UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro (SP)

CARACTERIZAÇÃO LITOGEOQUÍMICA DOS BASALTOS DO MUNICÍPIO DE MONÇÕES – SP.

CONRADO RIZZO FRESCHI

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Artur
Co-orientador: Prof. Dr. José Antônio R. Nardy

Projeto de Pesquisa apresentado à Comissão do Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP, Câmpus de Rio Claro, como parte das exigências para o cumprimento da disciplina "Trabalho de Conclusão de Curso no ano letivo de 2012"

Rio Claro – SP

2012

CONRADO RIZZO FRESCHI

CARACTERIZAÇÃO LITOGEOQUÍMICA DOS BASALTOS DO MUNICÍPIO DE MONÇÕES – SP.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Geólogo.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Antônio Carlos Artur (orientador)

Prof. Dr. Antenor Zanardo

Prof. Dr. Fábio Braz Machado

Rio Claro, 03 de julho de 2012.

Conrado Rizzo Freschi

Prof. Dr. Antônio Carlos Artur

552 Freschi, Conrado Rizzo
F884c Caracterização litogeoquímica dos basaltos do município de Monções - SP. / Conrado Rizzo Freschi. - Rio Claro : [s.n.], 2012
40 f. : il., figs., gráfs., tabs., fots., mapas

Trabalho de conclusão de curso (Geologia) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Antônio Carlos Artur
Co-Orientador: José Antônio Ranalli Nardy

1. Petrologia. 2. Basalto. 3. Província magmática do Paraná. 4. Formação Serra Geral. 5. Derrames de lava. 6. Geoquímica. 6. Petrografia. I. Título.

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

Agradecimentos

Ao Professor Dr. Antônio Carlos Artur pela amizade e pela orientação no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Dr. José Antônio R. Nardy pela co-orientação no desenvolvimento do trabalho aqui apresentado.

A geóloga Catarina Santos por autorizar o estudo na pedreira para o desenvolvimento do presente trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Petrologia e Metalogenia, Júnior, Adílson, Vladimir e a secretária Vânia, e também os funcionários do Câmpus de Rio Claro, da pedreira e a todos meus amigos.

Agradeço também a minha família pelo apoio e incentivo na decisão de cursar geologia na UNESP – Rio Claro.

RESUMO

O trabalho trata da investigação petrográfica e geoquímica de derrames basálticos presentes em uma pedreira de britas no município de Monções, noroeste do Estado de São Paulo, integrantes da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná. Foram coletadas 11 amostras de diferentes horizontes topográficos no âmbito de um perfil vertical com média de 18 metros de altura. As amostras foram submetidas a análises petrográficas macro e microscópicas e química de elementos maiores, menores e traços. Os resultados indicaram tratar-se de basaltos toleíticos com granulação fina densa a fina a média. As análises petrográfica demonstram que os basaltos estudados são basicamente constituídos por plagioclásio (entre 33 e 49%), labradorita, e clinopiroxênios (entre 29 e 46%), representados pela augita e subordinadamente pigeonita, tendo como acessórios opacos (entre 3 e 15%), olivina (< 2%), apatita e zircão como traços. Os minerais secundários correspondem a clorofeíta, clorita, serpentina, epidoto, albita e óxi e hidróxi de ferro, além dos argilominerais como a bowlingita, nontronita e celadonita. Os basaltos são do tipo alto titânio (Ati) > 1,8% TiO_2, e aparentemente pertencem ao magma-tipo Pitanga. As análises geoquímicas se mostraram insatisfatórias para a determinação de uma provável diferenciação litogeoquímica vertical dentro do derrame por gerar dados variados sem correlação ou tendências perceptíveis de imediato.

Palavras – chave: Petrologia, Basalto, Província Magmática do Paraná, Formação Serra Geral, Derrames de lava, Geoquímica, Petrografia.

ABSTRACT

The paper deals with the petrographic and geochemical investigation of basalt flows present in a gravel quarry in the town of Monções in northwestern São Paulo State, members of the Serra Geral Formation of the Paraná Basin. Were collected 11 samples from different horizons within a topographic vertical profile with an average of 18 meters in height. The samples were subjected to macroscopic and microscopic petrographic and chemical major, minor and trace. The results indicated that it is tholeiitic basalts with dense fine grained average. Petrographic analyzes show that basalts studied are basically constituted by plagioclase (between 33 and 49%), labradorite and clinopyroxenes (between 29 and 46%) represented by the subordinate pigeonite and augite, having as accessories opaque (between 3 and 15%), olivine (<2%), apatite and zircon as dashes. The secondary minerals correspond to cloropheite, chlorite, serpentine, epidote, albite and iron oxides and hydroxy as well as bowlingit of clay, nontronite, and celadonite. The basalts are kind of high-titanium (Hti)> 1.8% TiO2, and apparently belong to the Pitanga magma-type. The geochemical analyzes proved unsatisfactory for the determination of a probable lithogeochemistry differentiation within the vertical stroke for generating multiple data correlation or no immediately discernible trends.

Keys words: Petrology, Basalt, Magmatic Province of Paraná, Serra Geral Formation, Lava flows, Geochemistry and Petrography.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS ii
LISTA DE TABELAS vi
1 INTRODUÇÃO 1
1.1 Objetivos 3
2 MATERIAIS E MÉTODOS 4
2.1 Levantamento bibliográfico 4
2.2 Trabalhos de campo e amostragem 4
2.3 Análises petrográficas 5
2.4 Análises químicas 5
2.4.1 ELEMENTOS MAIORES, MENORES E TRAÇOS 5
2.4.2 TRATAMENTO DOS DADOS QUÍMICOS 7
3 GEOLOGIA REGIONAL 8
3.1 Geologia Regional da Bacia do Paraná 8
3.2 O magmatismo toleítico da Província Magmática do Paraná 11
3.2.1 GENERALIDADES 11
3.2.2 CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS 16
3.2.3 TIPOS DE DERRAMES E RECONHECIMENTO DE ESTRUTURAS 17
4 GEOLOGIA LOCAL 19
4.1 Situação geológica local 19
4.2 Petrografia 24
4.2.1 ZONA BASAL 28
4.2.2 NÚCLEO 32
4.2.3 ZONA CRUSTAL 36
5 GEOQUÍMICA 38
5.1 Classificação e nomenclatura das rochas 39
5.1.1 CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO CONTEÚDO EM SÍLICA E ÁLCALIS (TAS) 40
5.1.2 CLASSIFICAÇÃO BASEADA NO DIAGRAMA R1 vs. R2 42
5.1.3 CLASSIFICAÇÃO BASEADA NA COMPOSIÇÃO NORMATIVA 42
5.1.3.1 Tetraedro Hiperstênio – Quartzo – Diopsídio 42
5.1.3.2 Classificação baseada na alumina saturação 43
5.1.4 CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO DIAGRAMA AFM 44
5.2 Caráter geoquímico geral 44
5.3 Caráter geoquímico dos elementos menores e traços 46
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO 50
REFERÊNCIAS 51

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Mapa com a localização do município de Monções e das principais vias de acesso. (Google Earth 2012) 1
FIGURA 2 - Imagem de satélite com a localização da pedreira a oeste e Monções, com a Rodovia Dr. Otaviano Cardoso Filho (SP – 461) e a estrada de terra. (Google Earth 2012) ... 2
FIGURA 3 - Imagem de satélite com as coordenadas geográficas da pedreira de basalto da Mineração Noroeste Paulista. (Google Earth 2012) 3
FIGURA 4 - Foto da panela de carbeto de tungstênio do moinho, onde a amostra é reduzida a granulometria inferior a 200 mesh. Foto: Machado. (2007). 7
FIGURA 5 - Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná. Legenda: Є – Cambriano; Or – Ordoviciano; K1 – Cretáceo um; K2 – Cretáceo dois. Extraído de Machado (2009); modificado..... 9
FIGURA 6 - Bloco diagrama esquemático mostrando as formas de estruturas relacionadas a intrusões de diabásio na Bacia do Paraná. Simplificado de Zalán *et al.* (1986). 10
FIGURA 7 - Mapa pré-drift da Província Magmática do Paraná-Etendeka. Integrado a partir de Machado (2005) e Nardy *et al.* (2008). Ocorrência dos diferentes tipos geoquímicos de magmas básicos (I a V) da Província Magmática Paraná-Etendeka, segundo informações contidas em Milner (1988), Pinese (1989), Peate *et al.* (1992), Peate (1997), Ernesto (1999), Marzoli *et al.* (1999), Marques (2001), Marsh *et al.* (2001) e Machado *et al.* (2007,2009). Os tipos I e II são rochas tipo Ati, enquanto III, IV e V são rochas Bti. Legenda: I – Paranapanema e Pitanga; II – Urubici; III – Esmeralda; IV – Gramado; V – Ribeira (Extraído de Machado 2005) 12
FIGURA 8 - A – profundidade sob a bacia sedimentar do Paraná (intervalos de 600 m). B – mapa de isobases das lavas do Paraná (intervalos de 200 m). Modificado de Peate *et al.* 1992 14
FIGURA 9 - Perfil aproximadamente N – S na Província Magmática Serra geral. Simplificado de Peate (1997), segundo dados geoquímicos de Peate *et al.* (1992) e datações de Stewart *et al.* (1996). 15
FIGURA 10 - Seções transversais esquemáticas de colocação de um fluxo de lavas genérico. Escala vertical a partir de 1 - 5 m para fluxos havaianos e 5 – 50 m para fluxos Columbia River. 16
FIGURA 11 - Os três compartimentos de um derrame basáltico (Spry, 1962). 18
FIGURA 12 - Mapa geológico simplificado dos arredores de Monções-SP. Fonte: CPRM (2006). 20
FIGURA 13 - Foto do paredão NW, o talude de basalto e suas diferentes tonalidades de cor, estrutura e textura em níveis horizontais. 21

FIGURA 14 - Foto da parede SE com o afloramento do basalto. Três níveis bem aparentes, um basal onde está a retroescavadeira, outro intermediário, muito fraturado com nível com mega vesículas e amigdaloidal, e mais um nível superior, superfície ou topo do talude, com o bota fora..... 21
FIGURA 15 - Foto do paredão W, talude com os diferentes tons de cores, estruturas e texturas, e com a localização topográfica aproximada de cada amostra com seus respectivos símbolos dentro das diferentes bandas. 22
FIGURA 16 - Perfil esquemático do derrame basáltico, com principais características. As siglas das feições vesiculares são: MV – megavesículas; VC – vesículas cilíndricas; ZA – zona amigdaloidal; ZV – zona vesicular; ZVF – zona vesicular foliar. 23
FIGURA 17 - Foto panorâmica do paredão oeste da pedreira, com ilustração realçando as estruturas e texturas observadas. 24
FIGURA 18 - Fotomicrografia da lâmina da amostra BM-TC-01, com detalhe da amigdala preenchida por celadonita, com bordas irregulares com presença de argilominerais. Nicóis não cruzados. 25
FIGURA 19 - Fotomicrografia da lâmina BM-TC-16 com detalhe para duas olivinas de relevo alto. Nicóis cruzados. 26
FIGURA 20 - Fotomicrografia da lâmina BM-TC-04, com o detalhe do plagioclásio labradorita, com suas geminações e birrefrigência características. Nicóis cruzados. 26
FIGURA 21 - Fotomicrografia da lâmina BM-TC-16, com detalhe para os piroxênios augita, e seu hábito subeudral e cores de birrefringência características. Nicóis não cruzados. 27
FIGURA 22 - Foto do basalto maciço, hipocristalino, cinza escuro, com tonalidades esverdeadas e avermelhadas, com vesículas e amigdalas, com geôdo horizontalizado e fraturas verticais e horizontais. 28
FIGURA 23 - Esquerda - foto do afloramento próximo da coleta da amostra BM-TC-06 de basalto maciço, fino, denso, cinza escuro, com vesículas milimétricas. Direita – fotomicrografia da lâmina da amostra BM-TC-06 com um fenocristal no canto inferior direito de plagioclásio corroído e preenchido por microcristais de piroxênios. Nicóis não cruzados. 29
FIGURA 24 - Esquerda – fotomicrografia da lâmina BM-TC-10 com plagioclásios claros, piroxênios marrom claro, argilominerais verde amarronzados a amarelados e negros de opacos. Nicóis descruzados. Direita - fenocristal de labradorita com geminação Carlsbad. Nicóis cruzados..... 30
FIGURA 25 - Esquerda – fotomicrografia da lâmina BM-TC-10 com plagioclásios claros, piroxênios marrom claro, argilominerais verde amarronzados a amarelados e negros de opacos. Nicóis descruzados. Direita - fenocristal de labradorita com geminação Carlsbad. Nicóis cruzados..... 31

FIGURA 26 - Esquerda - foto do afloramento da localização da amostra BM-TC-01, basalto com vesículas e amigdalas, padrão de faturamento subhorizontais e subverticais preenchidas na maioria. Direita – fotomicrografia de lâmina da amostra BM-TC-01, com fenocristais de labradorita e augita. ..,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,. 31
FIGURA 27 - Esquerda - foto do afloramento da localização da amostra BM-TC-07, com grande quantidade de veios horizontais e subverticais preenchidos por calcita e outros carbonatos. Direita – fotomicrografia da lâmina BM-TC-07 com a presença de fenocristal de plagioclásio e de um veio preenchido por calcita e quartzo. Nicóis não cruzados. 33
FIGURA 28 - Esquerda - foto do nível de coletada das amostras BM-TC-09, BM-TC-10 e BM-TC-12 do nível central da pedreira com espaçamento aproximadamente de um a um metro e meio. Direita - fotomicrografia da lâmina BM-TC-12 com 15% de opacos e alguns microfenocristais de plagioclásio e de augita. Nicóis cruzados. 33
FIGURA 29 - Esquerda - foto do afloramento da localização aproximada das amostras BM-TC-09, BM-TC-10 e BM-TC-12 dentro do núcleo. Direita - fotomicrografia da lâmina BM-TC-09 com minerais de alteração verde amarronzados (prováveis celadonitas), clorofeítas e microagregados de ino e filossilicatos, com a presença de fenocristal de labradorita. Nicóis não cruzados. 34
FIGURA 30 - Esquerda – foto do afloramento da amostra BM-TC-13. Direita - fotomicrografia da amostra BM-TC-13 com textura intersertal caracterizada por argilomineral amarelo-esverdeado (bowlingita). Presença de cristais de plagioclásio “ocos” e com “calda de andorinha”. Nicóis não cruzados. 35
FIGURA 31 - Esquerda - foto do afloramento de coleta da amostra BM-TC-16, nível superior do núcleo, composto por basalto fino a denso cinza escuro com vesículas, amígdalas e geôdos. Direita - fotomicrografia da lâmina BM-TC-16 mostrando textura porfirítica em matriz intersertal com fenocristais de labradorita a esquerda e de augita a direita. Nicóis cruzados. 35
FIGURA 32 - Esquerda - foto de um bloco rolado de basalto amigdaloidal proveniente do topo do talude, nível topográfico referente a amostra BM-TC-17. Direita - fotomicrocrafia da lâmina BM-TC-17 com amigdalas preenchidas por quartzo e calcita, com bordas irregulares e presença de óxi-horblenda marrom alaranjado. Nicóis não cruzados. 36
FIGURA 33 - Esquerda - foto do paredão sudeste da cava sudoeste, onde no topo do talude encontra-se o latossolo ou “bota-fora” e blocos de um basalto cinza escuro a negro, fino/denso, com textura subfanerítica, representado pela amostra BM-TC-19. Direita - fotomicrografia da lâmina BM-TC-19 com a presença de glomérulos porfiríticos de plagioclásios e piroxênios. Nicóis cruzados.. 37
FIGURA 34 - Diagrama SiO_2 *vs.* Na_2O+K_2O das rochas vulcânicas básicas, segundo Zanettin *et al.* (1984)..... 40
FIGURA 35 - Diagrama binário com a porcentagem em peso de SiO_2 *vs*. K_2O, segundo Middlemost (1975). 41

FIGURA 36 - Diagrama binário de classificação FeO_{total} *vs.* SiO2, segundo Miyashiro (1974). 41
FIGURA 37 - Diagrama R1 *vs*. R2 de De La Roche *et al.* (1980) para as rochas estudadas..... 42
FIGURA 38 - Diagrama de composição dos basaltos baseada na composição normativa das amostras no Tetraedro Hiperstênio (Hy) – Quartzo (Qz) – Diopisídio (Di) simplificado de Yoder e Tilley (1962)..... 43
FIGURA 39 - Diagrama de composição dos basaltos baseado na composição normativa das amostras no Tetraedro Ortoclásio (Or), Anortita (Na) e Diopsídio (Di)..... 43
FIGURA 40 - Diagrama F (Fe_2O_3) – M (MgO) – A ($Na_2O + K_2O$) das rochas estudadas, com a linha divisório entre os campos segundo Irvine & Baragar (1971). 44
FIGURA 41 - Diagrama de variação dos elementos maiores em porcentagem em função do MgO (%) das rochas investigadas. 45
FIGURA 42 - Diagrama de variação dos elementos menores em porcentagem em função do MgO (%) das rochas investigadas. 47
FIGURA 43 - Padrões de distribuição de elementos menores e traços normalizados em relação ao moanto primitivo de Sun & MacDonough (1989). 48
FIGURA 44 - Diagrama Sr vs. Ti/Y, com os campos dos magmas-tipo da província Ati (alto Titânio), definidos por Peate *et al.* (1992). 48
FIGURA 45 - Diagrama Nb versus Sr, com os campos dos magmas-tipo das província Ati (alto Titânio), definidos por Peate *et al.* (1992). 49
FIGURA 46 - Diagrama Fe_2O_3 versus Sr, com os campos dos magmas-tipo da província Ati (alto Titânio), definidos por Peate *et al.* (1992). 49

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Características principais da composição dos diferentes magmas tipo básicos da Formação Serra Geral, segundo Peate *et al.* (1992) e Peate (1997). 17

TABELA 2: Tabela de amostras com a porcentagem em peso dos elementos maiores (óxidos) com a perda ao fogo (LOI) e Soma. 38

TABELA 3: Tabela com as amostras e o teor em partes por milhão (ppm) dos elementos menores e traços. 39

1 INTRODUÇÃO

Os basaltos do município de Monções estão localizados na porção noroeste do Estado de São Paulo. Estão inseridos na Província Magmática do Paraná, cujo volume estimado de rochas é de 600 mil quilômetros cúbicos, sendo que 75% deste volume correspondem aos derrames de lava da Formação Serra Geral, com uma área em torno de 917.000 km^2, perfazendo 61% da superfície da Bacia do Paraná segundo estimativas recentes de Franck *et al.* (2009). Datações radiométricas destes derrames demonstram que os magmas foram extravasados há mais ou menos 134 milhões de anos (Thiede & Vasconcelos 2008). Monções é um município de pequeno porte e de economia essencialmente voltada para a agropecuária (Figura 1), sendo que as principais vias de acesso ao município são a Rodovia Dr. Otaviano Cardoso Filho (SP - 461) e a Estrada Municipal Monções - Macaubal.

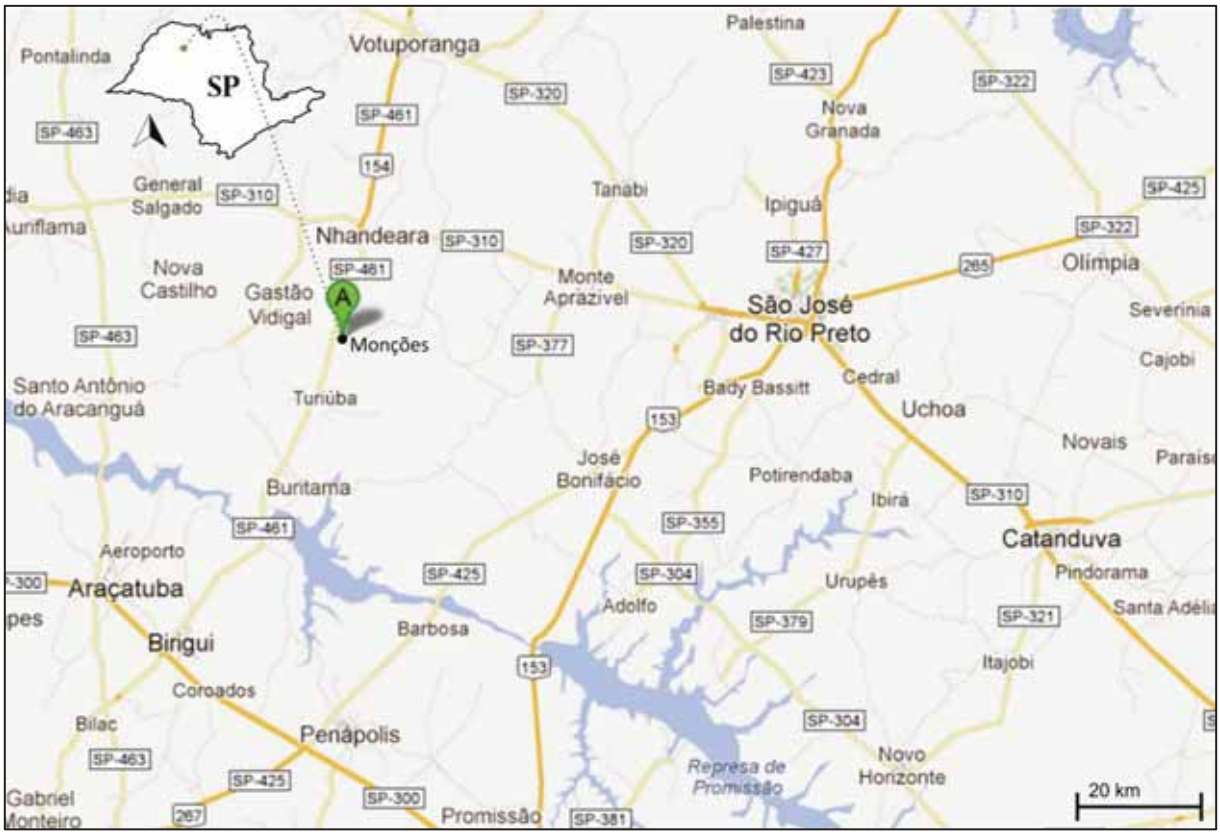

Figura 1: Mapa com a localização do município de Monções (balão verde A) e das principais vias de acesso (linhas amarelas que interligam as cidades). Fonte: Google Mapas (2012).

