



**"DATAÇÃO U-Pb E GEOQUÍMICA DE ZIRCÕES DO GRUPO SERRA
GERAL, SUL DO BRASIL"**

PORTO ALEGRE, 2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Rui Vicente Oppermann

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Brückmann, Matheus Philipe

Datação U-Pb e geoquímica de zircões do Grupo Serra Geral, Sul do Brasil. / Matheus Philipe Brückmann. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2015.
[46 f.] il.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso).- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Graduação em Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2015.

Orientador(es): Léo Afrâneo Hartmann

Coorientador(es): Ruy Paulo Philipp

1. Grupo Serra Geral 2. Grandes Províncias Ígneas 3. Geocronologia U-Pb 4. Geoquímica de zircões I. Título.

CDU 550.4

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Renata Cristina Grun

CRB 10/1113

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Campus do Vale Av. Bento Gonçalves, 9500 - Porto Alegre - RS - Brasil

CEP: 91501-970 / Caixa Postal: 15001.

Fone: +55 51 3308-6329 Fax: +55 51 3308-6337

E-mail: bibgeo@ufrgs.br

MATHEUS PHILIPPE BRÜCKMANN

"DATAÇÃO U-Pb E GEOQUÍMICA DE ZIRCÕES DO GRUPO SERRA GERAL, SUL DO BRASIL".

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau Bacharel em Geologia.

Orientadores: Prof. Dr. Léo Afraneo Hartmann;

Prof. Dr. Ruy Paulo Philipp

PORTO ALEGRE, 2015

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos são para todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a elaboração desta monografia me ajudando de várias formas ao longo da minha graduação. Em especial agradeço a minha família pelo apoio em todos os momentos possíveis. Aos Professores Léo A. Hartmann e Ruy Paulo Phillip pelas grandes oportunidades a mim cedidas para o meu crescimento como geólogo e cientista, pela amizade e disponibilidade que jamais serão esquecidas! Agradeço aos colegas do Centro Acadêmico dos Estudantes de Geologia pelas inúmeras conversas geológicas e pelos diversos aprendizados pra vida. Agradeço a todos os professores que, ao longo da minha graduação, se dedicaram de alguma forma para a transmissão do conhecimento a fim de formarem geólogos competentes para o mercado de trabalho. Agradeço a Universidade Federal do Rio grande do Sul e ao Instituto de Geociências por buscarem sempre a excelência no que diz respeito à educação profissional. Ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo e ao Instituto de Mineralogia e Cristalografia da Universidade de Stuttgart da Alemanha por fornecerem laboratórios da mais alta tecnologia que foram utilizados para elaboração desta monografia. Por fim, agradeço a classe trabalhadora brasileira que sustenta este país com grande esforço diário e que indiretamente financiam as universidades com os altos impostos arrecadados, tornando assim, o privilégio de uma graduação de qualidade uma realidade.

"A educação desenvolve as faculdades, mas não as cria."

Voltaire

RESUMO

A Província Vulcânica Paraná, na qual se insere o Grupo Serra Geral, compreende uma grande província ígnea (*Large Igneous Provinces*) de grandes acúmulos de basaltos continentais (*Continental Flood Basalts*). Esta cobre uma área de aproximadamente 917,000 km² e vem sendo estudada há mais de 100 anos por diversos autores em diferentes áreas de conhecimento abrangendo estudos multi-disciplinares de geoquímica, estratigrafia, petrografia, paleomagnetismo e geocronologia. No Grupo Serra Geral, diversas idades já foram publicadas por diferentes métodos isotópicos. Uma grande quantidade de dados geocronológicos já publicados (⁴⁰Ar-³⁹Ar, K-Ar, Rb-Sr, Re-Os e U-Pb) nos remete a modelos de um rápido extravasamento com altas taxas de efusão de lavas, todos com menos de 3 milhões de anos de duração. Em contrapartida, uma gama de análises ⁴⁰Ar-³⁹Ar demonstram um intervalo mais longo entre 137 e 127 Ma. Todo este registro de idades já possibilitou diferentes interpretações para a origem e formação desta província, bem como seu impacto associado às condições de vida na Terra. Novas idades U-Pb, obtidas pelo USP-SHRIMP-IIe, apresentadas nesta monografia, possibilitam a interpretação de um longo período de duração para o magmatismo formador do Grupo Serra Geral. Estas idades foram obtidas a partir de 61 cristais de zircão de três amostras geograficamente e estratigraficamente distintas e resultam em idades Concórdia de 134.5 ± 2.1 , 131.4 ± 1.4 e 119.3 ± 0.95 Ma. O novo intervalo de tempo de 16 Ma de formação para o Grupo Serra Geral nos fornece a ideia de que os gases formadores do efeito estufa foram assimilados pela atmosfera ao longo deste período e aparentemente sem grandes danos a vida existente no início do Cretáceo. As grandes províncias ígneas conhecidas, como a Deccan, Karoo e do Columbia River, caracterizam-se por um intervalo bastante curto de tempo do magmatismo (< 3 Ma) de acordo com algumas idades ⁴⁰Ar-³⁹Ar, estas estão associadas a grandes extinções em massa que ocorreram devido, principalmente, a altas taxas de emissão de gases causadores de efeito estufa neste curto intervalo de tempo. A geoquímica de zircões de Grandes Províncias ígneas é um tema bastante novo na literatura, sendo que não existem trabalhos existentes na que abordem o tema. No entanto, nesta monografia serão apresentadas análises geoquímicas em 30 zircões de três amostras, pelo método LA-ICP-MS. Quando discriminados os elementos Si, Zr, Sr, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Nb, Ta, Th, U, Y em diagramas geotectônicos, percebemos que as três amostras analisadas ocupam o campo de ambiente continental.

Palavras-Chave: Grupo Serra Geral, Grandes Províncias Ígneas, Geoquímica de zircões, geocronologia U-Pb.

ABSTRACT

The Paraná Volcanic Province, which incorporates the Serra Geral Group, comprises a large igneous province (LIP) of large accumulations of continental flood basalts (CFB). This covers an area of approximately 917,000 km² and has been studied for over 100 years by several authors in different areas of knowledge encompassing multi-disciplinary studies of geochemistry, stratigraphy, petrography, geochronology and paleomagnetism. In Serra Geral Group, various ages have been published by different isotopic methods. A lot of geochronological data already published (⁴⁰Ar-³⁹Ar, K-Ar, Rb-Sr, Re-Os and U-Pb) brings us the models and rapid leakage with high lava effusion rates, all under 3 million-year. By contrast a range of ⁴⁰Ar-³⁹Ar analyzes show a longer interval between 137 and 127 Ma. This whole age record have allowed different interpretations of the origin and formation of this province as well as its impact associated with living conditions on Earth. New U-Pb ages obtained by USP-SHRIMP-IIe, presented in this monograph, enable interpretation of a long duration time for the magmatism of the Serra Geral Group was originated. These ages were obtained from 61 zircons of the three samples geographically and stratigraphically distinct. The Concordia-ages results are 134.5 ± 2.1, 131.4 ± 1.4 and 119.3 ± 0.95 Ma. The new time interval of 16 Ma formation for Serra Geral Group gives us the idea that the greenhouse gases were assimilated into the atmosphere over this period and seemingly without major damage to existing life in the early Cretaceous. The LIPs known such as Deccan Karoo and the Columbia River, are characterized by a rather short period of magmatic time (< 3 m) according to some ⁴⁰Ar-³⁹Ar ages. These are associated with large extinctions which occurred mainly due to high rates of gases emission, causing greenhouse-effect in this short time. The geochemistry of zircons from LIPs is a fairly new theme in the literature, and there have no published studies addressing this topic. However, this monograph will be presented geochemical analyzes of the 30 zircons from three samples by LA-ICP-MS method. When discriminated the elements Si, Zr, Sr, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Nb, Ta, Th, U, Y by tectonic diagrams, we realize that the three samples analyzed occupy the continental environment field.

Keywords: Serra Geral Group, Large Igneous Provinces, Geochemistry of zircons, U-Pb geochronology.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição das LIPs no Pangea (vermelho) com as respectivas idades, extraído de: Scott E.B., Ferrari L., 2010; *Large igneous provinces and silicic large igneous provinces: Progress in our understanding over the last 25 years. Geological Society of America Bulletin.* [p. 12]

Figura 2 - Mapa de localização e demais grandes estruturas da Bacia do Paraná. A Província Vulcânica Paraná está situada na supersequência Gondwana III. Modificado de Milani *et al.*, e Machado *et al.*, ambos de 2013. [p. 14]

Figura 3 - Histograma de idades K-Ar da porção Norte (A) e Sul (B) da PVP (retirado de Campos *et al.*, 1988). [p. 15]

Figura 4 - Diagrama multielementar para as amostras de cada magma tipo da Província Vulcânica Paraná. Valores normalizados para o manto primitivo de Sun e McDonough (1989). Fonte dos dados: Peate (1990), Peate and Hawkesworth (1996). [p. 17]

Figura 5 - Fotomicrografia das três amostras analisadas neste trabalho a um aumento de 20 vezes a luz polarizada. A: riódacito; B: andesite; C: paralava. [p. 18]

Figura 6 - Distribuição geográfica das amostras estudadas. De sul para norte (em vermelho): BR3, D14 e MS36. [p. 20]

Figura 7 - Estratigrafia dos derrames na região de Quaraí - RS, onde podemos observar o derrame *Catalán* que corresponde a amostra BR3. Fonte: Hartmann *et al.*, 2010. [p. 21]

Figura 8 - Estratigrafia dos derrames na região de Entre Rios - SC, o derrame 3, demarcado, corresponde a amostra D14. [p. 22]

Figura 9 - Equipamentos utilizados no procedimento. A: Britador de mandíbulas; B: Moinho de disco; C: Separador magnético Frantz. Ambos da Universidade de São Paulo (USP). [p. 23]

Figura 10 - *Mounts* ou pastilhas contendo o concentrado de zircões de forma ordenada. [p. 24]

Figura 11 - Imagem ilustrada da microsonda eletônica modelo Cameca SX100, da Universidade de Stuttgart, Alemanha, utilizada nesta monografia. [p. 25]

Figura 12 - SHRIMP-IIe da Universidade de São Paulo, utilizado para elaboração desta monografia. [p. 26]

Figura 13 - LA-ICP-MS (*Inductively Coupled Mass Spectrometer*) modelo Agilent 7700, da Universidade de Stuttgart, Alemanha. [p. 27]

Figura 14 - Idades Concórdia das três amostras analisadas. As elipses de erro de ponto dos dados são de 68,3% confiança para todas as amostras. [p. 28]

Figura 15 - Imagens de microsonda eletrônica de elétrons retroespalhados para os zircões estudados. As partes brancas mostraram em alguns pontos representados pela incrustação de ouro devido a metalização para a análise no SHRIMP. As imagens foi gerado após a análise SHRIMP mas antes da análise LA-ICP-MS. [p. 29]

Figura 16 - Diagramas discriminantes geoquímicos para zircão elaborado por Grimes *et al.* 2007. Os domínios são definidos pela composição química das dezenas de zircões de diferentes configurações tectônicas. A linha pontilhada divide o diagrama na composição continental e oceânica. Todas as amostras deste estudo estão dentro do campo continental. Para D14 n = 5; BR3 n = 9 e MS36 n = 12. Ntotal = 26. [p. 30]

Figura 17 - A e B: diagramas multielementares normalizados para condrito (Boynton, 1984). A: Os campos foram determinados por características de cada amostra deste estudo. B: Diagrama extraído de Grimes *et al.*, 2007 (McDonough e Sun, 1995) para a comparação dos comportamentos dos elementos. [p. 31]

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação das taxas de efusão de lavas de grandes províncias ígneas através de seus respectivos períodos de duração pelos métodos radiométricos utilizados com os respectivos autores. **[p.32]**

Tabela 2 - Análise química em rocha total das amostras estudadas. **[p. 37]**

Tabela 3 - Resultado das análises dos zircões pelo USP-SHRIMP-IIe (erro = 2σ) para todas as amostras. $4f_{206} (\%) = (^{206}\text{Pb comum}) / (^{206}\text{Pb total medido})$ baseado nas medidas do ^{204}Pb . **[p.39]**

Tabela 4 - Resultados das análises obtidos pelo LA-ICP-MS. Todos os valores estão em ppm. **[p. 42]**

Sumário

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. Objetivos	12
2. ESTADO DA ARTE.....	12
2.1. Geologia do Grupo Serra Geral	12
2.2. Revisão Geocronológica da Província Paraná	16
2.3. Geologia isotópica e geoquímica	17
2.4. Petrografia.....	19
3. METODOLOGIA	20
3.1. Separação mineral.....	23
3.2. Microsonda eletrônica	25
3.3. USP-SHRIMP-IIe	26
3.4. LA-ICP-MS.....	27
4. RESULTADOS.....	28
4.1. SHRIMP.....	28
4.2. Microsonda Eletrônica.....	29
4.3. LA-ICP-MS.....	30
5. DISCUSSÕES.....	32
6. CONCLUSÕES	34
REFERÊNCIAS.....	35
ANEXOS	38
Anexo 1 (Tabela 2)	38
Anexo 2 (Tabela 3)	40
Anexo 3 (Tabela 4)	43
Anexo 4:.....	45

1. INTRODUÇÃO

A duração do magmatismo do Grupo Serra Geral é um tema discutido na literatura, sendo que há duas linhas de pensamento entre os autores: a de curta duração e a de longa duração. A partir de meados dos anos 60, diversos estudos geocronológicos vêm sendo aplicados a fim de determinar idade absoluta do magmatismo da Província Vulcânica Paraná, na qual se insere o Grupo Serra Geral. Desde então diversas idades já foram publicadas por diferentes autores e diferentes métodos radiométricos, tais como K-Ar, Ar-Ar, Rb-Sr, Re-Os e U-Pb principalmente. Esta gama de idades levou alguns autores (Lustrino *et al.*, 2005; Wildner *et al.*, 2006; Viter *et al.*, 2010; Janasi *et al.*, 2010 e Florisbal *et al.*, 2011) a uma interpretação de que o intervalo de tempo de duração do mesmo seria curto, menor do que 3 Ma, entre 133 e 135 Ma.

Por outro lado Turner *et al.* (1994) e Stewart *et al.* (1996) relataram um intervalo de duração mais longo, com cerca de 10 Ma, entre 137 e 127 Ma baseados em métodos Ar-Ar. Esta discussão nos remete a questões levantadas pela comunidade científica como:

- Qual o período de duração para o magmatismo gerador da Província Paraná?
- Quais as relações do período de duração deste magmatismo para com as taxas de vulcanismo adjacentes e as condições de vida no Cretáceo?

A geoquímica de zircões em rochas da Província Paraná é um estudo pioneiro e tem grande importância para a classificação desta em diagramas discriminantes geotectônicos. Inexistem trabalhos na literatura que abordem o tema da geoquímica de zircões de rochas de grandes províncias ígneas continentais e isso nos faz levantar uma nova questão:

- Quais as características geoquímicas dos zircões da Província Paraná e sua classificação?

As grandes províncias ígneas conhecidas como a Siberian Traps, Karoo, Deccan Basalts, Deccan Traps e Columbia River Basalts são caracterizadas por um curto intervalo de tempo de vulcanismo, menor do que cinco milhões de anos, e todas estas estão associadas a extinções em massa ocorridas em suas respectivas épocas. Estas extinções são causadas pelo aumento da temperatura global devido às altas taxas de vulcanismo e emissão de gases causadores do efeito estufa. Diferente das províncias mencionadas, não há relatos de grandes extinções associadas à Província Paraná na literatura, o que sustentaria a hipótese proposta neste trabalho de que em nesta província as taxas de vulcanismo seriam menores, associadas ao

um longo período de tempo de duração, possibilitando a assimilação dos gases causadores de efeito estufa pela atmosfera e, por conseguinte, sem grandes extinções.

