

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Geologia e Evolução Magmática dos Sienitos Saturados
a Supersaturados do Plúton Pedra Branca (MG)**

Bruna Borges Carvalho

Orientador: Prof. Dr. Valdecir de Assis Janasi

**MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF/08/07)**

**SÃO PAULO
2008**

**Geologia e Evolução Magmática
dos Sienitos Saturados a Supersaturados
do Plúton Pedra Branca (MG)**



**MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF 08/07)**

Bruna Borges Carvalho
Bruna Borges Carvalho

Valdecir de Assis Janasi
Orientador: Prof. Dr. Valdecir de Assis Janasi

DEDALUS - Acervo - IGC



30900025632

TF
C33J
BB.Q

AGRADECIMENTOS

É, hoje tô eu aqui, finalizando minha graduação e tenho muito que agradecer por isso.

Primeiro, óbvio, à minha querida mãe Edinéa por ter me apoiado sempre, desde a primeira vez que disse seria GEOLOGIA, apesar de não saber do se tratava você me disse: "Bruna se é isso que você quer então vai, filha!" Obrigada por ser esse grande exemplo não só de mãe, mas de mulher e de pessoa! Admiro você demais por todas as suas qualidades e por toda a tua força: Te amo muito! Ao meu Pai, Cardu, agradeço por todo apoio e carinho, valeu Pai!

Valdecir, meu querido orientador, obrigada por me instruir com paciência e carinho todos estes anos (querendo ou não desde setembro de 2004 que estou na sua cola..), sou muito agradecida à você por todos os seus ensinamentos. Espero que nossa parceria dure por muitos anos, pois sei que ainda tenho muito o que aprender com você.

Eu não poderia deixar de dizer aqui o quanto agradeço ao meu amor, amigo e companheiro Renato, não só por me fazer feliz a cada dia, mas por ser meu professor particular 24hs por dia. Obrigada, amor, eu te amo muito!

Algumas pessoas me ajudaram muito durante estes anos de graduação: Lucelene, Bisteka e Jaú. Sempre, nas matérias ou pelos corredores...! Obrigada por cada dúvida respondida!! Lucelene: você, definitivamente, merece um obrigada especial, porque você não tem limites na bondade! Você é demais, muito obrigada!!!

Existem quatro pessoas que com certeza me influenciaram pra fazer geologia: Chico, Melado, Cofrinho e Jonas. É eu me lembro quando nos conhecemos: vocês não paravam de falar de geologia, até que eu resolvi perguntar: "A mais que tanto ceis falam dessa tal de geologia, uai?" a resposta veio e com ela minha vontade de conhecer essa ciência tão bela! Sinceramente, agradeço vocês porque, com certeza, a partir daquele momento escolhi a melhor profissão do mundo! Ainda bem que foi geologia porque não me imagino fazendo outra coisa... GEOLOGIA, SEM ELA NÃO DÁ PRA VIVER..!

Queridos amigos e colegas, de balada, de corredor, de bosque, seria impossível mencionar todos vocês aqui de qualquer forma: valeu, gente!

Bom, como todo agradecimento é saudosista eu não poderia, de maneira nenhuma, fugir a esta regra!

Quero agradecer ainda a TODOS os meus colegas de turma, em especial Kenga, Pulga, Iscória (O Guru do ArcGis!!), Hemorróida, Argolinha, Mongo, GG, Torresmo, Meninão, Popó, Cabe 3, Ximpa, Poch, pelas risadas, bebedeiras na Geo, Vet, Campo e outros.., além das discussões "brilhantes" de geologia desde o primeiro ano, foi ótimo poder compartilhar todos estes anos com vocês. Às meninas quero fazer um agradecimento especial por me agüentarem nos trabalhos durante toda a graduação, grupo inigualável diga-se de passagem..hehe!! Grupo 4 Calcitas!

Pelos bons, e muitos momentos, no Buraco Negro: o buteco mais sujo e mais acolhedor de todos! Ah, é óbvio que ficava na incrível área III, ou Carrapatolândia! É time. foram bons momentos hein.. Vocês lembram dos carrapatos subindo nas paredes??

Aos meus amigos geológicos Brenda, Carrapato, Chuck, Farley, Samar, Guano, Paula, Tchitcholina, Felipe, Alargado, Axé, Titica, Pará (yba), Moita e tantos outros (não daria pra incluir todos aqui..): obrigada por qualquer contribuição que vocês me tenham feito.

Todos os professores das disciplinas que fiz durante a graduação, com certeza sem vocês não seria possível, muito obrigada.

À todos os funcionários, muito obrigada pelo apoio! Marcos (Microsonda), Zé Paulo (LTA), Sandra (ICP-MS), Paulinho (FRX), Tomás (!), Henrique, todos os outros que não sei o nome: muito obrigada pelas contribuições. Sem mais delongas agradeço à todas as pessoas que de alguma forma me ajudaram a concluir este trabalho.

Capítulo I – Introdução	2
I.1. Resumo.....	2
I.2. Abstrato.....	3
I.3. Introdução	4
I.4. Metas e Objetivos.....	5
I.5. Materiais e Métodos	5
I.6. Desenvolvimento do Trabalho (breve histórico, com cronograma das atividades realizadas, comentários sobre as dificuldades encontradas).....	7
Capítulo II - Levantamento Bibliográfico	8
II.1. Sienitos ricos em Potássicos (Alguns Exemplos)	8
II.2. Situação Geológica do Sienito Pedra Branca	10
Capítulo III – Geologia do Sienito Pedra Branca	12
III.1. O Sienito Pedra Branca	12
III.1.1 <i>Feições de Campo</i>	13
<i>Unidade Pedra do Coração (Saturada)</i>	13
<i>Unidade Serra da Pedra Branca (Supersaturada)</i>	14
<i>Unidade Serrote do Maranhão</i>	16
<i>Unidade Cachoeira do Capitão</i>	16
Capítulo IV - Petrografia	17
IV.1. Petrografia	17
Capítulo V – Química Mineral	21
V.1. Química Mineral	21
<i>Piroxênio</i>	21
<i>Anfibólio</i>	22
<i>Biotita</i>	22
<i>Óxidos de Fe-Ti</i>	23
<i>Feldspato</i>	23
Capítulo VI - Geoquímica.....	26
VI.1.4. Geoquímica.....	26
<i>Elementos Maiores</i>	26
<i>Elementos Traços</i>	27
Capítulo VII – Conclusões e Interpretações dos Resultados.....	34
VII.1. Condições de cristalização	34
VII.2. Evolução Magmática	38
Referências Bibliográficas	40

Capítulo I – Introdução

1.1. Resumo

O Sienito Pedra Branca é um plúton neoproterozóico (~610 Ma), intrusivo em rochas metamórficas de alto grau da Nappe Socorro-Guaxupé, na porção sul do Estado de Minas Gerais, seccionado a oeste pelo Maciço Alcalino cretáceo de Poços de Caldas.

A ocorrência constitui-se de sienitos ricos em potássio, com elevados teores em LILE como Ba (4000-10000 ppm) e Sr (2000-4000 ppm), além de outros incompatíveis como P_2O_5 (1,0-2%) e ETRL (La= 100-300 ppm). O plúton apresenta um zoneamento mineralógico peculiar, caracterizado pela presença de sienitos saturados em sílica na sua porção N e S-SE e sienitos supersaturados no centro.

Os sienitos saturados possuem granulação média a grossa, textura fortemente laminada e índices de cor (IC) no intervalo 20-30. Exibem paragênese máfica com augita sódica + egrina-augita + flogopita ± edenita + hematita + magnetita + titanita + apatita, indicativa de cristalização sob condições fortemente oxidantes (~ tampão HM).

Os sienitos supersaturados da porção central tem IC semelhante aos saturados (em média, 25), e se diferenciam macroscopicamente dos saturados pela forma menos alongada dos cristais tabulares de feldspato alcalino. A paragênese máfica com diopsídio + biotita ± hornblenda + ilmeno-hematita + titanita + apatita é indicadora de cristalização sob condições menos oxidantes (~ tampão NNO). Enclaves microgranulares máficos e xenocristais de plagioclásio são raros, mas exclusivos dessas unidades.

As semelhanças geoquímicas entre as diferentes unidades do plúton demonstram que, apesar do contraste nas condições redox, elas possuem origem comum de magmas parentais do tipo minette, produzidos pela fusão de horizontes do manto subcontinental modificado em eventos de subducção. Os dados obtidos no presente estudo são consistentes com um modelo no qual um magma de tendência peralcalina (fácies saturada) dá origem a um magma metaluminoso (fácies supersaturadas) por interação com um magma basáltico.

1.2. Abstract

The Pedra Branca Syenite is a Neoproterozoic Pluton (~ 610 Ma), intrusive in high-grade metamorphic rocks of Socorro-Guaxupé *Nappe* in southern portion of Minas Gerais state, sectioned to the west by the cretaceous Poços de Caldas Alkaline Massif.

The occurrence is composed by K-rich syenites, with high contents of LILE like Ba (4000-10000 ppm) and Sr (2000-4000 ppm) and other incompatible elements as P_2O_5 (1,0-2%) and LREE (La = 100-300 ppm). The pluton has a peculiar mineralogical zoning, characterized by the presence of saturated silica syenites in its N and S-SE portions and supersaturated syenites at the core.

The saturated syenites are medium to coarse grained with a, strongly laminated texture and color indices (CI)= 20-30. Their mafic assemblage with sodic augite to egrine-augite + phlogopite ± edenite + hematite + magnetite + titanite + apatite, is indicative of crystallization under strongly oxidizing conditions (~HM buffer).

The supersaturated syenites have similar CI (~ 25); however, they are distinguished by the less elongated shape of alkali feldspar. The mafic assemblage with diopside + biotite ± hornblende + Ilmeno-hematite + titanite + apatite is indicative of crystallization under less oxidant conditions (~NNO buffer). Mafic microgranular enclaves and plagioclase xenocrysts are rare, and only appear in the supersaturated syenites.

Despite the contrast in redox conditions, the geochemical similarities between the different units show that they have a similar origin, possibly derived from minette parental magmas, produced by partial melting of horizons of subcontinental mantle enriched during previous subduction events. Data obtained in this study are consistent with a model in which peralkaline magma (saturated facies) gives rise to metaluminous magma (supersaturated facies) by interaction with a basaltic magma.

1.3. Introdução

O Sienito Pedra Branca situa-se na porção sul do Estado de Minas Gerais, próximo às cidades de Caldas, Santa Rita de Caldas e Andradas. Trata-se de um plúton intrusivo Neoproterozóico (~610 Ma) de forma semi-circular, diâmetro de ca. 13 km, que ocorre em uma área de relevo destacado na borda sudeste do Maciço Alcalino de Poços de Caldas, de idade Cretácea. Sua intrusão é tardia na evolução da porção norte da Nappe Socorro-Guaxupé (SW de Minas Gerais), um terreno de arco magmático continental desenvolvido na margem da placa Paranapanema ao final do Neoproterozóico (Campos Neto & Caby, 2000).

Dominado por sienitos potássicos, o plúton Pedra Branca tem geoquímica peculiar, que é caracterizada por teores elevados de elementos litófilos como K_2O (5,5-7,5%), Ba (4000-10000 ppm), Sr (2000-4000 ppm), além de outros elementos incompatíveis como P_2O_5 (1,0-1,5%) e ETRL (La= 100-300 ppm). Mapeamento de semi-detalle do plúton (Janasi, 1996) mostrou a existência de quatro pulsos principais, dispostos como anéis concêntricos. Três unidades são constituídas por sienitos portadores de pequenas proporções de quartzo (supersaturadas em sílica), e apresentam paragênese máfica com diopsídio + biotita ± hornblenda + titanita + hemo-ilmenita ± magnetita (± ortopiroxênio na unidade central). A quarta unidade, que constitui a margem externa de boa parte do plúton, é formada por sienitos laminados saturados em sílica (localmente insaturados, com nefelina) com paragênese máfica distinta, com egirina-augita + flogopita + hematita + magnetita + titanita.

Os sienitos saturados cristalizaram sob condições fortemente oxidantes (próximas ao tampão HM), que contrastam com as condições estimadas para os sienitos supersaturados (menos oxidados; próximo ao tampão NNO) (Janasi, 1993).

As semelhanças geoquímicas existentes entre todas as unidades do plúton sugerem que, apesar do forte contraste nas condições redox, eles têm origem comum, e possivelmente derivam de magmas parentais do tipo *minette*, gerados por fusão de horizontes do manto subcontinental modificado por fluidos metassomáticos durante eventos prévios de subducção.

Até o momento, existem apenas dois trabalhos na literatura referentes ao tema (Janasi, 1996; Winters, 1981), e muitas das características geoquímicas e petrológicas tão peculiares e as relações entre os possíveis pulsos magmáticos permanecem obscuras.

O principal objetivo deste projeto foi investigar as causas das variações nas condições redox, bem como sua possível relação com a mudança de caráter dos sienitos (supersaturado versus insaturado em sílica), em particular a passagem entre as unidades saturada (Unidade Pedra do Coração) e supersaturada em sílica (Unidade Pico da Pedra Branca) na porção setentrional do plúton. Para tanto, foi investigada com detalhe a passagem entre as duas unidades na porção norte do plúton, a partir de estudos de campo, petrografia e geoquímica (mineral e de rochas).

1.4. Metas e Objetivos

Este trabalho tem como tema o plúton Pedra Branca, uma das ocorrências sieníticas da porção sul do Estado de Minas Gerais. A proposta inicial deste trabalho de formatura foi o estudo e caracterização das principais fácies sieníticas visando o entendimento entre suas relações petrogenéticas utilizando como ferramentas a petrografia, a química mineral e litogeoquímica.

Os contrastes mineralógicos, bem como as condições de cristalização dos sienitos são características importantes, que, além das feições de campo, distinguem as diferentes fácies. Desta forma, pretende-se discriminar e investigar as causas das divergências composicionais encontradas no Plúton Pedra Branca, em particular a passagem entre a unidade saturada em sílica (mais oxidada) e a unidade supersaturada adjacente (portadora de quartzo e menos oxidada) na porção norte do plúton.

1.5. Materiais e Métodos

Este trabalho iniciou-se através de estudos bibliográficos, visando a compreensão das características petrológicas do magmatismo granítico *s.l.* no sudeste do Brasil e sobre a geração de magmas básicos a intermediários com condições semelhantes às encontradas no maciço Pedra Branca.

Foram realizadas duas etapas de campo em seções geológicas chave, na porção norte do plúton, buscando o estudo de detalhe em feições de significado importante, como os enclaves microgranulares máficos e veios tardios, a fim de trazer informações sobre a passagem das rochas saturadas da UPC, a supersaturadas da UPPB, objetivo principal deste trabalho de formatura. O mapa geológico do plúton utilizado neste trabalho (**Anexo I – Figura I.1.**), foi gerado através do software Arcview 9.0, tendo como base o mapa apresentado na dissertação de Winters (1981), o mapa faciológico preliminar de Janasi (1996) e novos dos obtidos em trabalhos de campo do orientador e da aluna a partir de 2005.

Para medidas da susceptibilidade magnética (K) em campo foi utilizado um medidor portátil *Exploranium Kappameter KT-9*, que fornece leituras em unidades SI (Sistema Internacional). A susceptibilidade magnética K mede a razão entre J (momento magnético dipolar por volume unitário) e H (intensidade do campo magnético aplicado), tal que $K = J/H$.

Lâminas delgadas de aproximadamente 60 amostras foram investigadas em termos de texturas e paragéneses minerais, a partir de luz refletida e transmitida em microscópios *Zeiss Axioplan*. Foram selecionadas amostras tanto de sienitos como dos veios tardios e enclaves, para que fosse realizado com sucesso o reconhecimento das variedades litológicas do maciço e suas relações petrogenéticas.

A química mineral de piroxênios, anfibólios, biotitas, óxidos de Fe-Ti e feldspatos em 10 lâminas delgadas foi determinada através de microsonda eletrônica JOEL JXA-8600S, provida de cinco espectrômetros de dispersão de comprimento de onda (WDS), cada qual com dois cristais analisadores, com automação de fabricação NORAN, e sistema Voyager 3.6.1, no *Laboratório de Microsonda Eletrônica do IGc-USP*. Em geral foi utilizado um feixe de 5 micras. Para análise dos minerais opacos foi usado feixe mais largo, de 20 micras, no intuito de obter a composição total dos cristais (incorporando as lamelas de exsolução); quando necessário para obter uma composição representativa, foram feitas médias de diversas análises de um mesmo cristal.

Para análise química de rochas, foram selecionadas 31 amostras, que foram preparadas no *Laboratório de Tratamento de Amostras do IGc-USP*. A preparação envolveu as etapas de fragmentação de amostras representativas e livres de alteração em britador de mandíbulas de aço ou prensa hidráulica até a fração grânulo, seguida de quarteamento e moagem em moinho de ágata do tipo planetário, até granulação <200 mesh. As análises foram obtidas no Laboratório de Fluorescência de raios X do IGc-USP a partir de pastilhas prensadas (7,5 g de amostras para 20% de parafina) para análise dos elementos traço e fundidas (aprox. 1 g de amostra e 9 partes de fundente) para os elementos maiores, segundo a metodologia descrita em Mori *et al.* (1999). Elementos traço adicionais, incluindo os elementos terras-raras, Th, U, Hf e Nb, foram analisados por ICP-MS no *Laboratório de Química e ICP do IGc-USP*, segundo o procedimento analítico descrito em Navarro (2004), que envolve dissolução por ataque ácido em bombas tipo Parr por 5 dias, permitindo alcançar limites de detecção típicos da ordem de 0,01 ppm.

1.6. Desenvolvimento do Trabalho (breve histórico, com cronograma das atividades realizadas, comentários sobre as dificuldades encontradas)

O presente trabalho de formatura foi desenvolvido com base principalmente em estudos petrográficos e geoquímicos (mineral e de rocha), visto que o principal objetivo é a investigação das causas da variação composicional observada no Plúton Pedra Branca, em particular a passagem entre a unidade saturada em sílica, mais oxidada e a unidade supersaturada adjacente (portadora de quartzo e menos oxidada), na porção norte do plúton. O cronograma sugerido e as atividades propostas estão na **tabela 1**, a seguir.

Mês/Atividade	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Estudos Bibliográficos		√			√	√		√	√	
Petrografia			√	√				√	√	
Química Mineral				√			√			
Geoquímica - FRX							√			
Geoquímica - ICP-MS										√
Levantamentos Geológicos de Campo	√							√		
Análise e Integração de dados					√	√			√	√
Relatório Parcial							√			
Monografia										√

Tabela 1. Descrição das atividades em desenvolvidas durante o ano de 2008.

O desenvolvimento pleno de trabalhos acadêmicos como um todo depende não só do aluno/pesquisador, mas também da disponibilidade nos laboratórios para que os dados sejam obtidos da melhor forma possível. No caso deste trabalho todas as análises e preparações de amostras foram realizadas no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (ver item 1.5. **Materiais e Métodos**).

Grande parte das análises foram obtidas de acordo com o cronograma estabelecido no projeto, entretanto os dados geoquímicos com resultados previstos para abril só foram concluídos em agosto pois o *Laboratório de FRX* do *IGc-USP* esteve inoperante por problemas técnicos. Assim, o subconjunto que seria escolhido com base nas análises prévias por FRX só foi enviado para análise por ICP-MS no *Laboratório de Química e ICP* do *IGc-USP* em agosto o que retardou a entrega das análises até o início de novembro. Foi possível incorporar esses dados ao presente relatório, embora o pequeno tempo disponível para seu tratamento tenha limitado a interpretação.

Capítulo II - Levantamento Bibliográfico

II.1. Sienitos ricos em Potássicos (Alguns Exemplos)

As ocorrências de sienitos ricos em potássio têm chamado a atenção de muitos pesquisadores ao longo das últimas décadas devido às suas características peculiares, que indicam geração a partir de áreas-fonte no manto enriquecido. Em geral, as rochas potássicas têm como característica principal altas razões K_2O/Na_2O e enriquecimento em elementos incompatíveis, em particular elementos Terras Raras leves e litófilos de íon grande (LILE). Alguns modelos petrogenéticos para estas rochas sugerem que sua formação está relacionada com a fusão de porções do manto ricas em flogopita e clinopiroxênio, porém com olivina rara ou ausente (Foley, 1992).

O enriquecimento do manto, responsável pela geração destes horizontes de flogopita-clinopiroxenito, pode estar relacionado com processos de subducção, anteriores à fusão, que possibilitam mobilização de elementos incompatíveis, principalmente os elementos litófilos de íon grande (LILE) (Roger, 1992).

Apesar de raros, os magmas potássicos podem ser encontrados em diversos ambientes tectônicos. Comumente são encontrados em regiões onde previamente instalaram-se zonas de subducção, porém podem ocorrer ainda em faixas sin- ou pós-colisões continentais, com raros os casos ambientes extensionais (Thompson e Fowler, 1986).

No sul da Groenlândia, a Província Alcalina Gardar, tem como importante ocorrência o Complexo Klokken, que apresenta como associação típica gabros e sienitos cristalizados sob condições de alta fugacidade de oxigênio. De geometria anelar, a intrusão Klokken (1159 ± 11 Ma) constitui-se externamente por gabros que passam a sieno-gabros e sienitos não laminados, e internamente por sienitos laminados com intensa foliação de fluxo magmática, biotita sienodioritos e mélange. A presença comum de texturas cumuláticas permitiu a interpretação da passagem de gabros a sienitos como produto do fracionamento de minerais máficos (Parsons, 1978).

Outro exemplo importante de ocorrência sienítica no hemisfério norte encontra-se no cinturão orogenético Caledoniano, na parte oeste e noroeste da Escócia, constituindo o Complexo Glen Dessary. Formando plútons de aproximadamente 10 km de diâmetro, e idades próximas a 410 Ma, os sienitos caledonianos são interpretados como produtos da cristalização fracionada de magmas máficos (Thompson e Fowler, 1986), assim como os do Complexo Klokken.

Grandes volumes de rochas sieníticas são encontrados também nas Montanhas Yamato, na porção leste da Antártica. Diferentemente dos casos citados anteriormente, estes sienitos apresentam significativa contribuição crustal em sua formação. Considerando as assinaturas geoquímicas e sua provável relação com os diques pós-tectônicos alcalinos da Antártica, foi proposto que a origem destes sienitos está relacionada com o fracionamento e mistura de magmas (Zhao, *et al.*, 1995).

Sienitos de natureza potássica como os de Pedra Branca, embora raros, são reconhecidos como intrusões tardias em faixas de dobramento do leste brasileiro. Entre os sienitos de idade neoproterozóica, no Brasil, estão Piquiri (Jost *et al.*, 1985, Stabel *et al.*, 2001), no Rio Grande do Sul, Bom Jardim (Guimarães e Silva Filho, 1990), em Pernambuco, Capituva (Janasi, 1992, 1993) e Pedra Branca (Winters, 1981), em Minas Gerais. O maciço Itiúba, na Bahia, de idade paleoproterozóica representa a maior manifestação de sienitos potássicos do país (Conceição, 1993), e se associa a diversas outras ocorrências similares.

O magmatismo shoshonítico no Estado do Rio Grande do Sul é representado pelo Sienito Piquiri, que constitui-se principalmente de álcali feldspato sienitos, álcali feldspato quartzo sienitos e álcali feldspato granitos, que apresentam granulação fina nas bordas e grossa no interior do plúton. Além disto são encontrados enclaves microgranulares máficos, evidenciando a ocorrência de pulsos de magmas máficos contemporâneos aos sienitos, autólitos provenientes de margens de resfriamento e ainda de fragmentos de cumulos máficos (Stabel *et al.*, 2001).

Sienitos semelhantes aos de Pedra Branca, tema deste trabalho, ocorrem a NE do maciço alcalino de Poços de Caldas, e foram estudados em detalhe por Janasi (1992, 1993). O Sienito Capituva tem forma elipsoidal resultante da intrusão seqüenciada de quatro pulsos magmáticos parcialmente superpostos, e é composto de sienitos supersaturados com índice de cor entre 20 e 25 que mostram importantes variações texturais indicativas de cristalização progressivamente mais lenta nas fácies mais jovens. Os sienitos apresentam evidências de cristalização sob condições oxidantes e ainda um forte enriquecimento em LILE (Janasi *et al.*, 1993). Os sienitos Pedra Branca e Capituva, que marcam o final da evolução magmática na região, são datados em ~610 Ma (Topfner, 1996; Janasi, dados inéditos).

A origem dos magmas de derivação mantélica ricos em elementos incompatíveis na *Nappe* Socorro-Guaxupé tem sido amplamente debatida, dada sua importância para a compreensão do magmatismo granítico. Os magmas geradores dos sienitos Capituva e

Pedra Branca têm sido considerados como derivados de parentais lamprofíricos (*minettes*), gerados pela fusão de horizontes enriquecidos do manto litosférico continental (Janasi *et al.*, 1993; Wernick e Menezes, 2001).