No município, encontra-se a Unidade - I da Mineração Noroeste Paulista Ltda., mineradora esta responsável pela exploração do basalto na região e uma importante fonte de empregos para a população local. A unidade pertencente à mineração em Monções é uma

pedreira de pequeno a médio porte (Figura 2), onde explora a rocha basáltica, tendo como produto final a rocha britada, usada principalmente para tubo de concreto, massa asfáltica e pedra britada. Este Trabalho de Conclusão de Curso busca um estudo sobre a geologia dos basaltos da pedreira objetivando maior conhecimento sobre a situação geológica da área, sobretudo voltado para seus aspectos petrográficos, geoquímicos e genéticos.

Figura 2: Imagem de satélite com a localização da pedreira a oeste e Monções a leste, com a Rodovia Dr. Otaviano Cardoso Filho (SP – 461) e a estrada de terra. Fonte: Google Earth. (2012).

O acesso à pedreira é por meio de uma estrada de terra com britas de basalto da própria pedreira com extensão de 4,6 km, ilustrada pela linha amarela sólida na figura 2. A entrada da estrada de terra se encontra no km 67 da Rodovia Doutor Otaviano Cardoso Filho (SP 461). Ainda na figura 2, as curvas de nível das culturas das terras aos redores indicam as linhas topográficas do relevo, sendo as drenagens os baixos da topografia, com aproximadamente 370 metros e os topos com 420 m no máximo. A figura 3 mostra que a pedreira é formada por duas cavas, uma a nordeste, que hoje se encontra com o acesso dificultado devido o alagamento por água, e outra a sudoeste onde atualmente ocorre a exploração e foi o principal local de estudo. Sendo então a cava a sudoeste o lugar de estudo, as amostras foram coletadas nos paredões noroeste, sul, sudeste e leste da referida cava. As coordenadas geográficas em graus, minutos e segundos da pedreira são: W 50º 09’ 5.75” e S 20º 51’ 17.28”.

As dimensões aproximadas de cada uma das cavas da pedreira são de 200 m de comprimento N - S e 150 m de largura E - W, respectivamente.

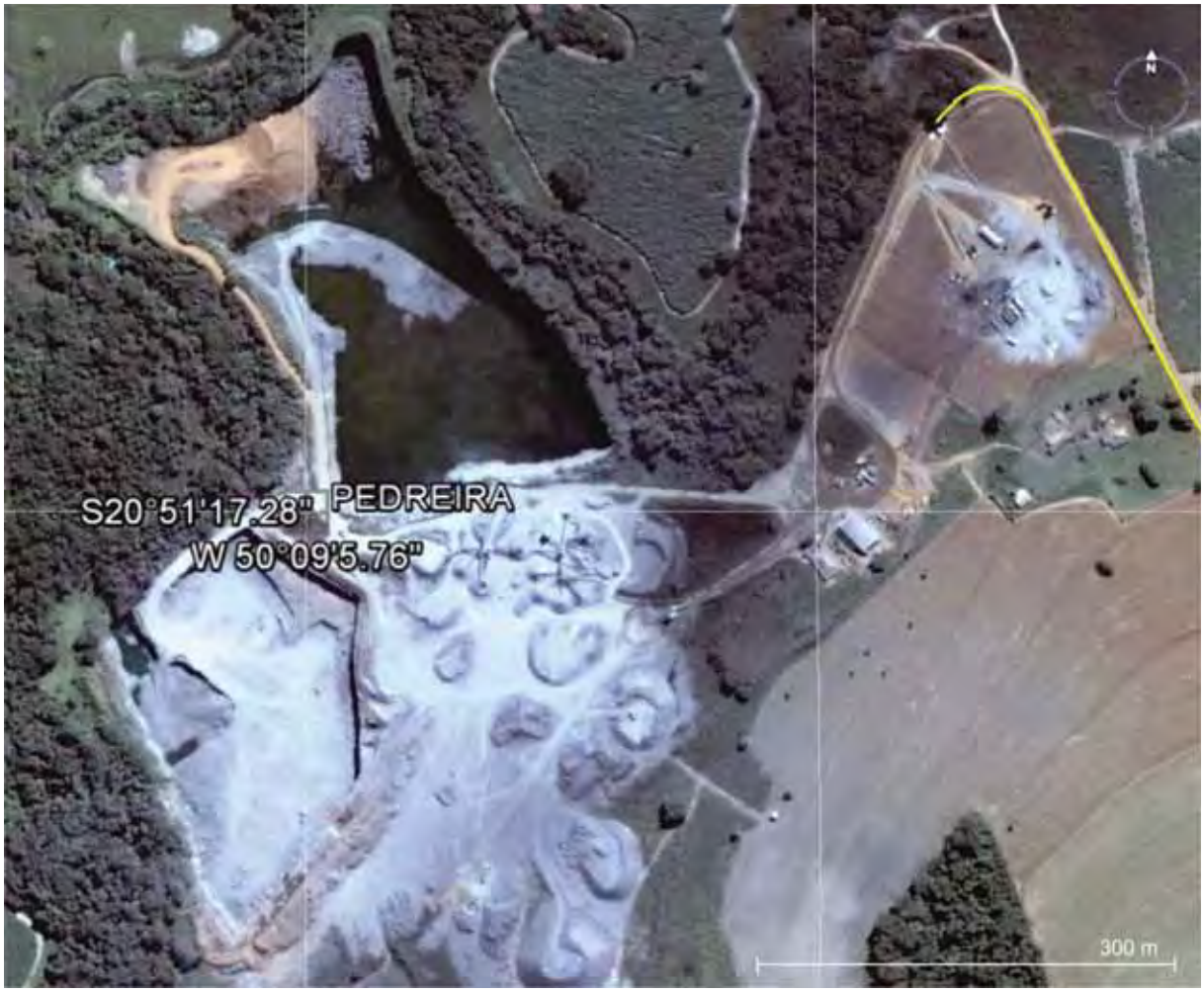

Figura 3: Imagem de satélite com as coordenadas geográficas da pedreira de basalto (Mineração Noroeste Paulista Ltda.) Fonte: Google Earth (2012).

1.1 Objetivos

O trabalho tem como objetivo a caracterização litogeoquímica e petrográfica dos basaltos da Formação Serra Geral presentes no município de Monções, aflorantes na pedreira pertencente à Mineração Noroeste Paulista Ltda. (Unidade I – Monções). Como resultado, será apresentado um trabalho de conclusão de curso à Comissão do Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP, campus de Rio Claro, como parte das exigências para o cumprimento da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso no ano letivo de 2012.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Levantamento bibliográfico

A princípio foi realizado um levantamento bibliográfico acerca das rochas magmáticas e da estratigrafia da Bacia do Paraná a fim de se obter um maior entendimento tanto sobre a gênese e evolução dos derrames basálticos da Formação da Serra Geral quanto da Bacia do Paraná. Para isso foram consultados os capítulos principais dos livros acerca dos temas como, por exemplo, Piccirillo & Melfi (1988), Peate (1997) e Marques & Ernesto (2004).

2.2 Trabalhos de campo e amostragem

Os trabalhos de campo foram todos efetuados na pedreira de basalto, Unidade I – Monções/SP, pertencente a Mineração Noroeste Paulista Ltda. Durante o trabalho de campo buscou-se coletar amostras em diferentes níveis níveis dos horizontes do talude da pedreira a fim de se estabelecer uma possível diferenciação litogeoquímica vertical do derrame, descritos em um perfil com no mínimo 15 metros e com no máximo 30 m de altura, com média entre 20 a 25 m de afloramento do maciço rochoso de basalto. Sendo assim, as amostras foram coletadas em diferentes horizontes, do nível inferior que é a base, chão ou cota mínima da pedreira, até o nível superior que é o topo do talude da pedreira, com média relativa superior a 18 m de altura. A obtenção das amostras em diferentes níveis topográficos da pedreira é facilitada visto que as encostas nos flancos de lavra permitem o acesso aos níveis mais altos do paredão de basalto da pedreira em virtude da presença de degraus produzidos pelos processos extrativos. Desta forma foram coletadas cerca de 20 amostras em diferentes níveis horizontais, das quais 11 delas foram, posteriormente, escolhidas por possuírem as melhores características para as análises químicas e para a confecção de lâminas delgadas, o que significa amostras frescas, sem vesículas e/ou amígdalas, e com o menor número de minerais de alteração presentes possíveis. Devido às características de cada amostra, uma das 11 escolhidas foi descartada para análises químicas, e somente usada para a confecção de lâmina delgada, uma vez que se trata de um basalto amigdaloidal, onde a lâmina foi utilizada para a determinação dos minerais das amígdalas, uma vez que esses mesmos contaminariam as análises químicas.

2.3 Análises petrográficas

As 11 amostras coletadas em campo e selecionadas por melhor satisfazerem as condições necessárias foram estudadas através de microscopia petrográfica convencional, em microscópio de luz transmitida, sendo determinadas a mineralogia modal e as relações texturais entre os minerais constituintes presentes.

2.4 Análises químicas

Das 11 amostras selecionadas para petrografia, 10 delas foram submetidas às análises químicas para elementos maiores, menores e traços realizadas no Laboratório de Geoquímica do Departamento de Petrologia e Metalogenia do IGCE/UNESP de Rio Claro (SP).

2.4.1 ANÁLISES QUÍMICAS DE ELEMENTOS MAIORES, MENORES E TRAÇOS

Seguindo os métodos descritos e empregados em Nardy *et al.* (1997), as amostras foram então analisadas para elementos maiores (SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, MgO, CaO, Na_2O e K_2O), menores (TiO_2 e P_2O_5) e traços (Cr, Ni, Ba, Rb, Sr, La, Ce, Zr, Y e Nb) através de fluorescência de raios X, empregando-se pastilhas de pó fundida em meio borato (elementos maiores e menores) e prensadas (elementos traços).

A preparação das amostras se inicia com a limpeza da amostra, utilizando água corrente e escova, bem como a retirada de partes alteradas, através de corte ou com o auxílio do martelo. Cerca de 500 gramas de amostra é reduzido em pedaços de até dois centímetros, descartando o pó gerado. Depois são destinadas ao moinho de discos (Fig. 4) onde sua granulometria é reduzida à pelo menos 200 mesh (número de aberturas por polegada linear), sem descarte do pó gerado. Continuando, as amostras são locadas em pequenos sacos plásticos vedados, anotados suas siglas de registro e encaminhadas para a preparação dos analitos para as análises químicas dos elementos maiores, menores e traços através de fluorescência de raio X.

Para a análise de elementos maiores e menores foram confeccionadas pastilhas fundidas obtidas através de uma alíquota com cerca de 2 g de amostra, colocadas em um cadinho de alumina e levados a uma mufla, com temperatura pré-ajustada em 1000° Celsius, por aproximadamente quatro horas, para eliminar água (de adsorção e estrutural) e os elementos voláteis presentes na rocha. A amostra foi novamente pesada, e comparando com seu peso inicial, o resultado obtido será a perda ao fogo ou LOI (loss on ignition). No

processo de aquecimento há agregação de material, constituindo uma massa compacta, ocorrendo assim a necessidade da amostra ser novamente desagregada, agora através de um moinho de bola, por um período de cinco minutos. Após este procedimento foram misturados 1,2000 g da amostra com 1,2030 g de tetraborato de lítio e 4,8397 g de metaborato de lítio (proporção 1:5), em cadinho de platina-ouro e levadas a uma temperatura da ordem de 1200º C, em uma máquina de preparação de discos fundidos marca “Claisse”. Após a fusão, o conteúdo do cadinho é vertido para um molde de 1,5 centímetros de raio, onde se obtém pelo menos uma superfície bastante lisa.

Foram confeccionadas pastilhas de pó prensado para análises de elementos traços, da seguinte forma: 10 g de pó prensado são colocados em um cadinho de alumina e levados à estufa com temperatura pré-estabilizada em 110° C por um período de 12 horas (“overnight”). Após isso as amostras são resfriadas e pesadas, sendo que 8,0 g de amostra são misturadas a 2,0 g de cera micropulverizada, e após rigorosa mistura e homogeneização, usando um almofariz de ágata, pistilo e espátula, são levadas a uma prensa e submetidas a uma pressão de 30 toneladas/cm^2, produzindo pastilhas com cerca de 3 cm de diâmetro e 0,4 cm de espessura.

A seguir, as amostras foram levadas ao espectrômetro de fluorescência de raios X, marca “Philips”, modelo “PW2400”, para as quantificações químicas.

Os parâmetros de calibração, leituras no equipamento e os erros analíticos (menos que 1% para elementos maiores e menores, menos que 5% para os traços), estão disponíveis em Nardy *et al.* (1997).

Figura 4: Foto da panela de carbeto de tungstênio do moinho, onde a amostra é reduzida a granulometria inferior a 200 mesh. Equipamento localizado no Laboratório de Preparação de Amostras Geológicas e Pedológicas do Departamento de Petrologia e Metalogenia, IGCE / UNESP, campus de Rio Claro (SP). Foto: Machado (2009).

2.4.2 TRATAMENTO DOS DADOS QUÍMICOS

Os dados químicos de elementos maiores, menores e traços das rochas estudadas foram avaliados através de diagramas binários, ternários e aranha (“spider”) de classificação, nomenclatura e composição, com o uso do software “PetroGraph”, versão 2 beta 2007, elaborado por Maurizio Petrelli, pelo Departamento de Ciências da Terra, da Universidade de Perugia, Itália. O software encontra-se disponível para download gratuito no site www.unipg.it/~maurip/SOFTWARE.htm.

3 GEOLOGIA REGIONAL

3.1 Geologia Regional da Bacia do Paraná

A Bacia Sedimentar do Paraná é uma bacia intracratônica localizada na porção centro-leste da América do Sul. Sua ocorrência abrange o nordeste da Argentina, o centro-sul do Brasil (ocorrendo nos seguintes estados: Mato Grosso, Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul), a porção leste do Paraguai e o norte do Uruguai. É uma depressão ovalada com o eixo maior quase norte-sul, sendo sua área de cerca de 1,5 milhões de km^2.

A evolução da bacia desenvolveu-se durante parte das eras Paleozóica e Mesozóica, e seu registro sedimentar compreende rochas depositadas do período Ordoviciano ao Cretáceo, abrangendo um intervalo de tempo entre 460 e 65 milhões de anos atrás. É constituída por rochas sedimentares e vulcânicas, e sua espessura máxima é superior a 7000 m na sua porção central.

A estratigrafia da Bacia do Paraná consiste basicamente em seis sequências deposicionais que variam de idade, do Ordoviciano ao Cretáceo (Milani *et al.* 1994), separadas por discordâncias regionais. O preenchimento sedimentar é predominantemente siliciclástico capeado por um volumoso derrame de lavas basálticas (Fig. 5).

De acordo com Milani (2004), a primeira sequência deposicional se inicia no Neordoviciano e prossegue até o Eosiluriano (Supersequência Rio Ivaí), a segunda pertence ao Devoniano (Supersequência Paraná), a terceira se inicia no Neocarbonífero até o Neopermiano (Supersequência Gondwana I), a quarta restringe-se apenas ao Meso e ao Neotriássico (Supersequência Gondwana II), a quinta tem início no Neojurássico e termina com a Formação Serra Geral no Eocretáceo (Supersequência Gondwana III), e a sexta refere-se ao Grupo Bauru de idade cretácica (Supersequência Bauru).

Segundo Zalán *et al.* (1990) e Milani & Thomaz Filho (2000), a origem da Bacia do Paraná provavelmente esteja relacionada com a subsidência causada pelo esfriamento da crosta recém agrupada no fim do Ciclo Brasiliano (700 – 450 Ma). Na figura 5, os símbolos Є, Or, K1 e K2 no mapa geológico da bacia representam as idades aproximadas das rochas, sendo, respectivamente, o Cambriano, Ordoviciano e Cretáceo um e dois na ordem, uma vez que K1 significa Cretáceo momento um e K2, Cretáceo posterior K1.

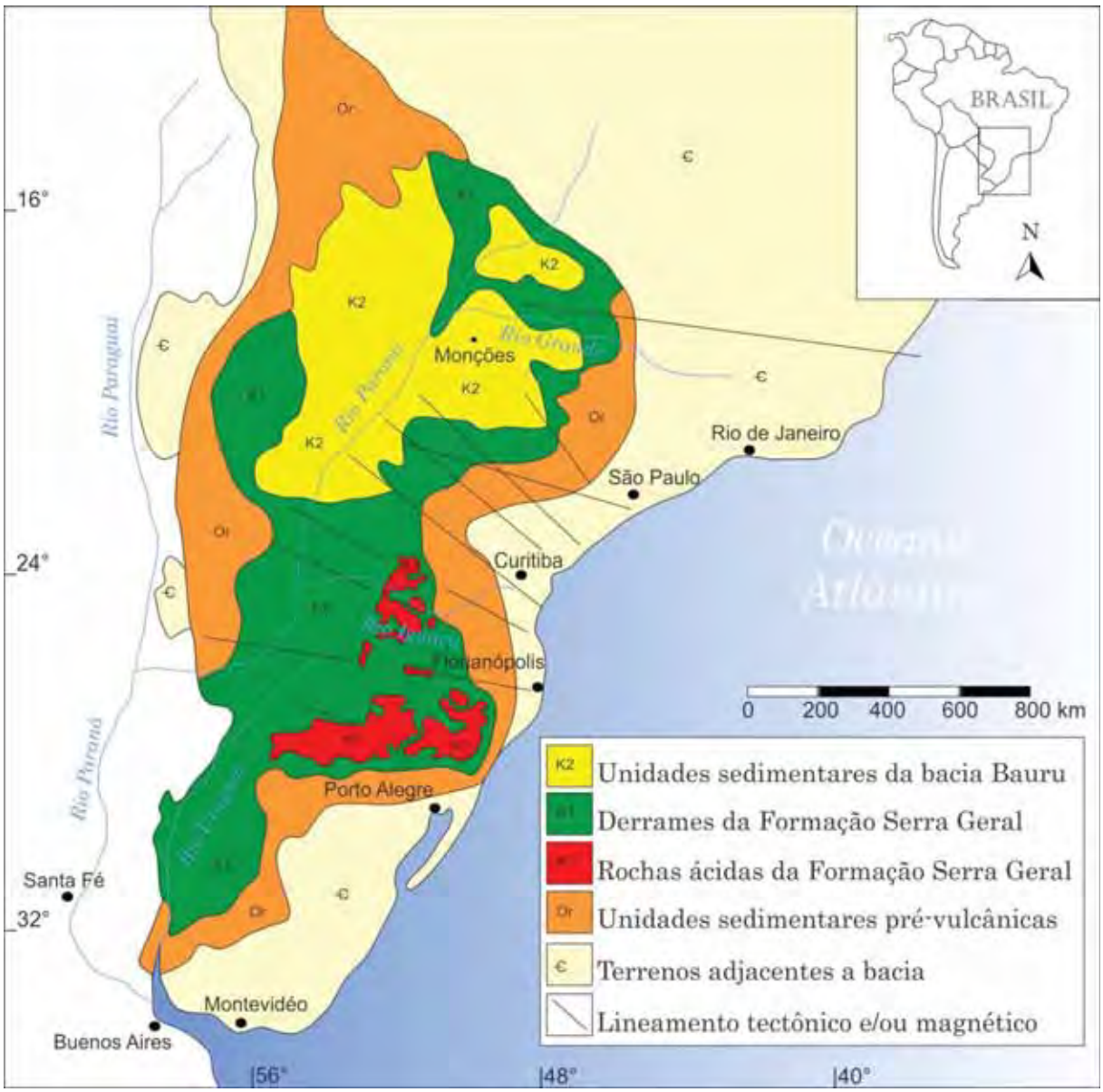

Figura 5: Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná. Legenda: Є – Cambriano; Or – Ordoviciano; K1 – Cretáceo um; K2 – Cretáceo dois. Extraído de Machado (2009); modificado.

Cada uma das seis grandes sequências do arcabouço estratigráfico da Bacia do Paraná é a resposta individualizada dos processos de subsidência com naturezas variadas, recorrentes no tempo e persistentes em sua localização geográfica (Almeida *et al.* 1986).

De acordo com Milani (1997), a subsidência inicial desta bacia seria de origem transtensiva; os grábens assim formados, correspondentes ao "rifte central" de Marques *et al.* (1993) orientaram-se pela trama brasiliana a NE-SW.

Do ponto de vista estrutural, a bacia é caracterizada como uma bacia intraplataformal desenvolvida sobre uma crosta continental rígida (Plataforma Sul-Americana),

correspondendo a uma bacia cratônica afetada pelos eventos magmáticos e metamórficos do Ciclo Brasiliano, de acordo com (Almeida *et al*, 1980). O início e desenvolvimento de tal bacia são ainda discutidos do Paleozóico até o Jurássico (Milani 2004).

O proposto regime de transtensiva principalmente relacionadas a ruptura do Gondwana com descontinuidades crustais, ligadas ao rifteamento sul-atlânticano envolveu o embasamento em sinéclise. No início do Cretáceo, há cerca de 130 Ma, os processos distensivos são associados à separação do continente Sul-Americano com o Africano e com a abertura do Oceano Atlântico, o que proporcionou a injeção de diques e doleiras e o extravasamento de rochas ígneas intrusivas e extrusivas de natureza toleíticas, conforme figura 6, principalmente na forma de lava de composição básica, que cobriram cerca de 1.200.000 km^2 (Almeida *et al.*1980).

