

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

TIAGO CASSEB BARBOSA

LITOGEOQUÍMICA DAS ASSOCIAÇÕES VULCÂNICA E
VULCANOCLÁSTICA DA BACIA DO GUARATUBINHA

CURITIBA

2015

TIAGO CASSEB BARBOSA

LITOGEOQUÍMICA DAS ASSOCIAÇÕES VULCÂNICA E
VULCANOCLÁSTICA DA BACIA DO GUARATUBINHA

Trabalho de conclusão de curso apresentado
à disciplina TCC-II no curso de graduação em
Geologia, Setor de Ciências da Terra da
Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Eleonora Maria
Gouvea Vasconcellos

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Barbara Trzaskos

CURITIBA

2015

Dedico aos meus pais, pelo carinho e dedicação nesta jornada. Aos meus irmãos pelas risadas e conforto. À Mônica pela paciência, amor e fé em mim depositados. A todos os meus amigos que me ajudaram de forma direta e indireta nesta aventura. Minha sincera gratidão e agradecimento.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Eleonora Maria Gouvea Vasconcellos, e à minha coorientadora, Prof.^a Dr.^a Barbara Trzaskos, pela dedicação constante ao projeto, pela orientação, pelas sugestões e pela paciência.

À graduanda Joana Caroline de Freitas Rosin e ao mestrando Leonardo Mairink Barão, colegas de projeto, pela ajuda e pelo enriquecimento de conteúdo deste trabalho.

Ao professor Fernando Farias Vesely e aos colegas Eduardo Luiz Menozzo da Rosa e Renato Leandro, pela ajuda nos trabalhos de campo.

À comissão do TCC pela orientação e acompanhamento do projeto.

Aos professores coordenadores Eleonora Maria Gouvea Vasconcellos e Mauro Salgado Monastier por permitirem o uso das instalações do Laboratório de Laminação - LAMIN e do Laboratório de Análise de Minerais e Rochas - LAMIR, da Universidade Federal do Paraná.

A equipe técnica do LAMIR, em especial ao técnico Marcelo Adriano Maceno pela orientação e companheirismo.

Ao CNPq pelo suporte financeiro ao projeto.

A minha família e amigos por todo o apoio e carinho.

RESUMO

A Bacia do Guaratubinha localiza-se a sudeste de Curitiba no contexto geológico do Domínio Luis Alves, no Primeiro Planalto paranaense. A bacia é preenchida por uma sequência de rochas conglomeráticas sotopostas a derrames vulcânicos e intercalados a sequências vulcanoclásticas. Estes conjuntos têm sido estudados desde 1967 por geólogos da Comissão da Carta Geológica do Paraná. Desde então, diversos pesquisadores buscaram compreender e definir o processo de evolução da bacia bem como a relação das rochas que a preenchem. Este trabalho traz novos dados e interpretações a este tópico. A análise de rocha total envolvendo diagramas de variação para óxidos e elementos traço, bem como diagramas multi-elementares para elementos traço e Elementos Terras Raras, indicam um *trend* de fracionamento entre o grupo de rochas andesíticas e o grupo de rochas riolíticas e tufos estudados. O *trend* pode ser reconhecido como uma mistura ou assimilação de magmas. Portanto, os derrames vulcânicos podem ser derivados de câmaras magmáticas distintas ou terem sido formados por taxas diferentes de fusão parcial.

Palavras-Chave: Domínio Luis Alves. Bacia do Guaratubinha. Formação Voçoroca. Formação Saltador.

ABSTRACT

The Guaratubinha Basin is located southeast of Curitiba, within the geological context of Luis Alves Domain, at Paraná First Plateau. The basin is filled by a sequence of conglomerates which underlay volcanic and vulcanoclastic flows. The basin have been studied since 1967 by geologists from the "Comissão da Carta Geológica do Paraná" project. Since then, several researchers have sought to understand and define the evolution process of the basin and the relationship between the rocks that fill it. This paper brings new data and interpretations to this topic. A whole rock analysis, using variation diagrams for major and trace elements, as well as multi-element diagrams for trace elements and Rare Earth elements, indicate a fractional crystallization trend to both andesitic group and rhyolitic and tufts rocks group. This trend can be recognized as a mixture or assimilation process. Therefore, the volcanic rocks may come from different magma chambers or have been formed by different partial fusion rates.

Keywords: Luis Alves Domain. Guaratubinha Basin. Voçoroca Formation. Saltador Formação.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - Mapa de localização da Bacia do Guaratubinha. Fonte: Barão (2015a). Destacada em verde a área aproximada da bacia.....	13
FIGURA 2 - Mapa geológico da Bacia do Guaratubinha com localização das amostras analisadas. Fonte: Barão (2015b).....	15
FIGURA 3 - Processo de quebra ou redução de amostras de forma manual. .	16
FIGURA 4 - Britador de mandíbula utilizado para britagem das amostras.	17
FIGURA 5 - Detalhe das placas dentadas do britador de mandíbula.....	17
FIGURA 6 - Detalhe do recipiente de coleta do britador de mandíbula.....	17
FIGURA 7 - Lupa de mesa utilizada para separação manual.	18
FIGURA 8 - Quarteador utilizado na seleção das amostras britadas.	19
FIGURA 9 - Conjunto composto por panela com interior de tungstênio utilizada para pulverização.	20
FIGURA 10 - Pulverizador utilizado para redução das amostras quarteadas. .	20
FIGURA 11 - Geologia do Primeiro Planalto Paranaense. Fonte: Atlas Geológico do Estado do Paraná (MINEROPAR, 2001).....	28
FIGURA 12 - Granitóides do Primeiro Planalto Paranaense. Fonte: Atlas Geológico do Estado do Paraná (MINEROPAR, 2001).....	31
FIGURA 13 - Bacias vulcanossedimentares do Primeiro Planalto Paranaense. Fonte: Atlas Geológico do Estado do Paraná (MINEROPAR, 2001).....	32
FIGURA 14 - Intrusões máficas e alcalinas do Primeiro Planalto Paranaense. Fonte: Atlas Geológico do Estado do Paraná (MINEROPAR, 2001).....	34
FIGURA 15 - Foto micrografia de amostra de andesito (457/14Q), destacando o plagioclásio. Fonte: Rosin (2015).	36
FIGURA 16 - Foto micrografia de amostra de riolito (457/14D) , destacando sanidina, epidoto e quartzo. Fonte: Rosin (2015).....	36
FIGURA 17 - Foto micrografia de amostra de lamprófiro (457/14B), destacando augita, flogopita e serpentina. Fonte: Rosin (2015).....	37
FIGURA 18 - Foto micrografia de amostra de tufo (457/14S), destacando a textura esferulítica e o epidoto. Fonte: Rosin (2015).....	38
FIGURA 19 - Diagrama TAS de Le Maitre (1989 citado por Rollinson, 1994). Legenda: andesitos (triângulos roxos) e riolitos (losangos laranja).....	41

FIGURA 20 - Diagrama de classificação entre série alcalina e sub-alcalina (Le Maitre, 1989; MacDonald 1968; citado por Rollinson, 1994). Divisão entre série alcalina e sub-alcalina (linha ponto tracejada). Legenda como na Figura 18. ...	42
FIGURA 21 - Diagrama $K_2O \times SiO_2$. Subdivisão de Le Maitre (1989 citado por Rollinson, 1994) (linhas tracejadas). Subdivisão de Rickwood (1989 citado por Rollinson, 1994) (polígonos). Legenda como na Figura 18.	43
FIGURA 22 - Diagramas de variação do tipo Harker para óxidos. Legenda: andesitos (triângulos roxos), riolitos (losangos laranjas), lamprófiro (círculo verde) e tufos (quadrados cinzas).	45
FIGURA 23 - Diagramas de variação do tipo Harker para elementos traço. Legenda como da Figura 22.	52
FIGURA 24 - Diagrama multi-elementar para elementos traço. Normalizado pelo MORB de Bevins <i>et al.</i> (1984 citado por Rollinson, 1994). Conjunto de andesitos (triângulos) e riolito (losangos).	53
FIGURA 25 - Diagrama multi-elementar para elementos Terras Raras. Normalizado pelo condrito de Haskins <i>et al.</i> ; Nakamura (1968; 1974 citado por Rollinson, 1994). Conjunto de andesitos (triângulos) e riolitos (losangos).	53
FIGURA 26 - Diagramas de variação do tipo Harker para TiO_2 . Conjunto de andesitos (triângulos roxos) limitados por linha ponto tracejada roxa, riolitos (losangos laranjas) e tufos (quadrados cinzas) limitados por linha ponto tracejada laranja. Eixo de alinhamento (linha tracejada preta).	55
FIGURA 27 - Diagramas de variação do tipo Harker para Th. Conjunto de andesitos (triângulos roxos) limitados por linha ponto tracejada roxa, riolitos (losangos laranjas) e tufos (quadrados cinzas) limitados por linha ponto tracejada laranja. Eixo de alinhamento (linha tracejada preta).	55

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Tabela de dados geoquímicos recalculados em base anidra para óxidos.....	40
TABELA 2 - Tabela de dados para elementos traço (em ppm) obtidos em análise química e projetados em diagramas de variação.....	46
TABELA 3 - Tabela de dados para elementos traço normalizados pelo MORB de Bevins <i>et al.</i> (1984 citado por Rollinson, 1994) e projetados em diagrama multi-elementar.....	47
TABELA 4 - Tabela de dados para Elementos Terras Raras (em ppm) obtidos em análise química.	48
TABELA 5 - Tabela de dados para Elementos Terras Raras normalizados pelo condrito de Haskins <i>et al.</i> ; Nakamura (1968; 1974 citado por Rollinson, 1994) e projetados em diagrama multi-elementar.	49

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 LOCALIZAÇÃO	12
1.2 OBJETIVO	12
2 MATERIAIS E MÉTODOS	14
2.1 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	15
2.1.1 Britagem	16
2.1.2 Separação manual	18
2.1.3 Quarteamento	18
2.1.4 Pulverização	19
2.2 ANÁLISE LITOGEOQUÍMICA	21
2.2.1 Fluorescência de raios X (XRF)	21
2.2.2 Espectrometria de massa por indução de plasma acoplado (ICP-MS)	21
2.2.3 Óxidos	22
2.2.4 Elementos traço e Elementos Terras Raras	23
3 TRABALHOS ANTERIORES	24
4 GEOLOGIA REGIONAL	28
5 PETROGRAFIA	35
5.1 Andesitos	35
5.2 Riólitos	36
5.3 Lamprófiro	37
5.4 Tufos	37
6 GEOQUÍMICA	39
6.1 ÓXIDOS	39
6.1.1 Diagramas de classificação	41
6.1.2 Diagramas de variação	43

6.2	ELEMENTOS TRAÇO E ELEMENTOS TERRAS RARAS.....	45
6.2.1	Diagramas de variação.....	50
6.2.2	Diagramas multi-elementares.....	52
7	DISCUSSÃO	54
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
	REFERÊNCIAS.....	58

1 INTRODUÇÃO

A Bacia do Guaratubinha é uma bacia transicional preenchida por uma associação basal conglomerática sobreposta por associações vulcânicas riolíticas e andesíticas alternadas a associações vulcanoclásticas. Estudada inicialmente por Fuck *et al.* (1967), em trabalhos da Comissão da Carta Geológica do Paraná, que definiram três sequências principais: a primeira formada por rochas sedimentares, a segunda com rochas vulcânicas riolíticas e a terceira constituída por rochas vulcânicas andesíticas. Dentre os trabalhos realizados na bacia, vale mencionar os trabalhos geoquímicos de Daitx e Carvalho (1980), os estudos regionais da MINEROPAR (Serviço Geológico do Paraná) por Licht (1988), um trabalho de reavaliação tectonoestratigráfica de Castro (1993), trabalhos geocronológicos de Siga Jr. (1995) e trabalhos de detalhe petrográfico de Reis Neto *et al.* (2000).

1.1 LOCALIZAÇÃO

A bacia se localiza a sudeste de Curitiba entre os municípios de São José dos Pinhais e Tijucas do Sul, sendo cortada transversalmente pelo rio Guaratubinha, o qual cede o nome à bacia. É bordejada pela BR-277 a norte e a BR-376 a sul, o que permite o fácil acesso à maior parte da bacia (FIGURA 1).

1.2 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo testar a hipótese da cogeneticidade entre os derrames vulcânicos ácidos e os intermediários que preenchem a bacia, por meio da análise litogeoquímica de rochas riolíticas e andesíticas.

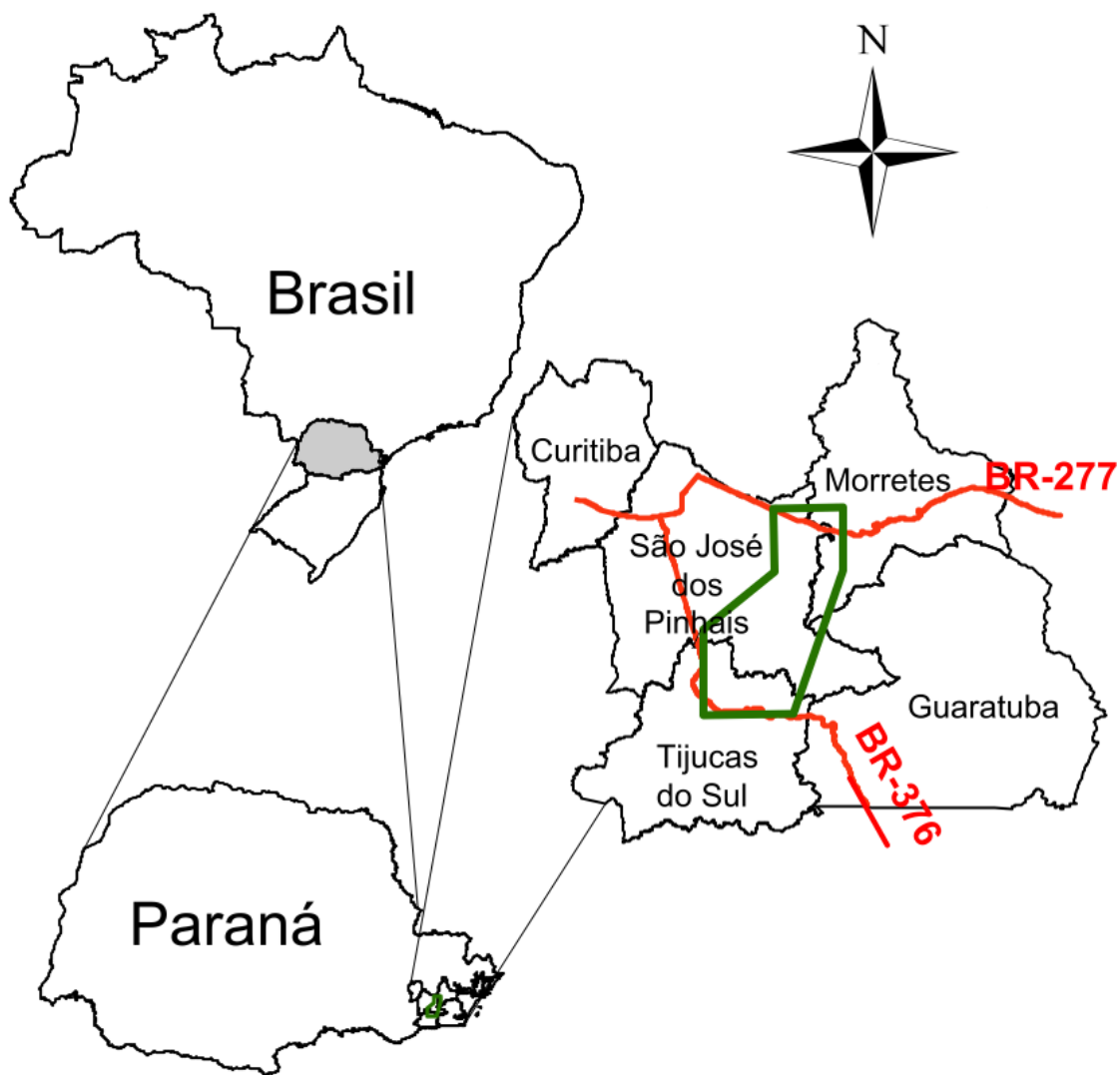


FIGURA 1 - Mapa de localização da Bacia do Guaratubinha. Fonte: Barão (2015a). Destacada em verde a área aproximada da bacia.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido em quatro fases: amostragem, preparação das amostras, análise litogeoquímica e interpretação dos dados. A primeira fase foi executada por meio de saídas de campo realizadas desde fevereiro até maio deste ano (2015). Após uma seleção que melhor representassem as características litológicas e espaciais das rochas foram selecionadas um total de quatorze amostras para serem preparadas e enviadas para análise litogeoquímica. Compõem este conjunto de quatorze amostras totais, oito andesitos (GUA-07, GUA-12, GUA-16, GUA-62-1, GUA-77-2, GUA-83, GUA-93 e GUA-104), três riolitos (GUA-14, GUA-56-1 e GUA-89), dois tufos (GUA-100 E RIO-1) e um lamprófiro (GUA-15). A seguir é apresentado um mapa geológico com o local de coleta das amostras (FIGURA 2). Este mapa geológico é inédito e cedido pelo mestrando de geologia Leonardo Mairink Barão, bolsista do projeto "Arcabouço Estrutural da Bacia do Guaratubinha e Deformações Associadas, Sudeste do Estado do Paraná". Esta tese de mestrado integra o projeto "Tectônica, sedimentação e magmatismo na Bacia do Guaratubinha - PR" (Processo: 481065/2013-0) do qual esta monografia de conclusão de curso também faz parte.

