

**UNESP – UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

**Campus de Rio Claro (SP)**

QUIMIOESTRATIGRAFIA DO VULCANISMO ÁCIDO MESOZÓICO DA PROVÍNCIA  
MAGMÁTICA DO PARANÁ: PORÇÃO SE DO ESTADO DE SANTA CATARINA.

DIEGO DI BERMUDEZ E SILVA

ORIENTADOR: PROF. DR. ANTONIO JOSÉ R. NARDY

*Monografia apresentada à Comissão do Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP, campus de Rio Claro, como parte das exigências para o Comprimento da disciplina “Trabalho de Conclusão Curso no ano letivo de 2012”.*

Rio Claro – SP

2012

552.1 Bermudez, Diego  
B516q Químioestratigrafia do vulcanismo ácido mesozóico da província  
magmática do Paraná : porção SE do estado de Santa Catarina / Diego  
Bermudez. - Rio Claro : [s.n.], 2012  
52 f. : il., figs., gráfs., tabs., fots., mapas + CD-ROM

Trabalho de conclusão de curso (Geologia) - Universidade Estadual  
Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro  
Orientador: Antonio José Ranalli Nardy

1. Rochas ígneas. 2. Vulcanismo ácido. 3. PMP. 4. Palmas. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP  
Campus de Rio Claro/SP

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a principal pessoa que tornou possível a realização deste trabalho, Prof. Dr. Antonio J. Ranalli Nardy, por todos os conhecimentos passados e pelas dúvidas esclarecidas, que se tornaram fundamentais para minha formação universitária e serão de grande importância no meu futuro profissional.

Em segundo lugar, agradecer a todas as pessoas que passaram no meu caminho, desde 2007, e que sem elas certamente seria impossível chegar a este presente, meu muito obrigado. Meu muito obrigado pelos momentos passados, experiências trocadas e erros cometidos, que foram de vital importância para a minha vida. Levarei todos comigo.

Aos funcionários do Departamento de Petrologia e Metalogenia (DPM), Adilson e Vladimir, pela ajuda nas etapas deste trabalho realizado e apoio profissional. Um agradecimento a Carol, por conselhos dados e dúvidas tiradas nas inúmeras etapas, meu muito obrigado.

Agradecer aos meus companheiros de República, que ao longo deste tempo me mostraram como é conviver respeitando as inúmeras diferenças, e sempre pude contar para qualquer coisa, tanto na maioria dos momentos alegres tanto na minoria dos tristes. Um forte abraço seguido de uma grande admiração ao Basílio (Basa), Marcos (Marquito), José (Zé), Vinicius (Chester), Pedro (Pedrão), Rodrigo (Piru), Renzo (Macaco), Gabriel (Fronha), Leonardo (Lombriga), Nicholas (Nene Preto), Julio (Julião), Luis Henrique (Hulk), Antônio (Estopa), Felipe (Merda), Felipe (Lipe), Pedro (Bueiro), Flávio (Ratinho), Lucas (Mumuco), Lucas (Chico Preto), Samuel (Bala), Nicolas (Frank), Alexandre (Batoré), Eduardo (Pêra), Guilherme (Quevedo), Caio (Boca), Dona Sandra e Carvão. Obrigado.

Além dos companheiros de República, gostaria de agradecer os meus colegas de classe pelos conhecimentos passados e pelos trabalhos de campo realizados, um grande abraço para Fábio (Sacudo), Daniel (Banana), João Gabriel, Cícero (Ema), Nicolás (Argentino), Letícia e outros, deixo meu obrigado e desejo sorte em suas vidas profissionais.

Um agradecimento especial, pelo apoio nos momentos difíceis, por todo o carinho dado e momentos intensos vividos, por tanto, quero dedicar parte deste trabalho a esta pessoa tão especial, Júlia. No final, gostaria de dedicar as pessoas de maior importância na minha vida, pessoas que me apoiaram por toda graduação e por toda a minha vida. Pai, Mãe, Sarita, Melina, Vó, Vô e tios.

*“Procure ser um homem de valor, em vez de ser um homem de sucesso.”*

Albert Einstein.

## RESUMO

O vulcanismo ácido mesozóico da Província do Paraná-Etendeka pode ser considerado como uma das maiores manifestações dessa natureza na superfície da Terra, e seu estudo têm despertado especial interesse por permitir caracterizar o fim do magmatismo que precedeu o processo de ruptura continental e a formação da África e da América do Sul. Embora significativo, o vulcanismo ácido que caracteriza os Membros Palmas e Chapecó da Formação Serra Geral representa apenas 2,5% do volume total de rochas geradas pelo magmatismo e talvez por isso, a bibliografia existente acerca dessas rochas é bem menos significativa do que aquela referente à dos basaltos. Porém, ainda há aspectos ainda não esclarecidos acerca da origem e evolução dessas rochas em relação aos basaltos a elas associadas. Assim, dois perfis foram selecionados, denominados **RA** e **TA**, onde foi feita uma coleta sistemática de amostras, desde a base onde ocorrem arenitos da Formação Botucatu até o topo, onde se observam rochas ácidas do tipo Palmas. Essas amostras foram analisadas para elementos maiores, menores e traços e tratadas em diagramas específicos para definir a variação litoquímica vertical e suas possíveis relações com os basaltos associados.

Palavras Chaves: Província Magmática do Paraná. Formação Serra Geral. Rochas ácidas. Membro Palmas.

## **ABSTRACT**

The Mesozoic acid volcanism of the Paraná-Etendeka Province can be considered as one of the biggest events of its kind in the Earth's surface, and its study have attracted special interest in characterizing the end of magmatism that preceded the rupture process and the formation of continental Africa and South America. Although significant, the acid volcanism featuring Members Chapecó Palmas and Serra Geral Formation represents only 2.5% of the total generated by the magmatic rocks and perhaps therefore the existing literature on these rocks is well less significant than that on the basalts. However, there are still aspects still unclear about the origin and evolution of these rocks in relation to the associated basalts. Thus, two profiles were selected, called RA and TA, which be a systematic collection of samples from the base where the Botucatu Formation sandstones occur at the top, where they observe Palmas acid rock type. These samples should be analyzed for major, minor and trace elements and treated in specific diagrams to define the vertical variation lithochemistry and their possible relationships with the associated basalts.

**Keywords:** Paraná Magmatic Province. Serra Geral. Acid rocks. Member Palmas.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	2
1.2 Objetivos.....	5
1.3 Justificativa.....	6
1.4 Materias e Métodos.....	9
1.4.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
1.4.2 COLETA E SELEÇÃO DAS AMOSTRAS.....	9
1.4.3 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS E ANÁLISES QUÍMICAS DE ELEMENTOS MAIORES, MENORES E TRAÇOS.....	9
2.1 Introdução.....	11
2.1.1 ROCHAS BÁSICAS E INTERMEDIÁRIAS.....	11
2.1.2 ROCHAS VULCÂNICAS ÁCIDAS DO TIPO PALMAS (ATP) e TIPO CHAPECÓ.....	11
2.2 Litogeoquímica.....	18
2.3 Petrografia.....	21
3.GEOLOGIA LOCAL.....	26
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	40
5.1 Magmas-tipo dos perfis apresentados.....	40
5.2 Conclusões.....	43
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

## 1. INTRODUÇÃO

Durante o Mesozóico, o supercontinente Gondwana foi palco de intensa atividade magmática e recoberto por extensos campos de derrames. Posteriormente, através de processos distensivos da litosfera deu-se a separação continental, com o aparecimento de novas bacias oceânicas. Dentre estas regiões destacam-se as províncias magmáticas jurássicas do Karoo (no sul do continente africano) e a de Ferrar (compreendendo parte dos continentes da Antártica, Tasmânia, e Austrália) que precederam a formação do Oceano Índico, enquanto que as províncias Cretácicas do Paraná (América do Sul) e do Etendeka (África) antecederam a abertura da porção sul do Oceano Atlântico.

Todas essas províncias são consideradas como grandes regiões magmáticas, ou LIPs, onde se observa a produção de grande quantidade de lava predominantemente de natureza toleítica, extravasada em curto espaço de tempo.

A Província do Paraná-Etendeka é a mais expressiva delas sendo constituída por um volume de magma da ordem de  $1.000.000\text{km}^3$ . Desta província parece também fazer parte os derrames associados às bacias de Cuanza e Namibe localizadas na costa oeste de Angola. Entretanto, o imenso volume de magma produzido neste período na província não se distribuiu uniformemente entre os dois continentes. No africano, em especial na região do Etendeka, as lavas recobriram uma área aproximada de  $78.000\text{km}^2$ , acumulados em uma pilha de até  $1.000\text{km}$  de espessura (EWART et al., 2004a), Figura 1. No continente sul-americano, na Província Mágica do Paraná, estima-se que estão 95% de todo o volume de magma produzido (EWART et al., 2004a), ou seja, algo em torno de  $600.000\text{km}^3$ , cujos derrames que caracterizam a Formação Serra Geral, recobriram cerca de 61% de toda a superfície da Bacia do Paraná, em pilhas de rochas que atingem  $1,7\text{km}$  de espessura, segundo as estimativas mais recentes (Heinrich).

Dados geocronológicos de Ar, revelam que essas rochas possuem idades de  $134\pm 1$  Ma (RENNE et al., 1992a,b 1996, ERNESTO et al., 1999, ERNESTO et al., 2002, MINCATO et al., 2003, THIEDE & VASCONCELOS 2008), que são praticamente as mesmas de suas correspondentes africanas da região do Etendeka ( $131,7\pm 0,7\text{Ma}$  e  $132,3\pm 0,7\text{Ma}$ , RENEE et al., 1996) e da Bacia de Cuanza ( $131,9\pm 1,6\text{Ma}$  e  $131,6\pm 1,4\text{Ma}$ ; MARZOLI et al., 1999).



De modo geral, a observação macroscópica das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral permite individualizar três tipos petrográficos principais, facilmente reconhecíveis. O primeiro deles, majoritário, corresponde ao do basalto que se apresenta predominantemente com textura intergranular e suas variações (intersertal, hialofítica, etc). Os outros dois são representados por rochas de natureza ácida, denominados de Palmas e Chapecó, sendo as primeiras maciças e afíricas e as segundas porfiríticas.

A facilidade de reconhecimento destas rochas a olho nu permitiu sua cartografia, com a definição de dois novos membros associados à Formação Serra Geral denominados de Palmas e Chapecó, caracterizados pela presença destas rochas-tipo associadas a intercalações de basaltos, que se tornam bastante frequentes próximos ao topo e à base destas unidades.

O resultado deste mapeamento geológico mostrou que essas rochas ácidas recobrem cerca de 63.000 km<sup>2</sup>, distribuídos principalmente pelos estados da região sul (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul), representando um volume de 2,5% do volume total de rochas da Formação Serra Geral. (NARDY et al. 2002).

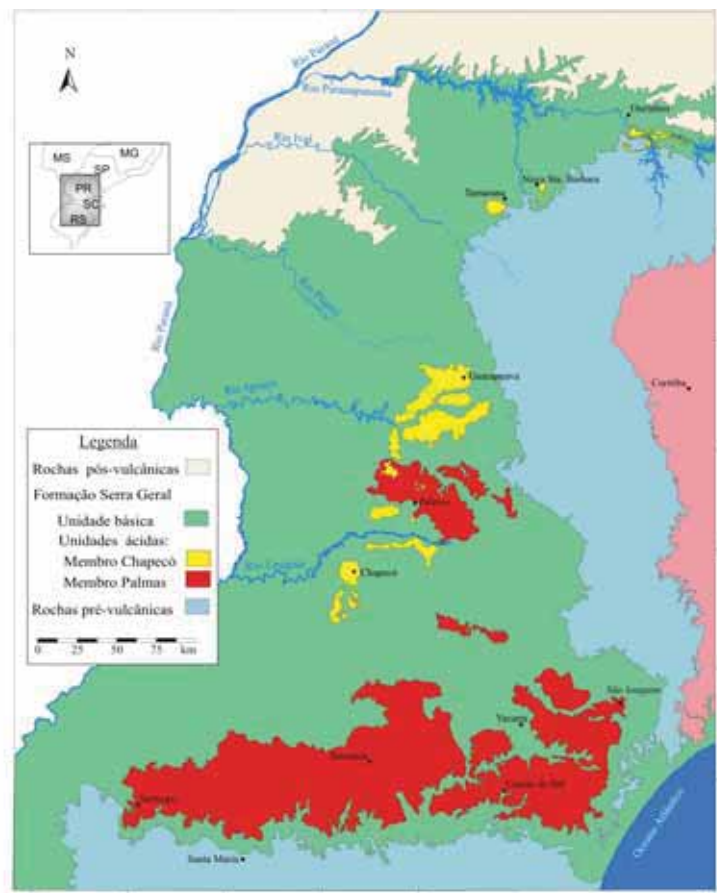


Figura 1- Mapa litoestratigráfico da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná.

Estas rochas ácidas não são exclusivas da Província Magmática do Paraná, ocorrendo também em parte da porção oeste do continente africano. De maneira geral, aquelas do tipo Chapecó são observadas nas bacias do Cuanza e Namibe, no sul de Angola, bem como na Namíbia, na província do Etendeka, onde também são encontradas rochas ácidas do tipo Palmas, um pouco mais ao sul da província, na região de Tafelberg, Figura 2.



Figura 2- Mapa geológico esquemático, pré-deriva, destacando as províncias magmáticas do Paraná, Etendeka, e as bacias de Cuanza e Giaraul, além das bacias marginais costeiras da plataforma continental sul-americana (NARDY et. al. 2002).

Correlações entre as rochas ácidas observadas nos dois continentes e a reconstrução do Gondwana fornece uma área afetada pelo vulcanismo de natureza ácida variando entre 130.000 e 170.000 km<sup>2</sup> (MILNER et al.1995, MARSH et al. 2001 e EWART et al. 2004b). Estes dados remetem o vulcanismo ácido da Província Magmática do Paraná-Etendeka como sendo uma das maiores manifestações deste tipo observadas na superfície da Terra.

Do ponto de vista geoquímico, as rochas vulcânicas ácidas do tipo Chapecó são enriquecidas em Ba, Nb, La, Ce, Zr, P, Nd, Y, Yb, Lu e K e empobrecidas em Rb, Th e U em comparação com aquelas do tipo Palmas.

Dados geoquímicos desses tipos de rochas ácidas mostram que elas são diferentes entre si. Na Província Magmática do Paraná as rochas do tipo Palmas são representadas por cinco subtipos distintos: Santa Maria, Anita Garibaldi, Caxias do Sul, Jacuí e Clevelândia, enquanto que aquelas do tipo Chapecó, podem ser divididos em 3 subtipos, denominados Guarapuava, Ourinhos e Tamarana, (PEATE et al. 1992, GARLAND et al. 1995 e NARDY et al. 2008), que têm seus respectivos correspondentes no continente africano.

A origem destas rochas tem sido debatida na literatura com a proposição de diversos modelos petrogenéticos. Entretanto, não se pode deixar de considerar a forte relação geoquímica e associação estratigráfica entre as rochas ácidas do tipo Palmas com os basaltos baixos em Ti e das rochas ácidas do tipo Chapecó com os basaltos altos em Ti. Além disso, deve-se considerar que essas rochas ocorrem próximas às margens das linhas de costa dos continentes africano e sul-americano, o que associa o magmatismo à abertura da porção sul do Oceano Atlântico. São considerados importantes os processos de cristalização fracionada, seguido de diferentes graus de assimilação crustal (AFC) e fusão parcial dos basaltos associados, ou de uma crosta máfica pré-existente, por meio de um processo de underplating, seguido de mistura magmática de uma componente crustal de composição granítica (BELLIENI et al., 1986, MILNER et al, 1995, PICCIRILLO et al 1988, GARLAND et al. 1995 e EWART et al., 2004b).

Desta forma, o estudo mais detalhado destas rochas ácidas nos remete aos conhecimentos dos últimos pulsos magmáticos observados na Província Magmática do Paraná, visando contribuir para um melhor entendimento da origem e evolução do vulcanismo a ela associada.

## **1.2 Objetivos**

O principal objetivo deste trabalho é estabelecer a quimioestratigrafia de dois perfis, denominados de KRA e KTA, no estado de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, e caracterizar a variação química dos diferentes litotipos presentes, bem como as relações petrogenéticas com os basaltos associados. Para tanto foram obtidos e interpretados os dados litoquímicos de

elementos maiores e traços (cerca de 50), que foram posteriormente lançados em digramas específicos de forma a permitir estudar as relações genéticas com os basaltos associados.

### 1.3 Justificativa

Embora o número de estudos acerca do vulcanismo Serra Geral seja numeroso, aqueles referentes às rochas de natureza ácida são escassos. Dentre os principais se destacam aqueles de Bellieni et al; (1986), Mantovani et al., (1985), Peate et al. (1992), Garland et al. (1995), Nardy (1995), e Nardy et al. (2003).

Dentre os problemas que permanecem sem resposta até o momento é se os subtipos dos magmas identificados são derivados de fontes mantélicas ou crustais e se os subtipos caracterizados são resultado de fontes magmáticas distintas modificadas pela ação de um ou mais processos petrogenéticos (cristalização fracionada, contaminação crustal, etc). Além disso, a forma de extrusão desses magmas é também controverso, Garland et al (1995) e Nardy et al. (2003), onde ainda são discutidos se essas rochas são produtos da efusão na forma de lavas ou através de processos explosivos, gerando rochas de natureza piroclástica (ignimbritos).