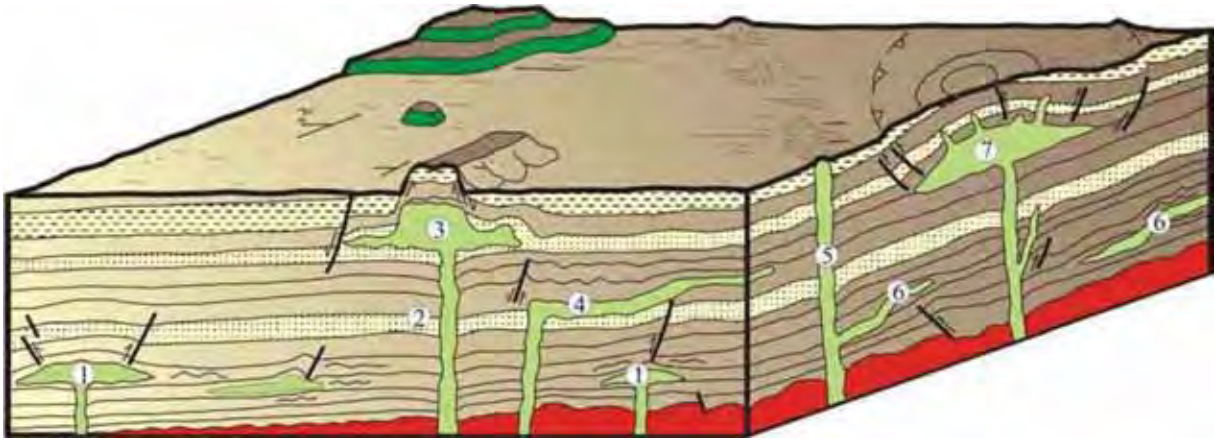

Figura 6: Bloco diagrama esquemático mostrando as formas de estruturas relacionadas a intrusões de diabásio na Bacia do Paraná. Simplificado de Zalán *et al.* (1986). Legenda: verde escuro – derrames de lava; verde claro – rochas intrusivas; vermelho – embasamento cristalino; demais cores – rochas sedimentares da bacia; 1 – estrutura tipo Lacólito; 2 – *Sea-gull Structure*; 3- Bismálito formando horst, com estruturas do tipo apófise nas laterais; 4 – intrusão provocando flexuras na rocha encaixante; 5 – diques; 6 – Sill Jump; 7 – domo associado à lacólito. Fonte: Machado (2009).

Essas intrusões de rochas básicas toleíticas, associadas aos derrames de lava da Província Magmática do Paraná são comuns na bacia segundo Zalán *et al.* (1986), que com base em dados geofísicos e em furos de sondagem descreveram as principais estruturas relacionadas a esses magmatitos, destacadas na figura 6 e descritas abaixo:

Sill – também denominado de “soleira”, trata-se de uma intrusão tabulas concordantes, ou seja. Está posicionada paralelamente ou subparalelamente ao acamamento das rochas encaixantes;

Sill Jump – dependendo da rocha encaixante e do volume do magma durante a intrusão do sill, o corpo pode mudar de nível estratigráfico através de porções inclinadas, que geralmente situam-se entre 10° até 40°, segundo Zalán *et al.* (1986);

Lacólito – são corpos intrusivos concordantes de grande espessura, possuindo geralmente a base plana e topo arqueado;

Bismálito – tipo especial de lacólito, sendo que neste caso as rochas encaixantes acima do magmatitos são soerguidas por meio de falhamentos, formando desta forma os horts;

Sea-gull Structure – dsesenvolve-se nos contatos de certos diques e diabásio com as rochas sedimentares encaixantes, provocando arqueamento dos estratos das rochas em direção ao dique;

Dique – intrusões verticais ou subverticais concordantes, muitas vezes encaixados em planos de falha das rochas encaixantes;

Apófise – prolongamento da massa eruptiva que penetra na rocha encaixante (intrusões de menor porte em fraturas de rochas encaixantes).

O conjunto de enxames de diques e os falhamentos normais marcam a junção tríplice, da qual dois ramos evoluíram para ruptura continental e abertura do Atlântico, e o terceiro abortou na etapa de soerguimento (Hasui 2010).

As dimensões desta província magmática é tal que pode ser considerada uma das grandes do mundo (*Large Igneous Provinces* – LIPs), ilustrada na próxima figura (Figura 7), com suas diversas variações, e para que com isso, a atuação de superplumas, conjunto de plumas mantélicas e pontos quentes, tal seja admitida desde a proposição por Wilson (1973), discutida e podendo até ser negada (p. ex. Campbell & Davies 2006).

3.2 O magmatismo toleítico da Província Magmática do Paraná

3.2.1 GENERALIDADES

No Cretáceo, a ruptura do Pangea e abertura do Atlântico Sul, gerou um volumoso magmatismo toleítico, a Província Magmática do Paraná (PMP), onde se destaca a Formação

Figura 7: Mapa pré-drift da Província Magmática do Paraná-Etendeka. Integrado a partir de Machado (2005) e Nardy *et al.* (2008). Legenda: 1. basaltos, 2. vulcânicas ácidas do tipo Chapecó, 3. vulcânicas ácidas do tipo Palmas, 4. diques, 5. área adjacente (Nardy *et al*. 2008). Ocorrência dos diferentes tipos geoquímicos de magmas básicos (I a V) da Província Magmática Paraná-Etendeka, segundo informações contidas em Milner (1988), Pinese (1989), Peate *et al.* (1992), Peate (1997), Ernesto (1999), Marzoli *et al.* (1999), Marques (2001), Marsh *et al.* (2001) e Machado *et al.* (2007,2009). Os tipos I e II são rochas tipo Ati, enquanto III, IV e V são rochas Bti. Legenda: I – Paranapanema e Pitanga; II – Urubici; III – Esmeralda; IV – Gramado; V – Ribeira (Extraído de Machado 2005).

Serra Geral (EoCretáceo), considerada como a maior manifestação intracontinental de lavas do planeta estimado em 800.000 km^3 (Milani *et al.* 1994, 2004).

Vale ressaltar que segundo Erlank *et al.* (1984), Duncan *et al.* (1989), Milner *et al.* (1995), Peate (1997), Marzoli *et al.* (1999), Marsh *et al.* (2001), Ernesto *et al.* (2002), Ewart *et al.* (2004) e Bryan & Ernst (2008), existem características geodinâmicas, geoquímicas e petrográficas que evidenciam a gênese comum entre a origem da Província Magmática do Paraná e do Etendeka, na costa oeste africana, formada por derrames de lava e rochas intrusivas localizadas na Bacia do Etendeka, na Namíbia, e nas Bacias de Kwanza e Namíbia, na Angola. Portanto, muitos trabalhos tratam essa grande província ígnea de "Província Magmática Paraná - Etendeka".

Os pacotes de rochas básicas toleítica ocorrem com espessuras variáveis de até 650 m, em sucessões de derrames, que individuais medem de 10 a 80 m, e ocorrem em grandes extensões devidas as suas baixas viscosidades, com as inclinações sub-horizontais sobre os arenitos eólicos da Formação Botucatu. Conforme demonstrado pela Figura 8, o depocentro da bacia chegou a uma profundidade de 5600 m em relação ao nível do mar atual, e que os derrames de lava, de acordo com Millani (2004), tem uma espessura máxima de 1500 m sob as rochas sedimentares da bacia.

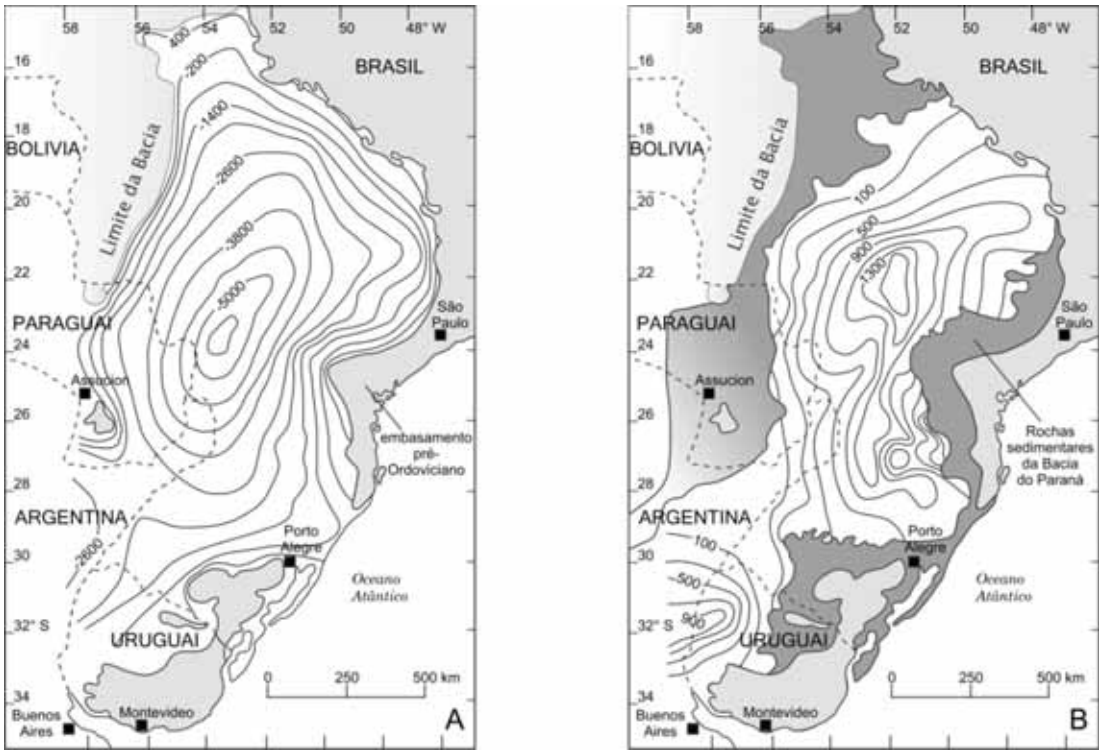

Figura 8: A – profundidade sob a bacia sedimentar do Paraná (intervalos de 600 m). B – mapa de isobases das lavas do Paraná (intervalos de 200 m). Modificado de Peate *et al.* 1992.

As rochas vulcânicas da PMP são representadas principalmente por basaltos toleíticos e andesito-basaltos toleíticos, com dois piroxênios (augita e piogenita), subordinadamente ocorrem andesitos toleíticos e rochas ácidas nas regiões próximas a margem continental e partes superficiais das sequências de derrames.

Em datações obtidas através de método $^{40}Ar/^{39}Ar$ revelam um pico de atividade ígneo de curto espaço de tempo, entre 133 e 130 Ma atrás (Renne *et al.* 1992a, b; Renne *et al.* 1996a, b; Turner *et al.* 1994; Ernesto *et al.* 1999; Ernesto *et al.* 2002; Mincato *et al.* 2003).

A Formação Serra Geral é constituída de rochas vulcânicas onde a observação macroscópica e microscópica permite individualizá-las em três tipos petrográficos principais: rochas básicas - intermediárias (basalto predominantemente maciço, com textura intergranular e suas variações) e dois outros tipos de rochas de natureza ácida denominadas de Palmas e Chapecó (Nardy *et al.* 2002). Estes três litotipos ocorrem na parte sul da província magmática. As rochas básicas - intermediárias representam 97% de todo o volume magmático, enquanto as ácidas dos tipos Palmas e Chapecó representam respectivamente 2,5% e 0,5% do volume, e 57.000 e 6.617 km^2 em área, segundo Bellieni *et al.* (1986b) e Nardy *et al.* (2002). No perfil N-S, na PMP apresentado abaixo na figura 9, as linhas de tempo mostram que os magmas-tipos são diacrônicos.

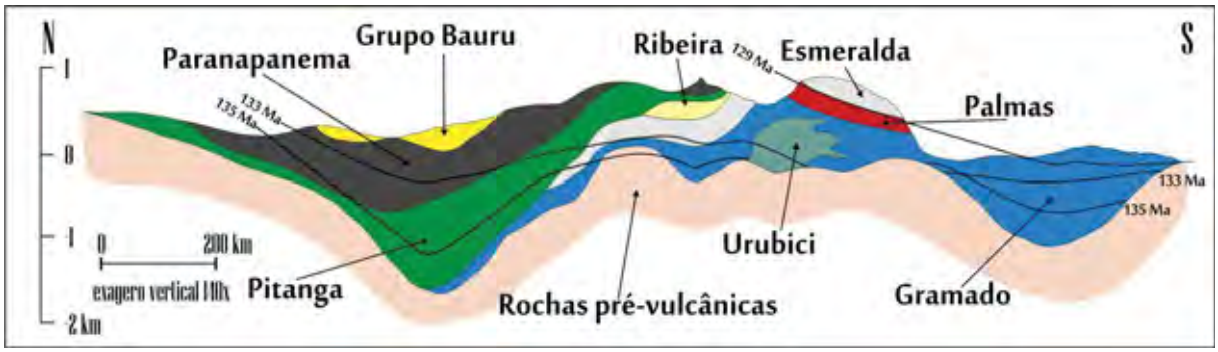

Figura 9: Perfil aproximadamente N – S na Província Magmática Serra geral. Simplificado de Peate (1997), segundo dados geoquímicos de Peate *et al.* (1992) e datações de Stewart *et al.* (1996).

- rochas básicas - intermediárias: constituem os derrames que por sua vez são constituídos por basaltos, andesito-basaltos e andesitos toleíticos, com mineralogia principal formada por plagioclásio (43% em média), augita (24% em média), pigeonita (11% em média), olivina (1% em média), quartzo (0,5% em média), opacos (7% em média) e apatita (0,5% em média). A coloração é cinza escuro a negro, maciço ou vesicular, subfanerítico com granulação variando de vítrea a média, segundo Nardy *et al.* (2002). A textura é predominantemente intergranular. Nos limites de cada pulso magmático é possível identificar

zonas vesiculares de dimensões variadas, sendo que na maioria dos casos estas vesículas são preenchidas por material secundário, formando amígdalas de quartzo, calcita, zeólita, fluorita e comumente argilas de cor esverdeada, provavelmente do grupo da celadonita. Os diaclasamentos são mais comuns nas porções centrais dos derrames, com direções verticais e formas hexagonais. A perda de calor é mais lenta no núcleo do que nas bordas, possibilitando o desenvolvimento destas estruturas de maior porte, poucas fraturas e com granulação mais grossa.

- rochas ácidas do tipo Chapecó (ATC): são representadas por dacitos, riodacitos, quartzo latitos e riolitos hipohialinos com até 90% de material vítreo, porfirítico e fortemente porfirítico, segundo Nardy *et al.* (2002). Os principais minerais são o plagioclásio (14,4% em média), augita (4,5% em média), pigeonita (2,1% em média), opacos (3,7% em média) e apatita (1,7% em média), com presença de matriz vítrea.

- rochas ácidas do tipo Palmas (ATP): são representadas por riolitos e riodacitos diferentes de ATC. São tipicamente afíricas e com estrutura sal e pimenta. A mineralogia destas rochas, segundo Nardy *et al.* (2002) é essencialmente plagioclásio (16% em média), augita (11% em média), pigeonita (3% em média), opacos (5% em média) e apatita (1% em média), completando o volume da rocha com matriz, frequentemente de aspecto micro granular com micro cristais de plagioclásio.

Os derrames de lava são esquematizados do início do extravasamento, em um estado fluido viscoso, até seu total resfriamento num estado sólido conforme figura 10, onde as ilustrações a, b, c, e d em sequência representam, respectivamente:

(a) o fluxo chega pequeno, com baixo movimento, em um lobo de lava derretida dentro de uma superfície elástico-viscosa, com crosta frágil na parte superior. As bolhas são inicialmente aprisionadas em ambas as crostas basal e superior;

(b) injeção contínua de lava resulta em inflação (elevação da crosta superior) e o novo rompimento. Durante a inflação, bolhas ascendentes a partir do núcleo fluído, ficam presas na polpa elástico-viscosa na base da camada superior, formando a zona vesicular horizontal (ZVH). O crescimento da crosta inferior, onde os tubos vesiculares se desenvolvem, é muito mais lento. O resfriamento relativamente mais rápido da crosta superior resulta em juntas irregulares;

(c) após a estagnação, diápiros de resíduos vesiculares formam cilindros verticais e folhas horizontais dentro da cristalização do núcleo de lava. O resfriamento lento do núcleo forma um padrão de juntas mais regulares;

(d) a história da colocação do fluxo é preservada na distribuição das vesículas e no padrão de juntas da lava resfriada.

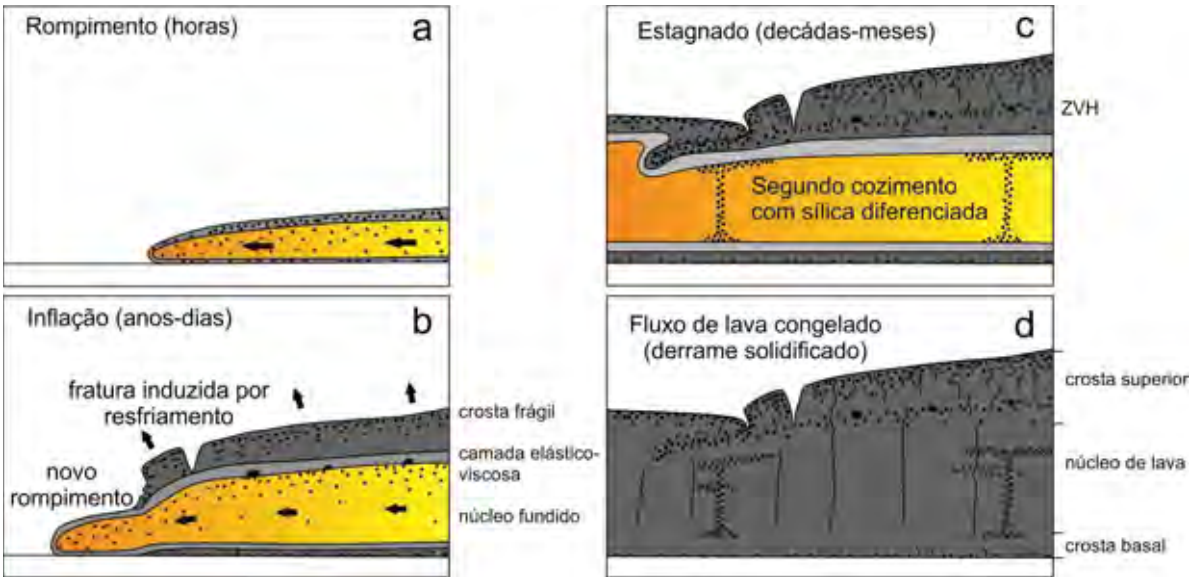

Figura 10: Seções transversais esquemáticas de colocação de um fluxo de lavas genérico. Escala vertical a partir de 1 - 5 m para fluxos havaianos e 5 – 50 m para fluxos Columbia River. Fonte: Large igneous provinces: continental, oceanic, and planetary flood volcanism (Self *et al*. 1997).

3.2.2 CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS

De acordo com estudos sistemáticos da Província Magmática do Paraná (PMP) por Belliene *et al.* (1983, 1984ab, 1986ab), Mantovani *et al.* (1985), Piccirillo & Melfi (1988), Piccirillo *et al.* (1987, 1988, 1989), Marques *et al.* (1989) e Nardy (1995), revelaram a existência de dois grupos (subprovíncias) quimicamente distintos baseados na concentração de TiO_2, denominados de alto titânio ($ATiO_2 \geq 2\%$) e baixo titânio ($BTiO_2 < 2\%$). As rochas do primeiro grupo em relação às do segundo (ATi / BTi) mostram-se enriquecidas em Ba (1,88), K_2O (1,38), U (1,20), Sr (2,41), La (2,05), Ce (1,92), Ta (2,43), P_2O_5 (2,54), Hf (1,70), Zr (2,25), TiO_2 (2,46) e empobrecidas em Cs (0,65) e Rb (0,8).

De maneira geral, as rochas do grupo ATi encontram-se na parte norte da província, acima do Alinhamento do Tio Piquiri, enquanto as BTi na parte sul, abaixo do Alinhamento do Rio Uruguai.

Então se tem que os dados geoquímicos, principalmente referentes aos isótopos e razões de elementos traços incompatíveis publicados pelos autores citados, conjugados aos cálculos de balanço de massa de Petrini *et al.*(1987) e Piccirillo *et al.* (1989), indicam que as subprovíncias não possuem a mesma fonte mantélica.

Os derrames basálticos da PMP foi dividido em seis tipos de magmas distintos, baseado principalmente nas concentrações de Ti e elementos incompatíveis (Sr, Y e Zr) segundo Peate *et al.* (1992). Na subprovíncia ATi foram definidos os magmas tipo Urubici, Pitanga e Paranapanema, com razões Ti/Y > 300 ao norte da província. Já em BTi, os magmas definidos são Gramado, Esmeralda e Ribeira, com razões Ti/Y < 300 ao sul da província.

Tabela 1: Características principais da composição dos diferentes magmas tipo básicos da Formação Serra Geral, segundo Peate *et al.* (1992) e Peate (1997).

Grupo	Magma tipo	TiO_2 (%)	Sr (ppm)	Ti/Y	Zr/Y
ATi	Urubici	>3,3	>550	>500	>6,5
	Pitanga	>2,9	>350	>350	>5,5
	Paranapanema	1,7 – 3,2	200 – 450	>330	4 – 7
BTi	Gramado	0,75 – 1,9	140 – 400	<300	3,5 – 6,5
	Esmeralda	1,1 – 2,3	<250	<330	2 – 5
	Ribeira	1,5 – 2,3	200 – 375	<300	3,5 - 7

3.2.3 TIPOS DE DERRAMES E RECONHECIMENTOS DE ESTRUTURAS

Os estudos sobre a morfologia e origem das estruturas nos basaltos da Formação Serra Geral baseiam-se em classificações que tem como origem estudos aplicados em basaltos do Arquipélago Havaiano, sendo posteriormente utilizados nas Províncias Continentais do Columbia River (EUA) e do Decan (Índia).

Os derrames basálticos podem ser distinguidos com base nas feições de superfície e estruturas, em *pahoehoe*, *'a'a* e lava em bloco, segundo Macdonald (1953).

As principais características dos derrames *pahoehoe* são suas superfícies lisas, onduladas ou em corda, e por uma estruturação interna dividida em crosta superior, núcleo e crosta inferior (Macdonald 1953, Aubele *et al.*1988). A dinâmica dos fluxos *pahoehoe* envolve inicialmente um avanço na forma de lobos com pequena espessura, onde a crosta superior é rapidamente formada, podendo ser posteriormente inflado se a superfície de base possui baixa inclinação (Hon *et al.* 1994).