1.1. Objetivos

O decorrente projeto de conclusão objetiva a definição do intervalo de tempo de duração da Província Paraná, bem como suas influências nas condições de vida no planeta na época juntamente com uma avaliação das taxas de vulcanismo adjacentes. Em segundo lugar, porém não menos importante, este trabalho objetiva, também, a classificação geoquímica dos zircões no diagrama geotectônico elaborado por Grimes *et al.*, 2007, e a elaboração de um campo específico para basaltos de inundação continental no mesmo diagrama. Os objetivos especificamente são:

- Fazer uma revisão geocronológica das idades publicadas para o magmatismo do Grupo Serra geral.
- Determinar o intervalo de tempo de duração do magmatismo.
- Definir as taxas de vulcanismo a partir da idade encontradas.
- Comparar com outras grandes províncias ígneas conhecidas.
- Classificar geoquimicamente os zircões encontrados utilizando diagramas geotectônicos específicos.

2. ESTADO DA ARTE

2.1. Geologia do Grupo Serra Geral

A Província Vulcânica Paraná, no qual se insere o Grupo Serra Geral, compreende um exemplo de grandes províncias ígneas (*LIPs - Large Igneous Province*) do tipo basaltos de inundação continental (*Continental Flood Basalts*). Sua origem está relacionada a ascensão da pluma Tristão, devido a ruptura do supercontinente Gondwana e a formação do Oceano Atlântico. O termo LIP foi inicialmente proposto por Coffin e Eldholm (1994) para representar uma variedade de província ígnea máfica com extensão areal maior que 10^6 km^2 composta por rochas extrusivas e intrusivas predominantemente ricas em ferro e magnésio, formadas por magmatismos de cadeia meso-oceânica e de arco. Nos últimos anos, o avanço dos estudos radiométricos em relação à duração deste magmatismo do tipo CFB (*e.g.* Siberian Traps, Karoo, Ferrar Basalts, Deccan Basalts, Deccan Traps e Columbia River Basalts - (figura 1) sugerem curtos intervalos (de 10^5 a 10^6 anos) (Coffin e Eldholm, 2005).

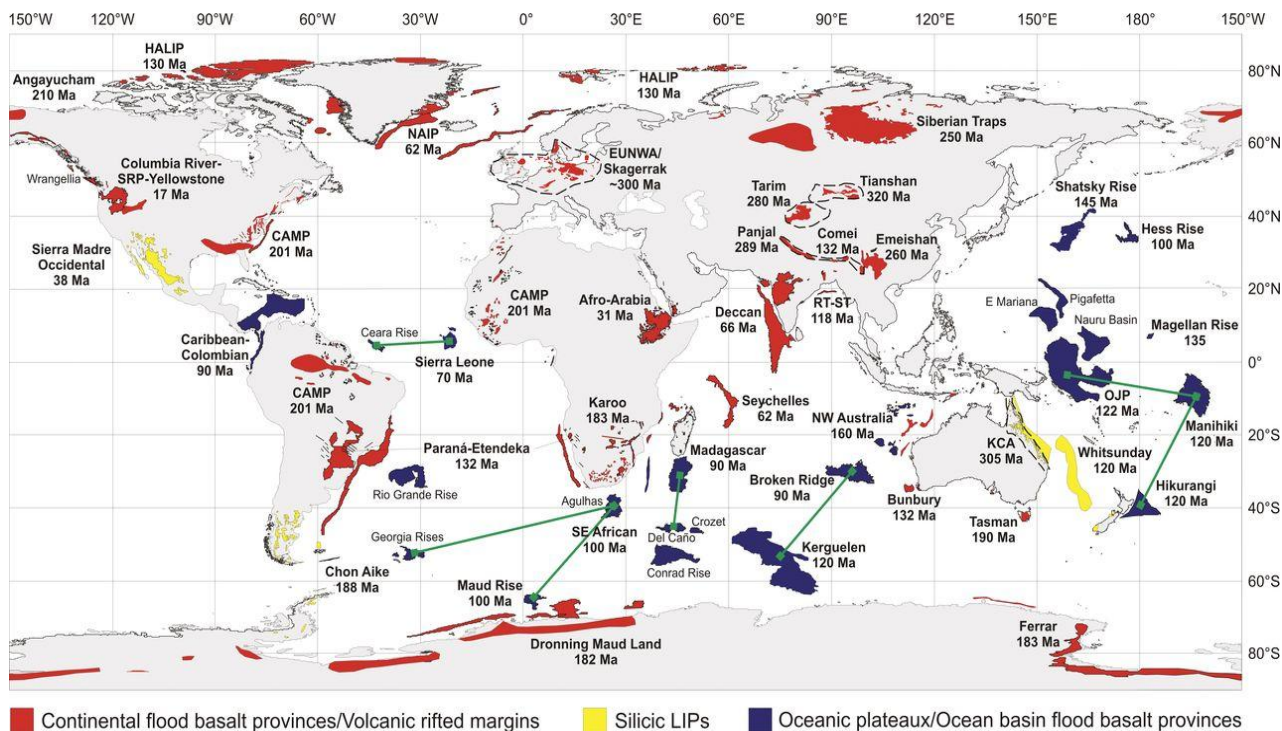


Figura 2: Distribuição das LIPs no Pangea (vermelho) com as respectivas idades, extraído de: Scott E.B., Ferrari L., 2010; *Large igneous provinces and silicic large igneous provinces: Progress in our understanding over the last 25 years. Geological Society of America Bulletin.*

Em meados da década de 60, diversos estudos de geocronologia utilizando o método K-Ar foram realizados a fim de determinar o intervalo de duração do magmatismo da Província Paraná, porém as dificuldades do método implicavam em idades que variavam entre cerca de 100 a 150 Ma. No entanto trabalhos mais recentes, obtiveram idades Ar-Ar (Turner *et al.*, 1994; Stewart *et al.*, 1996) que apontam um intervalo de duração menor que 10 Ma, entre 137 e 127 Ma. Com o advento da geocronologia de isótopos U-Pb e com o avanço do método Ar-Ar, este intervalo foi reduzido para alguns poucos milhões de anos de acordo com alguns autores que veremos no próximo item.

O magmatismo do Grupo Serra Geral desenvolveu-se na bacia sedimentar intracratônica do Paraná. Esta bacia de idade Paleozóica e Mesozoica é parte integrante da Bacia Paraná-Etendeka, numa área que ultrapassa $1,5 \times 10^6$ Km² incluindo porções territoriais do Brasil meridional, Paraguai oriental, nordeste da Argentina e norte do Uruguai, na América do Sul, enquanto seu correspondente Africano (Etendeka) ocorre na Namíbia. Segundo Milani (1997) a Bacia do Paraná pode ser dividida em seis superseqüências (figura 2) delimitadas por discordâncias regionais; Superseqüência Rio Ivaí (450 Ma a 428 Ma), Paraná (410 Ma a 365 Ma), Gondwana I (310 Ma a 245 Ma), Gondwana II (237 Ma a 218 Ma), Gondwana III (150 Ma a 128 Ma) e Bauru (115 Ma a 65 Ma).

A Província Vulcânica Paraná é a segunda maior província vulcânica continental do mundo em área de exposição, somente sendo ultrapassada pelos Trapps Siberianos que cobrem cerca de $2,5 \times 10^6 \text{ km}^2$ (Fedorenko *et al.*, 1996), e segundo Almeida (1986) constitui a maior área de rochas ígneas continuamente expostas do País. Em recente trabalho publicado, Frank *et al.* (2009) recalculou os valores de área e volume desta, resultando numa extensão areal de cerca de 917.000 Km^2 e volume de mais de 600.000 Km^3 , destes, 450.000 Km^3 seriam referentes ao volume de rochas extrusivas e 112.000 Km^3 de rochas intrusivas do tipo *sill*. O empilhamento de lavas chega a 1500 - 1700 m de espessura na porção central da bacia (oeste do estado de São Paulo), coincidentemente com a localização da espessura máxima da Bacia do Paraná, e segundo Leinz *et al.*, 1966, os valores médios para a Província Paraná atingem 650 m.

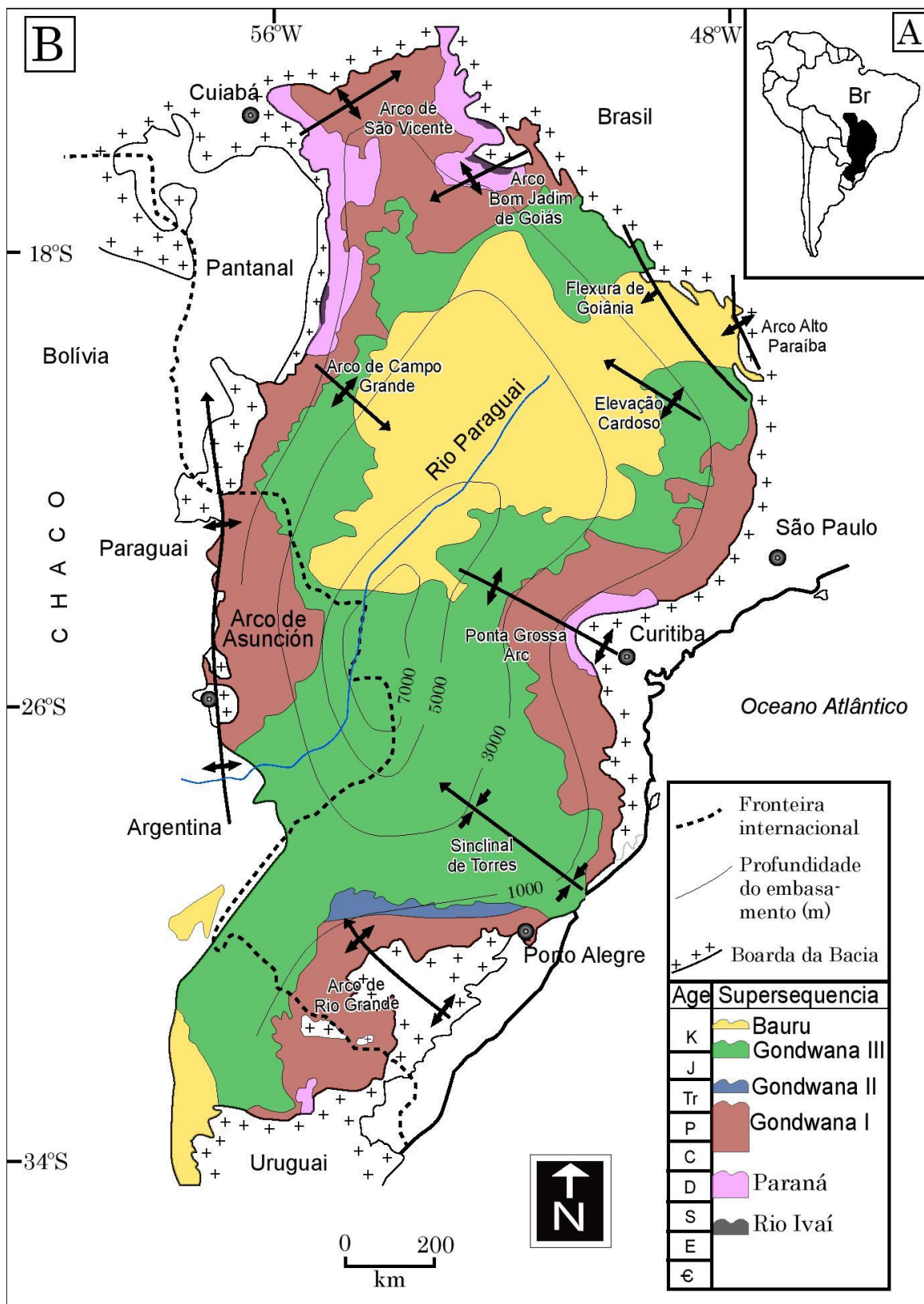


Figura 2: Mapa de localização e demais grandes estruturas da Bacia do Paraná. A Província Vulcânica Paraná está situada na supersequência Gondwana III. Modificado de Milani *et al.*, e Machado *et al.*, ambos de 2013.

2.2. Revisão Geocronológica da Província Paraná

A maior parte dos dados radiométricos apresentados até a década de 80 para a Província Vulcânica Paraná, constavam de idades K-Ar e algumas idades Rb-Sr. Segundo o trabalho de Campos *et al.* (1988), onde os autores fizeram uma revisão detalhada dos dados geocronológicos obtidos desde 1965, utilizando mais de 200 idades K-Ar (figura 3) e 22 idades Rb-Sr, a fase principal do vulcanismo ocorreu entre 130 e 135 Ma. No entanto, dados convencionais de K-Ar em rochas basálticas, obtidos essencialmente em amostras de rocha-total, não são suficientemente precisas, e são frequentemente associadas a erros relacionados a perda de argônio devido a alteração, ou excesso de argônio não radiogênico (Cordani, 1999).

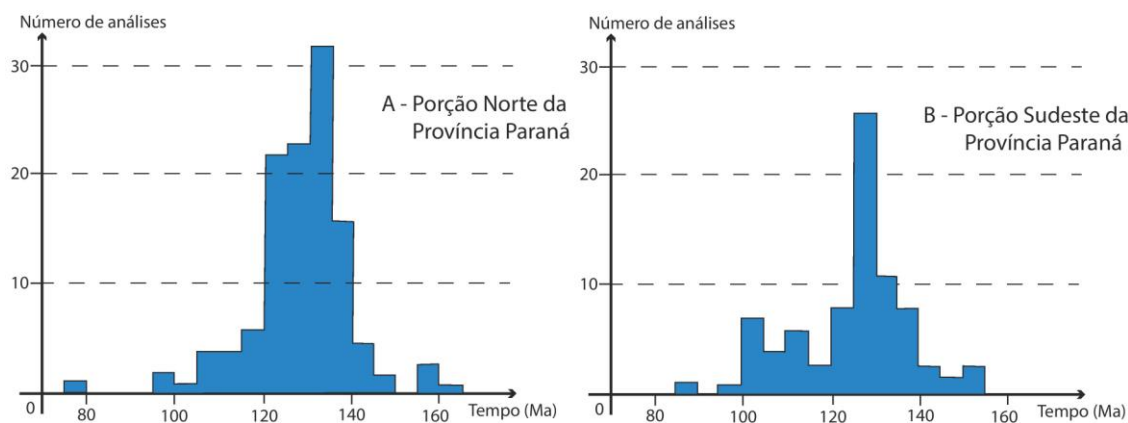


Figura 3: Histograma de idades K-Ar da porção Norte (A) e Sul (B) da PVP (retirado de Campos *et al.*, 1988).

A partir da década de 90, um grande número de datações pelo método ^{40}Ar - ^{39}Ar , foi realizado nas rochas extrusivas e intrusivas de diversas localidades da província em questão (e.g. Baksi *et al.*, 1991; Renne *et al.*, 1992, 1996a,b; Turner *et al.*, 1994; Stewart *et al.*, 1996; Ernesto *et al.*, 1999; Mincato *et al.*, 2000). Muitas destas datações foram efetuadas em associação com dados paleomagnéticos, a fim de determinar os movimentos da placa Sul-Americana neste período. Segundo Pinto *et al.*, (2011), estas idades Ar-Ar demonstram intervalos diferentes e sugerem interpretações distintas. Enquanto Turner *et al.*, (1994) e Stewart *et al.*, (1996) relataram um intervalo de duração com cerca de 10 Ma, entre 137 e 127 Ma aproximadamente e migração do magmatismo de noroeste para sudeste, por outro lado, Renne *et al.*, (1992, 1996a,b) definem um período de duração de 1 a 3 Ma com a fase principal entre 133 - 131 Ma, e em publicação mais recente, Thiede e Vasconcelos (2010) analisando novamente as amostras dos dados radiométricos de Turner *et al.*, (1994) e Stewart *et al.*, (1996), encontraram três idades em torno de 134 Ma, concluindo um intervalo menor que 1 Ma

para o vulcanismo. Estes curtos períodos de tempo também podem ser observados por estudos realizados na província Etendeka, onde Renne *et al.*, (1996) obtiveram idades Ar-Ar em mineral entre $131,7 \pm 0,7$ Ma e $132,3 \pm 0,7$ Ma, indicando uma coincidência temporal entre as duas porções da Província Paraná-Etendeka, e que o vulcanismo Etendeka não se trata de uma fase final do mesmo magmatismo.