Rochas plutônicas básicas a intermediárias ocorrem no fim do brasileiro (620-580 Ma); todas as ocorrências conhecidas, inclusive os sienitos de Pedra Branca, são caracterizadas pelo alto conteúdo em elementos litófilos, como K, Ba e elementos terras-raras leves (ETRL), entre outros (Janasi *et al.*, 1993). Em alguns casos, a presença de pequenos corpos de dioritos ricos em LILE, sob a forma de enclaves e diques, sugere que o caráter enriquecido destas rochas pode também estar relacionado com contaminação por magmas graníticos; entretanto estudos petrológicos detalhados em algumas ocorrências isoladas de rochas básicas a intermediárias sugerem que estas características geoquímicas são geralmente primárias.

II.2. Situação Geológica do Sienito Pedra Branca

O Sienito Pedra Branca é intrusivo na Nappe Socorro-Guaxupé (NSG), um terreno alóctone que cavalga, a leste, o sul do Cráton do São Francisco (Campos Neto e Caby, 2000). A NSG é parte de um sistema de *nappes* que resultou da convergência entre as placas São Francisco e Paranapanema no final do Neoproterozóico (Campos Neto e Caby, 1999), e corresponde a um domínio de arco magmático desenvolvido na margem continental ativa da Placa Paranapanema pouco antes da colisão continental (Campos Neto *et al.*, 2004). Em contraste com as *nappes* vizinhas, é caracterizada pela ocorrência de expressivos volumes de granito, e por metamorfismo de alta temperatura, que alcança a fácies granulito em suas porções basais. As estruturas sin-metamórficas dessa *nappe* são cortadas por plútons circulares de sienitos ricos em potássio, como é o caso dos sienitos Pedra Branca e Capituva (Janasi *et al.*, 1993).

A **Figura II.2.** é uma compilação de mapas geológicos do extremo sul do Domínio Guaxupé (Campos Neto e Figueiredo, 1985; Oliveira *et al.*, 1983; Janasi, 1992; Haddad, 1995), e mostra a grande variedade de rochas graníticas ali presente. Rochas encaixantes de caráter migmatítico são também predominantemente graníticas, e constituem os complexos metamórficos Pinhal (ortoderivado) e Caconde (seqüência supracrustal, dominada por paragneisses quartzosos e metapelitos-metagrauvacas; Campos Neto e Figueiredo, 1985); ambos os complexos passam a equivalentes granulíticos a N-NE. Quatro grupos principais de rochas graníticas podem ser reconhecidos:

(1) uma suíte de afinidade cálcio-alcálica potássica, que forma o Batólito Pinhal-Ipuiúna (Haddad, 1995) e várias ocorrências menores, datada em ~620 Ma (U-Pb em

zircão (Janasi *et al.*, 2007).

(2) duas suítes “charnockíticas” datadas em ~625 Ma, uma mais félsica e derivada de granulitos com idades-modelo Sm-Nd da ordem de 1,5 Ga (suíte mangerito-sienogranito São Pedro de Caldas) e outra mais máfica (com maior proporção de dioritos e menor volume de granitos associados), e derivada de granulitos com maior residência crustal (TDM > 1,8 Ga), a suíte Divinolândia (Janasi, 2002).

(3) os biotita-granitos anatóticos equi a inequigranulares “tipo Pinhal” (Wernick e Penalva, 1980; Janasi *et al.*, 2007), derivados da fusão parcial de ortognaisses do Complexo Metamórfico Pinhal, e também com idades da ordem de 625 Ma (Janasi, 1999);

(4) os sienitos Pedra Branca e Capituva, que marcam o final da evolução magmática na região, são datados em ~610 Ma (Topfner, 1996; Janasi, dados inéditos).

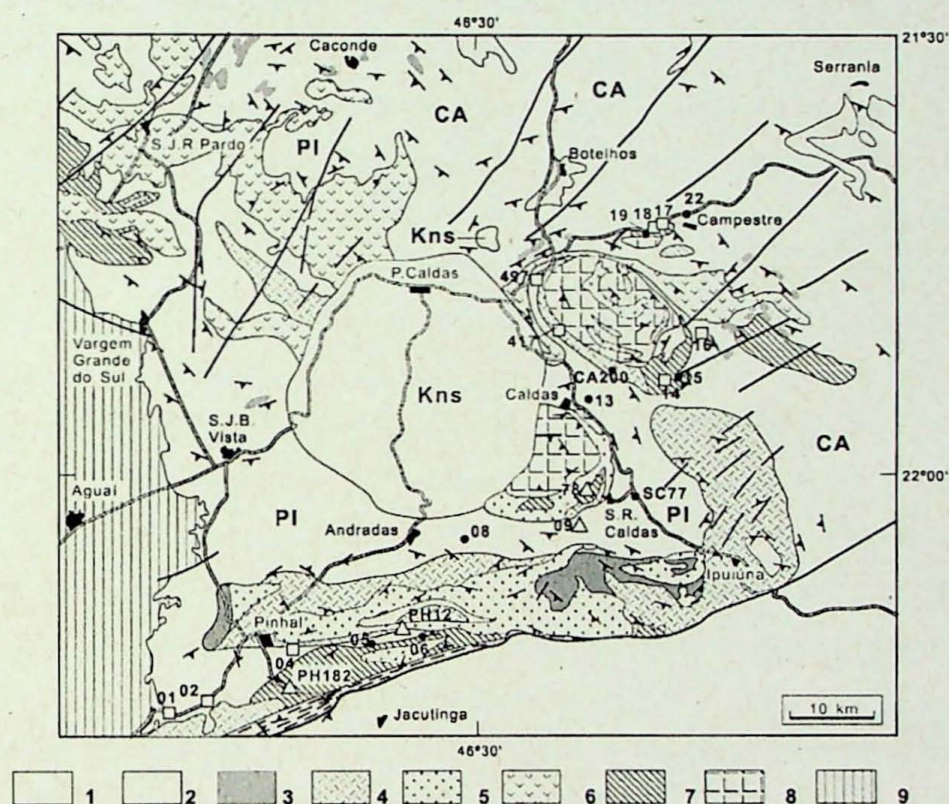


Figura II. 2. Esboço geológico da porção sudoeste do Domínio Guaxupé (compilado por Janasi, 1999). Símbolos: 1= granulitos; 2= gnaisses (PI= ortognaisses, Complexo Pinhal; CA= metasupracrustais, Complexo Caconde); 3, 4, 5= batólito granítico Pinhal-Ipuiúna (3= rochas intermediárias: monzonitos e quartzo monzodioritos; 4= hbl-bio quartzo monzonitos; 5= bio granitos róseos); 6= mangeritos e granitos associados; 7= granitos tipo Pinhal; 8= sienitos Pedra Branca e Capituva; 9= Bacia do Paraná.

Capítulo III – Geologia do Sienito Pedra Branca**III.1. O Sienito Pedra Branca**

O plúton Pedra Branca, localizado na porção sul do Estado de Minas Gerais, próximo às cidades de Caldas e Santa Rita de Caldas, apresenta um zoneamento notável, evidenciado por variações mineralógicas importantes. Sienitos supersaturados em sílica (com quartzo modal) formam um semi-anel intermediário, que sustenta boa parte das maiores elevações no plúton, a Serra da Pedra Branca, e são circundados, em boa parte do plúton, por um anel externo de sienitos saturados, localmente insaturados com nefelina (**Anexo I – Figura I.1.**).

O Sienito Pedra Branca faz contato em sua porção externa com gnaisses migmatíticos do embasamento cristalino e na parte interna é intrudido pelas rochas alcalinas do maciço Poços de Caldas, de idade cretácea.

Em trabalhos iniciais, essas rochas eram consideradas como gnaisses do embasamento cristalino, modificados metassomaticamente devido à intrusão das rochas alcalinas de Poços de Caldas (Ellert, 1959). Estudos em escala de semi-detalhe, no entanto, demonstraram o caráter magmático da ocorrência (Winters, 1981), que corresponde a um plúton de idade neoproterozóica seccionado pela intrusão alcalina.

As evidências mineralógicas e texturais para o caráter magmático do Sienito Pedra Branca foram demonstradas por Winters (1981). Segundo este autor, as substituições observadas entre os minerais máficos (de piroxênios por anfibólios e destes por biotita) são inversas às esperadas em processos de fenitização. Além disto, o zoneamento mineralógico apresentado pelo plúton, com rochas portadoras de quartzo no centro do corpo, em contato com as rochas do maciço alcalino, e de nefelina (em uma amostra) na borda, em contato com os migmatitos, seria indicativo de uma cristalização magmática, e não reflexo de um processo de fenitização, que deveria gerar zoneamento inverso, com rochas insaturadas mais próximas à intrusão alcalina.

Estudos geocronológicos utilizando método K-Ar também foram realizados por Winters (1981), e estes demonstraram idades neoproterozóicas de cristalização para o sienito Pedra Branca. O autor utilizou minerais como biotita e ortoclásio, visto que estes apresentam condições favoráveis de retenção de argônio; as idades encontradas foram de 631 ± 18 Ma, para biotita e de 584 ± 32 Ma, para ortoclásio.

O mapa geológico (**Anexo I – Figura I.1.**) apresenta a distribuição das principais fácies mapeadas do plúton, que foram distinguidas a partir dos contrastes petrográficos

das rochas, e agrupadas em quatro unidades de mapeamento. A **Tabela 2** sintetiza essas diferenças.

No anexo I estão apresentados dois mapas geológicos e de pontos: um deles com o plúton inteiro (**Anexo I – Figura I.1.**) e outro um mapa detalhado da porção norte do plúton (**Anexo I – Figura I.2.**).

Unidade	Serrote do Maranhão	Pico da Pedra Branca	Pedra do Coração	Cachoeira do Capitão
Abreviação	USM	UPPB	UPC	UCC
Características petrográficas marcantes	Presença de ortopiroxênio (+diopsídio, ilmeno-hematita).	Presença de diopsídio e ilmeno-hematita.	Presença de clinopiroxênio sódico (egirina-augita), hematita e magnetita	Presença de diopsídio e ilmeno-hematita. Ocorrem ainda sienitos contaminados ricos em biotita

Tabela 2. Características petrográficas diagnósticas das unidades do maciço Pedra Branca.

A nordeste do plúton Pedra Branca foi encontrado ainda um corpo de rocha ultramáfica rica em clinopiroxênio, biotita e apatita. Este biotita clinopiroxenito assemelha-se a enclaves de caráter cumuláticos encontrados nas unidades sieníticas UPC e UPPB, de modo que ele parece ter relação genética com o Sienito Pedra Branca.

O sienito Pedra Branca, devido às suas características estéticas, vem sendo amplamente utilizado como rocha ornamental. Como resultado da importância nesse setor, suas rochas foram estudadas e testadas por Meyer (2003), que as caracterizou como de boa qualidade para tal uso.

III.1.1 Feições de Campo

Unidade Pedra do Coração (Saturada)

A unidade Pedra do Coração (UPC) ocorre na borda N e SSE do plúton, em contato com os migmatitos do embasamento, e sustenta parte das elevações da Serra da Pedra Branca. É constituída por sienitos de caráter saturado a localmente insaturado em sílica, portadores de nefelina (encontrada apenas no ponto PB-92). O mapa geológico apresentado no anexo mostra que esta unidade é intrudida pelos sienitos supersaturados da UPPB (**Anexo I – Figuras I.1. e I.2.**).

Os sienitos saturados são laminados, têm cor marrom-arroxeadada e textura inequigranular média a grossa. Os índices de cor (IC) dos sienitos variam em torno de 25 e os valores de susceptibilidade magnética (SM) são geralmente altos ($K \approx 35 \times 10^{-3}$ SI).

As rochas dessa unidade têm como característica marcante uma forte foliação de fluxo magmático evidenciada pelos feldspatos alcalinos bem alongados (**Anexo II – Foto 1**). As foliações de fluxo têm um padrão geral de mergulho para o centro do plúton. Os principais minerais são feldspato alcalino, piroxênio, biotita e anfibólio, enquanto os minerais acessórios são titanita e apatita (>1%).

Em alguns locais, observa-se a existência de zonas de cisalhamento sin-magmáticas, evidenciadas pela disposição de cristais de feldspato alcalino indeformados de hábito tabular ao longo de pares S/C que permitiram determinar a direção sinistral do movimento (**Anexo II – Foto 2**).

Cumulatos máfico-ultramáficos de dimensões variadas (5 cm a 40 cm) são encontrados associados a sienitos de índice de cor elevado, ou melasienitos (IC= 45), em feições de mistura. Ocorrem ainda em associação com esses enclaves cumuláticos máficos, pequenos corpos, ou até mesmo enclaves de cumulatos feldspáticos, ou leucosienitos (IC= 5) (**Anexo II – Fotos 3 e 4**). Em alguns afloramentos os cumulatos máficos e félsicos podem ocorrer na forma de bandas ou corpos arredondados.

Diques tardios com composições que variam de quartzo sienito a sienito, com dimensões variáveis (desde 2 cm a 40 cm), ocorrem intrusivos nos sienitos, com contatos retilíneos ou em parte sinuosos. Esses diques podem apresentar bandamentos composicionais (**Anexo II – Foto 5**). Pegmatitos são subordinados, e têm como minerais principalmente K-feldspato, quartzo, anfibólio e magnetita. Em alguns locais observa-se intensa alteração hidrotermal com cobre nativo bordejado por malaquita.

Em um dos afloramentos estudados foi observado dique de direção N30E/85SE de rocha ultramáfica afanítica de coloração cinza escura, apresentando bordas de resfriamento, e valores de susceptibilidade magnética $K \approx 43,50 \times 10^{-3}$ SI. Provavelmente a intrusão deste dique relaciona-se ao evento de geração do Maciço Alcalino de Poços de Caldas (**Anexo II – Foto 6**).

Unidade Serra da Pedra Branca (Supersaturada)

Internamente à UPC, em contato intrusivo, ocorre a unidade Pico da Pedra Branca (UPPB), que sustenta as partes mais elevadas da Serra da Pedra Branca. Em campo, esses sienitos diferenciam-se da UPC pela geometria menos alongada dos cristais

tabulares de feldspato alcalino, resultando numa foliação de fluxo magmática menos marcada, embora ainda muito evidente (**Anexo II – Foto 7**).

Esses sienitos têm coloração marrom arroxeada, por vezes rosada e geralmente apresentam baixos valores de susceptibilidade magnética ($K \sim 5 \times 10^{-3}$ SI). Em alguns afloramentos (PB-185 e PB186), entretanto, a susceptibilidade pode atingir valores de $K = 56 \times 10^{-3}$ SI.

As rochas desta unidade são sienitos supersaturados, portadores de quartzo, que têm mineralogia à base de feldspato alcalino, piroxênio, anfibólio, biotita, titanita e apatita (esta em proporções de até 2%). Em algumas amostras está presente pequena proporção de plagioclásio, que pode formar cristais corroídos associados ao feldspato alcalino.

Com frequência, assim como na UPC, são encontradas concentrações de minerais máficos. Esses cumulos em alguns casos podem conter em seu interior pequenos enclaves dioríticos (exclusivos das unidades supersaturadas UPPB, USM e UCC) (**Anexo II – Foto 8**), ou ainda podem ocorrer formando vênulas concordantes com a foliação de fluxo magmático.

Rochas félsicas (leuco-sienitos, quartzo sienitos grossos e pegmatíticos) são subordinadas, e ocorrem como diques retilíneos com até 40 cm de largura. Em muitos pontos a susceptibilidade magnética aumenta nas proximidades desses veios, como resultado de atividade hidrotermal. Os pegmatitos encontrados constituem-se por álcali feldspato e quartzo, que podem formar intercrescimentos gráficos (**Anexo II – Foto 9**), e podem exibir cristais destacados de magnetita e titanita.

As relações de interação de sienitos laminados típicos da unidade com melasienitos finos, produzem acumulações máficas (piroxênio, biotita e apatita) nos contatos. Muitas vezes associadas aos cumulos máficos ocorrem acumulações félsicas (ricas em álcali feldspato) (**Anexo II – Foto 11**).

Os enclaves microgranulares máficos encontrados nesta unidade têm dimensões que variam de 1 a 7 cm e apresentam em sua composição principalmente plagioclásio, biotita (que ocorre não somente no enclave, mas também se desenvolve nas bordas sugerindo desequilíbrio com a rocha hospedeira) e algum quartzo. Nos sienitos aparecem também xenocristais de plagioclásio incluídos por feldspato alcalino (**Anexo II – Foto 10**). Estes xenocristais de plagioclásio podem ocorrer em proximidades dos enclaves microgranulares, ou isoladamente.

Em uma das pedreiras visitadas (*afloramento PB-185*) foi amostrado um enclave de rocha ultramáfica de granulação grossa, constituído principalmente por biotita,

piroxênio, titanita, apatita, com alguns cristais submilimétricos de bornita e calcopirita. A relação desta rocha com os sienitos será estudada em trabalhos futuros.

Na maioria dos casos os sienitos não apresentam deformação no estado sólido, entretanto encontrou-se um afloramento intensamente milonitizado, com formação de porfiroclastos de anfibólio e de quartzo, em uma zona de cisalhamento de direção N62W/subvertical, que trunca a foliação magmática do sienito de direção N25W/85SW (afloramento PB-213) (Anexo II – Foto 12).

Unidade Serrote do Maranhão

A unidade Serrote do Maranhão (SM) é a mais interna do plúton, e ocorre em uma área de relevo rebaixado. Possui contato interno com as rochas alcalinas de Poços de Caldas e externamente está em contato com a unidade Pico da Pedra Branca. Esta unidade é a mais jovem do plúton, e intrude a UPPB.

É constituída por sienitos supersaturados de granulação fina a média. Os minerais máficos típicos desta unidade são diopsídio, hornblenda, biotita e apatita, podendo ocorrer ainda ortopiroxênio. A foliação de fluxo magmático é menos marcada se comparada às porções mais externas do maciço. Ocorrem ainda em muitos afloramentos cristais grandes de biotita com hábito irregular.

Enclaves microgranulares máficos, além de diques de quartzo-sienitos e pegmatíticos, também são encontrados nesta unidade.

Unidade Cachoeira do Capitão

A unidade Cachoeira do Capitão (UCC) corresponde a corpos lenticulares que ocorrem a NE, separados do restante do plúton por um septo de granitos, constituindo provavelmente a unidade mais antiga do maciço. Trata-se de sienitos laminados de granulação média que podem ou não ocorrer associados a rochas bandadas ou até mesmo e sienitos contaminados ricos em biotita.

As rochas desta unidade se assemelham muito com os sienitos encontrados no sienito Capituva, a nordeste do plúton Pedra Branca (Janasi, 1993).

Capítulo IV - Petrografia

IV.1. Petrografia

Sienitos saturados – Unidade Pedra do Coração

O aspecto geral dos sienitos desta unidade é caracterizada pela ausência de quartzo e ainda pela coloração verde escuro dos clinopiroxênios que pode ser observado no **anexo III (Fotomicrografia 1)**.

A fase mineral mais abundante da rocha é o feldspato alcalino, que perfaz em geral, 65% em volume. Seu hábito tabular fortemente alongado (com ~2 'cm de comprimento) define uma foliação de fluxo magmático bem marcada. Tipicamente apresenta aspecto "sujo", devido à grande quantidade de inclusões de hematita e, até mesmo, clinopiroxênio. Geminação Carlsbad é comum, além disso, os feldspatos podem ter zoneamentos composicionais e raramente apresentam geminação em grande indicando a presença de microclínio.

A tendência alcalina apresentada pelos sienitos desta unidade é caracterizada pela ocorrência de piroxênios ricos em Na, com proporções mais altas de molécula acmita em sua composição. O clinopiroxênio de coloração verde escuro, soda-augita a egirina-augita, tem caráter idiomórfico a subidiomórfico, indicando tratar-se de uma das fases precoces da cristalização magmática. A coloração verde escura deve-se à maior proporção da molécula acmita (ver item **III.1.3 Química Mineral**). Pode apresentar zoneamento composicional, que é demonstrado pela presença de núcleos mais claros (**Anexo III - Fotomicrografia 2**).

O anfibólio é edenita e possui coloração verde claro. Este mineral tem hábito xenomórfico, e pode substituir parcialmente o clinopiroxênio (**Anexo III - Fotomicrografia 3**) ou até mesmo ocorrer como cristais isolados. A biotita possui cor alaranjada, intenso pleocroísmo, hábito idiomórfico e ocorre sempre em associação com clinopiroxênio e minerais opacos.

Os minerais acessórios são titanita anédrica, por vezes zonada (**Anexo III - Fotomicrografia 4**), apatita relativamente abundante que ocorre como cristais bem distribuídos na rocha (proporções maiores que 2%), além de zircão. Em uma amostra (PB-92A), foi encontrada nefelina intersticial (**Anexo III - Fotomicrografia 5**) com hábito irregular, que ocorre em proporções menores que 1%.

Os minerais opacos encontrados são magnetita e hematita (**Anexo III - Fotomicrografia 6**). Petrograficamente esta unidade difere-se da UPPB por apresentar

hematita pobre em lamelas de ilmenita (<10%). A hematita quase pura (**Anexo III - Fotomicrografias 7 e 8**) se associa com o clinopiroxênio verde (egirina-augita), entretanto quando em paragênese com anfibólio a hematita se enriquece em ilmenita, e com isso as lamelas tornam-se mais abundantes (**Anexo III – Fotomicrografias 9 e 10**).

A hematita pode aparecer com bordas finas de titanita, diferentemente das unidades supersaturadas, o que pode sugerir uma mudança no estado de oxidação do magma. A presença de magnetita, cuja abundância tem relação direta com valores mais altos de susceptibilidade magnética, é observada tanto em paragênese com clinopiroxênio, sugerindo cristalização precoce, quanto em associação com a alteração do anfibólio, quando é claramente uma fase tardia (**Anexo III – Fotomicrografias 9 e 10**).

Sienitos supersaturados - Unidades Pico da Pedra Branca, Serrote do Maranhão e Cachoeira do Capitão

Sienitos supersaturados (portadores de quartzo) ocorrem em três unidades textural e mineralogicamente distintas, todas com foliação de fluxo magmático marcada pela orientação de feldspato alcalino tabular, mas menos intensa que a apresentada pela unidade UPC. Outra característica distintiva é a cor clara do clinopiroxênio (diopsídio) em todas as unidades supersaturadas, e na Unidade Serrote do Maranhão, pode ser acompanhado de ortopiroxênio.

O clinopiroxênio diopsídio de coloração verde claro a incolor (**Anexo II – Fotomicrografia 12**) ocorre idiomórfico a subidiomórfico e pode apresentar inclusões de minerais opacos. Na unidade USM, ocorre também ortopiroxênio (enstatita), na forma de pequenos cristais granulares, em parte alterados para massas de filossilicatos (**Anexo II – Fotomicrografia 13**). O anfibólio, também edenita, verde escura, é xenomórfico e substitui em partes o diopsídio nas fases finais da cristalização (**Anexo II – Fotomicrografia 12**).

Os cristais de feldspato alcalino são abundantes, têm hábito tabular menos alongado que em UPC, e aspecto turvo, porém possuem menor proporção de inclusões do que os feldspatos encontrados na unidade saturada. Pertitas e mesopertitas são muito comuns em todas as unidades, porém um pouco mais abundantes na unidade central (USM). Em algumas amostras são encontrados cristais isolados de plagioclásio, em geral com An₃₀₋₄₀, que apresentam bordas arredondadas devido à corrosão, e está incluído pelo feldspato alcalino (**Anexo II - Fotomicrografia 21**). O quartzo geralmente é intersticial, e ocorre na forma de pequenos cristais isolados, em proporções sempre inferiores a 6%.

A biotita marrom associa-se ao clinopiroxênio, ocupando os interstícios entre os feldspatos alcalinos tabulares (**Anexo II - Fotomicrografia 14**). Apatita é muito abundante e, em geral de hábito idiomórfico (**Anexo II – Fotomicrografia 15**). A titanita é anédrica e pode ocorrer sob a forma de inclusões em clinopiroxênio ou como bordas em minerais opacos.

O carbonato também é um mineral acessório nestas rochas, podendo aparecer de duas formas: como cristais independentes de maior tamanho (0,2 mm) e aparentemente primários, em paragênese com anfobólio incolor e plagioclásio; ou até mesmo como produto de alteração do feldspato (secundário).

Nas unidades supersaturadas o mineral opaco mais abundante é a ilmeno-hematita (**Anexo II – Fotomicrografia 16**), mas em algumas amostras também ocorre magnetita.

Na UPPB a hematita é tipicamente rica em lamelas de ilmenita, que pode chegar a constituir até 45% do cristal. Na amostra PB-141 encontrou-se hematita quase pura sem lamelas de ilmenita. A maioria das amostras descritas demonstrou que a ilmeno-hematita se forma nas fases iniciais de cristalização, visto que esta ocorre em paragênese com clinopiroxênio (diopsídio), mineral de cristalização precoce nestes magmas. A ilmeno-hematita, com frequência apresenta formas arredondadas e bordas de titanita, o que indica um desequilíbrio entre as fases (**Anexo II – Fotomicrografias 17 e 18**).