Os derrames *'a'a* são caracterizados por possuírem topo e base escoriáceos, vesículas alongadas e por reentrâncias das zonas escoriáceas na porção maciça em função do avanço do derrame (Macdonald 1953, Kilburn 1990). Este tipo de derrame é formado quando a lava é

transportada em canais aberto, em geral associada a altas taxas de erupção (Macdonald 1953, Pinkerton & Sparks 1976, Rowland & Walker 1990 .

Já as lava em bloco, possuem uma porção formada por fragmentos angulosos que apresentam superfícies lisas e dimensões regulares, sendo os fragmentos frequentemente poliedrais (Macdonald 1953). São geralmente formadas por magma com maiores viscosidades, de composição andesítica, dacítica ou riolítica (Shmimcke 2004).

A terminologia utilizada na descrição dos tipos de derrames basálticos e das estruturas relacionadas é baseada na investigação de fluxos de lavas ativos, predominando expressões e definições cunhadas no Havaí, sendo os principais termos:

- produtos eruptivos: lobo (flow lobe); derrame (lava flow) composto ou simples e campo de derrames (flow field);
- feições de superfície: depósitos proximais (spatter); *pahoehoe*; *pahoehoe* do tipo pasta de dente (toothpaste *pahoehoe*); *pahoehoe* em placa (sçabby *pahoehoe*); bolhas de gás (gas blisters) e *'a'a*.

Para os derrames da Formação Serra Geral na Bacia do Paraná, Souza Jr. (1992) denominou na rocha basáltica as características litoestruturais de entablamento - colunata. Tais maciços possuem características inequívocas dos corpos extrusivos, facilitando sua diferenciação dos corpos intrusivos associados (sills e diques). A compartimentação estrutural em determinados derrames de lava é dividida em dois sistemas distintos de diaclasamento primário denominados de colunata e entablamento, de acordo com TomKeief (1940) e Spry (1962), como na próxima figura 11.

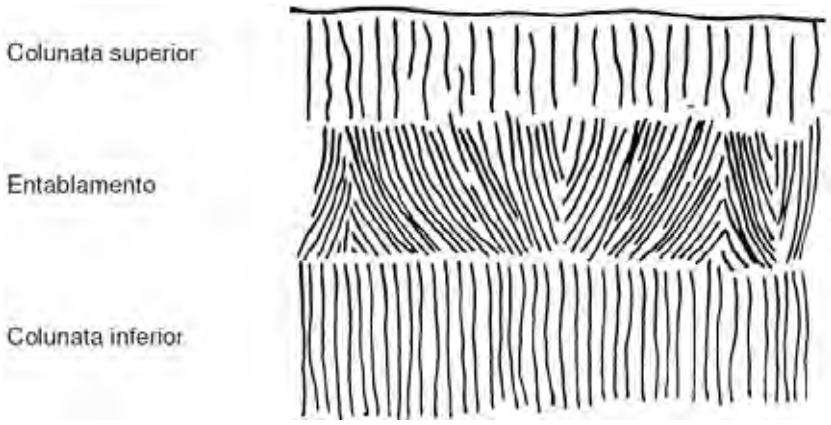

Figura 11: Os três compartimentos de um derrame basáltico (Spry, 1962; In: Gomes 2001). Características tecnológicas dos compartimentos entablamento e colunata de derrames basálticos da porção setentrional da bacia do Paraná.

4 GEOLOGIA LOCAL

4.1 Situação geológica local

A pedreira onde se encontra os basaltos do município de Monções pertence a Mineração Noroeste Paulista Ltda. A pedreira possui duas cavas, uma a nordeste, onde no momento deste trabalho a extração está paralisada, e outra a sudoeste onde ocorre a exploração atualmente, local de estudo e coleta de nossas amostras. A cava atualmente em exploração tem aproximadamente 200 m por 150 m de extensão e um talude entre 25 e 20 m em média onde aflora o maciço rochoso basáltico pouco fraturado a extremamente fraturado.

A figura 12 representa o mapa geológico simplificado da CPRM (2006) dos arredores da pedreira estudada com a distribuição das principais unidades litológicas componentes dos Grupos Bauru e São Bento. As rochas magmáticas correspondem à Formação Serra Geral, representadas por vulcânicas dadas por basaltos, andesitos, riodacitos e riólitos.

O basalto aqui estudado é facilmente diferenciado em observação a olho nu, em bandas, em diferentes níveis horizontais, principalmente devido a diferenças de cor e de estrutura e textura (Figuras 13, 14 e 15). Os basaltos então são cinza a negro, com tons de esverdeados e avermelhados, mesocráticos, maciços, finos, densos a médios, hipocristalinos a hipovítreos, subfaneríticos, inequigranulares, hipidiomórficos. As variações de cores esverdeadas e avermelhadas estão ligadas ao grau de alteração da rocha, onde tons esverdeados denotam a presença de argilominerais resultados da alteração de piroxênios e plagioclásios. Já a coloração avermelhada é devido a presença de óxido de ferro resultante da alteração dos piroxênios e minerais opacos. As principais estruturas são juntas de resfriamento e diaclasamento, prevalecendo um padrão de faturamento de planos verticais, com poucos de grande persistência e variados de persistência pequena, assim como os planos horizontais, muitas vezes preenchidas por minerais secundários relacionados a percolação de água meteórica neste planos de juntas. Ocorrem vesículas e amígdalas desde a base até o topo. Ocorre ainda no topo do talude, uma zona horizontal vesicular, com vesículas com quase dois centímetros, assim como as amigdalas, e inclusive geodos decimétricos, com quartzo, zeólitas e carbonatos prismáticos.

Na figura 15, as linhas tracejadas definem os limites de diferentes níveis físicos da rocha onde a zona basal é caracterizada por um padrão de faturamento verticais e horizontais, com espaçamento da ordem de decímetros a quase métricos, sendo afastadas. O núcleo possui

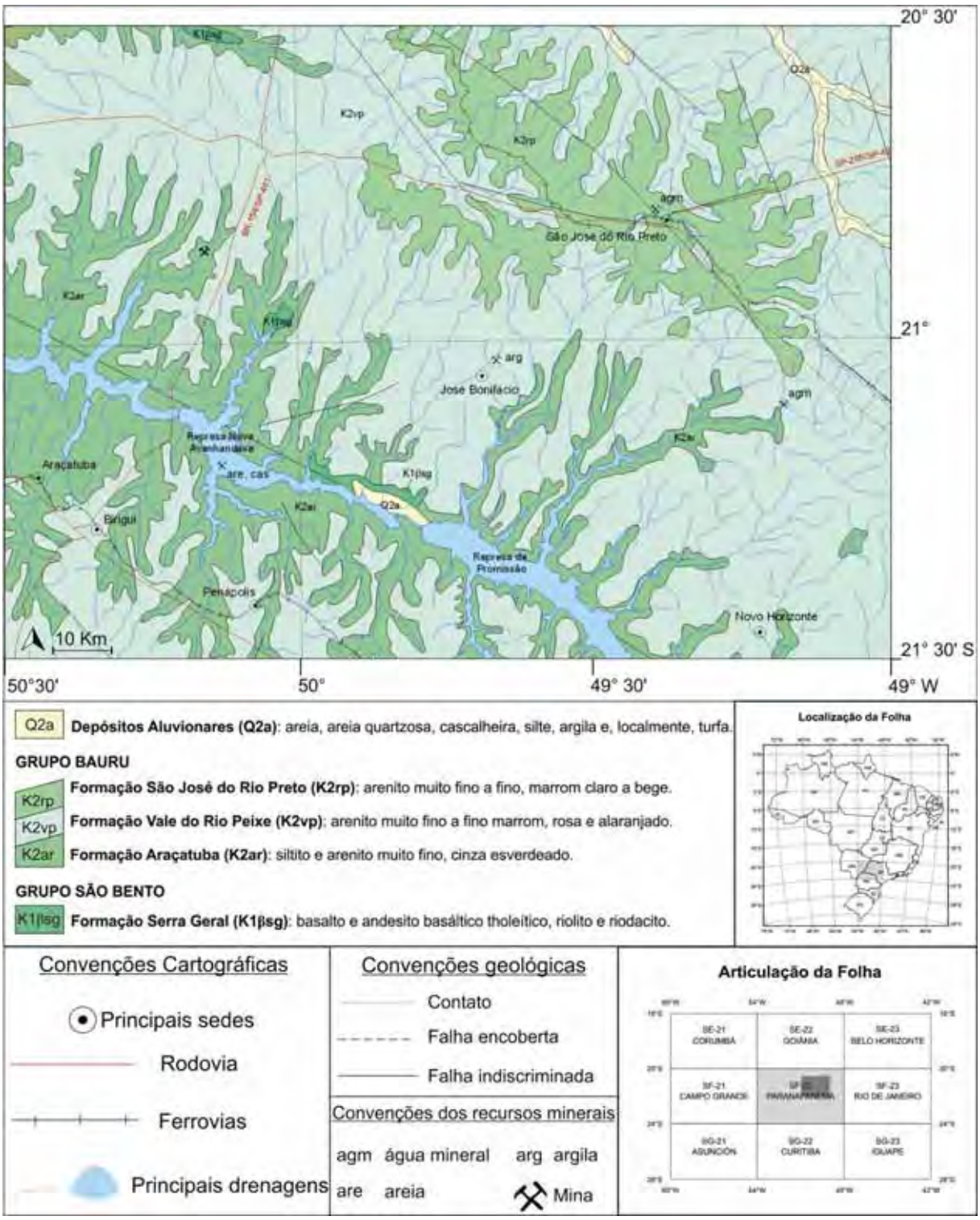

Figura 12: Mapa geológico simplificado dos arredores de Monções-SP. Fonte: CPRM (2006).

Figura 13: Foto do paredão NW, o talude de basalto e suas diferentes tonalidades de cor, estrutura e textura em níveis horizontais.

Figura 14: Foto da parede SE com o afloramento do basalto. Três níveis bem aparentes, um basal onde está a retroescavadeira, outro intermediário, muito fraturado com nível com megavesículas e amigdaloidal, e mais um nível superior, superfície ou topo do talude, com o bota fora.

Figura 15: Foto do paredão W, talude com os diferentes tons de cores, estruturas e texturas, e com a localização topográfica aproximada de cada amostra com seus respectivos símbolos dentro das diferentes bandas.

em sua base um plano subhorizontal com continuidade lateral em toda a extensão da pedreira, formado por uma camada métrica sobrejacente, muito fraturada horizontalmente e com algumas verticais, sendo quase sempre preenchidas por carbonatos e/ou quartzo. Ainda no núcleo, ocorre sobre essa camada métrica subhorizontal, um basalto maciço, denso, escuro, onde é extremamente fraturado verticalmente e horizontalmente, com espaçamentos centimétricos à poucos decímetros, próximos a muito próximo. Logo acima deste horizonte extremamente fraturado, tem-se um basalto menos fraturado, com espaçamento próximo, porém mais quebradiço ao golpe do martelo, gerando pequenos fragmentos com menos de cinco centímetros, com padrões geométricos principalmente tabulares, e prismáticos, equidimensionais e romboédricos.

A zona crustal é formada por uma camada maciça, densa, bem cinza, que possui vesículas e amigdalas centimétricas, e belos geodos decimétricos às vezes métricos. Logo acima desta banda maciça, cinza e com geodos, existe um nível com coloração avermelhada e com textura amigdaloidal bem intenso, com amigdalas preenchidas principalmente por quartzo, zeólita e calcita, assim como os geodos. Acima da zona horizontal amigdaloidal encontrada, existe um basalto fino, denso, escuro novamente, muito diferente do amigdaloidal encontrado subjacente, e englobado na zona crustal.

De acordo com as diferentes zonas e níveis topográficos, as amostras da zona basal são representadas pelos quadrados azuis, as do núcleo pelos losangos verdes e a da zona crustal pelo pentágono verde escuro. A amostra BM-TC-17 não possui símbolo, pois não foi usada para análises químicas, sendo que esta amostra trata-se daquela escolhida anteriormente apenas para análises petrográficas (basalto amigdaloidal).

A figura 16 busca, de forma resumida, ressaltar as descrições observadas em campo e a figura 17 fornece uma visão panorâmica do paredão oeste da pedreira, onde procura-se realçar os diferentes horizontes identificados por variações nos aspecto estruturais e texturais das rochas basálticas.

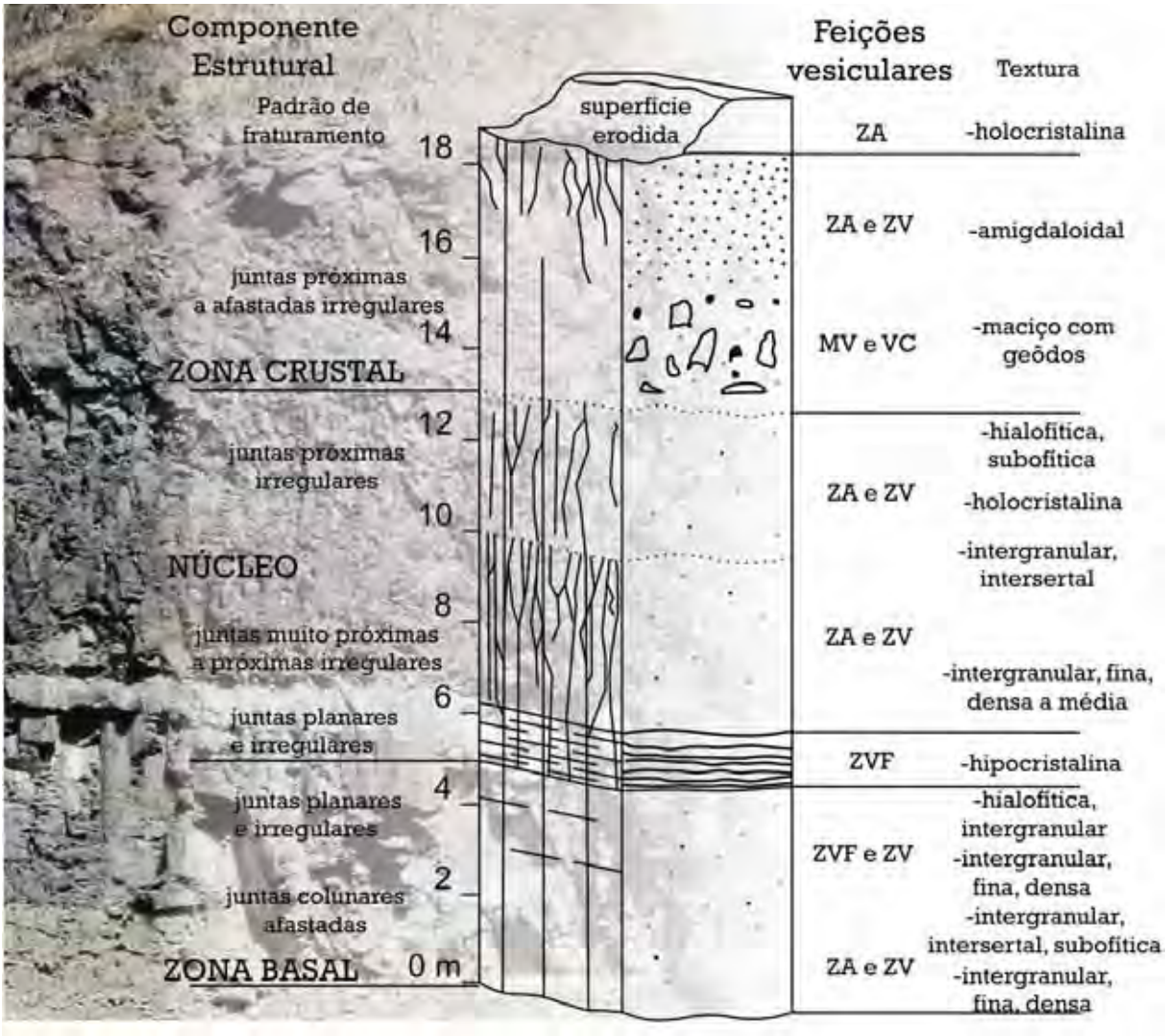

Figura 16: Perfil esquemático do derrame basáltico, com suas principais características. As siglas das feições vesiculares são: MV- megavesículas; VC - vesículas cilíndricas; ZA - zona amigdaloidal; ZV - zona vesicular; ZVF - zona vesicular foliar.

Figura 17: Foto panorâmica do paredão oeste da pedreira em cima, com ilustração realçando as estruturas e texturas observadas embaixo.

4.2 Petrografia

Para as análises petrográficas foram selecionadas 11 amostras coletadas em campo. As lâminas delgadas foram analisadas através de microscopia óptica de luz transmitida, para identificar, quantificar e avaliar os minerais (forma, contato, trama, etc.). É importante ressaltar que as amostras escolhidas para a confecção das lâminas são as mesmas usadas nas análises químicas, buscando uma correlação precisa entre petrografia e litogeoquímica, sendo que as mesmas foram selecionadas por possuírem as características essenciais, já discutidas no texto em 3.2. Porém, para uma determinação correta dos minerais secundários, duas amostras foram escolhidas para análises petrográficas por conterem veios de preenchimento e amigdalas, sendo as amostras BM-TC-07 e BM-TC-17, respectivamente.

A mineralogia dos basaltos investigados é composta essencialmente por plagioclásio (andesina e labradorita), piroxênios (augita e pigeonita), minerais opacos e a matriz (vítrea ou microgranular). De modo geral, os basaltos estudados são mesocráticos a melanocráticos, de

coloração cinza a cinza escuro, granulação densa, fina a média, com grau de cristalinidade variando entre hipocristalina a ortocristalina.

A mineralogia básica de todas as amostras é constituída principalmente por plagioclásio, principalmente a labradorita, e talvez andesina, piroxênios sendo a maioria augita e pigeonita, esta frequentemente como pseudormofos ou alteradas, e minerais opacos, como magnetita e hematita em formas irregulares, regulares e esqueletais, como minerais constituintes da cristalização magmática. A matriz é observada em todas as amostras, seja vítrea ou microgranular/intergranular, sendo que a fração vítrea alterada gera um tipo de argilomineral (bowlingita, celadonita, clorofeíta), além de cloritas, clorofeítas e palagonita. Também são observadas, com certa freqüência, óxi-hornblenda primária de cor esverdeada a marrom esverdeada.

Os minerais de alteração são encontrados em grande número, e podem ser clorita, bowlingita, nontronita, celadonita, clorofeíta e serpentina, e outros, além dos minerais secundários que preenchem veios e amigdalas (fig. 18) como a calcita, quartzo, zeólita e etc.

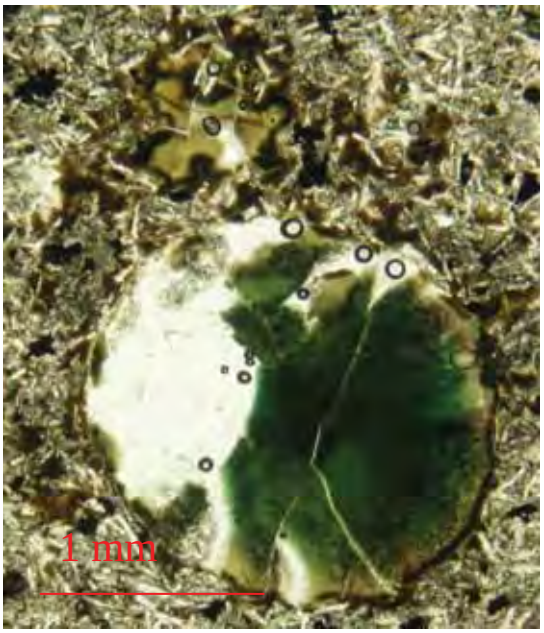

Figura 18: Fotomicrografia da lâmina da amostra BM-TC-01, com detalhe da amígdala preenchida por celadonita, com bordas irregulares com presença de argilominerais. Nicóis não cruzados.

A olivina (Figura 19) foi observada com frequência de até 2% e principalmente em pseudomorfos anedrais, predominantemente substituídos por argilominerais de cor esverdeada.

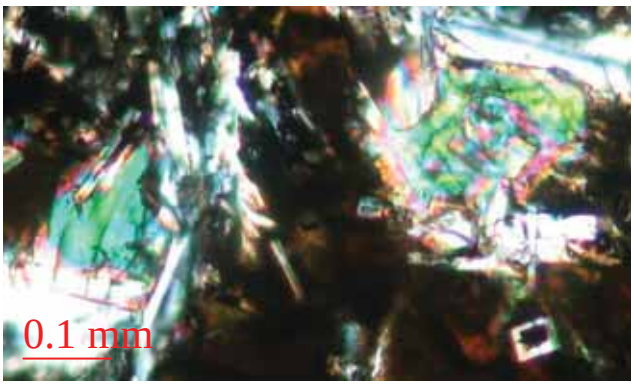

Figura 19: Fotomicrografia da lâmina BM-TC-16 com detalhe para dois cristais de olivina de relevo alto com textura intersetal. Nicóis cruzados.

A labradorita é o plagioclásio mais comum e ocorre tanto com fenocristais prismáticos, ripformes, subeudrais, muitas vezes constituindo glômeros porfiríticos, quanto como minúsculos cristais compondo a matriz intergranular (Figura 20).

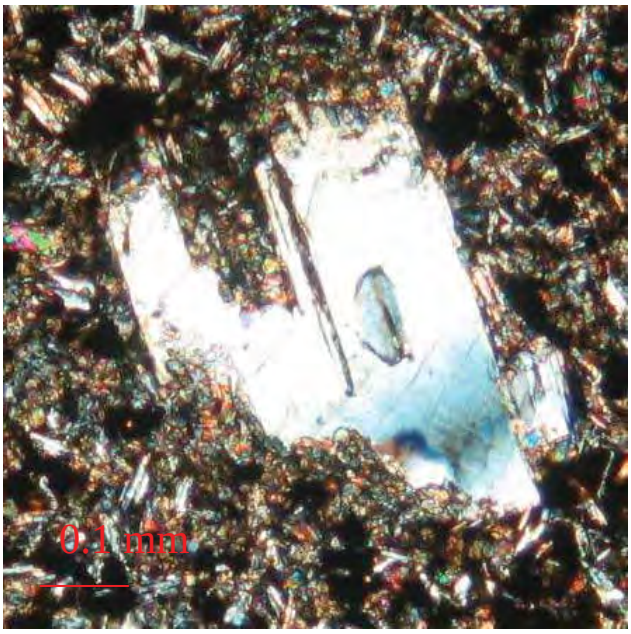

Figura 20: Fotomicrografia da lâmina BM-TC-04, com o detalhe do plagioclásio labradorita com suas geminações e birrefrigência características. Nicóis cruzados.