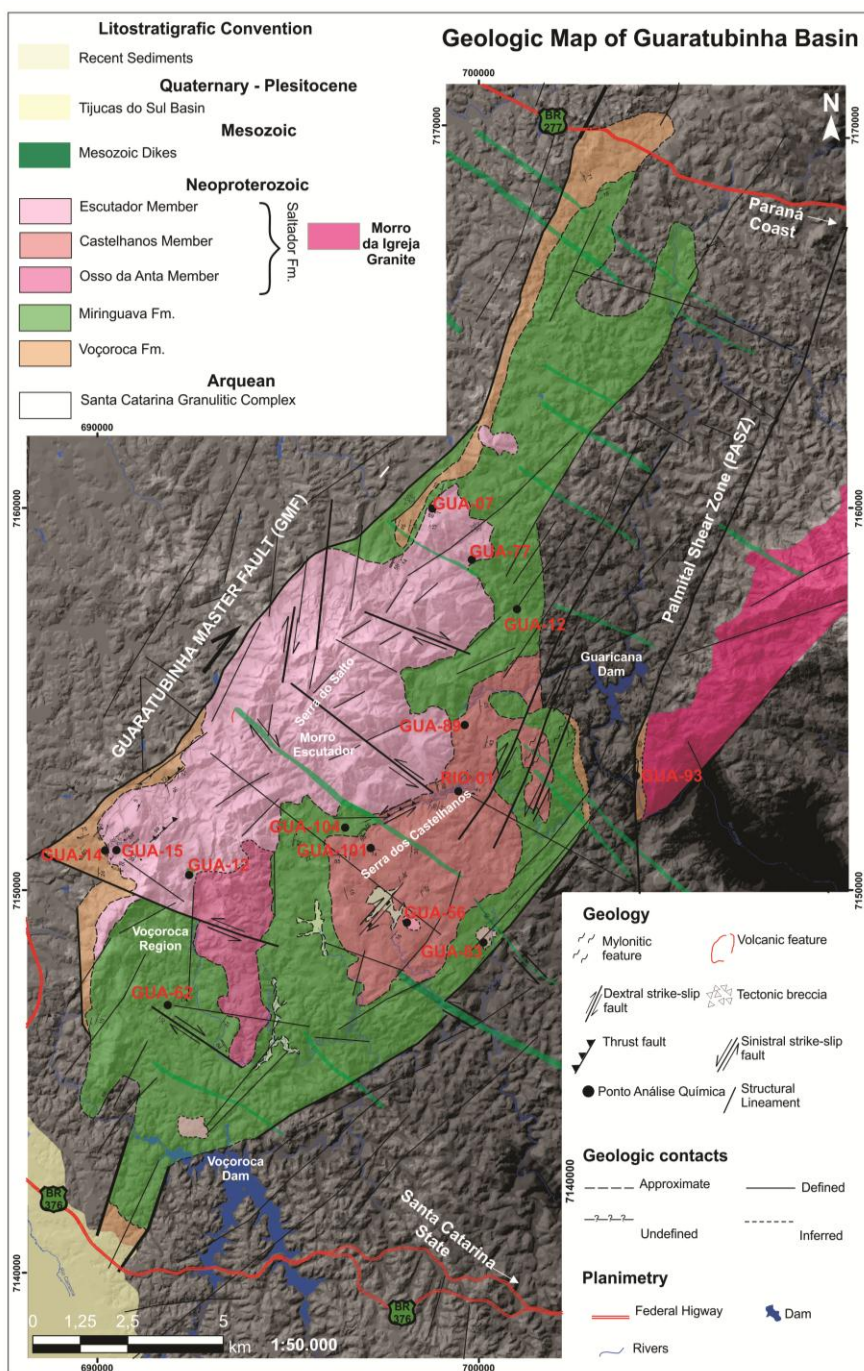


FIGURA 2 - Mapa geológico da Bacia do Guaratubinha com localização das amostras analisadas. Fonte: Barão (2015b).

2.1 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

A segunda fase consistiu em trabalhos laboratoriais, para preparação das amostras para análise geoquímica. Esta etapa foi realizada no Laboratório de Laminação (LAMIN) do Departamento de Geologia da Universidade Federal

do Paraná, onde foi feito o corte das amostras, para uma avaliação visual da alteração. As demais etapas da preparação foram realizadas no Laboratório de Análises de Minerais e Rochas (LAMIR) da Universidade Federal do Paraná resumindo-se em: britagem, separação manual, quarteamento e pulverização.

2.1.1 Britagem

A britagem por vezes requer a quebra de forma manual, utilizando-se martelo ou marreta, devido ao tamanho e dureza das amostras (FIGURA 3). Depois de reduzidas a um tamanho adequado as amostras são inseridas em um britador de mandíbula da marca Renard, modelo BMA 85x120 (FIGURA 4). As amostras são britadas pela movimentação de duas placas dentadas (FIGURA 5) e os fragmentos coletados em um recipiente na parte inferior do britador (FIGURA 6).



FIGURA 3 - Processo de quebra ou redução de amostras de forma manual.



FIGURA 4 - Britador de mandíbula utilizado para britagem das amostras.



FIGURA 5 - Detalhe das placas dentadas do britador de mandíbula.



FIGURA 6 - Detalhe do recipiente de coleta do britador de mandíbula.

2.1.2 Separação manual

Para um melhor desempenho e segurança nos resultados das análises químicas, muitas amostras necessitaram de uma separação manual para retirada de partes indesejadas como porções intemperizadas, amígdalas, veios de quartzo e percolações. O processo de separação é feito por meio de uma serra motorizada ou britando as amostras e realizando uma seleção dos pedaços com a ajuda de uma lupa de mesa da marca Zeiss modelo SteREO Discovery V.8 (FIGURA 7).



FIGURA 7 - Lupa de mesa utilizada para separação manual.

2.1.3 Quarteamento

Após a britagem, o quarteamento foi realizado em um quarteador metálico da marca Marconi modelo MA 006/18x15.87 (FIGURA 8), onde foram separados aproximadamente 120 gramas de material de cada amostra.



FIGURA 8 - Quarteador utilizado na seleção das amostras britadas.

2.1.4 Pulverização

A pulverização foi realizada em uma panela, com interior de tungstênio, que contém um conjunto constituído por um anel e um peso central, também de tungstênio (FIGURA 9). A amostra quarteada é despejada na panela entre o anel e o peso central, para então ser levada a um pulverizador da marca AMEF, modelo AM P1-5 (FIGURA 10), por aproximadamente 30 segundos.



FIGURA 9 - Conjunto composto por panela com interior de tungstênio utilizada para pulverização.



FIGURA 10 - Pulverizador utilizado para redução das amostras quarteadas.

2.2 ANÁLISE LITOGEOQUÍMICA

Na terceira fase, análise geoquímica, foi feita a análise de rocha total, para caracterização quantitativa dos elementos químicos. As amostras já preparadas foram enviadas ao laboratório da empresa Acme (pertencente ao grupo Bureau Veritas) em Belo Horizonte, Minas Gerais, onde foram realizadas as seguintes análises: a primeira, pacote LF702-EXT, para óxidos e metais de transição e a segunda, pacote LF100, para Elementos Terras Raras e elementos traço. As análises abrangem uma extensa gama de elementos, dentre os quais são de interesse para este trabalho os óxidos como SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , $\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{total})}$, MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 e LOI; e elementos traço como Rb, Ba, Th, Ta, Sr, La, Ce, Nb, Nd, P, Hf, Zr, Eu, Tb, Y, Yb e Ni; bem como Elementos Terras Raras como La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb e Lu.

2.2.1 Fluorescência de raios X (XRF)

Óxidos e metais de transição foram analisados por fluorescência de raios X. Segundo Rollinson (1994), no processo de fluorescência é emitido um feixe de raios X na amostra, energizando os elétrons. Quando os elétrons voltam ao estado energético original é emitida uma fluorescência, com comprimentos de ondas característicos para cada elemento. Esta fluorescência é detectada por sensores previamente calibrados, identificando o elemento e o seu teor na amostra.

2.2.2 Espectrometria de massa por indução de plasma acoplado (ICP-MS)

A determinação de elementos traço e Elementos Terras Raras foram feitas pelo método de espectrometria de massa por indução de plasma

acoplado (ICP-MS). Neste processo a amostra é solubilizada, convertida para a fase gasosa e ionizada em uma tocha de plasma. O plasma é então direcionado a um sistema em vácuo, onde os íons de interesse são isolados, focalizados e conduzidos até o espectrômetro de massa, onde são quantificados (Rollinson, 1994).

2.2.3 Óxidos

Para o tratamento dos dados referentes aos óxidos o valor da porcentagem em peso foi recalculado em base anidra distribuindo o valor do LOI (*Lost on Ignition*) de forma proporcional entre os demais componentes. Os novos valores foram então projetados em diagramas de classificação e de variação.

Dentre os diagramas de classificação utilizou-se o diagrama TAS de álcalis total versus sílica ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} \times \text{SiO}_2$) de Le Maitre *et al.* (1989 citado por Rollinson, 1994). Com o intuito de definir a natureza alcalina ou sub-alcalina das amostras, foi utilizado o escopo do diagrama TAS adicionado à linha de subdivisão para estes campos (MacDonald & Katsura, 1964; MacDonald, 1968 citado por Rollinson, 1994). Buscando refinar a natureza das amostras sub-alcalinas, reconhecidas no diagrama acima descrito, foi utilizado o diagrama de K_2O versus SiO_2 , tendo como parâmetro de separação entre os campos, os limites estabelecidos por Rickwood e por Le Maitre (1989 citado por Rollinson, 1994).

Diagramas de variação binários do tipo Harker foram construídos para cada um dos óxidos (Al_2O_3 , $\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{total})}$, CaO , MgO , Na_2O , K_2O , MnO , TiO_2 e P_2O_5), visando entender o processo evolutivo do evento vulcânico, apontar variação no universo amostrado e identificar tendências. Foi escolhida a sílica (SiO_2) como óxido fracionante, visto que o universo amostral inclui rochas intermediárias ($54\% < \text{SiO}_2 < 63\%$) e rochas ácidas ($\text{SiO}_2 > 63\%$).

2.2.4 Elementos traço e Elementos Terras Raras

Elementos traço, como Rb, Ba, Th, Ta, Sr, La, Ce, Nb, Nd, P, Hf, Zr, Eu, Tb, Y, Yb e Ni, foram analisados por meio de diagramas de variação tipo Harker, com a sílica (SiO_2) como óxido fracionante. Semelhante ao estudo feito com óxidos, o objetivo de construir tais diagramas também é o de reconhecer tendências e salientar variações entre as rochas.

Diagramas multi-elementares (*spider diagrams*) foram confeccionados tanto para os elementos traço citados acima quanto para os Elementos Terras Raras analisados, que são La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb e Lu. Para a construção dos diagramas multi-elementares de elementos traço, os valores em ppm dos elementos traço foram normalizados segundo os valores para MORB estabelecidos por Bevins *et al.* (1984; citado por Rollinson, 1994), ao passo que os Elementos Terras Raras foram normalizados pelo condrito de Haskins *et al.*; Nakamura (1968; 1974 citado por Rollinson, 1994). A normalização é feita com o objetivo de reduzir o efeito Oddo-Harkins, que causa um padrão "zig-zag" no diagrama.

3 TRABALHOS ANTERIORES

Inicialmente estudada por Fuck *et al.* (1967), em trabalhos da Comissão da Carta Geológica do Paraná, as rochas que preenchem a Bacia do Guaratubinha foram divididas em três grandes sequências. A primeira, uma sequência sedimentar composta de conglomerados, arenitos arcossianos, siltitos e argilitos. A segunda, uma sequência vulcânica ácida, constituída de riolitos, brechas riolíticas, tufos e microgranitos. A terceira, uma sequência vulcânica intermediária, é formada essencialmente por andesitos e, por vezes, dacitos. Os autores apontam que as sequências se apresentam em discordância angular com migmatitos e granitóides do embasamento cristalino. Fuck *et al.* (1967) também ressaltam a correlação desta bacia vulcanossedimentar com os grupos Castro e Itajaí, comparando com lençóis riolíticos descritos por Almeida (1949, citado por Fuck *et al.*, 1967).

Daitx & Carvalho (1980) realizam um estudo pedológico e geoquímico da área Guaratubinha - Piên. Para a Bacia do Guaratubinha os autores destacam teores elevados de estanho e elementos paragenéticos. Foi descrita a presença de cassiterita em análise mineralógica e ouro em análise por absorção atômica. Considerando que Boyle (1974 citado por Daitx & Carvalho, 1980) comenta a escassez de depósitos de cassiterita disseminada ou *stock work* em fluxos riolíticos e ignimbríticos, bem como a ocorrência de depósitos de ouro em rochas vulcânicas, vulcanoclásticas e sedimentares os autores consideram mais provável a concentração econômica de ouro do que de cassiterita.

Dando sequência aos estudos na bacia, Licht (1988) realiza um estudo geoquímico das rochas da formação. O estudo aponta enriquecimento de arsênio para a sequência vulcânica ácida, cobalto, ferro e zinco para a sequência vulcânica intermediária e apenas cobalto para a sequência sedimentar. Também foram determinados empobrecimentos em molibdênio, cobre, antimônio, bismuto, níquel, ferro, zinco, cobre e manganês para a sequência vulcânica ácida. Arsênio, chumbo, antimônio, níquel, cobre e

manganês para a sequência vulcânica intermediária. Na sequência vulcânica sedimentar há empobrecimento de arsênio, cobre e manganês.

