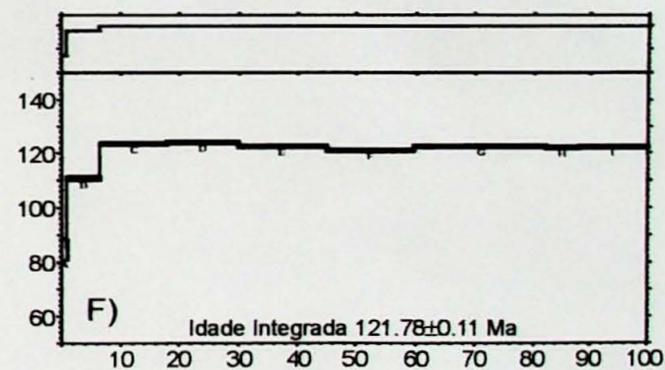
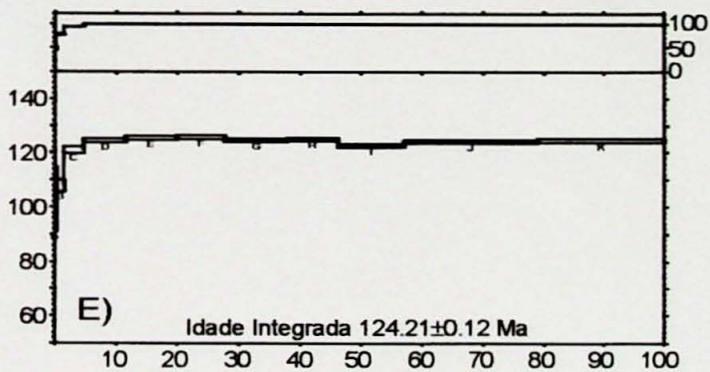
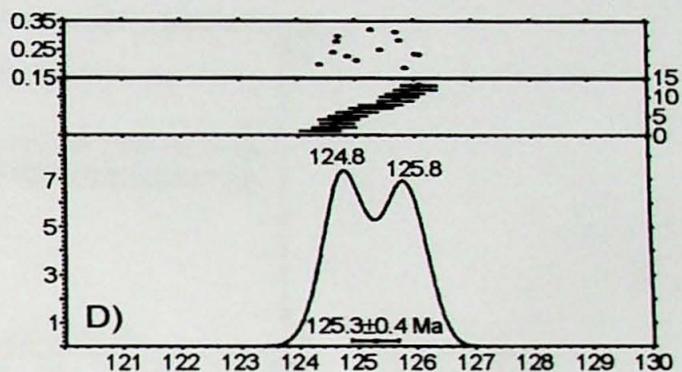
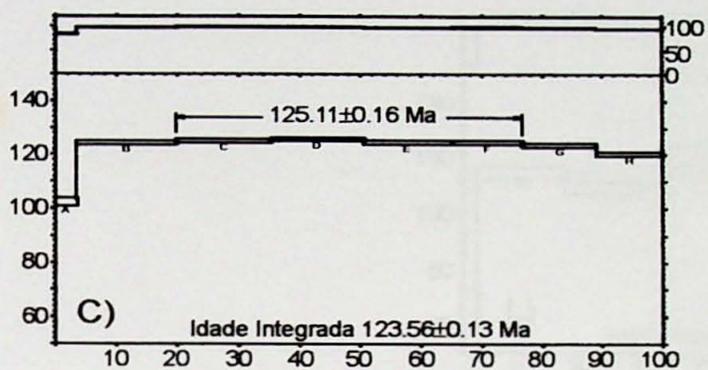
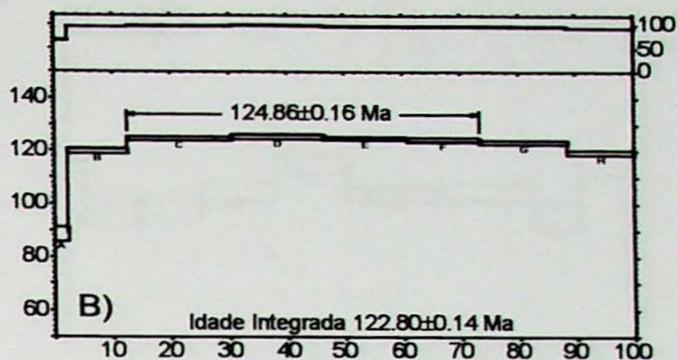
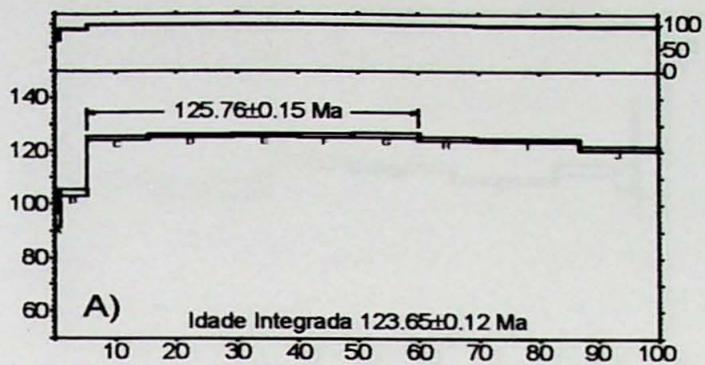
O afloramento está localizado a 1 km, na direção NE, do vilarejo Roque G. de Santa Cruz (Fig. 5-29). O maciço circular cobre área de aproximadamente 0.8 km<sup>2</sup> e tem como litotipos gabros essexíticos a essexitos. Foram coletadas três amostras de gabro essexítico, duas no flanco SWe e uma no S.