O piroxênio está representado principalmente a augita, formando desde fenocristais subédricos prismáticos (figura 21) a basicamente intergranular, e quando em forma de piogenita representa menos de 1% da rocha. Também pode formar pseudomorfos ou já alteradas por micas microcristalinas.

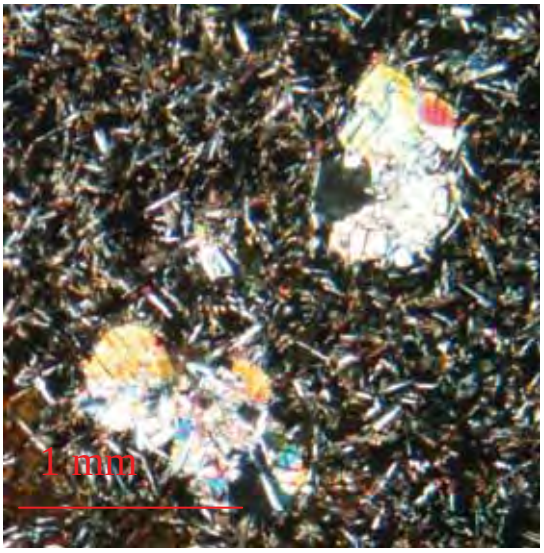

Figura 21: Fotomicrografia da lâmina BM-TC-16, com detalhes para pequenos fenocristais de augita com seu hábito subeudral e cores de birrefringência características. Nicóis cruzados.

Os minerais opacos representem em média mais que 8% da composição modal das lâminas tendo variação entre 3% e 15%, exibindo formas esqueletais, irregulares, regulares quadráticas e triangulares, de tamanhos variados.

A matriz ou mesóstase é caracterizada por ser predominantemente de plagioclásio (labradorita) e piroxênio (augita), com textura tipicamente intergranular, podendo ser subofítica, intersertal, hialofítica e pilotaxítica.

Os demais minerais acessórios e secundários ou de alteração são aqueles que respectivamente perfazem menos de 2% da composição da lâmina e que no caso incluem oxi-hornblenda avermelhada, apatitas subeudrais aciculares, zircão prismático, quartzo intersticial e feldspato alcalino. Os minerais secundários estão representados por quartzo anedral de preenchimento, calcitas romboédricas e radiais de preenchimentos, celadonita, clorofeíta, bowlingita, clorita, serpentina, óxidos e hidróxidos de ferro.

As amigdalas são preenchidas por quartzo, calcita, carbonatos, celadonita, zeólita e por argilominerais nas bordas. São encontrados geodos decimétricos com quartzos prismáticos euedrais, zeólitas e calcita (figura 22). A cristalização destes minerais está relacionada a processos pós-magmáticos, uma vez que durante o resfriamento do magma o escape de voláteis formam bolhas que ficam alojadas no fluido magmático viscoso e quando a rocha está solidificada os espaços vazios criados pelas bolhas são posteriormente preenchidos por materiais precipitados pela percolação de fluidos meteóricos e subsuperficiais.

Figura 22: Foto do basalto maciço, hipocristalino, cinza escuro, com tonalidades esverdeadas e avermelhadas, com vesículas e amígdalas, com geôdo horizontalizado revestido por cristais de quartzo e calcita.

4.2.1 ZONA BASAL

A as amostras compreendidas dentro da zona basal em ordem crescente de cota topográfica são BM-TC-06, 10, 04 e 01, respectivamente representadas pelo quadrado azul, quadrado azul com diagonal para esquerda, quadrado azul com diagonal para direita e quadrado azul com cruz, de acordo com a figura 15. As amostras desse nível possuem uma cor mais clara, mas que se deve principalmente a uma alteração superficial em relação ao nível d'água do local e de águas meteóricas. Correspondem a basaltos cinza escuros a negros, subfaneríticos, hipidiomórficos e em sua base ocorrem vesículas e amígdalas milimétricas com relativo aumento da frequência de fraturas subhorizontais preenchidas que efervescem pouco sob ação da solução de HCl diluída. A seguir é fornecida uma caracterização petrográfica das principais variedades litológicas reconhecidas neste nível basal da cava em exploração:

- amostra BM-TC-06 (figura 23): basalto com típica textura intergranular, fina a densa, com matriz formada por cristais de plagioclásio ripformes, contendo poucos fenocristais de palgioclásio; composto por 47 % de palgioclásio, 44% de augita, 5% de opacos, 3% de minerais prismáticos marrons (oxi-hornblenda?) e menos de 1% de quartzo.

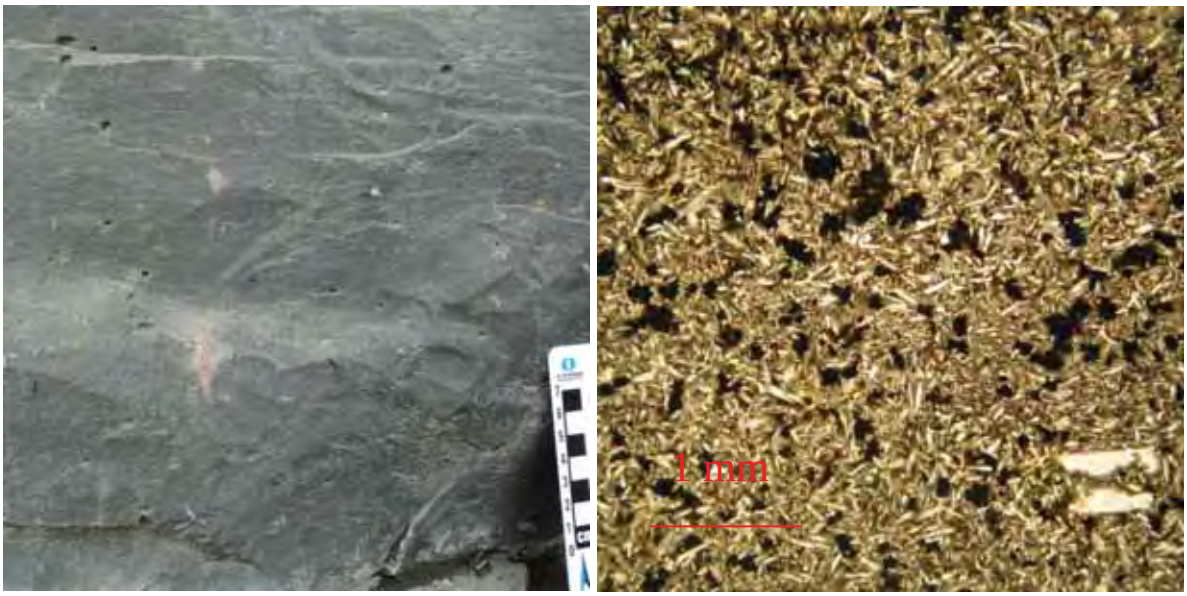

Figura 23: Esquerda - foto do afloramento próximo da coleta da amostra BM-TC-06 de basalto maciço, fino, denso, cinza escuro, com vesículas milimétricas. Direita – fotomicrografia da lâmina da amostra BM-TC-06 com um fenocristal no canto inferior direito de plagioclásio corroído e preenchido por microcristais de piroxênios. Nicóis não cruzados.

- amostra BM-TC-10 (figura 24): basalto com matriz intergranular, intersertal, a localmente subofítica. Constituído por cerca de 13% de mineral marrom (oxi-hornblenda?), 40% de plagioclásio ripiforme formando a matriz intergranular bem como megacristais e/ou glomérulos porfiríticos com cristais euédricos a subedrais parcialmente corroídos com poucas geminações do tipo Carlsbad, 38% de piroxênios, contendo pseudomorfos de olivina (< 2%), opacos (5%). Os minerais secundários são principalmente serpentinas, clorofeítas e celadonitas, equivalendo a menos que 2% da composição modal.

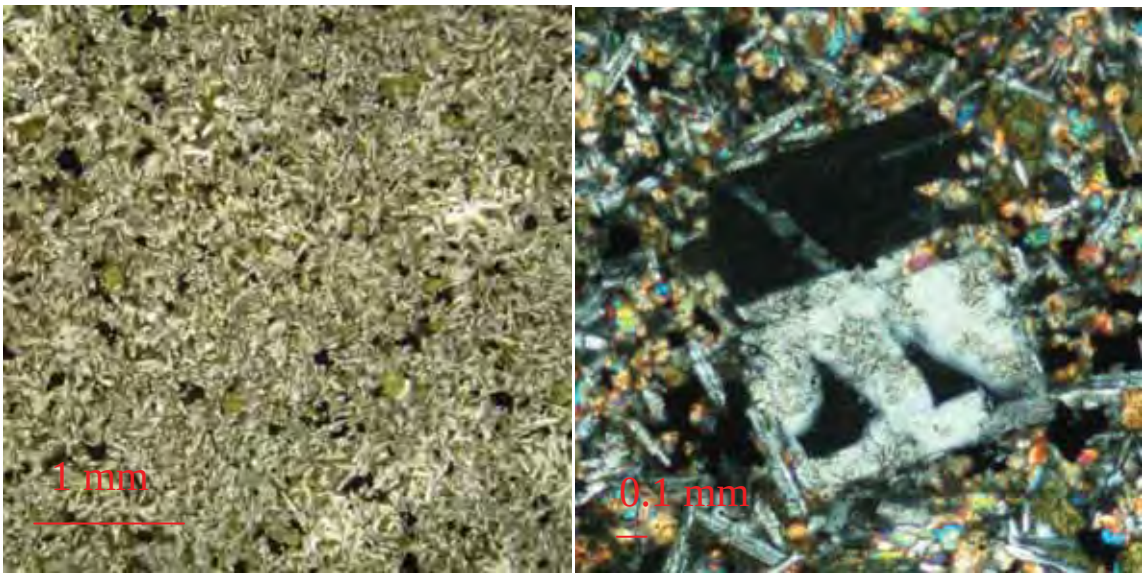

Figura 24: Esquerda – fotomicrografia da lâmina BM-TC-10 com plagioclásios claros, piroxênios marrom claro, argilominerais verde amarronzados a amarelados e negros de opacos. Nicóis descruzados. Direita - fenocristal de labradorita com geminação Carlsbad. Nicóis cruzados.

- amostra BM-TC-04 (figura 25): apresenta matriz intergranular a levemente intersertal, de grã fina a densa, pouco inequigranular, com discretas texturas granofíricas intersticiais. Caracteriza-se pela presença de 1 a 2% de vesículas e amígdalas e marcante sistema de microfraturas subhorizontais com espaçamento milimétrico a centimétrico preenchidas por carbonatos. É constituído por 40% de plagioclásios ripformes (labradorita), 38% de piroxênio, com menos de 1% de piogenita, podendo conter fenocristais de plagioclásio e piroxênios. Os opacos perfazem 10% e podem ser corroídos, esqueletais, quadrados, regulares, com menos de 3% de material vítreo. Acessórios correspondem a acículas de apatita, óxi-hornblenda ou prováveis clinopiroxênios oxidados e traços de olivina, e pelos secundários por argilominerais, clorofeíta, e pequenos veios preenchidos por calcita e intercrescimento de quartzo e feldspato alcalino, no total perfazendo menos de 7% da rocha.

Figura 25Esquerda – fotomicrografia da lâmina BM-TC-10 com plagioclásios claros, piroxênios marrom claro, argilominerais verde amarronzados a amarelados e negros de opacos. Nicóis descruzados. Direita - fenocristal de labradorita com geminação Carlsbad. Nicóis cruzados

- amostra BM-TC-01 (figura 26): a matriz é intergranular com textura hialofítica com amígdalas (<1%) preenchidas por carbonatos. Apresenta cerca de 10% de material vítreo, 45% de augita e 40% de plagioclásio, ambos como alguns fenocristais subédricos, e 3% de opacos esqueletais e olivina < 1%. Pode exibir textura granofírica intersticial.

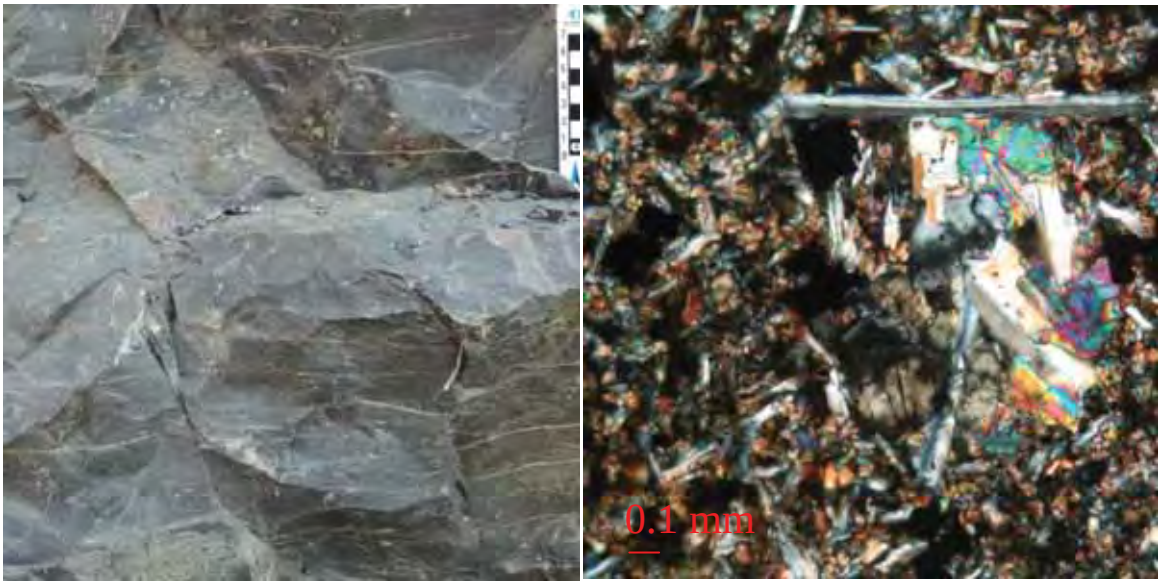

Figura 26: Esquerda - foto do afloramento da localização da amostra BM-TC-01, basalto com vesículas e amigdalas, padrão de faturamento subhorizontais e subverticais preenchidas na maioria. Direita – fotomicrografia de lâmina da amostra BM-TC-01, com fenocristais de labradorita e augita.

4.2.2 NÚCLEO

Este nível é caracterizado por ser o mais heterogêneo de todos, com os mais intensos e diversificados padrões de faturamento e aspectos texturais. É composto por basalto amigdaloidal, preenchidas por quartzo e calcita, com texturas subfaneríticas a afaníticas, finos a densos, cinza escuros a negro.

A ordem das amostras coletadas nesse nível, da base para o topo, é BM-TC-07; 12; 09; 13 e 16 e estão representadas no perfil da figura 15 pelos seguintes símbolos: cruz (+) para a amostra BM-TC-07 situada na porção basal; losangos verdes claros para as demais, sendo o losango vazio para a amostra BM-TC-12, losango com linha vertical para a amostra BM-TC-09, losango com traço horizontal para a amostra BM-TC-13 e o losango com linha cruzada para a amostra BM-TC-16. Vale ressaltar que o basalto correspondente à amostra BM-TC-07 da base do nível central, representada pela cruz (+), apresenta intenso fraturamento horizontal com espaçamento de milímetros, com planos e veios preenchidos por material que efervescem sob ação de solução de HCl diluído. Abaixo é fornecida a descrição petrográfica das amostras coletadas representantes das principais variedades de basaltos componentes do referido nível estratigráfico.

- amostra BM-TC-07 (figura 27): corresponde a um basalto holocristalino, mesocrático, afanítico de granulação densa a fina, cinza médio a escuro, caracterizado por intenso fraturamento subhorizontal, de aspecto ligeiramente anastomosado, interseccionado por sistema de fraturas subverticais mais espaçada, no conjunto com planos preenchidos por carbonatos. Também contém veios discordantes aos sistemas de fraturas, com contornos irregulares e espessuras variáveis de milimétricas a alguns centímetros, preenchidos por calcita e algum quartzo. Microscopicamente exibe típica textura intergranular, com raros fenocristais milimétricos de labradorita parcialmente corroídos, exibindo geminação Carslbad e discretos sinais de saussuritização. É constituído por cerca de 50% de plagioclásio (labradorita) ripiforme, 42% de clinopiroxênio com ampla predominância de augita em relação a pigeonita, menos de 5% de minerais opacos e traços de olivina parcial a totalmente bastitizadas e/ou argilizadas. Como minerais secundários, menos de 3% do volume da rocha, ocorrem sericita, epidoto e carbonatos associados aos cristais de plagioclásio, além de traços de serpentina, argilas verdes e lilás, óxidos e hidróxidos de ferro sobre cristais ferromagnesianos. Também ocorrem microveios irregulares a bem definidos, normalmente zonados, compostos por calcita e menores quantidades de quartzo.

Figura 27: Esquerda - foto do afloramento da localização da amostra BM-TC-07, com grande quantidade de veios horizontais e subverticais preenchidos por calcita e outros carbonatos. Direita – fotomicrografia da lâmina BM-TC-07 com a presença de fenocristal de plagioclásio e de um veio preenchido por calcita e quartzo. Nicóis não cruzados.

- Amostra BM-TC-12 (figura 28): basalto com textura intergranular, granulação fina/densa a média, com 45% de plagioclásios (labradorita) ripiformes, 29% de piroxênios, 15% de opacos e cerca de 1% de olivina, e menos de 10% de minerais de alteração como argilas, clorofeítas, sericita e agregados de filossilicatos.

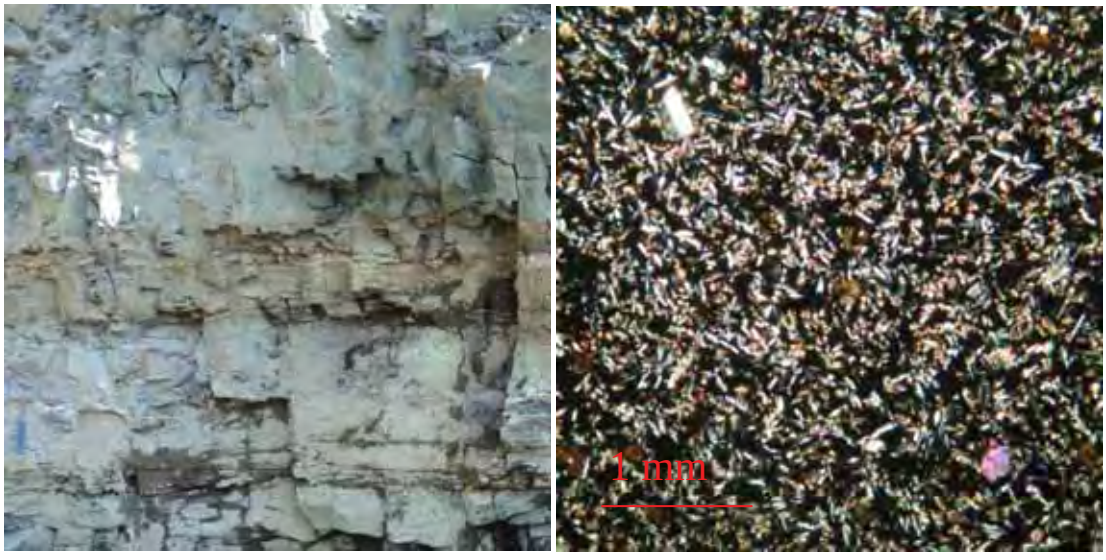

Figura 28: Esquerda - foto do nível de coletada das amostras BM-TC-09, BM-TC-10 e BM-TC-12 do nível central da pedreira com espaçamento aproximadamente de um a um metro e meio. Direita - fotomicrografia da lâmina BM-TC-12 com 15% de opacos e alguns microfenocristais de plagioclásio e de augita. Nicóis cruzados.

- amostra BM-TC-09 (figura 29): basalto maciço com textura intergranular a levemente intersertal, fino a denso, com presença de esparsos fenocristais de labradorita. Composto por 42% de plagioclásio ripiforme, 40% de piroxênios (augita e pigeonita), 12% de opacos, < 1% de olivina parcial a totalmente alteradas e traços de apatita e titanita. Como minerais secundários ocorrem cerca de 4% de agregados de coloração marrom a esverdeado (celadonita) provavelmente resultante da alteração de mesóstese vítrea ou como pseudomorfos de cristais de olivina, clorofeítas, alguma biotita e óxidos e hidróxidos de ferro.

Figura 29: Esquerda - foto do afloramento da localização aproximada das amostras BM-TC-09, BM-TC-10 e BM-TC-12 dentro do núcleo. Direita - fotomicrografia da lâmina BM-TC-09 com minerais de alteração verde amarronzados (prováveis celadonitas), clorofeítas e microagregados de ino e filossilicatos, com a presença de fenocristal de labradorita. Nicóis não cruzados.

- amostra BM-TC-13 (figura 30): basalto vesicular a amigdaloidal (entre 2 e 3% da rocha), maciço, fino a denso, com textura intersertal caracterizada pela presença de argilomineral intersticial de cor esverdeada, provavelmente bowlingita. É composto por cerca de 43% de piroxênios, 38% de plagioclásio, ambos os minerais com bonitos fenocristais subédricos, com cristais de plagioclásio com textura oca e em “calda de andorinha”, e 12% de opacos. Como produto de alteração apresenta cerca de 5% de agregados de argilominerais esverdeados (bowlingita), além de 1 a 2% de clorofeíta, clorita, carbonato, biotita e óxidos e hidróxidos de ferro. As amígdalas são preenchidas predominantemente por carbonatos e algum quartzo.