Os trabalhos pioneiros efetuados na formação Serra Geral (LEINZ et. al., 1949), já citavam a existência de rochas diferentes daquelas dos basaltos na região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, “com composição muito mais ácida ( $\text{SiO}_2 = 64,3\%$ ) e alcalina, classificadas como ledeleítos e hialo dacitos”. De maneira geral essas rochas ácidas eram consideradas “exóticas”, de ocorrência muito localizada, produtos de processos petrológicos restritos e meramente acidentais. Neste contexto, Schneider & Pires da Rocha (1968) descrevem uma amostra proveniente das proximidades de Santa Maria (RS), com apreciável quantidade de quartzo na matriz, ao qual atribuíram natureza secundária, classificando-a de basalto silicificado, de origem hidrotermal. Outros autores, como Garcia & Marinho (1980), estudaram as rochas ácidas da região sul do Brasil e concluíram serem resultado da intensa contaminação de lavas basálticas ocorridas em superfície, pelo seu deslocamento sobre as “areias úmidas” da formação Botucatu.

Por outro lado, Harris & Milner (1997) destacam que as rochas ácidas do tipo Palmas apresentam  $\delta^{18}\text{O}$  da ordem de 10,5‰. Seguindo os cálculos de Garland et al. (1995) essas rochas seriam geradas por um processo de AFC, com a cristalização fracionada de 50% de

basalto baixo-Ti (Gramado) seguido pela assimilação de 20% de crosta continental com  $\delta^{18}\text{O}$  da ordem de 30‰. Como este valor é muito elevado, propõem que as rochas do tipo ATP seriam derivadas da fusão parcial de um fragmento de crosta continental semelhante àquele do Complexo de Damara (500 Ma), constituído por granitos anfibolitos e xistos, que parecem compor o embasamento da bacia do Etendeka, com  $\delta^{18}\text{O}$  da ordem de 11,5‰

Desta forma, o estudo da gênese de grandes volumes de rochas vulcânicas ácidas em ambientes intra-placa, ao menos, três hipóteses principais devem ser consideradas:

- i-* a fusão parcial de basaltos ou granulitos máficos gerados a partir do manto litosférico/astenosférico, produzindo magmas anidros, de alta temperatura, estocados em câmeras magmáticas profundas na base da crosta, onde passariam por processos de cristalização fracionada, porém sem serem modificados substancialmente por processos de assimilação crustal;
- ii-* fusão parcial de basaltos ou granulitos máficos gerados no manto litosférico/astenosférico, produzindo magmas anidros que teriam sido aprisionados em câmeras magmáticas rasas, posteriormente submetidos a processos de AFC;
- iii-* remobilização de batólitos graníticos ou fusão parcial de rochas crustais rasas produzidas por intrusões de magmas máficos, ou por processos de *udeplating*, que teriam fornecido calor e voláteis para a produção de rochas porfiríticas, com o extravasamento explosivo de magmas e surgimento de extensas caldeiras (cerca de 80 km de extensão, como é o caso do *Fish Canyon Tuff*, Mason et al., 2004).

Outra característica importante destas rochas é que elas cobrem superfícies consideravelmente grandes, que podem ultrapassar 8.929 km<sup>2</sup>, como é o caso do platô de Bento Gonçalves, constituído por rochas ATP do subtipo Caxias do Sul (Nardy et al., 2008).

Neste contexto, Nardy (1995) analisou a homogeneidade química lateral de uma mesma unidade de resfriamento, no caso o platô de Clevelândia (PR), que foi definida por dados de campo e paleomagnéticos. Observou que esta unidade se mostrava homogênea por aproximadamente 45 km de extensão, onde esta mesma situação é descrita por Marques & Ernesto (2004) que, por meio de dados paleomagnéticos mostram que uma mesma unidade de resfriamento pode se estender por até 30 km de distância. Este aspecto associado às altas temperaturas de cristalização das principais fases minerais (>1000°C) levaram essas rochas a serem classificadas como ignimbritos ou reoignimbritos (ignimbritos recristalizados que

exibem apenas estruturas de fluxo), conforme propuseram Garland et al. (1995) e Nardy et al. (2003).

Estas considerações assumem um caráter mais instigante ainda, quando se observam as correlações transatlânticas efetuadas por Milner et al. (1995), Marsh et al. (2001) e mais recentemente Bryan et al. (2010), que consideraram os novos dados de litogeoquímica obtidos por Nardy et al. (2008), mostrando que o magma tipo Guarapuava se correlaciona com aquele Ventura do Etendeka, e o Tamarana com o Sarusas. Ainda, segundo estes autores, o conjunto de dados pode indicar a existência de unidades de resfriamento com até 650 km de extensão.

Assim, a grande área e volume ocupados por estas rochas, sua homogeneidade química lateral, a ausência de estruturas e de depósitos que permitam concluir acerca de sua forma de extrusão, motivou alguns autores a estudarem uma série de parâmetros como temperatura e pressão de cristalização das principais fases minerais, densidade, viscosidade etc., destas rochas, na tentativa de balizar o processo vulcânico envolvido (Garland et al., 1995 e Nardy et al., 1995). Posteriormente, Kirstein et al. (2001), evocando a dificuldade em encontrar parâmetros que permitissem tal distinção, sugerem a utilização de dados químicos de elementos traços incompatíveis para este fim, uma vez que a concentração de elementos HFSE está associada à concentração de voláteis. Os diversos diagramas obtidos revelam que as rochas do tipo ATP são de natureza ignimbrítica e as do tipo Chapecó são derrames, porém, com ambos os tipos localizados muito próximos ao limite dos dois modos de extrusão.

Do exposto acima, entende-se que há ainda muitos pontos acerca da origem e evolução destas rochas que não estão suficientemente esclarecidos. Para tanto este projeto propôs por meio do estudo sistemático de dois perfis (denominados KRA e KTA), a caracterização das rochas vulcânicas ácidas da formação Serra Geral, abordando seus aspectos estratigráficos, geoquímicos e mineralógicos, considerando sua inter-relação com os basaltos associados, de forma a entender sua gênese e evolução no contexto da província magmática do Paraná.

## 1.4 Materias e Métodos

Para alcançar os objetivos propostos neste trabalho os seguintes matérias e métodos foram utilizados: **(a)** Revisão Bibliográfica; **(b)** Seleção das Amostras; **(c)** Preparação das Amostras; **(d)** Análises Químicas de Elementos Maiores, Menores e Traços.

### 1.4.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta etapa do trabalho foi feita uma extensa avaliação do tema abrangido pelo projeto nas diferentes fontes de informação disponível, em especial nas revistas especializadas nacionais e internacionais.

O contexto geológico da área em que se insere a Formação Serra Geral (localizada na Província Magmática do Paraná) também foi alvo de pesquisa, uma vez que a sua caracterização é de vital importância para o entendimento do trabalho realizado.

As pesquisas envolvendo estes temas foram realizadas na internet e na biblioteca da Universidade Estadual Paulista – *Júlio de Mesquita Filho*, localizada na cidade de Rio Claro, São Paulo.

### 1.4.2 COLETA E SELEÇÃO DAS AMOSTRAS

As amostras foram coletadas em campo previamente pelo Prof.Dr.Antônio José R. Nardy em trabalho de campo na região sul do estado de Santa Catarina. As amostras coletadas foram vistoriadas macro e microscopicamente, de forma a descartar aquelas com presença de minerais secundários, amígdalas, etc, de forma a compor um conjunto de dados que possa refletir a composição química primária dessas rochas.

### 1.4.3 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS E ANÁLISES QUÍMICAS DE ELEMENTOS MAIORES, MENORES E TRAÇOS.

Para o estudo da área foram selecionadas 38 amostras, proveniente dos corpos intrusivos investigados bem como dos derrames de lava próximos. As análises foram feitas no Laboratório de Geoquímica do Departamento de Petrologia e Metalogenia IGCE/UNESP, campus de Rio Claro (SP), para elementos maiores, menores, traços e terras raras.



No estudo litogeoquímico, um total de 38 amostras foram selecionadas para análise de elementos maiores ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ) menores ( $\text{TiO}_2$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) e traços (Cr, Ni, Ba, Rb, Sr, La, Ce, Zr, Y e Nb) através de fluorescência de raios X, empregando-se pastilhas de pó fundida em meio borato (elementos maiores e menores) e prensadas (elementos traços).

Essas análises foram importantes para caracterizar os diferentes grupos geoquímicos nos corpos ígneos extrusivos presentes e conseqüentemente permitirem individualizações e possíveis interpretações petrogenéticas.

A preparação das amostras se inicia com o quebra através de um martelo e uma marreta média, onde foram desagregadas a granulometria média de 3 a 4 cm. Posteriormente passaram por um moinho, com granulometria inferior a 200 mesh.

Com as amostras pulverizadas (< 200 mesh), foram confeccionadas pastilhas para análises dos elementos maiores, menores e traços através de fluorescência de raios X. Foram pesados 2,0000 g de amostras em cadinho de cerâmica. Levados a uma mufla, com temperatura pré-ajustada a  $1000^\circ\text{C}$ , por aproximadamente quatro horas, para eliminar a água (de adsorção e estrutural) e os elementos voláteis presentes na rocha. A amostra foi novamente pesada, e comparando com seu peso inicial foi determinada a perda ao fogo ou LOI (loss on ignition). No processo de aquecimento houve a agregação de material, constituindo uma massa compacta. Com isso, houve necessidade da amostra ser novamente desagregada, agora através de um moinho de bola, por um período de 5 minutos. Após esse procedimento foram misturados 1,200g da amostra, com 1,2030g de tetraborato de lítio e 4,8397g de mataborato de lítio (proporção 1:5), em cadinho de platina-ouro e levadas a uma temperatura da ordem de  $1200^\circ\text{C}$ , em uma máquina de preparação de discos fundidos marca "Claisse". Após fusão, o conteúdo do cadinho é vertido para um molde de 1,5cmg de raio, onde se obtém, pelo menos, uma superfície lisa. O tempo de preparo de cada amostra foi da ordem de 30 minutos.

Após esta etapa, as amostras foram levadas ao espectrômetro de fluorescência de raios X, marca "Philips", modelo "PW2400", para as qualificações químicas.

Os parâmetros de calibração, leituras no equipamento e os erros analíticos (menos de 1% para elementos maiores e menores, e menos que 5% para os traços), estão disponíveis em Nardy et al. (1997). O tempo médio para a obtenção dos resultados foi de 14 minutos/amostra.



## 2.GEOLOGIA REGIONAL DA FORMAÇÃO SERRA GERAL

### 2.1 Introdução

No período Cretáceo, a Bacia do Paraná foi afetada por um intenso vulcanismo de natureza fissural que tomou 75% de sua extensão, aproximadamente 600000 km<sup>3</sup> de lava, resultando em grandes corpos vulcânicos com 650 metros de espessura em média.

Marcada em sua base pelo contato com a Formação Botucatu e Pirambóia, a Formação Serra Geral foi datada por Renne et al. (1992a) pelo método argônio-argônio em 132 Ma, com erro de 1 Ma, sendo que toda a sua atividade magmática durou cerca de 1,1 Ma.

Em relação ao seu vulcanismo, pode-se dizer que é de natureza bimodal, representada por rochas de natureza básica e ácida. Embora a natureza do magmatismo seja básico com caráter toleítico, ocorrem rochas de composição ácida-intermediária também, representando no máximo 3% do volume total de rochas da Formação Serra Geral. Então, pode-se caracterizar estratigraficamente a Formação Serra Geral em três litotipos facilmente reconhecíveis: Rochas básicas e intermediárias, Rochas vulcânicas ácidas do tipo Chapecó (ATC) e Rochas vulcânicas ácidas do tipo Palmas (ATP).

#### 2.1.1 *ROCHAS BÁSICAS E INTERMEDIÁRIAS*

Em praticamente toda a extensão da Bacia do Paraná, ocorrem derrames de natureza básica-intermediária dados por basaltos e andesitos de afinidade toleítica. São caracterizadas por possuírem coloração cinza a negra, maciços ou vesiculares, textura intergranular e subfaneríticos de granulação variando de média à densa. Ocorrem, estratigraficamente, abaixo das rochas ácidas.

#### 2.1.2 *ROCHAS VULCÂNICAS ÁCIDAS DO TIPO PALMAS (ATP) e TIPO CHAPECÓ.*

As rochas vulcânicas ácidas do tipo Palmas (ATP) são caracterizadas pela coloração cinza clara, às vezes adquirindo tonalidade vermelho-acastanhada, natureza afírica, textura hipo a holohialina com marcante aspecto sal-e-pimenta. Sua mineralogia essencial é de microfenocristais (granulação inferior a 0,2 mm) de plagioclásio (labradorita), e chegam a constituir até 16% do volume total da rocha, 11% de augita, 3% de pigeonita, 5% de

magnetita e menos de 1% de apatita. Esses cristais exibem muitas vezes estruturas de resfriamento rápido, desenvolvendo formas esqueléticas, aciculares, ocas ou terminações em forma de cúspide. A matriz é composta por material semivítreo, que atinge em média 63% do volume da rocha, de coloração castanha escura, levemente birrefringente, caracterizado pelo intenso intercrescimento de microlitos de quartzo e feldspato alcalino na forma de textura granofírica, que envolve por completo as fases cristalinas. Quando holohialinas (pichestones), essas rochas mostram coloração negra e fratura conchoidal proeminente. Entretanto, devido à sua natureza amorfa, alteram-se com muita facilidade e, assim, na maioria dos afloramentos, encontram-se totalmente intemperizadas, com coloração acastanhada, lembrando depósitos de natureza sedimentar, salpicados de vesículas e amígdalas com até 10 mm de comprimento, normalmente preenchidas por quartzo.

As rochas vulcânicas ácidas do tipo Chapecó (ATC) são porfíricas, com aproximadamente 24% de fenocristais de plagioclásio com até 2 cm de comprimento, imersos em matriz afanítica de coloração cinza clara quando fresca e acastanhada quando alterada. A mineralogia consiste em fenocristais euhedrais de andesina imersos em matriz constituída fundamentalmente por 4,5 % de augita, 2,2% de pigeonita, 3,7% de magnetita e 1,7% de apatita (valores médios) envolta por uma trama de quartzo e feldspato alcalino em arranjo felsítico, localmente granofírico, imprimindo à rocha textura vitrofírica.

Os corpos de natureza ácida são tabulares e de grande extensão lateral, da ordem de algumas dezenas de quilômetros. Dados paleomagnéticos de Pacca & Ernesto (1982) e geoquímicos Nardy (1996) sugerem extensões da ordem de 30 km. Verticalmente, verifica-se a presença de estruturas e texturas que permitem definir três domínios principais. O inferior, ou basal, é caracterizado por uma zona de atrito entre o substrato, de basalto, e o fluxo magmático de composição ácida. Dessa interação resultam brechas epiclásticas, constituídas por fragmentos angulosos de até 20 cm de comprimento de basalto, normalmente vesicular, soldados por uma matriz vítrea de composição ácida. É abundante a presença de minerais secundários e de preenchimento, como calcita, zeólitas, quartzo, limonita, etc. Esse domínio é pouco expressivo frente à espessura total das seções.

O domínio intermediário, ou principal, é mais homogêneo, correspondendo a uma região de resfriamento e compactação do corpo magmático sem demonstrar evidências acentuadas de fluxo. É caracterizado predominantemente por rochas de natureza maciça, embora vesículas e amígdalas levemente achatadas, com alguns milímetros de comprimento,

estejam espalhadas ao longo de toda a seção. Em geral, não ultrapassam 1% do volume total da rocha, mas tornam-se mais abundantes e maiores, atingindo até 10 mm de comprimento, nas proximidades do topo da seqüência. O diaclasamento é também uma estrutura característica desse domínio, sendo representado por juntas de atitude vertical, contínuas, com espaçamento horizontal entre 1 e 2 m. Localmente, ocorre também um persistente bandamento ígneo, onde bandas de coloração branca alternam-se a outras de coloração escura. As claras têm cerca de 2 cm de espessura, composição quartzo-feldspática e mostram maior grau de cristalinidade em comparação com as bandas escuras, que, por sua vez, exibem coloração cinza escuro e natureza hipohialina. Esse bandamento apresenta atitude horizontal e se caracteriza pela grande continuidade lateral, persistindo por vários quilômetros de extensão, especialmente nos afloramentos de rochas do tipo Chapecó. A relação de contato entre as duas bandas é difusa, observando-se fenocristais de plagioclásio não orientados compartilhados entre ambas e, portanto, aparentando não terem sido diretamente afetados pelo fluxo, mas provavelmente por diferenças no grau de compactação e concentração de voláteis. Muito possivelmente essa estrutura tenha se desenvolvido após o fenômeno de escoamento do magma na superfície, durante o processo de resfriamento.