Em 1993, Castro propõe uma nova sequência estratigráfica para a Bacia do Guaratubinha, considerando os depósitos que preenchem a bacia como sendo constituídos por mais de 90% de rochas vulcânicas e vulcanoclásticas. O autor propõe a criação de quatro associações: clástica grosseira, vulcânica ácida associada a rochas vulcanoclásticas, vulcânica intermediária e vulcanoclástica superior.

Castro (1993) considera como basal a associação clástica grosseira que perfaz uma sequência de conglomerados restritos à porção sudoeste da bacia, diferente da proposta anterior, pois esta compreende também depósitos siltico-argilosos. Para o autor, tais depósitos correspondem a rochas vulcanoclásticas finas (cinza-tufos), bem como os arenitos arcossianos descritos por Fuck *et al.* (1967) corresponderiam a clasto-tufos. Acima na sequência sedimentar há a associação vulcânica ácida com rochas vulcanoclásticas associadas, que são fluxos riolíticos e tufos, considerados pelo autor como sendo geneticamente ligados. A associação vulcânica intermediária é composta majoritariamente de andesitos, tendo riolitos subordinados e, estratigraficamente, está sotoposta a associação vulcanoclástica superior. Considerada a mais jovem, a associação vulcanoclástica superior é composta de tufos e lapili-tufos.

Castro (1993) ainda ressalta um possível caráter cogenético para as rochas riolíticas e andesíticas, considerando principalmente o padrão de Elementos Terras Raras, com uma forte anomalia em Eu. Também corroboram essa idéia a comparação com diagramas de álcalis totais versus SiO₂ (TAS), nióbio e irídio.

Em 1995, Siga Júnior promove o primeiro estudo geocronológico das rochas da Formação Guaratubinha. Utilizando o método Rb-Sr, foram datados cristais de zircão em riolitos com idade aproximada de 570 ±10 Ma, ou seja, Neoproterozoico tardio, quase Paleozoico.

Reis Neto *et al.* (2000) fazem uma análise mais detalhada das rochas vulcanoclásticas seguindo parcialmente a proposta das quatro associações de Castro (1993). Os autores subdividem a associação vulcânica ácida com

vulcanoclásticas associadas em duas associações: vulcânica ácida e vulcanoclástica ácida. Na porção basal da bacia é reconhecida a associação clástica grosseira, que é descrita como ortoconglomerados com arcabouço de clastos polimíticos (gnaisse, quartzo leitoso, filito, xisto, granitóides cálcio-alcalinos foliados, quartzito, granulito e micro-granito) em matriz arenosa e arenosa lítica. A associação vulcânica ácida é representada por riolitos rosa avermelhados, por vezes afaníticos ou porfiríticos, com fenocristais de ortoclásio e quartzo. São reconhecidas como associação vulcânica intermediária as rochas andesíticas porfiríticas com fenocristais de plagioclásio em matriz afanítica. Nota-se a presença subordinada de riodacitos, localmente vesiculados. As associações vulcanoclásticas ocorrem estratigraficamente tanto abaixo (vulcanoclástica ácida) quanto acima (vulcanoclástica superior) da associação vulcânica intermediária.

O principal fator de separação utilizado por Reis Neto *et al.* (2000) para a associação vulcanoclástica ácida foi a granulometria baseada na classificação de Fisher & Schmincke (1984 citado por Reis Neto *et al.*, 2000). Portanto, para esta associação são descritos lapili-tufos ou brechas autoclásticas hidrotermalizadas com quartzo fino (filmes), amígdalas e esferulitos o que indica proximidade ao conduto vulcânico (Castro 1993b citado por Reis Neto *et al.*, 2000). Cinza-tufos com clastos de quartzo com borda corroída, fragmentos líticos (riolito e ignimbrito) e feldspato potássico em meio à matriz de quartzo fino (filmes) e minerais opacos. A corrosão dos clastos de quartzo associada a filmes de quartzo (alta compactação) indicam um ambiente de fluxo piroclástico com grande carga de fragmentos. E por fim, ignimbritos semelhantes aos tufos previamente descritos, porém apresentando uma orientação de fluxo dos minerais que compõem a matriz.

A associação vulcanoclástica superior é dada por uma sucessão de tufos até lapili-tufos. A porção basal é constituída de cinza-tufos de cristais grossos (0,5 a 2 mm) intercalados com porções mais finas (menor que 0,05 mm), gerando estruturas tipo *wavy*, *linsen* e *flaser*, bem como marcas de ondas que indicam o sentido de paleocorrente para sudeste. Estratigraficamente acima há cinza-tufos mais finos (fração cinza) onde há o predomínio de granulometrias finas em relação a grossas. Apresenta fragmentos líticos de

quartzo, riolito e andesito. Acima ocorrem depósitos de cinza-tufos mais finos que os anteriormente descritos, com fragmentos, menores que 2 mm, de feldspato, quartzo e material desvitrificado, composto de quartzo, mica branca e argilominerais. Também possui estrutura plano paralela com gradação normal incipiente. Por fim, os depósitos mais recentes da associação vulcanoclástica superior são lapili-tufos com alta concentração de fragmentos líticos de andesitos e clastos de quartzo, epidoto, feldspato potássico, plagioclásio, sericita, argilominerais e minerais máficos, em meio à matriz de minerais criptocristalinos.

4 GEOLOGIA REGIONAL

A proposta tectonoestratigráfica utilizada para este trabalho é aquela apresentada no Atlas Geológico do Estado do Paraná proposto pelo Serviço Geológico do Paraná - MINEROPAR (2001). A área de estudo está localizada na Província Mantiqueira (Almeida *et al.*, 1981) na região do Primeiro Planalto Paranaense (FIGURA 11). Essa região compreende os Domínios Luis Alves, Curitiba e Apiaí. Esses domínios são constituídos de conjuntos de rochas vulcanossedimentares de idade neoarqueanas a neoproterozoicas. São alongados segundo NE-SW e compartimentados por diversas zonas de cisalhamento, resultantes da amalgamação destes terrenos para a formação do paleocontinente Gondwana, durante o Ciclo Brasileiro.

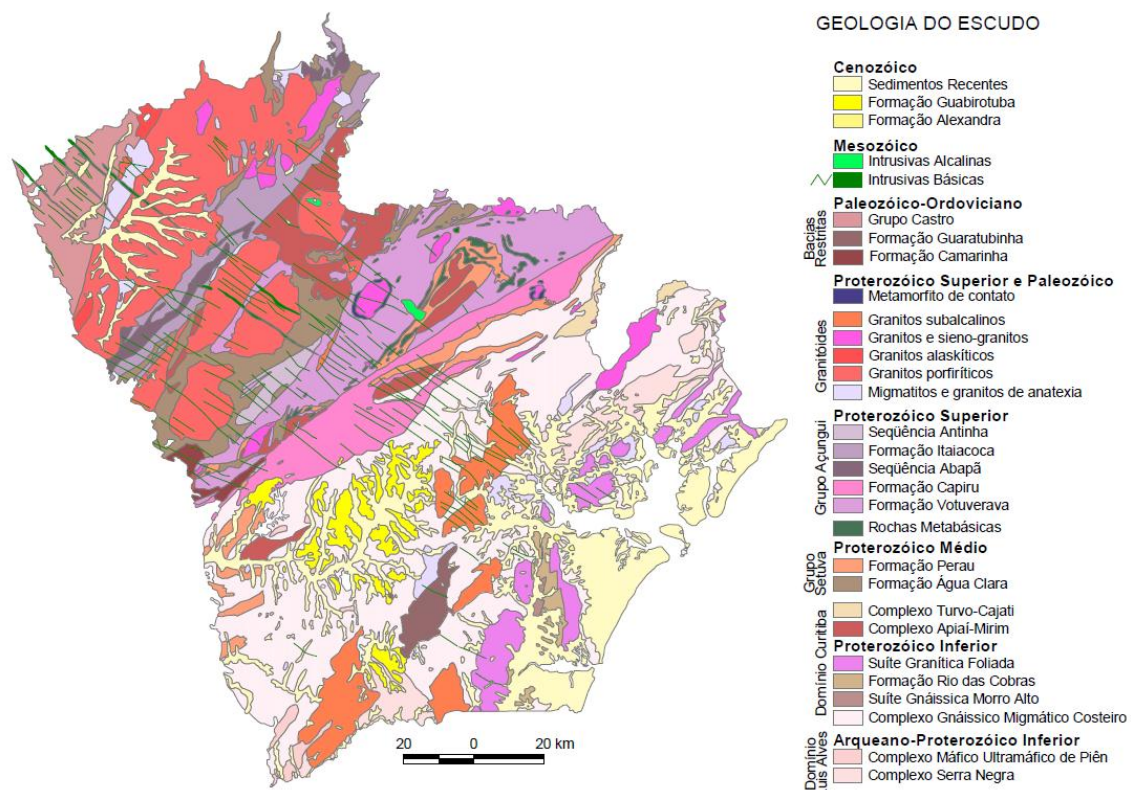


FIGURA 11 - Geologia do Primeiro Planalto Paranaense. Fonte: Atlas Geológico do Estado do Paraná (MINEROPAR, 2001).

O Domínio Luis Alves compreende as rochas do Complexo Granulítico de Serra Negra e do Complexo Máfico Ultramáfico de Piên. O Complexo Granulítico Serra Negra é do tipo TTG composto de rochas tonalíticas,

trondjemíticas e granodioríticas afetadas por um metamorfismo de alto grau gnáissico-granulítico (Basei *et al.* 1992, Basei *et al.* 1997). Essas rochas têm bandamento composicional milimétrico a centimétrico onde alternam bandas quartzo-feldspáticas e bandas com minerais máficos (Harara *et al.*, 2001). Siga Júnior *et al.* (1993), utilizando o método K-Ar em biotita e anfibólio, calculam idade entre 2,1 a 1,7 Ga, ou seja, somente registros paleoproterozoicos. Este fato indica que o Terreno Luis Alves já estava estável durante o Ciclo Brasileiro.

Próximo ao limite com o Domínio Curitiba encontram-se as rochas do Complexo Máfico Ultramáfico de Piên. Afloram a leste da cidade de Piên se estendendo de forma lenticular alongada segundo N45E. O Complexo pode ser dividido em duas associações, sendo a primeira de rochas de variedade magnesianas de xistos e gnaisses. A segunda associação é de rochas básicas com metamorfismo variado, ricas em cálcio e ferro, maciças e de textura fina (MINEROPAR, 2001). Segundo Harara (2001) são sequências ofiolíticas incompletas de peridotitos serpentinizados, piroxenitos e gabros toleíticos, datados em aproximadamente 630 Ma.

O Domínio Curitiba compreende o Complexo Atuba, a Suíte Granítica Rio Piên e o Grupo Setuva, os quais são limitados a sul pela Zona de Cisalhamento Faxinal e a norte pela Zona de Cisalhamento Lancinha. O Complexo Atuba é formado por ortognaisses com porções quartzo-feldspáticas e migmatitos cujo melanossoma é composto de biotita e anfibólio e o leucossoma é tonalítico-granodiorítico. Intercalados a estas litologias há corpos de anfibolitos e xistos magnesianos (Siga Jr. *et al.*, 1995). A Suíte Granítica Rio Piên é constituída de granitóides cálcio-alcálicos, como monzodioritos, monzogranitos e granodioritos. Segundo estudo geocronológico feito por Harara (1993), esses granitóides apresentam idade neoproterozoica. No Grupo Setuva encontram-se rochas vulcanossedimentares metamorfisadas desde fácies xisto verde até fácies anfibolito. O grupo é dividido nas formações Perau e Água Clara, sendo que a Formação Perau é constituída de quartzitos, mármore, calciossilicáticas, xistos, rochas metavulcânicas e formações ferríferas. Na Formação Água Clara, encontram-se rochas metavulcânicas,

xistos, metamargas, calcários e formações ferromagnesianas (MINEROPAR, 2001).

Na porção setentrional do primeiro planalto paranaense, a norte da Zona de Cisalhamento Lancinha, encontra-se o Domínio Apiaí, o qual é formado pelas rochas do Grupo Açungui e Núcleos Tigre e Betara. O Grupo Açungui contém as formações Capiçu, Votuverava e Itaiacoca bem como as Sequências Antinha e Abapã que são, em síntese, uma sequência de mármore, quartzitos e rochas metapsamíticas e metapelíticas. Faleiros (2008) aponta idades mesoproterozoicas a neoproterozoicas para o Grupo Açungui. Tigre e Betara são núcleos de embasamento de composição gnáissica oriundos de granitóides alcalinos de idade arqueana a paleoproterozoica (3,3 – 2,1 Ga) (Kaulsfuss, 2001 citado por Faleiros, 2008).

Intrudidos em meio às sequências vulcanossedimentares citadas acima, há uma série de corpos graníticos neoproterozoicos que podem ser divididos segundo a sua relação temporal com orogenias formadas pela colisão dos terrenos em pré, sin a tardi, tardi a pós e pós colisionais (FIGURA 12).

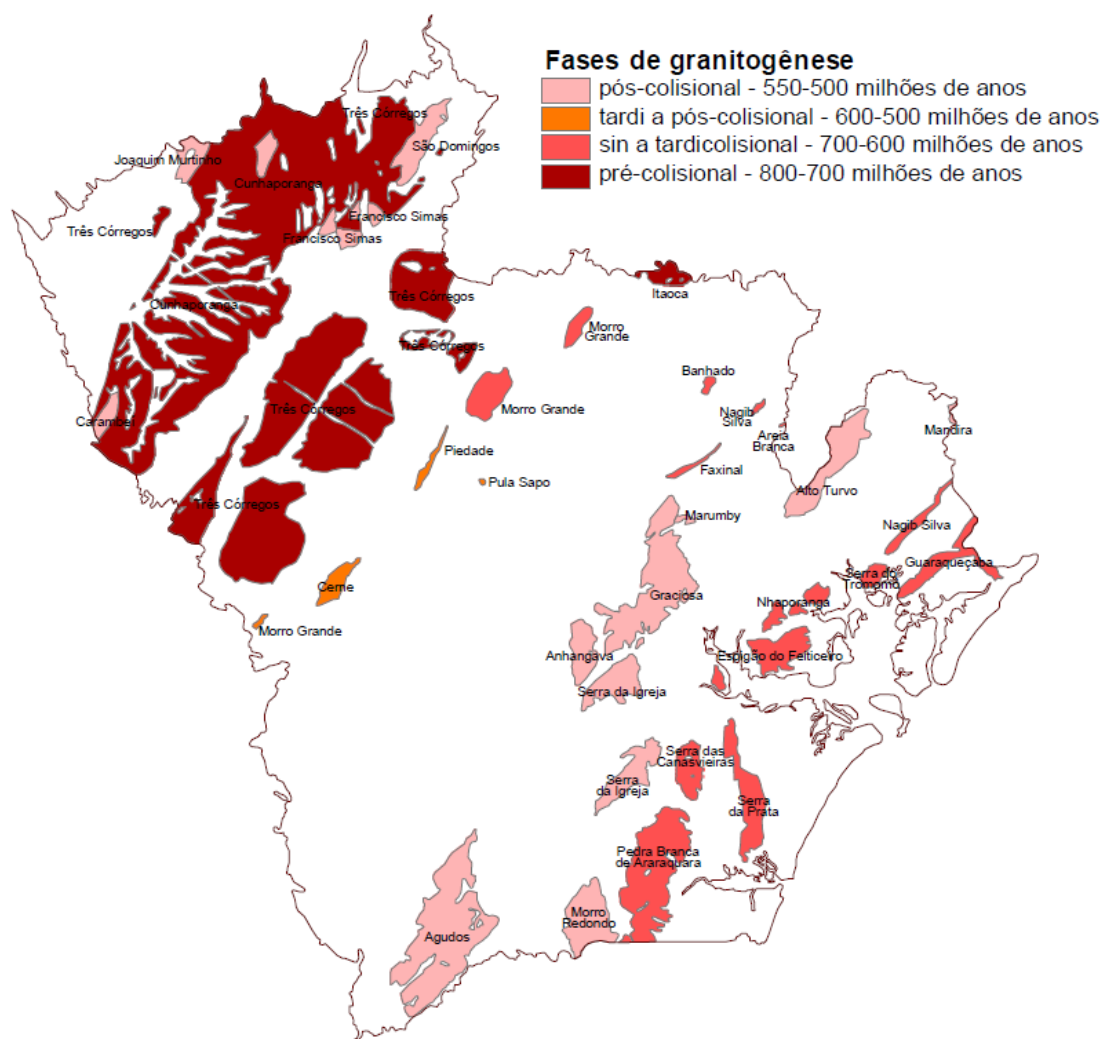


FIGURA 12 - Granitóides do Primeiro Planalto Paranaense. Fonte: Atlas Geológico do Estado do Paraná (MINEROPAR, 2001).