Figura 30: Esquerda – foto do afloramento da amostra BM-TC-13. Direita - fotomicrografia da amostra BM-TC-13 com textura intersertal caracterizada por argilomineral amarelo-esverdeado (bowlingita). Presença de cristais de plagioclásio “ocos” e com “calda de andorinha”. Nicóis não cruzados.

- amostra BM-TC-16 (figura 31): basalto cinza escuro, maciço, fino a denso com vesículas, amígdalas e geodos com cristais de quartzo e zeólitas prismáticos, calcedônia e celadonita. Exibe textura porfirítica com matriz hialofítica contendo fenocristais de plagioclásio e piroxênio, composto por 37% de plagioclásio, 39% de piroxênio, 3% de óxi-hornblenda, 1% pseudomorfos de piogenita, 8% de opacos e 2% de olivina. Como secundários ocorrem 5% de minerais verdes (celadonita/ bowlingita) e de minerais de alteração marrons.

Figura 31: Esquerda - foto do afloramento de coleta da amostra BM-TC-16, nível superior do núcleo, composto por basalto fino a denso cinza escuro com vesículas, amígdalas e geôdos. Direita - fotomicrografia da lâmina BM-TC-16 mostrando textura porfirítica em matriz intersertal com fenocristais de labradorita a esquerda e de augita a direita. Nicóis cruzados.

4.2.3 ZONA CRUSTAL

Este nível é o topo do talude e é a porção mais próxima a superfície terrestre. Portanto, por ações do intemperismo a rocha encontra-se muito alterada, praticamente totalmente transformada em um solo vermelho alaranjado a cinza, denominado de bota fora pela pedreira. Assim temos que os afloramentos deste nível são de difícil acesso e raros. Uma vez que esse nível foi encontrado, foi de rápido reconhecimento visto que é um basalto maciço, denso, cinza bem escuro a negro, subfanerítico, com pouquíssimas vesículas milimétricas e alguns poucos veios milimétricos horizontais, características muito diferentes do basalto amigdaloidal subjacente. A amostra BM-TC17 pertence a esse nível, porém não contém simbologia na figura 15 visto que corresponde a um basalto amigdaloidal e que, portanto, não foi utilizada para as análises químicas, mas petrograficamente abaixo caracterizada. Abaixo são apresentadas as descrições microscópicas das amostras selecionadas para este nível.

- Amostra BM-TC-17 (figura 32): basalto amigdaloidal preenchidas por quartzo e calcita, intergranular, intersertal, matriz com 46% de piroxênio e 33% de plagioclásio e pseudomorfos de olivina < 2%. As amígdalas apresentam contornos irregulares nas bordas, com presença de argilas. Ocorre ainda 10% de opacos, 2% de oxi-hoenblenda, < 1% de clorita e serpentina, além de 5% de material vítreo e < 3% de óxidos de ferro (pseudo-hematita), com quartzo de preenchimento.

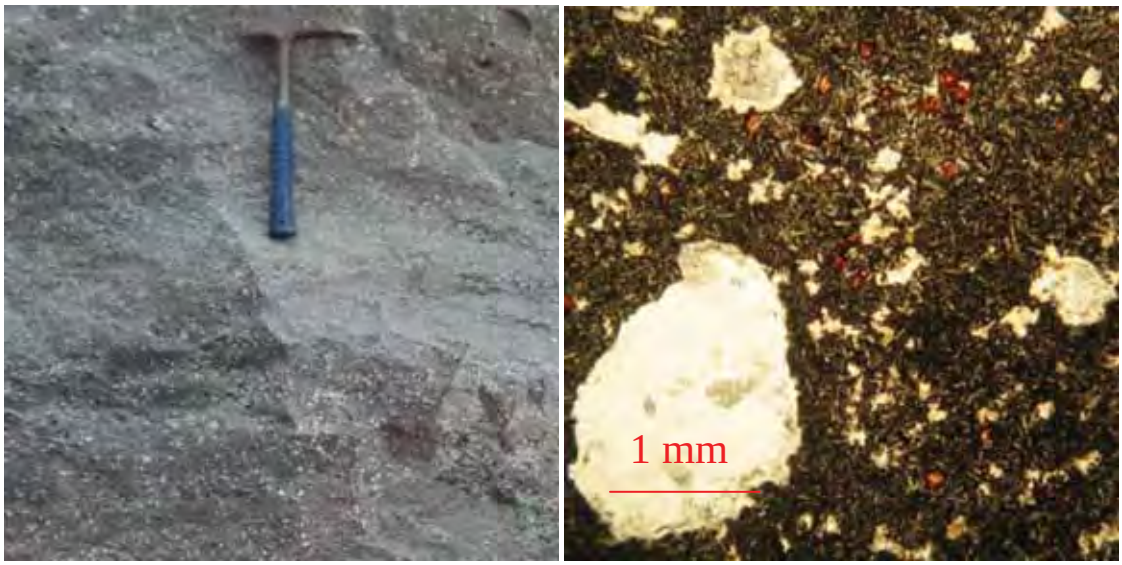

Figura 32: Esquerda - foto de um bloco rolado de basalto amigdaloidal proveniente do topo, nível topográfico referente a amostra BM-TC-17. Direita - fotomicrocrafia da lâmina BM-TC-17 com amigdalas preenchidas por quartzo e calcita, com bordas irregulares e presença de óxi-horblenda marrom alaranjado. Nicóis não cruzados.

- amostra BM-TC-19 (figura 33): basalto cinza escuro a negro, subfanerítico, fino/denso, contendo cerca de 3% de amígdalas preenchidas por carbonatos e celadonita. Apresenta textura microporfirítica definida por minúsculos agregados (glomérulos) dispersos de fenocristais de labradorita tabulares e de augita subédrica a euédrica em matriz densa intergranular composta por 47% de plagioclásio (labradorita), 43% de piroxênios, 7% de minerais opacos e raras acículas de apatita, além de 3% de minerais secundários representados por argilas amarelo-esverdeada e castanho-marrom (celadonita e bowlingita), sericta e óxidos e hidróxidos de ferro.

Figura 33: Esquerda - foto do paredão sudeste da cava sudoeste, onde no topo do talude encontra-se o latossolo ou “bota-fora” e blocos de um basalto cinza escuro a negro, fino/denso, com textura subfanerítica, representado pela amostra BM-TC-19. Direita - fotomicrografia da lâmina BM-TC-19 com a presença de glomérulos porfiríticos de plagioclásios e piroxênios. Nicóis cruzados.

5 GEOQUÍMICA

As tabelas 2 e 3 reúnem os dados químicos de elementos maiores, menores e traços obtidos por fluorescência de raios X no Laboratório de Geoquímica do Departamento de Petrologia e Metalogenia IGCE/UNESP, campus Rio Claro (SP), para um conjunto de 11 amostras representativas das rochas basálticas dos diferentes níveis do talude da pedreira estudada. Em ambas as tabelas as amostras estão empilhadas segundo uma ordem real da base para o topo.

A obtenção dos dados químicos tem por objetivo o enquadramento das rochas basálticas da região de Monções-SP, noroeste do Estado de São Paulo, no contexto evolutivo da Província Magmática do Paraná, de forma a contribuir para um melhor entendimento acerca da origem e evolução desta megaprovíncia basáltica.

Tabela 2: Composição química de elementos maiores, menores (valores em % de peso) e perda ao fogo (LOI) para amostras representativas da pedreira estudada.

AMOSTRA	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	LOI	Soma
BM TC-19	49,42	1,88	13,16	13,68	0,20	6,03	9,78	2,52	1,47	0,30	1,57	100,01
BM TC-16	50,19	1,96	13,33	14,11	0,24	5,75	10,24	2,56	0,44	0,23	0,97	100,01
BM TC-13	50,01	1,95	13,29	14,24	0,20	5,64	10,32	2,53	0,49	0,23	1,10	99,99
BM TC-09	50,61	1,93	13,25	14,26	0,19	5,27	10,07	2,59	0,73	0,23	0,89	100,02
BM TC-12	50,90	1,96	13,39	14,13	0,21	5,55	10,27	2,65	0,49	0,23	0,21	99,99
BM TC-07	48,51	1,75	11,92	12,88	0,17	4,82	12,22	2,30	1,05	0,24	4,19	100,05
BM TC-01	49,47	1,87	13,32	13,83	0,20	5,78	10,59	2,36	0,52	0,24	1,82	100,00
BM TC-04	50,33	1,94	13,28	13,86	0,20	5,58	10,33	2,49	0,42	0,23	1,35	100,01
BM TC-10	49,16	1,95	13,45	14,23	0,21	5,70	10,54	2,34	0,34	0,23	1,86	100,01
BM TC-06	49,70	2,00	13,24	14,28	0,21	5,67	10,29	2,37	0,49	0,23	1,54	100,02

Na tabela 2 acima é visto que a amostra BM-TC-O7 possui perda ao fogo (LOI) igual a 4,19%, sendo passível de descarte para o estudo, via de regra que perda ao fogo > 4% significa uma quantidade grande de minerais secundários ou de alteração que contaminam as análises químicas gerando, segundo Melfi (1982), à interpretações errôneas.

Já, os resultados para os elementos traços da referida amostra BM-TC-07 (tabela 3) mostram-se similares aos fornecidos pelas demais amostras estudadas, o que torna viável tais informações para as respectivas interpretações genéticas e evolutivas da sequência extrusiva considerada.

Tabela 3: Elementos traços (valores em ppm) para amostras representativas da pedreira estudada.

AMOSTRA	Cr	Ni	Ba	Rb	Sr	La	Ce	Zr	Y	Nb	Cu	Zn	Co	V
BM TC-19	93	62	584	34	346	10	21	153	36	14	206	102	37	330
BM TC-16	169	74	353	14	614	16	13	168	36	15	222	108	42	419
BM TC-13	153	71	394	15	591	24	22	166	35	14	212	108	45	408
BM TC-09	169	70	489	21	481	15	17	162	33	16	210	109	39	432
BM TC-12	159	70	295	16	503	26	23	164	35	15	214	105	42	421
BM TC-07	126	61	337	19	453	17	15	158	36	15	217	93	36	359
BM TC-01	143	75	499	13	737	25	26	151	32	13	181	111	42	445
BM TC-04	150	69	309	12	547	19	23	167	35	14	206	103	42	428
BM TC-10	145	69	347	11	657	16	18	161	33	14	197	99	45	423
BM TC-06	92	81	1366	11	571	19	23	147	30	14	136	103	39	437

Neste contexto também vale salientar que a amostra BM-TC-06 ofereceu um valor de bário alto (1366 ppm), e que posterior revisão da amostra, inclusive com a repetição da análise química para os referidos elementos traços, a mesma se mostrou confiável para as análises por não possuir evidencias tais como presença de amígdalas, veios ou minerais de alteração presentes na fração analisada. A nova análise mostrou valores similares aos da primeira vez, sendo que somente os dados da primeira análise foram usados no estudo, já que se mostraram satisfatórios para o decorrer do trabalho. O símbolo representado pelo quadrado azul representa os resultados da amostra BM-TC-06 das referidas análises químicas incluídas nas respectivas figuras, imagens e ilustrações ao longo do trabalho.

Para uma correlação precisa nas análises dos diagramas apresentados as amostras receberam símbolos que respeitam o empilhamento real dentro do perfil do derrame basáltico estudado, como anteriormente discutidos no capítulo 5 “Situação Geológica Local”, onde quadrados azuis representam o nível um (N1), os losangos verdes claros o nível dois (N2) e o pentágono verde escuro o nível três (N3). Lembramos que a amostra BM-TC-07 está no nível dois (N2) e é passível de descarte por ter LOI > 4%, sendo representada pela cruz (+).

5.1 Classificação e nomenclatura das rochas

A classificação e nomenclatura de rochas vulcânicas são feitas principalmente através de dados geoquímicos. Mesmo que haja critérios petrográficos e mineralógicos propostos para classificação e nomenclatura, sugeridos pela IUGS (Streckeisen 1967), eles não são muito eficientes, visto a presença de material vítreo presente na matriz.

Dados da literatura sobre as rochas da Formação Serra Geral, como Piccirillo & Melfi (1988) e Peate (1997), mostram que as diferenças químicas observadas nestas rochas são pequenas, detectadas apenas nas concentrações dos elementos menores e traços, não refletindo em mudanças perceptíveis na mineralogia dessas rochas.

Pressupondo que os resultados das análises geoquímicas são de relativa importância para este trabalho, a coleta e determinação das amostras a serem analisadas quimicamente obedeceram ao critério de seleção que visa amostras com o menor número de vesículas/amígdalas e minerais secundários.

5.1.1 CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO CONTEÚDO EM SÍLICA E ÁLCALIS (TAS)

Todas as amostras analisadas situam-se dentro da composição dos basaltos quando relacionadas a porcentagem de peso de sílica (SiO_2) versus peso de álcalis ($Na_2O + K_2O$) conforme figura 34. As amostras se mostram com a os teores de sílica entre 49,16% e 50,61%, inclusive para a amostra BM-TC-07 (símbolo +). A legenda dos símbolos para todos os diagrama pode ser consultada na figura 15.

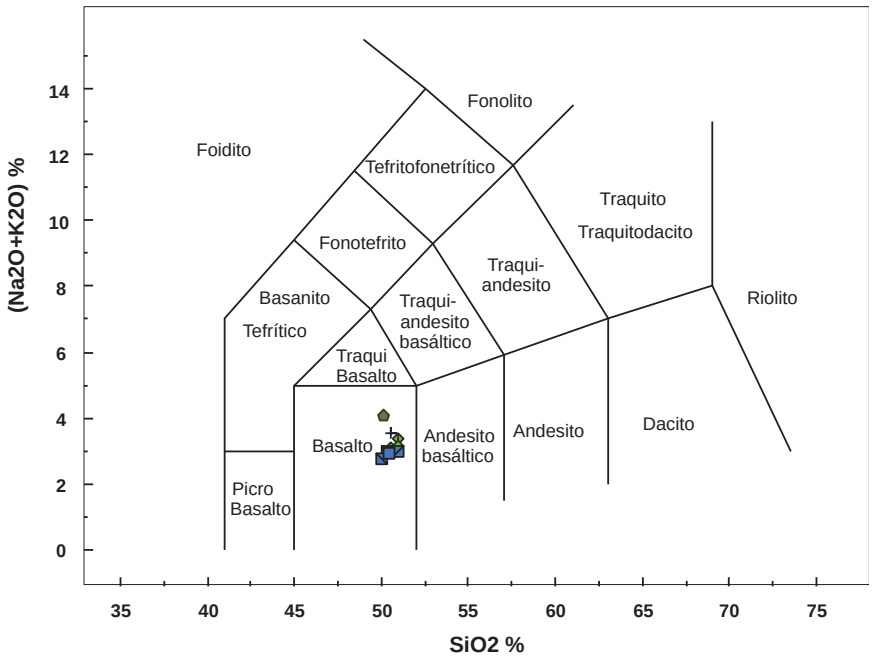

Figura 34: Diagrama SiO_2 *vs.* Na_2O+K_2O das rochas vulcânicas básicas, segundo Zanettin *et al.* (1984).

O diagrama SiO_2 vs. K_2O (figura 35) revela que a quase totalidade das amostras se situam no campo das rochas sub-alcálicas e somente a amostra BM-TC-19, representada pelo pentágono verde escuro, encontra-se no campo das rochas alcálicas devido sua maior

quantidade de K_2O com valor igual a 1,47%, enquanto as outras amostras se situam no intervalo entre ≤ 0,73% e ≥ 0,43%; sempre descartando a amostra BM-TC-07 representada pelo símbolo (+).

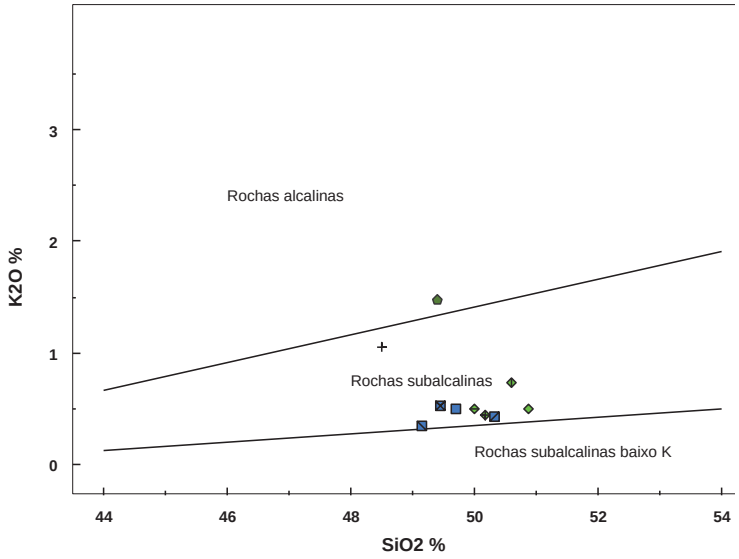

Figura 35: Diagrama binário com a porcentagem em peso de SiO_2 *vs.* K_2O, segundo Middlemost (1975).

O diagrama FeO_{total} *vs.* SiO2 (figura 36) situa as amostras estudadas no campo dos basaltos toleíticos.

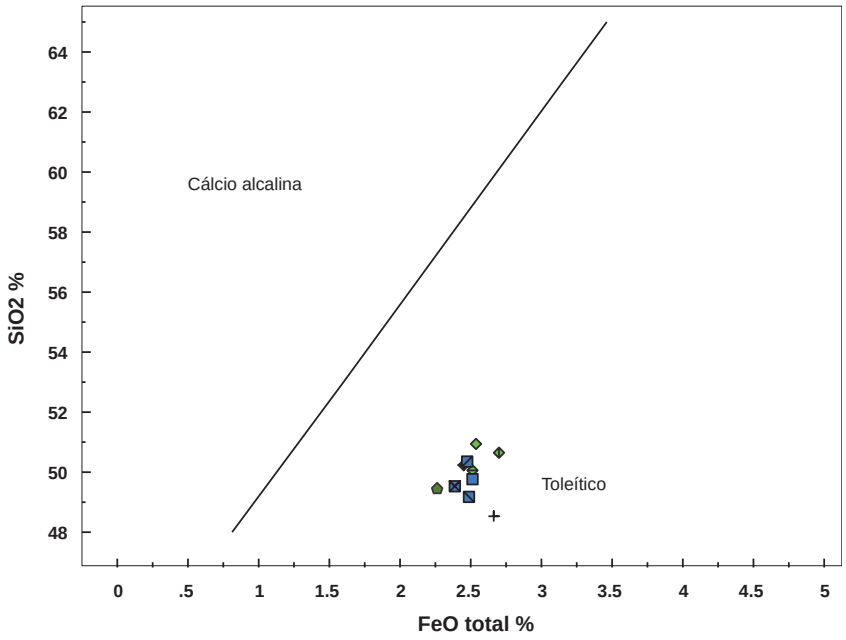

Figura 36: Diagrama binário de classificação FeO_{total} *vs.* SiO2, segundo Miyashiro (1974).

5.1.2 CLASSIFICAÇÃO BASEADA NO DIAGRAMA R1 vs. R2

Os dados geoquímicos lançados no diagrama R1 *vs*. R2 (figura 37) mostram que, com exceção da BM-TC-19 (pentágono verde escuro) que se situa no campo dos basaltos transicionais, todas as demais amostras se plotam no campo dos basaltos, com valores de R1 maiores quando comparados com o da amostra BM-TC-19.

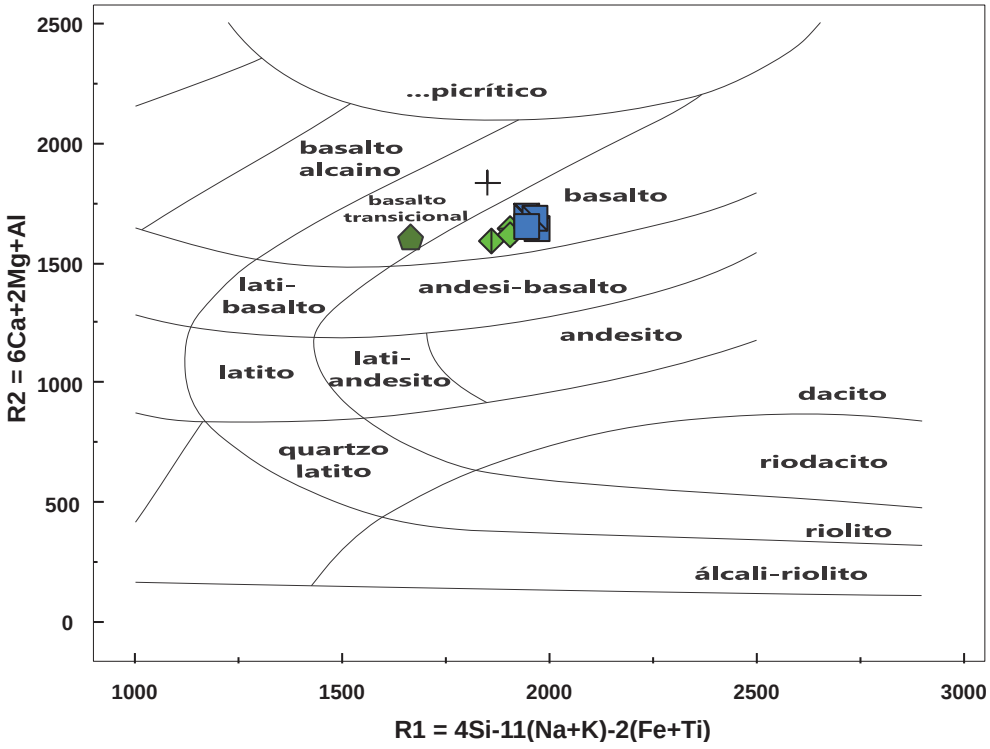

Figura 37: Diagrama R1 *vs*. R2 de De La Roche *et al.* (1980) para as rochas estudadas.