A magnetita é pouco abundante e, na maioria dos casos, é posterior à ilmeno-hematita, associando-se a anfibólio (hornblenda-edenítica), biotita, titanita e plagioclásio, que se formam na fase tardi-magmática (**Anexo II – Fotomicrografias 19 e 20**).

Enclaves máficos e ultramáficos

Foi feita uma análise petrográfica em um dos enclaves microgranulares máficos (**Anexo II – Fotomicrografia 22**). A textura destes enclaves é fortemente granoblástica, poligonal e eles são constituídos por plagioclásio (An_{35-35}), biotita marrom e algum quartzo. O plagioclásio, na porção central do enclave, apresenta alterações de carbonato e sericita.

Nos contatos entre o enclave e o sienito ocorrem cristais de biotita marrom, fortemente pleocróica e de granulação grossa; alguma das biotitas encontradas no sienito assemelham-se com as do enclave. Esta feição pode sugerir a interação dos dois magmas, o que poderia ser confirmado através de química mineral de ambas, porém neste trabalho a amostra (PB-209D) foi analisada.

Outra feição sugestiva de interação dos magmas foi encontrada no ponto PB-209C, onde foi amostrado um enclave, macroscopicamente descrito como diorítico. Petrograficamente foi identificado como um monzosienito (**Anexo II – Fotomicrografia 23**), que tem como minerais principais: feldspato alcalino, plagioclásio (An_{30-35}) clinopiroxênio diopsídio verde claro, que por vezes é substituído por anfibólio verde escuro, biotita marrom quartzo e minerais opacos. Possivelmente esta rocha pode tratar-se do produto de hibridização entre o sienito e os enclaves dioríticos.

Existem também cumulos com piroxênio típico das unidades supersaturadas, o diopsídio (verde claro), anfibólio (verde escuro), biotita e titanita (**Anexo II – Fotomicrografia 24**). Estas rochas são produtos de acumulações de cristais dos magmas supersaturados (UPPB, USM e UCC), assim como observado na UPC, onde há acumulação principalmente de soda-augita a egrina-augita, flogopita e apatita.

Cumulos ultramáficos centimétricos de granulação grossa ocorrem com frequência associados aos sienitos. A petrografia de um destes enclaves em particular, que apresenta granulação grossa, encontrado na UPPB (*afloramento PB-185*) revelou semelhanças com os sienitos da UPC, apesar de macroscopicamente distinguirem-se pelo maior conteúdo em flogopita e a presença de minerais com bornita e calcopirita. Como exemplo o clinopiroxênio, que é verde escuro, possivelmente uma egrina-augita e a biotita alaranjada, entre outros estão apatita, titanita, raros feldspatos alcalinos peritéticos, minerais opacos como: magnetita, bornita, calcosina e calcopirita (**Anexo II – Fotomicrografias 25 e 26**).

Veios e diques de quartzo sienito

Em quartzo sienitos tardios do plúton são encontrados álcali feldspatos, por vezes microclínio com geminação em grade, clinopiroxênio, cristais grandes de plagioclásio e ainda quartzo como fase tardia. O clinopiroxênio apresenta zoneamento composicional com enriquecimento em sódio nas bordas (**Anexo III – Fotomicrografias 27 e 28**), hábito xenomórfico e alto grau de fraturamento. Além do intenso fraturamento, a egrina-augita apresenta corrosão nas bordas, onde cristalizam carbonatos e plagioclásio.

Capítulo V – Química Mineral

V.1. Química Mineral

A química mineral obtida em microsonda eletrônica demonstrou características marcantes que diferenciam as unidades previamente descritas. Os resultados obtidos para piroxênio, biotita, anfibólio, óxidos de Fe-Ti e feldspato são apresentados no **Anexo IV**; os diagramas bi e trivariantes estão no fim deste capítulo.

Piroxênio

As variações químicas observadas nos piroxênios do Sienito Pedra Branca caracterizam a tendência alcalina da UPC, pois os piroxênios, diferentemente das outras unidades, apresentam composições mais sódicas.

O diagrama Q-J (**Figura V.1.**) foi utilizado na classificação dos clinopiroxênios (Morimoto, 1990). Tanto USM quanto em UCC situam-se no campo Quad dos piroxênios de Ca-Mg-Fe; já na UPC os piroxênios possuem composições variando entre cálcicas e sódico-cálcicas.

O sistema CaSiO_3 (wollastonita)- MgSiO_3 (enstatita)- FeSiO_3 (ferrosilita) (**Figura V.2.**) (Morimoto, 1990) foi utilizado para classificar os piroxênios presentes nas unidades estudadas. O ortopiroxênio, presente exclusivamente na unidade USM, é magnesiano, e situa-se no campo da enstatita. Já os clinopiroxênios plotam no campo do diopsídio (unidades supersaturadas) ou até mesmo no campo das augitas.

O diagrama WEF (wollastonita-enstatita-ferrosilita)- Jd (jadeíta)- Ae (aegirina) (**Figura V.3.**) (Morimoto, 1990) foi empregado para demonstrar a tendência alcalina dos piroxênios presentes na unidade Pedra do Coração. Este diagrama demonstra, assim como o anterior, a existência de dois grupos distintos de piroxênio, um deles com caráter mais sódico, chegando a egrina-augita da UPC e outro de caráter cálcico, característico das unidades supersaturadas.

O diagrama binário $\text{Fe}^{3+} + \text{Na}^+ \leftrightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{Ca}^{2+}$ (**Figura V.4.**) representa a troca catiônica mais importante que ocorre nos piroxênios estudados. É notável que os piroxênios da UPC admitem maior proporção dessa troca, fato que resulta na presença de piroxênio egrina-augita.

Anfibólio

Foram obtidos dados em microsonda eletrônica para os anfibólios apenas das unidades Pedra do Coração e Pico da Pedra Branca.

Os dados foram plotados no diagrama classificatório para os anfibólios definido por Leake (1997) (**Figura V.5.**). Os anfibólios analisados possuem composições magnesianas e apresentam elevada proporção do cátion Si^{4+} no sítio tetraédrico, sendo classificados como edenita. A UPC apresenta anfibólios com maiores Mg# do que os encontrados em UPPB.

Foi gerado ainda um diagrama que representa a troca edenítica $\text{Al}^{3+}(\text{Na}^+ + \text{K}^+) \leftrightarrow \text{Si}^{4+}\square$, importante na cristalização dos anfibólios do sienito Pedra Branca. Deste diagrama fica claro que os anfibólios da UPC têm maior quantidade de Si^{4+} em sua estrutura cristalina, se comparados aos de UPPB (**Figura V.6.**).

Biotita

A biotita do Sienito Pedra Branca apresenta composições magnesianas, como mostra o diagrama classificatório (Deer et al, 1992) (**Figura V.7.**), no qual todas as amostras situam-se no campo da flogopita.

É evidente que a unidade Pedra do Coração tem maior proporção de Mg^{2+} , e portanto a biotita encontrada nesta unidade é mais enriquecida na molécula flogopita. A flogopita das unidades supersaturadas (UPPB, USM e UCC) admite maior quantidade de Al no sítio tetraédrico.

A **Figura V.8.**, confronta Ti com o Mg# ($=\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})$), e ilustra o caráter enriquecido em magnésio da flogopita da UPC quando comparada com as unidades supersaturadas (UPPB, USM e UCC). A flogopita da unidade UCC apresenta maiores conteúdos em Ti, enquanto as de UPC possuem os maiores valores de Mg e menor Ti. Esta característica deve resultar do caráter oxidado do magma da UPC, o que implica em uma maior aceitação do cátion Mg^{2+} na estrutura cristalina da biotita devido à carência de Fe^{2+} .

Em contraste com o que é observado nas outras unidades, a UPPB possui dois tipos de flogopita. Ambas apresentam valores intermediários de Ti, porém diferem na quantidade de Mg, o que deve estar relacionado a duas gerações distintas deste mineral.

Foi utilizado também um diagrama confrontando os valores de Ti com Al(IV) (**Figura V.9.**). Neste diagrama é evidente que as flogopitas de UPC apresentam menores

proporções de Ti e Al, quando comparadas às unidades supersaturadas (UPPB, USM e UCC).

Óxidos de Fe-Ti

Os óxidos de Fe e Ti encontrados no sienito Pedra Branca, assim como os outros minerais máficos, demonstram as condições de alta fugacidade de oxigênio durante a formação destas rochas.

O diagrama classificatório de óxidos (Buddington & Lindsley, 1964) apresentado na **Figura V.11.** caracteriza as ilmeno-hematitas e magnetitas do sienito Pedra Branca. A magnetita presente tanto na UPPB quanto na UPC apresenta composições quase puras, sendo todas elas pobres em TiO_2 , característica típica de condições de alta fugacidade de oxigênio.

As composições da hematita mostram teores variados, mas em geral baixos, da molécula ilmenita tanto na UPC quanto na UPPB. As hematitas da UPC mostram petrograficamente pequenas proporções de lamelas de ilmenita (em todos os casos com a ilmenita perfazendo cerca de 10% dos cristais de $\text{He}_{(\text{ss})}$). As análises químicas integradas demonstram que elas possuem composições no intervalo $\text{He}_{45-55}\text{Ilm}_{55-45}$, revelando que a fase hospedeira das lamelas é de alta temperatura, ainda rica no componente ilmenita. Os cristais de ilmeno-hematita da UPPB, apesar de mais ricos em lamelas de ilmenita, quando reintegrados revelam composições semelhantes às da UPC ($\text{He}_{45-55}\text{Ilm}_{55-45}$); contudo, eles se associam a cristais ricos em ilmenita ($\text{He}_{10-15}\text{Ilm}_{90-85}$), sugestivos de composições originais mais ricas em Ti, dentro do intervalo do *solvus* hematita-ilmenita.

Feldspato

O feldspato alcalino é o mineral mais abundante no Sienito Pedra Branca, onde perfaz um mínimo de 65% do volume das rochas, e marcam a intensa foliação de fluxo magmático.

O diagrama classificatório dos feldspatos (**Figura V.10.**) mostra que a grande maioria das análises de feldspato alcalino presente na unidade UPPB tem composição no intervalo $\text{Or}_{60}\text{-Or}_{68}$, enquanto em UPC predominam composições um pouco mais potássicas, entre $\text{Or}_{70}\text{-Or}_{80}$. Em UPC foi encontrado ainda feldspato sódico (albita), que tem caráter secundário

Piroxênio

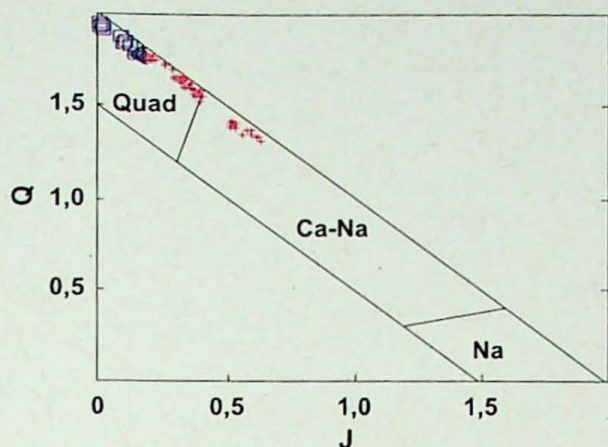


Figura V.1. Diagrama classificatório QJ para piroxênios do sienito Pedra Branca (Morimotto, 1990).

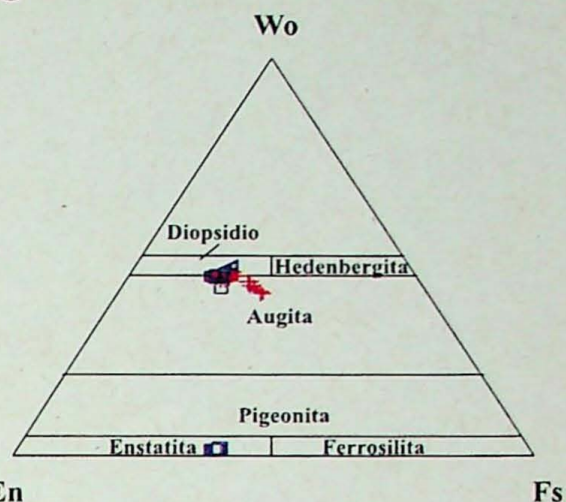


Figura V.2. Diagrama classificatório Wo-En-Fs para piroxênios do sienito Pedra Branca (Morimotto, 1990).

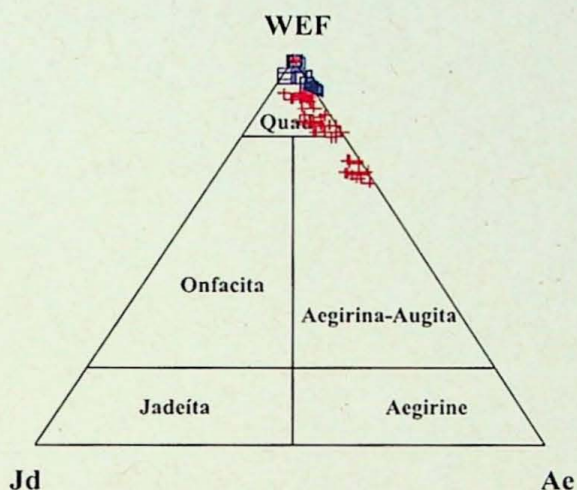


Figura V.3. Diagrama classificatório Wo-En-Fs para piroxênios do sienito Pedra Branca (Morimotto, 1990).

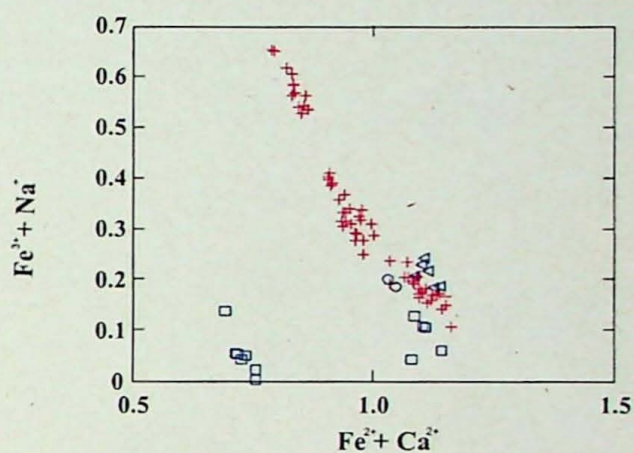


Figura V.4. Diagrama da troca catiônica $Fe^{3+}/Na^{+} \times Fe^{2+}/Ca^{2+}$ para piroxênios do sienito Pedra Branca.

Anfibólio

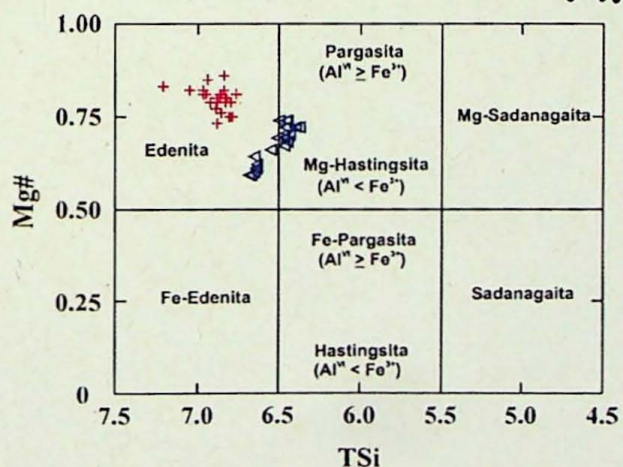


Figura V.5. Diagrama classificatório para anfibólios do sienito Pedra Branca (Leake, 1997).

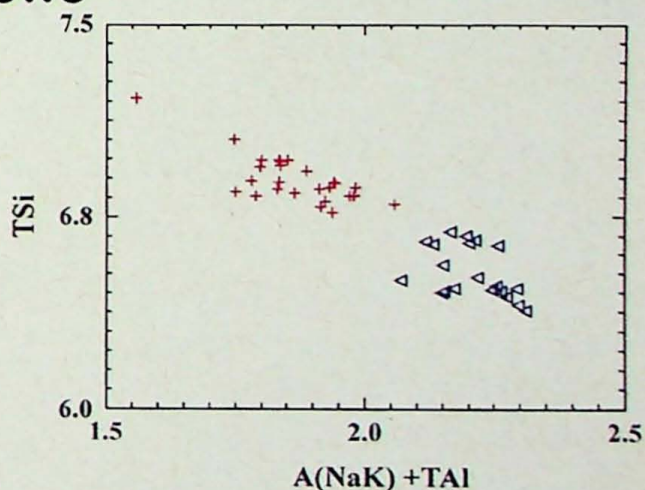


Figura V.6. Diagrama representativo da troca edenítica para os anfibólios do sienito Pedra Branca.

□ Unidade Serrote do Maranhão (USM)

○ Unidade Cachoeira do Capitão (UCC)

◁ Unidade Pico da Pedra Branca (UPPB)

+ Unidade Pedra do Coração (UPC)

Biotita

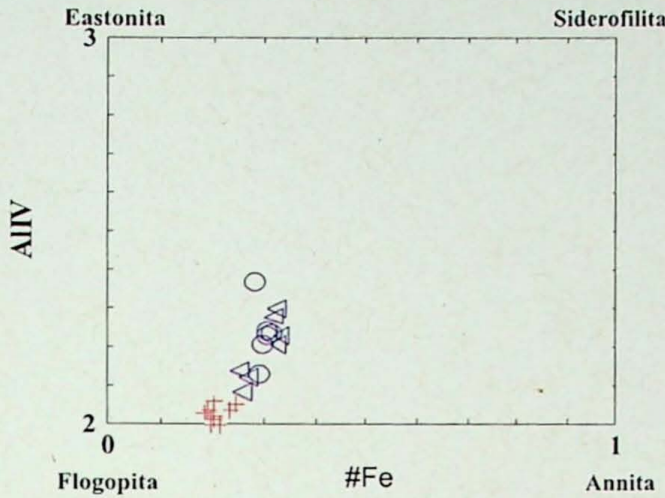


Figura V.7. Diagrama classificatório de biotitas do sienito Pedra Branca (Deer et al., 1992).

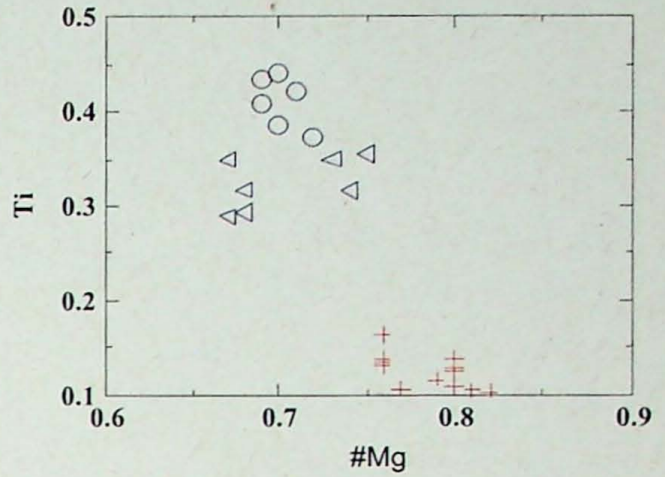


Figura V.8. Diagrama confrontando Ti versus #Mg para biotitas do sienito Pedra Branca.

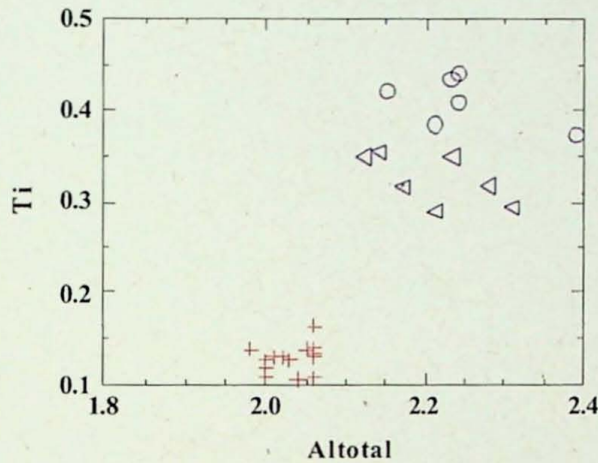


Figura V.9. Diagrama confrontando Ti versus Al para biotitas do sienito Pedra Branca.

Feldspato

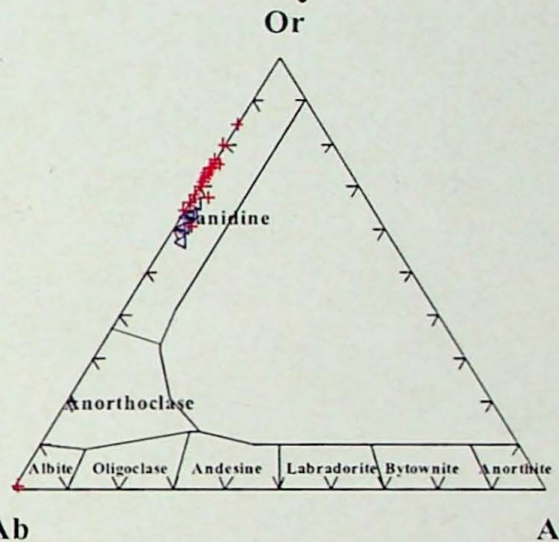


Figura V.10. Diagrama classificatório de feldspatos do sienito Pedra Branca.

Óxidos de Fe-Ti

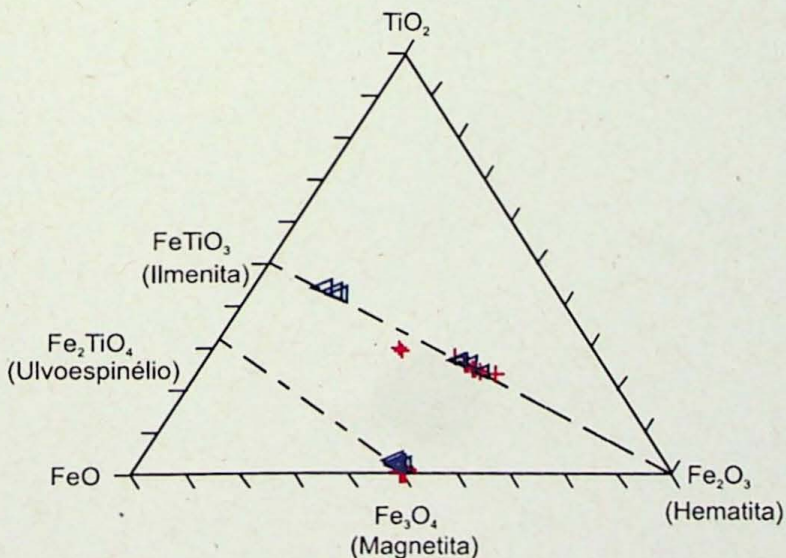


Figura V.11. Diagrama classificatório de óxidos do sienito Pedra Branca (Buddington & Lindsley, 1964).

- Unidade Serrote do Maranhão (USM)
- △ Unidade Pico da Pedra Branca (UPPB)
- + Unidade Pedra do Coração (UPC)
- Unidade Cachoeira do Capitão (UCC)

Capítulo VI - Geoquímica

VI.1.4. Geoquímica

Existe atualmente um conjunto de dados de química de rocha total em 31 amostras do Plúton Pedra Branca, sendo 28 de sienitos (UPC, UPPB, USM e UCC) e 3 de rochas ultrabásicas encontradas em associação com o mesmo. Os métodos utilizados foram Fluorescência de Raios X, em 31 amostras, e ICP-MS, para determinação de elementos traços e terras raras, em 12 amostras. Os diagramas de variação estão apresentados no fim deste capítulo, enquanto as tabelas referentes aos dados estão no anexo IV juntamente com as tabelas de química mineral.

Elementos Maiores

Os teores de SiO_2 mostram variação restrita (53-61%) entre os sienitos do Plúton Pedra Branca, tanto nas unidades supersaturadas quanto na saturada. A amostra de quartzo sienito tardio (*amostra PB-186B2*) encontrado na UPPB é mais diferenciada e apresenta ~66% de SiO_2 .

As três amostras de rochas ultrabásicas encontradas em associação com os sienitos são mais primitivas, e possuem teores de SiO_2 inferiores a 45%. Os índices $\text{mg\#}$ ($((100 \cdot \text{MgO})/(\text{MgO} + \text{FeO}t))$, em proporções moleculares) das amostras PB-8D e PB-169 são da ordem de 52-54, similares aos a todo conjunto (UPC, UPPB, USM e UCC) (**Figura VI.1.**), porém um destes cumulos (amostra PB-185C) atinge $\text{mg\#} \sim 65$. O menor valor de $\text{mg\#}$ foi encontrado na *amostra PB-186B2*, o quartzo sienito tardio (~ 24).