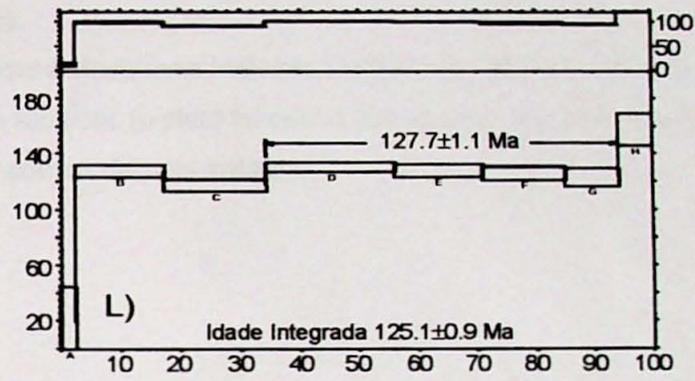
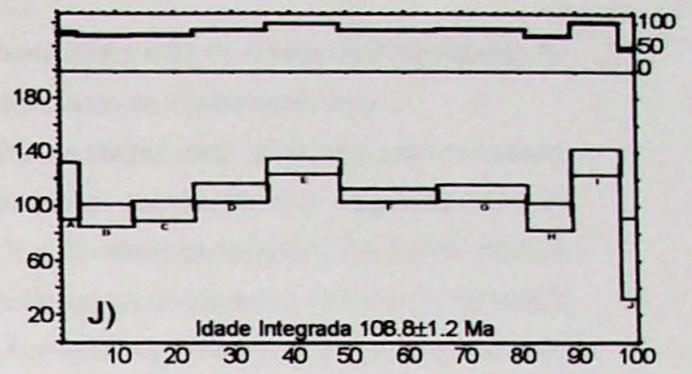
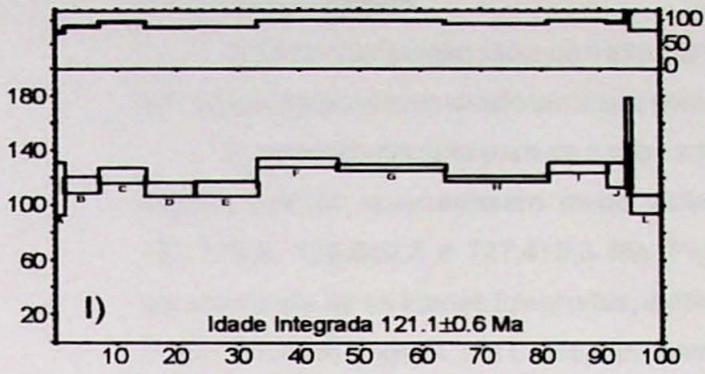
O material escolhido para a análise radiométrica da primeira amostra foi rocha total. As idades platô obtidas ofereceram resultados muito próximos: 125,76±0,15, 124,86±0,16 e 125,11±0,16 Ma (Figs. A, B e C, respectivamente). O mesmo se deu com as idades integradas: 123,65±0,12, 122,80±0,14 e 123,56±0,13 Ma (Figs. A, B e C, respectivamente). A avaliação conjunta dos cristais no ideograma de densidade de frequência (realizado apenas com os *steps* contidos nas idades platô) mostrou dois picos principais, um de 124,8 Ma e outro de 125,8 Ma, e uma idade como sendo a mais provável de 125,3±0,4 Ma (Fig. D), que é coerente com a média da idade platô (125,24 Ma) e um pouco superior à média da integrada (123,33 Ma).