A utilização do método de datação U-Pb na Província Vulcânica Paraná ainda é pouco difundida. Atualmente existem pouco mais de três trabalhos publicados (Lustrino *et al.*, 2005; Wildner *et al.*, 2006; Pinto *et al.*, 2011; Janasi *et al.*, 2010 e Florisbal *et al.*, 2011). Wildner *et al.*, (2006) apresentou as primeiras idades U-Pb (SHRIMP II) em zircão do clímax final do vulcanismo da província, obtendo idades para rochas vulcânicas ácidas do tipo Chapecó, de $135,5 \pm 2,3$ Ma e $137,3 \pm 1,8$ Ma. Pinto *et al.*, (2011) utilizando o mesmo método, analisou grãos de zircão de rochas vulcânicas da porção sul da província, as amostras incluíram basaltos Alto Ti do tipo Pitanga, e rochas ácidas Baixo Ti do tipo Palmas e Alto Ti tipo Chapecó com idades entre $134,4 \pm 1,1$ Ma e $135,6 \pm 1,8$ Ma, indicando curto período de duração do vulcanismo e altas taxas de efusão, com a fase principal por volta de 135 Ma. Através de análises U-Pb (TIMS) em grãos de badeleíta e zircão de dacitos do tipo Chapecó, na região de Ourinhos – SP (nordeste da província), Janasi *et al.*, (2010) reportaram a idade de $134,3 \pm 0,8$ Ma, e comparando com outras idades publicadas, chegaram a conclusões semelhantes a dos autores citados anteriormente. Esta gama de dados infere um curto intervalo de duração do magmatismo da Província Vulcânica Paraná, implicando em altas taxas de extrusão. Por outro lado, as idades Ar-Ar obtidas nos remetem a um longo período de duração para o vulcanismo da Província Paraná, implicando em baixas taxas de extrusão de lavas, difundidas ao longo do tempo de duração deste vulcanismo.

2.3. Geologia isotópica e geoquímica

Segundo Peate (1997), a distribuição regional dos magmas tipo Alto Ti/Y (Urubici, Pitanga, Paranapanema, Ribeira) e Baixo Ti/Y (Gramado e Esmeralda) implica que a geração destes, ocorreu em uma extensa área envolvendo diferentes fontes mantélicas. O estudo de isótopos (Sr-Sr, Sm-Nd, Pb-Pb) e de elementos traço, permitiram Peate definir características comuns de cada magma tipo e inferir sobre suas possíveis fontes. Seguem abaixo os resultados obtidos por Peate (1997):

Baixo Ti:

O magma tipo Gramado possui assinatura distinta quando comparado aos do tipo Alto-Ti, com enriquecimento relativo dos LIL (*large-ion-litophile*) (figura 4) em relação aos HFS e LREE (*light rare-earth-elements*). Os padrões do magma tipo Esmeralda são similares ao do tipo Gramado, exceto pelas menores abundâncias de elementos traços incompatíveis. A razão $Ti/Zr > 60$ define o tipo Esmeralda e valores < 60 o tipo Gramado. Ambos apresentam valores de Nb e Ta depletados em comparação com o La (Nb/La 0,5 - 0,8). Amostras do Gramado possuem altas razões $^{87}Sr/^{86}Sr_i$ (0,7075 - 0,7167) e baixo ϵNd_i (-8 a -3), enquanto no tipo Esmeralda as amostras revelam baixos valores de $^{87}Sr/^{86}Sr_i$ (0,7046 - 0,7086) e ϵNd_i (-4 a +3). Em relação aos isótopos de $^{206}Pb/^{207}Pb$, Gramado e Esmeralda possuem razões ($> 18,2$) mais elevadas que as dos magmas tipo Alto Ti.

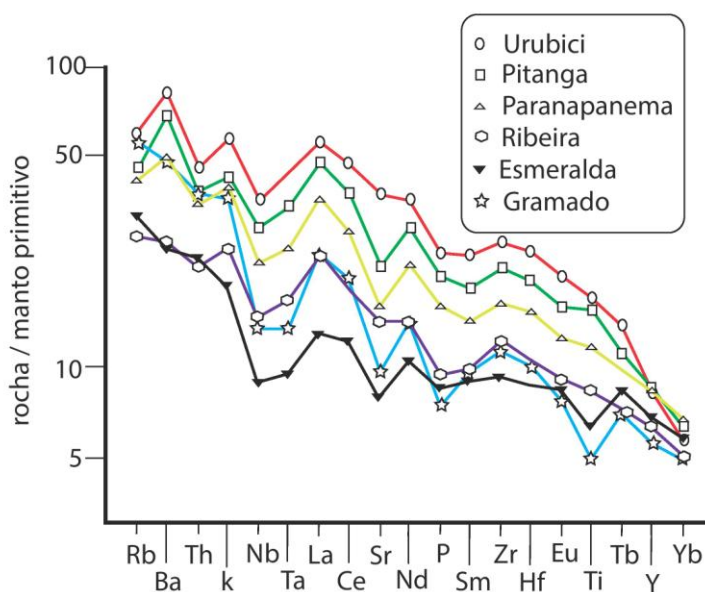


Figura 4: Diagrama multielementar para as amostras de cada magma tipo da Província Vulcânica Paraná. Valores normalizados para o manto primitivo de Sun e McDonough (1989). Fonte dos dados: Peate (1990), Peate and Hawkesworth (1996).

Alto Ti:

Devido aos magmas tipo Ribeira, Paranapanema e Pitanga, compartilharemos diversas características composicionais, Peate (1997) discutiu-os em conjunto. Os três possuem padrões de elementos traço normalizados para o manto primitivo similares e anomalias negativas de

Nb-Ta em relação aos LREE e LILE. Suas composições isotópicas de Sr, Nd e Pb são restritas a um intervalo ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i = [0,7055 - 0,7063]$, $\epsilon\text{Nd}_i = [-1,6 \text{ a } -3,6]$ e $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb} = [17,81-18,12]$). O magma tipo Urubici pode ser distinguido dos outros Alto Ti, pela alta concentração de Sr ($> 550 \text{ ppm}$) e baixo $\text{Fe}_2\text{O}_{3(t)}$ ($<14,5\%$), e suas composições isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i$ ($0,7048 - 0,7065$) ϵNd_i ($-1 \text{ a } -5$) e $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ ($17,46 \text{ a } 18,25$).

De acordo com os dados geoquímicos de rocha total associado aos de geologia isotópica, Peate (1997) propõe um processo de assimilação crustal e cristalização fracionada (*AFC - Assimilation Fractional Crystallisation*) para os magmas tipo Gramado e riolitos Alto e Baixo Ti da Província Paraná. Em relação às fontes do magmatismo, o autor coloca fontes diferentes das formadoras de basaltos oceânicos para os basaltos da província em questão, ditos sem contaminação ($\text{Nb/La} < 0,8$; $\epsilon\text{Nd}_i < 0$), e componente de manto depletado para o magma tipo Esmeralda. Em trabalho posterior, Peate *et al.* (1999) estudaram aspectos petrogenéticos do magma tipo Urubici, relacionando este magmatismo ao manto litosférico.

2.4. Petrografia

Do ponto de vista mineralógico e petrográfico, as rochas basálticas geralmente apresentam fenocristais e/ou microfenocristais de augita, plagioclásio, pigeonita, pequenas proporções de titanomagnetita e rara olivina, em matriz composta essencialmente por estes mesmos minerais. As rochas intermediárias contêm fenocristais e/ou microfenocristais de augita, plagioclásio, pigeonita e titanomagnetita, em matriz composta por plagioclásio, augita, pigeonita, titanomagnetita, ilmenita e quartzo. As vulcânicas ácidas variam de porfiríticas a afíricas, contendo macrofenocristais de plagioclásio, além de fenocristais e microfenocristais de plagioclásio, augita, pigeonita, titanomagnetita e ortopiroxênio. A matriz é geralmente composta de quartzo, feldspato alcalino, plagioclásio, piroxênios, titanomagnetita e ilmenita (Piccirillo *et al.*, 1988).

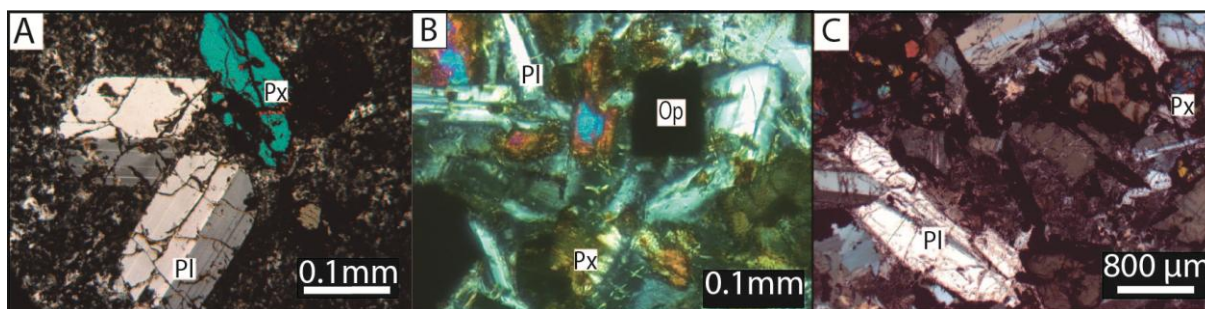


Figura 5. Fotomicrografia das três amostras analisadas neste trabalho a um aumento de 20 vezes a luz polarizada. A: riodacito; B: andesito; C: paralava.

3. METODOLOGIA

A metodologia abordada foi escolhida de acordo com a necessidade de obter respostas para as questões levantadas. Para o tipo de proposta desta monografia, que aborda geocronologia e geoquímica em zircões, foram escolhidas as técnicas mais avançadas que atualmente conhecemos na ciência além de trabalhos de campo, laboratoriais e pesquisas bibliográficas. Tais técnicas como análise em espectrômetros de massa nos fornecerão dados que após serem tratados com *geosoftware*s adequados nos fornecem as respostas das perguntas levantadas anteriormente.

Para a realização deste estudo foram avaliadas 120 análises químicas de rochas do Grupo Serra Geral. A partir desta avaliação, três amostras se destacaram pelo conteúdo de Zr >200 ppm (tabela 1, anexo 1) e foram submetidas aos procedimentos para datação radiométrica U-Pb. Na distribuição geográfica das amostras (fig. 6), a partir da porção sul do Grupo Serra Geral, se destaca a amostra BR3 que é um andesito da região de Quaraí, RS (Hartmann *et al.*, 2010) e faz parte da *colada* (derrame em espanhol) Catalán, o segundo derrame acima da Formação Botucatu (fig. 7). A amostra D14 (fig. 8) coletada na porção centro sul do Grupo Serra Geral na região de Entre Rios, SC é um riodacito alto-Ti com magma-tipo Chapecó, subtipo Guarapuava e está intercalado entre derrames basálticos. A terceira amostra denominada MS36 é proveniente da porção norte do Grupo Serra Geral da região de Jardim, MS (pedreira Rochasul) e representa uma paralava que faz parte de uma grande intrusão vulcânica em rochas sedimentares da Bacia do Paraná. Os cristais de zircão destas amostras foram separados com técnicas convencionais de britagem e moagem, seguido de separação pelo método de líquidos densos e magnetismo, que serão melhor descritos a seguir. A datação foi efetuada no instituto de geociências da Universidade de São Paulo utilizando-se isótopos radioativos de U-Pb de zircões por sonda iônica de alta resolução (USP-SHRIMP-IIe - *sensitive high-resolution ion microprobe*).



Figura 6: Distribuição geográfica das amostras estudadas. De sul para norte (em vermelho): BR3, D14 e MS36.

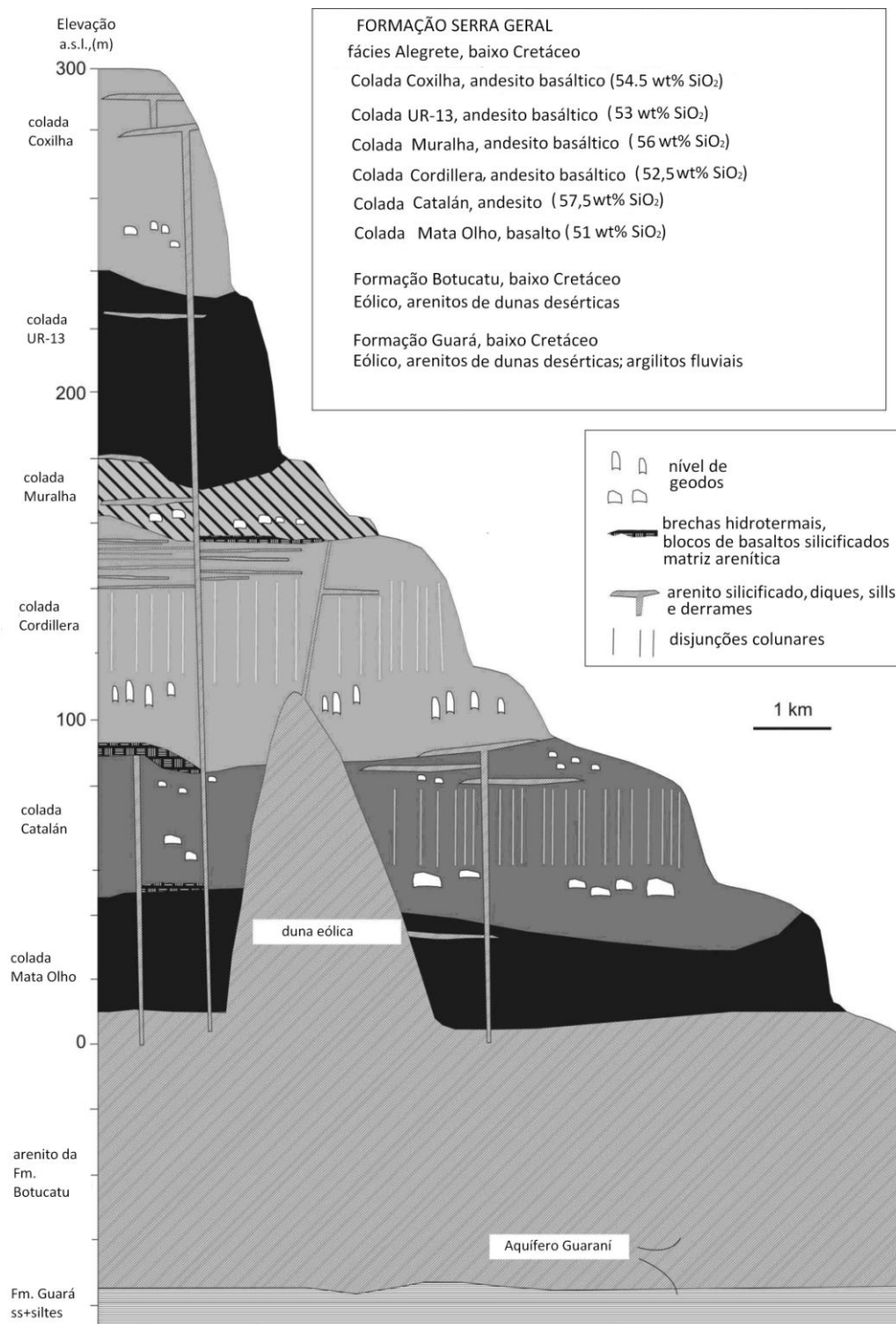


Figura 7: Estratigrafia dos derrames na região de Quaraí - RS, onde podemos observar o derrame *Catalán* que corresponde a amostra BR3. Fonte: Hartmann *et al.*, 2010.