A situação das rochas do plúton no diagrama A/NK versus A/CNK proposto por Maniar & Piccoli (1989) com base nos parâmetros de Shand é apresentada no (**Figura VI.1.***). Existe um amplo predomínio do caráter metaluminoso tanto para UPC quanto para UPPB; uma diferença importante, no entanto, é que UPC alcança valores menores de A/CNK e, exibe A/NK muito próximos de 1, no limite com o campo peralcalino. É notável que amostras da USM se aproximam do campo peraluminoso, assim como o quartzo sienito tardio (amostra PB-186) da UPPB. Das amostras cumuláticas, duas são francamente peralcalinas: PB-8D e PB-185C, enquanto PB-169 é metaluminosa.

A variação dos óxidos dos elementos maiores com relação à sílica mostra as seguintes tendências.

Os conteúdos de Fe_2O_3 , TiO_2 e MgO mostram tendência geral a diminuir com o aumento de SiO_2 (**Figura VI.1.**) Os valores de TiO_2 variam de 1 a 1,8% entre os sienitos,

e alcançam valores muito elevados nas amostras de cumulos (até ~6% TiO_2 em PB-169).

Os conteúdos de CaO e Na_2O (**Figura VI.2.**) são sutilmente maiores na UPC, se comparada às unidades supersaturadas, embora as últimas tenham minerais cálcicos quase puros, como o diopsídio. Em todas as unidades, os maiores teores de CaO são encontrados nas amostras com mais alto mg# (**Figura VI.2.**).

Os sienitos da Pedra Branca possuem altos teores de K_2O : entre 5,5 e 7,5%. Ocorrem três grupos distintos (**Figura VI.2.***), o da UPC, que apresenta os mais altos teores, o da UPPB, de teores sutilmente menores, e USM e UCC, menos ricos nesse óxido. O diagrama K_2O versus SiO_2 , mostrado na **Figura VI.2.*** (Peccerillo e Taylor, 1976), ilustra que os altos teores de K situam todas as amostras no campo da série shoshonítica; no entanto, a ausência de plagioclásio modal na maioria das amostras indica ser inadequado classificar o Sienito Pedra Branca dentro desta série, dado que shoshonitos são definidos originalmente como variedades basálticas.

Uma característica importante que diferencia as unidades supersaturadas (USM, UCC e UPPB) da unidade saturada UPC é o conteúdo de Al_2O_3 , maior nas primeiras (**Figura VI.1.**). Estes mais altos valores de Al_2O_3 se refletem na maior proporção de anortita como mineral normativo (**Figura VI.1.****); petrograficamente, tal característica se expressa na presença de plagioclásio modal em algumas dessas amostras.

Todas as unidades sieníticas apresentam altos teores de P_2O_5 (>0,7%) mas valores sensivelmente maiores (1,2-2%) são alcançados apenas por sienitos da UPC. Teores notavelmente elevados (2,7-3,5%) são característicos dos cumulos (**Figura VI.2.**).

Elementos Traços

Os elementos litófilos Ba, Sr e Rb

Característica comum a todas as variedades de sienitos do Plúton Pedra Branca são os altos teores em elementos incompatíveis, em especial os LILE (K, Ba, Sr) e os Elementos Terras Raras Leves (LREE).

Todas as amostras apresentam altos teores de Ba (3700-9500 ppm); os maiores são encontrados na UPC (amostra PB-36A), e os menores na USM. A **Figura VI.3.** demonstra claramente a divisão das amostras em dois grupos, um deles com menores teores tanto de Rb quanto de Ba, representados pelas unidades USM e UCC, e outro com maiores proporções dos dois elementos, nas unidades UPC e UPPB.

Os teores de Sr também são elevados, e mostram claramente uma correlação positiva com o Ba; a correlação com o Rb é também menos evidente, em especial na unidade UPC (**Figura VI.3.**),

Embora, em linhas gerais, o maior enriquecimento nesses LILE (Ba, Sr e Rb) ocorra na unidade UPC, observa-se que existe uma significativa variação e dispersão de teores, fato também observado para importantes índices petrogenéticos, como o mg#. Isto pode sugerir a existência de diferentes pulsos magmáticos dentro desta unidade. Por outro lado, algumas amostras das unidades UPPB (e.g., *PB-123A* e *PB-148*) apresentam teores de Ba, Sr e Rb semelhantes aos da UPC, reforçando a idéia de um possível vínculo com esta unidade.

Os padrões de elementos terras-raras

O forte fracionamento dos elementos terras raras leves, retratado nos padrões normalizados pelo condrito (McDonough & Sun, 1995) é uma característica marcante do plúton como um todo (**Figura V.6.**), apesar das diferenças existentes entre as unidades. As elevadas razões $(La/Yb)_N$ demonstram este forte fracionamento. Entre as unidades supersaturadas, é notável que UCC e USM (**Figura VI.5.**) têm comportamentos semelhantes e apresentam os teores menos elevados de ETR do conjunto, e razões $(La/Yb)_N$ menos exageradas (41-46).

Por outro lado, uma grande variação das razões $(La/Yb)_N$ é encontrada tanto na UPPB (variam entre 54 a 131), quanto na UPC (variam de 64 a 110) (**Figuras VI.4., VI.5. e VI.6.**). A amostra *PB-148* apresenta os maiores teores de elementos terras raras leves de todo o conjunto.

As rochas do plúton Pedra Branca como um todo não apresentam anomalia negativa de Eu, fato que pode sugerir a ausência de cristalização do plagioclásio ou até mesmo que houve a extração deste mineral.

O fracionamento dos elementos terras raras na amostra de quartzo sienito tardio (*PB-186B2*) é fraco e tem razão $(La/Yb)_N = 5$, o que é sugestivo de que esta rocha seja o produto de um líquido residual empobrecido nestes elementos. Nesta amostra foi encontrada uma sutil anomalia negativa de La.

Os padrões de elementos incompatíveis

As **Figuras VI.7., VI.8. e VI.9.** mostram o comportamento dos elementos incompatíveis, normalizados pelo manto primitivo de Sun & McDonough (1989).

Elementos incompatíveis são abundantes nessas rochas, com um típico padrão de enriquecimento progressivo em direção aos elementos mais incompatíveis. Em todas as amostras analisadas (unidades supersaturadas e saturadas) ocorrem picos bem pronunciados em elementos como Ba, K e La, (Figuras VI.7., VI.8. e VI.9.).

Destacam-se claramente nos padrões as anomalias negativas em elementos HFS (Ta-Nb, Hf-Zr e Ti) em todas as unidades, exceto pela amostra *PB-181* (UPC) que apresenta altos valores de Zr e Hf isto pode estar ligado à acumulação de minerais com altos teores nestes elementos (Figura VI.7.). Anomalias negativas em Th e U também são observadas.

As unidades supersaturadas UCC e USM têm comportamento similar e apresentam os menores teores de elementos incompatíveis do conjunto de amostras (Figura VI.8.). O comportamento dos elementos incompatíveis na UPC e na UPPB mostram ampla variação, especialmente para os elementos Ba, K, La, Sm e Nd, e apresentam bastante superposição. Estas características sugerem algum vínculo genético entre as duas unidades; ao mesmo tempo, a dispersão nos elementos presentes em minerais acessórios, podem demonstrar a possibilidade de extratação de material líquido, com uma acumulação de cristais ricos nestes elementos.

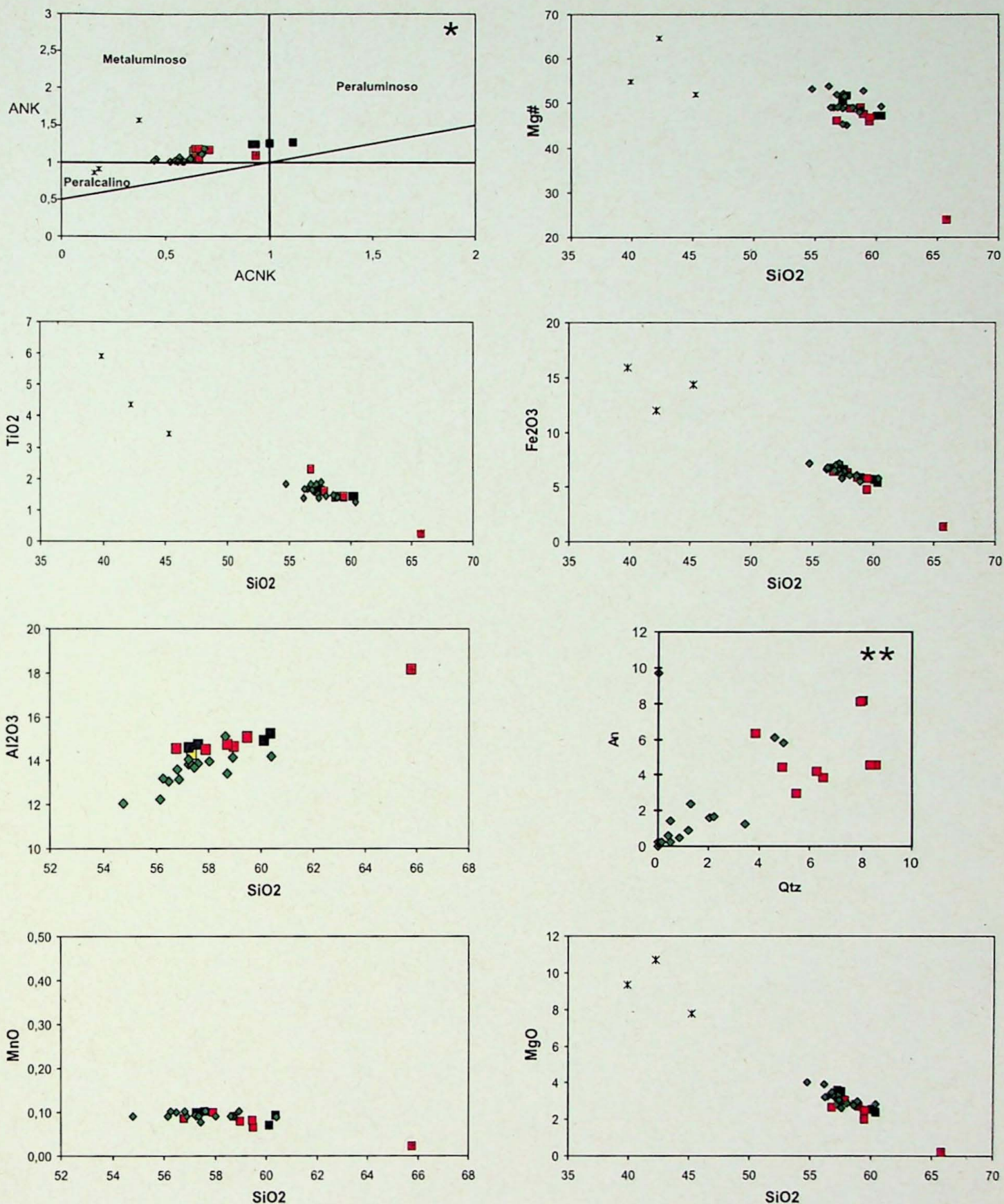
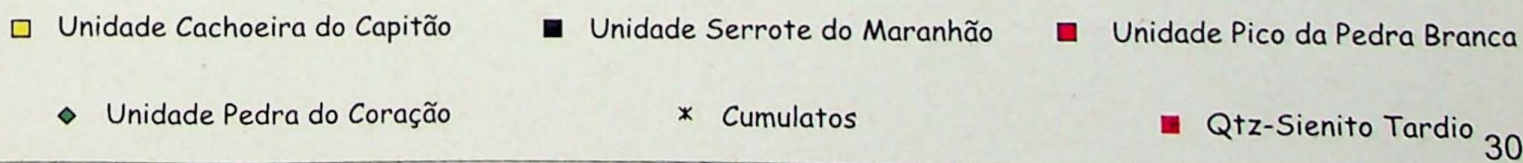


Figura VI.1. Diagramas de variação (Elementos Maiores, valores em % em peso) dos sienitos do Plúton Pedra Branca, utilizando SiO₂ como índice de diferenciação.

* Diagrama de Afinidade Geoquímica para os sienitos do Plúton Pedra Branca (Maniar & Piccoli, 1989).

** Diagrama de Anortita Normativa versus Quartzo Normativo



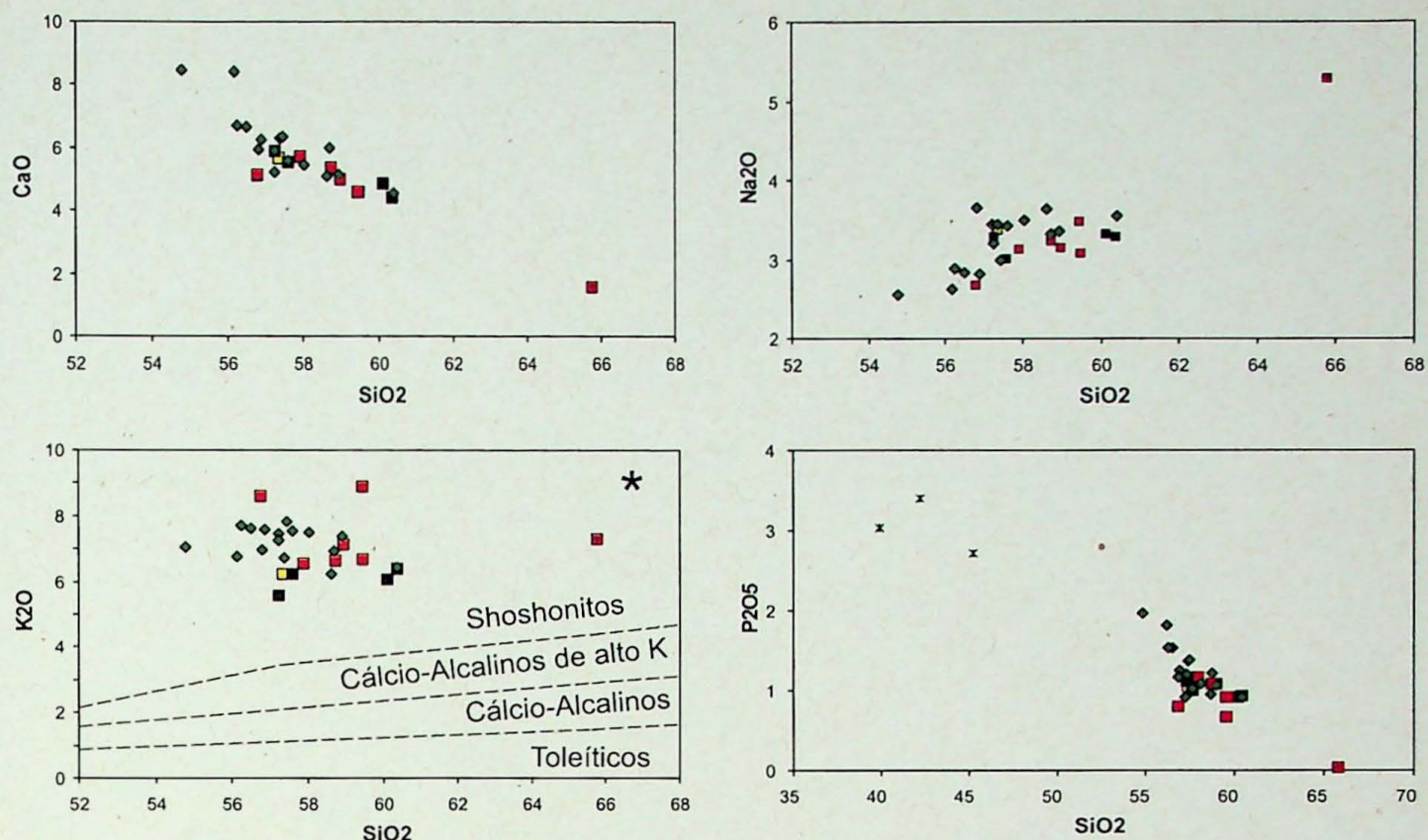


Figura VI.2. Diagramas de variação (Elementos Maiores, valores em % em peso) dos sienitos do Plúton Pedra Branca, utilizando SiO₂ como índice de diferenciação.

* Diagrama modificado de Pacerillo & Taylor (1976).

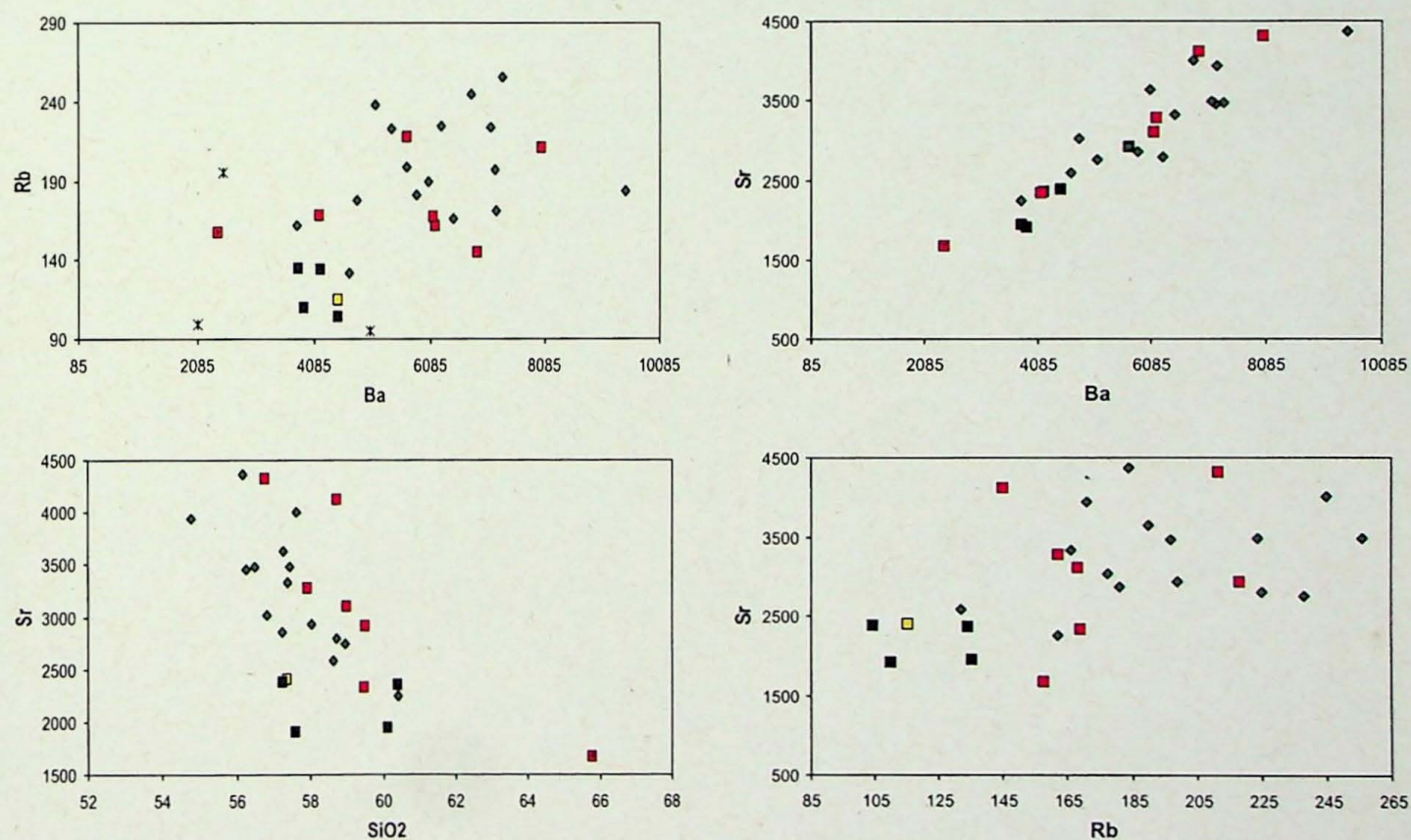
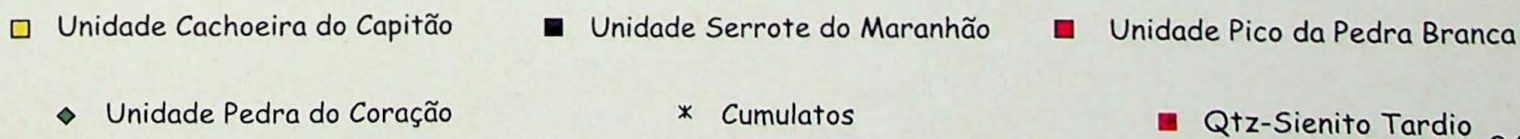


Figura VI.3. Diagramas de variação (Elementos Traços, valores em ppm) dos sienitos do Plúton Pedra Branca.



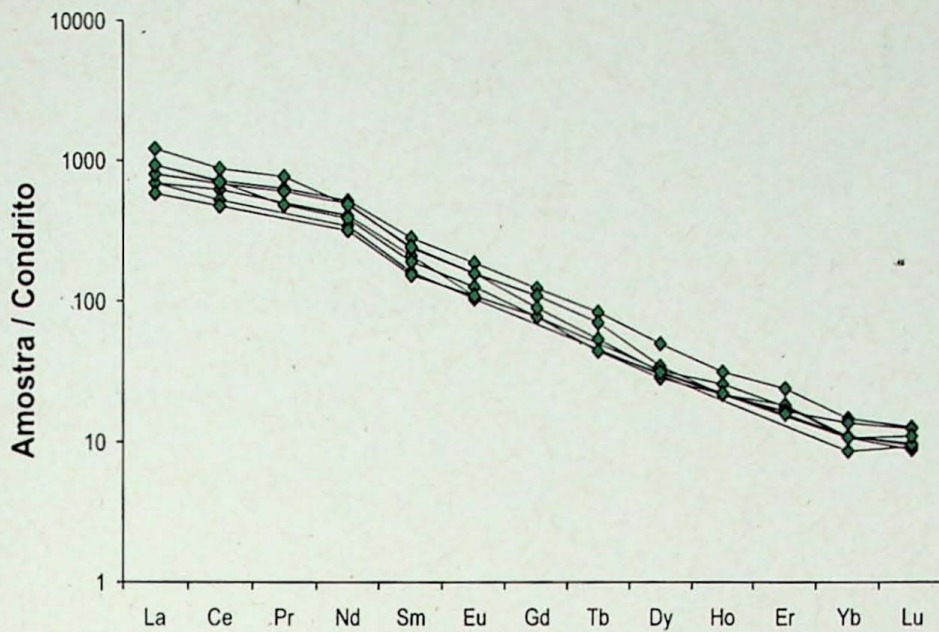


Figura VI.4. Diagrama de Elementos Terras Raras das amostras da UPC normalizadas pelo valor do condrito (McDonough & Sun, 1995).

Figura VI.5. Diagrama de Elementos Terras Raras das amostras da UPPB, USM e UCC normalizadas pelo valor do condrito (McDonough & Sun, 1995).

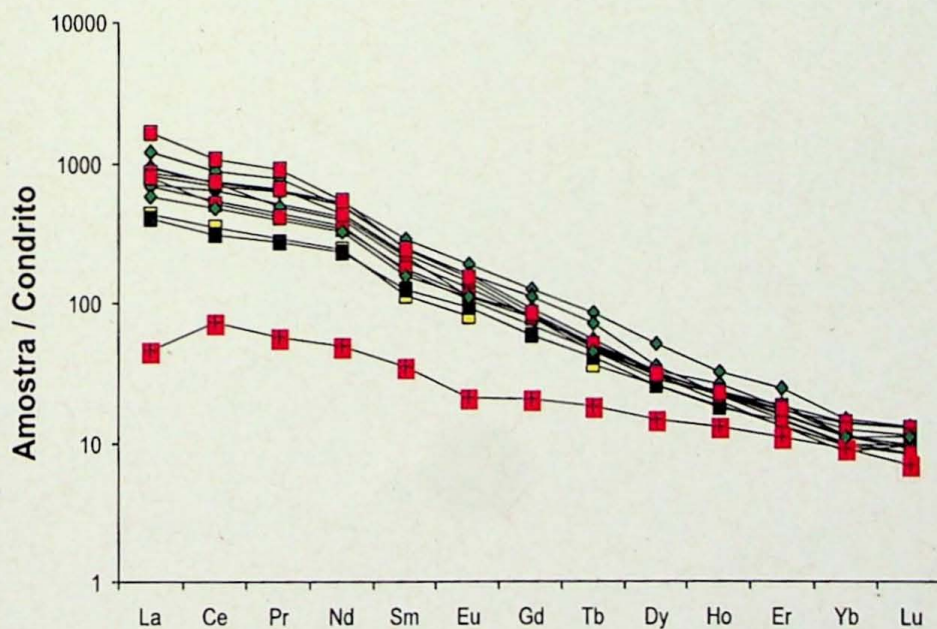
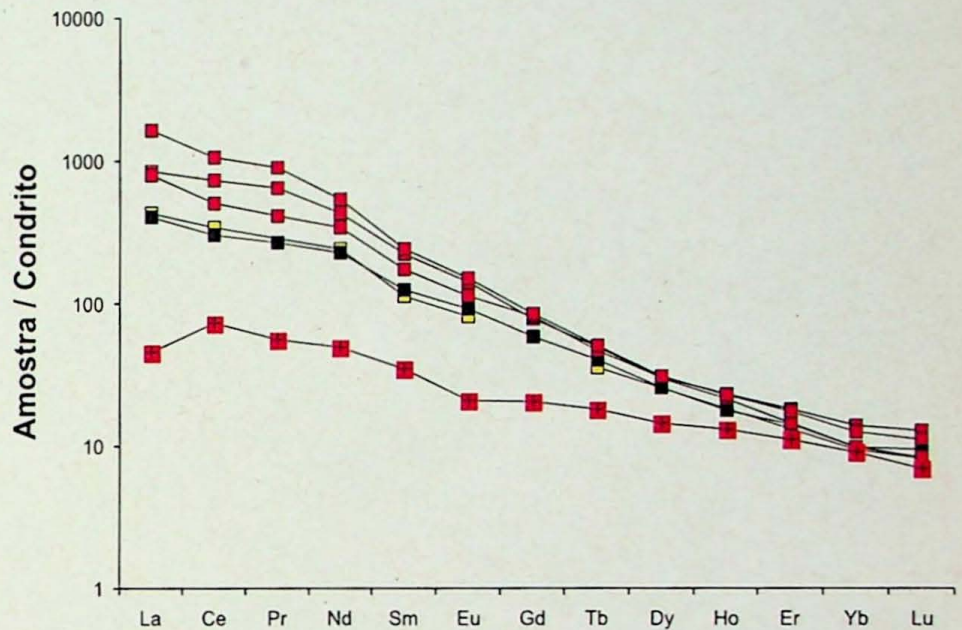


Figura VI.6. Diagrama de Elementos Terras Raras das amostras do plúton Pedra Branca normalizadas pelo valor do condrito (McDonough & Sun, 1995).