Os granitóides pré-colisionais (800 - 700 Ma) são os complexos Cunhaporanga e Três Córregos, caracterizados como migmatitos e granitos de anatexia brasileiros em ambiente de arco magmático. Os corpos sin a tardicolisionais (700 - 600 Ma) são o Serra da Prata, Costeiro, Batólito Paranaguá, Morro Grande e Banhado, interpretados como oriundos de fusão da crosta continental. Os tardi a pós-colisionais (600 - 500 Ma) são o Cerne, Passa Três e Piedade, de composição monzogranítica a álcali-sienogranítica, formados em ambiente de retroarco. Por fim, os pós-colisionais (550 - 500 Ma) são o Graciosa, Marumbi, Morro Redondo, Anhangava, Francisco Simas, Joaquim Murtinho e Carambeí. Os quatro primeiros de composição álcali-granítica e os três últimos de composição alaskítica (MINEROPAR, 2001).

Encontram-se também no primeiro planalto bacias vulcanossedimentares como Castro, Guaratubinha e Camarinha (FIGURA 13). Bacias semelhantes também são encontradas mais a sul na Província Mantiqueira, como Campo Alegre, Itajaí e Camaquã.

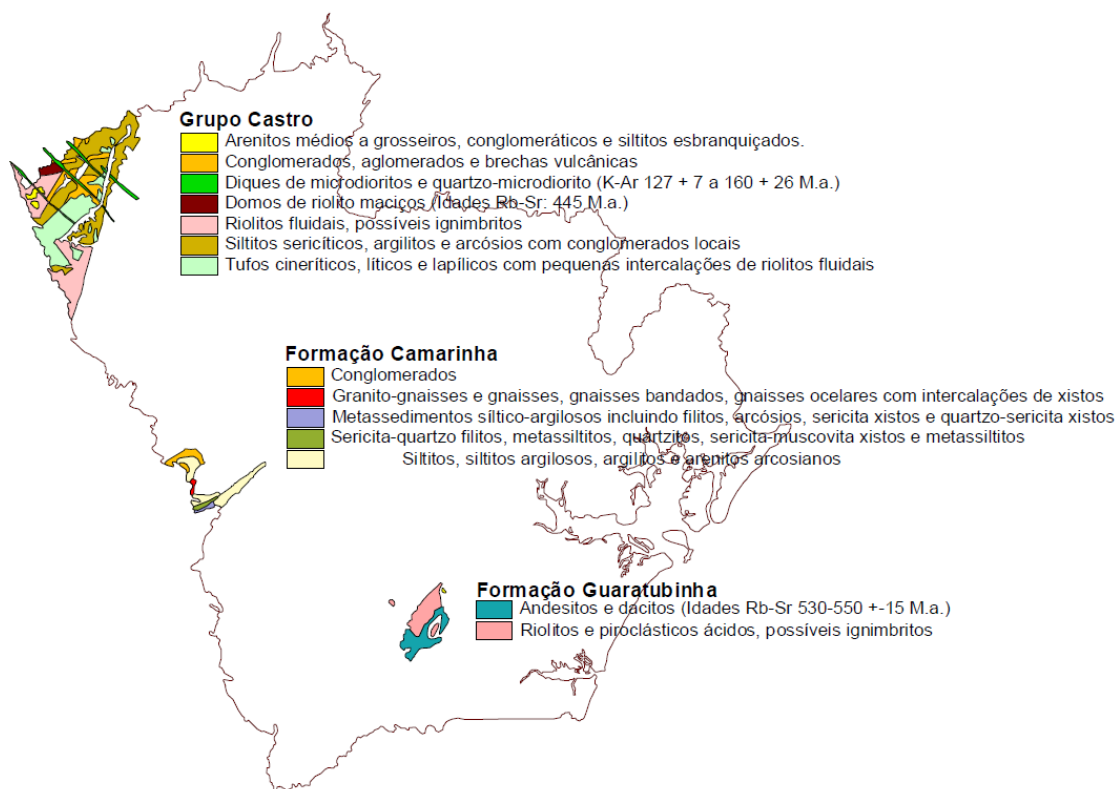


FIGURA 13 - Bacias vulcanossedimentares do Primeiro Planalto Paranaense. Fonte: Atlas Geológico do Estado do Paraná (MINEROPAR, 2001).

Na região norte do primeiro planalto está localizada a Bacia de Castro. Esta bacia é preenchida por três associações sendo elas da base para o topo: Tronco, Piraí do Sul e Tirania. A Associação Tronco é constituída de um derrame andesítico sotoposto a conglomerados e arenitos conglomeráticos. A Associação Piraí do Sul é formada por arenitos arcosianos e lamitos. Por fim a Associação Tirania tem em sua base brechas piroclásticas que gradam lateralmente para lamitos e verticalmente para tufos, ignimbritos e riolitos, os quais são sobrepostos por conglomerados e arenitos conglomeráticos (Moro *et al.*, 1994 citado por Silva *et al.*, 2003).

A Formação Camarinha, contida em sua bacia homônima, é constituída de rochas cuja granulação varia desde argila até areia grossa (Góis, 1990

citado por Silva *et al.*, 2003). Moro (2000 citado por Silva *et al.*, 2003) ressalta o caráter *strike-slip* destas bacia como sendo relacionado à atuação da Falha da Lancinha.

A Bacia do Guaratubinha, alvo de estudo deste trabalho, está localizada a sudeste de Curitiba. Segundo Reis Neto *et al.* (2000), o conteúdo vulcanossedimentar da bacia pode ser dividido em cinco associações, que são da base para o topo: clástica grosseira, vulcânica ácida, vulcanoclástica ácida, vulcânica intermediária e vulcanoclástica superior. A Associação clástica grosseira é formada de ortoconglomerados de arcabouço polimítico e matriz arenosa e arenosa lítica. A Associação vulcânica ácida é constituída majoritariamente de riolitos. Na Associação vulcanoclástica ácida encontra-se uma sequência de lapili-tufos, brechas autoclásticas e cinza-tufos encobertos por ignimbritos. Têm-se na Associação vulcânica intermediária um predomínio de andesitos e, subordinadamente, riodacitos vesiculados. Por fim, na Associação vulcanoclástica superior é encontrada uma sequência com uma aparente gradação normal de termos mais grossos (0,5 a 2 mm) como cristal-cinza-tufos, passando por cinza-tufos, para lapili-tufos. Siga Júnior (1995) indica idades de 570 ± 10 Ma utilizando o método Rb-Sr em cristais de zircão de riolitos.

O Mesozoico é marcado por um conjunto de intrusões máficas e intrusões alcalinas (FIGURA 14). As intrusões máficas perfazem os diques de diabásio com direção preferencial NW. Dentre as intrusões alcalinas têm-se dois maciços de Tunas e do Banhadão, além de dois corpos de carbonatitos, Barra do Itapirapuã e Mato Preto (MINEROPAR, 2001).

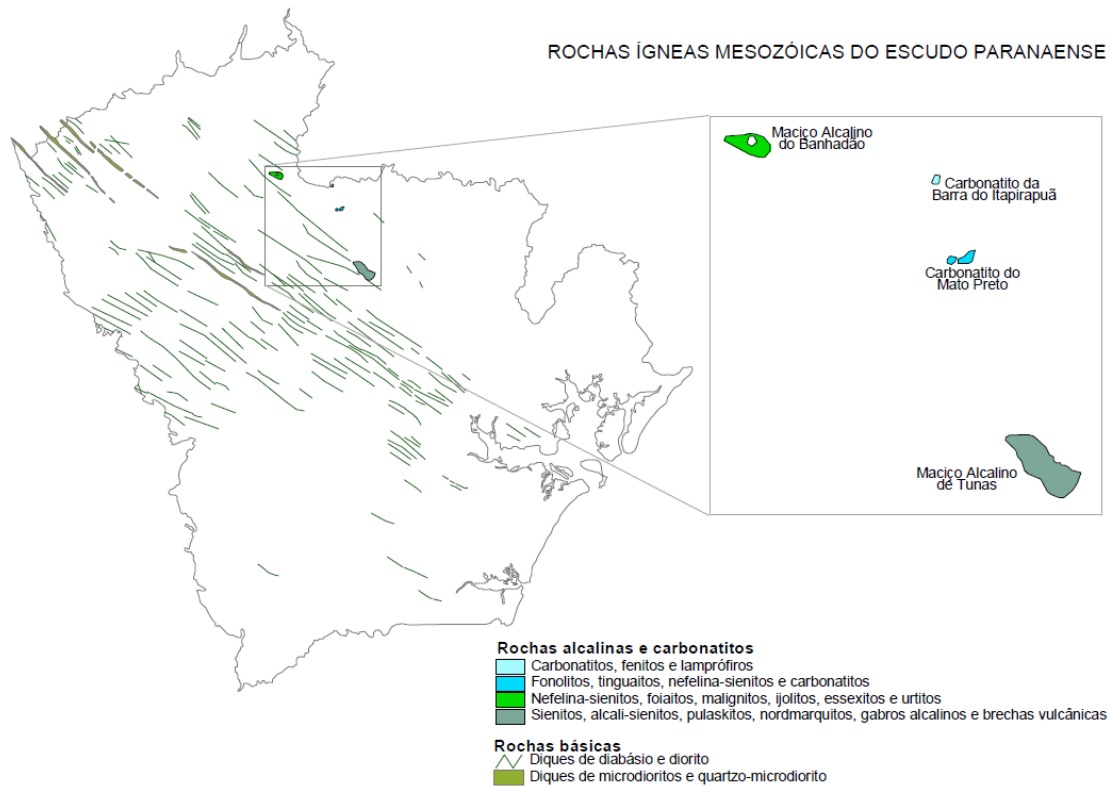


FIGURA 14 - Intrusões máficas e alcalinas do Primeiro Planalto Paranaense. Fonte: Atlas Geológico do Estado do Paraná (MINEROPAR, 2001).

Por fim, no Cenozóico, é formada a Formação Guabirotuba, uma sequência de argilitos, arenitos arcossianos, diamictitos e calcretes (Lima, 2010; Cunha, 2011).

5 PETROGRAFIA

Os resultados aqui apresentados são inéditos e foram cedidos pela graduanda de geologia Joana de Freitas Rosin, bolsista do projeto de Iniciação Científica intitulado "Caracterização petrográfica de rochas vulcanoclásticas da Formação Guaratubinha e comparação com as rochas interderrames da Província Magmática do Paraná". Este relatório de Iniciação Científica integra o projeto "Tectônica, sedimentação e magmatismo na Bacia do Guaratubinha - PR" (Processo: 481065/2013-0) do qual esta monografia de conclusão de curso também faz parte. Será apresentada a seguir uma compilação das descrições, contidas no relatório de Iniciação Científica, que são de interesse deste trabalho.

5.1 Andesitos

Os andesitos descritos possuem textura porfirítica em matriz fanerítica com estrutura maciça ou de fluxo com presença de amígdalas. A matriz é composta de plagioclásio, minerais opacos, clorita, epidoto e vidro vulcânico. Os fenocristais são de plagioclásio submilimétricos a milimétricos (0,2 - 10 mm), intensamente saussuritizados (FIGURA 15). As amostras apresentam um forte grau de alteração intempérica.

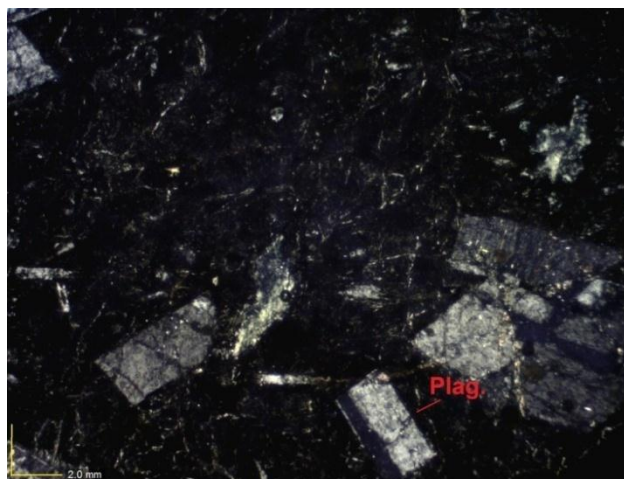


FIGURA 15 - Foto micrografia de amostra de andesito (457/14Q), destacando o plagioclásio. Fonte: Rosin (2015).

5.2 Riolitos

Os riolitos descritos têm textura porfírica em matriz fina (FIGURA 16) com fenocristais de sanidina, em geral submilimétricos a milimétricos (até 4 mm), subédricos e com inclusão de cristais de zircão. Também ocorrem fenocristais de quartzo límpidos e com feições de absorção. A matriz é predominantemente quartzo-feldspática, ocorrendo como minerais subordinados clorita, epidoto, zircão, fluorita e minerais opacos. Apresentam estrutura maciça ou de fluxo.



FIGURA 16 - Foto micrografia de amostra de riolito (457/14D) , destacando sanidina, epidoto e quartzo. Fonte: Rosin (2015).

5.3 Lamprófiro

A amostra de lamprófiro descrita possui uma textura porfirítica em matriz afanítica e estrutura maciça. Os fenocristais são de flogopita com inclusões de granada. A granada também ocorre na matriz, formando agregados. Também compõem a matriz cristais de carbonato, augita, serpentina e minerais opacos (FIGURA 17).

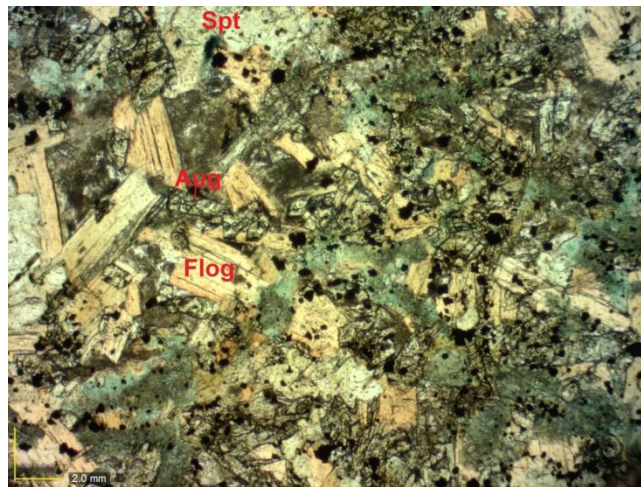


FIGURA 17 - Foto micrografia de amostra de lamprófiro (457/14B), destacando augita, flogopita e serpentina. Fonte: Rosin (2015).