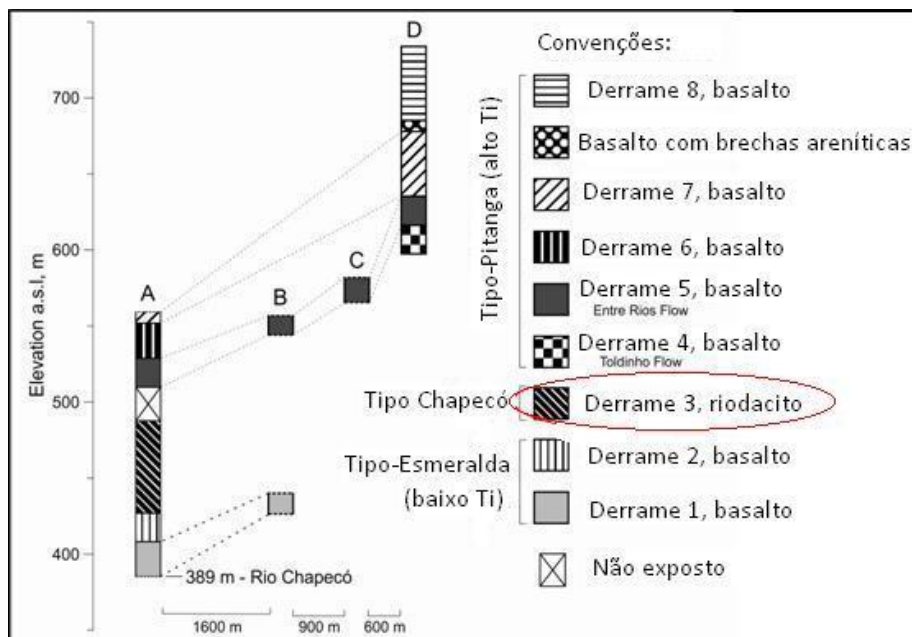


Figura 8: Estratigrafia dos derrames na região de Entre Rios - SC, o derrame 3, demarcado, corresponde a amostra D14.

3.1. Separação mineral

Dentre os minerais datáveis em geocronologia, o zircão nos fornece as idades mais precisas que a tecnologia atual nos permite obter. Utilizando um espectrômetro de massa, estas idades são concebidas pela proporção de elementos radioativos e radiogênicos do Urânio, Tório e Chumbo, elementos estes retidos na estrutura cristalina do zircão. Contudo, há uma grande dificuldade de obtenção de zircões em algumas rochas, o que nos remete a importância de uma boa preparação de amostras para obtenção de zircões.

Após a coleta da amostra no campo, ao chegarmos no laboratório, a mesma foi lavada e seca em estufa com 50°C, para a remoção de poeira. Todos os equipamentos que utilizados estavam devidamente limpos, para não haver riscos de contaminação.

Fragmentação:

Utilizando uma prensa hidráulica (figura 9A), a amostra foi fragmentada em tamanhos que caibam no britador de mandíbulas (aproximado de 5 cm³). Após a britagem da amostra, a fração menor que 7 *mesh* (separada por uma peneira) foi passada no moinho de discos (figura 9B), onde a mesma foi moída até a fração menor que 60 *mesh* (utilizando outra peneira). Com o concentrado de pó de rocha, aproximadamente 2 kg (dependendo da amostra), foi dado início a próxima etapa.

Bateamento:

Em um tanque com água e utilizando uma batéia de 60 cm de diâmetro, pequenas porções do pó da amostra foram bateadas por vez, a fim de remover os minerais leves de tamanho silte/ argila. Fazendo-se um movimento circular e espiralado com a água dentro da batéia, os minerais leves são dispensados e os minerais pesados serão concentrados no fundo. Após a retirada dos minerais leves e a secagem da amostra, iniciou-se o próximo passo.

Separação Magnética:

Em uma bancada limpa e seca, forrada com folhas de papel A3, espalha-se pequenas porções de amostra por vez e com o auxílio de um ímã de mão revestido, foi retirado os minerais magnéticos, sem encostar o ímã na amostra. Retirados os minerais altamente magnéticos, a amostra foi passada três vezes no separador magnético *Frantz* com amperagens respectivamente de 0,1A, 0,3A e 0,5A, com uma inclinação vertical de 25° e uma inclinação lateral de 10°. Com o concentrado não magnético, foi dado início a próxima etapa (figura 9C).

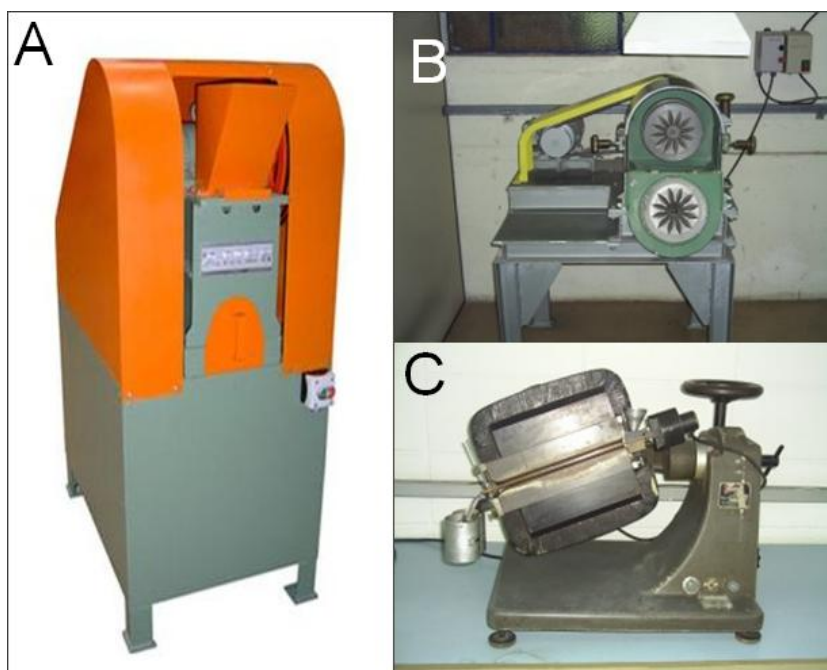


Figura 9: Equipamentos utilizados no procedimento. A: Britador de mandíbulas; B: Moinho de disco; C: Separador magnético *Frantz*. Ambos da Universidade de São Paulo (USP).

Líquidos densos:

Em uma capela, com o auxílio de um balão de decantação preenchido por bromofórmio, um suporte, um funil com filtro de papel e um copo de Becker, acoplados abaixo, jogou-se a amostra dentro do recipiente com bromofórmio a fim de separar duas fases

de minerais: os minerais com densidade maior do que $2,9 \text{ g/cm}^3$ (onde estão os zircões e apatitas) e com densidade menor que $2,9 \text{ g/cm}^3$ (feldspatos, quartzos, etc.). Em seguida, abre-se a torneira do balão de decantação para o escoamento da fração de fundo, por alguns segundos, sem que passe a fração leve. Os grãos pesados serão retidos no filtro de papel. Em seguida, após a coleta e secagem da fração pesada, a mesma deve ser armazenada em um recipiente adequado de 5 ml e devidamente etiquetada com a identificação da amostra.

Catação em lupa:

Por fim, o concentrado de minerais pesados foi espalhado em uma placa de Petri e foi catado manualmente os grãos de zircão, com o auxílio de uma lupa de mesa com 40 vezes de aumento e uma pinça com ponta adequada. Os zircões foram armazenados em um novo recipiente adequado.

Montagem das pastilhas:

Em uma placa de vidro foi colado os zircões de forma ordenada que possam ser mapeáveis, em seguida foram impregnados com resina epóxi dentro de uma forma com diâmetro de 2,5 cm e altura de 1 cm. Foi dado um polimento com abrasivo de até 20μ na pastilha para atingir a parte central de cada grão. Pronta a pastilha e esta metalizada com carbono, foi iniciada as análises ao MEV. (Figura 10)

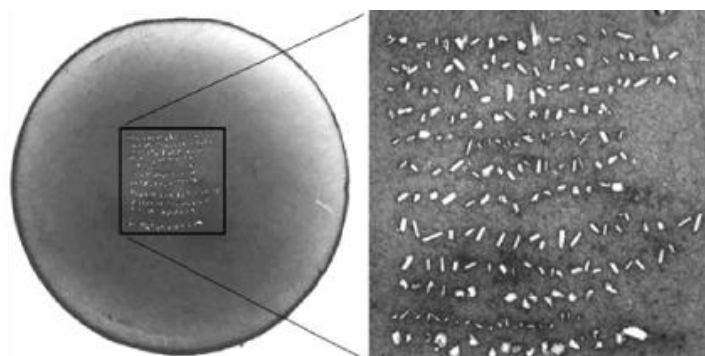


Figura 10: *Mounts* ou pastilhas contendo o concentrado de zircões de forma ordenada.

3.2. Microsonda eletrônica

A microsonda eletrônica *Cameca SX100* (figura 11) pode ser utilizado para a análise química de pequenas áreas de sólidos. Os raios-x característicos dos elementos químicos na amostra é excitada por um feixe de elétrons focado e quantificado. A detecção da radiação de raios-x é realizada com comprimento de onda espectrômetros dispersivos (*WDS*), que são de diferentes cristais (*LIF*, *PET*, *TAP*, *PC0*, *PC1*, *PC2*, *PC3*) equipados. Além disso, a microsonda de eletrônica tem um sistema de dispersão de energia (*EDS*), que permite uma

visão muito rápida da composição química da amostra. Na *EDS*, tanto a sensibilidade e resolução espectral é no entanto significativamente mais baixos em comparação com o método do *WDS*. A resolução espacial do dispositivo está na faixa de 1 micron para amostras polidas e, portanto, permite uma análise química espacialmente resolvida na faixa de micrometros. As áreas típicas de estudo são perfis de difusão ou as composições em fases de equilíbrio químico em sólidos de grão fino. Tudo isso pode ocorrer em elementos químicos sólidos, exceto H, Li e Be que são investigados quantitativamente.

Nesta monografia, a microsonda foi utilizada para gerar imagens de elétrons retroespalhados (*BSE*) para análise qualitativa do grão. Esta análise nos permite avaliar uma região apropriada para ser efetuada a análises posteriores como *LA-ICP-MS* ou *SHRIMP*.



Figura 11: Imagem ilustrada da microsonda eletônica modelo Cameca SX100, da Universidade de Stuttgart, Alemanha, utilizada nesta monografia.

3.3. USP-SHRIMP-IIe

O Espectrômetro de Massa de Alta Resolução (figura 12) (*Sensitive High Resolution Ion Micro Probe*) é um aparelho que utiliza um *LASER* com spot de 25 μm de diâmetro que funde localmente a área atingida destruindo a estrutura cristalina do grão analisado liberando gases que são capturados por vácuo e acelerados em uma tocha de plasma. A diferença de peso dos isótopos ao acelerador de partículas faz com que haja diferença no tempo de percurso devido à diferença de trajetória (curva) seguida pelos íons. Este cálculo feito pelo sistema de multi-coletores do aparelho que nos possibilitam uma contagem atômica dos isótopos de U-Th-Pb e através das razões ^{206}Pb - ^{238}U pelas razões ^{207}Pb - ^{235}U ; utilizando o *geosoftware* ISOPLOT 3.75 confeccionamos um diagrama concórdia com idades absolutas.



Figura 12: SHRIMP-IIe da Universidade de São Paulo, utilizado para elaboração desta monografia.

3.4. LA-ICP-MS

O laser de ablação e o espectrômetro de massa com plasma individualmente acoplado (*Laser Ablation Inductively coupled plasma mass spectrometry*) (figura 13) é um aparelho com diversas funções de análises químicas, porém para esta monografia foi utilizado sua capacidade de medir a concentração de elementos maiores e terras raras, tais como: Si e Zr; Sr, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, D'us, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Nb, Ta, Th, U, Y. Estas concentrações ,nos zircões da Província Paraná, foram determinadas com um sistema Agilent 7700, a Universität Stuttgart indutivamente acoplado espectrometro de massa de plasma (ICP-MS). A calibração instrumental foi realizada utilizando os padrões multi-elemento NIST612, DLH7 e DLH8. As análises foram realizadas com os pontos de 10 um de diâmetro com 15% de energia laser com fluxo de Hélio de 300 ml e fluxo de Argônio de 800 ml.



Figura 13: LA-ICP-MS (*Inductively Coupled Mass Spectrometer*) modelo Agilent 7700, da Universidade de Stuttgart, Alemanha.

4. RESULTADOS

4.1. SHRIMP

Foram obtidas idades U-PB de 61 cristais de zircão de três de três rochas vulcânicas, porém, foram consideradas as análises de 57 grãos devido ao grande erro em quatro grãos (tabela 2 anexo 2). A partir das análises do SHRIMP percebemos que as três amostras são alto teor de Urânio (462-1483 ppm, D14; 2121-6802 ppm, BR3; 581-1591 ppm, MS36) e $Th/U > 2$ para todos os cristais analisados. A idade de cinco cristais da amostra D14 é de 134.5 ± 2.1 Ma. Determinações isotópicas de 18 cristais da amostra BR3 resultam em uma idade Concórdia de 131.4 ± 1.4 Ma. A idade determinada a partir de 30 zircões da amostra MS36 resultam em uma Concórdia de 119.3 ± 0.95 Ma (figura 14), a idade mais jovem já encontrada em rochas basálticas da província.

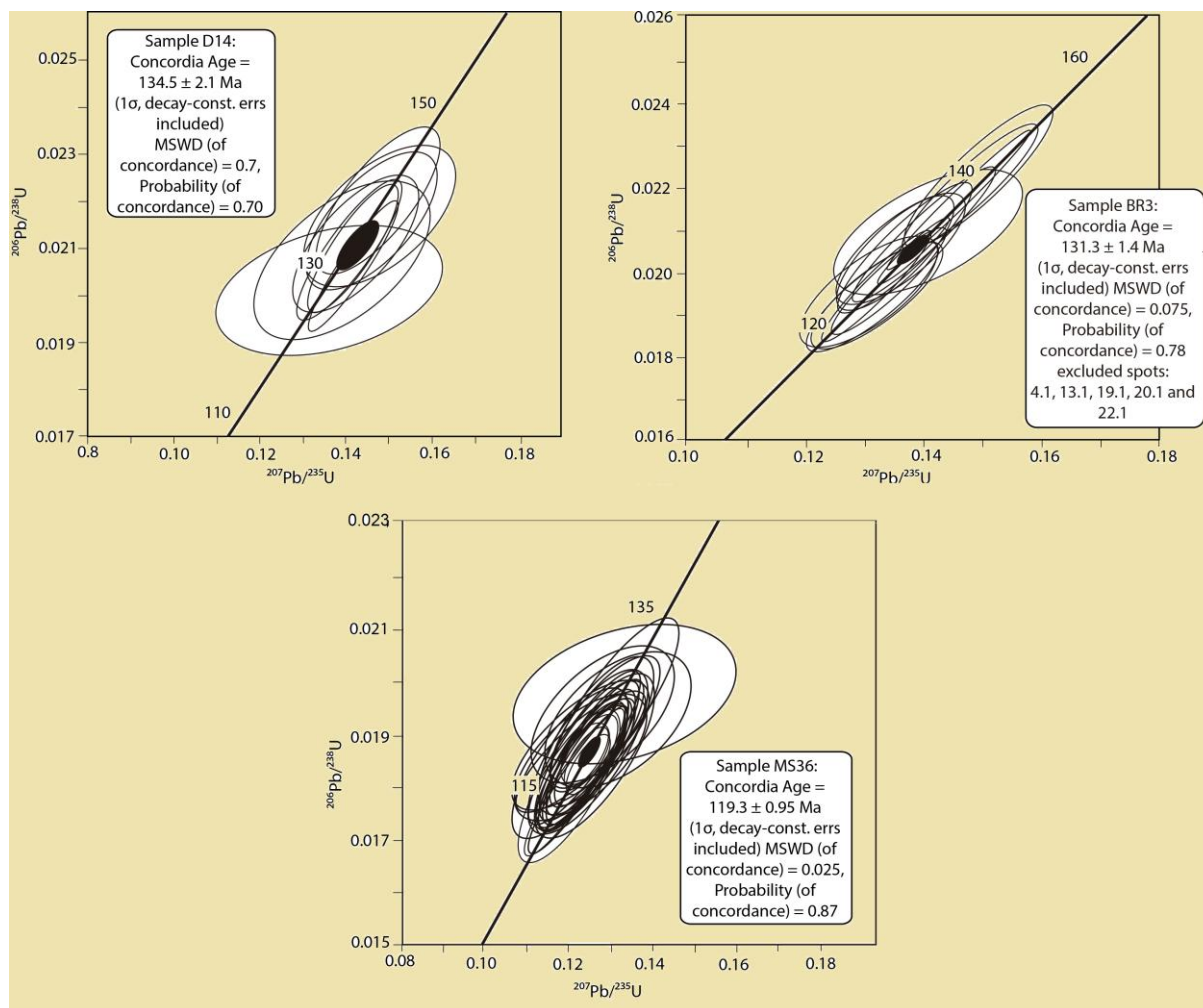


Figura 14: Idades Concórdia das três amostras analisadas. As elipses de erro de ponto dos dados são de 68,3% confiança para todas as amostras.