O domínio superior, ou de topo, é o que apresenta maior diversidade de estruturas, todas ligadas a processos de fluxo. A sua porção inferior caracteriza-se pela presença de diaclasamento plano-paralelo cerrado, onde lajes com espessuras variando de 10 a 20 cm formam uma pilha de até 10 m. Esse tipo de estrutura é também denominado de acamamento ígneo, tendo em vista ser produzido pela movimentação de um líquido viscoso sobre uma paleo-superfície praticamente lisa e horizontal. Porém, à medida que se aproxima do topo do domínio as estruturas assumem um padrão ondulado, que configura em pequenas anticlinais e sinclinais, podendo inclusive apresentar atitude vertical. Embora caracterize uma estrutura comum para ambas as seqüências de rochas ácidas, ela é mais freqüente e proeminente naquelas do tipo Palmas. Ressalta-se, porém, que nem todas as amostras desse domínio, analisadas sob microscopia de luz polarizada, exibem textura que denuncie o fluxo da lava na superfície, em especial a pilotaxítica (cristais orientados por fluxo), o que sugere que o mesmo possa ter ocorrido em curto espaço de tempo e a temperaturas elevadas, acima de 1000° C, conforme indicam os resultados geotermométricos das principais fases minerais (piroxênios, plagioclásio e magnetita) (Bellieni et al., 1986; Garland et al., 1995). A cristalização parece ter sido ainda rápida, pois essas rochas apresentam textura hipohialina (a concentração de matriz vítrea pode ser superior a 75% do volume total da rocha) e os

microfenocristais presentes mostram, em sua maioria, interiores ocos, terminações em forma de cúspide ou então hábito acicular.

Entretanto, outras estruturas típicas de fluxo estão presentes e são bastante abundantes no domínio superior. Uma delas é o lineamento mineral, onde microcristais de feldspato e quartzo intercrescidos formam filetes de coloração clara, com alguns milímetros de espessura, dobrados em um padrão complexo, sugerindo forte influência do fluxo magmático imposto às rochas nas etapas finais de cristalização. É ainda nessa região que se reconhece a presença de uma zona de brechas autoclásticas, fortemente marcadas por estruturas de fluxo e com até 2m de espessura, possivelmente geradas pelo movimento de uma massa magmática viscosa que engloba parte do material já extravasado à superfície, total ou parcialmente solidificado.

Por fim, nas seqüências de rochas ácidas do tipo Palmas, ainda no domínio superior, é comum observar corpos lenticulares com até 10m de espessura de rochas holohialinas, de coloração negra, fratura conchoidal e brilho de piche (pichestones), intercaladas às variedades hipohialinas (Figura 3).

As rochas vulcânicas ácidas da Formação Serra Geral ocorrem associadas a extensos platôs, em altos topográficos, com pequena cobertura vegetal, que se destacam nas imagens de satélite, em especial nas infravermelhas, apresentando coloração cinza-esbranquiçada. Já nas imagens de radar, elas estão representadas por superfícies lisas com baixa densidade de elementos texturais.

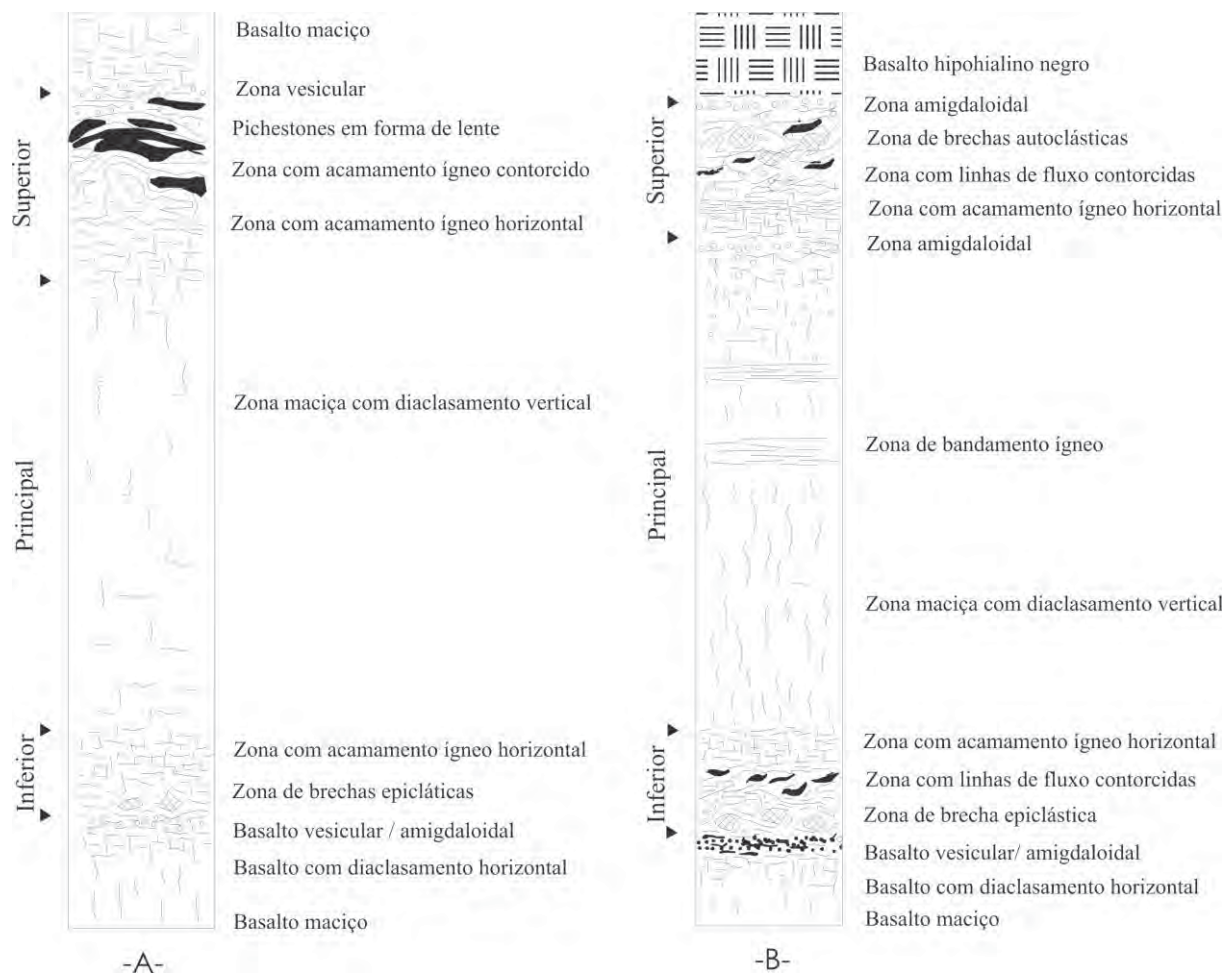


Figura 3– Seções colunares características de seqüências de rochas vulcânicas ácidas dos tipos Palmas (A) e Chapecó (B).

Baseado nessas características, Nardy et al. (2002), com o objetivo de cartografar as rochas ácidas da Bacia do Paraná, propuseram a incorporação de duas novas unidades litoestratigráficas à Formação Serra Geral, denominadas de Membros Palmas e Chapecó, e caracterizadas pela presença das rochas homônimas associadas a intercalações de basaltos e andesitos. O mapa litoestratigráfico obtido é mostrado na Figura 4, de onde se destaca que as unidades ácidas cobrem 5% da superfície formada pela Formação Serra Geral, algo ao redor de 64.000 km<sup>2</sup>, e ocupam um volume de 15.300 km<sup>3</sup>, segundo dados de Nardy et. al. (2002), empregando as espessuras medidas no campo e cálculos em plataforma CAD. Os dados indicam também que o Membro Palmas é muito mais expressivo que o Chapecó, chegando a representar 95% da área e 80% do volume total dessas unidades. Considerando o volume de lavas da Formação Serra Geral, 2,5% desse total correspondem ao Membro Palmas e 0,5% ao Membro Chapecó.

De maneira geral, as unidades ácidas encontram-se dispostas sobre os basaltos da Formação Serra Geral, exceção feita à região de Ourinhos, onde o Membro Chapecó assenta-se diretamente sobre os arenitos eólicos juro-cretáceos da Formação Botucatu. Os trabalhos de mapeamento geológico mostraram também que na região SW do Estado do Paraná, nos platôs de Generoso e Domingos Soares, na porção central da Bacia do Paraná, o Membro Chapecó encontra-se sobreposto diretamente ao Membro Palmas, a indicar que nessa área as rochas do Membro Chapecó são mais jovens que as do tipo Palmas.



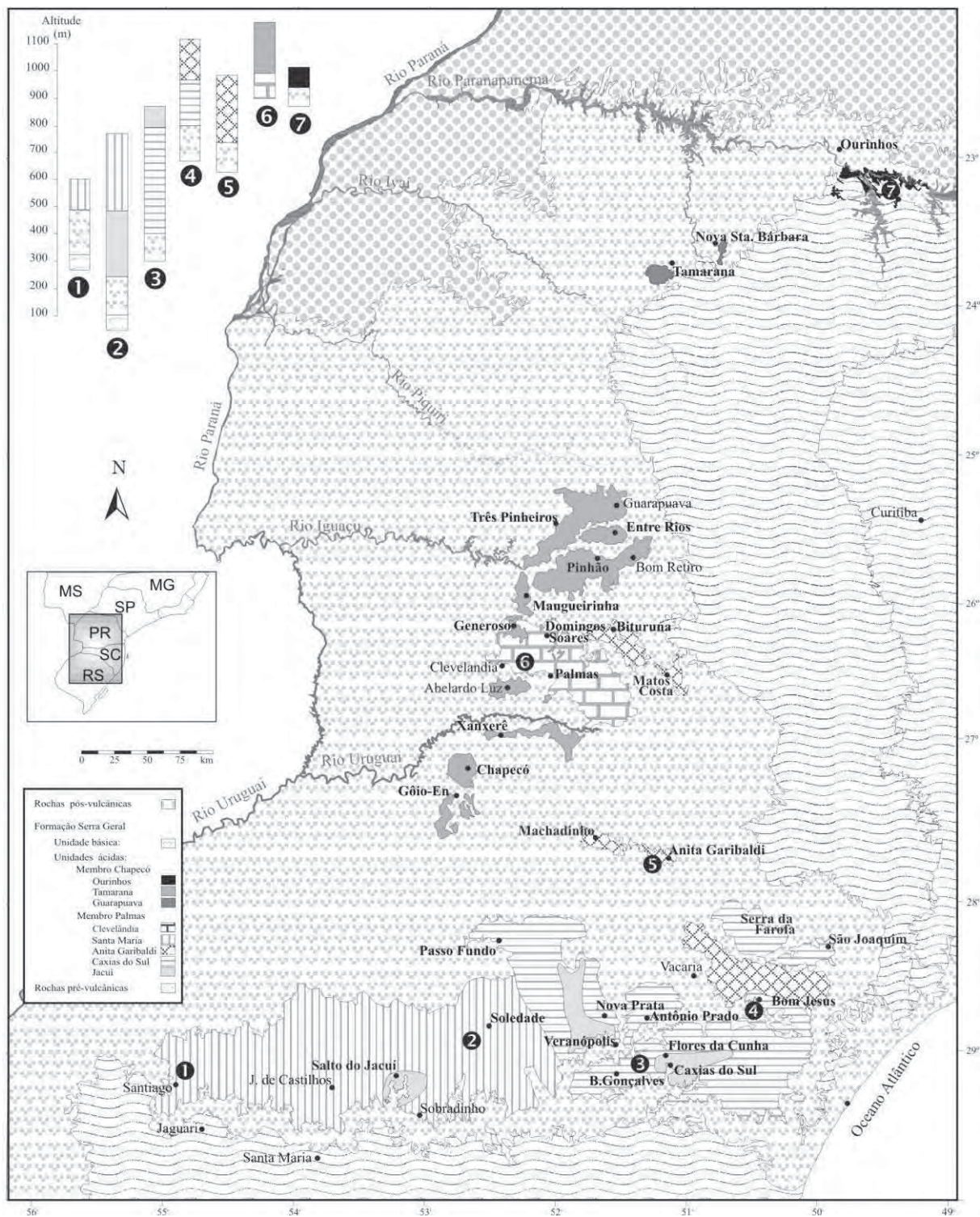


Figura 4– Mapa litoestratigráfico e geoquímico dos Membros Palmas e Chapecó da Formação Serra Geral (modificado de Nardy et al., 2002). No detalhe seções colunares representativas das associações litogeoquímicas observadas.

## 2.2 Litogeoquímica

Embora haja na literatura um grande acervo de dados geoquímicos de rochas vulcânicas ácidas, a sua utilização para estudos litogeoquímicos de maior detalhe encontra o inconveniente de as amostras não possuírem localizações geográficas confiáveis, ou então, provierem de autores distintos, sendo as informações disponíveis coligidas a partir de diferentes metodologias e erros analíticos.

O caráter geral das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral foi determinado por Piccirillo & Melfi (1988) com o auxílio do diagrama R1R2 de De La Roche et al. (1980) (Figura 5), onde se distingue a presença de dois grandes grupos de rochas, denominados de toleítico e toleítico-transicional. O primeiro, disperso pelo campo toleítico, é constituído por basaltos com baixo teor em Ti ( $\text{TiO}_2 < 2\%$ ) e por rochas ácidas do tipo Palmas; o segundo, também disposto no campo toleítico, porém, deslocado em direção ao transicional, é constituído por basaltos com alto teor em Ti ( $\text{TiO}_2 \geq 2\%$ ) e rochas ácidas do tipo Chapecó. É importante assinalar que as rochas da associação toleítica ocorrem preferencialmente na região sul da Bacia do Paraná, ou seja, aquela situada abaixo do Alinhamento do Rio Uruguai.

Já as da associação toleítica-transicional estão presentes na região centro-norte da bacia, ou seja, acima daquele alinhamento, o que parece indicar a cogeneticidade entre as rochas de associadas.

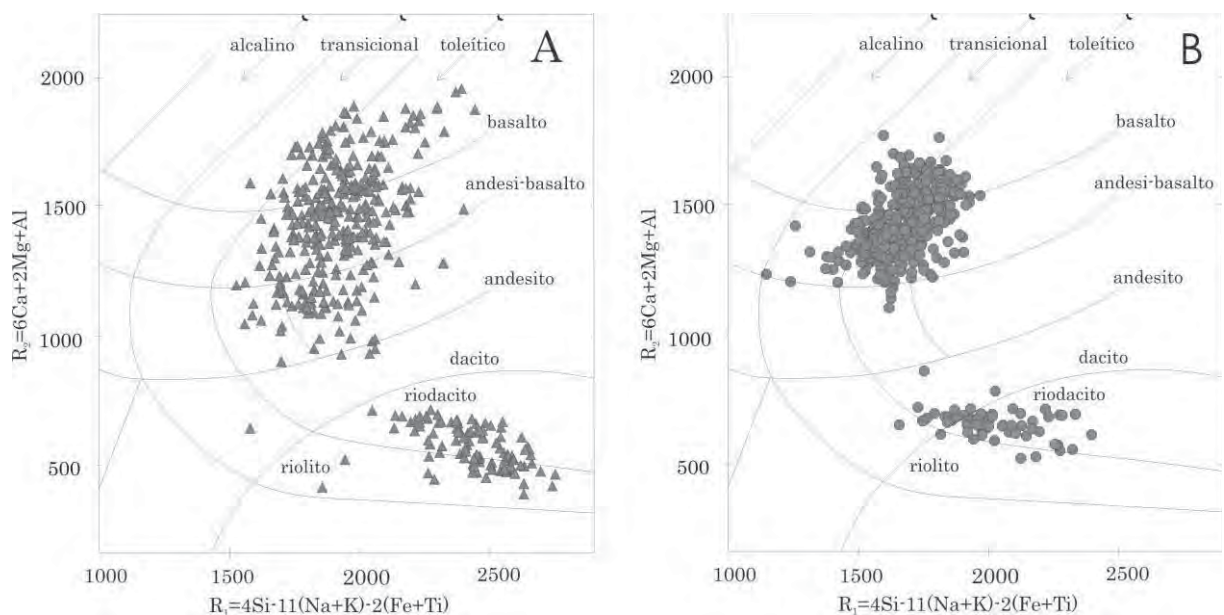




Figura 5- Diagrama R1R2 (cf. De La Roche et al.,1980) para as rochas vulcânicas da Bacia do Paraná: A. Associação toleítica (basaltos, andesi-basaltos e andesito toleíticos com  $TiO_2 < 2\%$ ; riodacitos e riolitos do tipo Palmas) e B. Associação toleítica-transicional (basaltos toleíticos e transicionais, andesi-basaltos toleíticos, lati-basaltos; dacitos e riodacitos do tipo Chapecó). Dados de Piccirillo & Melfi (1988).

Os dados obtidos da bibliografia, demonstram que as rochas ácidas do tipo Palmas (ATP) não diferem daquelas do tipo Chapecó (ATC) apenas por seus aspectos petrográficos, mas apresentam também características geoquímicas bem distintas. De maneira geral, as do tipo Chapecó possuem intervalo de  $SiO_2$  entre 63,37% e 68,37%, enquanto que nas do tipo Palmas ele é bem maior, indo de 63,00% a 72,07%. Por outro lado, para um mesmo intervalo de  $SiO_2$ , observa-se que as rochas do tipo Chapecó contêm maiores concentrações de álcalis (de 7,45% a 8,34%) em comparação com as do tipo Palmas (de 5,98% a 8,64%) (Figura 6). Neste mesmo diagrama, é possível observar que as rochas do tipo Palmas estão dispostas no campo dos dacitos e riolitos, enquanto que as do tipo Chapecó no campo dos traquitos (LeBas et al., 1986).