5.4 Tufos

Os tufos são constituídos por quartzo, feldspato alcalino, epidoto, vidro vulcânico e minerais opacos (FIGURA 18). Apresentam tanto estrutura maciça quanto de fluxo, com texturas esferulíticas ou perlítica.

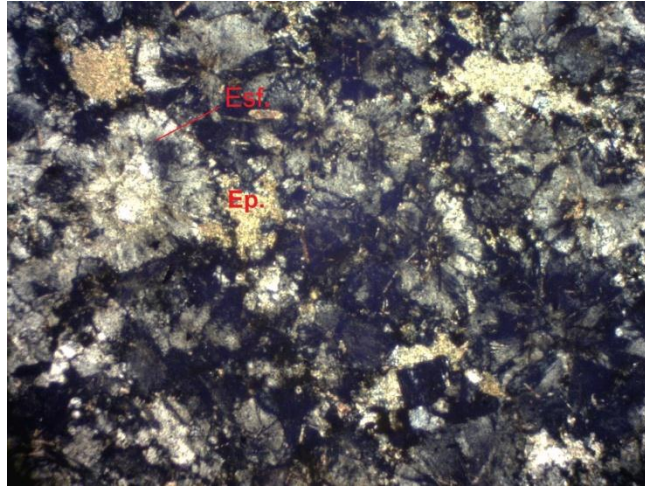


FIGURA 18 - Foto micrografia de amostra de tufo (457/14S), destacando a textura esferulítica e o epidoto. Fonte: Rosin (2015).

6 GEOQUÍMICA

O conjunto de amostras analisadas neste trabalho inclui andesitos e riolitos, os quais são os objetos de estudo para testar a hipótese da cogeneticidade dos derrames vulcânicos intermediários e ácidos. Além das rochas vulcânicas também foram analisadas uma amostra de lamprófiro e duas amostras de tufos, com objetivo de reconhecer possíveis associações destes litotipos com os derrames vulcânicos.

6.1 ÓXIDOS

Foram analisados por meio de fluorescência de raios X os óxidos SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , $\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{total})}$, MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O e P_2O_5 . Os dados referentes às amostras de andesitos (GUA-07, GUA-12, GUA-16, GUA-62-1, GUA-77-2, GUA-83, GUA-93 e GUA-104), riolitos (GUA-14, GUA-56-1 e GUA-89), lamprófiro (GUA-15) e tufos (GUA-100 e RIO-1), foram tratados e são apresentados na tabela abaixo (TABELA 1). Para os diagramas de classificação foram projetados apenas os dados de andesitos e riolitos, enquanto que nos diagramas de variação foram projetados todos os litotipos.

TABELA 1 - Tabela de dados geoquímicos recalculados em base anidra para óxidos.

Amostra	GUA-07	GUA-12	GUA-16	GUA-62-1	GUA-77-2	GUA-83	GUA-93	GUA-104	GUA-14	GUA-56-1	GUA-89	GUA-15	GUA-100	RIO-1
Litotipo	Andesito	Andesito	Andesito	Andesito	Andesito	Andesito	Andesito	Andesito	Riolito	Riolito	Riolito	Lamprófiro	Tufo	Tufo
SiO ₂	53,92	58,31	60,17	59,25	53,73	59,13	65,86	63,57	75,67	77,54	70,78	42,55	76,70	78,66
TiO ₂	2,22	1,66	1,94	2,23	1,97	1,65	1,59	1,46	0,10	0,20	0,41	1,63	0,56	0,23
Al ₂ O ₃	20,42	19,10	18,61	21,25	22,93	18,52	17,06	15,02	12,88	11,94	14,09	10,26	15,25	10,80
Fe ₂ O ₃ (total)	12,23	11,30	10,09	11,04	12,58	9,89	7,31	10,52	1,96	2,64	5,18	12,94	2,50	3,19
MnO	0,07	0,10	0,10	0,08	0,74	0,09	0,02	0,17	0,05	0,04	0,09	0,42	0,09	0,08
MgO	2,10	1,17	1,14	1,31	1,48	1,15	1,28	1,83	0,05	0,31	0,07	14,04	1,09	0,47
CaO	0,64	2,08	0,39	0,05	0,13	1,19	0,55	1,68	0,52	1,17	0,22	10,07	0,03	3,71
Na ₂ O	5,36	4,30	2,74	<0,01	0,07	4,51	0,42	3,50	4,11	3,54	4,31	2,93	0,01	1,30
K ₂ O	2,26	1,46	3,73	3,59	5,06	3,14	5,12	1,71	4,65	2,57	4,77	3,69	3,58	1,48
P ₂ O ₅	0,69	0,43	0,85	1,06	0,94	0,60	0,57	0,43	<0,01	0,02	0,05	1,01	0,15	0,03
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
LOI	5,57	4,96	6,52	10,81	0,82	0,98	8,62	3,08	4,22	4,12	1,94	10,19	5,32	1,46
Álcalis totais	7,62	5,77	6,47	3,60	5,13	7,65	5,54	5,21	8,76	6,10	9,07	6,62	3,59	2,78

6.1.1 Diagramas de classificação

O primeiro diagrama de classificação utilizado foi o diagrama TAS de álcalis totais versus sílica ((Na₂O+ K₂O)xSiO₂) proposto por Le Maitre *et al.* (1989 citado por Rollinson, 1994). As amostras são classificadas como 1 traquiandesito basáltico (GUA-07), 1 traquiandesito (GUA-83), 3 andesitos (GUA-12, GUA-16 e GUA-62-1), 1 andesito basáltico (GUA-77-2), 2 dacitos (GUA-93 e GUA-104) e 3 riolitos (GUA-14, GUA-56-1 e GUA-89) (FIGURA 19).

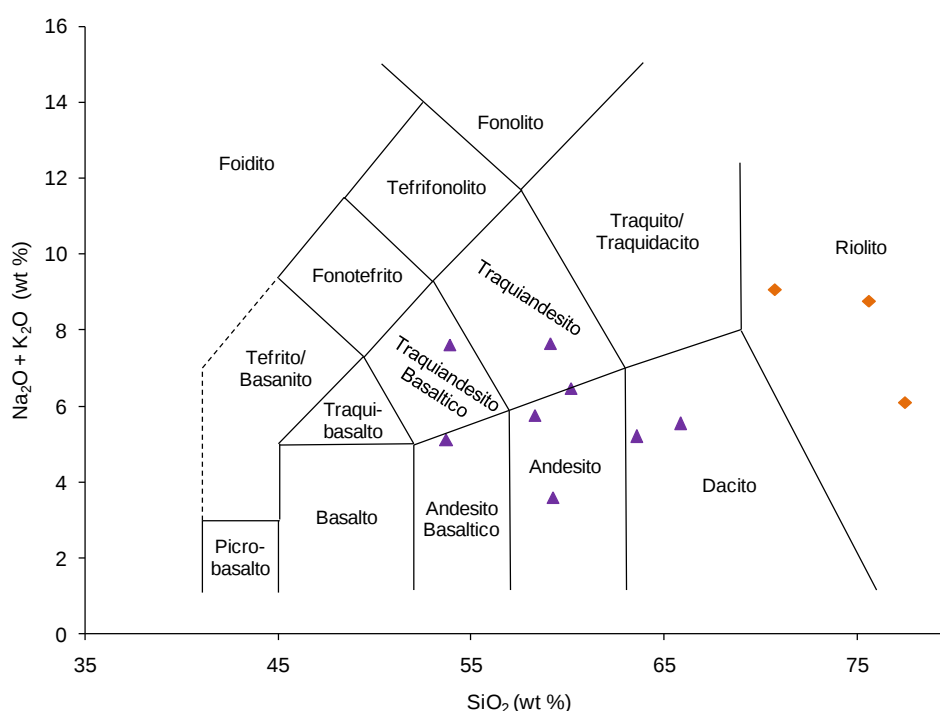


FIGURA 19 - Diagrama TAS de Le Maitre (1989 citado por Rollinson, 1994). Legenda: andesitos (triângulos roxos) e riolitos (losangos laranja).

O segundo a ser utilizado foi o diagrama de classificação entre série alcalina e sub-alcalina. Este diagrama utiliza a estrutura do diagrama TAS adicionado a uma linha limítrofe entre os campos alcalino e sub-alcalino, proposta por MacDonald (1968 citado por Rollinson, 1994). Como ilustrado na figura abaixo (FIGURA 20), as amostras de andesito traquiandesito basáltico e traquiandesito são classificadas como alcalinas, enquanto as demais são classificadas como sub-alcalinas.

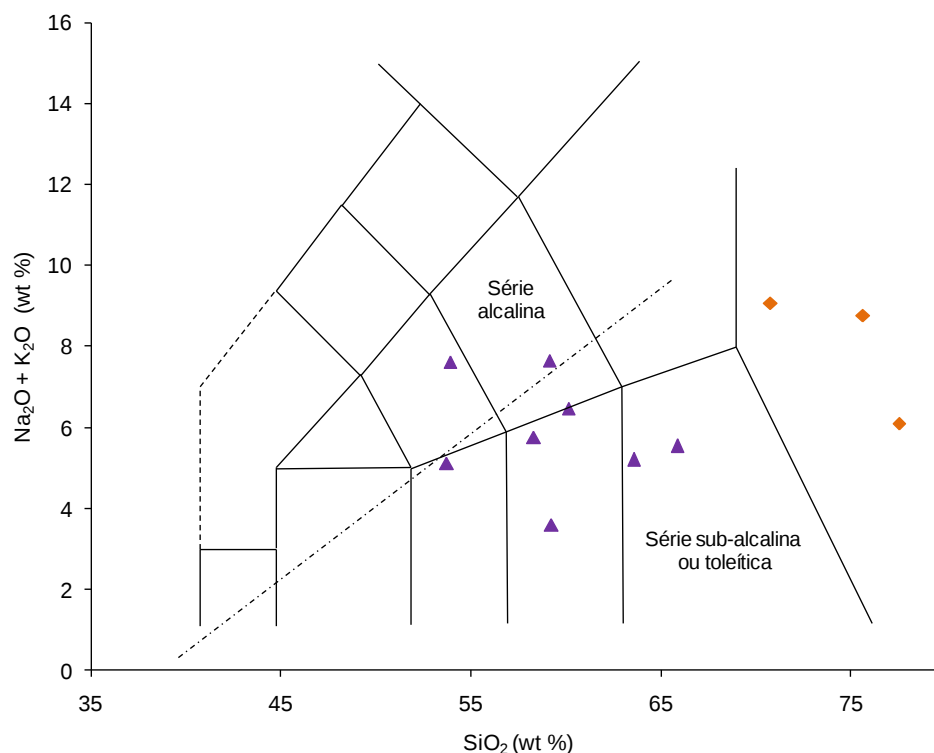


FIGURA 20 - Diagrama de classificação entre série alcalina e sub-alcalina (Le Maitre, 1989; MacDonald 1968; citado por Rollinson, 1994). Divisão entre série alcalina e sub-alcalina (linha ponto tracejada). Legenda como na Figura 18.

O terceiro diagrama de classificação utilizado é o de $K_2O \times SiO_2$ compilado por Rickwood (1989 citado por Rollinson, 1994). As amostras pertencentes à série sub-alcalina no diagrama TAS são classificadas como pertencentes às séries shoshonítica (GUA-77-2 e GUA-93), alto-K (GUA-14, GUA-16, GUA-62-1 e GUA-89) e cálcio-alcalina (GUA-12, GUA-56-1 e GUA-104); e como médio-K para as amostras GUA-12, GUA-56-1 e GUA-104 e alto-K para as demais (FIGURA 21).