4.2. Microsonda Eletrônica

A maioria dos cristais de zircão são euédricos com o comprimento aproximadamente 150 μm , mas estes variam de 100-300 μm , com o eixo maior (z) medindo 3:1. Alguns grãos apresentam metamictização ao longo do eixo z (como o grão 5 da amostra D14 na figura 15) devido a alta concentração de Urânio. No grão 4 da amostra MS36 é possível observar a zonação setorial relacionada a gênese do grão. Os zircões aparecem comumente quebrados devido a cominuição, mostrando poucas inclusões e fraturas, núcleos ociosos são comuns. Zoneamentos são incomuns; quando presente, as zonas cinzas escuras e brilhantes são grandes. Em quase todos os grãos aparecem incrustações de ouro nas fraturas e cavidades, devido a metalização para as análises no SHRIMP. Estas partes aparecem esbranquiçadas e com alto brilho.

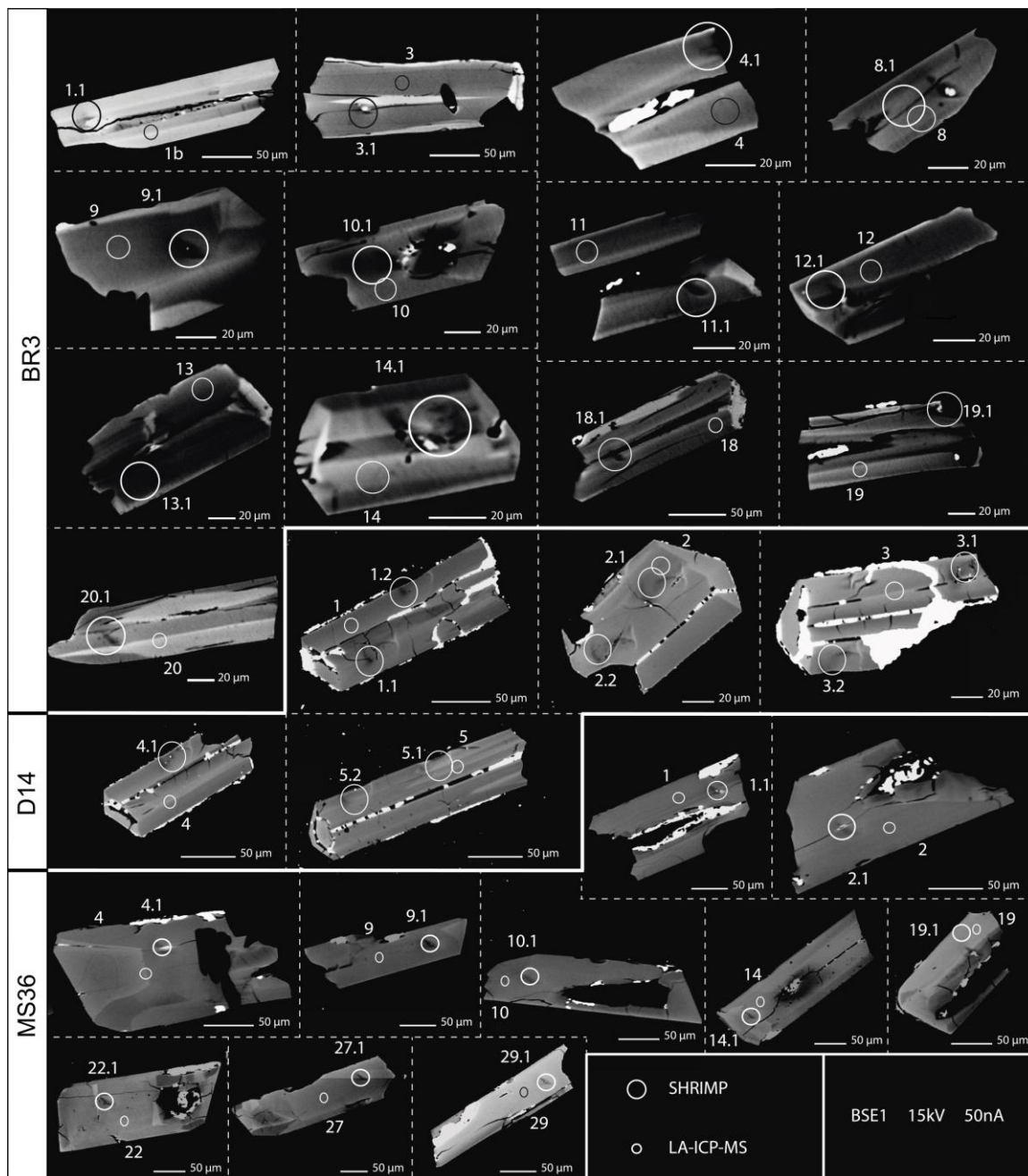


Figura 15: Imagens de microsonda eletrônica de elétrons retroespalhados para os zircões estudados. As partes brancas mostraram em alguns pontos representados pela incrustação de ouro devido a metalização para a análise no SHRIMP. As imagens foi gerado após a análise SHRIMP mas antes da análise LA-ICP-MS.

4.3. LA-ICP-MS

As análises geoquímicas de 30 cristais de zircão (tabela 3, anexo3) permite o uso do diagrama de proveniência geotectônica. Este diagrama discrimina entre diferentes zircões de granitos, arcos insulares, kimberlitos e crosta oceânica, utilizando principalmente $U \times Yb$ (figura 16A), $U/Yb \times Hf$ (figura 16B) e $U/Yb \times Y$ (figura 16C), de modo que zircões continentais podem ser discriminados de zircões da crosta oceânica. Os zircões da Província

Paraná, quando plotados neste diagrama, ocupam o campo continental. Isto marca uma enorme contribuição para a geoquímica e tectônica de basaltos intraplaca.

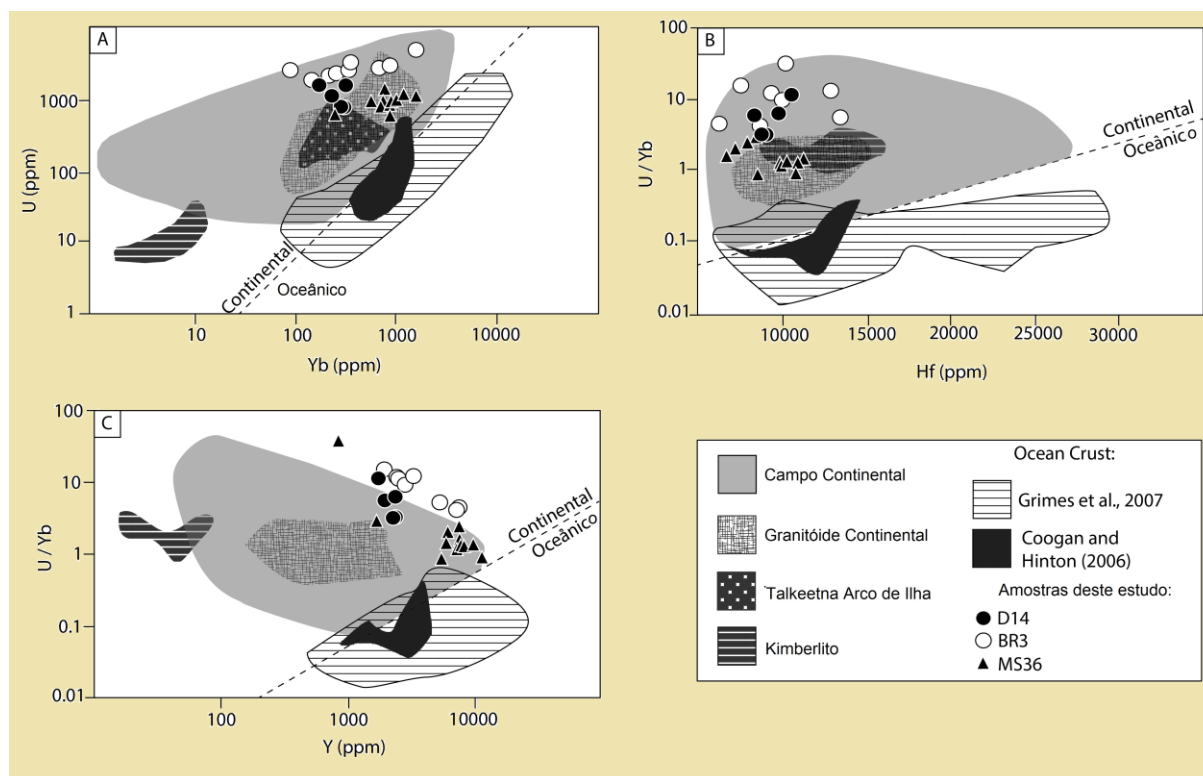


Figura 16: Diagramas discriminantes geoquímicos para zircão elaborado por Grimes *et al.* 2007. Os domínios são definidos pela composição química das dezenas de zircões de diferentes configurações tectônicas. A linha pontilhada divide o diagrama na composição continental e oceânica. Todas as amostras deste estudo estão dentro do campo continental. Para D14 n = 5; BR3 n = 9 e MS36 n = 12. Ntotal = 26.

Os diagramas de Elementos Terras Raras (ETRs) dos zircões mostram uma curva pouco acentuada, ligeiramente enriquecidos em ETRs pesados (*HREE: Heavy - Rare Earths Elements*), ver figura 17. Todos os zircões apresentam uma grande anomalia negativa de Európio. Esta anomalia está relacionada às taxas de fusão do magma; em rochas vulcânicas de alta temperatura, o plagioclásio cristaliza primeiro que o zircão, a cristalização do plagioclásio captura o elemento Európio e conseqüentemente o torna depletado no zircão, que cristaliza depois do plagioclásio por ter mais baixo ponto de fusão. A amostra de riodacito (D14) é a mais enriquecida em ETRs leves (*LREE: Light - Rare Earths Elements*), seguido da amostra BR3 e da amostra MS36, esta última com menores teores. Os zircões analisados são mais depletados em ETR total, quando comparados com zircões oceânicos e crustais apresentados por Grimes *et al.*, 2007 (figura 17B).

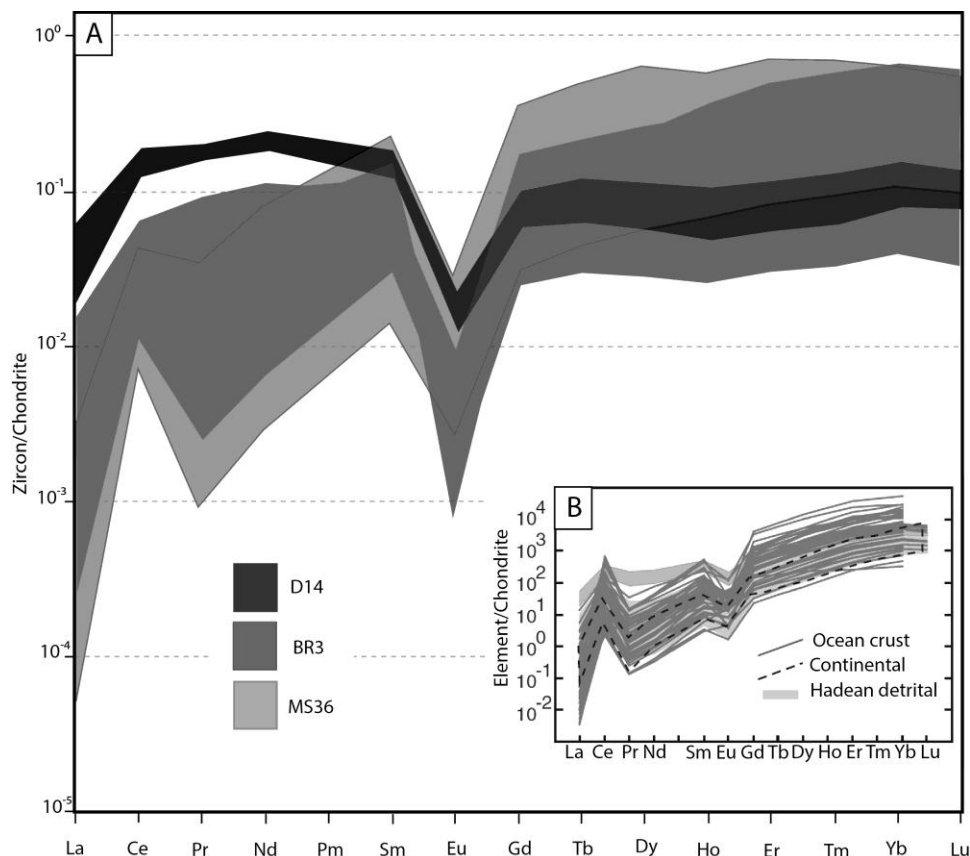


Figura 17: A e B: diagramas multielementares normalizados para condrito (Boynton, 1984). A: Os campos foram determinados por características de cada amostra deste estudo. B: Diagrama extraído de Grimes *et al*, 2007 (McDonough e Sun, 1995) para a comparação dos comportamentos dos elementos.

5. DISCUSSÕES

Conforme apresentado nos resultados desta monografia, a duração do magmatismo do Grupo Serra Geral aparenta ser maior do que considerado anteriormente (16 Ma ao invés de 3 Ma). O pico de efusão de basaltos e riolacitos ocorreu por volta de 134 Ma devido a grande gama de idades encontradas com este valor no banco de dados geocronológicos. No entanto, o pico do vulcanismo pode ter se estendido até 131 Ma, com um período de 5 Ma de duração, e pulsos irregulares se estenderiam até 119 Ma. Este comportamento indica uma distribuição não uniforme ao longo dos 16 Ma (135-119Ma). O magmatismo da pluma Tristão pode ter durado mais tempo, comparado com outras províncias de basaltos continentais. O efeito-estufa provocado pela emissão de gases durante o vulcanismo provavelmente foi diluído ao longo de um amplo período de tempo, dando oportunidade para *Gaya* a chance absorver esses gases. Esta é uma explicação para a ausência de uma grande extinção ou explosão de diversidade nos do Cretáceo Inferior.

A erupção de 562,000 km³ de lavas (Frank *et al.*, 2008) ao longo de um período de 16 Ma resulta em uma taxa de erupção de 0.03 km³/ano, se considerando um vulcanismo regular e uniforme. Contudo, as taxas de vulcanismo podem atingir os valores próximos a 0.1 km³/ano se considerado a efusão das lavas ao longo do período de pico de atividade magmático (135-131 Ma). Comparando-se com outras grandes províncias ígneas (Columbia River = 360 km³/ano, Deccan = 1 km³/ano; ver tabela 4), torna-se evidente que a Província Vulcânica Paraná teve efeito muito menor no clima da Terra.

Tabela 1: Comparação das taxas de efusão de lavas de grandes províncias ígneas através de seus respectivos períodos de duração pelos métodos radiométricos utilizados com os respectivos autores.

Província	Método Radiométrico	Idade Inicial	Idade Final	Intervalo	Taxas de Efusão*	Autores
- Paraná	U-Pb	135.6 ± 1.8 Ma	119.3 ± 0.95 Ma	16 Ma	0.03 km ³ /ano	Pinto et al., 2011 / Brückmann et al., 2015
- Columbia River Basalts	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	15.99 Ma	15.57 Ma	< 1 Ma	360 km ³ /ano	Barry et al., 2010
- Emeishan Basalts	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	253 Ma	250 Ma	3 Ma	0.1 km ³ /ano	Ross et al., 2005
- Deccan	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	66 Ma	66 Ma	< 1 Ma	1 km ³ /ano	Ross et al., 2005
- Siberian Traps	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	250 Ma	250 Ma	< 1 Ma	2 km ³ /ano	Ross et al., 2005
- Karoo	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	178 Ma	184 Ma	8 Ma	0.3 km ³ /ano	Jourdan et al., 2005

* Valores estipulados através do intervalo de tempo de duração. Considerando taxas de distribuição uniformes.