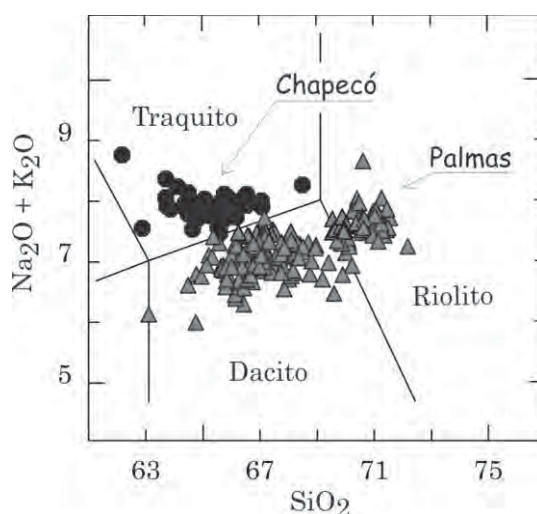


Figura 6- Classificação e nomenclatura das rochas vulcânicas ácidas dos tipos Palmas (triângulos) e Chapecó (círculos) segundo o diagrama TAS (Le Bas et al., 1986).

Quando se confrontam os padrões de distribuição dessas rochas em diagrama de concentrações relativas ao manto primordial (cf. Sun & McDonough, 1989); (Figura 7), nota-se que as do tipo ATC são mais ricas em Ba, Nb, La, Ce, Zr, P, Nd, Y, Yb, Lu e K e mais pobres em Rb, Th e U quando comparadas às do tipo ATP. Apesar dos padrões serem bastante parecidos para ambas as associações, as últimas apresentam maiores relações Rb/Ba,

U/Nb e Ce/Sr relativamente do tipo ATC. No mesmo diagrama, verifica-se que as do tipo ATC tem maior relação La/Lu (10,37) em comparação com aquelas do tipo ATP (7,04).

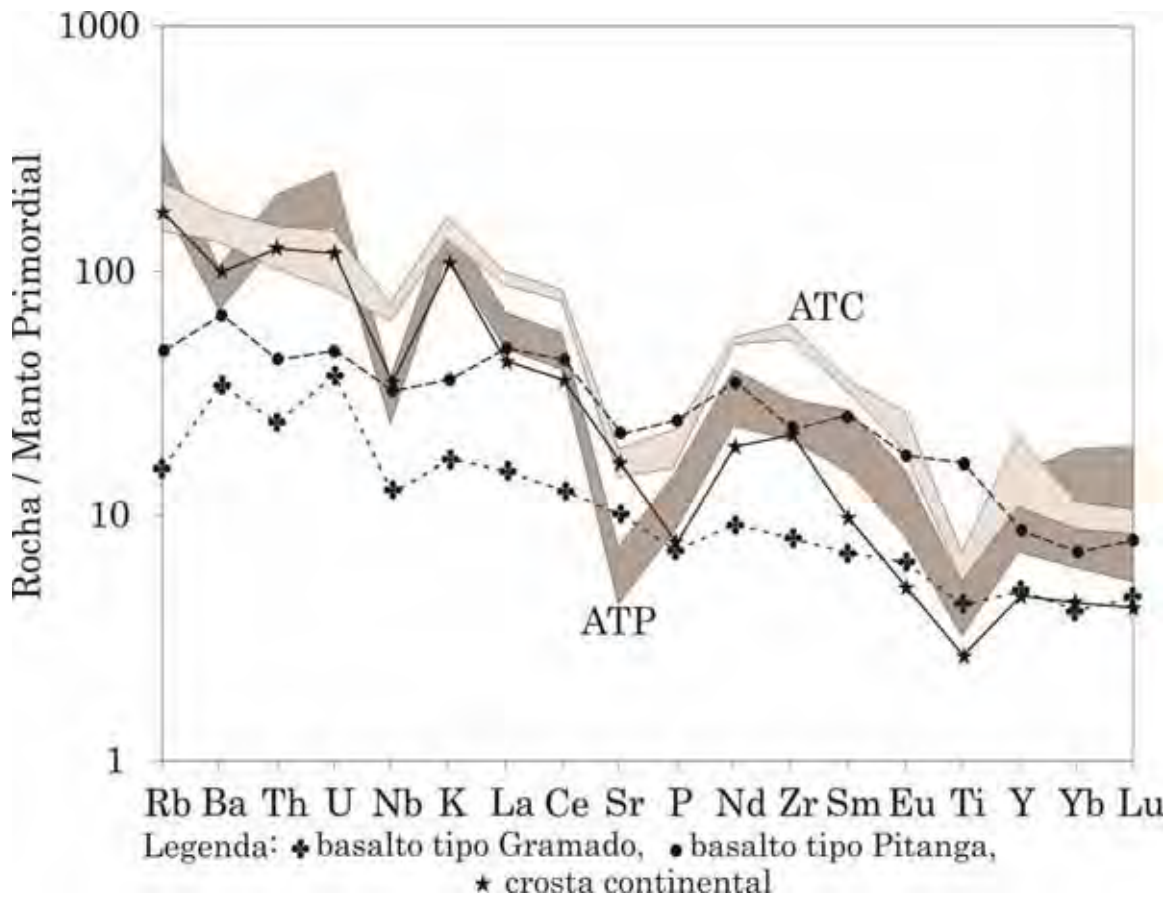


Figura 7– Diagrama de elementos incompatíveis normalizados em relação ao manto primordial (Sun & McDonough, 1989) das rochas ácidas dos tipos Palmas e Chapecó, composição média da crosta continental (Taylor & McLennan, 1981) e basaltos dos tipos Gramado e Pitanga (Garland et al., 1995).

Segundo Garland et al. (1995), as rochas do tipo ATP são derivadas da fusão parcial de basaltos do tipo Gramado, enquanto as do tipo ATC da fusão parcial de basaltos do tipo Pitanga, cujas composições em termos de elementos traços foram igualmente projetadas no gráfico da Figura 7, juntamente com a média da composição da crosta continental superior (Taylor & McLennan, 1981), que parece ter também exercido uma forte influência na evolução das rochas vulcânicas.

## 2.3 Petrografia

As amostras estudadas das rochas do tipo Chapecó são representadas por dacitos, riodacitos e riolitos, hipohialinos (até 87% de material vítreo) e textura basicamente porfirítica, glomeroporfirítica e amigdaloidal. Sua composição é de 13,4% de Plagioclásio, com até 8mm de comprimento, envolto por uma matriz constituída por augita (4% em média), pigeonita (2% em média), opacos ( 1,3% em média) e traços de apatita, imersos em uma trama de quartzo e feldspato alcalino com textura vítrofírica e microlítica. Feições de resfriamento rápido como a bordas corridas e microcristais de plagioclásio com morfologia esquelética tipo “rabo de andorinha”, estrutura de fluxo, e vesículas preenchidas por zeólitas também podem ser encontradas nas amostras.

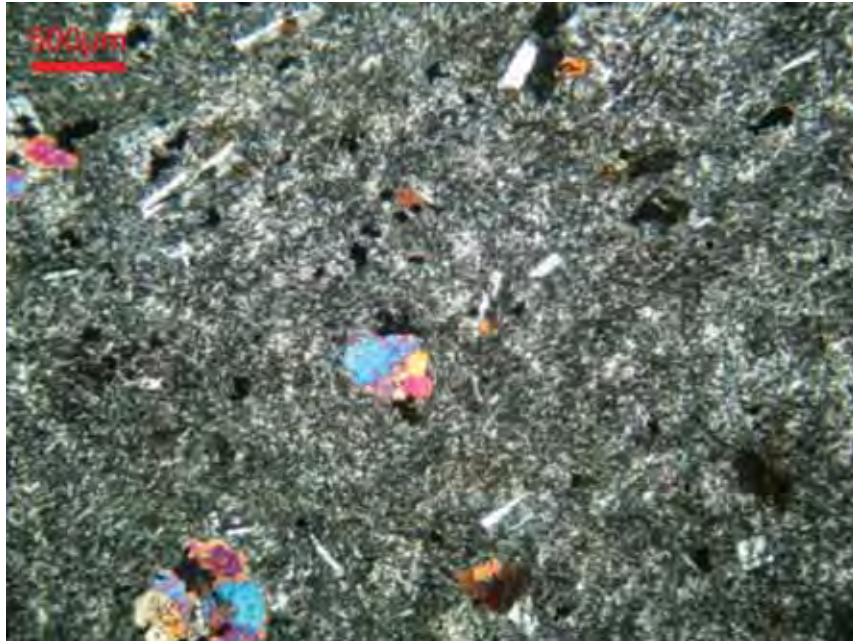


Figura 8 – Lâmina delgada que exhibe uma estrutura de fluxo com os microcristais de plagioclásio orientados. Nicóis cruzados.

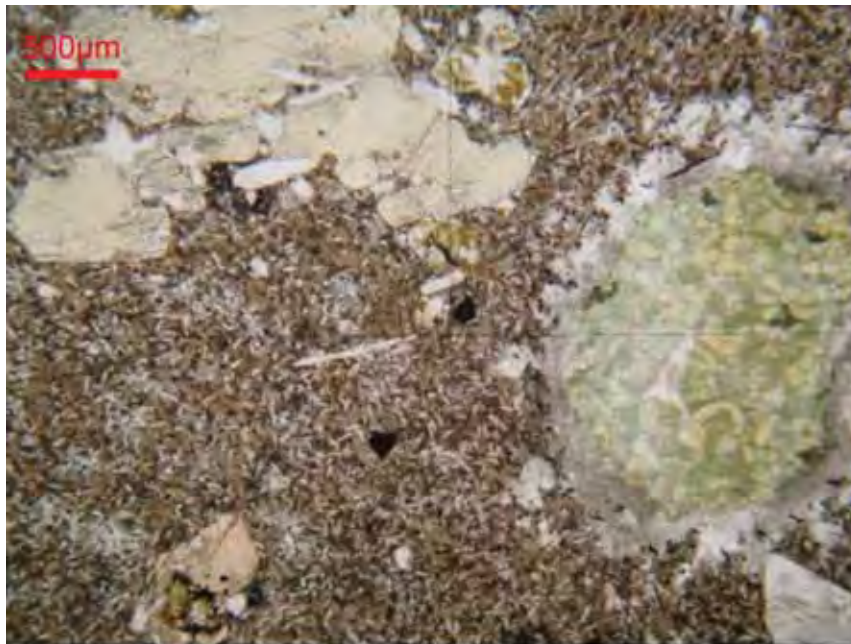


Figura 9 – Lâmina delgada com amígdala preenchida por euhedrais de zeólita. Nicóis descruzados.

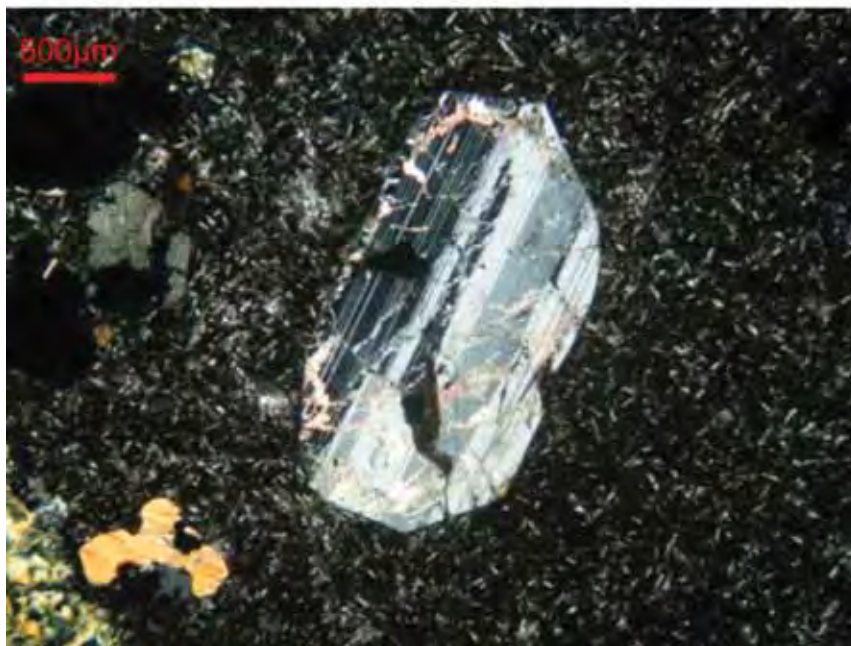


Figura 10 - Fenocristal de plagioclásio com as bordas levemente arredondadas, micro-fraturado, onde se observa alteração para material de alta birrefringência, destacando-se a calcita (saussuritização). Nicóis cruzados.



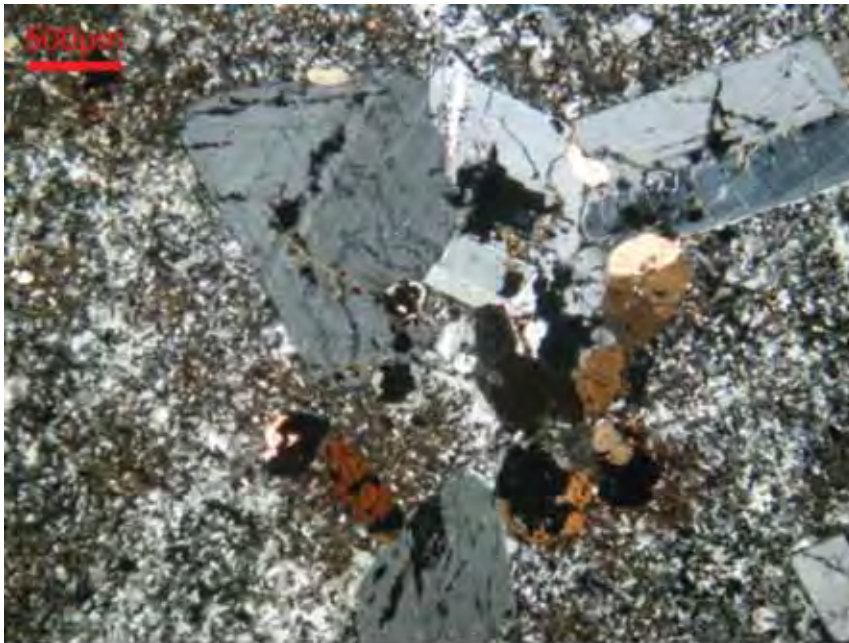


Figura 11 – Textura glomeroporfírica (fenocristais de plagioclásio e augita). Nicóis cruzados.

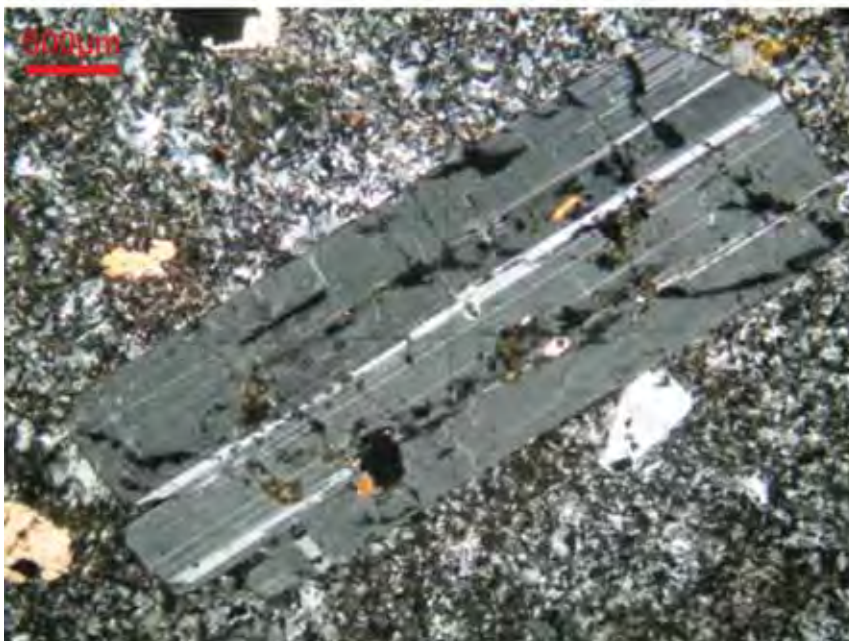


Figura 12 - Fenocristal de plagioclásio com gemação, bordas corroídas, mostrando feições de embaiamento na parte superior direita. Nicóis cruzados.

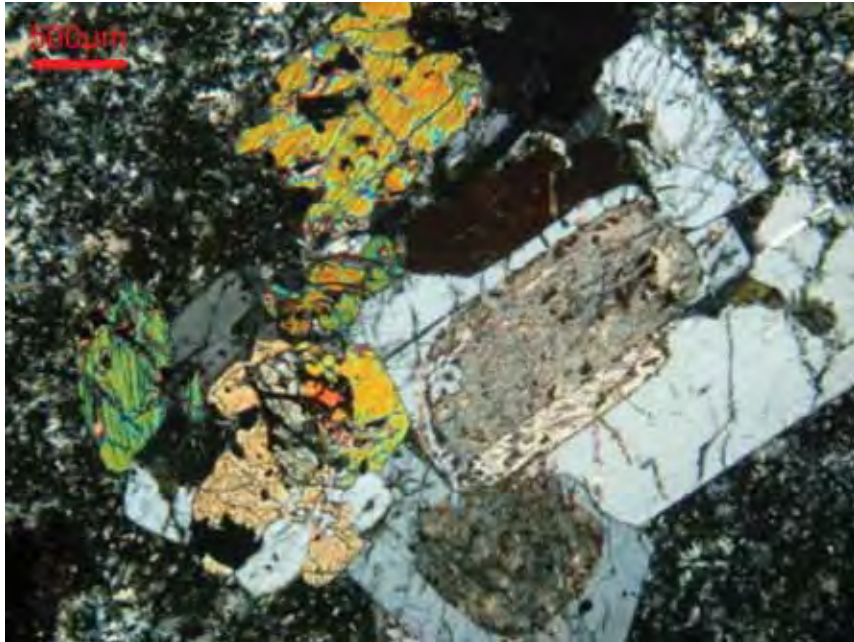


Figura 13 - Textura glomeroporfírica, mostrando núcleo totalmente alterado (saussuritização). Núcleis cruzados.