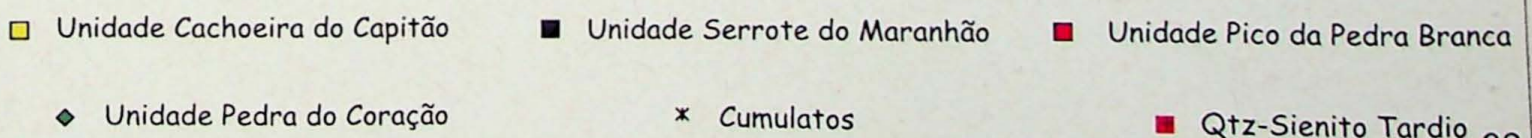


Figura VI.7. Diagrama de Elementos Incompatíveis das amostras da UPC normalizadas pelo manto primitivo (Sun & McDonough, 1989).

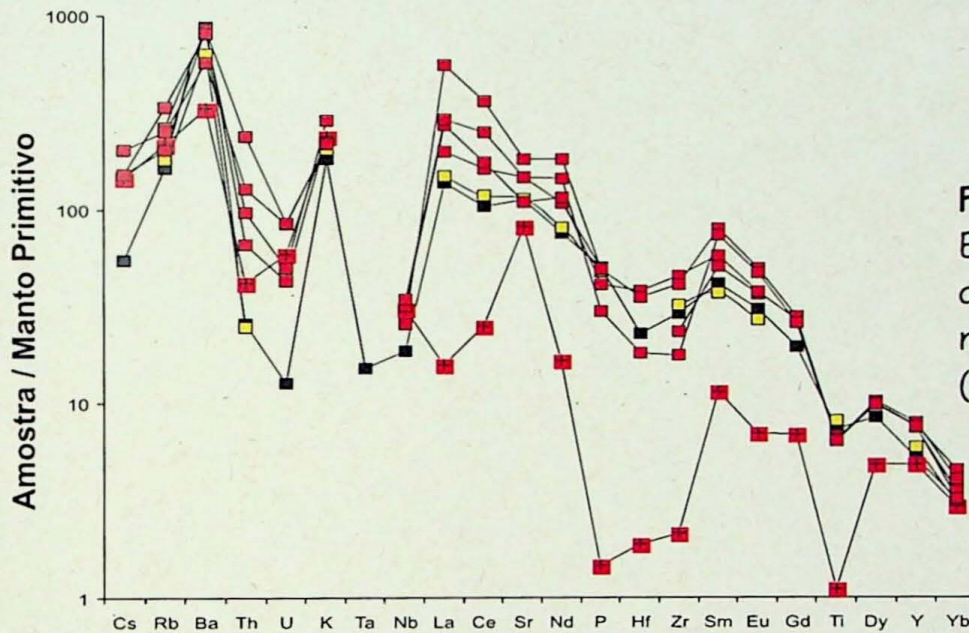
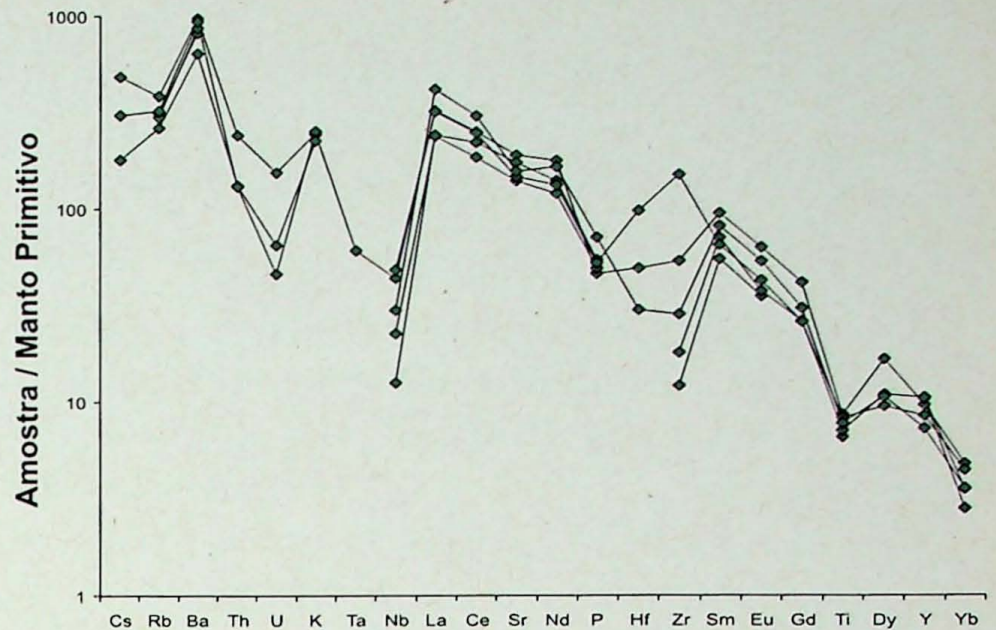
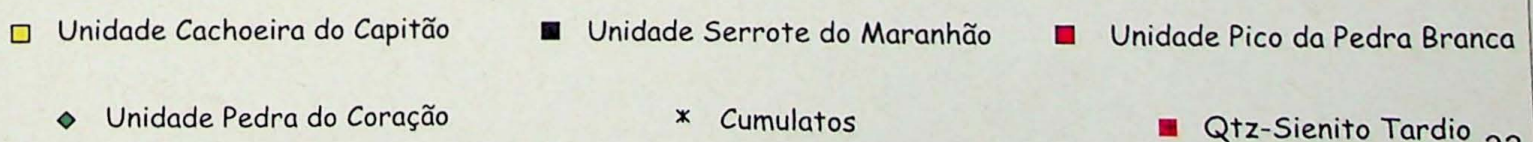
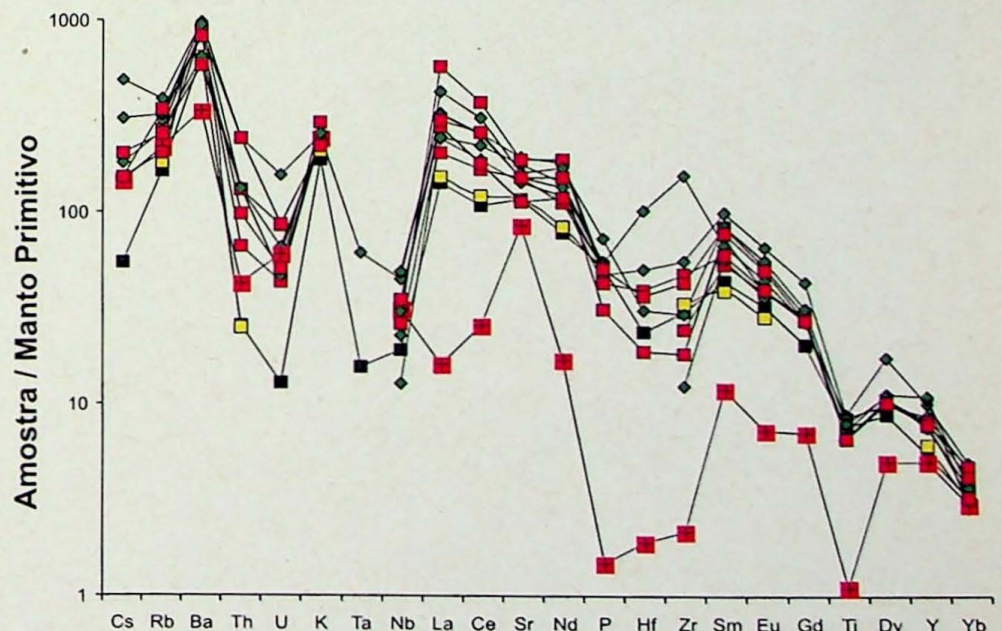


Figura VI.8. Diagrama de Elementos Incompatíveis das amostras da UPPB, USM e UCC normalizadas pelo manto primitivo (Sun & McDonough, 1989).

Figura VI.9. Diagrama de Elementos Incompatíveis das amostras do plúton Pedra Branca normalizadas pelo manto primitivo (Sun & McDonough, 1989).



Capítulo VII – Conclusões e Interpretações dos Resultados

VII.1. Condições de cristalização

As condições de cristalização das unidades foram estimadas a partir de dois métodos. Para avaliar a temperatura utilizou-se a termometria de saturação em apatita, a partir das equações de Harrison & Watson (1984), e a termometria baseada na composição de piroxênios coexistentes (Lindsley, 1983).

A coexistência de orto e clinopiroxênio (enstatita e augita, respectivamente), na unidade central (USM) torna possível a utilização do diagrama de termometria de piroxênios (Lindsley, 1983) (Figura VII.1.). Observou-se no entanto que os clinopiroxênios não estão em equilíbrio com os ortopiroxênios, já ambos não ocorrem na mesma isoterma.

Através dos dados geoquímicos, foi possível estimar a temperatura de saturação em apatita utilizando os valores de SiO_2 e P_2O_5 (Tabela 3). Tal modelo pode ser aplicado em rochas que apresentam teores de SiO_2 entre 45 e 75% e ainda de 0 a 10% de água em sua composição (Harrison & Watson, 1984). Por tratar-se de um mineral de cristalização precoce, a apatita permitiu a estimativa das temperaturas de *liquidus* do magma sienítico nas diversas unidades.

Sample	Unidade	SiO ₂	P ₂ O ₅	Temperatura (°C)
PB-5A	UPPB	59.58	1.09	1103
PB-9	USM	56.98	1.11	1074
PB-22	UCC	57.27	1.05	1068
PB-130	USM	60.26	0.92	1082
PB-92B	UPC	60.82	0.93	1091
PB-53	UPPB	58.38	0.94	1063
PB-123A	UPPB	57.75	1.16	1092
PB-92A	UPC	56.67	1.00	1054
PB-47B	UPC	56.56	1.54	1130
PB-36A	UPC	56.26	1.82	1160
PB-38	UPC	55.55	1.52	1115
PB-68B	UPC	58.73	1.22	1113
PB-70A	UPC	57.45	1.04	1069
PB-71	UPC	55.83	1.23	1078
PB-114A	UPC	56.33	1.34	1100
PB-25	USM	58.17	0.90	1053
PB-59	USM	56.79	0.99	1089
PB-30	UPC	53.58	1.93	1137
PB-142	UPPB	58.42	0.9	1057
PB-148	UPPB	58.15	1.08	1084

Tabela 3. Temperaturas obtidas através da saturação em apatita (Harrison & Watson, 1984) para as unidades do sienito Pedra Branca.

A temperatura média encontrada nas unidades do plúton é de 1090° C, sendo importante ressaltar que na UPC foi encontrada a mais alta temperatura 1160°C, enquanto na USM obteve-se a mais baixa temperatura, de 1053°C.

A fugacidade de oxigênio dos magmas estudados foram estimadas a partir das composições dos anfibólios, que estão representadas na **Figura VII.2.**, que confronta #Fe *versus* Al no sítio tetraédrico. As composições dos anfibólios da UPC e UPPB se situam no campo de alta fugacidade de oxigênio (Anderson & Smith, 1995), porém os anfibólios de UPPB indicam condições redox sutilmente menos oxidantes quando comparados às encontradas na UPC.

Para estimar as condições de pressão das unidades do plúton foi gerado o diagrama da **Figura VII.3.**, que confronta #Fe ($=\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$) com a soma do Al nos sítios tetraédricos e octaédricos. A pressão só pôde ser estimada graficamente, uma vez que a ausência de plagioclásio na maior parte das rochas impede a obtenção de temperaturas pelo geotermômetro anfibólio-plagioclásio, necessárias para a obtenção de dados numéricos pela calibração de Anderson & Smith (1995). Deste modo, os valores estimados, de ~3 kbar na UPC e ~4 kbar, são aproximações; como o geobarômetro de Al em anfibólio é calibrado apenas para rochas que têm em paragênese quartzo, titanita e

plagioclásio (Anderson & Smith, 1995), a sua aplicação para as rochas da UPC (isentas de quartzo e plagioclásio) não deve fornecer resultados adequados. Parte das rochas supersaturadas em sílica de UPPB possuem os minerais requisitados (embora plagioclásio em muitos casos se mostre em desequilíbrio). Os valores ~4 kbar, sugerem colocação em crosta média a superior, a cerca de 12 km de profundidade.

Foram utilizados dados da química mineral dos óxidos para estimativa dos valores de fO_2 e temperatura (T) dos magmas sieníticos através do programa ILMAT (Lepage, 2003). Embora aparentemente haja um equilíbrio entre as fases minerais (hemetita e magnetita; ilmeno-hematita e magnetita) os valores obtidos indicaram T e fO_2 muito abaixo do real, em torno de 300 °C e 10^{-20} , respectivamente. Isto demonstra que os cristais analisados não estavam em equilíbrio. A existência de mais de uma geração de magnetita (constatada na petrografia) pode estar envolvida na imprecisão dos valores obtidos.

Já que os valores não puderam ser estimados matematicamente obteve-se pela estimativa gráfica através do diagrama de fugacidade de oxigênio *versus* temperatura (Buddington & Lindsley, 1964) (**Figura VII.4.**). Sabendo-se que as temperaturas de *líquidus* do magma estão em torno de 1000 °C e que as composições dos cristais de ilmeno-hematita para a UPC e UPPB estão em torno de $He_{45-55}Ilm_{55-45}$, a fO_2 deve ter valores entre 10^{-6} e 10^{-13} bar. Na **figura VII.4.**, o campo de estabilidade estimado das ilmeno-hematitas do sienito Pedra Branca está hachurado na cor laranja.

Condições de Cristalização

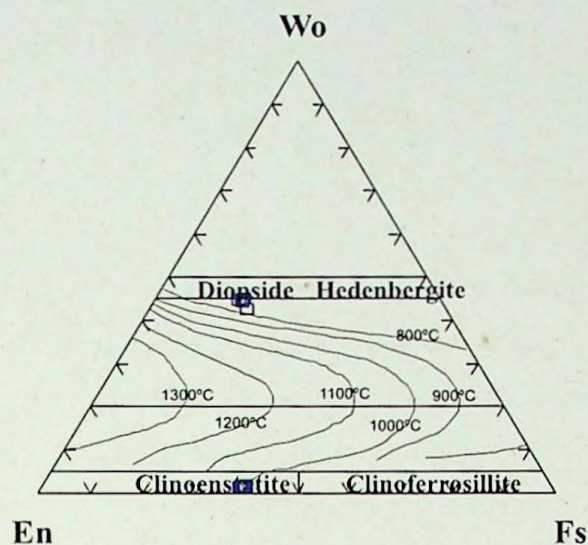


Figura VII.1. Diagrama de termometria de piroxênios (Lindsley, 1983) da unidade Serrote do Maranhão do plúton Pedra Branca.

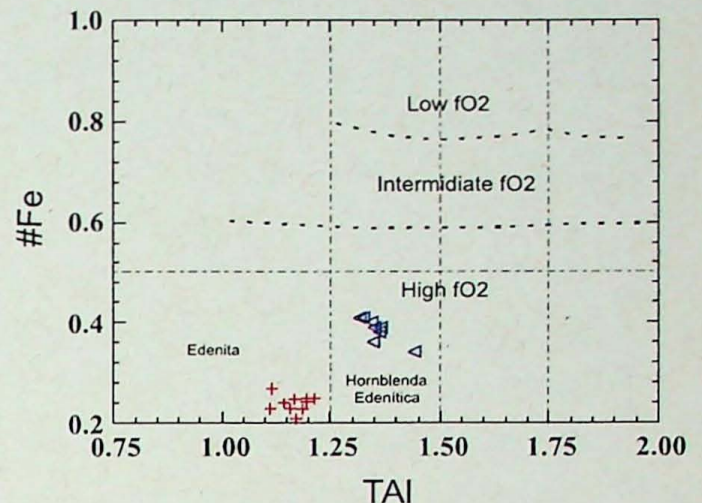


Figura VII.2. Diagrama da fugacidade de oxigênio das unidades do sienito Pedra Branca (Anderson & Smith, 1995).

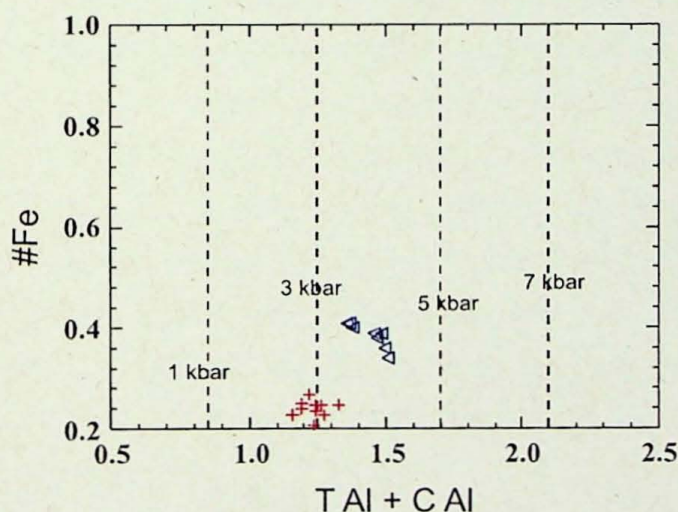


Figura VII.3. Diagrama das condições barométricas do sienito Pedra Branca (Anderson & Smith, 1995).

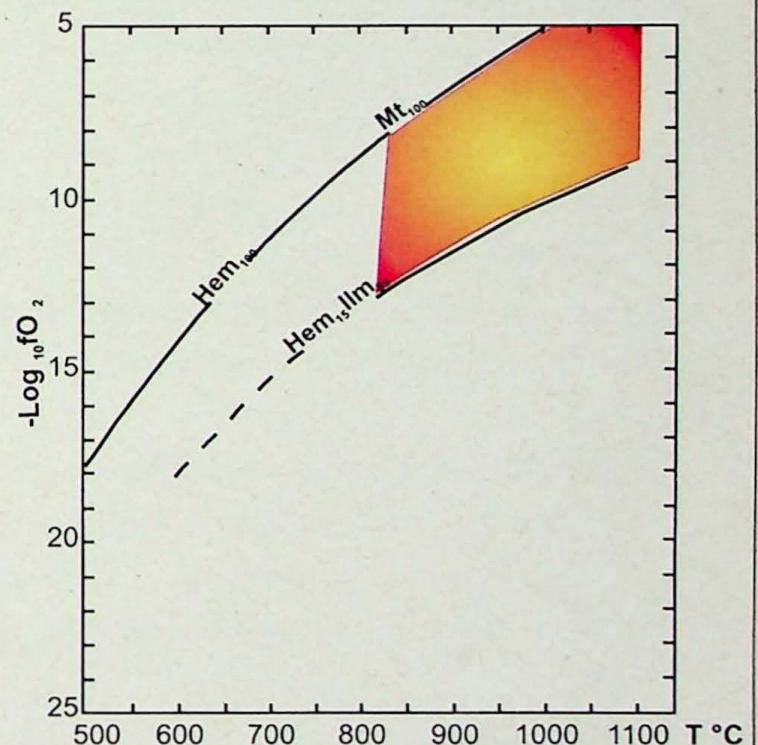


Figura VII.4. Diagrama de fO_2 versus temperatura modificado de Buddington & Lindsley (1964).

□ Unidade Serrote do Maranhão (USM)
○ Unidade Cachoeira do Capitão (UCC)

◁ Unidade Pico da Pedra Branca (UPPB)
+ Unidade Pedra do Coração (UPC)

VII.2. Evolução Magmática

Os dados apresentados neste trabalho demonstram, através das paragêneses e a química mineral, um forte contraste existente entre os sienitos da unidade saturada (UPC) (em uma amostra PB-92A, insaturada, com ~1% de nefelina) e as demais unidades do Sienito Pedra Branca (USM, UCC e UPPB), que têm caráter supersaturado em sílica, podendo conter até 6% de quartzo em sua composição.

Os sienitos do plúton como um todo demonstram diversos contrastes, como por exemplo o grau de saturação em sílica e os fortes contrastes na fugacidade de oxigênio. A presença da associação hematita + magnetita na UPC demonstra o caráter fortemente oxidado dessa unidade (próximo ao tampão HM), que se reflete na formação de minerais máficos mais magnesianos, como é o caso da flogopita, e de piroxênio rico no componente acmita, associado à troca catiônica $\text{Fe}^{3+} + \text{Na}^+ \leftrightarrow (\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}) + \text{Ca}^{2+}$.

As altas fugacidades de oxigênio foram confirmadas também através dos dados de anfibólios presentes nas unidades UPC e UPPB, já que são formados apenas em condições oxidantes. Através da estimativa gráfica obteve-se um intervalo de 10^{-6} a 10^{-13} bar para $f\text{O}_2$. A distribuição das amostras de UPPB analisadas sugere ainda que, assim como o esperado na petrografia, as condições de fugacidade de oxigênio nesta unidade é sutilmente menor do que as encontradas na UPC. Isso deve-se ao fato de que composição original dos cristais era de $\text{Ilm}_{60-50}\text{He}_{40-50}$, já que a exsolução, que ocorre em estágios pós-magmáticos sob mais baixas temperaturas.

Através da saturação em apatita (Harrison e Watson, 1984), visto que este é um mineral de cristalização precoce, foi possível estimar a temperatura do *liquidus* destes magmas. A temperatura média do plúton é de aproximadamente 1050 °C, porém os maiores valores foram encontrados na UPC, 1160°C, e os mais baixos valores na unidade central USM, fato coerente visto que esta consiste da última intrusão do plúton (1053 °C).

Apesar da coexistência de orto e clinopiroxênio na USM, a termometria de piroxênios (Lindsley, 1983) demonstrou que as composições de ambos não se encontram em equilíbrio.

Os dados geoquímicos de todas as fácies estudadas do plúton Pedra Branca evidenciam altos valores tanto em elementos litófilos (K, Ba, Sr), como em outros elementos incompatíveis e elementos terras raras leves. Essa assinatura geoquímica, comum a todo plúton, foi atribuída por Janasi et al. (1993) à derivação a partir de magmas

com a composição de minettes, produzidos pela fusão parcial em horizontes enriquecidos (mica-clinopiroxenitos) no manto litosférico.

Embora existam contrastes entre UPC e UPPB, como é o caso da saturação em sílica e das condições de fO_2 , elas apresentam diversas características geoquímicas comuns, por exemplo o forte fracionamento em elementos terras raras leves (onde as razões La/Yb são muito variadas, e cobrem intervalos semelhantes) e o enriquecimento em elementos incompatíveis.

Os conteúdos dos elementos maiores também são similares para essas duas unidades, exceto os valores de Al_2O_3 , sutilmente maiores na UPPB, o que se reflete em um maior conteúdo de anortita. Esta característica associada à presença de enclaves microgranulares máficos e de cristais reliquiares de plagioclásio nesta unidade reforça a idéia de uma possível contaminação durante a evolução destes magmas. Uma possível explicação para a relação entre as duas unidades seria um magma inicial com tendência peralcalina (como o que deu origem a UPC) poderia adquirir caráter metaluminoso ao incorporar um "componente basáltico" (por exemplo, pela interação com um magma básico), dando origem a um magma semelhante ao que gerou UPPB.