5.1.3 CLASSIFICAÇÕES BASEADAS NA COMPOSIÇÃO NORMATIVA

5.1.3.1 Tetraedro Hiperstênio - Quartzo - Diopsídio

No tetraedro Hy-Qz-Di da Figura 38 é possível observar que todas as amostras encontram-se dentro dos basaltos toleíticos supersaturados, uma vez que o pentágono verde escuro que representa a amostra BM-TC-19 contém menos quartzo em relação às outras.

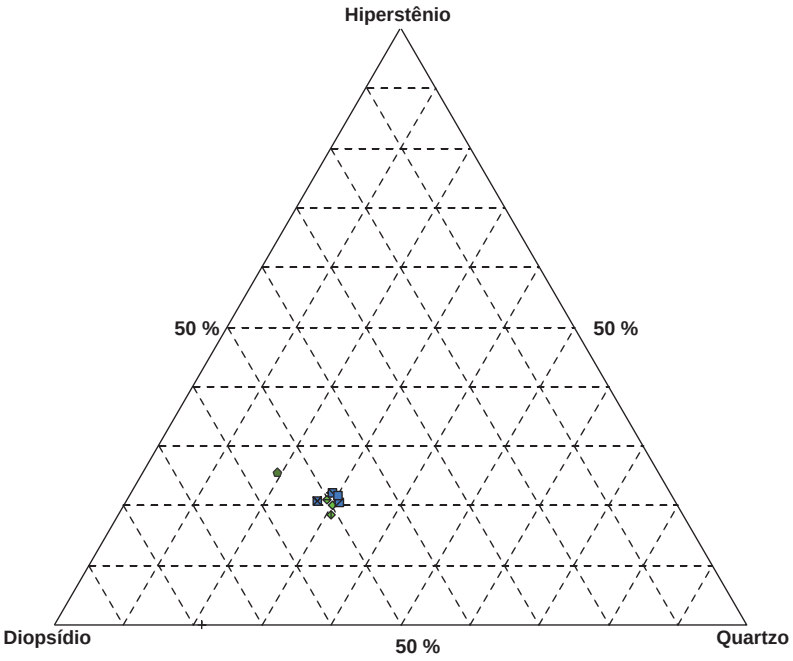

Figura 38: Diagrama de composição dos basaltos baseada na composição normativa das amostras no Tetraedro Hiperstênio (Hy) – Quartzo (Qz) – Diopisídio (Di) simplificado de Yoder e Tilley (1962).

5.1.3.2 Classificação baseada na alumina saturação

O tetraedro Ortoclásio - Anortita - Diopisídio da figura 39 enquadra os basaltos estudados como metaluminosos, sendo que a amostra BM-TC-19 (pentágono verde escuro) mostra-se pouco mais próxima do vértice do ortoclásio indicando ser pouco mais enriquecida em K_2O.

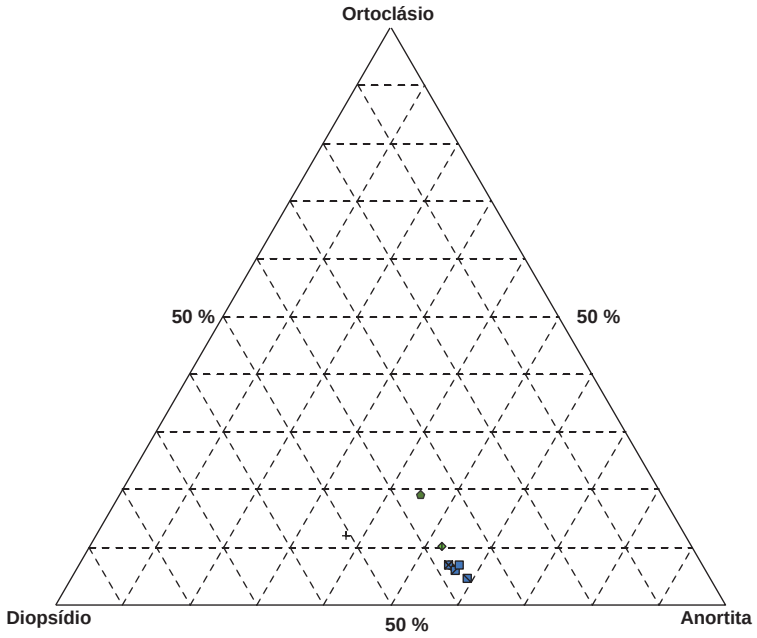

Figura 39: Diagrama de composição dos basaltos baseado na composição normativa das amostras no Tetraedro Ortoclásio, Anortita e Diopsídio.

5.1.4 CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO DIAGRAMA AFM

No diagrama ternário AFM da figura 40 todas as rochas estudadas se situam no campo das rochas de natureza toleíticas subalcalinas. Dentre as amostras, a do pentágono que representa a amostra BM-TC-19 aponta menos F_2O_3, com valor de 13,68%, enquanto as demais amostras se situam ente os valores ≥ 13,83% e ≤ 14,28%.

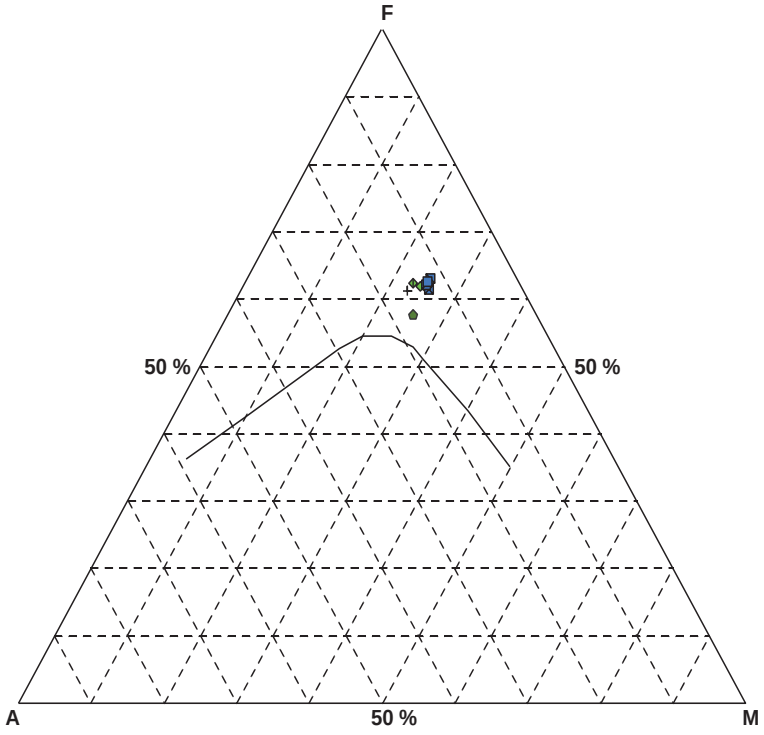

Figura 40: Diagrama F (Fe_2O_3) – M (MgO) – A (Na_2O + K_2O) das rochas estudadas, com a linha divisório entre os campos toleítico e cálcio-alcalino segundo Irvine & Baragar (1971).

5.2 Caráter geoquímico geral

Foram gerados diagramas de variação dos elementos maiores e menores empregando-se o óxido de magnésio (MgO) como índice de evolução magmática, conforme as figuras 41 e 41, respectivamente. Na figura 41 é possível observar alguns *trends*, alinhamentos, relativamente definidos e que há uma correlação discretamente negativa entre MgO e as concentrações de SiO_2, Na_2O, K_2O e mesmo com relação ao Fe_2O_3, tornando-se ligeiramente positiva entre MgO e as concentrações de TiO_2, Al_2O_3 e CaO. Quanto ao P_2O_5 os teores mostram-se praticamente constante em relação ao índice de evolução do MgO.

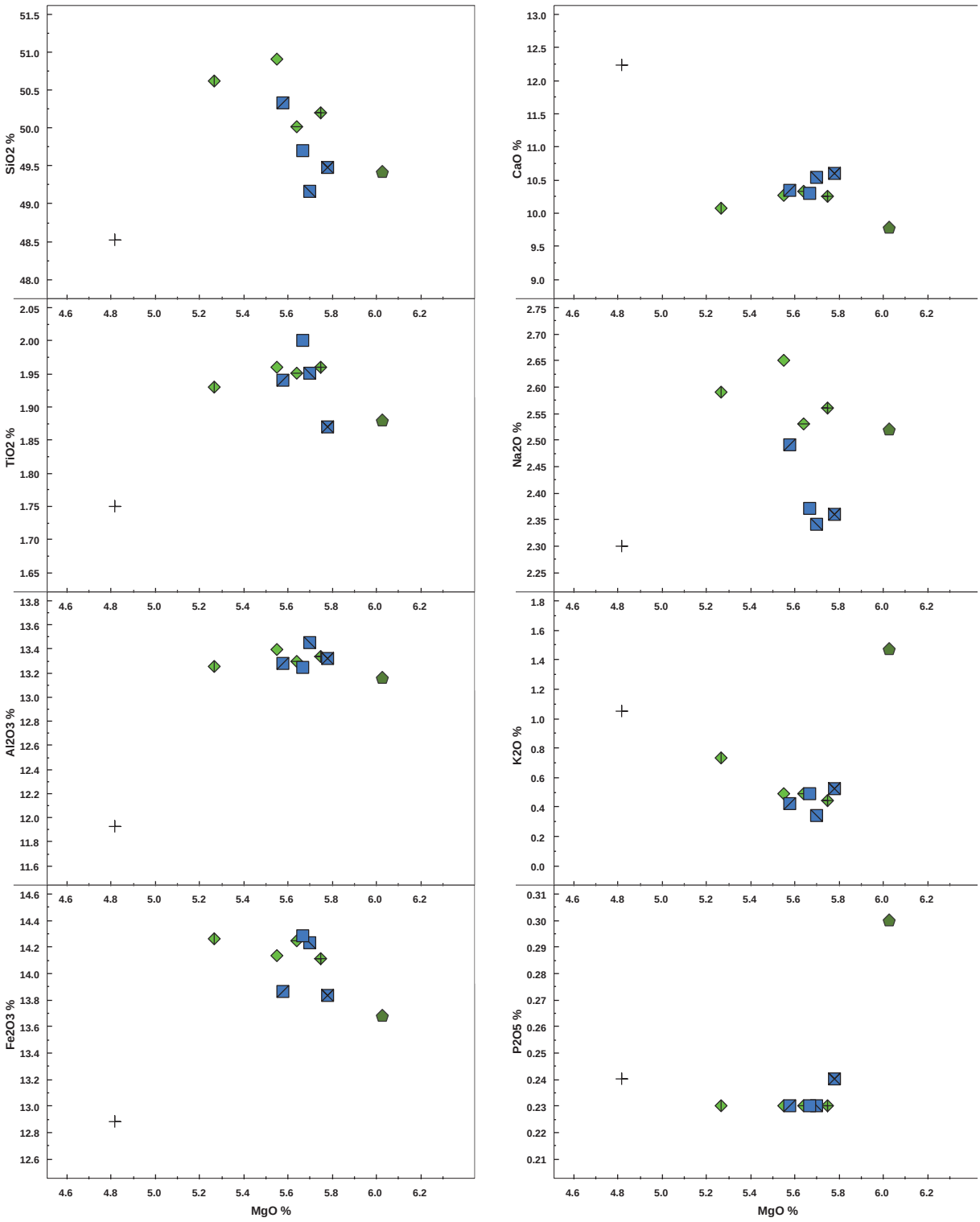

Figura 41: Diagrama de variação dos elementos maiores em porcentagem em função do MgO (%) das rochas investigadas.

É importante salientar que a amostra BM-TC-19, representada pelo pentágono verde escuro, possui comportamento diferenciado de acordo com os *trends* nos diagramas observados, principalmente por conter altas concentrações de K_2O e P_2O_5, concentrações

baixas de CaO, Fe_2O_3 e Al_2O_3, em relação ao MgO, que contém porcentagem de peso igual a 6,03 %, enquanto o restante das amostras possuem concentrações ≥ 5,27% e ≤ 5,78%.

5.3 Caráter geoquímico dos elementos menores e traços

Os diagramas de variação dos elementos traços empregando-se o óxido de magnésio (MgO) como índice de evolução magmática (figura 42) indicam um *trend* positivo para o La, Ce, Zr e Y, e um *trend* inverso em relação ao Rb e Nb. O elemento bário (Ba) mostra-se retilíneo, a direta, sendo que na amostra BM-TC-06, quadrado azul, encontra-se com concentração alta já discutida. O pentágono verde escuro (BM-TC-19), apresenta concentrações discrepantes em comparação às outras amostras em relação a alguns elementos, com baixas concentrações de La (10 ppm) e Sr (346), e altas de Rb (34), uma vez que o restante das amostras possuem concentrações respectivamente entre ≥ 16 ppm e ≤ 25 ppm para o La, ≥ 453 ppm e ≤ 657 ppm para o Sr, e ≥ 11 ppm e ≤ 21 ppm.

No diagrama relacionando o padrão de elementos traços normalizados em relação ao manto primitivo de Sun & MacDonough (1989), figura 43, é possível observar que as amostras apresentam anomalias positivas para o Ba, La e Sr e anomalias negativas para o K, neste caso possivelmente indicando alteração, e Ce, sendo que o pentágono verde escuro (BM-TC-19) apresenta anomalia positiva para o elemento K e negativa para La e Sr, sendo o inverso das outras amostras. Vale ressaltar que as concentrações de Nb, Zr, Ti e Y nas amostras mostram-se próximas para a maioria dos casos.

O diagrama Sr *vs*. Ti/Y da figura 44 permite enquadrar as rochas basálticas investigadas como equivalentes aos magmas-tipo da província Ati (alto titânio), e é visto que as amostras estudadas estão dentro do campo dos basaltos Pitanga, ou próxima às concentrações de Ti/Y, menos o pentágono verde, que se encontra mais próximo ao campo dos basaltos Paranapanema.

Também no diagrama Nb *vs*. Sr, da figura 45, as rochas podem ser classificadas como principalmente basaltos do tipo Pitanga, uma vez que as rochas do tipo Urubici possuem concentrações de Nb maiores que as observadas, e somente o pentágono verde escuro se situa no campo dos basaltos tipo Paranapanema, bem próximo ao limite do campo Pitanga.

Por fim, o diagrama Fe_2O_3 *vs*. Sr também demostra que a maioria das rochas encontram-se dentro do campo dos basaltos tipo Pitanga, com exceção da amostra BM-TC-19 que mostra-se próximo ao limite com tendência para o campo Paranapanema.

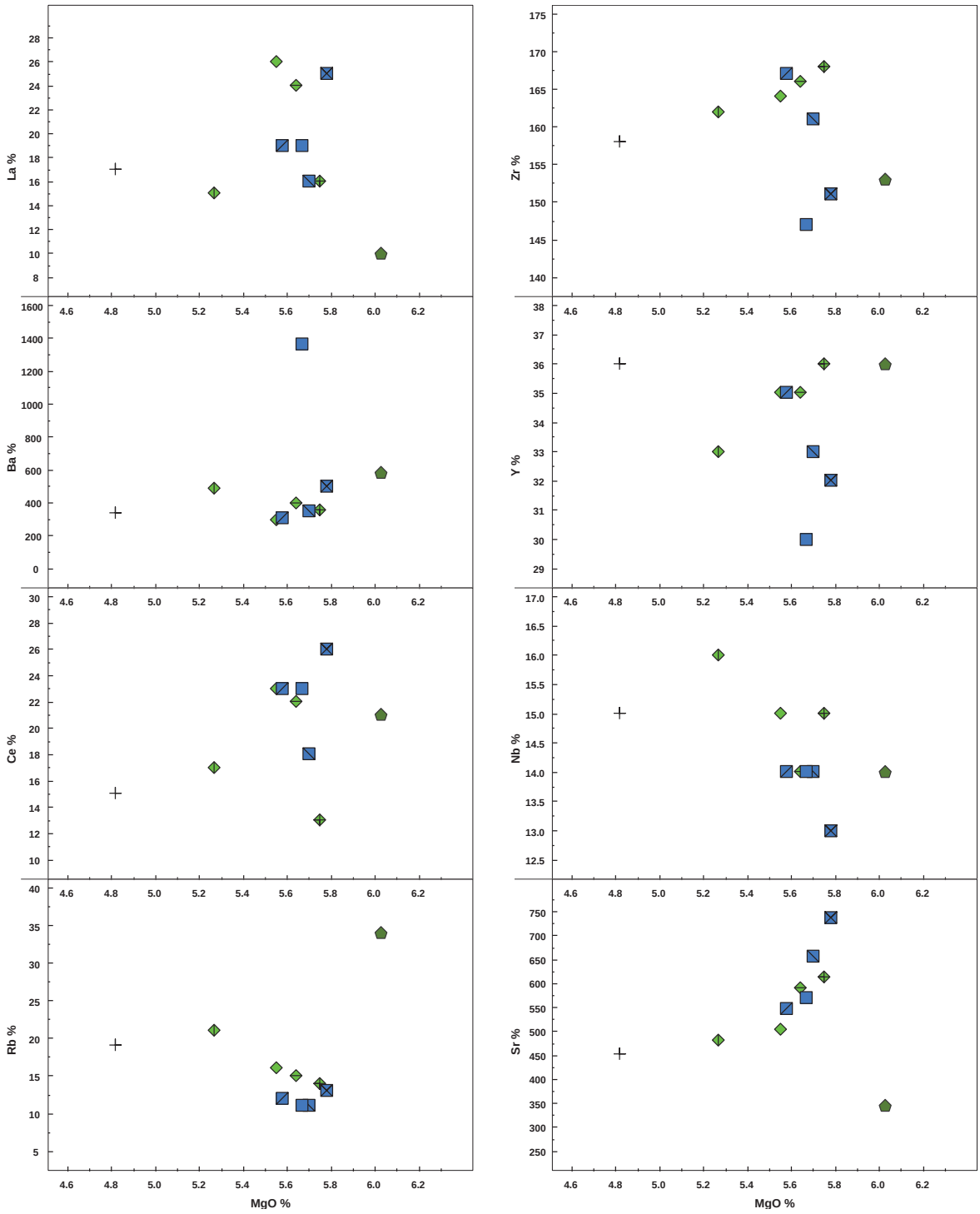

Figura 42: Diagrama de variação dos elementos menores em porcentagem em função do MgO (%) das rochas investigadas.

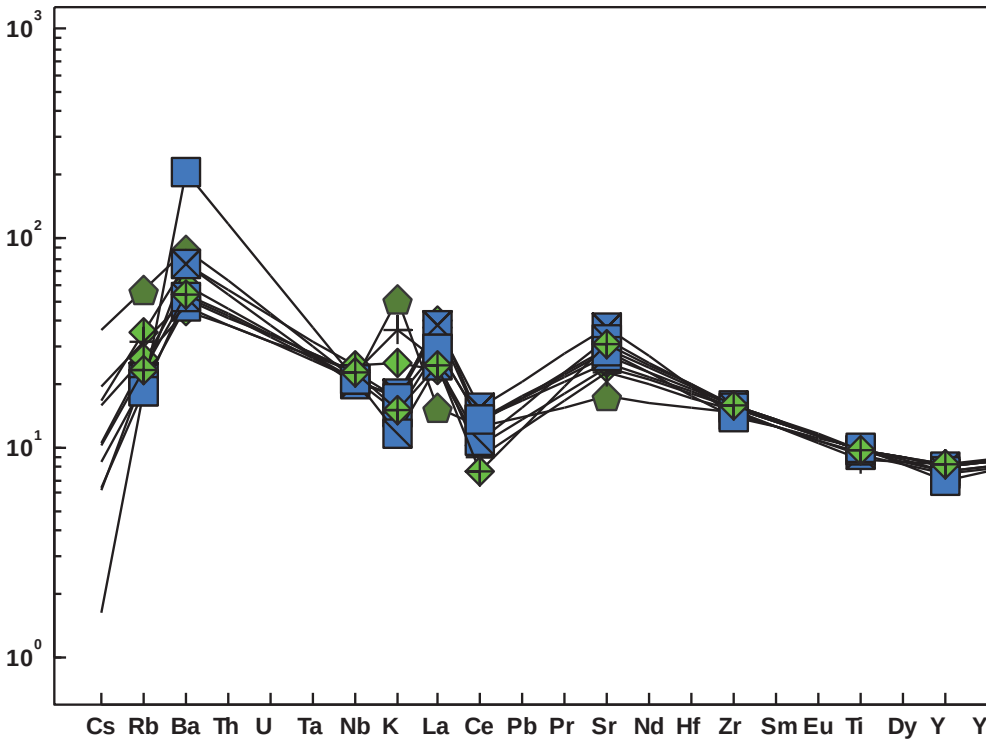

Figura 43: Padrões de distribuição de elementos traços normalizados em relação ao manto primitivo de Sun & MacDonough (1989).

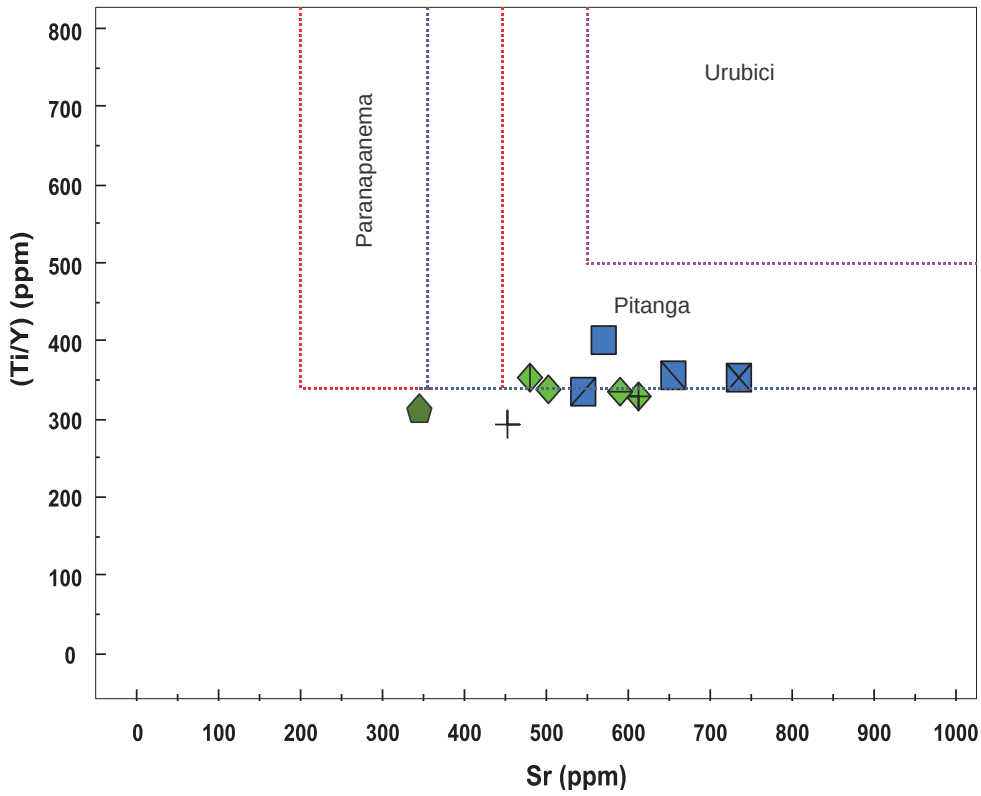

Figura 44: Diagrama Sr vs. Ti/Y, com os campos dos magmas-tipo da província Ati (alto Titânio), definidos por Peate *et al.* (1992).