As amostras estudadas das rochas do tipo Palmas são representadas por riolitos e riodacitos, afíricos, hipohialinos (mais de 60% de material vítreo), com microfenocristais de plagioclásio (15,3% em média), augita (12,4% em média), pigeonita (2,5% em média), opacos (5% em média) e traços de apatita.

As estruturas encontradas foram associadas ao resfriamento rápido, como microfenocristais com morfologia esquelética tipo “rabo de andorinha” e cristais de piroxênio com hábito acicular envoltos numa matriz composta por uma trama de quartzo e feldspato alcalino com textura vitrofírica e microlítica.

O aspecto afírico atribuído às rochas do tipo Palmas é o principal critério usado para diferenciar as mesmas das rochas tipo Chapecó.



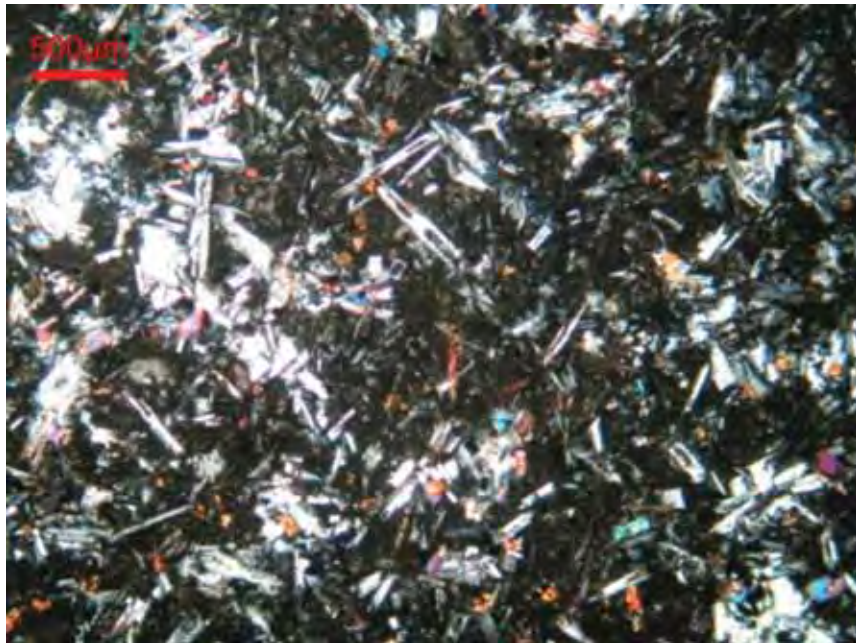


Figura 14 – Lâmina delgada com cristais de plagioclásio com morfologia de “cauda de andorinha” e ocos devido ao resfriamento rápido que a rocha sofreu. Nicóis cruzados.



Figura 15 – Microfenocristais de plagioclásio em meio a uma matriz microlítica com cristais de plagioclásio com hábito acicular e augita granular.

### 3.GEOLOGIA LOCAL

A área estudada localiza-se nos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul e para sua caracterização foram feitos dois perfis, KRA e KTA. Estes perfis, embora se localizem a uma distância considerável, são marcados por aspectos geológicos bem parecidos. No início de ambos são marcados pelo contato com arenitos da Formação Botucatu, seguidos por basaltos da Formação Serra Geral e rochas Ácidas (ATP) da Formação Serra Geral.

O perfil KRA é localizado no Estado de Santa Catarina, inicia-se na cota de 281 metros e é marcado pelo contato com a Formação Botucatu, que consiste em arenitos avermelhados com estruturas sedimentares bem marcadas. Sobre a Formação Botucatu está a Formação Serra Geral, dada por basaltos finos e maciços ocorrendo em blocos e in situ com uma espessura de aproximadamente 740 metros. Notam-se as ocorrências de três zonas amigdaloidais principais, caracterizando possíveis topos de derrames basálticos, são marcadas por amígdalas que variam de 0,5 a 2 cm de diâmetros sendo em geral bem ovaladas e em alguns casos preenchidas por zeólitas e quartzo. Nas zonas restantes dos basaltos, eles são maciços geralmente de granulação fina a média, em alguns pontos ocorre disjunção colunar vertical, de coloração cinza escura em sua maioria, presença de fratura conchoidal, alguns pontos com cristais de piroxênios. No contato entre os basaltos com as rochas ácidas (ATPs) nota-se a presença marcante de material vítreo e brechações, também em alguns pontos do perfil notam-se a presença de obsidiana maciça com algumas fraturas. Já o material ácido (ATP) foi encontrado fresco com coloração marrom, leve/amigdaloidal, com disjunção colunar vertical de baixa densidade e com algumas amígdalas preenchidas por quartzo.

Em relação ao perfil KTA que está localizado no Estado do Rio Grande do Sul, onde o contato com entre a Formação Botucatu com a Formação Serra Geral ocorre na cota de 35 metros. Os basaltos da Formação Serra Geral são marcados por serem de granulação fina, coloração cinza, com disjunção colunar cerrada, maciço com presença de algumas amígdalas preenchidas por quartzo e zeólitas. Ocorrem também nos basaltos, as chamadas de zonas amigdaloidais que marcam o possível topo do derrame magmático, nestas regiões a rocha encontra-se fortemente amigdaloidal, com amígdalas ovaladas de até 2 cm de comprimento, com estruturas que indicam passagem de fluxo magmático e ocorrem próximas das cotas de 150 e 400 metros. Já o contato dos basaltos com as rochas ácidas (ATPs) é marcado pela



presença de basalto vitrofílico amigdaloidal, sendo que as rochas ácidas também apresentam amígdalas preenchidas por quartzo e zeólitas com alguma alteração nos planos de fraturas.

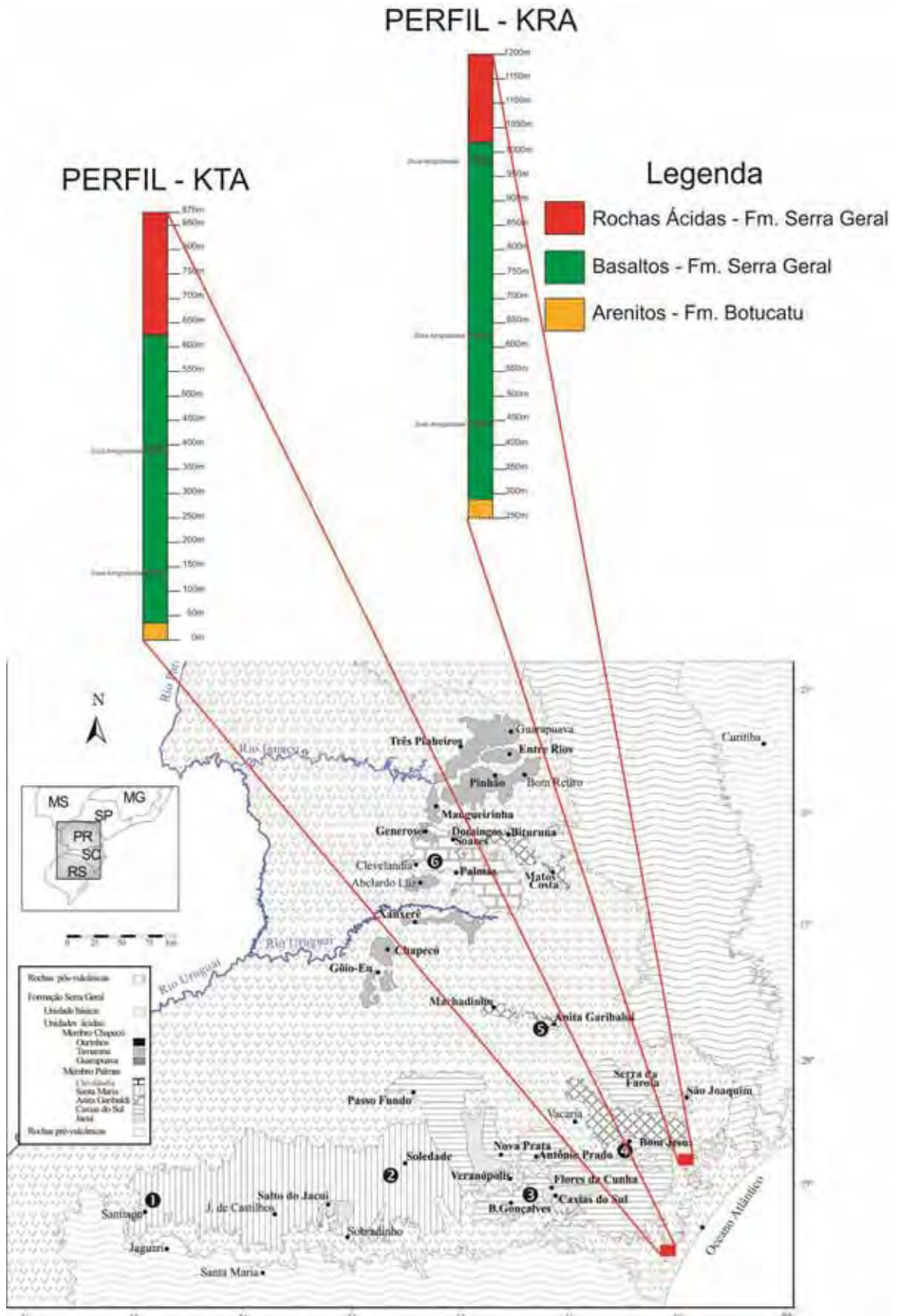


Figura 16- Figura que mostra a localização dos perfis KTA E KRA no contexto litoestratigráfico e litogeoquímico da Formação Serra Geral. (modificado de Nardy et al., 2002)

#### 4. LITOGEOQUÍMICA

Para a caracterização litogeoquímica foram utilizados vários diagramas que levaram em consideração tanto os minerais síalicos como máficos. Abaixo segue as tabelas com os resultados das análises químicas dos elementos maiores, menores e traços:

- Tabela com os resultados das Análises Químicas dos Elementos Maiores e Menores:

Amostra	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	Soma
KRA-911	53,44	1,59	13,49	14,00	0,19	4,43	8,20	2,81	1,49	0,24	0,31	100,19
KRA-912	54,98	1,30	13,57	12,87	0,18	4,48	8,48	2,50	1,53	0,17	0,37	100,43
KRA-013	54,64	1,33	13,70	13,18	0,18	4,52	7,98	2,75	1,83	0,17	0,25	100,52
KRA-914	55,25	1,55	13,49	13,49	0,18	3,91	8,35	2,28	1,06	0,22	0,19	99,97
KRA-915	52,59	1,15	14,44	11,81	0,18	6,22	9,57	2,26	0,95	0,17	1,12	100,45
KRA-917	54,88	1,68	13,01	13,46	0,18	3,13	6,80	2,67	1,88	0,20	2,60	100,49
KRA-918	54,70	1,35	13,85	12,97	0,18	4,47	7,91	2,71	1,76	0,18	0,50	100,59
KRA-919	51,68	1,29	13,91	12,09	0,19	6,03	9,92	2,30	1,37	0,18	0,83	99,78
KRA-920	53,73	1,75	13,40	13,43	0,19	3,80	8,09	2,35	1,04	0,26	2,60	100,64
KRA-921	52,90	1,81	13,41	14,72	0,20	4,33	7,81	2,71	1,69	0,29	1,32	101,18
KRA-922	53,03	1,67	13,33	13,42	0,19	4,47	8,64	2,95	0,94	0,28	1,47	100,38
KRA-924	52,95	1,57	13,29	13,48	0,18	4,52	7,89	2,73	1,44	0,24	1,09	99,40
KRA-925	56,53	1,69	13,58	12,63	0,16	3,34	6,53	3,05	2,26	0,29	0,25	100,31
KRA-926	67,84	1,08	12,39	7,31	0,16	1,40	3,38	3,06	3,40	0,28	0,56	100,87
KRA-927	53,20	1,30	14,20	12,71	0,19	6,03	9,70	2,62	1,06	0,18	0,24	101,42
KRA-928	53,83	1,32	13,76	12,97	0,17	5,34	9,26	2,46	1,29	0,19	1,09	101,66
KRA-929B	63,29	0,98	13,42	6,51	0,13	1,70	4,90	2,25	2,82	0,29	4,59	100,89
KRA-929A	66,88	0,92	12,56	5,99	0,11	1,29	3,35	3,17	3,41	0,27	1,47	99,42

KRA-929B	63,33	0,97	12,90	6,31	0,12	1,51	4,52	2,68	2,43	0,28	4,59	99,64
KRA-930	66,01	0,94	12,46	6,07	0,11	1,25	3,50	3,43	2,77	0,27	2,24	99,06
KRA-931	66,52	0,95	12,59	6,32	0,11	1,26	3,45	3,25	3,29	0,28	1,46	99,47
KRA-932VER	54,18	1,91	12,89	15,51	0,15	3,56	6,80	3,13	1,66	0,26	0,92	100,97
KRA-932MAR	52,92	1,66	13,57	13,61	0,19	4,55	7,86	2,84	1,74	0,25	0,60	99,79
KRA-933	67,25	1,04	12,18	6,23	0,12	1,43	2,92	3,07	3,77	0,32	1,10	99,43
KRA-934	65,15	1,04	12,52	6,95	0,13	1,39	3,81	3,01	3,32	0,29	1,63	99,24
KRA-935	67,47	1,01	12,07	6,77	0,12	1,31	3,19	3,05	3,43	0,28	0,46	99,15
KRA-936	51,91	1,29	13,82	13,01	0,19	5,81	9,58	2,57	0,86	0,19	0,58	99,80
KTA-962	50,88	0,92	15,23	10,25	0,17	7,49	10,87	2,04	0,99	0,13	0,54	99,52
KTA-963	61,60	1,28	13,59	9,41	0,14	2,37	6,02	3,00	2,15	0,26	1,67	101,48
KTA-964	54,36	1,30	14,56	11,38	0,19	4,87	8,50	2,48	1,81	0,23	0,37	100,04
KTA-965	50,77	1,11	14,84	10,46	0,16	5,17	8,79	1,71	1,57	0,19	5,15	99,93
KTA-966	54,76	1,64	12,77	14,02	0,16	3,28	7,81	2,47	1,15	0,22	1,76	100,03
KTA-967	53,59	1,24	14,13	11,81	0,16	4,68	8,79	2,44	0,81	0,18	2,27	100,10
KTA-968	53,08	1,19	14,25	11,86	0,18	5,36	9,05	2,40	1,00	0,17	1,41	99,94
KTA-969	51,42	1,17	14,52	12,35	0,19	6,08	10,20	2,33	0,76	0,18	1,54	100,75
KTA-970	51,94	1,20	15,11	12,29	0,19	5,38	9,94	2,45	1,11	0,18	1,02	100,80
KTA-971	56,90	1,62	12,54	13,34	0,17	2,69	6,51	2,70	2,41	0,23	0,18	99,27
KTA-972	66,57	1,24	13,51	6,02	0,11	1,05	3,04	2,98	3,60	0,27	0,65	99,04
KTA-974	68,20	0,83	11,67	5,94	0,10	0,67	2,18	2,47	4,70	0,26	1,69	98,69

- Tabela com os resultados das Análises Químicas dos Elementos Traços:

Amostra	Cr	Ni	Ba	Rb	Sr	La	Ce	Zr	Y	Nb	Cu	Zn	Co	V
KRA-911	55	38	403	36	235	23	22	167	37	13	137	106	41	344
KRA-912	63	43	320	42	198	12	26	129	28	8	98	93	46	328
KRA-013	74	49	371	54	177	21	30	111	26	9	28	93	48	350

KRA-914	68	34	424	29	524	34	39	170	32	10	114	116	43	401
KRA-915	127	77	430	22	264	23	30	129	31	11	77	99	52	285
KRA-917	36	11	498	63	262	34	40	152	31	13	26	113	44	395
KRA-918	54	49	372	48	183	19	29	143	30	10	87	101	45	330
KRA-919	115	55	230	41	202	18	19	115	29	7	124	75	42	272
KRA-920	56	26	383	17	640	34	37	211	42	14	195	112	41	432
KRA-921	37	36	438	21	272	37	29	197	42	19	168	116	42	381
KRA-922	53	35	475	29	310	33	28	182	37	17	148	92	36	307
KRA-924	48	37	495	33	263	17	24	175	40	16	157	104	42	353
KRA-925	99	35	551	71	182	34	44	189	42	16	89	115	39	335
KRA-926	128	7	786	151	143	51	87	230	87	24	66	76	12	97
KRA-927	56	62	241	23	220	15	8	110	28	8	118	89	47	342
KRA-928	89	62	240	59	255	19	33	101	27	8	55	96	49	317
KRA-929B	40	5	788	115	655	55	80	278	43	25	58	82	11	94
KRA-929A	108	7	668	157	156	41	61	242	41	25	55	76	11	89
KRA-929B	30	3	722	149	189	51	66	255	43	23	70	78	11	87
KRA-930	98	3	622	183	164	38	63	254	43	25	76	76	12	85
KRA-931	78	5	605	148	158	35	70	253	42	23	73	76	12	86
KRA-932VER	55	42	413	49	170	24	25	152	49	11	116	124	43	397
KRA-932MAR	49	39	445	26	228	23	25	181	39	16	155	112	40	404
KRA-933	63	4	741	139	129	39	45	290	56	24	118	71	10	72
KRA-934	75	6	589	137	167	38	62	240	41	22	68	78	13	109
KRA-935	187	13	726	160	144	42	72	241	116	24	96	90	14	101
KRA-936	90	61	255	20	243	22	23	119	32	8	143	87	43	344
KTA-962	254	113	241	27	222	13	21	89	22	7	72	77	44	261
KTA-963	45	13	635	98	217	35	55	185	31	17	41	90	27	231
KTA-964	124	65	388	48	231	21	32	164	31	14	87	87	38	244
KTA-965	144	74	357	46	177	26	30	143	26	11	78	90	39	235

KTA-966	86	36	488	68	270	29	42	175	37	13	121	107	46	429
KTA-967	69	50	275	30	241	29	29	131	26	10	61	99	41	303
KTA-968	81	44	380	26	229	22	21	132	27	10	65	99	47	301
KTA-969	79	64	360	12	238	20	22	126	28	11	85	99	46	285
KTA-970	66	47	381	17	259	25	25	122	27	10	69	89	42	271
KTA-971	84	15	513	65	172	26	55	156	33	15	26	117	42	338
KTA-972	154	4	662	189	119	38	82	224	38	23	24	73	8	56
KTA-974	70	4	708	166	148	46	77	235	40	24	23	79	9	58

No diagrama TAS (*Total Álcalis-Silica diagram*; Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O %PESO vs SiO<sub>2</sub>%PESO) utilizando os campos para rochas vulcânicas segundo LeBas et. al. 1986 (Figura 9) as amostras situam-se em 3 grupos distintos de teores de sílica, separados em rochas ácidas (SiO<sub>2</sub> > 64%), intermediárias (SiO<sub>2</sub> ≥ 54% e SiO<sub>2</sub> < 64%) e básicas (SiO<sub>2</sub> < 54% e SiO<sub>2</sub> > 42%) .