A composição continental dos zircões da província Paraná levanta uma questão importante sobre a gênese destas rochas. Como zircões de rochas mantélicas apresentam características continentais? Duas causas parecem plausíveis. Uma está relacionada com a assimilação crustal durante a ascensão destes magmas, originando riodacitos e modificando a química do manto basáltico e andesítico. Outra é a composição susceptível do manto subcontinental, que pode ter sido contaminada por crosta mais antiga. A resposta para esta pergunta será realmente confirmada quando análises Lu-Hf forem efetuadas nas amostras estudadas. A geoquímica de zircões de intraplaca pode ser usada para discriminar rochas basálticas de proveniências continental e oceânica devido ao grande contraste dos teores de elementos traço.

6. CONCLUSÕES

O grande intervalo de tempo determinado para o magmatismo do Grupo Serra Geral pode ser maior na medida em que mais dados radiométricos forem coletados em diferentes localizações geográficas e estratigráficas. No entanto, a dificuldade na obtenção de zircões são muito elevados sendo o requinte do método de captura de zircão o principal fator para estas análises. As rochas cuja análise química de rocha total tem mais de 200 ppm de zircônio mostra um potencial de cristalização de zircão. Foi mostrado que a duração da vulcanismo pode ter aumentado para cerca de 16 Ma (135-119 Ma), mas com um pico de atividade entre 131-135 Ma. Uma das principais consequências é que *Gaya* foi capaz de assimilar os gases de efeito estufa durante um longo período de tempo, evitando, assim, um evento de extinção em massa. Este estudo contribui para a compreensão dos processos envolvidos para a evolução das espécies no Cretáceo inferior. A caracterização geoquímica de zircão da Província Paraná é um tema pioneiro em relação ao estudo geoquímico de províncias magmáticas continentais. Este estudo permite a diferenciação de proveniência através da geoquímica de zircões de rochas basálticas de origem de crostas oceânicas contra basaltos de origem continentais. Os zircões Paraná tem composição continental, e isso é explicado tanto pela origem do magma em um manto subcontinental previamente contaminadas por assimilação da crosta quanto pela contaminação do magma derivado do manto contaminado por uma crosta mais antiga. É de consenso da comunidade científica a aquisição de mais dados radiométricos para o entendimento dos estudos referentes a grandes províncias ígneas de basaltos de inundação continental.

REFERÊNCIAS

- Baksi, A.K.R., Fodor, R.V., Farrar, E., 1991. Preliminary results of $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating studies on rocks from the Serra Geral flood basalt province and the Brazilian continental margin (abstract). *Eos Trans.* 72, 300.
- Barry T.L., Self, S., Kelley, S.P., Reidel, S., Hooper, P., Widdowson, M., 2010. New $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the Grande Ronde lavas, Columbia River Basalts, USA: Implications for duration of flood basalt eruption episodes. *Lithos* 118, 213–222.
- Campos, A.C.R., Cordani, U.G., Kawashita, K., Sonoki, H.M., Sonoki, I.K., 1988. Age of the Paraná flood volcanism. In: Piccirillo, E. M., Melfi, A. J. (Eds.), *The Mesozoic Flood Volcanism of the Paraná Basin: Petrogenetic and Geophysical Aspects*. IAG-USP (2008), 25–46.
- 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. *Journal of Geodynamics* 28, 321–340.
- Fedorenko V.A., P.C. Lightfoot, A.J. Naldrett, G.K. Czamanske, C.J. Hawkesworth, J.L. Wooden, D.S. Ebel (1996) Petrogenesis of the flood-basalt sequence at Noril'sk, North-central Siberia. *Int'l Geo. Rev.* 38, 99-135.
- Florisbal, L.M., Janasi, V.A., Heaman, L.M., Nardi, L.V.S., Bitencourt, M. F., 2014. Tectonic significance of the Florianópolis Dyke Swarm, Paraná–Etendeka Magmatic Province: A reappraisal based on precise U–Pb dating. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 289, 140–150.
- Frank, H.T., GOMES, M.E.B., Formoso, M.L.L., 2009. Review of the areal extent and the volume of the Serra Geral Formation, Paraná Basin, South America. *Pesquisas em Geociências (UFRGS)* 36, 49-57.

- Grimes, C.B., John, B.E., Kelemen, P.B., Mazdab, F.K., Wooden, J. L., Cheadle, M. J., Hangøj, K., Schwartz, J. J., 2007. Trace element chemistry of zircons from oceanic crust: A method for distinguishing detrital zircon provenance. *Geology* 35, 643-646.
- Hartmann, L.A., Antunes, L.M., Rosenstengel, L.M., 2014. Stratigraphy of amethyst geode-bearing lavas and fault-block structures of the Entre Rios mining district, Paraná volcanic province, southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 86, 187-198.
- Hartmann, L.A., Wildner, W., Duarte, L.C., Duarte, S.K., Pertille, J., Arena, K.R., Martins, L.C., Dias, N.L., 2010. Geochemical and scintillometric characterization and correlation of amethyst geode-bearing Paraná lavas from the Quaraí and Los Catalanes districts, Brazil and Uruguay. *Geological Magazine* 147, 954-970.
- Janasi, V.A., Freitas, V.A., Heaman, L.H., 2011. The onset of flood basalt volcanism, Northern Paraná Basin, Brazil: A precise U–Pb baddeleyite/zircon age for a Chapecó-type dacite. *Earth and Planetary Science Letters* 302, 147–153.
- Jourdan, F., Féraud, G., Bertrand, H., Kampunzu, B.A., Tshoso, G., Watkeys, M.K., Le Gall, B., 2005. Karoo large igneous province: Brevity, origin, and relation to mass extinction questioned by new $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age data *Geology*. *Geological Society of America* 33, 745-748.
- Leinz, V., Bartorelli, A., Sadowski, G.R. & Isotta, C.A.L. 1966. Sobre o comportamento espacial do trapp basáltico da Bacia do Paraná. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 15(4): 79-91.
- Lustrino, M., Melluso, L., Brotzu, P., Gomes, C. B., Morbidelli, L., Muzio, R., Ruberti, E., Tassinari, C.C.G., 2005. Petrogenesis of the early Cretaceous Valle Chico igneous complex (SE Uruguay): relationships with Paraná–Etendeka magmatism. *Lithos* 82, 407–434.
- Milani, E.J., Goncalves de Melo, J.H., Souza, P.A., Fernandes, L.A., Franca, A.B., 2007. Bacia do Paraná. *Boletim Geociênc. Petrobras* 15, 265–287.

- Mincato, R.L., Schrank, A., Enzweiler, J., 2000. Geoquímica dos elementos do grupo da platina nos basaltos do norte da Província Ígnea Continental do Paraná. VIII Cong. Bras. Geoq. — Paraná, Anais 2000, CD, cód. RE173 (PR).
- Peate, D.W., Mahoney, J.J., Coffin, M.F., 1997. Book: "Large Igneous Provinces: Continental, Oceanic, and Planetary Flood Volcanism". The Paraná-Etendeka Province. Geophysical Monograph. 100, 217-245.
- Piccirillo, E.M.; Comin-Chiaramonti, P.; Bellirni, G.; Civetta, L.; Marques, L.S.; Melfi, A.J.; Petri, R.; Raposo, M.I.B.; Stolfa, D. 1988. Petrogenetic aspects of continental flood-rhyolite suites from the Paraná Basin (Brazil). In: The mesozoic flood volcanism of the Paraná Basin: petrogenetic and geophysical aspects, IAG-USP. São Paulo, Brazil, v.7, p.179-205
- Pinto, V.M. ; Hartmann, L.A., Orestes S.J., McNaughton, N.J., Wildner, W., 2011. Zircon U-Pb geochronology from the Paraná bimodal volcanic province support a brief eruptive cycle at ~135Ma. Chemical Geology 281, 93-102.
- Renne, P.R., Ernesto, M., Pacca, I.G., Coe, R.S., Glen, J., Prevot, M., Perrin, M., 1992. The age of Paraná flood volcanism, rifting of Gondwanaland, and the Jurassic–Cretaceous boundary. Science 258, 975–979.
- Renne, P.R., Deckart, K., Ernesto, M., Ferraud, G., Piccirillo, E.M., 1996a. Age of the Ponta Grossa dike swarm (Brazil) and implications to Parana flood volcanism. Earth and Planetary Science Letters 144, 199–212.
- Renne, P.R., Glen, J.M., Milner, S.C., Duncan, A.R., 1996b. Age of Etendeka flood volcanism and associated intrusions in southwestern Africa. Geology. 24. 659–662.
- Ross, P.-S. , Peate, I.U., McClintock, M.K., Xu, Y.G., Skilling, I.P., White, J.D.L., Houghton, B.F., 2005. Mafic volcanoclastic deposits in flood basalts provinces: A review. Journal of Volcanology and Geothermal Research 145, 281–314.

Stewart, K., Turner, S., Kelley, S., Hawkesworth, C. J., Kirstein, L., Mantovani, M. S. M., 1996. ^{40}Ar – ^{39}Ar geochronology in the Paraná continental flood basalt province. *Earth and Planetary Science Letters*. 143. 95–109.

Thiede, D.S., Vasconcelos, P.M., 2010. Paraná flood basalts: rapid extrusion hypothesis confirmed by new $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ results. *Geology* 38, 747–750.

Turner, S.P., Regelous, M., Kelley, S., Hawkesworth, C.J., Mantovani, M.S.M., 1994. Magmatism and continental break-up in the South Atlantic: high precision ^{40}Ar – ^{39}Ar geochronology. *Earth and Planetary Science Letters* 121, 333–348.

ANEXOS

Anexo 1 (Tabela 2)

Análise química em Rocha-Total das três amostras estudadas.

Element	Amostras		
	D14	MS36	BR3
SiO ₂	64,27	56,75	57,55
TiO ₂	1,45	2,06	1,81
Al ₂ O ₃	13,16	11,23	12,36
Fe ₂ O ₃	7,04	15,18	13,79
MgO	1,09	1,38	2,02
CaO	2,45	5,05	5,78
Na ₂ O	3,17	2,72	2,82
K ₂ O	4,63	2,78	2,50
P ₂ O ₅	0,47	0,82	0,24
MnO	0,12	0,17	0,18
Cr ₂ O ₃	<0,002	<0.002	< DL
LOI	1,9	1,5	0,7
Total	99,75	99,65	99,75
Ni	1	<20	< DL
Sc	12	19	32
Ba	914	727	514
Co	5,4	24,5	38

Cs	1,1	0,3	3,1
Ga	24,9	22,2	22
Hf	15,5	11,7	6,1
Nb	52,3	35,5	16,4
Rb	104,4	51,5	97
Sr	362,5	685,1	204
Ta	3,1	2,2	1,1
Th	10,5	6,2	9,0
U	2,3	1,3	2,4
V	35	49	426
Zr	587,9	440,3	215
Y	59,3	62,2	40
La	71,7	61,8	33,4
Ce	159,3	128,6	70
Pr	19,79	17,26	8,9
Nd	81,3	73,6	35
Sm	15,78	15,71	7,6
Eu	4,17	4,31	1,8
Gd	14,54	15,04	7,3
Tb	2,19	2,33	1,26
Dy	11,84	12,65	7,0
Ho	2,19	2,53	1,4
Er	5,73	6,60	3,96
Tm	0,83	0,87	0,6
Yb	5,04	5,52	3,78
Lu	0,73	0,84	0,56
Cu	7,5	284,9	57

Anexo 2 (Tabela 3)

Tabela com os resultados SHRIMP.

Spot	U (ppm)	Th (ppm)	²⁰⁶ Pb (%)	²³² Th/ ²³⁸ U	Total 238/ 206	% err	Total 207/ 206	% err	²⁰⁴ Pb Corrigido									²⁰⁸ Pb Corrigido								
									²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U Age	1σ err	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb Age	1σ err	207r/ 235	% err	206r/ 238	% err	err corr	238/ 206r	% err	207r/ 206r	% err	207r/ 235	% err	206r/ 238	% err	err corr
D14-1.1	1483.27	6428.97	0.26	4.48	47.38	4.49	0.05	1.42	134.34	5.97	141.91	58.44	0.14	5.13	0.02	4.49	0.87	40.36	4.49	0.17	8.87	0.57	9.94	0.02	4.49	0.45
D14-2.1	977.24	3932.16	0.22	4.16	47.71	4.65	0.05	2.38	133.41	6.14	130.44	66.13	0.14	5.43	0.02	4.65	0.86	40.59	4.65	0.17	8.92	0.57	10.06	0.02	4.65	0.46
D14-2.2	1191.09	3823.55	0.14	3.32	48.47	4.50	0.05	1.79	131.65	5.86	182.88	41.80	0.14	4.84	0.02	4.50	0.93	44.25	4.50	0.12	7.40	0.37	8.66	0.02	4.50	0.52
D14-1.2	711.97	1738.57	1.04	2.52	45.68	4.54	0.06	2.36	138.25	6.23	167.38	153.00	0.15	7.98	0.02	4.56	0.57	44.49	4.54	0.08	3.77	0.24	5.90	0.02	4.54	0.77
D14-3.1	1311.81	5864.25	3.65	4.62	47.90	4.57	0.08	1.84	128.41	5.86	148.14	276.10	0.14	12.64	0.02	4.60	0.36	42.43	4.57	0.16	7.00	0.53	8.36	0.02	4.57	0.55
D14-3.2	1467.42	3407.81	0.43	2.40	47.22	4.61	0.05	1.61	134.55	6.15	143.96	119.10	0.14	6.86	0.02	4.62	0.67	44.97	4.61	0.09	5.40	0.27	7.10	0.02	4.61	0.65
D14-4.1	865.63	2177.97	1.52	2.60	47.45	5.31	0.06	2.74	132.38	6.98	128.14	193.47	0.14	9.80	0.02	5.33	0.54	45.99	5.31	0.08	4.11	0.25	6.72	0.02	5.31	0.79
D14-5.1	1399.58	7338.44	0.37	5.42	45.24	4.76	0.05	1.75	140.36	6.62	127.38	98.58	0.15	6.35	0.02	4.77	0.75	34.39	4.76	0.24	10.00	0.96	11.08	0.03	4.76	0.43
D14-5.2	1059.84	2665.48	0.69	2.60	46.01	4.52	0.05	2.22	137.70	6.16	152.43	122.89	0.15	6.93	0.02	4.52	0.65	43.91	4.52	0.09	5.24	0.28	6.92	0.02	4.52	0.65
BR3-1.1	2744.76	7180.24	0.03	2.70	47.19	4.32	0.05	1.00	135.13	5.77	137.37	27.30	0.14	4.47	0.02	4.32	0.97	44.79	4.32	0.09	5.74	0.27	7.18	0.02	4.32	0.60
BR3-2.1	5033.88	19135.98	0.39	3.93	44.92	4.33	0.05	0.87	141.36	6.05	129.75	45.57	0.15	4.74	0.02	4.33	0.91	39.89	4.33	0.14	8.03	0.48	9.12	0.03	4.33	0.47
BR3-3.1	4282.80	13732.99	0.23	3.31	44.32	4.33	0.05	1.89	143.52	6.14	119.65	57.44	0.15	4.97	0.02	4.33	0.87	41.89	4.33	0.09	5.95	0.31	7.36	0.02	4.33	0.59
BR3-4.1	3259.83	9222.09	4.94	2.92	42.07	4.36	0.09	3.07	143.99	6.33	267.96	394.68	0.16	17.77	0.02	4.44	0.25	43.35	4.36	0.07	6.13	0.22	7.52	0.02	4.36	0.58
BR3-5.1	2702.52	10291.25	0.12	3.93	48.38	4.74	0.05	1.34	131.74	6.18	74.71	33.34	0.14	4.94	0.02	4.74	0.96	43.80	4.74	0.12	7.71	0.39	9.05	0.02	4.74	0.52
BR3-6.1	3050.87	5508.00	0.64	1.87	48.13	4.38	0.05	1.24	131.70	5.72	100.84	77.58	0.14	5.48	0.02	4.39	0.80	46.73	4.38	0.08	3.92	0.22	5.88	0.02	4.38	0.75
BR3-7.1	6802.48	14993.44	-0.03	2.28	45.52	4.32	0.05	0.84	140.13	5.99	141.27	25.26	0.15	4.45	0.02	4.32	0.97	43.40	4.32	0.09	5.48	0.27	6.98	0.02	4.32	0.62
BR3-8.1	5476.05	10966.53	-0.03	2.07	47.49	4.31	0.05	0.95	134.37	5.74	134.35	22.26	0.14	4.42	0.02	4.31	0.98	46.51	4.31	0.06	3.27	0.19	5.41	0.02	4.31	0.80
BR3-9.1	2869.84	11853.73	-0.08	4.27	51.05	4.34	0.05	1.43	125.17	5.38	132.08	33.49	0.13	4.57	0.02	4.34	0.95	41.96	4.34	0.19	9.46	0.62	10.41	0.02	4.34	0.42
BR3-10.1	6493.14	10049.67	0.07	1.60	48.06	4.65	0.05	1.64	132.67	6.10	124.74	41.21	0.14	4.97	0.02	4.65	0.94	46.98	4.65	0.07	3.55	0.20	5.85	0.02	4.65	0.79