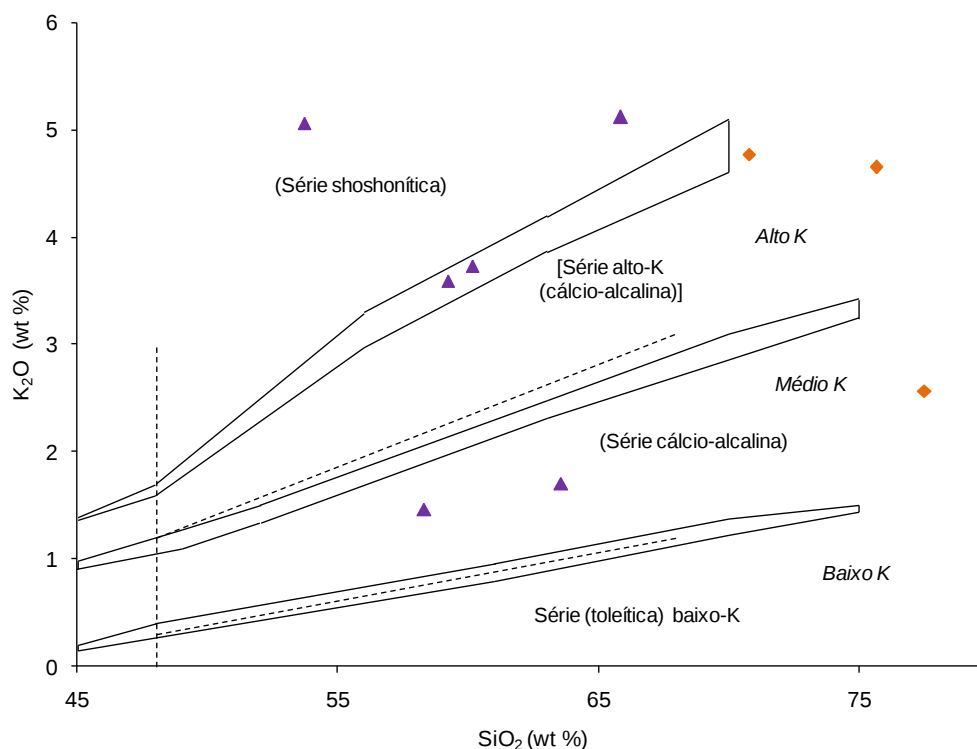


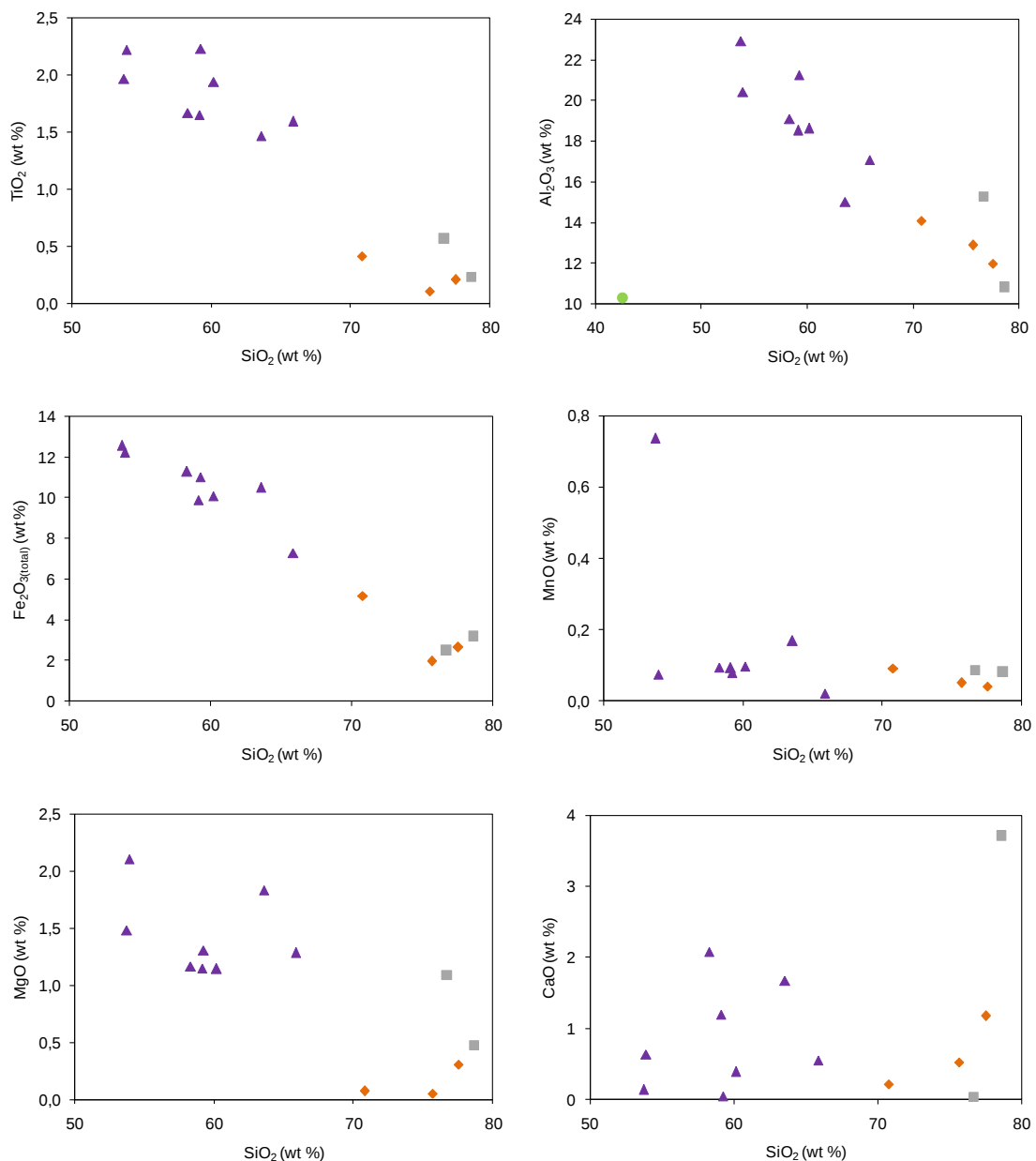
FIGURA 21 - Diagrama $K_2O \times SiO_2$. Subdivisão de Le Maitre (1989 citado por Rollinson, 1994) (linhas tracejadas). Subdivisão de Rickwood (1989 citado por Rollinson, 1994) (polígonos). Legenda como na Figura 18.

6.1.2 Diagramas de variação

Diagramas de variação, do tipo Harker para os óxidos incluindo as amostras de lamprófito e tufos, têm a sílica como óxido fracionante considerando a natureza intermediária a ácida das rochas estudadas (FIGURA 22). Analisando os diagramas de variação tanto dos óxidos quanto para elementos traço, notam-se dois padrões significativos.

O primeiro é uma tendência de agrupamento das amostras segundo um eixo linear. O agrupamento é notado em quase todos os diagramas com exceção dos diagramas para $Fe_2O_{3(total)}$ e Na_2O onde há uma dispersão dos pontos. O segundo padrão diz respeito à disposição das amostras, ao longo deste eixo, em dois grupos, um de andesitos e outro de riolitos mais tufos. Esta divisão das amostras ao longo do eixo de alinhamento pode ser percebida de forma expressiva no diagrama de TiO_2 .

Observa-se nos diagramas de variação a forte associação dos tufos com os riolitos bem como a completa incompatibilidade da amostra de lamprófito com as demais, como visto no diagrama de Al_2O_3 . Portanto, visando melhorar a representação dos demais diagramas e uma melhor visualização dos dados, o lamprófito não foi projetado nos demais diagramas.



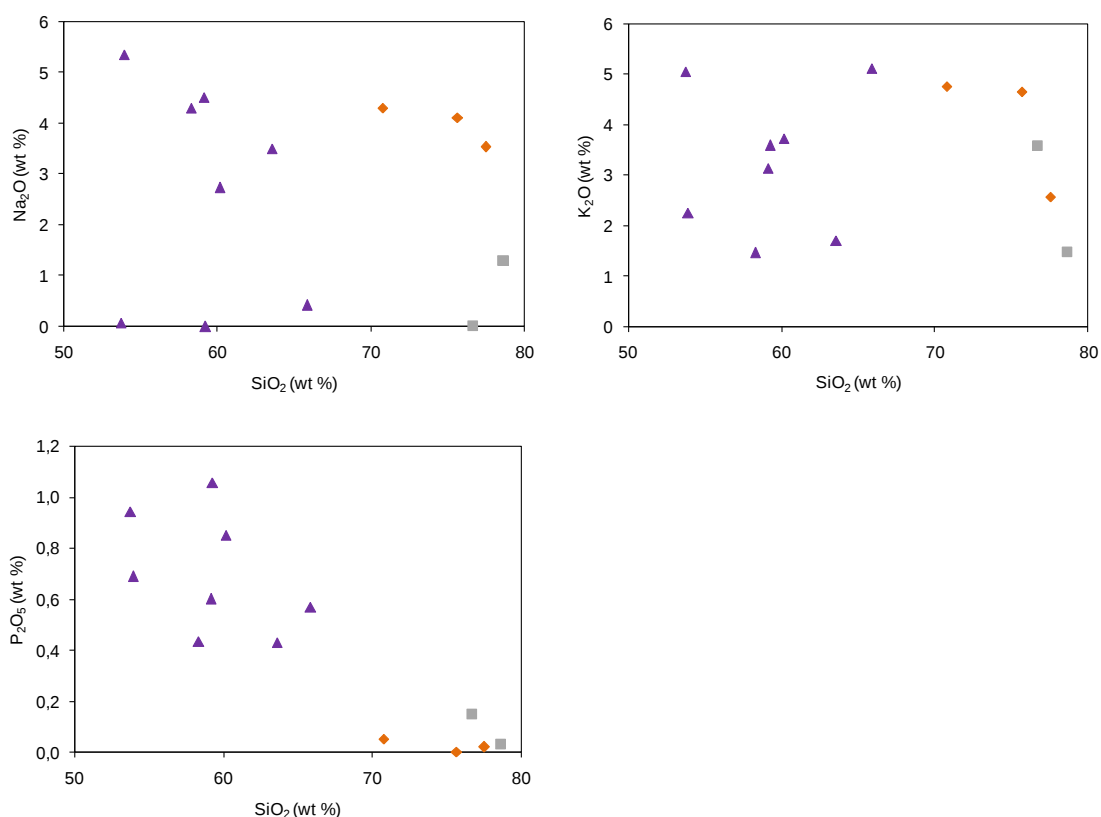


FIGURA 22 - Diagramas de variação do tipo Harker para óxidos. Legenda: andesitos (triângulos roxos), riolitos (losangos laranjas), lamprófito (círculo verde) e tufo (quadrados cinzas).

6.2 ELEMENTOS TRAÇO E ELEMENTOS TERRAS RARAS

Por meio da análise por espectrometria de massa por indução de plasma acoplado (ICP-MS), foram analisados elementos traço como Rb, Ba, Th, Ta, Sr, La, Ce, Nb, Nd, P, Hf, Zr, Eu, Tb, Y, Yb e Ni, e Elementos Terras Raras como La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb e Lu. Os dados de elementos traços foram projetados em diagramas de variação, a partir de seus valores (ppm) obtidos na análise química (TABELA 2). Este conjunto de valores foi normalizado (TABELA 3) e projetado em diagrama multi-elementar. Os dados de Elementos Terras Raras obtidos na análise química (TABELA 4) foram normalizados (TABELA 5) e projetados somente em diagrama multi-elementar.

TABELA 2 - Tabela de dados para elementos traço (em ppm) obtidos em análise química e projetados em diagramas de variação.

Amostra	GUA-07	GUA-12	GUA-16	GUA-62-1	GUA-77-2	GUA-83	GUA-93	GUA-104	GUA-14	GUA-56-1	GUA-89	GUA-15	GUA-100	RIO-1
Litotipo	Andesito	Andesito	Andesito	Andesito	Andesito	Andesito	Andesito	Andesito	Riolito	Riolito	Riolito	Lamprófire	Tufo	Tufo
Rb	163,00	36,80	87,60	76,70	142,50	108,40	147,30	37,80	202,80	183,60	88,10	149,70	221,60	59,80
Ba	39,33	59,58	167,17	101,58	245,17	71,25	167,00	82,67	0,58	11,17	9,58	193,67	28,58	18,50
K	15,08	9,75	24,86	23,93	33,75	20,94	34,12	11,38	31,01	17,12	31,78	24,58	23,86	9,88
Th	16,50	38,00	29,00	34,00	20,50	24,00	32,00	31,50	76,00	111,00	59,00	5,00	62,00	85,50
Ta	4,71	5,88	7,65	7,65	10,59	4,71	6,47	5,88	15,29	17,65	8,82	8,24	7,06	9,41
Sr	2,11	2,23	1,59	0,35	1,98	2,03	0,41	3,33	0,13	2,45	0,67	6,25	0,82	3,22
La	42,73	20,17	31,77	34,80	36,70	17,53	21,27	19,17	21,00	25,70	44,63	4,20	65,33	43,27
Ce	17,35	12,06	19,27	21,76	21,24	9,72	11,20	10,95	13,25	16,39	26,30	2,31	22,86	20,60
Nb	6,64	7,88	9,76	11,16	13,04	6,36	7,04	6,68	16,76	19,92	10,48	8,36	9,32	13,84
Nd	14,51	6,71	11,59	13,06	14,86	6,19	7,60	6,49	6,96	9,04	11,65	1,46	20,74	16,38
P	5,75	3,62	7,09	8,82	7,87	5,01	4,74	3,60	0,08	0,17	0,43	8,43	1,24	0,26
Hf	3,00	3,52	5,40	5,92	3,80	3,08	3,68	3,36	5,08	10,08	6,12	0,84	4,16	8,52
Zr	3,42	4,17	6,65	7,32	4,28	4,73	4,33	3,67	3,28	9,45	8,20	0,84	4,55	10,89
Eu	3,21	1,83	3,76	4,01	4,19	1,86	2,98	1,84	0,12	0,28	0,60	0,59	1,85	1,01
Ti	1,48	1,11	1,29	1,49	1,31	1,10	1,06	0,98	0,07	0,14	0,27	1,09	0,38	0,15
Tb	4,30	1,73	3,04	3,27	3,55	1,86	1,87	1,65	3,39	4,41	2,13	0,72	5,75	4,73
Y	2,97	0,87	1,97	1,74	1,71	1,24	1,06	1,01	2,38	3,40	1,18	0,57	2,90	3,01
Yb	1,91	1,04	1,84	1,81	1,22	1,19	1,01	1,12	2,49	3,59	1,45	0,35	2,16	2,89
Ni	70,00	26,74	1,01	1,30	85,43	31,30	11,52	30,80	3,84	3,77	4,93	221,67	1,88	4,20

TABELA 3 - Tabela de dados para elementos traço normalizados pelo MORB de Bevins *et al.* (1984 citado por Rollinson, 1994) e projetados em diagrama multi-elementar.

Amostra	GUA-07	GUA-12	GUA-16	GUA-62-1	GUA-77-2	GUA-83	GUA-93	GUA-104	GUA-14	GUA-56-1	GUA-89	GUA-15	GUA-100	RIO-1
Litotipo	Andesito	Andesito	Andesito	Andesito	Andesito	Andesito	Andesito	Andesito	Riolito	Riolito	Riolito	Lamprófiro	Tufo	Tufo
Rb	163,00	36,80	87,60	76,70	142,50	108,40	147,30	37,80	202,80	183,60	88,10	149,70	221,60	59,80
Ba	39,33	59,58	167,17	101,58	245,17	71,25	167,00	82,67	0,58	11,17	9,58	193,67	28,58	18,50
Th	16,50	38,00	29,00	34,00	20,50	24,00	32,00	31,50	76,00	111,00	59,00	5,00	62,00	85,50
Ta	4,71	5,88	7,65	7,65	10,59	4,71	6,47	5,88	15,29	17,65	8,82	8,24	7,06	9,41
Sr	2,11	2,23	1,59	0,35	1,98	2,03	0,41	3,33	0,13	2,45	0,67	6,25	0,82	3,22
La	42,73	20,17	31,77	34,80	36,70	17,53	21,27	19,17	21,00	25,70	44,63	4,20	65,33	43,27
Ce	17,35	12,06	19,27	21,76	21,24	9,72	11,20	10,95	13,25	16,39	26,30	2,31	22,86	20,60
Nb	6,64	7,88	9,76	11,16	13,04	6,36	7,04	6,68	16,76	19,92	10,48	8,36	9,32	13,84
Nd	14,51	6,71	11,59	13,06	14,86	6,19	7,60	6,49	6,96	9,04	11,65	1,46	20,74	16,38
P	5,75	3,62	7,09	8,82	7,87	5,01	4,74	3,60	0,08	0,17	0,43	8,43	1,24	0,26
Hf	3,00	3,52	5,40	5,92	3,80	3,08	3,68	3,36	5,08	10,08	6,12	0,84	4,16	8,52
Zr	3,42	4,17	6,65	7,32	4,28	4,73	4,33	3,67	3,28	9,45	8,20	0,84	4,55	10,89
Eu	3,21	1,83	3,76	4,01	4,19	1,86	2,98	1,84	0,12	0,28	0,60	0,59	1,85	1,01
Tb	4,30	1,73	3,04	3,27	3,55	1,86	1,87	1,65	3,39	4,41	2,13	0,72	5,75	4,73
Y	2,97	0,87	1,97	1,74	1,71	1,24	1,06	1,01	2,38	3,40	1,18	0,57	2,90	3,01
Yb	1,91	1,04	1,84	1,81	1,22	1,19	1,01	1,12	2,49	3,59	1,45	0,35	2,16	2,89
Ni	70,00	26,74	1,01	1,30	85,43	31,30	11,52	30,80	3,84	3,77	4,93	221,67	1,88	4,20

TABELA 4 - Tabela de dados para Elementos Terras Raras (em ppm) obtidos em análise química.