Na Figura 17, temos que as amostras do perfil KTA classificam-se no campo dos Basaltos (Amostras KTA-962, KTA-965, KTA-969 e KTA-970), campo dos Basaltos Andesíticos (Amostras KTA-964, KTA-966, KTA-967, KTA-968 e KTA-971), campo dos Andesitos (Amostra KTA-963) e campo dos Dacitos (Amostras KTA-972, KTA-973 e KTA-974). Já as amostras do perfil KRA classificam-se no campo dos Basaltos (Amostras KRA-919 e KTA-936), campo dos Basaltos Andesíticos (Amostras KRA-911, KRA-913, KRA-914, KRA-915, KRA-917, KRA-918, KRA-920, KRA-921, KRA-922, KRA-924, KRA-925, KRA-928 e KRA-932), campo dos Dacitos (Amostras KRA-926, KRA-929, KRA-930, KRA-931, KRA-933, KRA-934 e KRA-935).

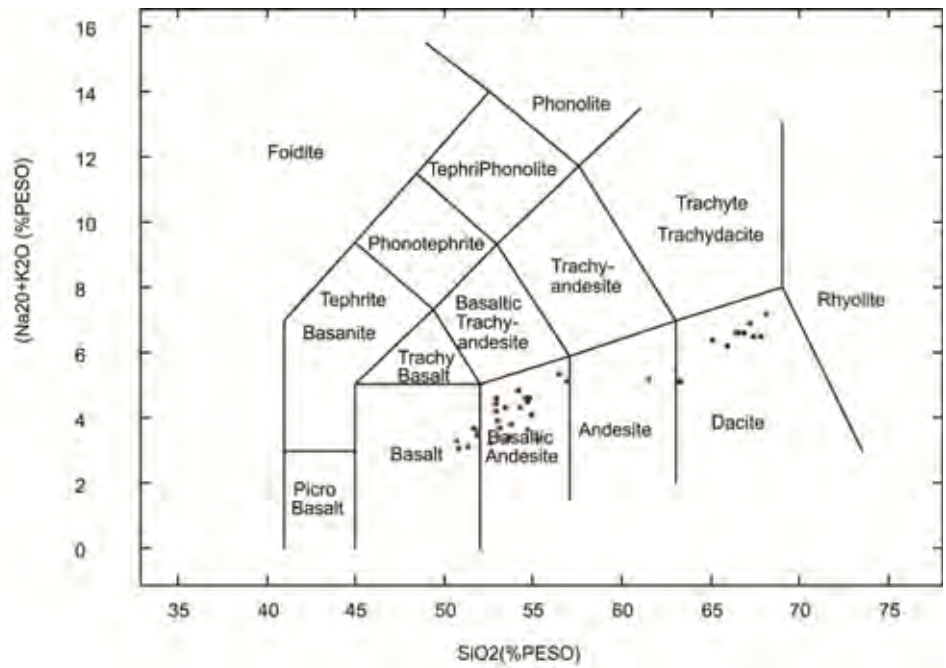


Figura 17 - Figura discriminante do Diagrama TAS (Total Alcalis vs Silica) com campos classificatórios segundo LeBas et. al. 1986, com amostras de cor azul representativas do perfil KTA e amostras de cor vermelha representativa do perfil KRA.

A partir do diagrama TAS elaborou-se dois novos perfis contendo a classificação segundo LeBas et. al. 1986 (Figura 18) onde as rochas são classificadas como Basaltos, Basaltos Andesíticos, Andesitos e Dacitos.

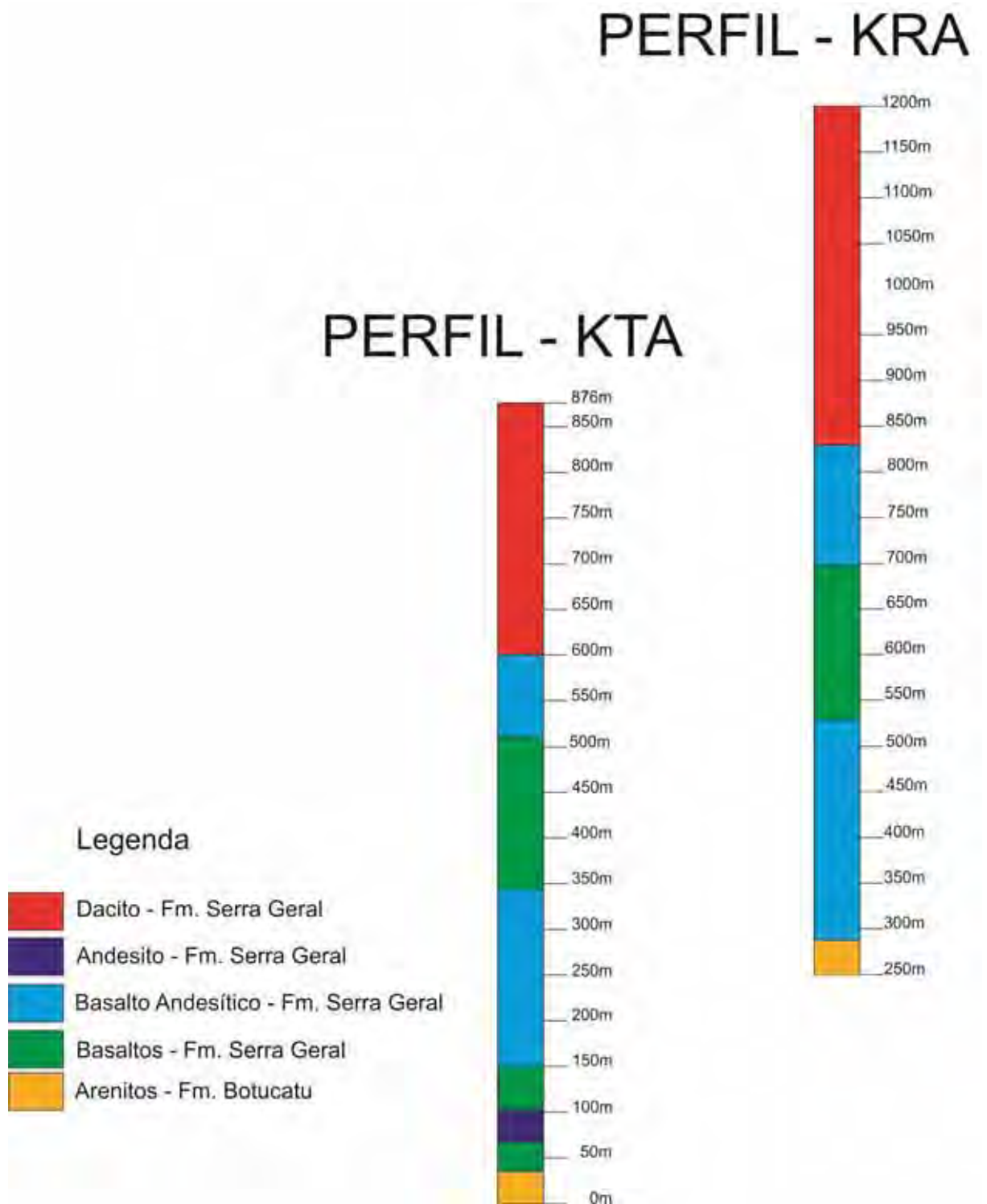


Figura 18 - Perfis KTA e KRA classificados de acordo com o diagrama TAS, segundo LeBas et. al. 1986.



No diagrama AFM segundo Irvine&Baragar et. al. 1971, as amostras investigadas situam-se nos campos das rochas Toleíticas (acima da curva em destaque), como mostrado na Figura 20.

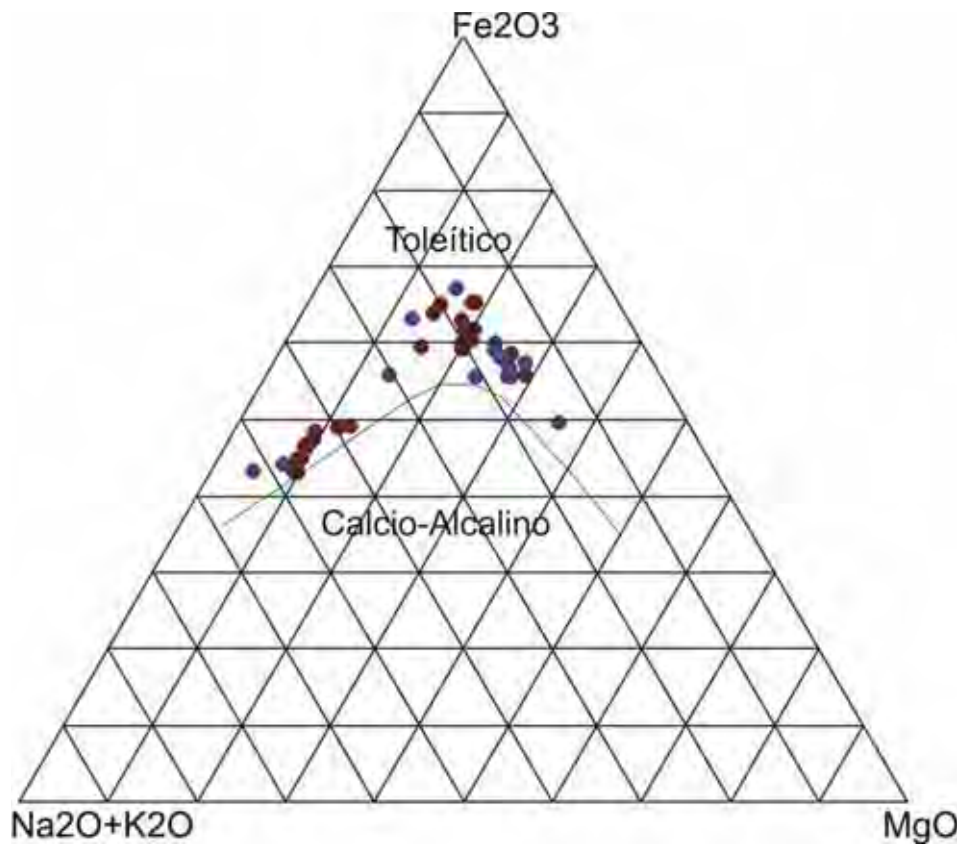


Figura 20- Diagrama AFM segundo Irvine&Baragar et. al. 1971, que evidencia as amostras no campo Toleítico (acima da curva em destaque).

O diagrama  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{K}_2\text{O}$  segundo Middlemost et. al. 1975, classifica as amostras em sua maioria como tendo afinidade Sub-Alcalina, embora poucas amostras (KTA-965, KTA-971, KTA-972 KRA-925, KRA-933) tenham também afinidade Alcalina (Figura 21).



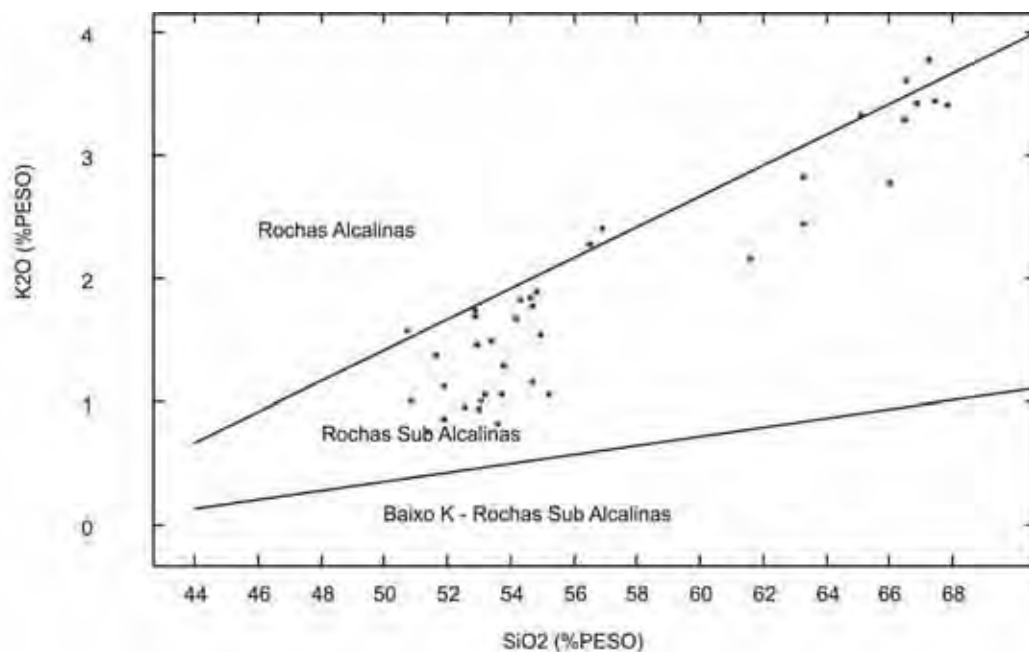


Figura 21 - Diagrama AFM segundo Middlemost et. al. 1975, com rochas do Perfil KTA em azul e rochas do Perfil KRA em vermelho, sendo classificadas em sua maioria com rochas Sub-Alcalinas.

Para a caracterização química e comparações entre os perfis investigados, foram construídos diagramas de variação de elementos maiores, menores e traços em função de um único índice de evolução magmática, no caso do MgO, como mostra os diagramas da Figura 22.

De maneira geral, observa-se que, com a diminuição do MgO, existe um aumento nas concentrações de SiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O e K<sub>2</sub>O, e uma diminuição nas concentrações de CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Já para as concentrações de TiO<sub>2</sub> e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, para as diversas amostras analisadas, são dispersas, sem formações de *trends* que indiquem a variação de MgO.