BR3-11.1	3827.23	11759.49	0.36	3.17	49.89	4.58	0.05	1.11	127.48	5.78	144.02	50.81	0.13	5.07	0.02	4.58	0.90	46.94	4.58	0.10	6.05	0.29	7.59	0.02	4.58	0.60
BR3-12.1	2293.51	8787.25	0.40	3.96	51.07	4.48	0.05	1.38	124.49	5.53	146.48	70.69	0.13	5.40	0.02	4.49	0.83	42.97	4.48	0.18	9.00	0.57	10.05	0.02	4.48	0.45
BR3-13.1	2297.74	7618.13	0.29	3.43	53.20	4.33	0.05	1.45	119.70	5.13	121.13	44.62	0.13	4.72	0.02	4.33	0.92	46.80	4.33	0.15	8.29	0.43	9.36	0.02	4.33	0.46
BR3-14.1	3855.47	19748.61	0.23	5.29	48.82	4.32	0.05	1.16	130.42	5.58	128.76	45.71	0.14	4.74	0.02	4.32	0.91	33.95	4.32	0.29	10.51	1.18	11.37	0.03	4.32	0.38
BR3-15.1	6225.89	17345.11	0.13	2.88	47.24	4.34	0.05	1.12	134.87	5.80	127.04	39.38	0.14	4.65	0.02	4.34	0.93	44.02	4.34	0.10	6.62	0.32	7.92	0.02	4.34	0.55
BR3-16.1	1898.91	2608.83	0.58	1.42	50.85	4.33	0.05	2.62	124.82	5.35	127.06	101.07	0.13	6.10	0.02	4.33	0.71	50.34	4.33	0.06	2.79	0.17	5.15	0.02	4.33	0.84
BR3-17.1	2543.82	7876.90	1.19	3.20	47.14	4.53	0.06	3.07	133.69	6.00	134.74	139.37	0.14	7.47	0.02	4.54	0.61	43.05	4.53	0.13	7.03	0.40	8.36	0.02	4.53	0.54
BR3-18.1	2998.25	11340.98	0.29	3.91	51.25	4.33	0.05	1.29	124.21	5.33	111.05	53.14	0.13	4.88	0.02	4.33	0.89	44.16	4.33	0.16	8.70	0.50	9.72	0.02	4.33	0.45
BR3-19.1	2120.55	6494.62	7.85	3.16	44.49	4.40	0.13	6.34	132.03	5.89	867.51	439.80	0.19	21.69	0.02	4.50	0.24	47.99	4.40	0.07	16.14	0.24	16.70	0.02	4.40	0.26
BR3-20.1	4420.12	20676.78	-0.03	4.83	52.65	4.32	0.05	1.06	121.33	5.20	118.85	26.20	0.13	4.47	0.02	4.32	0.97	40.03	4.32	0.24	7.03	0.82	11.00	0.02	4.32	0.39
BR3-21.1	3022.03	7102.34	0.15	2.43	50.01	4.48	0.05	1.34	127.45	5.65	148.32	36.03	0.13	4.74	0.02	4.48	0.95	48.01	4.48	0.08	4.97	0.23	6.69	0.02	4.48	0.67
BR3-22.1	2264.72	6434.99	-0.17	2.94	52.94	4.42	0.05	1.57	120.84	5.29	132.85	51.24	0.13	4.93	0.02	4.42	0.99	48.84	4.42	0.11	7.17	0.34	8.42	0.02	4.42	0.52
MS36-1.1	983.97	2143.46	0.33	2.25	53.34	4.64	0.05	2.20	119.33	5.49	106.83	100.38	0.12	6.29	0.02	4.64	0.74	51.96	4.64	0.07	3.95	0.19	6.09	0.02	4.64	0.76
MS36-2.1	1590.65	4060.41	0.18	2.64	53.80	4.34	0.05	1.74	118.51	5.09	136.23	46.36	0.12	4.76	0.02	4.34	0.91	50.71	4.34	0.10	6.08	0.26	7.47	0.02	4.34	0.58
MS36-3.1	856.81	2156.05	0.65	2.60	51.42	4.36	0.05	6.70	123.36	5.34	137.69	206.14	0.13	9.80	0.02	4.37	0.45	49.31	4.36	0.09	6.24	0.24	7.61	0.02	4.36	0.57
MS36-4.1	855.36	2284.74	0.35	2.76	52.94	4.35	0.05	2.38	120.20	5.18	103.62	71.45	0.12	5.30	0.02	4.35	0.82	50.00	4.35	0.09	6.00	0.26	7.41	0.02	4.35	0.59
MS36-5.1	1094.72	3230.18	0.22	3.05	52.56	4.44	0.05	2.18	121.22	5.33	101.75	64.10	0.13	5.20	0.02	4.44	0.85	50.08	4.44	0.09	5.56	0.24	7.11	0.02	4.44	0.62
MS36-6.1	1250.50	3830.96	0.38	3.17	54.32	4.51	0.05	2.12	117.16	5.24	12.42	102.11	0.12	6.19	0.02	4.51	0.73	47.48	4.51	0.15	8.51	0.43	9.63	0.02	4.51	0.47
MS36-7.1	955.93	2309.86	0.14	2.50	51.87	4.35	0.05	2.42	122.93	5.30	124.54	68.91	0.13	5.24	0.02	4.35	0.83	49.91	4.35	0.08	4.98	0.22	6.61	0.02	4.35	0.66
MS36-8.1	1090.41	3255.53	0.22	3.08	53.85	4.35	0.05	2.24	118.36	5.10	119.24	65.29	0.12	5.15	0.02	4.35	0.84	49.01	4.35	0.12	7.49	0.34	8.66	0.02	4.35	0.50
MS36-9.1	581.43	1525.14	0.66	2.71	51.42	4.38	0.05	2.93	123.36	5.36	93.59	130.96	0.13	7.06	0.02	4.39	0.62	48.87	4.38	0.09	5.62	0.26	7.13	0.02	4.38	0.61
MS36-10.1	932.35	2223.07	0.21	2.46	51.96	4.37	0.05	2.91	122.64	5.31	115.15	87.55	0.13	5.73	0.02	4.37	0.76	49.12	4.37	0.09	6.07	0.26	7.47	0.02	4.37	0.58
MS36-11.1	971.93	2544.71	0.33	2.71	52.90	4.71	0.05	2.30	120.33	5.62	114.76	82.68	0.13	5.88	0.02	4.72	0.80	50.22	4.71	0.09	5.72	0.25	7.41	0.02	4.71	0.64
MS36-12.1	694.99	1265.53	2.38	1.88	49.35	4.38	0.07	2.35	126.24	5.54	128.65	293.35	0.13	13.23	0.02	4.43	0.33	49.41	4.38	0.07	2.39	0.19	4.99	0.02	4.38	0.88
MS36-13.1	1105.22	3462.55	0.00	3.24	52.80	4.40	0.05	2.18	120.95	5.27	136.46	51.18	0.13	4.91	0.02	4.40	0.90	48.19	4.40	0.12	7.48	0.34	8.67	0.02	4.40	0.51
MS36-14.1	1215.01	5213.05	0.30	4.43	56.07	4.37	0.05	2.14	113.62	4.92	102.43	60.69	0.12	5.06	0.02	4.37	0.86	47.01	4.37	0.18	9.12	0.52	10.11	0.02	4.37	0.43
MS36-15.1	994.86	2950.70	0.42	3.06	54.07	4.36	0.05	2.29	117.62	5.08	123.46	70.64	0.12	5.29	0.02	4.36	0.82	50.98	4.36	0.10	6.03	0.26	7.44	0.02	4.36	0.59
MS36-16.1	625.72	1729.22	0.38	2.86	50.12	4.38	0.05	2.90	126.88	5.50	135.28	94.80	0.13	5.95	0.02	4.38	0.74	48.83	4.38	0.07	4.11	0.20	6.00	0.02	4.38	0.73
MS36-17.1	1440.41	4722.11	0.14	3.39	54.40	4.33	0.05	1.89	117.26	5.04	123.55	55.57	0.12	4.94	0.02	4.34	0.88	48.59	4.33	0.13	8.02	0.38	9.11	0.02	4.33	0.48

MS36-18.1	1347.37	3684.11	0.28	2.83	53.56	4.38	0.05	1.97	118.93	5.16	114.57	55.64	0.12	4.97	0.02	4.38	0.88	49.44	4.38	0.11	6.98	0.31	8.24	0.02	4.38	0.53
MS36-19.1	720.73	1871.22	0.75	2.68	53.30	4.64	0.05	2.68	118.92	5.48	53.52	139.88	0.12	7.48	0.02	4.65	0.62	50.73	4.64	0.09	5.52	0.25	7.21	0.02	4.64	0.64
MS36-20.1	1393.05	4572.52	0.12	3.39	54.79	4.33	0.05	2.31	116.45	5.00	127.17	58.89	0.12	5.00	0.02	4.33	0.87	48.65	4.33	0.14	8.17	0.39	9.25	0.02	4.33	0.47
MS36-21.1	1486.74	3858.08	0.21	2.68	55.68	4.33	0.05	1.89	114.51	4.92	93.21	60.14	0.12	5.02	0.02	4.34	0.86	52.49	4.33	0.09	6.12	0.25	7.50	0.02	4.33	0.58
MS36-22.1	958.25	2077.81	0.55	2.24	53.97	4.36	0.05	2.32	117.69	5.10	91.87	118.26	0.12	6.63	0.02	4.37	0.66	52.06	4.36	0.08	4.66	0.21	6.38	0.02	4.36	0.68
MS36-23.1	1105.26	2439.27	0.36	2.28	52.43	4.35	0.05	2.24	121.37	5.23	135.20	75.84	0.13	5.42	0.02	4.35	0.80	49.95	4.35	0.09	5.48	0.24	6.99	0.02	4.35	0.62
MS36-24.1	679.28	1365.33	0.46	2.08	51.22	4.37	0.05	2.75	124.07	5.39	115.26	146.64	0.13	7.61	0.02	4.38	0.58	48.88	4.37	0.09	5.43	0.25	6.97	0.02	4.37	0.63
MS36-25.1	1015.06	3361.87	0.28	3.42	55.58	4.43	0.05	2.30	114.62	5.04	130.01	76.38	0.12	5.50	0.02	4.44	0.81	50.99	4.43	0.12	7.20	0.31	8.45	0.02	4.43	0.52
MS36-26.1	712.40	1529.63	0.58	2.22	52.70	4.38	0.05	2.62	120.47	5.23	163.16	87.62	0.13	5.77	0.02	4.38	0.76	50.58	4.38	0.09	4.97	0.23	6.62	0.02	4.38	0.66
MS36-27.1	690.16	1354.81	0.20	2.03	52.77	4.37	0.05	2.82	120.78	5.23	103.83	87.59	0.13	5.73	0.02	4.37	0.76	51.43	4.37	0.07	4.13	0.19	6.01	0.02	4.37	0.73
MS36-28.1	1219.79	2888.12	0.30	2.45	55.99	4.48	0.05	2.13	113.77	5.06	116.47	103.87	0.12	6.29	0.02	4.48	0.71	53.29	4.48	0.09	5.56	0.23	7.14	0.02	4.48	0.63
MS36-29.1	1085.52	2654.72	0.25	2.53	54.60	4.36	0.05	2.20	116.70	5.04	170.07	96.49	0.12	6.01	0.02	4.36	0.73	50.55	4.36	0.11	6.83	0.30	8.10	0.02	4.36	0.54
MS36-30.1	1010.89	3351.24	0.25	3.43	54.30	4.35	0.05	2.37	117.34	5.06	103.78	70.64	0.12	5.28	0.02	4.35	0.82	48.56	4.35	0.13	7.98	0.38	9.09	0.02	4.35	0.48

Anexo 3 (Tabela 4)

Tabela com os valores percentuais dos resultados obtidos pelo LA-ICP-MS.