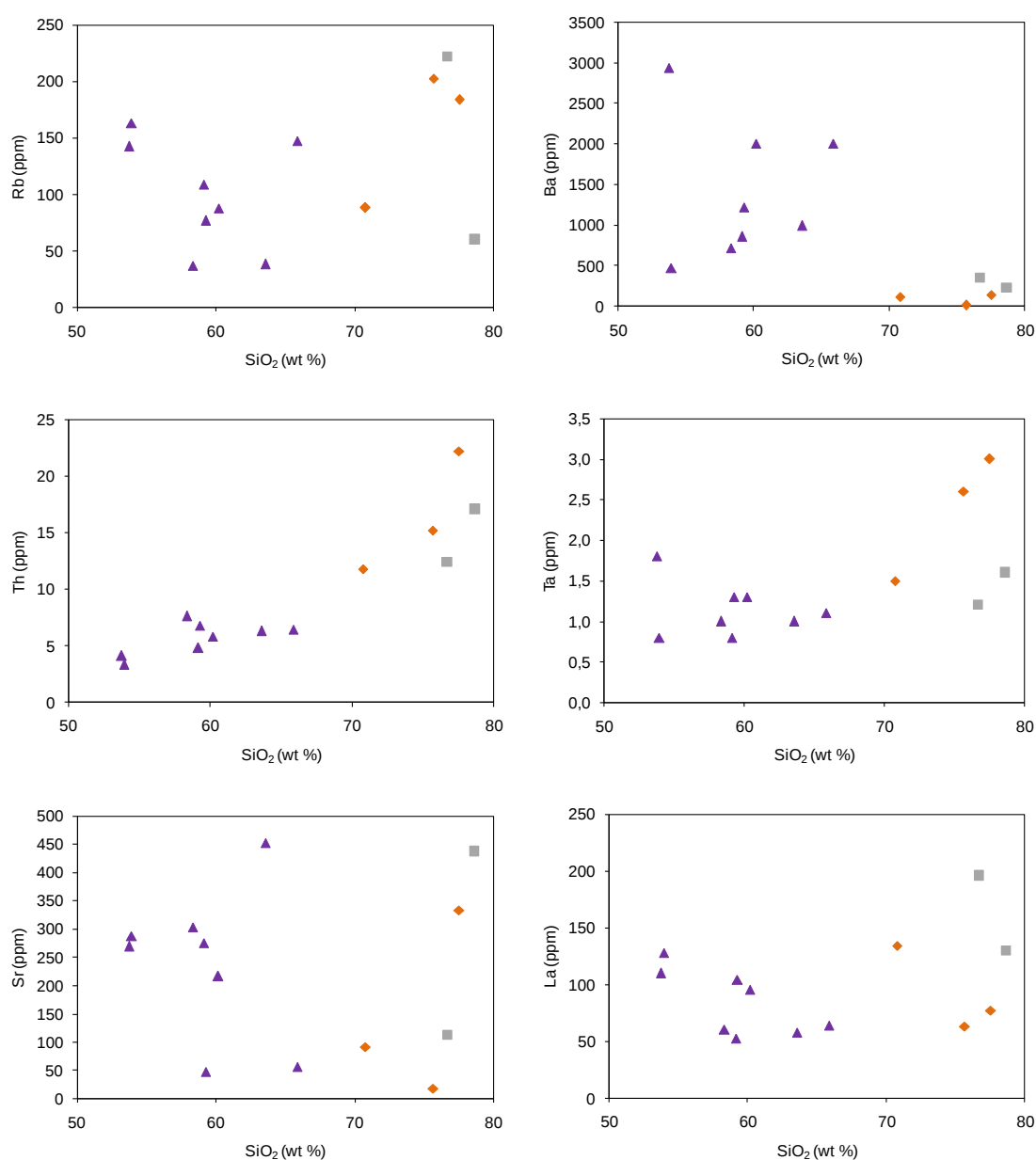
Amostra	GUA-07	GUA-12	GUA-16	GUA-62-1	GUA-77-2	GUA-83	GUA-93	GUA-104	GUA-14	GUA-56-1	GUA-89	GUA-15	GUA-100	RIO-1
Litotipo	Andesito	Andesito	Andesito	Andesito	Andesito	Andesito	Andesito	Andesito	Riolito	Riolito	Riolito	Lamprófito	Tufo	Tufo
La	128,2	60,5	95,3	104,4	110,1	52,6	63,8	57,5	63	77,1	133,9	12,6	196	129,8
Ce	173,5	120,6	192,7	217,6	212,4	97,2	112	109,5	132,5	163,9	263	23,1	228,6	206
Pr	30,93	14,41	23,85	26,75	28,56	12,76	15,82	13,63	15,74	20,02	28,41	2,95	47,08	34,21
Nd	116,1	53,7	92,7	104,5	118,9	49,5	60,8	51,9	55,7	72,3	93,2	11,7	165,9	131
Sm	21,53	9,65	17,54	18,3	21,19	9,45	10,6	9,5	13,38	16,54	13,8	2,69	31,9	23,81
Eu	3,85	2,2	4,51	4,81	5,03	2,23	3,58	2,21	0,14	0,33	0,72	0,71	2,22	1,21
Gd	20,16	7,87	15,51	16,22	20,1	8,48	9,06	7,91	13,19	17,54	10,63	3,13	26,22	21,81
Tb	3,05	1,23	2,16	2,32	2,52	1,32	1,33	1,17	2,41	3,13	1,51	0,51	4,08	3,36
Dy	16,61	7,1	12,24	13,23	13,05	7,83	7,16	6,71	14,9	20,02	8,46	3,15	22,14	19,91
Ho	3,16	1,32	2,55	2,45	2,25	1,59	1,45	1,34	3,09	4,4	1,72	0,66	3,84	3,96
Er	8,48	3,59	7,25	6,68	5,46	4,64	3,93	3,76	9,29	13,71	5,05	1,72	9,77	10,91
Tm	1,16	0,54	1,01	0,98	0,69	0,65	0,6	0,56	1,35	2,03	0,79	0,23	1,33	1,61
Yb	6,67	3,63	6,45	6,33	4,27	4,18	3,54	3,91	8,72	12,55	5,06	1,21	7,56	10,12
Lu	0,95	0,51	1,01	0,95	0,59	0,66	0,55	0,58	1,28	1,88	0,87	0,19	1,01	1,59

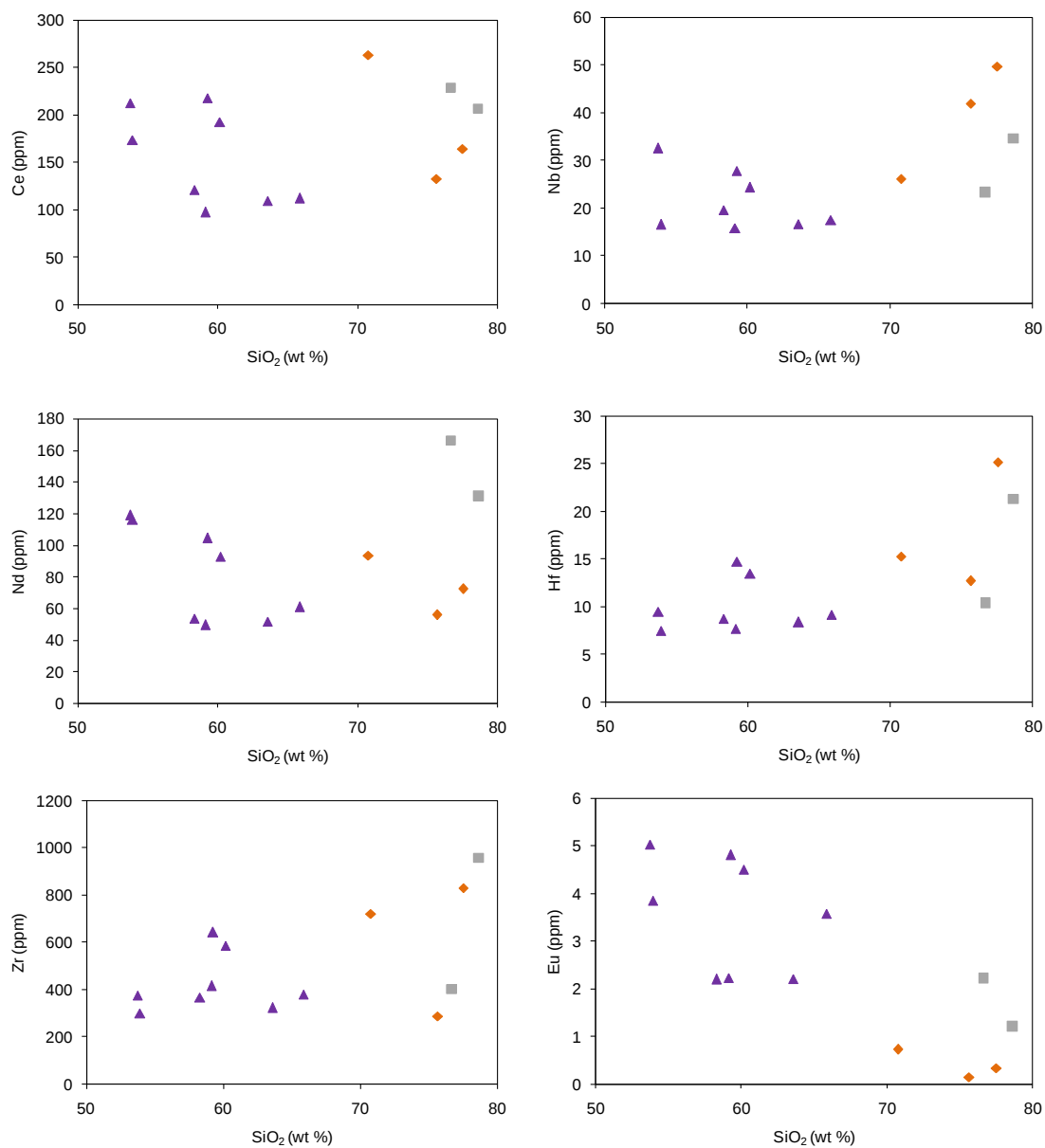
TABELA 5 - Tabela de dados para Elementos Terras Raras normalizados pelo condrito de Haskins *et al.*; Nakamura (1968; 1974 citado por Rollinson, 1994) e projetados em diagrama multi-elementar.

Amostra	GUA-07	GUA-12	GUA-16	GUA-62-1	GUA-77-2	GUA-83	GUA-93	GUA-104	GUA-14	GUA-56-1	GUA-89	GUA-15	GUA-100	RIO-1
Litotipo	Andesito	Andesito	Andesito	Andesito	Andesito	Andesito	Andesito	Andesito	Riolito	Riolito	Riolito	Lamprófito	Tufo	Tufo
La	389,67	183,89	289,67	317,33	334,65	159,88	193,92	174,77	191,49	234,35	406,99	38,30	595,74	394,53
Ce	200,58	139,42	222,77	251,56	245,55	112,37	129,48	126,59	153,18	189,48	304,05	26,71	264,28	238,15
Pr	276,16	128,66	212,95	238,84	255,00	113,93	141,25	121,70	140,54	178,75	253,66	26,34	420,36	305,45
Nd	184,29	85,24	147,14	165,87	188,73	78,57	96,51	82,38	88,41	114,76	147,94	18,57	263,33	207,94
Sm	106,06	47,54	86,40	90,15	104,38	46,55	52,22	46,80	65,91	81,48	67,98	13,25	157,14	117,29
Eu	50,00	28,57	58,57	62,47	65,32	28,96	46,49	28,70	1,82	4,29	9,35	9,22	28,83	15,71
Gd	73,04	28,51	56,20	58,77	72,83	30,72	32,83	28,66	47,79	63,55	38,51	11,34	95,00	79,02
Tb	64,89	26,17	45,96	49,36	53,62	28,09	28,30	24,89	51,28	66,60	32,13	10,85	86,81	71,49
Dy	48,43	20,70	35,69	38,57	38,05	22,83	20,87	19,56	43,44	58,37	24,66	9,18	64,55	58,05
Ho	45,14	18,86	36,43	35,00	32,14	22,71	20,71	19,14	44,14	62,86	24,57	9,43	54,86	56,57
Er	37,69	15,96	32,22	29,69	24,27	20,62	17,47	16,71	41,29	60,93	22,44	7,64	43,42	48,49
Tm	38,67	18,00	33,67	32,67	23,00	21,67	20,00	18,67	45,00	67,67	26,33	7,67	44,33	53,67
Yb	30,32	16,50	29,32	28,77	19,41	19,00	16,09	17,77	39,64	57,05	23,00	5,50	34,36	46,00
Lu	28,02	15,04	29,79	28,02	17,40	19,47	16,22	17,11	37,76	55,46	25,66	5,60	29,79	46,90

6.2.1 Diagramas de variação

Semelhantes ao método aplicado aos óxidos, diagramas de variação do tipo Harker foram construídos para elementos traço com a sílica como óxido fracionante (FIGURA 23). Assim como nos óxidos, notam-se os padrões de alinhamento, no entanto, ao contrário das amostras se alinharem segundo um padrão linear, como no caso dos óxidos, elas se alinham segundo um padrão polinomial (curva). A separação em dois grupos, um com andesitos e outro com riolitos e tufos é menos expressiva que nos diagramas de óxidos.





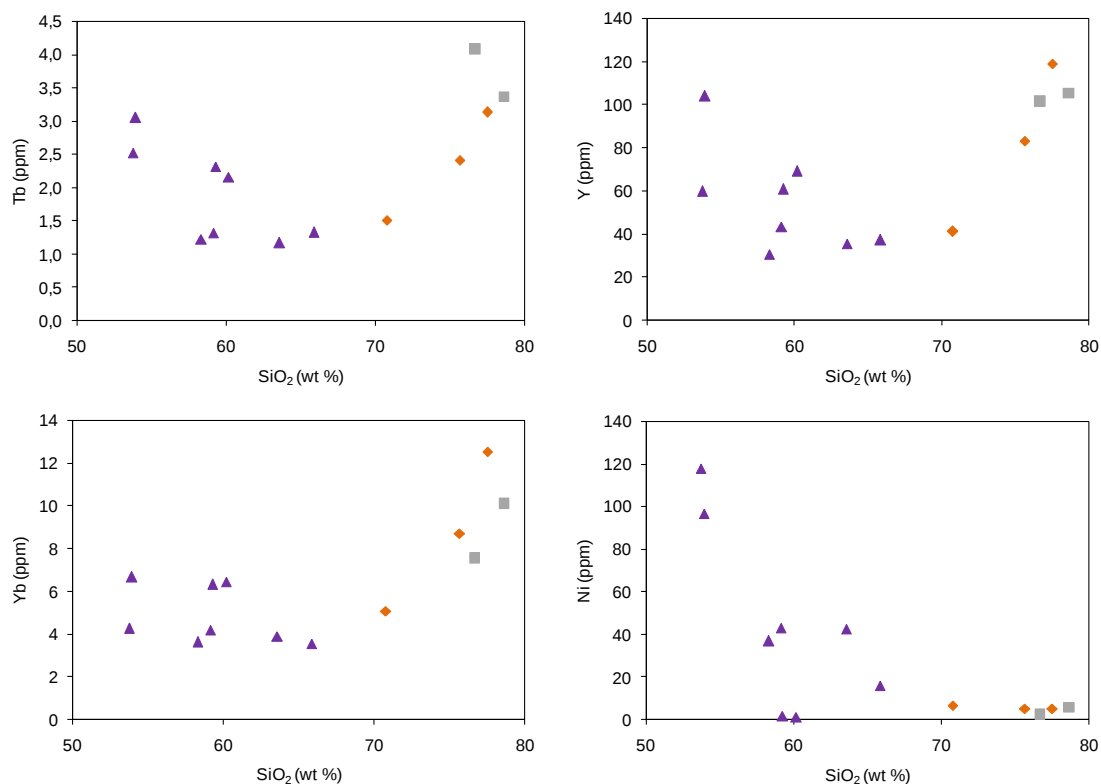


FIGURA 23 - Diagramas de variação do tipo Harker para elementos traço. Legenda como da Figura 22.

6.2.2 Diagramas multi-elementares

No diagrama multi-elementar construído para elementos traço (FIGURA 24) nota-se assinatura semelhante para a maioria das amostras com anomalias negativas para Ba, P, Eu e Ti nos riolitos e Ba, P, Eu, Ti e Sr para todos os grupos.

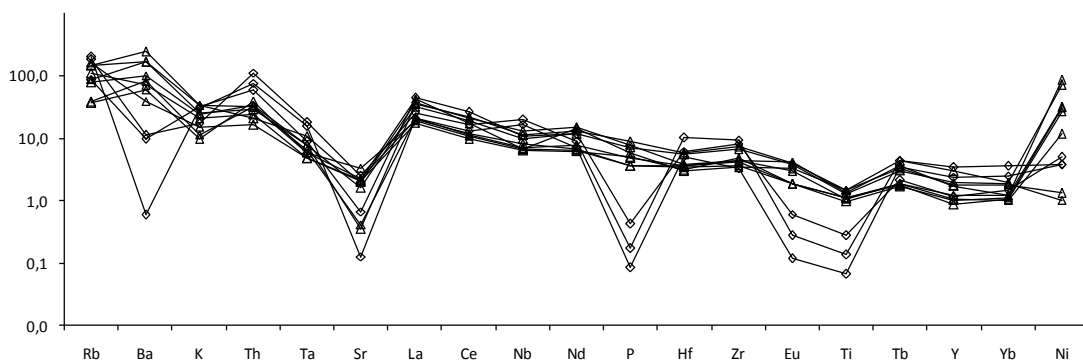


FIGURA 24 - Diagrama multi-elementar para elementos traço. Normalizado pelo MORB de Bevins *et al.* (1984 citado por Rollinson, 1994). Conjunto de andesitos (triângulos) e riolito (losangos).