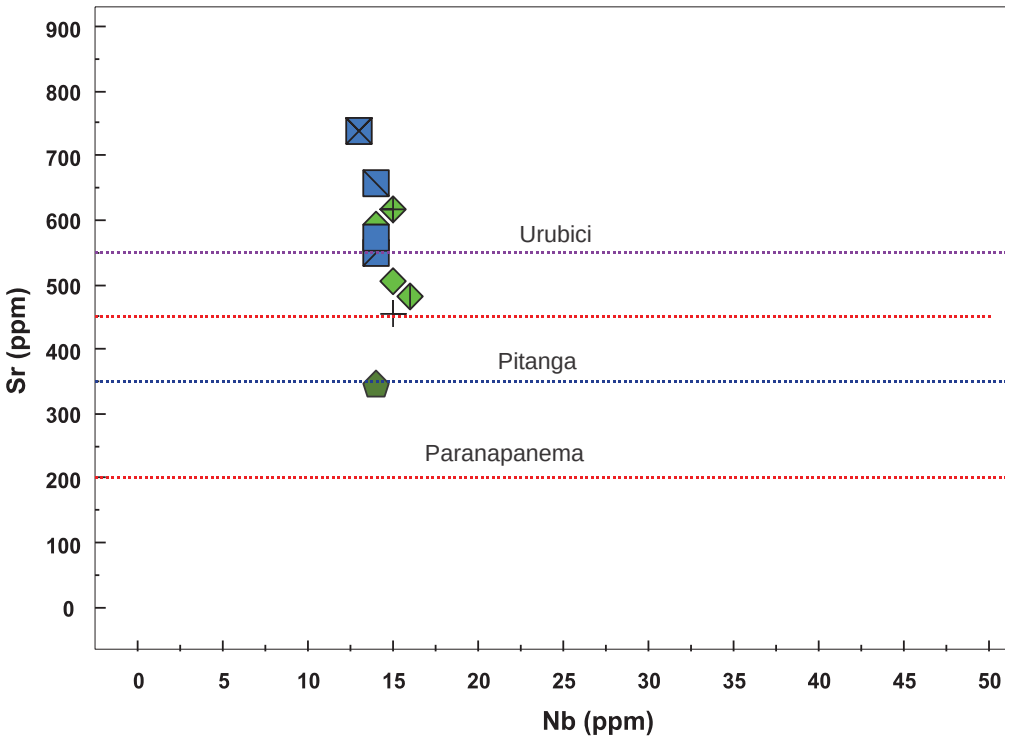

Figura 45: Diagrama Nb versus Sr, com os campos dos magmas-tipo das província Ati (alto Titânio), definidos por Peate *et al.* (1992).

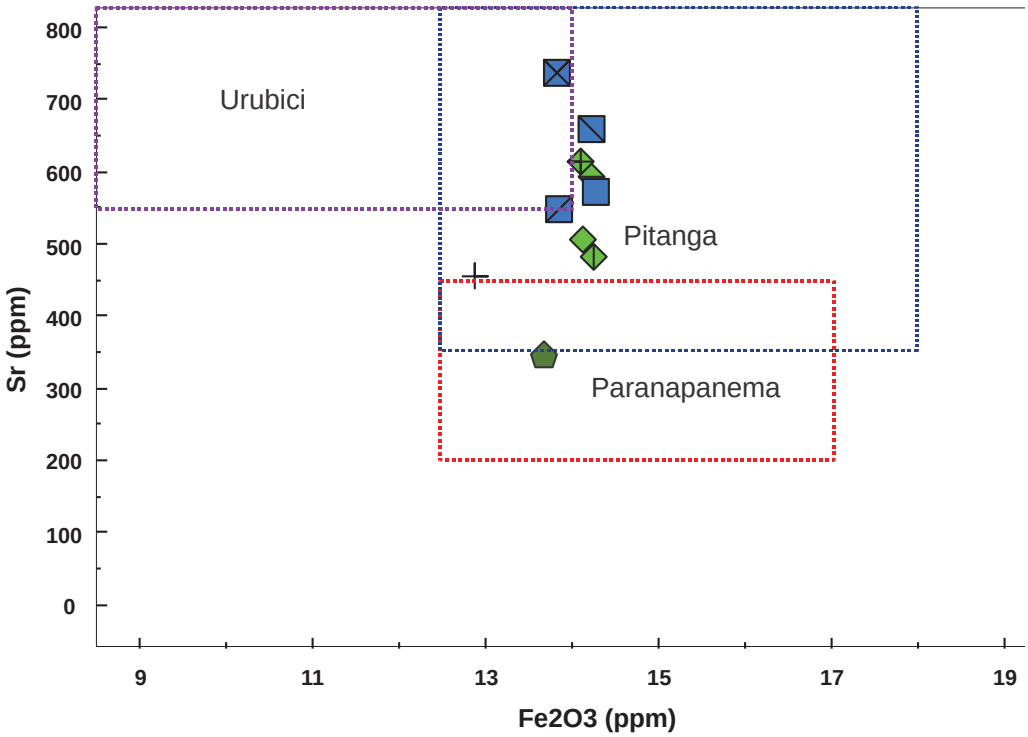

Figura 46: Diagrama Fe_2O_3 versus Sr, com os campos dos magmas-tipo da província Ati (alto Titânio), definidos por Peate *et al.* (1992).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Os basaltos estudados no município de Monções – SP são toleíticos, afaníticos, de granulação variando de densa a fina e fina a média, por vezes hipovítrea, com texturas predominantemente intergranular podendo ser ainda intersertal e glomeroporfiríticos, seguida da subofítica, ocorrendo também ortocristalina e hialofítica, com estruturas dominantemente maciças contendo níveis vesiculares, amigdaloidais a megavesiculares.

A mineralogia essencial é representada por diferentes proporções entre plagioclásio (entre 33 e 49%), principalmente labradorita, e clinopiroxênios (entre 29 e 46%), representados pela augita e subordinadamente pigeonita, tendo como acessórios opacos (entre 3 e 15%), olivina (< 2%), apatita e zircão como traços, podendo em alguns casos apresentar oxi-hornblenda. Os minerais secundários correspondem a clorofeíta, clorita, serpentina, epidoto, albita e óxidos e hidróxidos de ferro, além dos argilominerais bowlingita e celadonita.

Geoquimicamente os basaltos investigados são do tipo alto-Ti ($TiO_2 \geq 1,8\%$) conforme Bellieni *et al.* (1984), típicos da porção norte da Província Magmática do Paraná.

Em relação ao magma-tipo as amostras podem ser classificadas como do tipo Pitanga, com exceção de uma amostra que assemelha mais com o tipo Paranapanema.

A investigação de uma possível diferenciação na litogeoquímica dentro do derrame através das análises feitas mostrou-se pouco satisfatória, uma vez o comportamento geoquímico das amostras de diferentes bandas é variado e não tem uma tendência ou correlação bem definida.

De fato existem zonas horizontais de continuidade lateral em toda a pedreira, sendo discriminadas principalmente por descrições macroscópicas, juntamente com componentes estruturais tais como o padrão de faturamento e as feições vesiculares e texturais.

Referências

Almeida F. F. M. de, Carneiro, C. D. R., Cremonini O. A. 1980. Tectônica da Bacia do Paraná no Brasil. Consórcio CESP/IPT-Paulipetro, São Paulo. Rel. nº 14.091. 187 p.

Bally, A.W. & Smelson, S. 1980. Realms os Subsidence. In: C.S.P.G. Facts and Principles of World Petroleum Ocurrence. Canadá. 1003 p.

Bellieni, G., Comin-Chiaramonti, P., Marques, L. S., Martinez, L. A., Melfi, A. J., Nardy, A. J. R., Piccirilo, E. M., Stolva, D. 1986a. *Continental flood Basalts from Central-Western Regions of the Paraná Plateau (Paraguay and Argentina): Petrology and Petrogenetic Aspects.* Neues Jahr. Miner. Abh., v. **154**, n 2, p. 11 – 139.

Bellieni, G., Comin-Chiaramonti, P., Marques, L. S.. Melfi, A. J., Nardy, A. J. R., Papatrechas, C., Piccirillo, E. M., Roisenberg, A. 1986b. *Petrogenetic aspects of acid and basaltic lavas from the Paraná plateau (Brazil): geological, mineralogical and petrochemical relationships. Journal of Petrology*, v. **27**, p.915-944.

Bryan, S.E. & Ernst, R.E. 2008. *Revised definition of Large Igneous Provinces (LIPs). Earth-Science Reviews*, v. **86**, p. 175 - 202.

Cordani, U. G., Brito Neves, B. B., Fuck, R. A., Porto, R., Thomaz Filho, A., Cunha, F. M. B. 1984. Estudo Preliminar de Integração do pré-Cambriano com os Eventos Tectônicos das Bacias Sedimentares Brasileiras. Bol. PETROBRAS – Exploração de Petróleo, n. 15, 70 p.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. 2007. Mapa hidrogeológico do Brasil. Folha Paranapanema (SF.22).

Duncan, A. R., Neuwton, S. R., Van Den Berg, C., Reid, D. L. 1989. *Geochemistry and petrology of dolerite sills in the Huab River valley, Damaraland, north western Namibia. Communications of the Geological Survey of Namibia*, v. **5**, p. 5 - 18.

Erlank, A. J., Marsh, J. S., Duncan, A. R., Miller, R. MCG., Hawkesworth, C. J., Betton, P. J., Rex, D. C. 1984. *Geochemistry and petrogenesis of the Etendeka volcanic rocks from SWA/Namibia. In:* Erlank, A. J. (Coordenadores). *Petrogenesis of the volcanic rocks of the Karoo Province. Special Publication of the Geological Society of South Africa*, v. **13**, p. 195-245.

Ernesto, M. 1999. Estado da arte do Paleomagnetismo do Cretáceo da América do Sul. *In*: V SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 1999, Serra Negra. Resumos Expandidos..., p. 157-160.

Ernesto, M., Marques, L. S., Piccirillo, E. M., Molina, N., Ussami, P., Comin-Chiaramonti, G. P., Bellieni, P. 2002. *Paraná Magmatic Province-Tristan da Cunha plume system: fixed versus mobile plume, petrogenic considerations and alternative heat sources. Journal of Volcanology and GeothermalvResearch*, v. **118**, p. 15 - 36.

Ewart, A., Marsh, J. S., Milner, S. C., Duncan, A. R., Kamber, B. S., Armstrong, R. A. 2004. *Petrology and Geochemistry of Early Cretaceous bimodal continental fllod volcanism of the NW Etendeka, Namibia. Part 1: Introduction, Mafic Lavas and Re-evaluation of Mantle Source Components. Journal of Petrology*, v. **45**, n. 01, p. 59 - 105.

Gomes, R. L. 2001. Características tecnológicas e alterabilidade dos compartimentos entablamento e colunata de derrames basálticos da porção setentrional da bacia do Paraná. Tese de doutorado. Departamento de Geotecnia. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. 295 p.

IGGSP – INSTITUTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO DE SÃO PAULO. 1967. Folha Gastão Vidigal SF-22-D-IV-4 escala 1:50.000

Machado, F. B. 2005. Geologia e aspectos petrológicos das rochas intrusivas e efusivas mesozoicas de parte da borda leste da bacia do Paraná no Estado de São Paulo. Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Campus de Rio Claro, 139 p.

Machado, F. B. 2009. Petrologia e caracterização geoquímica das fontes mantélicas da região noroeste da província magmática do Paraná. Tese de doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Campus de Rio Claro. 207 p.

Machado, F. B., Nardy, A. J. R., Melo, R. P., Oliveira, M. A. F., Squisato, E. 2005. As rochas intrusivas da Formação Serra Geral na porção leste da bacia do Paraná no Estado de São Paulo: aspectos petrográficos e geoquímicos – resultados preliminares. São Paulo. *Geociências*, **24**: 5-17.

Machado, F. B., Nardy, A. J. R., Oliveira, M. A. F. 2007. Geologia e aspectos petrológicos das rochas intrusivas e efusivas mesozoicas de parte da borda leste da bacia do Paraná no estado de São Paulo. *Ver. Bras. Geoc.* **37**(1): 64-80.

Marques, L. S. 2001. Geoquímica dos diques toleíticos da costa sul-sudeste do Brasil: contribuição ao conhecimento da Província Magmática do Paraná. São Paulo. Tese de Livre Docência em Geociências. Instituto de Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo. p. 86.

Marques, L. S., Ernesto, M. O magmatismo toleítico da Bacia do Paraná. *In:* Neto, V. M., Bartorelli, A., Carneiro, C. D., Brito-Neves, B. B. (Coordenadores). 2004. Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo. p.: 245-263.

Marsh, J. S., Ewart, A., Milner, S. C. Duncan, A. R., Miller, R. McG. 2001. *The Etendeka Igneous Province: magma types and their stratigraphic distribution with implications for the evolution of the Paraná – Etendeka flood basalt province. Bull Volcanol*, v. **62**, p. 464 - 486.

Marzoli, A., Melluso, L., Morra, V., Renne, P. R., Sgrosso, I., D'antonio, M., Duarte Morais, L., Morais, E. A. A., Ricci, G. 1999. *Geochronology and petrology of Cretaceous basaltic magmatism in the Kwanza basin (western Angola), and relationships with the Paraná – Etendeka continental flood basalt province. Journal of Geodynamics*, v. **28**, p. 341 - 356.

Milani, E. J. Comentários sobre a origem e a evolução tectônica da bacia do Paraná. *In:* Neto, V. M., Bartorelli, A., Carneiro, C. D., Brito-Neves, B. B. (Coordenadores). 2004. Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo. p.: 265-280.

Milani, E. J. & Thomaz Filho, A. *Sedimentary Basins of South America. In*:

Cordani, U. G., Milani, E. J., Thomaz Filho, A., Campos, D. A. (Coordenadores). 2000. *Tectonic Evolution of South America. Rio de Janeiro: 31st International Geological Congress*. p. 389 - 449.

Milner, S. C. 1988. *The geology and geochemistry of the Etendeka Formation quartz latites, latites*, Thesi (Ph.D. in Geology) – Cape Town University. Namibia. South Africa. 150 p.

Milner, S. C., Duncan, A. R., Whittingham, A. M., Ewart, A. 1995. *Transatlantic correlation of eruptive sequences and individual silicic volcanic units within the Paraná-Etendeka igneus province. Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. **69**, p. 137 - 157.

Mincato, R. L., Enzweiler, J., Schrank, A. 2003. Novas idades 39Ar/40Ar e implicações na metalogênese dos depósitos de sulfetos magmáticos de Ni-Cu-EPG na Província Ígnea Continental do Paraná. *In*. SBGq. Congr. Brás. Geoq., *9, B.Res. Exp*., p. 67- 92.

Nardy, A. J. R., Machado, F. B., Oliveira, M. A. F. 2008. As rochas mesozoicas ácidas da bacia do Paraná: litoestratigrafia e considerações geoquímico-estratigráficas. *Rev. Bras. Geoc.*, **38**(1): 178-195.

Nardy, A. J. R., Enzweiler, J., Bahia Fº, O., Oliveira, M. A. F., Peneiro, M. A. V. 1997. Determinação de Elementos Maiores e Menores em Rochas Silicáticas por Espectometria de Fluorescência de Raios-X: Resultados Preliminares.*In*: VI CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA. Salvador (BA). Resumos Expandidos...Salvador. p 346 - 348.

Nardy, A. J. R., Oliveira, M. A. F., Betancourt, R. H. S., Verdugo, D. R. H., Machado, F. B. 2002. Geologia e estratigrafia da Formação Serra Geral. Revista Geociências, v. **21**, n 2, p. 15 - 32.

Peate, D. W. 1997. The Paraná-Etendeka plateau. *In*: Mahoney, J. J. & Coffin, M. F. (Eds.) 1997. *Large igneous provinces: continental, oceanic and planetary flood volcanism*. American Geophysical Union. Flórida, Washington. p.: 217-245.

Peate, D., Hawkesworth, C.J., Mantovani, M.S.M. 1992. *Chemical Stratigraphy of the Paraná Lavas (South America): Classification of Magma Types and their Spatial Distribution.* Bulletin of Volcanology, v. **55**, p. 119 – 139.

Perrota, M. M., Salvador, E. D., Lopes, R. C., D'Agostino, L. Z., Peruffo, N., Gomes, S. D., Sachs. L. L. B., Meira, V. I., Garcia, M. G. M., Lacerda Filho, J. V. 2005. Mapa geológico do Estado de São Paulo, escala 1:750.000. Programa Geologia do Brasil – PGB, CPRM, São Paulo.

PetroGraph. Version 2 beta dic 2007. Written by Maurizio Petrelli. Department of Earth Sciences. University of Perugia, Italy. Petrelli, M., Poli, G., Perugini, D. Peccerillo, A. Geochem. Geophys. Geosyst., Vol. 6, Q07011,DOI 10.1029/2005GC000932, 26 July 2005.

Piccirillo, E. M. & Melfi, A. J. (Coordenadores) 1988. *The mesozoic flood volcanism of the Paraná Basin: petrogenetic and geophysical aspects*. São Paulo, Brasil: IAG-USP, 600 p.

Piccirillo E. M., Melfi, A. J., Comin-Chiaramonti, P., Bellieni, G., Ernesto, M., Marques, L. S., Nardy, A, J. R., Pacca, G., Roisenberg, A., Stolfa, D. *Continental flood volcanism from the Paraná basin (Brazil)*. *In:* Macdougall, J. D. (Ed.) 1988. *Continental flood basalts*. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. p.: 195-238.

Pinese, J. P. P. 1989. Caracterização petrológica e geoquímica dos diques do arco de Ponta Grossa. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo. São Paulo. p. 196.

Renne, P. R., Ernesto, M., Pacca, I. G., Coe, R. S., Glen, J. M., Prévot, M., Perrin, M. 1992. *The Age of Paraná Flood Volcanism, Rifting of Gondwanaland, and the Jurassic-Cretaceous Boundary*. Science, 258, p. 975 - 979.

Renne, P.R., Deckart, K., Ernesto, M., Férraud, G., Piccirllo, E.M. 1996a. *Age of the Ponta Grossa dike swarm (Brazil) and implications to Paraná flood volcanism.* Earth Plan. Sci. Lett., **144**, p. 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 África,* Geology, **24**, p. 659 - 662.

Self, S., Thordarson, T., Keszthelyi, L. *Emplacement of continental flood basalt lava flows. In*: Mahoney, J. J. & Coffin, M. F. (Eds.) 1997. *Large igneous provinces: continental, oceanic and planetary flood volcanism*. American Geophysical Union. Flórida, Washington. p.: 381-410.

Silva, A. J. P., Lopes, R. C., Vasconcelos, A. M., Bahia, R. B. C. Bacias Sedimentares paleozoicas e Meso-Cenozóicas Interiores. *In:* Bizzi, L. A., Schobbenhaus, C., Vidotti, R. M., Gonçalves, J. H. (Eds.) 2003. Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil. CPRM. p.: 55-85.

Spry, A. 1962. *The oriin of Columnar Jointing, Particulary in Basalt flow.* Jour. Geol. Soc. Austrália, vol. **8**, n 2, 191 – 221 p.

Squisato, E 2008. A Formação Serra Geral na porção centro-norte do estado de São Paulo. Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Campus de Rio Claro 61 p.

Squisato, E., Nardy, A. J. R., Machado, F. B., Marques, L. S., Rocha Jr, E. R. V., Oliveira, M. A. F. 2009. Litogeoquímica e aspectos petrogenéticos dos basaltos da província magmática do Paraná na porção centro-norte do estado de São Paulo. São Paulo. *Geociências*, **28**: 27-41.

Thiede, D. S. & Vasconcelos, P. M. 2008. *Paraná flood basalts: Rapid extrusion hypothesis support by new $^{49}Ar/^{39}$ Ar results. In:* CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 44, Curitiba. 563 p.

Turner, S., Regelous, M., Kelley, S., Hawksworth, C., Mantovani, M.M.S.1994. *Magmatism and continental break-up in the South Atlantic: high precision 40 Ar / 39Ar geochronology*. Earth Plan. Sci. Lett., 121, p. 333 - 348.

Zalán, P. V., Wolf, S., Conceição, J. C. J., Marques, A., Astolfi, M. A. M., Vieira, I. S., Appi, V. T., ZANOTTO, O. A. 1990. Bacia do Paraná. *In*: Raja-Gabaglia, G. P. & Milani, E. J. (Coordenadores). Origem e Evolução de Bacias Sedimentares. Rio de Janeiro: Boletim Técnico da Petrobras. 415 p.

Waichel, B. L. 2006. Estruturação de derrames e interações lava-sedimento na porção central da província basáltica continental do Paraná. Tese de doutorado. Instituto de Geociências. Universidade do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Geociências. 108 p.

Williams, H., Turner. F. J., Gilbert, C. M. 1954. *Petrography an introduction to the study of rocks in thin sections*. 424 p.

Yoder, H. S. Jr. 1976. *Generation of basaltic magma*. Washington, D. C. 265 p.