Para a segunda amostra, empregou-se também rocha total, contudo, na análise individual dos grãos somente em um deles os requisitos exigidos para a idade platô foram atendidos, gerando o seguinte resultado: 122,18±0,14 Ma (Fig. G). Já os valores obtidos para as idades integradas mostraram ligeira discrepância: 124,21±0,12, 121,78±0,11 e 122,20±0,12 Ma (Figs. E, F e G, respectivamente), com uma média aritmética de 122,73 Ma. Esta, por sua vez, guarda concordância com a idade indicada pela análise conjunta dos grãos no ideograma de densidade de frequência, que apresentou como valor mais provável 122,8±1,2 Ma (Fig. H).

O material escolhido para a terceira amostra foi biotita. Assim como na amostra anterior somente em um dos cristais foi possível a obtenção de idade platô, que forneceu a seguinte idade para o corpo: 127,7±1,1 Ma (Fig. L). Já as idades integradas ofereceram uma variação mais marcante entre os valores: 121,1±0,6, 108,8±1,2 e 125,1±0,9 Ma (Figs. I, J e L, respectivamente) e uma média aritmética de 118,33 Ma, que é bastante inferior à da idade platô obtida.

As análises em rocha total deram valores inferiores em relação à idade platô obtida a partir da análise realizada em um dos cristais de biotita (127,7±1,1 Ma; Fig. L), que é a mais indicada para o corpo. Essas diferenças provavelmente estão ligadas ao fato de a rocha possuir granulação muito grossa.





## 25. Cerro San Benito

O Cerro San Benito situa-se a aproximadamente 30 km a SE da cidade de Villarica (Fig. 5-30). Nesse local foi amostrado um dique com aproximadamente 1 m de espessura.

O material utilizado para as análises foi biotita. As idades platô sugeridas para os cristais individualmente apresentaram muito variação pequena, resultando nos seguintes valores:  $127,3 \pm 0,6$ ,  $126,9 \pm 0,3$  e  $127,4 \pm 0,3$  Ma (Figs. A, B e C, respectivamente). De forma idêntica comportaram-se as idades integradas, exibindo variações ainda menores:  $127,5 \pm 0,2$ ,  $127,4 \pm 0,3$  e  $127,7 \pm 0,2$  Ma (Figs. A, B e C, respectivamente). A análise conjunta dos três cristais apresentou dois picos principais, 127,4 e 129,5 Ma, e como idade mais provável  $127,6 \pm 0,7$  Ma (Fig. D), que concorda bastante com as médias aritméticas obtidas para as idades platô (127,2 Ma) e integrada (127,5 Ma).

Para esse corpo a idade mais indicada é a platô de  $126,9 \pm 0,3$  Ma (Fig. B), apresentando as melhores condições técnicas (o platô foi obtido com quase todo o gás liberado), além de guardar ótima concordância com as demais análises.