Referências Bibliográficas

- BUDDINGTON, A.F.; LINDSLEY, D.H. Iron- Titanium Oxide Minerals and Synthetic Equivalents. *Journal of Petrology*, v. 5, Part 2, pp. 310-357, 1964.
- CAMPOS NETO, M. C.; BASEI, M. A. S.; VLACH, S. R. F.; CABY, R., SZABÓ, G. A. J.; VASCONCELOS, P. Migração de orógenos e superposição de orogêneses: um esboço da colagem brasileira no sul do Cráton do São Francisco, SE – Brasil. *Revista do Instituto de Geociências – USP*, São Paulo, v. 4 , n.1, pp. 13- 40, 2004.
- CAMPOS NETO, M.C.; CABY, R. Neoproterozoic high-pressure metamorphism and tectonic constraint from nappe system south of the São Francisco craton, southeast Brazil. *Precambrian Research*, v. 97, pp. 3–26, 1999.
- CAMPOS NETO, M.C.; CABY, R. Terrane accretion and upward extrusion of high-pressure granulites in the Neoproterozoic nappes of southeast Brazil: Petrologic and structural constraints. *Tectonics*, v.19, n.4, pp. 669–687, 2000.
- CAMPOS NETO, M. C.; FIGUEIREDO, M. C. H. Geologia das folhas São José do Rio Pardo e Guaranésia (porção paulista) 1:50.000. 1985.
- CONCEIÇÃO, H. Petrology of the syenites from the Salvador-Curaçá Mobile Belt (Bahia-Brazil): geodynamic significance. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* **65**, 17-32, 1993.
- DEER, A., HOWIE, R. A. & ZUSSMAN, J., 1992. An Introduction to the Rock-Forming Minerals. Second Edition. Longman Scientific & Tecnical, 696p.
- ELLERT, R. Contribuição à geologia do maciço alcalino de Poços de Caldas. *Boletim FFCL/USP*, v. 237, p. 5-63, 1959.
- FOLEY, S. Petrological characterization of the source components of potassic magmas: geochemical and experimental constraints. *Lithos*, 28, pp. 187-204, 1992.
- GUIMARÃES, I.P., SILVA FILHO, A.F. 1998. Nd- and Sr- isotopic and U-BP geochrologic constraints for the evolution of the shoshonitic brasileiro Bom Jardim and Toritama Complexes: evidence for a Transamazonian enriched mantle under Borborema Tectonic Province, Brazil. *International Geology Reviews* **40**, 500–527.
-

- HADDAD, R.C. O batólito granitóide Pinhal-Ipuiúna (SP-MG): um exemplo do magmatismo cálcio-alcalino potássico Neoproterozóico no sudeste brasileiro. 1995. 270 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, SP.
- HARRISON, T.M. & WATSON, E.B. The behavior of apatite during crustal anatexis: Equilibrium and kinetic considerations. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **48**, 1468-1477, 1984.
- JANASI, V.A. Rochas sieníticas e mangerítico-charnoquíticas da região entre Caldas e Campestre, MG: aspectos petrológicos. 1992. 281 f. Tese de Doutorado - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP
- JANASI, V.A. Petrogenesis and tectonic setting of the neoproterozoic Capituva K-syenite, SW Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo v. 23, n.2, p. 129-138, 1993.
- JANASI, V.A. Os sienitos potássicos neoproterozóicos do maciço Pedra Branca, SW de Minas Gerais: geologia, petrografia e geoquímica. In: *Congresso Brasileiro de Geologia* 39. Salvador, *Anais...* Salvador: 1996, v. 6, p. 453-455.
- JANASI, V. A. A idade dos granitos Nazaré Paulista e Pinhal, e implicações para o metamorfismo da Nappe Socorro-Guaxupé (SP-MG). In: VI Simpósio de Geologia do Sudeste, 1999, São Pedro, SP. *Boletim de Resumos*, p. 7-7, 1999.
- JANASI, V.A. Elemental and Sr-Nd isotope geochemistry of two Neoproterozoic mangerite suites in SE Brazil: implications for the origin of the mangerite-charnockite-granite series. *Precambrian Research*, 119: 301-327, 2002.
- JANASI, V.A., Haddad, R.C., Ulbrich, H.H.G.J. Geoquímica e isotopia Sr-Nd do Batólito Pinhal-Ipuiúna, Nappe Socorro-Guaxupé, SP-MG, XI Congresso Brasileiro de Geoquímica. *Anais. Sociedade Brasileira de Geoquímica*, Atibaia, SP, p. CD-ROM, 2007.
- JANASI, V.A.; VLACH, S.R.F.; ULBRICH, H.G.J. Enriched mantle contribution to the Itu Granitoid Belt, southeastern Brazil: evidences from K-rich diorites and syenites. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* v. 65, p. 107-118, 1993.
-

- JOST, H.; BROD, J.A.; HOLZ, M.; KUHN, A.; FLOR, M.A.D.; KRONBAUER, A.; DIELEMBURG, S. Geologia estrutural, petrografia e petrologia do Sienilo Piquiri (Proterozóico Superior), Rio Grande do Sul. In: *Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia 2. Atas...* Porto Alegre, SBG. p. 63-81, 1985.
- LEAKE, B.E. Nomenclature of amphiboles: Report of the Subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names. *American Mineralogist*, 82, p. 1019-1037, 1997.
- LEPAGE, L. D. ILMAT: an Excel worksheet for ilmenite–magnetite geothermometry and geobarometry. *Computers & Geosciences*, v. 29, pp. 673–678, 2003.
- LINDSLEY, D. Pyroxene thermometry. *American Mineralogist*, 68: 477-493, 1983.
- MCDONOUGH, W.F.; SUN, S.S. The composition of the Earth, *Chemical Geology*, v.120, pp228, 1995.
- MEYER, A. P. *A influência da petrografia no comportamento tecnológico de rochas ornamentais do Complexo Socorro (SP) e Maciço Pedra Branca (MG)*. 2003. Dissertação (Mestrado em Geociências (Geologia Regional) [Rio Claro]) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.
- MANIAR, P.D. & PICCOLI, P.M. Tectonic discrimination of granitoids. *Geol Soc Am Bull*, 101(5), pp. 635-643, 1989.
- MORI, P. E; REEVES, S; CORREIA, C.T; HAUKKA, M. Development of a fused glass disc XRF facility and comparison with the pressed powder pellet technique at Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, 29: 441-446, 1999.
- MORIMOTO, N. Nomenclatura de piroxênios. Tradução do original em inglês "Nomenclature of pyroxenes" realizada com a permissão da IMA por GARDA, M.G. e ATENCIO, D., 1990.
- NAVARRO, M. S. A Implantação de Rotina, e seu Refinamento, para a Determinação de Elementos Terras Raras em Materiais Geológicos por ICP-OES e ICP-MS. Aplicação ao Caso dos Granitóides de Piedade-Ibiúna (SP) e Cunhaporanga (PR). *Dissertação de Mestrado*, Instituto de Geociências – USP: 123p, 2004.
-

- OLIVEIRA, M.A.F.; FRANCESCONI, O.; CORDEIRO, C.M.; INGLEZ, A.G.; OLIVEIRA, E.G.; SENA, C.A.S. Geologia da porção paulista das quadrículas de Caconde e Guaxupé. In: 1a Jornada sobre a Carta Geológica do Estado de São Paulo em 1:50.000, 1983. *PRÓ-MINÉRIO*, São Paulo, p. 171-191.
- PARSONS, I.. The Klokken Gabro-Syenite Complex, South Greenland: Cryptic Variation and Origin of Inversely Graded Layering. *Journal of Petrology*. v. 20, Part 4, p. 653-694, 1979.
- PECCERILLO, A.; TAYLOR, S.R. 1976. Geochemistry of Eocene calç-alkaline rocks from Kasamoru área, norther Tukey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **58**: 63-81
- ROGER, N.W. Potassic magmatism as a key to trace-element enrichment processes in the upper mantle. *Journal of Volcanology ang Geothermal Research*, v. 50, p. 85-99, 1992.
- STABEL, L.Z., NARDI, L.V.S., PLA CID, J. Química Mineral e evolução Petrológica do Sienito Piquiri Magmatismo Shoshonítico, neoproterozóico, Pós-colisional no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências* **31**, p. 211-222, 2001.
- TOMPSON, R.N., FOWLER, M.B. Subduction-related shoshonitic and ultrapotassic magmatism: a study of Siluro-Ordovician syenites from Scottish Caledinides. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 94., p. 507-522, 1986.
- TÖPFNER, C. Brasiliano-granitoide in den Bundesstaaten São Paulo und Minas Gerais, Brasilien- eiene Vergleichende studie. *Münchner Geol. Hefte* A17 , 1996.
- WERNICK, E.; MENEZES, A.C. The Late Precambrian K-alkaline magmatism in the Ribeira Fold Belt: a case study of the Piracaia pluton, State of São Paulo, SE Brazil, and its potential mineralization (Cu, Zn, Gd). *Journal of Asian Earth Sciences* v. 19, p. 347-373, 2001.
- WERNICK, E.; PENALVA, F. . Contribuição à geologia do Grupo Pinhal (SP e MG). *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, SP, v. 10, n. 1, p. 43-62, 1980.
- WINTERS, A.A.M. *A Geologia do Maciço Sienítico da Pedra Branca, Caldas-MG*. 1981. 92 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
-

- ZHAO, J.-X.; SHIRAISHI, K.; ELLIS, D.J.; SHERATON, W. Geochemical and isotopic studies of syenites from Yamato Mountains East Antarctic: Implications for the origin of syenites. *Geochemica et Cosmochimica Acta*, V.59, N° 7, p.1363-1382, 1995.
-

ANEXO I

(Mapa Geológico e de Pontos)

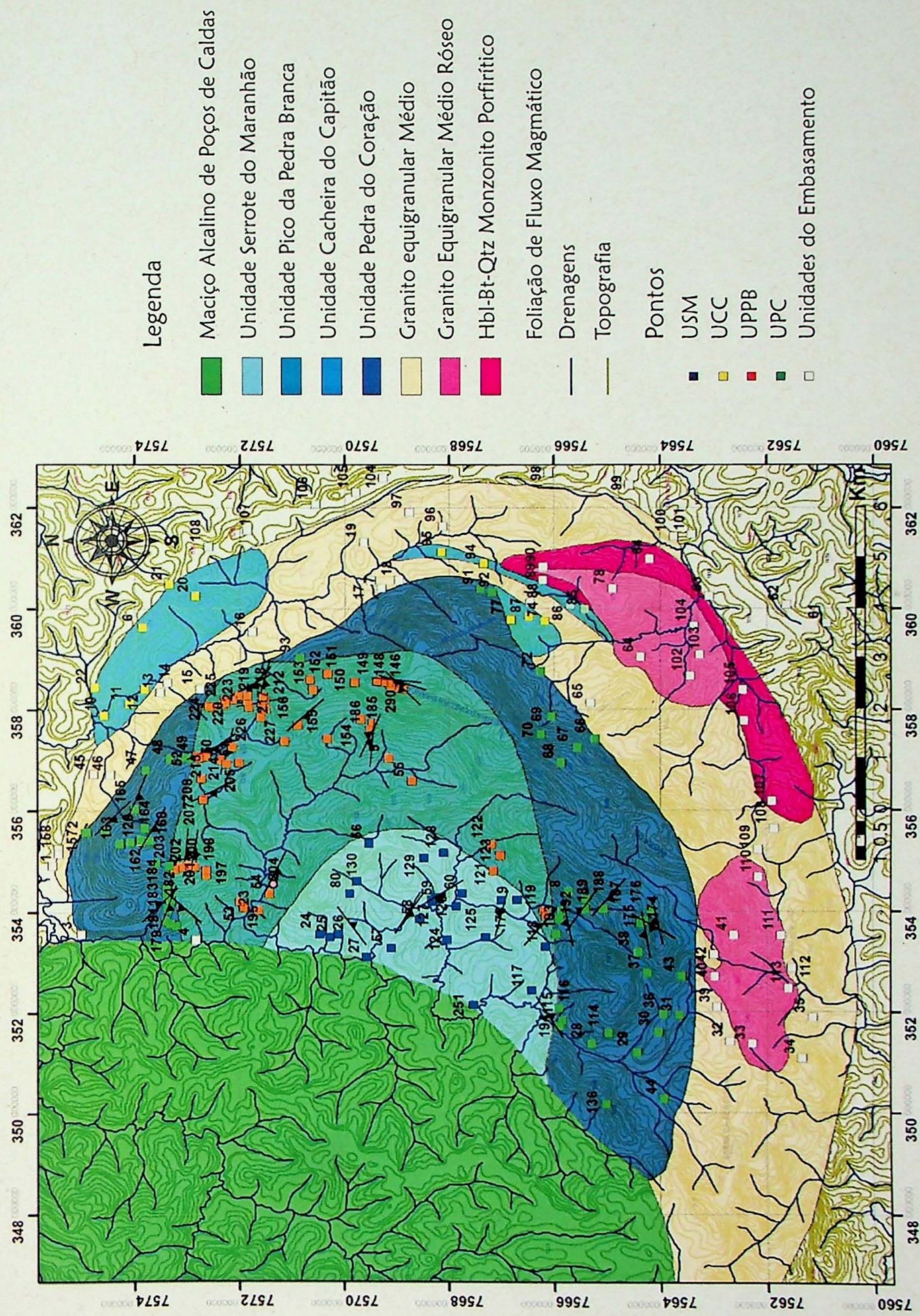


Figura I.1. Mapa Geológico e de Pontos do Sienito Pedra Branca, modificado de Winters (1981) e Janasi (1996).

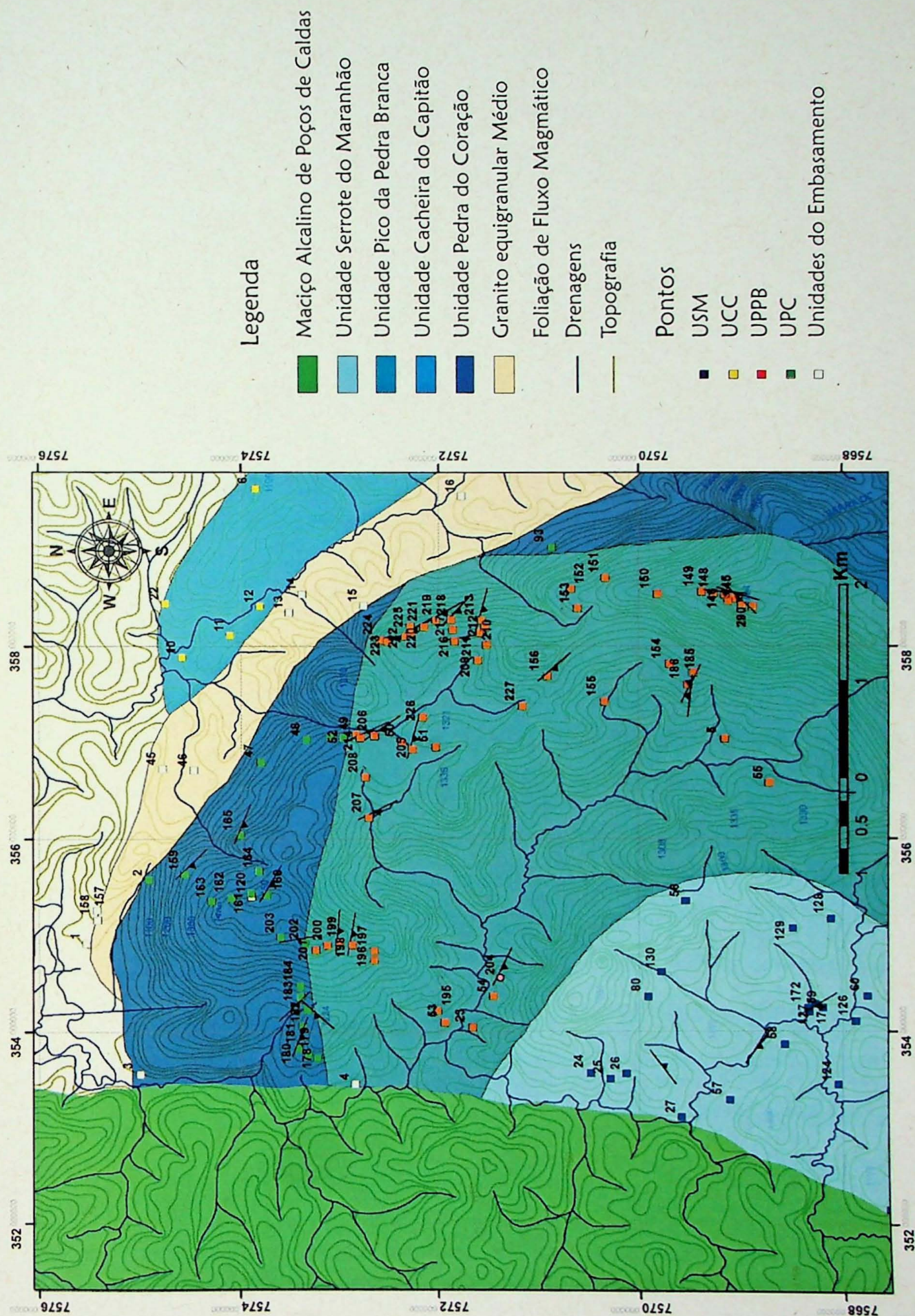


Figura 1. 2. Mapa Geológico e de Pontos do Sienito Pedra Branca da área detalhada neste trabalho, Modificado de Winters (1981) e Janasi (1996).

ANEXO II
(Fotos de Campo)

Unidade Saturada - UPC

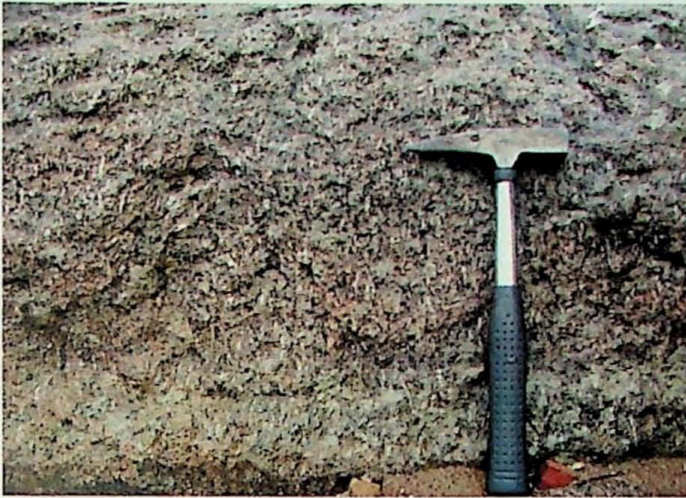


Foto 1: Forte foliação de fluxo magmático evidenciado pelos feldspatos alcalinos bem alongados.

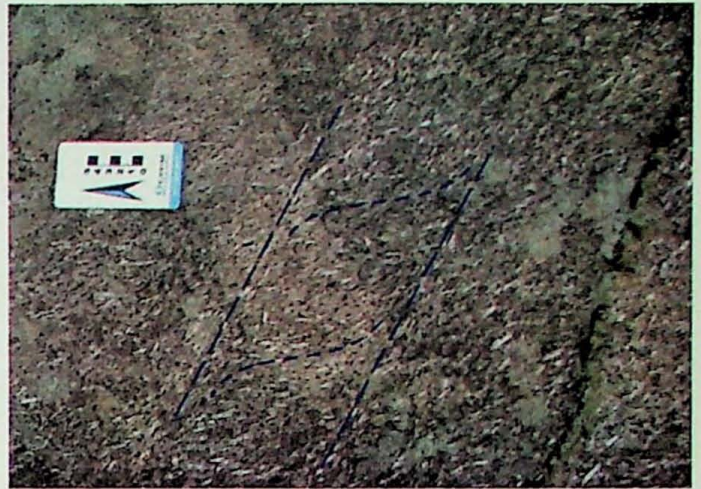


Foto 2: Par S/C em zona de cisalhamento sin-magmática, confirmada pela presença de cristais tabulares indeformados de feldspato alcalino.



Foto 3: Enclave de leucosienito ($IC < 5$) associado a acumulações máficas nas bordas e nas proximidades. Detalhe para veio granítico de espessura centimétrica.



Foto 4: Associações de cumulos ultramáficos com clinopiroxênio, apatita e flogopita, e cumulos félsicos em sienito típico de $IC = 25$.



Foto 5: Dique de quartzo sienito, com bandamento composicional, intrudindo veio granítico de geometria tabular que mostra deslocamento destal.



Foto 6: Dique de rocha ultramáfica afanítica intrusivo em rocha sienítica.

Unidade Supersaturada - UPPB



Foto 7: Foliação de fluxo magmático evidenciado pelos cristais tabulares de feldspato alcalino.

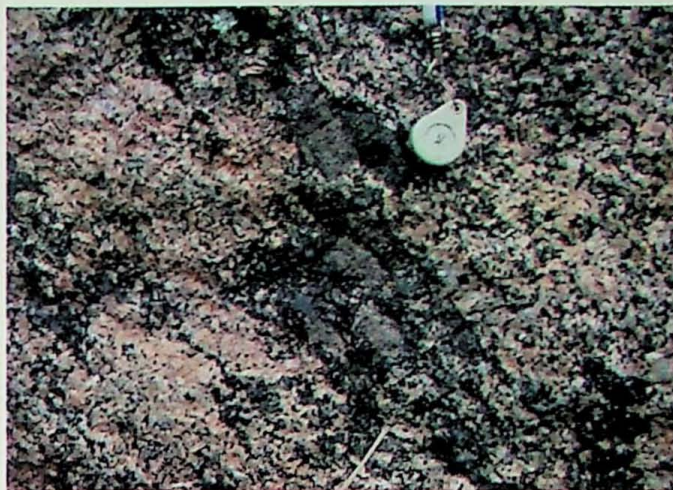


Foto 8: Presença de enclaves dioríticos incluídos em cumalatos máfico-ultramáficos.



Foto 9: Pegmatito tardio com intercrescimento entre quartzo e feldspato alcalino, titanita e magnetita.



Foto 10: Xenocristal de plagioclásio arredondado, incluído por feldspato alcalino.

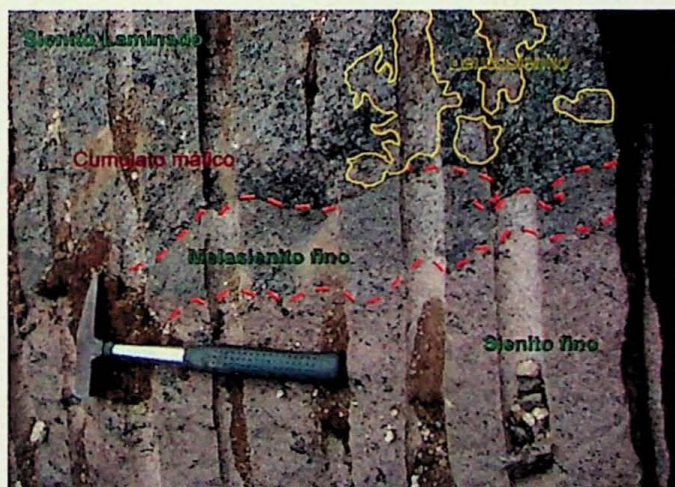


Foto 11: Na porção inferior ocorre sienito fino (IC: 7), enquanto na porção superior aparece sienito laminado médio (IC=20). Em contato irregular com ambos aparece cumalato máfico rico em piroxênio e apatita, e melasienito de granulação fina (IC=40).



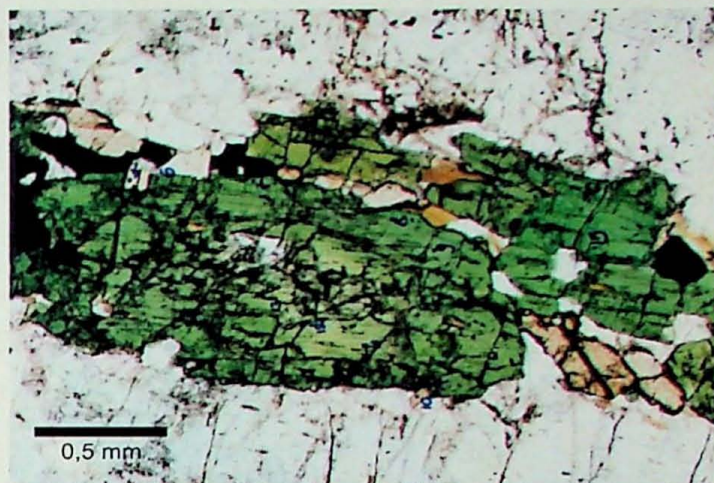
Foto 12: Sienito fortemente deformado com ocelos de anfibólio.