No diagrama multi-elementar para Elementos Terras Raras (FIGURA 25) nota-se uma semelhança mais expressiva entre as assinaturas geoquímicas para todas as amostras, com apenas uma anomalia negativa. A anomalia, semelhante ao último diagrama é marcada, pelas amostras de riolito, no elemento Eu.

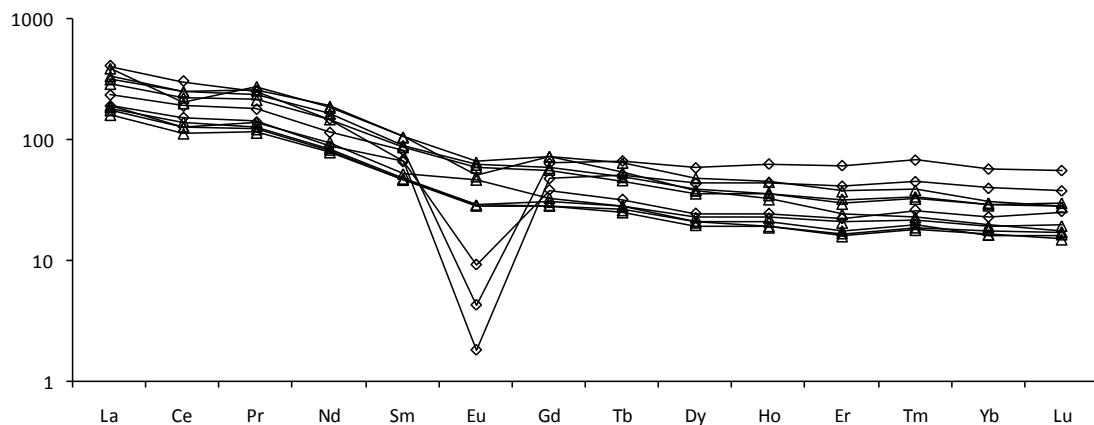


FIGURA 25 - Diagrama multi-elementar para elementos Terras Raras. Normalizado pelo condrito de Haskins *et al.*; Nakamura (1968; 1974 citado por Rollinson, 1994). Conjunto de andesitos (triângulos) e riolitos (losangos).

7 DISCUSSÃO

As amostras coletadas em campo foram descritas, por meio de análise petrográfica, como rochas vulcânicas (andesitos e riolitos), intrusivas (lamprófiro) e vulcanoclásticas (tufos). A análise geoquímica de rocha total confirma a natureza andesítica e riolítica das rochas vulcânicas conforme o diagrama TAS. Nota-se também o caráter sub-alcálico das amostras justificando valores baixos de álcalis (aproximadamente 6,45%). Considerando o conteúdo de álcalis, percebe-se também, pelo diagrama de classificação ($K_2O \times SiO_2$) o domínio do K_2O sobre o Na_2O . A princípio os baixos teores de Na_2O poderiam indicar a presença de plagioclásios com alto valor de anortita (An). No entanto, os valores de CaO (aproximadamente 0,84%) são ainda mais baixos que os de Na_2O (aproximadamente 2,61%), o que indica a presença de feldspatos alcalinos ricos em K_2O .

Nos diagramas de variação notam-se dois padrões significativos. O primeiro é o agrupamento das amostras segundo uma tendência comum e o segundo é a separação das rochas em dois grupos. Estes padrões são significativos, pois oferecem indicações para a natureza do processo evolutivo do magma que gerou os derrames vulcânicos.

O fato das amostras se agruparem segundo um eixo comum estabelece uma relação entre elas. Relação que não pode ser observada entre o lamprófiro e as demais amostras, já que o lamprófiro apresenta uma projeção dispersa do eixo comum das demais.

A divisão das amostras em dois grupos (com um *gap*) é uma forte indicação de que o grupo de andesitos e o grupo de riolitos derivam de magmas diferentes. Voltando a analisar o alinhamento dos pontos, percebe-se que ele pode ser descrito por uma função linear com *gap* (FIGURA 26), para os diagramas de óxidos, e é representado como uma função polinomial com *gap* (FIGURA 27), para os diagramas de elementos traço.

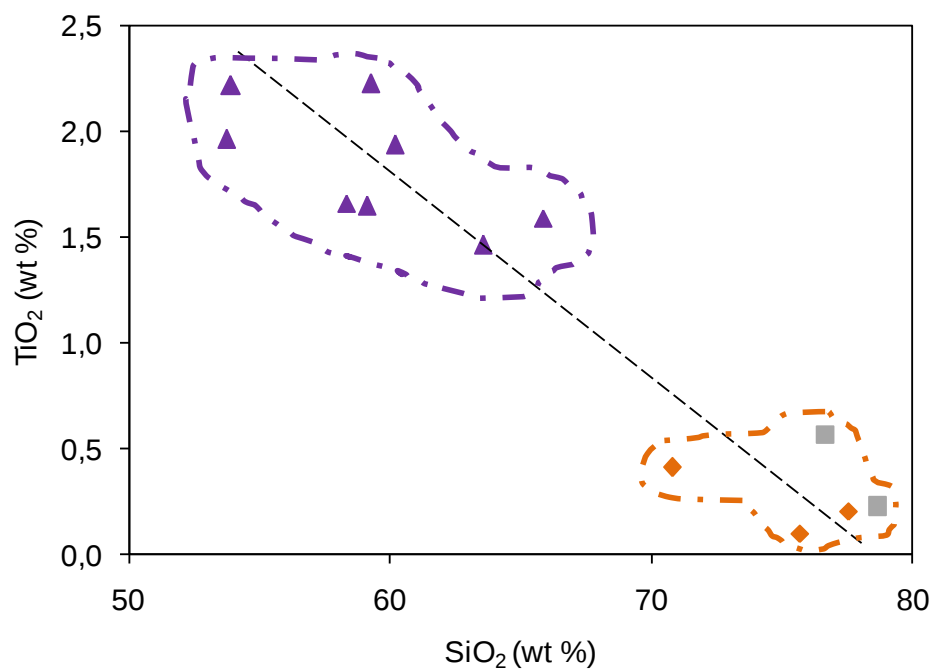


FIGURA 26 - Diagramas de variação do tipo Harker para TiO_2 . Conjunto de andesitos (triângulos roxos) limitados por linha ponto tracejada roxa, riolitos (losangos laranjas) e tufos (quadrados cinzas) limitados por linha ponto tracejada laranja. Eixo de alinhamento (linha tracejada preta).

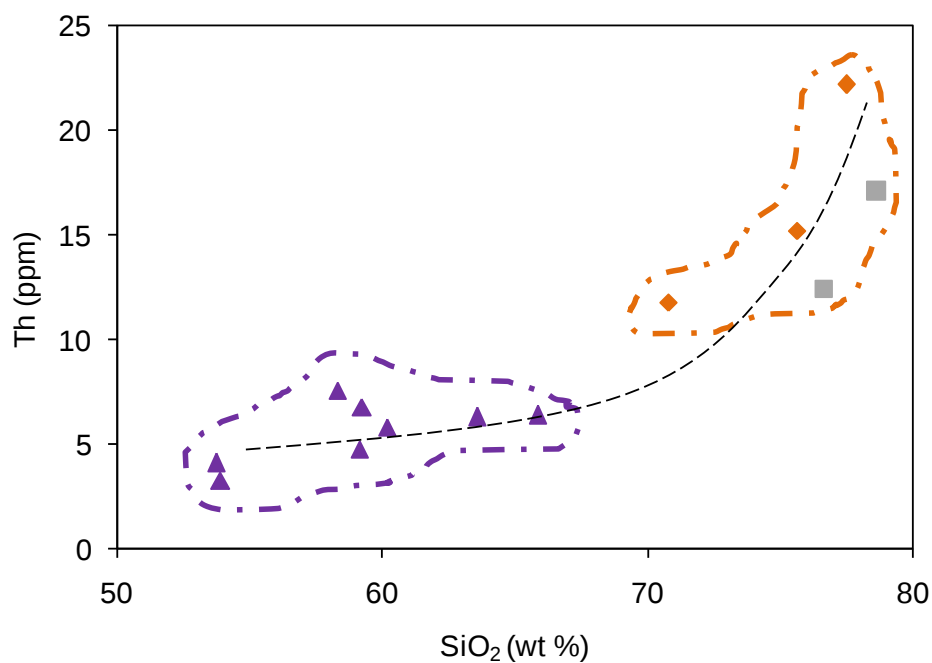


FIGURA 27 - Diagramas de variação do tipo Harker para Th. Conjunto de andesitos (triângulos roxos) limitados por linha ponto tracejada roxa, riolitos (losangos laranjas) e tufos (quadrados cinzas) limitados por linha ponto tracejada laranja. Eixo de alinhamento (linha tracejada preta).

A respeito dos processos de evolução, a função linear com *gap* pode ser interpretada como uma mistura de magmas, enquanto que a função polinomial com *gap* pode ser interpretada como assimilação de magmas.

A assinatura genética similar com algumas diferenças entre o grupo dos andesitos e o grupo dos riolitos, observada nos diagramas multi-elementares reforça a hipótese da mistura de magmas. A assembléia mineral do grupo dos riolitos pode justificar algumas anomalias negativas observadas nos diagramas. A anomalia em Ti deve está relacionada à pequena quantidade de minerais opacos. Tanto as anomalias de Sr quanto a de Eu podem ser atribuídas à ausência de plagioclásio.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise litogeoquímica apresentada neste trabalho é uma ferramenta fundamental para a compreensão do processo evolutivo dos derrames vulcânicos, ácidos e intermediários que preenchem a Bacia do Guaratubinha.

As rochas vulcânicas analisadas podem ser classificadas em traquiandesito basáltico, traquiandesito, andesito, andesito basáltico, dacito e riolito. Em sua maioria são classificadas como rochas sub-alcálinas, com médio a alto teor de potássio. Os diagramas de variação e multi-elementares indicam um *trend* de fracionamento das rochas estudadas, cuja projeção nos diagramas também indica uma mistura ou assimilação de magmas.

Por meio da interpretação dos dados adquiridos com a análise de rocha total, conclui-se que os derrames vulcânicos não são cogenéticos, que podem ser derivados de câmaras magmáticas distintas ou terem sido formados por taxas diferentes de fusão parcial.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F.F.M.; BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R. 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. **Earth-Science Reviews** 17, 1-29.

ATLAS Geológico do Estado do Paraná. Curitiba. MINEROPAR, 2001.

BASEI, M. A. S.; SIGA JUNIOR, O.; MACHIAVELLI, A.; MANCINI, F. Evolução tectônica dos terrenos entre os Cinturões Ribeira e Dom Feliciano (PR - SC). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 22, n. 2, p. 216-221, 1992.

BASEI, M. A. S.; SIGA JUNIOR, O.; REIS NETO, J. M.; HARARA, O. M. M.; PASSARELLI, C. R.; MACHIAVELLI, A. Geochronological map of the Precambrian terrains of Paraná and Santa Catarina states, southern Brazil: Tectonic Implications. In: **SOUTH-AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY**, 1., 1997. Campos do Jordão. Extended Abstracts... Campos do Jordão: SSAGI, 1997, p. 44-46.

BARÃO L. M.; TRZASKOS B.; VESELY F. F.; VASCONCELLOS E. M. G.; IURK E.; QUEIROZ G. L.; BARBOSA T. C. Arcabouço Estrutural da Bacia Guaratubinha e Deformações Associadas, Sudeste do Estado do Paraná. In: XV Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, **Sessão Temática 4**, 2015a. 586-589 p.

BARÃO L. M.; TRZASKOS B.; VESELY F. F.; VASCONCELLOS E. M. G.; IURK E.; QUEIROZ G. L.; BARBOSA T. C. **Arcabouço Estrutural da Bacia Guaratubinha e Deformações Associadas**. 45 f. Qualificação (Mestrado em Geologia) - Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015b.

CASTRO N.A., REIS NETO J.M., ASSINE M.L. Rochas Vulcanogênicas da Formação Guaratubinha, PR. In: V Simpósio Sul Brasileiro de Geologia, Curitiba. **Boletim de Resumos e Programa**. 1993.

CUNHA, P. V. C. **Gênese de Calcretes da Formação Guabirotuba, Bacia de Curitiba, Paraná**. 37 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

DAITX, E.C.; CARVALHO, M.A.S. (Coord) **Projeto geoquímico da área Guaratubinha-Piên**. Curitiba: Ministério de Minas e Energia & Departamento Nacional da Produção Mineral – Convênio DNPM/CPRM. VI. 1980. Projeto concluído

FALEIROS, F.M. **Evolução de terrenos tectonometamórficos da Serrania do Ribeira e Planalto Alto Turvo (SP, PR)**. 306 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

FUCK, R.A.; MARINI, O.J.; TREIN, E. A Formação Guaratubinha. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 23-25, p. 237-256, 1967.

HARARA, O. M. M. **Análise Estrutural, Petrológica e Geocronológica dos Litotipos da Região de Piên (PR) e Adjacências**. 98 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

HARARA, O.M.M. **Mapeamento e investigação petrológica e geocronológica dos litotipos da região do alto rio Negro (PR-SC): um exemplo de sucessivas e distintas atividades magmáticas durante o Neoproterozoico III**. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

LICHT, O.A.B. **Levantamento geoquímico de semi-detálhe da Sequência vulcano-sedimentar Guaratubinha - PR**. Curitiba, MINEROPAR, 1988. Relatório Interno.

LIMA, F. M. **Faciologia e Ambientes Depositionais da Formação Guabirotuba, Bacia de Curitiba-PR**. 52 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Departamento de Geociências, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

REIS NETO, J.M.; VASCONCELLOS, E.M.G.; BITTENCOURT, C. Guaratubinha Formation – PR: petrographic characterization of volcanoclastic rocks. **Revista Brasileira de Geociências** 30, 371-374, 2000.

ROLLINSON, H. **Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation**. 2.ed. New York: Longman Scientific & Technical, 1994.

ROSIN, J. C. F. Caracterização petrográfica de rochas vulcanoclásticas da Formação Guaratubinha e comparação com as rochas interderrames da Província Magmática do Paraná. In: XXIII Evento de Iniciação Científica. **Relatório de Iniciação Científica**, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

SIGA JÚNIOR, O.; BASEI, M.A.S.; MACHIAVELLI, A. Evolução geotectônica da porção nordeste de Santa Catarina e sudeste do Paraná com base em interpretações geocronológicas. **Revista Brasileira de Geociências**, Curitiba, v. 23, p. 215-223, 1993.

SIGA JÚNIOR, O. **Domínios Tectônicos do Sudeste do Paraná e Nordeste de Santa Catarina: Geocronologia e Evolução Crustal**. 106 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

SILVA, A. J. P.; LOPES, R. C.; VASCONCELLOS, A. M.; BAHIA, R. B. C. Bacias Sedimentares Paleozóicas e Meso-Cenozóicas Interiores. In: BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**. CPRM. Brasília, 2001. P.55-85.