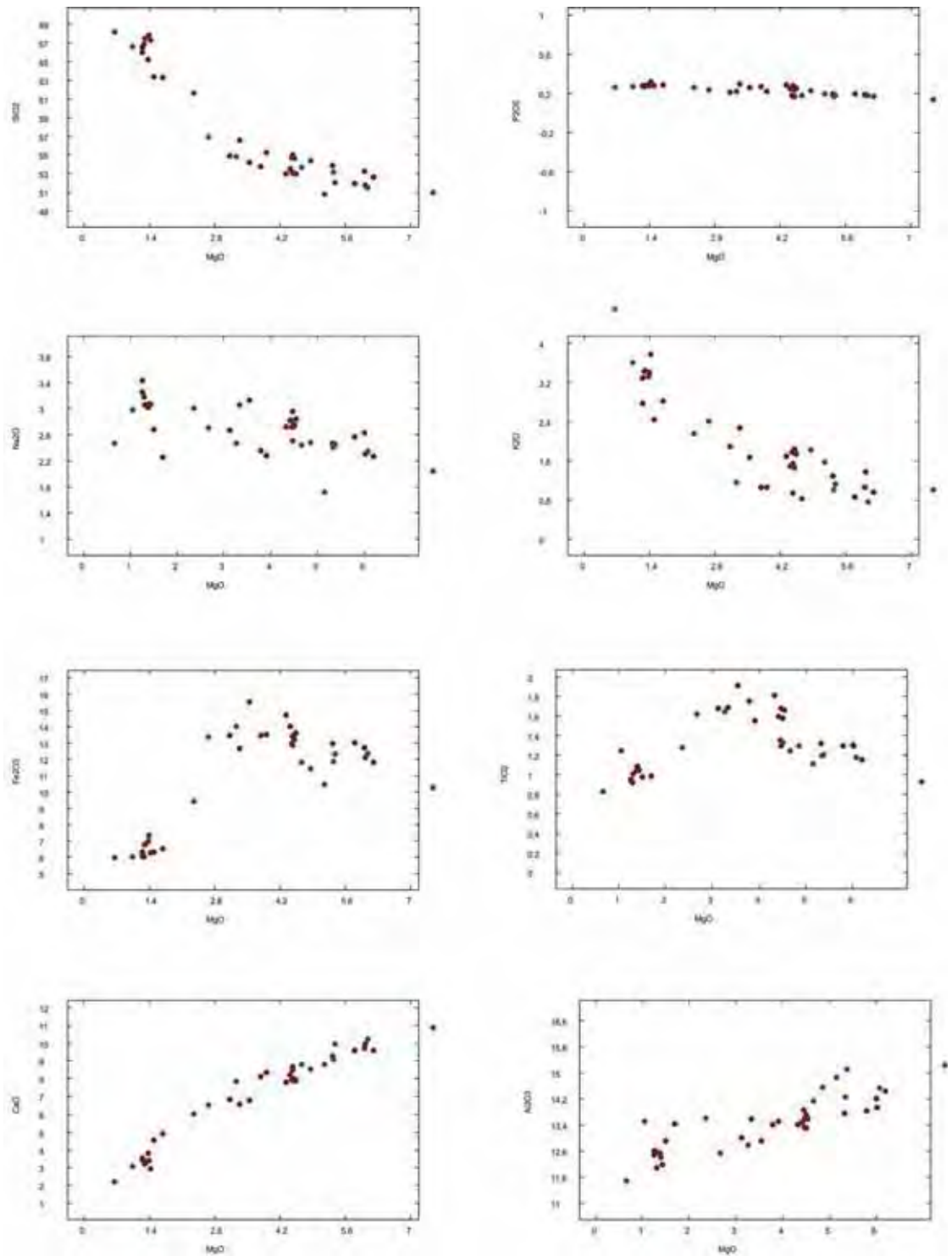
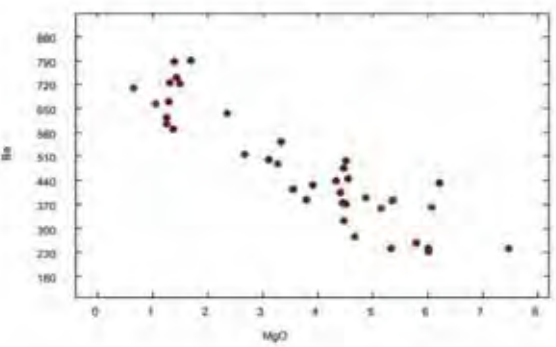
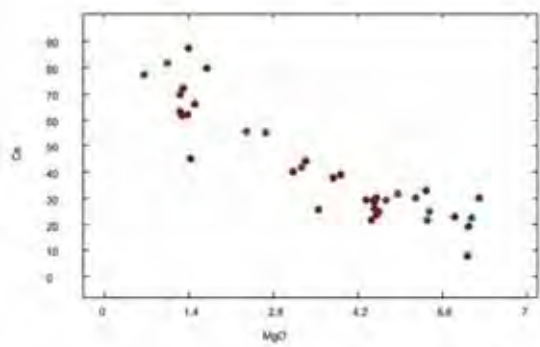
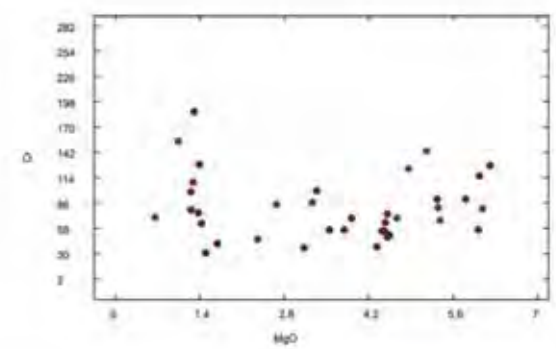
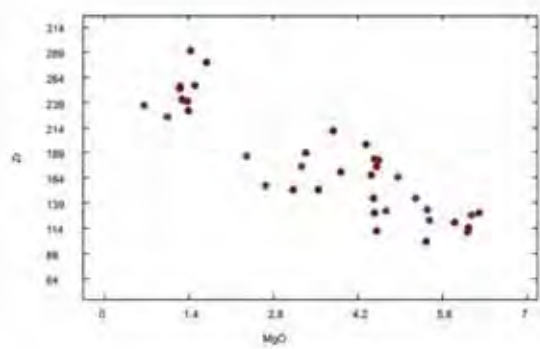
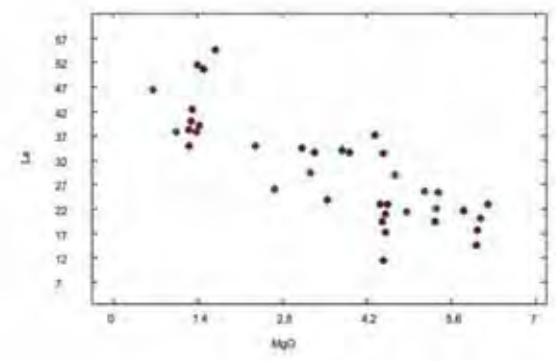
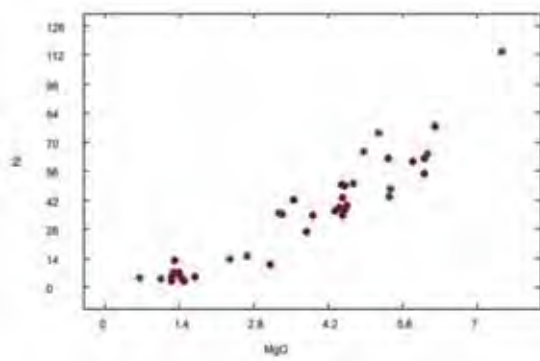
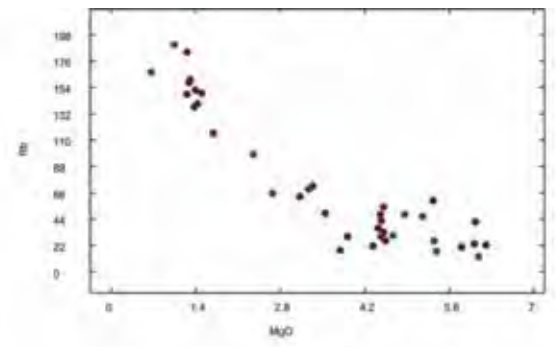
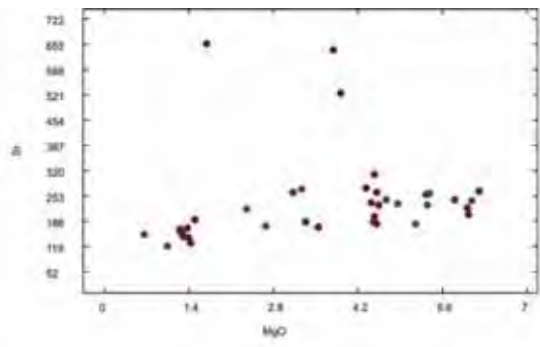


Figura 22- Diagrama de variação de elementos maiores e menores (%) em função do MgO (%) dos corpos investigados. Legenda: Círculos vermelhos – perfil KRA; círculos azuis – perfil KTA.

Também para o estudo geoquímico, foram utilizados os elementos traços, e também em relação ao MgO como índice de evolução, percebe-se que claramente que, com o aumento das concentrações de MgO, ocorre uma diminuição das concentrações de La, Ce, Zr, Rb, Ba, Nb, e aumento das concentrações de Ni, V, Co, e também nota-se poucas variações em relação ao MgO para os elementos: Cu, Zn, Y, Cr, Sr, sem a formação de *trends* nos diagramas. (Figura 23).



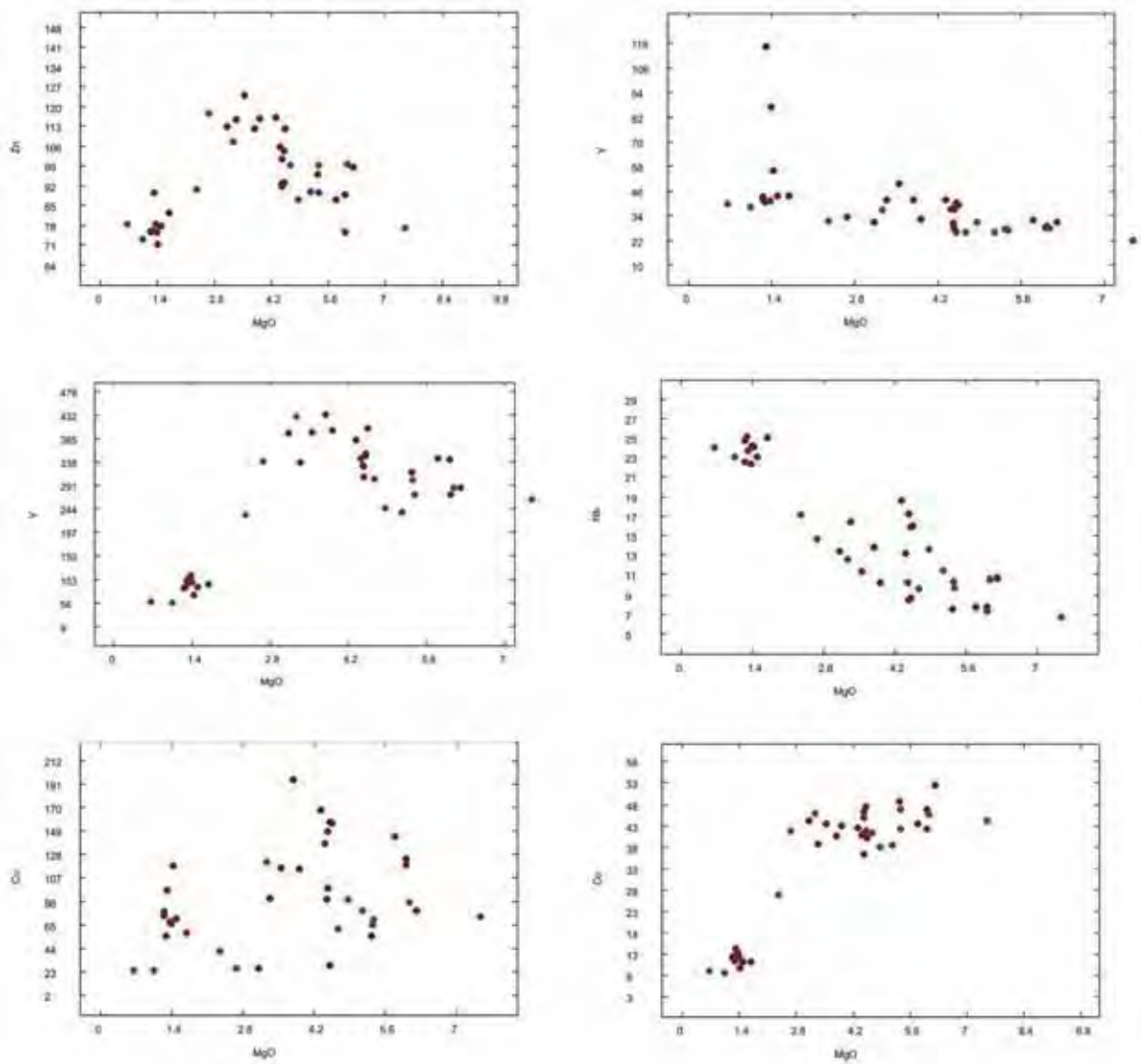


Figura 23 – Diagrama de variação de elementos traços (ppm) em função do MgO (%) dos perfis investigados. Legenda: Círculos em azul – perfil KTA; Círculos em vermelho – perfil KRA.



## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 Magmas-tipo dos perfis apresentados

Levando-se em conta os dados geoquímicos abordados no presente trabalho, as amostras apresentam concentrações de  $\text{TiO}_2$  menores que 2%, ou seja, caracterizando o tipo denominado como Baixo-Ti, pertencendo a parte Sul da Província Magmática do Paraná.

Aceitando que estas rochas pertencem ao grupo Baixo-Ti, e este por sua vez pode ser subdivido em magma-tipo básicos e magma-tipo ácidos, sendo eles: Ribeira ( $1,5\% < \text{TiO}_2 < 2,3\%$ ;  $200 \text{ ppm} < \text{Sr} < 375 \text{ ppm}$ ), Gramado ( $0,75\% < \text{TiO}_2 < 1,9\%$ ;  $140 \text{ ppm} < \text{Sr} < 400 \text{ ppm}$ ) e Esmeralda ( $1,1\% < \text{TiO}_2 < 2,3\%$ ;  $120 \text{ ppm} < \text{Sr} < 250 \text{ ppm}$ ), segundos critérios de Peate et al. (1992).

Com a elaboração do diagrama  $\text{TiO}_2$  vs Sr, as rochas estudadas de ambos os perfis, caracterizadas como básicas, concentram-se nos campos Gramado e Esmeralda. Os níveis de  $\text{TiO}_2$  variam entre 1,9% e 0,8%, e os níveis de Sr variam entre 350 ppm e 150 ppm como mostrado na Figura 15. Fica evidente a classificação das rochas básicas no diagrama  $\text{Ti/Zr} \times \text{Sr}$ , onde nota-se que a concentração da razão  $\text{Ti/Zr}$  no subtipo Gramado apresenta valor menores que 70 e no subtipo Esmeralda apresentam valores maiores do que 60, seguido por valores de Sr variando de 140 ppm à 400 ppm nas rochas do tipo Gramado e valores menores que 250 ppm nas rochas tipo Esmeralda. (Figura 24).

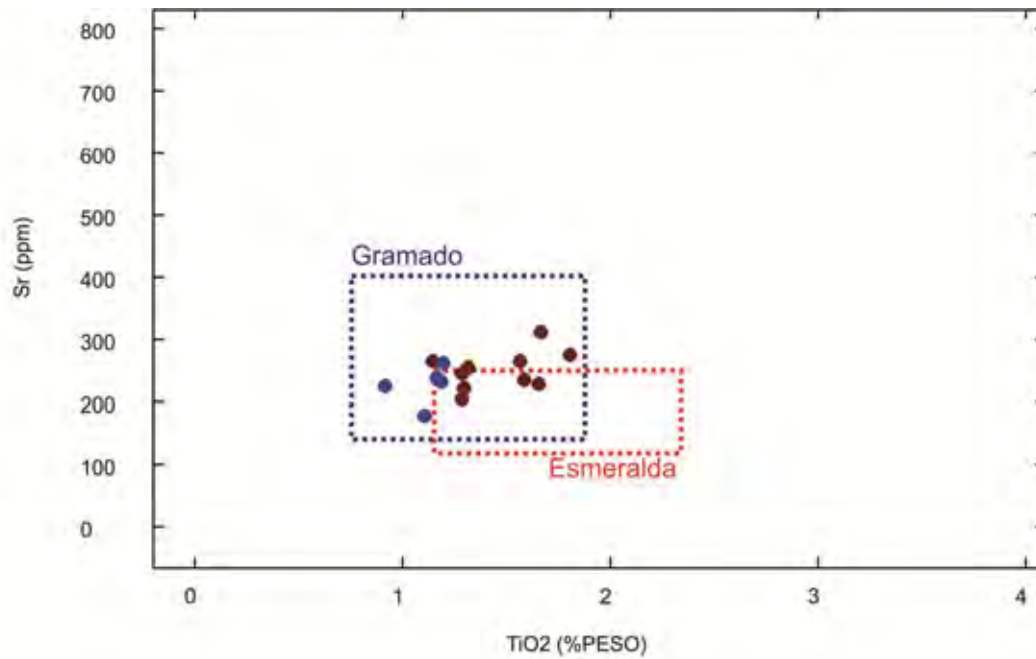


Figura 24 – Diagrama de  $TiO_2$  (%PESO) vs Sr (ppm). Legenda – Circulos vermelhos – Perfil KRA e Circulos Azuis – Perfil KTA.

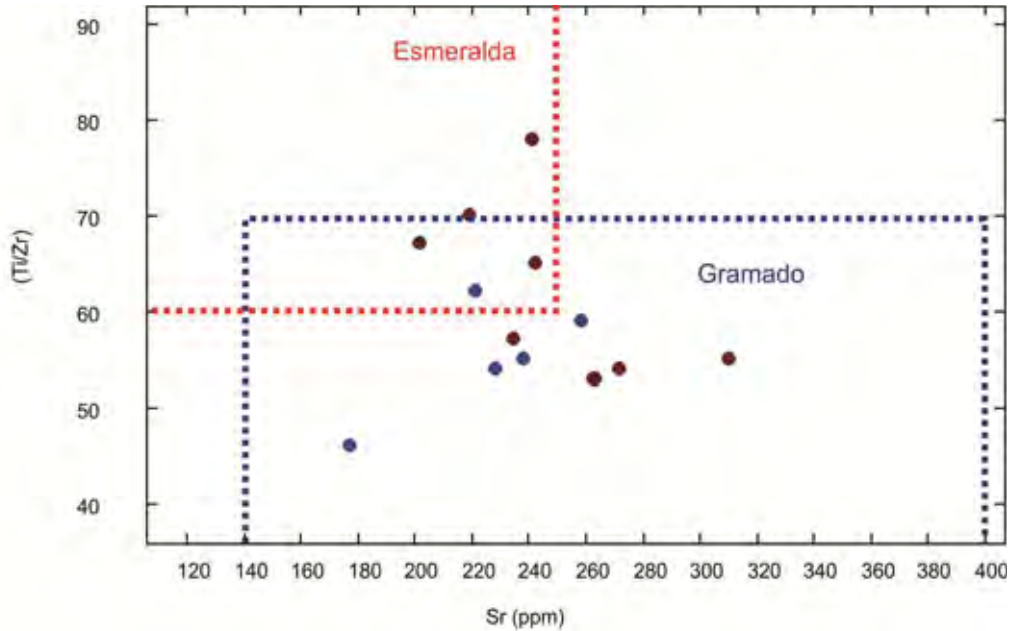


Figura 25 – Diagrama  $Ti/Zr$  x Sr, que mostra as rochas de ambos os perfis, subdivididas em Gramado e Esmeralda, de acordo com Peate et. al (1992).