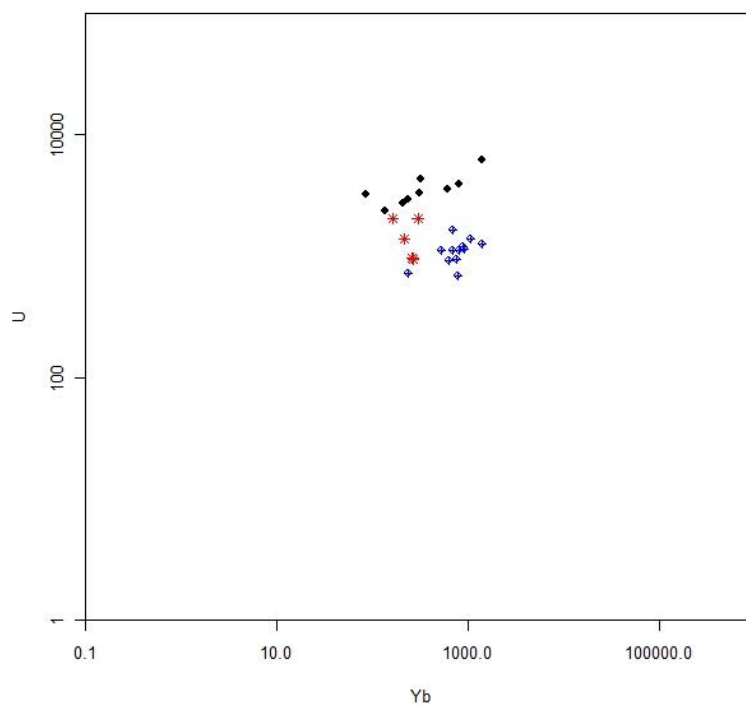
Sample	Si	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	Th	U
D14_1A	15.30	0.000	0.18	48.23	0.002	0.0009	0.0081	0.10	0.019	0.10	0.02	0.001	0.01	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	1.04	0.00	0.61	0.20
D14_2A	15.30	0.001	0.24	47.55	0.005	0.0029	0.0182	0.15	0.024	0.13	0.03	0.002	0.03	0.01	0.03	0.01	0.02	0.00	0.03	0.00	0.95	0.00	0.76	0.20
D14_3A	15.30	0.001	0.20	47.06	0.002	0.0139	0.0101	0.13	0.023	0.13	0.03	0.001	0.02	0.00	0.03	0.01	0.02	0.00	0.02	0.00	0.82	0.00	0.36	0.14
D14_4A	15.30	0.000	0.23	46.03	0.003	0.0031	0.0059	0.12	0.021	0.14	0.03	0.001	0.02	0.00	0.03	0.01	0.02	0.00	0.03	0.00	0.85	0.00	0.36	0.10
D14_5C	15.30	0.000	0.23	47.65	0.003	0.0019	0.0088	0.14	0.024	0.13	0.03	0.001	0.02	0.00	0.03	0.01	0.02	0.00	0.03	0.00	0.89	0.00	0.31	0.10
BR3_1A	15.30	0.000	0.52	45.74	0.001	0.0001	0.0014	0.03	0.005	0.05	0.03	0.000	0.04	0.01	0.07	0.02	0.05	0.01	0.06	0.01	1.32	0.00	1.09	0.36
BR3_3A	15.30	0.000	0.09	47.75	0.001	0.0001	0.0039	0.05	0.010	0.05	0.01	0.000	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	1.01	0.00	1.26	0.33
BR3_4A	15.30	0.001	0.39	45.55	0.001	0.0003	0.0016	0.03	0.005	0.05	0.03	0.000	0.04	0.01	0.05	0.01	0.03	0.01	0.04	0.00	1.01	0.00	1.16	0.36
BR3_8A	15.30	0.000	0.74	44.24	0.001	0.0001	0.0003	0.02	0.001	0.02	0.02	0.001	0.05	0.01	0.09	0.02	0.07	0.01	0.08	0.01	0.60	0.00	0.74	0.39
BR3_9A	15.30	0.000	0.24	46.62	0.001	0.0000	0.0023	0.04	0.008	0.06	0.03	0.000	0.02	0.00	0.03	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.91	0.00	0.97	0.27
BR3_10A	15.30	0.000	0.70	47.26	0.001	0.0000	0.0001	0.01	0.000	0.00	0.01	0.000	0.03	0.01	0.08	0.03	0.11	0.02	0.14	0.02	0.84	0.00	0.94	0.62
BR3_11A	15.30	0.001	0.26	41.11	0.001	0.0003	0.0020	0.03	0.006	0.05	0.02	0.000	0.02	0.00	0.03	0.01	0.02	0.00	0.02	0.00	0.91	0.00	0.89	0.29
BR3_12A	15.30	0.001	0.29	46.50	0.001	0.0008	0.0017	0.03	0.005	0.05	0.03	0.000	0.03	0.01	0.04	0.01	0.03	0.00	0.03	0.00	0.98	0.00	1.17	0.33
BR3_13A	15.30	0.000	0.26	47.11	0.001	0.0000	0.0020	0.03	0.006	0.05	0.02	0.000	0.02	0.00	0.03	0.01	0.02	0.00	0.03	0.00	1.11	0.00	0.90	0.30
BR3_14A	15.30	0.001	0.19	47.08	0.001	0.0003	0.0048	0.06	0.012	0.07	0.02	0.000	0.01	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.74	0.00	0.88	0.23
BR3_18A	15.30	0.002	0.34	46.43	0.002	0.0004	0.0020	0.03	0.006	0.05	0.02	0.000	0.03	0.01	0.04	0.01	0.03	0.00	0.03	0.00	1.28	0.00	1.78	0.44
BR3_19A	15.30	0.001	0.45	43.80	0.001	0.0002	0.0017	0.03	0.005	0.05	0.03	0.000	0.04	0.01	0.07	0.02	0.05	0.01	0.05	0.01	0.99	0.00	0.87	0.30
BR3_20A	15.30	0.000	0.40	44.43	0.001	0.0001	0.0021	0.03	0.006	0.06	0.03	0.000	0.04	0.01	0.06	0.01	0.04	0.01	0.04	0.01	1.07	0.00	0.73	0.25
MS36_1C	15.30	0.003	0.74	44.77	0.002	0.0001	0.0007	0.03	0.003	0.04	0.04	0.002	0.06	0.01	0.09	0.02	0.07	0.01	0.07	0.01	0.65	0.00	0.22	0.11
MS36_2A	15.30	0.000	0.76	49.81	0.002	0.0000	0.0004	0.03	0.002	0.03	0.03	0.002	0.07	0.02	0.11	0.02	0.07	0.01	0.07	0.01	0.77	0.00	0.39	0.17
MS36_4A	15.30	0.000	0.17	49.08	0.001	0.0000	0.0000	0.01	0.000	0.00	0.00	0.000	0.01	0.00	0.02	0.01	0.02	0.00	0.02	0.00	0.83	0.00	0.18	0.07
MS36_7A	15.30	0.001	0.52	48.23	0.001	0.0001	0.0002	0.02	0.001	0.02	0.02	0.001	0.04	0.01	0.09	0.02	0.06	0.01	0.08	0.01	0.84	0.00	0.15	0.07
MS36_8A	15.30	0.000	0.97	49.61	0.002	0.0000	0.0003	0.03	0.002	0.03	0.03	0.002	0.08	0.02	0.15	0.03	0.10	0.02	0.11	0.01	1.01	0.00	0.38	0.14
MS36_9A	15.30	0.000	0.60	58.27	0.004	0.0000	0.0002	0.02	0.001	0.01	0.02	0.001	0.04	0.01	0.08	0.02	0.06	0.01	0.06	0.01	1.11	0.00	0.30	0.09
MS36_10A	15.30	0.000	0.77	49.98	0.002	0.0000	0.0008	0.03	0.004	0.04	0.04	0.002	0.07	0.02	0.12	0.03	0.09	0.01	0.09	0.01	0.97	0.00	0.27	0.12

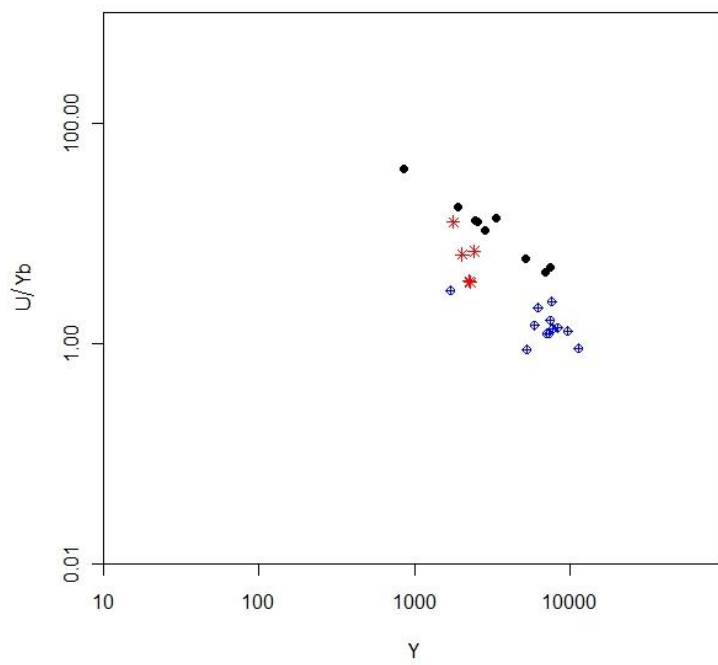
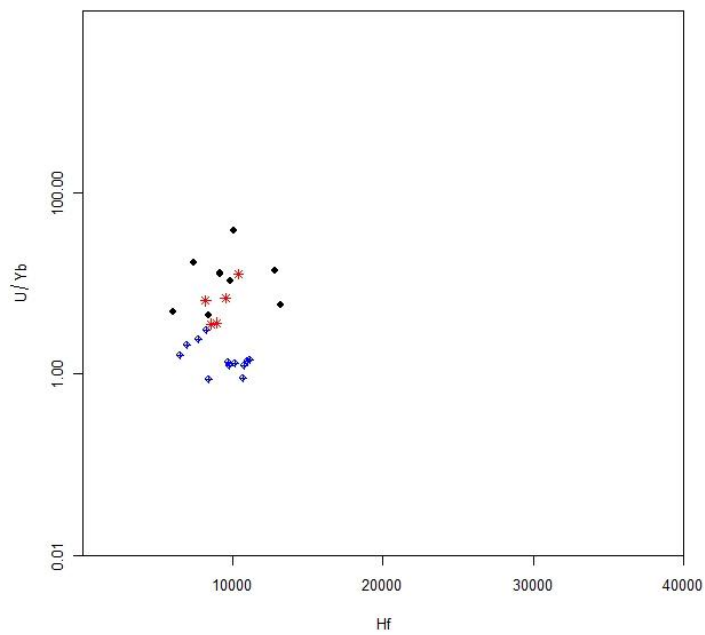
MS36_14A	15.30	0.000	0.83	41.01	0.001	0.0000	0.0005	0.03	0.002	0.03	0.04	0.002	0.08	0.02	0.12	0.03	0.09	0.01	0.08	0.01	1.10	0.00	0.28	0.11
MS36_19A	15.30	0.000	0.71	47.76	0.001	0.0000	0.0009	0.04	0.004	0.05	0.04	0.002	0.07	0.01	0.11	0.02	0.07	0.01	0.08	0.01	1.07	0.00	0.24	0.09
MS36_22A	15.30	0.000	0.62	48.69	0.001	0.0000	0.0002	0.02	0.001	0.01	0.02	0.001	0.04	0.01	0.08	0.02	0.05	0.01	0.05	0.01	0.69	0.00	0.25	0.11
MS36_27A	15.30	0.000	0.73	49.57	0.001	0.0000	0.0002	0.02	0.001	0.02	0.02	0.001	0.06	0.01	0.12	0.03	0.08	0.01	0.09	0.01	0.97	0.00	0.26	0.11
MS36_29A	15.30	0.000	1.13	45.52	0.002	0.0000	0.0004	0.03	0.002	0.03	0.04	0.002	0.10	0.02	0.20	0.05	0.15	0.02	0.14	0.02	1.07	0.00	0.32	0.13

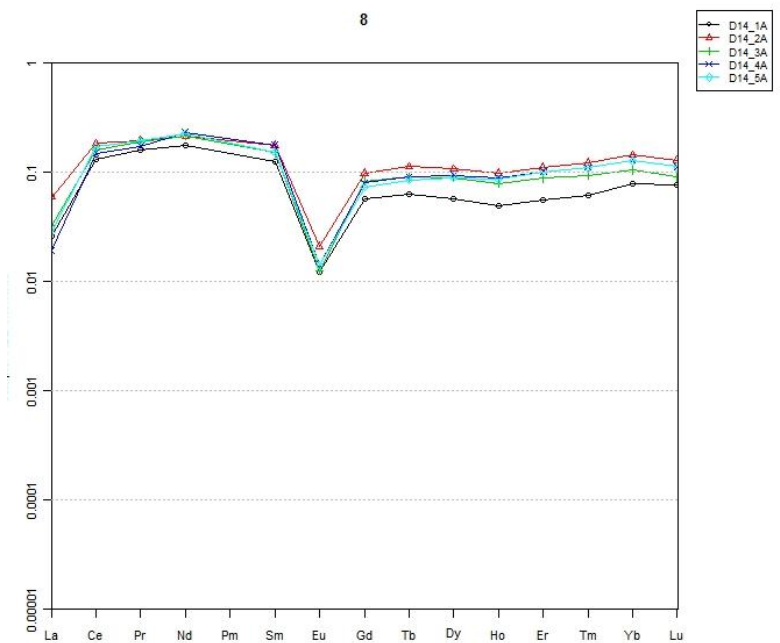
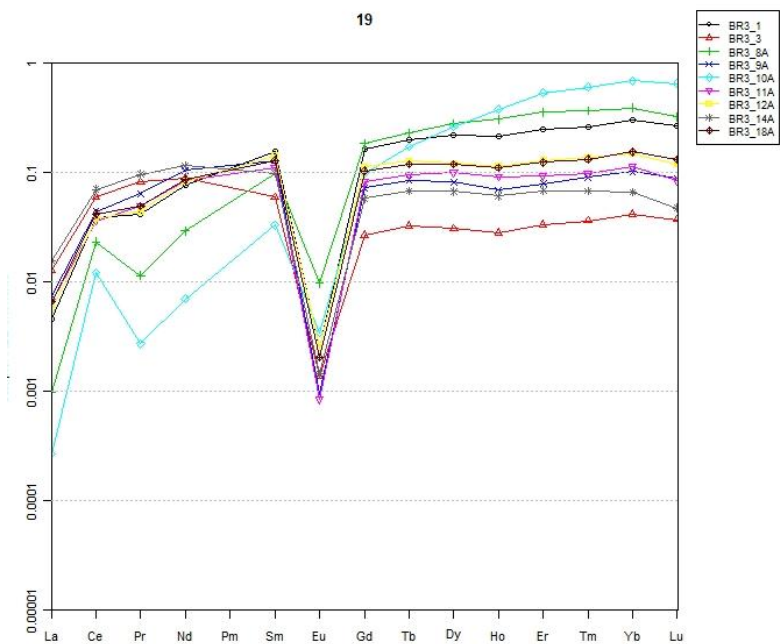
Anexo 4:

Diagramas geoquímicos gerados pelo GCD-Kit, no qual foi interpretado a geoquímica.

Os pontos pretos referem-se a amostra BR3 os pontos vermelhos a amostra D14 e os azuis MS36.







GEO-03015 - PROJETO TEMÁTICO EM GEOLOGIA III

Título da Monografia:	Datação U-Pb e Geoquímica de zircoes da	
Autor:	Grupo Serra Carol, Sul de Brasil	
Orientador(es):	Matheus Philipe Brückmann	
Nota Final (1 até 10):	Léo Afranio Hortmann e Ruy Zulo Philipp	
Examinador:	Luiz Alberto Vedoro	Data: 11/12/2015

1. O título é informativo e reflete o conteúdo da monografia? Sim (x). Não (). Em parte ().
2. O resumo do trabalho informa sobre os tópicos essenciais da monografia? Sim (x). Não (). Em parte ()
3. As ilustrações são úteis e adequadas? Sim (x). Não (). Em parte ()
4. O manuscrito apresenta estrutura organizada? Sim (x). Não (). Em parte ()
5. A introdução apresenta os fundamentos para o restante do texto da monografia? Sim (x). Não (). Em parte ()
6. Os materiais e métodos são descritos adequadamente? Sim (x). Não (). Em parte ()
7. Os resultados são de qualidade e mostrados concisamente? Sim (x). Não (). Em parte ()
8. As interpretações e conclusões são baseadas nos dados obtidos? Sim (x). Não (). Em parte ()
9. As referências são convenientes e usadas adequadamente? Sim (x). Não (). Em parte ()
10. O manuscrito possui boa redação (digitação, ortografia e gramática)? Sim (x). Não (). Em parte ()

Comentários:

Faltam muitas referências, ótimos figuras e texto.

GEO-03015 - PROJETO TEMÁTICO EM GEOLOGIA III

Título da Monografia: Datação U-Pb e geoquímica de zircões do Grupo Serra Geral, sul do Brasil	
Autor: Matheus Philipe Brückmann	
Orientador(es): Prof. Dr. Léo Afraneo Hartmann; Prof. Dr. Ruy Paulo Philipp	
Nota Final (1 até 10): 8,5	
Examinador: Tiago Jalowitzki	Data: 11/12/2015

1. O título é informativo e reflete o conteúdo da monografia? *Sim (x). Não (). Em parte ().*
2. O resumo do trabalho informa sobre os tópicos essenciais da monografia?
Sim (x). Não (). Em parte ().
3. As ilustrações são úteis e adequadas? *Sim (x). Não (). Em parte ().*
4. O manuscrito apresenta estrutura organizada? *Sim (x). Não (). Em parte ().*
5. A introdução apresenta os fundamentos para o restante do texto da monografia?
Sim (x). Não (). Em parte ().
6. Os materiais e métodos são descritos adequadamente? *Sim (). Não (). Em parte (x)*
7. Os resultados são de qualidade e mostrados concisamente? *Sim (x). Não (). Em parte ().*
8. As interpretações e conclusões são baseadas nos dados obtidos?
Sim (x). Não (). Em parte ().
9. As referências são convenientes e usadas adequadamente? *Sim (). Não (). Em parte (x)*
10. O manuscrito possui boa redação (digitação, ortografia e gramática)?
Sim (x). Não (). Em parte ().

Comentários: A obtenção de uma nova idade U-Pb em zircão consideravelmente mais jovem do que o intervalo previamente definido para o magmatismo do Serra Geral configura significativa contribuição para o melhor entendimento da evolução temporal desse que é um dos mais importantes eventos magmáticos do planeta. Embora a separação de zircão em rochas básicas seja um desafio, sugere-se que um número representativo de amostras seja analisado para consolidar a idade obtida nesse estudo.