ANEXO III
(Fotomicrografias)

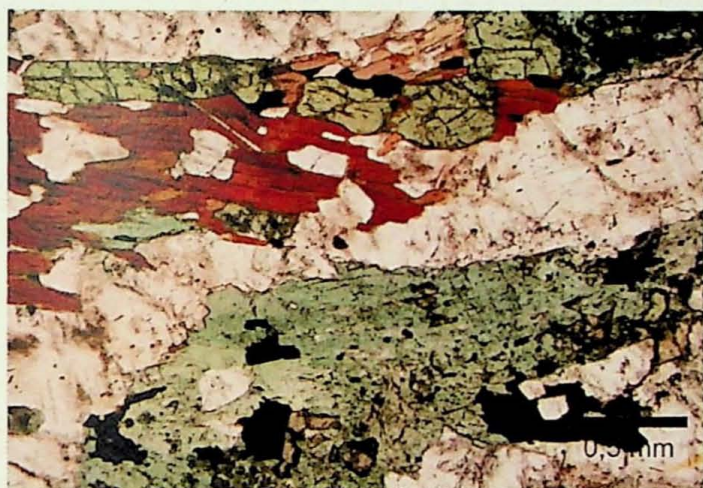
Unidade Saturada - Unidade Pedra do Coração



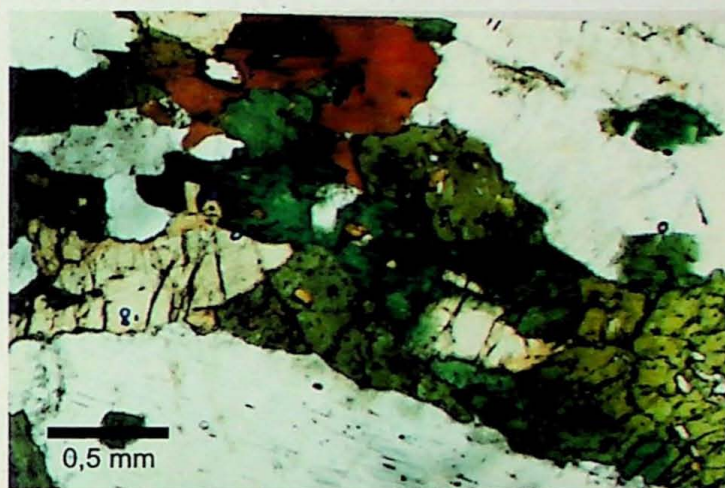
Fotomicrografia 1 (PB-181A): Aspecto geral dos sienitos saturados, com piroxênio verde escuro, associado a edenita, biotita e minerais opacos.



Fotomicrografia 2 (PB-47B): Egirina-augita com zoneamento composicional, associada minerais opacos e titanita.



Fotomicrografia 3 (PB-47B): Biotita alaranjada e egirina-augita, juntamente com edenita verde claro, associação comum na UPC.



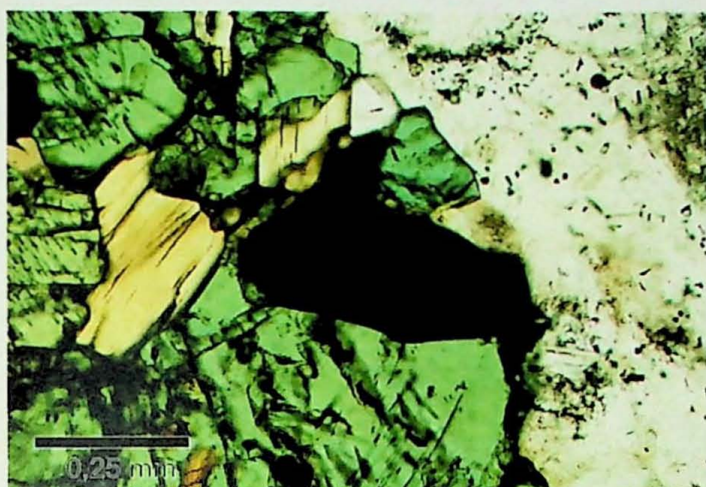
Fotomicrografia 4 (PB-92A): Aglomerado de minerais máficos, com destaque para titanita zonada associada à egirina-augita.



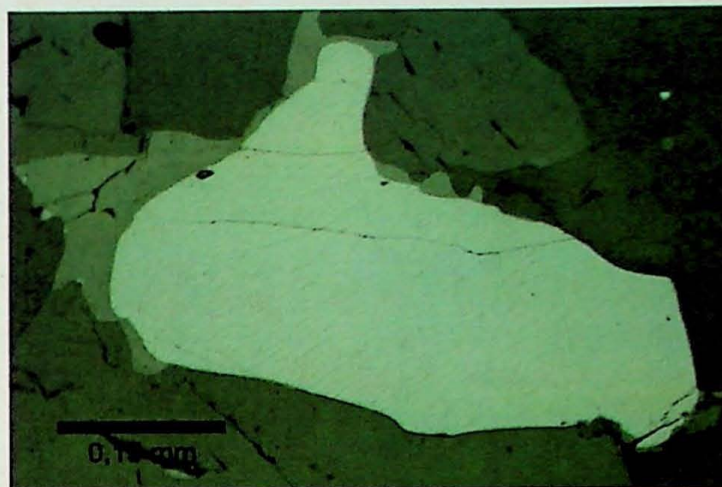
Fotomicrografia 5 (PB-92A): Cristal anédrico de nefelina cristalizando-se em interstícios de clinopiroxênio e feldspato alcalino.



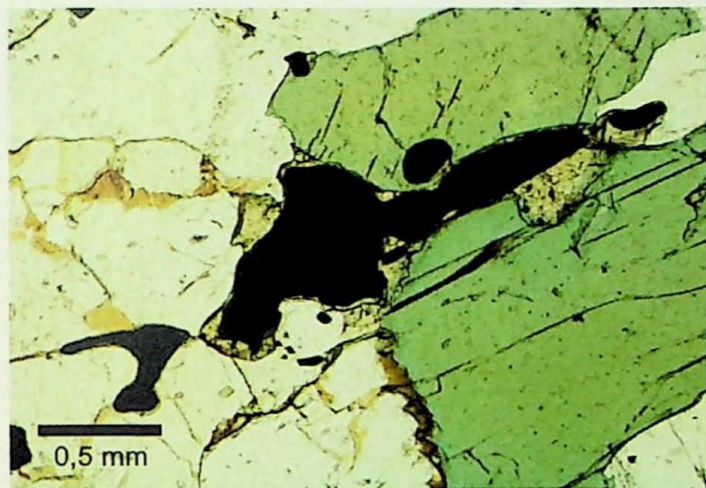
Fotomicrografia 6 (PB-181 A): Magnetita em parágênese com hematita pobre em lamelas de ilmenita.



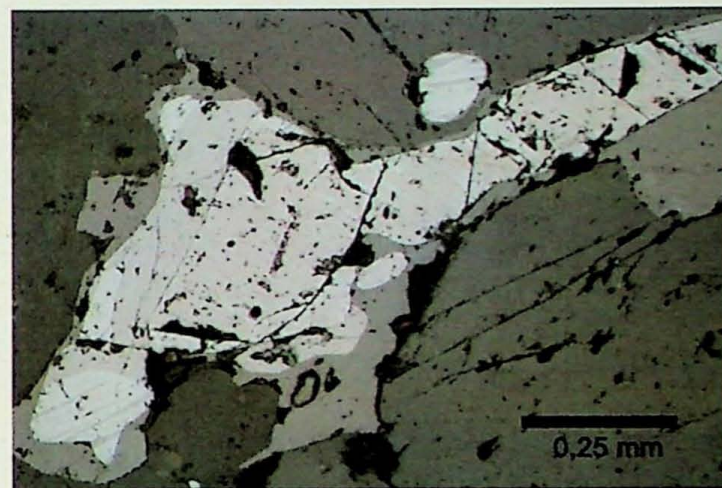
Fotomicrografia 7 (PB-42A): Cristal de hematita quase pura, pobre em lamelas de ilmenita, associado a clinopiroxênio.



Fotomicrografia 8 (PB-42A): Cristal de hematita quase pura, pobre em lamelas de ilmenita, associado a clinopiroxênio vistos à luz refletida.



Fotomicrografia 9 (PB-42A): Cristais de ilmeno-hematita e magnetita com bordas substituídas por titanita associados com anfibólio, vistos a luz transmitida.

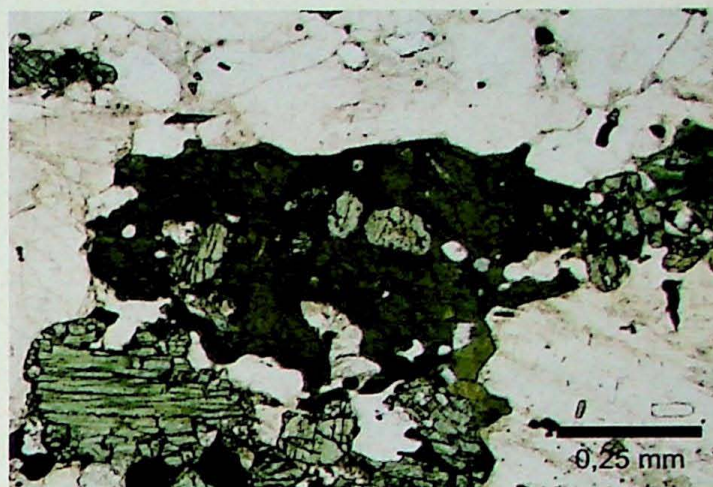


Fotomicrografia 10 (PB-42A): Cristais de ilmeno-hematita e magnetita com bordas substituídas por titanita associados com anfibólio, vistos a luz refletida.

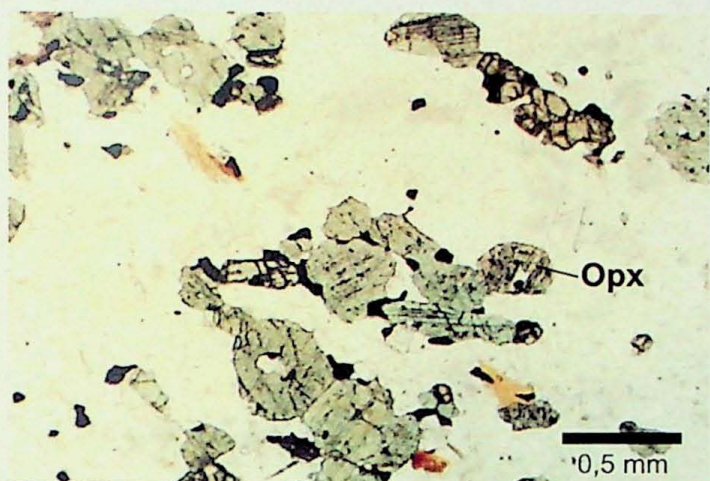
Unidades Supersaturadas - Unidade Pico da Pedra Branca, Unidade Serrote do Maranhão e Unidade Cachoeira do Capitão



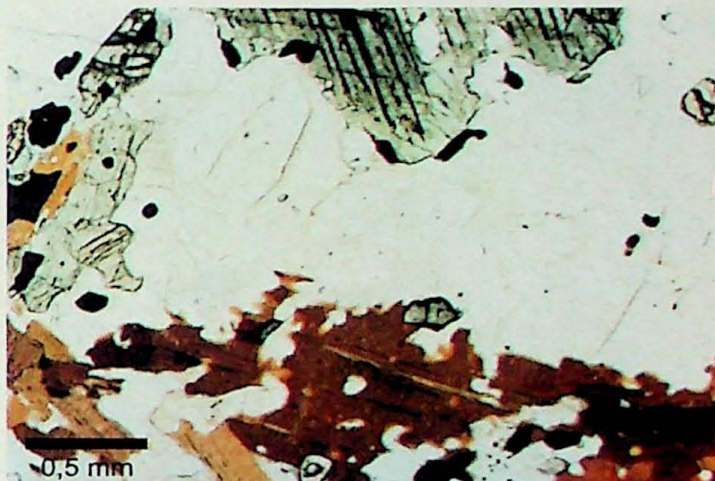
Fotomicrografia 11(PB-148): Aspecto geral dos sienitos supersaturados com diopsídio verde claro e edenita verde escura.



Fotomicrografia 12(PB-148): Diopsídio sendo substituído parcialmente por edenita.



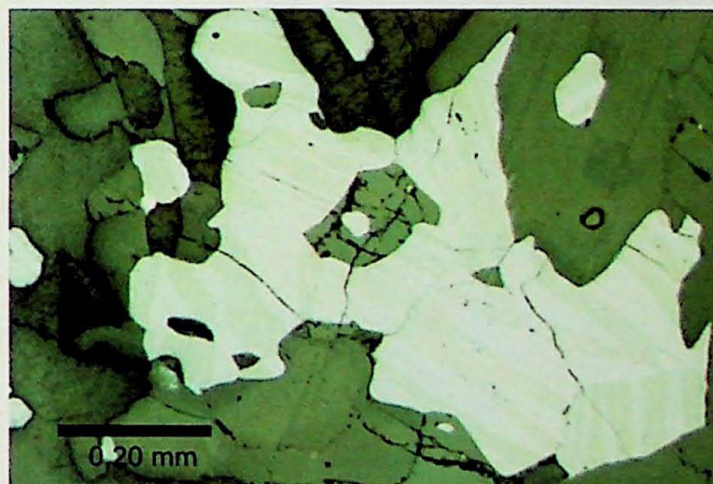
Fotomicrografia 13 (PB-59): Cristais de ortopiroxênio, enstatita, em matriz feldspática.



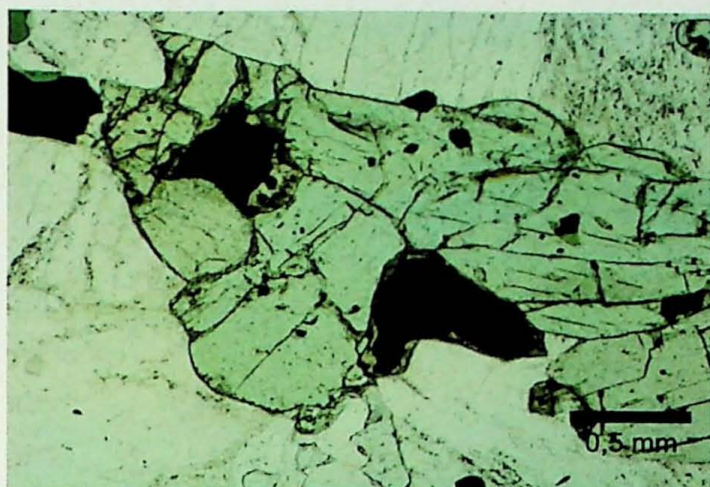
Fotomicrografia 14 (PB-9): Biotita marrom, típica das unidades supersaturadas, associadas ao feldspato alcalino.



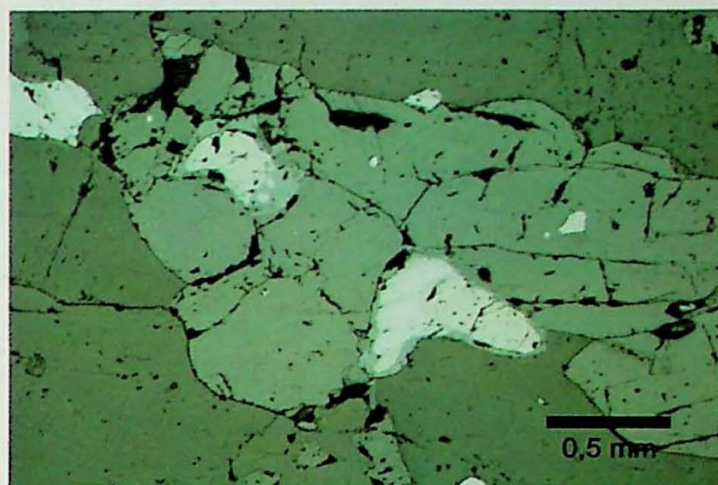
Fotomicrografia 15 (PB-59): Apatita idiomórfica, diopsídio e minerais opacos.



Fotomicrografia 16 (PB-22): Cristal de ilmeno-hematita evidenciando a desmistura entre as fases.



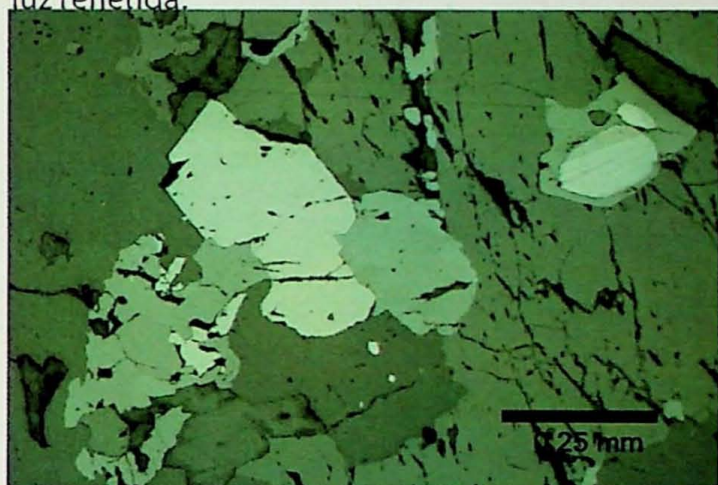
Fotomicrografia 17 (PB-148): Cristal de magnetita em contato com ilmeno-hematita, com bordas de titanita, associados a diopsídio.



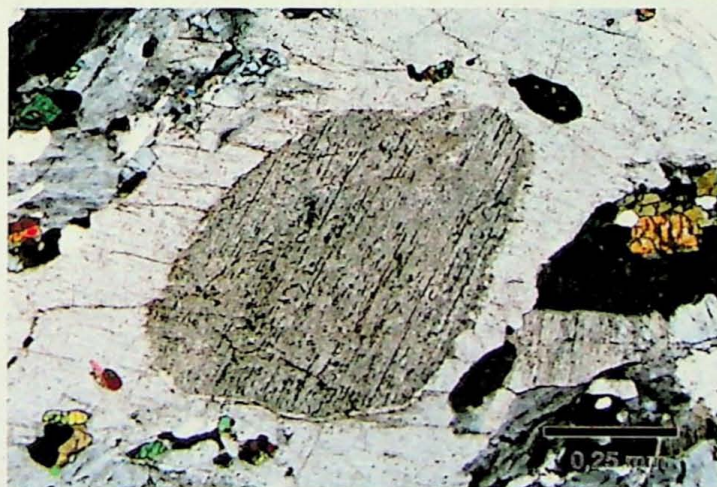
Fotomicrografia 18 (PB-148): Cristal de magnetita em contato com ilmeno-hematita, com bordas finas de titanita, associados a diopsídio vistos à luz refletida.



Fotomicrografia 19 (PB-141): Cristal de magnetita em equilíbrio com titanita, biotita e anfibólio. Destaque para ilmeno-hematita arredondada incluída no anfibólio.



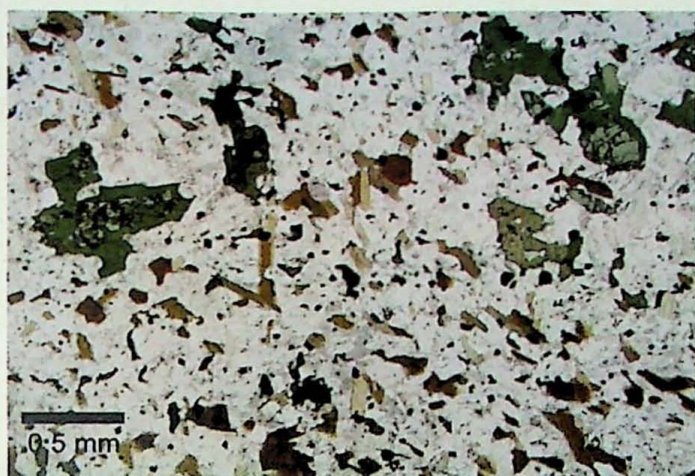
Fotomicrografia 20 (PB-141): Cristal de magnetita em equilíbrio com titanita e anfibólio. Destaque para ilmeno-hematita arredondada incluída no anfibólio vistos à luz refletida.



Fotomicrografia 21 (PB-48): Xenocristal de oligoclásio incluído por feldspato alcalino.



Fotomicrografia 22 (PB-209D): Enclave microgranular máfico de textura metamórfica granoblástica. Minerais essenciais: Plagioclásio, biotita, minerais opacos e quartzo.



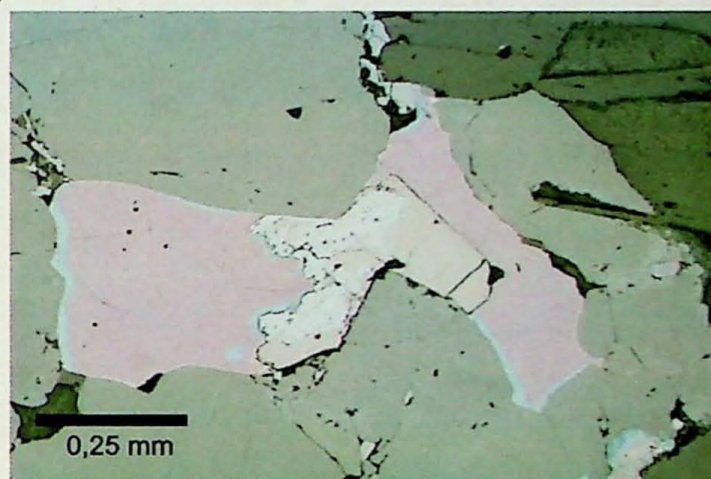
Fotomicrografia 23 (PB-209 C): Monzosienito de granulação fina, rico em biotita, com algum diopsídio e anfibólio.



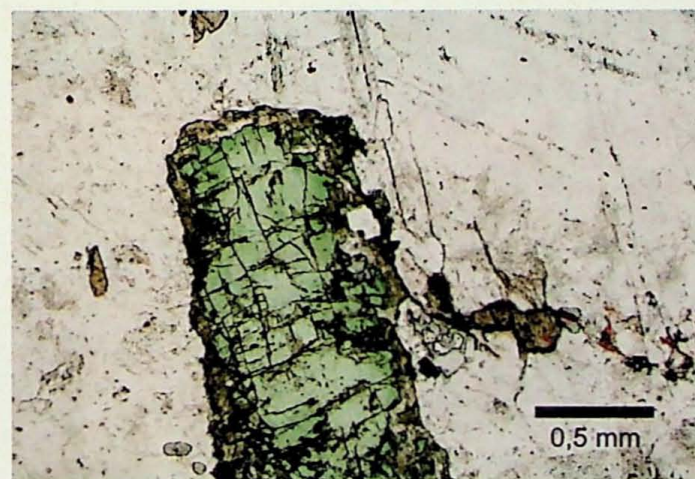
Fotomicrografia 24 (PB-209B): Cumulato máfico com diopsídio verde claro, edenita verde escura, titanita, minerais opacos e feldspato alcalino pertítico.



Fotomicrografia 25 (PB-185C): Aspecto típico dos cumulatos. Os minerais máficos essenciais são clinopiroxênio flogopita, titanita e apatita.



Fotomicrografia 26 (PB-185C): Cristal de bornita, rosada com bordas azuladas de calcosina, associado a magnetita em cumulato máfico-ultramáfico.



Fotomicrografia 27 (PB-186B): Egrina-augita zonada com bordas corroídas e associada ao plagioclásio com geminação polissintética.



Fotomicrografia 28 (PB-186B): Egrina-augita zonada com bordas corroídas e associada ao plagioclásio com geminação polissintética.