Para as rochas com alta porcentagem de Sílica, caracterizadas como ácidas, foi elaborado um diagrama de  $TiO_2 \times P_2O_5$  para classificação dos diferentes subgrupos. Os níveis de  $TiO_2$  variaram entre 1,4% e 0,8% e os níveis de  $P_2O_5$  variaram por volta de 0,3 %. Sendo assim caracterizadas como o subgrupo Caxias, de acordo com a classificação proposta por Peate et. al (1992) (Figura 26).

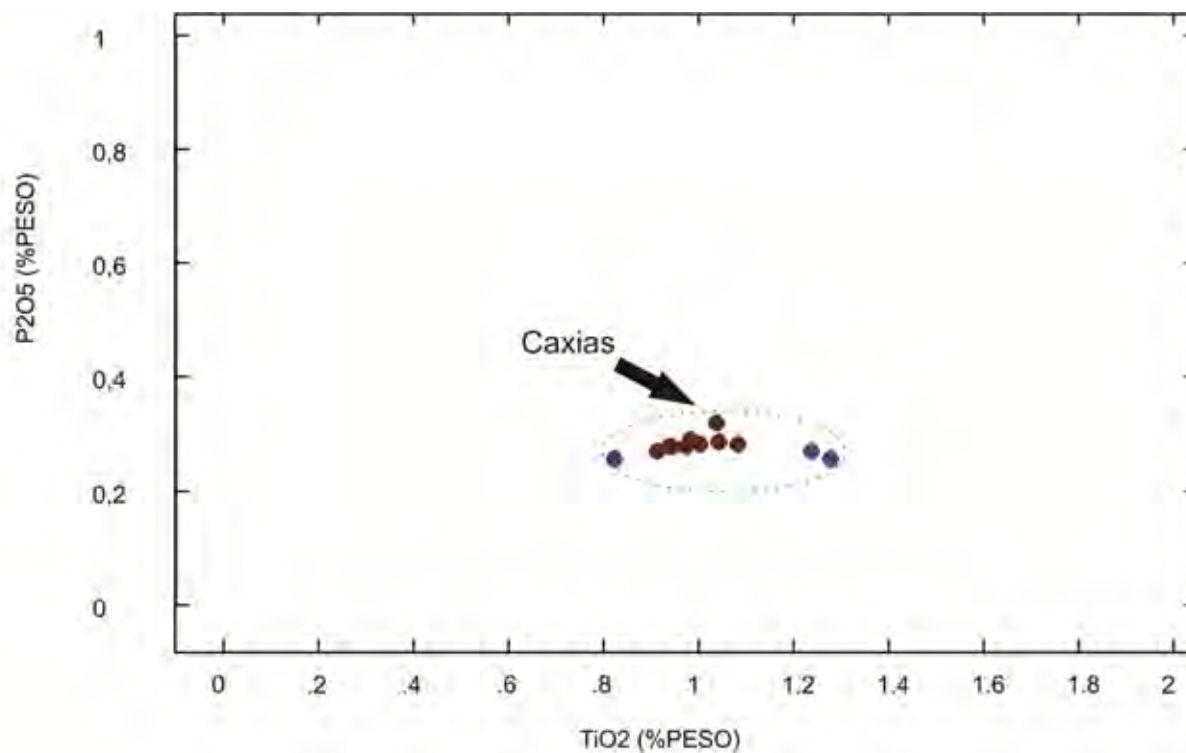


Figura 26 – Diagrama  $TiO_2 \times P_2O_5$  das amostras dos perfis estudados. Legenda – Circulos vermelhos – Perfil KRA e Circulos Azuis – Perfil KTA.

Com o objetivo de aprimorar a caracterização geoquímica feita, elaborou-se um diagrama do tipo *spider* (ou multielementar), Figura 27, que comparou quatro tipos distintos de amostras, sendo elas: amostras básicas ( $SiO_2 < 54\%$  e  $SiO_2 > 42\%$ ) do tipo Esmeralda, amostras básicas ( $SiO_2 < 54\%$  e  $SiO_2 > 42\%$ ) do tipo Gramado, amostras intermediárias ( $SiO_2 \geq 54\%$  e  $SiO_2 < 60\%$ ) e amostras ácidas ( $SiO_2 > 60\%$ ). As amostras ácidas são mais enriquecidas em elementos incompatíveis do que os outros tipos abordados no diagrama, e as menos enriquecidas são as amostras básicas do tipo Esmeralda, sendo que as outras duas restantes possuem padrões intermediários de concentrações de elementos incompatíveis.

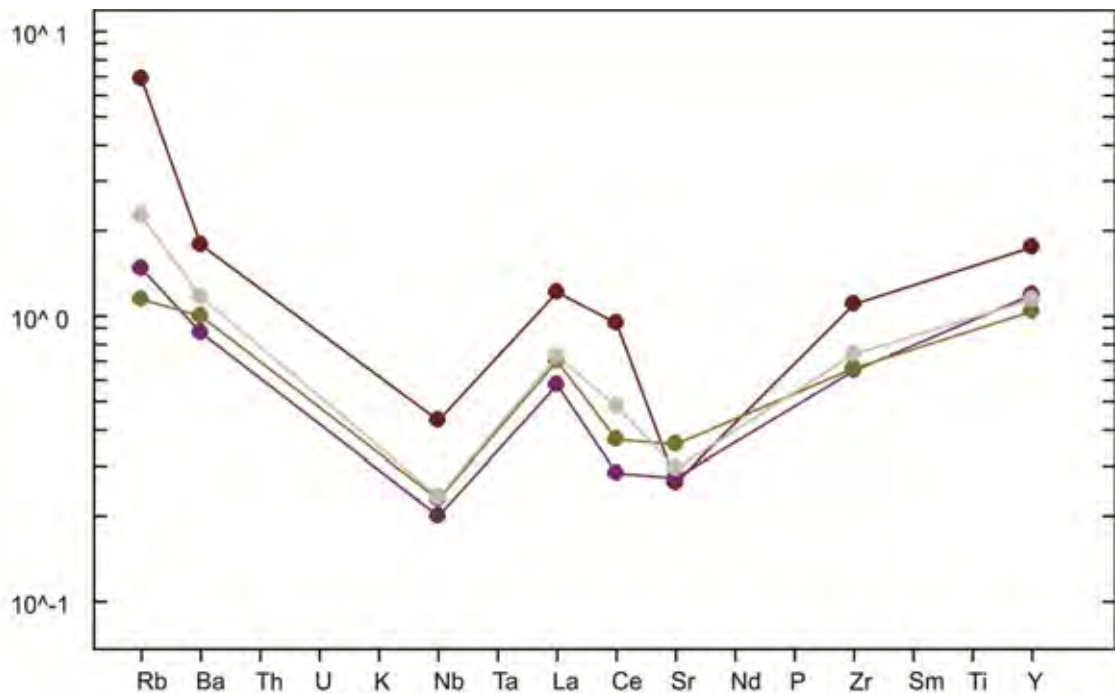


Figura 27 – Diagrama “spider” (ou multielementar), com elementos normalizados em relação Average OIB-Sun (1980). Legenda – Círculos vermelhos – Amostras ácidas; Círculos roxos – Amostras básicas do tipo Esmeralda; Círculos verdes – Amostras básicas do tipo Gramado e Círculos cinzas - Amostras intermediárias.

## 5.2 Conclusões

Deve-se ressaltar que para as amostras investigadas de ambos os perfis propostos, foram elaborados diagramas geoquímicos como o TAS (Total Alcalis Silica) que concluiu que as rochas são caracterizadas por basaltos, basaltos andesíticos e dacito, já o diagrama AFM concluiu que as amostras possuem afinidade sub-alcálica e caráter toleítico.

Conclui-se, com base nos dados químicos, que estas rochas pertencem à parte Sul da PMP, e são do tipo Baixo-Ti ( $\text{TiO}_2 > 2\%$ ). Além disto, seguindo os padrões de classificação proposto por Peate et. al (1992), verificou-se que as rochas ácidas são dadas por magma-tipo Palmas, do subtipo Caxias e as básicas subdividem em dois tipos, Esmeralda e Gramado.

Com o diagrama Ti/Zr x Sr foi possível esclarecer que a amostra KRA-928 foi à única que se encaixou no campo dos basaltos do tipo Esmeralda, e as amostras KRA-919, KRA-936 e KTA-962 estão num campo de intersecção entre Esmeralda e Gramado, sendo sua diferenciação muito difícil por algumas amostras como KRA-920 e KRA-917 apresentarem o coeficiente de perda ao fogo maior do que 2% (LOI > 2%). Já as outras amostras são pertencentes aos basaltos do tipo Gramado e são elas: KRA-911, KRA-915, KRA-921, KRA-922, KRA-924, KRA-927, KTA-968, KTA-969 e KTA-970.

Em relação ao diagrama *spider* (multielementar) pode-se observar que os quatros trends (rochas ácidas, rochas intermediárias, rochas básicas do tipo Gramado e rochas básicas do tipo Esmeralda) analisados provavelmente são produtos de um mesmo material parental, visto que, seus padrões de distribuição de elementos incompatíveis apresentam um mesmo padrão de variação. Além disso, os diagramas de variação mostram produto de cristalização fracionada, ou seja, as rochas ácidas serão derivadas das básicas, cristalizando os minerais presentes como fenocristais, no caso: augita (pigeonita), plagioclásio e magnetita. Destaca-se que, no diagrama multielementar, a rocha de natureza ácida, apresenta uma acentuada anomalia negativa de Sr, em comparação com as demais. Isto pode ser explicado pelo fracionamento de uma grande quantidade de Feldpatos (Plagioclásios), comuns nestas rochas.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BELLIENI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MARQUES, L.S.; MELFI, A.J.; NARDY, A.J.R.; PAPATRECHAS, C.; PICCIRILLO, E. M. & ROISENBERG, A. 1986. Petrogenetic aspects of acid and basaltic lavas from the Paraná plateau (Brazil): geological, mineralogical and petrochemical relationships. *J. Petrol.*, **27**: 915-944.
- ERNESTO, M.; RAPOSO, M.I.B; MARQUES, L.S.; RENNE, P.R.; DIOGO, L.A. & DE MIN, A. 1999. Paleomagnetism, geochemistry and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating of the North-eastern Paraná Magmatic Province: tectonic implications. *J.Geodyn.*, **28**, 321-340.
- ERNESTO., M; MARQUES, L.S.; PICCIRILLO, E.M.; MOLINA, E.C.; USSAMI, N.; COMIN-CHIARAMONTI, P; BELLINI, G. 2002. Paraná Magmatic Province-Tristan da Cunha plume system: fixed versus mobile plume, petrogenetic considerations and alternative heat sources. *J.Volc.Geot. Res.*, **118**, 15-36.
- EWART, A.; MARSH, J.S.; MILNER, S.C.; DUNCAN, A.R.; KAMBER, B.S.; ARMSTRONG, R.A. 2004a. Petrology and Geochemistry of Early Cretaceous bimodal continental flood volcanism of the NW Etendeka, Namibia. Part 1: Introduction, Mafic Lavas and Re-evaluation of mantle source components. *J. Petrol.*, **45** (1), 59-105.
- EWART, A.; MARSH, J.S.; MILNER, S.C.; DUNCAN, A.R.; KAMBER, B.S. ARMSTRONG, R.A. 2004b. Petrology and geochemistry of Early Cretaceous bimodal continental flood volcanism of NW Etendeka, Namibia. Part2: Characteristics and petrogenesis of the high-Ti latite eruptive, *J.Petrol.*, **45** (1), 117-138.
- GARLAND, F., HAWKESWORTH, C.J., MANTOVANI, M.S.M. 1995. Description and Petrogenesis of the Paraná Rhyolites, Southern Brazil. *J.Petrol.*, v. **36** (5), 1193-1227.
- HEINRICH, T. F., GOMES, M.E.B., FORMOSO, M.L.L (*dados inéditos*). Review of the areal extent and the volume of the Serra Geral Formation-Paraná Basin, South America.
- MANTOVANI, M.S.M., MARQUES, L.S., SOUZA, M.A., ATALLA, L., CIVETA, L., INONOCENTI, F. 1985. Trace Element and Strontium Isotope Constrains of the Origin and Evolution of Paraná Coantinal Flood Basalts of Santa Catarina State (Southern Brazil). *J. Petrol.* **26**, 187-209.
- MARZOLI, A.; RENNE, P.R.; PICCIRILLO, E.M.; ERNESTO, M.; BELLINI, G.; DE MIN, A. 1999. Extensive 200-million-year-old continental flood basalts of the central atlantic magmatic province. *Science*, **284**, 616-618.



- MARSH J.S., EWART A., MILNER, S.C., DUNCAN A.R., MILLER R. MCG. 2001. The Etendeka Igneous Province: magma types and their stratigraphic distribution with implications for the evolution of the Paraná-Etendeka flood basalt province. *Bull. Volcan.*, **62**, 464-486.
- MILNER S.C., DUNCAN A.R., WHITTINGHAM, A.A., EWART A. 1995. Trans-Atlantic correlation of eruptive sequences and individual silic volcanic units within the Paraná-Etendeka igneous province. *J. Volc. Geoth. Res.*, **69**, 137-157.
- MINCATO, R. L., ENZWEILER, J., SCHRANK, A. 2003. Novas idades  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  e implicações na metalogênese dos depósitos de sulfetos magmáticos de Ni-Cu-EGP na Província Ígnea Continental do Paraná.. *In: IX Cong. Bras. de Geoq. 2003, Belém - PA., 4, Anais ....*
- NARDY, A.J.R., PICCIRILLO, E.M., COMIN-CHIARAMONTI, P., MELFI, A.J., BELLINI, G., OLIVEIRA, M.A.F. 1993. Caracterização litoquímica e aspectos petrológicos de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral: Região centro-sul do Estado do Paraná. *Geociências*, **12(2)**, 275-313.
- NARDY, A.J.R., OLIVEIRA, M.A.F., BETANCOURT, R.H.S., VERDUGO, D.R.H., MACHADO F.B. 2003. Litoestratigrafia da Formação Serra Geral. *Geociências*, **21(2)**, 15 – 32.
- NARDY A.J.R., MACHADO, F.B., OLIVEIRA, M.A.F. 2008. As rochas mesozóicas ácidas da Bacia do Paraná: Litoestratigrafia e considerações geoquímico-estratigráficas. *Rev. Bras. Geoc.*, **38(1)**, 180-197.
- PEATE, D., HAWKESWORTH, C.J., MANTOVANI, M.S.M. 1992. Chemical Stratigraphy of the Paraná Lavas (South America): Classification of Magma Types and their Spatial Distribution. *Bulletin of Volcanology*, **55**, 119-139.
- PICCIRILLO E.M., COMIN-CHIARAMONTI P., MELFI A.J., STOLFA D., BELLINI G., MARQUES L.S., GIARETTA A., NARDY A.J.R., PINESE J.P.P., RAPOSO M.I.B., ROISENBERG A. 1988. Petrochemistry of Continental Flood Basalt-Rhyolitic Suites and Related Intrusives from the Paraná Basin, Brazil. *In: E.M. Piccirillo & A.J. Melfi (eds.). The Mesozoic Flood Volcanism of the Paraná Basin: Petrogenetic and and Geophysical Aspects. IAG-USP, 107-156.*
- RENNE, P., ERNESTO, M., PACCA, I.G., COE, R.S., GLEN, J.M., PREVÓT, M., PERRIN, M. 1992a. The Age of Paraná Flood Volcanism, Rifting of Gondwanaland, and the Jurassic – Cretaceous Boundary. *Sciences*, **253**, 975-979.
- RENNE, P.R.; DECKART, K.; ERNESTO, M.; FÉRAUD, G.; PICCIRILLO, E.M. 1996. Age of the Ponta Grossa dike swarm (Brazil), and implications to Paraná flood volcanism. *Earth Plan. Sci. Lett.*, **144**, 199-211.

RENNE, P.R.; ERNESTO, M.; PACCA, I.G.; COE, R.S.; GLEN, J.; PRÉVOT, M.; PERRIN, M.  
1992b. Rapid eruption of the Paraná flood volcanism, rifting of southern Gondwanaland and the  
Jurassic-Cretaceous boundary. *Science*, **258**, 975-979.

THIEDE, D.S. & VASCONCELOS, P.M. Paraná flood basalts: Rapid extrusion hypothesis  
supported by new  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  results. In: 44<sup>o</sup> Congresso Bras. Geol., Curitiba, PR, 2008, 563.