ANEXO IV

(Tabelas de Química Mineral e de Rochas)

Piroxênios

Localização	PB2 1	PB2 17	PB2 2	PB2 3	PB2 4	PB22 1c1p1	PB22 c1p1	PB22 c1p2	PB36c c1 p4	PB36c c3p1	PB36c c3p2	PB36c c3p3
SiO2	52,880	53,290	52,180	52,160	52,560	51,487	51,487	52,047	51,912	52,793	52,64	52,281
TiO2	0,330	0,600	0,400	0,240	0,440	0,236	0,236	0,161	0,232	0,516	0,278	0,577
Al2O3	1,110	1,090	1,110	0,970	1,190	1,683	1,683	1,421	1,195	1,695	1,751	1,970
FeO	10,470	9,780	9,640	10,320	10,460	9,378	9,378	9,284	10,713	9,184	9,424	9,326
MnO	0,280	0,370	0,330	0,290	0,370	0,384	0,384	0,435	0,472	0,242	0,248	0,199
MgO	11,980	13,050	12,260	11,120	11,860	13,413	13,413	13,566	11,848	12,542	12,169	12,338
CaO	20,250	20,530	20,640	20,290	20,140	21,775	21,775	22,015	20,658	19,881	19,857	20,117
Na2O	1,700	1,540	1,700	1,920	1,700	.953	.953	.885	1,198	2,172	2,329	2,257
K2O	0	0	0	0	0	.007	.007	.015	0	0	0	.001
Total	99,00	100,25	98,26	97,31	98,72	97,736	99,32	98,333	98,23	99,03	98,70	99,07
TSi	1,990	1,975	1,972	1,998	1,985	1,925	1,925	1,936	1,978	1,969	1,969	1,948
TAI	0,010	0,025	0,028	0,002	0,015	0,074	0,074	0,062	0,022	0,031	0,031	0,052
TFe3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
M1Al	0,039	0,022	0,022	0,042	0,038	0,000	0,000	0,000	0,032	0,043	0,046	0,035
M1Ti	0,009	0,017	0,011	0,007	0,013	0,007	0,007	0,005	0,007	0,014	0,008	0,016
M1Fe3	0,076	0,080	0,107	0,088	0,076	0,131	0,131	0,119	0,065	0,116	0,138	0,147
M1Fe2	0,203	0,160	0,168	0,228	0,206	0,115	0,115	0,124	0,223	0,129	0,130	0,116
M1Mg	0,672	0,721	0,691	0,635	0,668	0,748	0,748	0,752	0,673	0,697	0,679	0,685
M2Fe2	0,050	0,063	0,029	0,015	0,049	0,046	0,046	0,044	0,053	0,041	0,027	0,027
M2Mn	0,009	0,012	0,011	0,009	0,012	0,012	0,012	0,014	0,015	0,008	0,008	0,006
M2Ca	0,817	0,815	0,836	0,833	0,815	0,872	0,872	0,878	0,843	0,794	0,796	0,803
M2Na	0,124	0,111	0,125	0,143	0,124	0,069	0,069	0,064	0,089	0,157	0,169	0,163
Sum_cat	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	3,999	4,000	4,000	4,000	4,000
WO	44,690	44,043	45,379	46,065	44,657	45,307	45,307	45,409	45,028	44,485	44,783	44,984
EN	36,786	38,953	37,504	35,127	36,590	38,831	38,831	38,934	35,932	39,047	38,186	38,387
FS	18,524	17,004	17,117	18,808	18,752	15,862	15,862	15,657	19,040	16,468	17,032	16,629
WEF	87,592	88,888	87,439	85,775	87,536	92,845	92,845	93,417	91,081	84,163	82,912	83,398
JD	4,250	2,396	2,126	4,618	4,150	0,000	0,000	0,000	2,922	4,273	4,289	3,185
AE	8,158	8,716	10,435	9,607	8,314	7,155	7,155	6,583	5,997	11,564	12,799	13,417

Tabela de Dados de Química Mineral de piroxênios obtidos por microsonda eletrônica.

localização	PB36c c3p4	PB36c c3p5	PB36c c3p6	PB38 10	PB38 13	PB38 3	PB38 4	PB38 5	PB38 6	PB38 7B	PB38 8	PB38 9
SiO2	52,569	52,877	51,627	52,530	52,430	52,200	52,620	53,350	52,560	52,490	52,340	51,070
TiO2	0,354	0,354	0,409	0,480	0,270	0,440	0,280	0,300	0,180	0,570	0,620	0,690
Al2O3	1,503	1,626	1,733	1,720	1,780	1,630	1,470	1,840	1,750	1,850	1,720	1,740
FeO	9,312	9,461	9,031	9,910	10,140	10,720	9,560	9,330	9,090	9,390	10,480	10,620
MnO	0,208	0,223	0,210	0,270	0,260	0,280	0,240	0,320	0,270	0,170	0,290	0,280
MgO	12,656	12,483	12,865	11,760	11,460	11,170	12,080	12,350	12,190	12,310	11,810	11,590
CaO	20,418	19,854	20,270	18,930	19,380	19,100	19,530	19,530	19,590	20,050	19,240	19,100
Na2O	2,051	2,222	1,983	2,620	2,580	2,700	2,250	2,190	2,370	2,370	2,580	2,550
K2O	0	0	0,023	0	0	0,4	0	0	0,03	0,05	0	0
Total	99,07	99,10	98,15	98,22	98,30	98,64	98,03	99,21	98,03	99,25	99,08	97,64
TSi	1,960	1,970	1,939	1,976	1,973	1,960	1,985	1,987	1,976	1,952	1,955	1,937
TAI	0,040	0,030	0,061	0,024	0,027	0,040	0,015	0,013	0,024	0,048	0,045	0,063
TFe3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
M1Al	0,026	0,042	0,016	0,052	0,052	0,032	0,050	0,068	0,054	0,033	0,031	0,015
M1Ti	0,010	0,010	0,012	0,014	0,008	0,012	0,008	0,008	0,005	0,016	0,017	0,020
M1Fe3	0,142	0,129	0,167	0,135	0,147	0,198	0,114	0,086	0,134	0,157	0,165	0,196
M1Fe2	0,118	0,126	0,085	0,139	0,150	0,132	0,149	0,152	0,124	0,112	0,128	0,114
M1Mg	0,703	0,693	0,720	0,660	0,643	0,625	0,679	0,686	0,683	0,682	0,658	0,655
M2Fe2	0,030	0,040	0,032	0,037	0,022	0,007	0,039	0,052	0,028	0,023	0,034	0,027
M2Mn	0,007	0,007	0,007	0,009	0,008	0,009	0,008	0,010	0,009	0,005	0,009	0,009
M2Ca	0,816	0,793	0,816	0,763	0,781	0,769	0,789	0,779	0,789	0,799	0,770	0,776
M2Na	0,148	0,161	0,144	0,191	0,188	0,197	0,165	0,158	0,173	0,171	0,187	0,188
Sum_cat	4,000	4,000	3,999	4,000	4,000	3,981	4,000	4,000	3,999	3,998	4,000	4,000
WO	44,914	44,333	44,662	43,777	44,607	44,182	44,397	44,136	44,665	44,913	43,646	43,670
EN	38,736	38,784	39,441	37,840	36,702	35,951	38,209	38,834	38,671	38,368	37,277	36,871
FS	16,350	16,883	15,897	18,382	18,691	19,867	17,394	17,030	16,664	16,719	19,077	19,459
WEF	84,948	83,787	85,178	80,792	80,993	79,675	83,486	84,150	82,535	82,592	81,055	80,834
JD	2,315	3,966	1,308	5,364	4,970	2,857	5,029	6,962	5,006	2,988	3,003	1,372
AE	12,738	12,247	13,514	13,844	14,038	17,468	11,485	8,888	12,459	14,420	15,942	17,795

Tabela de Dados de Química Mineral de piroxênios obtidos por microsonda eletrônica.

Localização	PB42A 1	PB42A 10	PB42A 5	PB42A 6	PB42A 7	PB42A 8	PB47 c2p1	PB47 c2p2	PB47 c2p3	PB47 c2p4	PB47B 1	PB47B 11
SiO2	52,840	51,990	52,860	52,150	52,000	51,580	51,296	51,227	51,015	50,984	51,290	51,840
TiO2	0.130	0.180	0.170	0.420	0.450	0.300	0.441	0.568	0.690	0.523	0.570	0.580
Al2O3	0.870	0.940	1,470	1,480	1,550	1,230	2,045	2,155	2,279	2,060	2,270	1,210
FeO	10,610	10,700	10,870	10,510	10,360	10,700	12,743	12,667	12,969	13,168	13,250	10,670
MnO	0.350	0.360	0.400	0.370	0.320	0.300	0.255	0.244	0.292	0.292	0.300	0.220
MgO	11,560	11,620	11,470	11,640	11,420	11,920	10,145	10,134	9,879	9,492	10,010	11,920
CaO	19,740	19,850	19,480	19,670	19,810	19,770	18,680	18,523	18,276	17,612	17,810	19,660
Na2O	2,300	2,260	2,290	2,270	2,370	2,280	3,549	3,616	3,494	3,880	3,570	2,590
K2O	0.05	0	0	0.03	0.01	0.01	0.004	0	0.003	0.006	0.02	0.02
Total	98.45	97.90	99.01	98.54	98.29	98.09	98,458	98,322	97,912	97,196	99.09	98.71
TSi	1,993	1,972	1,984	1,965	1,963	1,949	1,919	1,916	1,918	1,931	1,923	1,944
TAI	0.007	0.028	0.016	0.035	0.037	0.051	0.081	0.084	0.082	0.069	0.077	0.053
TFe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003
M1Al	0.032	0.014	0.049	0.030	0.032	0.004	0.009	0.011	0.019	0.023	0.023	0.000
M1Ti	0.004	0.005	0.005	0.012	0.013	0.009	0.012	0.016	0.020	0.015	0.016	0.016
M1Fe3	0.138	0.170	0.123	0.148	0.153	0.197	0.305	0.303	0.279	0.301	0.282	0.213
M1Fe2	0.176	0.154	0.181	0.156	0.159	0.119	0.094	0.093	0.129	0.116	0.119	0.105
M1Mg	0.650	0.657	0.642	0.654	0.643	0.672	0.566	0.565	0.554	0.536	0.560	0.666
M2Fe2	0.020	0.016	0.037	0.027	0.015	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014	0.014
M2Mn	0.011	0.012	0.013	0.012	0.010	0.010	0.008	0.008	0.009	0.009	0.010	0.007
M2Ca	0.798	0.807	0.783	0.794	0.801	0.801	0.749	0.742	0.736	0.715	0.715	0.790
M2Na	0.168	0.166	0.167	0.166	0.173	0.167	0.257	0.262	0.255	0.285	0.260	0.188
Súm_cat	3,998	4,000	4,000	3,999	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	3,999	3,999
WO	44,477	44,452	44,033	44,340	44,983	43,988	43,499	43,376	43,129	42,615	42,087	43,935
EN	36,240	36,207	36,074	36,508	36,081	36,902	32,870	33,019	32,438	31,957	32,913	37,064
FS	19,283	19,341	19,893	19,152	18,936	19,110	23,631	23,605	24,433	25,428	25,000	19,001
WEF	83,111	83,187	83,242	83,198	82,433	82,926	73,340	72,856	73,707	70,709	73,209	80,769
JD	3,169	1,276	4,779	2,846	3,034	0.344	0.755	0.925	1,659	2,063	2,054	0.000
AE	13,719	15,537	11,979	13,955	14,533	16,730	25,905	26,219	24,634	27,229	24,737	19,231

Tabela de Dados de Química Mineral de piroxênios obtidos por microsonda eletrônica.

localização	PB47B 12	PB47B 13	PB47B 14	PB47B 15	PB47B 20	PB47B 21	PB47B 22	PB47B 5	PB47B 6	PB47B 7	PB47B 8	PB47B 9
SiO2	52,390	52,330	52,590	51,610	49,780	51,570	51,830	42,720	51,300	51,730	52,080	50,860
TiO2	0,130	0,390	0,430	0,320	0,380	0,230	0,160	0,390	0,610	0,420	0,330	0,570
Al2O3	0,990	1,230	1,760	1,960	1,400	1,360	1,430	1,870	2,220	1,890	1,740	2,230
FeO	10,350	9,680	14,240	13,770	13,500	14,230	14,290	14,320	13,790	14,040	14,360	12,540
MnO	0,290	0,330	0,370	0,300	0,330	0,290	0,300	0,330	0,340	0,370	0,260	0,390
MgO	11,670	12,260	9,420	9,150	9,780	9,370	9,380	9,170	9,320	9,550	9,260	10,020
CaO	19,560	20,050	16,600	16,940	17,590	16,770	16,550	16,730	16,960	16,880	16,700	17,790
Na2O	2,750	2,520	4,030	3,970	3,750	4,260	4,170	4,130	4,000	3,890	4,190	3,480
K2O	0	0	0,01	0	0	0,02	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	98.13	98.79	99.45	98.02	96.51	98.10	98.11	89.66	98.54	135.40	98.92	97.88
TSi	1,972	1,955	1,968	1,958	1,915	1,951	1,963	1,760	1,936	1,508	1,957	1,929
TAI	0,028	0,045	0,032	0,042	0,063	0,049	0,037	0,091	0,064	0,065	0,043	0,071
TFe3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
M1Al	0,016	0,009	0,046	0,046	0,000	0,012	0,026	0,000	0,034	0,000	0,034	0,028
M1Ti	0,004	0,011	0,012	0,009	0,011	0,007	0,005	0,012	0,017	0,009	0,009	0,016
M1Fe3	0,204	0,197	0,254	0,269	0,343	0,337	0,308	0,000	0,288	0,000	0,295	0,266
M1Fe2	0,121	0,101	0,162	0,158	0,070	0,113	0,132	0,425	0,136	0,342	0,143	0,123
M1Mg	0,655	0,683	0,526	0,518	0,561	0,529	0,529	0,563	0,524	0,415	0,519	0,566
M2Fe2	0,001	0,005	0,030	0,010	0,000	0,000	0,013	0,069	0,011	0,000	0,014	0,009
M2Mn	0,009	0,010	0,012	0,010	0,011	0,009	0,010	0,012	0,011	0,914	0,008	0,013
M2Ca	0,789	0,802	0,666	0,689	0,725	0,680	0,671	0,739	0,686	0,527	0,672	0,723
M2Na	0,201	0,183	0,292	0,292	0,280	0,313	0,306	0,330	0,293	0,220	0,305	0,256
Sum_cat	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	3,999	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
WO	44,348	44,630	40,375	41,666	41,885	40,760	40,373	40,877	41,406	23,985	40,733	42,531
EN	36,815	37,971	31,879	31,314	32,403	31,687	31,838	31,175	31,659	18,881	31,426	33,331
FS	18,837	17,399	27,746	27,020	25,713	27,553	27,789	27,948	26,935	57,134	27,841	24,138
WEF	79,683	81,431	70,453	70,312	70,956	68,044	68,875	73,247	70,035	83,329	68,952	73,691
JD	1,507	0,783	4,536	4,322	0,000	1,092	2,446	0,000	3,183	0,000	3,244	2,532
AE	18,809	17,786	25,010	25,366	29,044	30,864	28,680	0,330	26,783	0,220	27,804	23,777

Tabela de Dados de Química Mineral de piroxênios obtidos por microsonda eletrônica.

localização	PB48 11	PB48 13	PB48 14	PB48 15	PB48 20	PB48 c13p3	PB48 c13p4	PB48 c2p2	PB48 c2p3	PB48 c2p4	PB48 c2p5	PB48 c3p1
SiO2	51,980	52,900	52,130	52,350	52,290	51,848	51,475	52,253	52,455	52,513	52,974	51,667
TiO2	0,290	0,070	0,390	0,120	0,460	0,517	0,368	0,168	0,163	0,109	0,232	0,428
Al2O3	1,390	1,250	1,360	1,350	1,490	1,643	1,503	1,26	1,378	1,197	1,063	1,489
FeO	10,080	11,360	11,260	10,990	11,110	10,696	10,878	10,924	11,128	11,054	10,716	10,607
MnO	0,460	0,370	0,530	0,500	0,470	0,472	406	0,422	0,465	0,479	0,446	0,375
MgO	11,590	11,270	11,400	11,510	11,580	11,705	11,838	11,771	11,858	11,756	11,719	11,907
CaO	20,960	20,920	21,280	21,410	20,910	20,396	20,756	20,55	20,514	20,887	20,842	20,581
Na2O	1,420	1,360	1,250	1,240	1,380	1,363	1,3	1,276	1,368	1,449	1,170	1,372
K2O	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,032	0,25	0,014	0	0,020	0	0,008
Total	98,17	99,50	99,60	99,47	99,69	98,67	98,55	98,64	99,33	99,46	99,16	98,43
TSi	1,977	1,995	1,965	1,973	1,965	1,966	1,953	1,983	1,976	1,974	2,003	1,961
TAI	0,023	0,005	0,035	0,027	0,035	0,034	0,047	0,017	0,024	0,026	0,000	0,039
TFe3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
M1Al	0,040	0,050	0,026	0,033	0,031	0,039	0,021	0,039	0,037	0,027	0,047	0,027
M1Ti	0,008	0,002	0,011	0,003	0,013	0,015	0,011	0,005	0,005	0,003	0,007	0,012
M1Fe3	0,071	0,051	0,078	0,078	0,078	0,067	0,102	0,063	0,078	0,099	0,020	0,089
M1Fe2	0,224	0,264	0,244	0,239	0,229	0,217	0,198	0,227	0,215	0,212	0,266	0,198
M1Mg	0,657	0,633	0,641	0,647	0,649	0,662	0,670	0,666	0,666	0,659	0,660	0,674
M2Fe2	0,026	0,044	0,032	0,029	0,042	0,055	0,046	0,056	0,058	0,037	0,053	0,050
M2Mn	0,015	0,012	0,017	0,016	0,015	0,015	0,013	0,014	0,015	0,015	0,014	0,012
M2Ca	0,854	0,845	0,859	0,864	0,842	0,829	0,844	0,835	0,828	0,841	0,844	0,837
M2Na	0,105	0,099	0,091	0,091	0,101	0,100	0,096	0,094	0,100	0,106	0,086	0,101
Sum_cat	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	3,998	3,999	3,999	4,000	3,999	4,000	4,000
WO	46,251	45,716	45,912	46,144	45,392	44,921	45,083	44,880	44,531	45,160	45,442	45,011
EN	35,585	34,267	34,222	34,516	34,977	35,870	35,777	35,769	35,816	35,366	35,552	36,233
FS	18,164	20,016	19,866	19,340	19,632	19,209	19,140	19,351	19,653	19,474	19,006	18,755
WEF	89,451	90,041	90,754	90,831	89,834	89,866	90,247	90,547	89,911	89,306	91,464	89,763
JD	3,798	4,944	2,271	2,700	2,922	3,729	1,648	3,620	3,216	2,315	6,012	2,409
AE	6,751	5,015	6,975	6,469	7,244	6,404	8,104	5,832	6,874	8,378	2,524	7,828

Tabela de Dados de Química Mineral de piroxênios obtidos por microsonda eletrônica.

Localização	PB48 c3p2	PB52A 12	PB52A 14	PB52A 15	PB52A 3	PB59 1	PB59 2	PB59 3	PB59 4	PB59 5	PB59 6	PB59 7
SiO2	51,672	51,610	52,240	52,780	52,380	52,050	50,730	51,730	51,930	52,010	51,800	50,120
TiO2	0,309	0,250	0,280	0,350	0,070	0,110	0,410	0,540	0,000	0,100	0,100	0,520
Al2O3	1,466	1,320	1,190	1,360	1,190	0,900	2,240	2,380	0,680	0,930	0,820	1,870
FeO	10,273	11,170	11,560	11,570	11,800	23,640	10,810	9,850	23,500	23,550	23,620	9,840
MnO	0,464	0,450	0,420	0,500	0,530	0,660	0,360	0,290	0,780	0,740	0,750	0,240
MgO	11,846	11,600	11,430	11,190	11,140	21,260	13,010	12,700	21,440	21,080	21,530	12,880
CaO	20,775	20,420	20,630	20,450	20,760	0,620	19,980	20,950	0,670	0,660	0,600	20,630
Na2O	1,273	1,390	1,340	1,400	1,290	0,120	0,630	0,670	0,020	0,020	0,050	0,590
K2O	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	98,08	98,21	99,09	99,60	99,16	99,36	98,17	99,11	99,02	99,09	99,27	96,69
TSi	1,968	1,967	1,978	1,991	1,986	1,962	1,932	1,950	1,964	1,969	1,954	1,935
TAI	0,032	0,033	0,022	0,009	0,014	0,038	0,068	0,050	0,030	0,031	0,036	0,065
TFe3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000	0,010	0,000
M1Al	0,034	0,026	0,032	0,051	0,039	0,002	0,032	0,056	0,000	0,010	0,000	0,020
M1Ti	0,009	0,007	0,008	0,010	0,002	0,003	0,012	0,015	0,000	0,003	0,003	0,015
M1Fe3	0,074	0,095	0,072	0,040	0,066	0,038	0,059	0,012	0,037	0,017	0,044	0,058
M1Fe2	0,211	0,213	0,243	0,269	0,264	0,000	0,159	0,203	0,000	0,000	0,000	0,165
M1Mg	0,673	0,659	0,645	0,629	0,630	0,957	0,739	0,714	0,963	0,970	0,953	0,741
M2Fe2	0,043	0,049	0,051	0,055	0,045	0,707	0,127	0,096	0,700	0,729	0,691	0,095
M2Mn	0,015	0,015	0,013	0,016	0,017	0,021	0,012	0,009	0,025	0,024	0,024	0,008
M2Ca	0,848	0,834	0,837	0,826	0,843	0,025	0,815	0,846	0,027	0,027	0,024	0,853
M2Na	0,094	0,103	0,098	0,102	0,095	0,009	0,047	0,049	0,001	0,001	0,004	0,044
Sum_cat	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
WO	45,516	44,747	44,957	44,999	45,239	1,261	42,688	45,017	1,355	1,348	1,210	44,441
EN	36,112	35,368	34,657	34,260	33,777	60,155	38,676	37,970	60,313	59,910	60,413	38,605
FS	18,372	19,885	20,387	20,742	20,984	38,585	18,636	17,013	38,332	38,742	38,377	16,954
WEF	90,489	89,594	90,093	89,765	90,460	99,107	95,214	95,017	99,851	99,851	99,626	95,471
JD	3,011	2,273	3,011	5,713	3,557	0,045	1,693	4,107	0,000	0,056	0,000	1,170
AE	6,501	8,133	6,896	4,521	5,984	0,848	3,093	0,875	0,149	0,093	0,374	3,359

Tabela de Dados de Química Mineral de piroxênios obtidos por microsonda eletrônica.

localização	PB59 8	PB59 9	PB59 10	PB59 11	PB59 12	PB5a c1p1	PB5a c1p2	PB5a c2p1	PB5a c2p2	PB5a c2p3	PB5a c2p4	PB5a c3p2
SiO2	52,470	51,570	50,690	52,720	52,900	51,401	51,738	51,301	51,004	51,462	51,575	53,148
TiO2	0,270	0,180	0,070	0,160	0,020	0,0324	0,134	0,136	0,197	0,196	0,225	0,033
Al2O3	1,580	0,87	1,660	0,780	0,920	1,536	1,197	1,285	1,448	1,209	1,318	0,337
FeO	14,430	23,31	9,500	23,170	23,610	10,292	10,627	10,761	10,983	10,937	10,669	29,852
MnO	0,470	0,700	0,270	0,690	0,700	0,420	0,420	0,470	0,390	0,404	0,376	0,187
MgO	14,270	21,540	13,280	21,430	20,720	12,243	11,842	11,786	11,538	11,803	11,566	4,595
CaO	15,290	0,68	21,110	0,660	0,770	22,275	22,410	22,531	22,640	22,698	22,468	1,891
Na2O	0,540	0,000	0,610	0,010	0,770	1,044	0,997	1,061	1,106	1,039	1,029	5,977
K2O	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,036	0,012	0,005	0	0,011	0,017
Total	99,32	98,85	97,19	99,62	100,41	98,791	97,814	98,725	98,719	99,148	98,625	95,463
TSi	1,986	1,952	1,941	1,982	1,968	1,929	1,950	1,934	1,925	1,934	1,949	2,143
TAI	0,014	0,039	0,059	0,018	0,032	0,068	0,050	0,057	0,064	0,054	0,051	0,000
TFe3	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,009	0,011	0,013	0,000	0,000
M1Al	0,056	0,000	0,016	0,017	0,008	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,007	0,016
M1Ti	0,008	0,005	0,002	0,005	0,001	0,009	0,004	0,004	0,006	0,006	0,006	0,001
M1Fe3	0,000	0,037	0,084	0,000	0,079	0,129	0,114	0,136	0,145	0,131	0,107	0,163
M1Fe2	0,131	0,000	0,140	0,000	0,000	0,177	0,214	0,194	0,191	0,200	0,228	0,543
M1Mg	0,805	0,958	0,758	0,979	0,913	0,685	0,665	0,662	0,649	0,661	0,652	0,276
M2Fe2	0,325	0,692	0,080	0,728	0,656	0,014	0,007	0,000	0,000	0,000	0,002	0,300
M2Mn	0,015	0,022	0,009	0,022	0,022	0,013	0,013	0,015	0,012	0,013	0,012	0,006
M2Ca	0,620	0,028	0,866	0,027	0,031	0,896	0,905	0,910	0,916	0,914	0,910	0,082
M2Na	0,040	0,000	0,045	0,001	0,056	0,076	0,073	0,078	0,081	0,076	0,075	0,467
Sum_cat	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	3,999	3,998	3,999	4,000	4,000	3,999	3,999
WO	32,685	1,377	44,709	1,344	1,585	46,722	47,165	47,234	47,588	47,310	47,616	5,959
EN	42,444	60,671	39,134	60,718	59,343	35,731	34,678	34,379	33,744	34,230	34,105	20,147
FS	24,871	37,952	16,157	37,938	39,073	17,547	18,157	18,388	18,668	18,459	18,279	73,893
WEF	95,989	100,000	95,339	99,926	94,357	92,157	92,529	91,991	91,614	92,193	92,285	56,374
JD	4,011	0,000	0,731	0,074	0,513	0,000	0,193	0,000	0,000	0,000	0,501	3,895
AE	0,000	0,000	3,930	0,000	5,130	7,843	7,278	8,009	8,386	7,807	7,214	39,731

Tabela de Dados de Química Mineral de piroxênios obtidos por microsonda eletrônica.

Anfibólios

localização	PB181	PB181	PB181	PB181	PB181	PB181	PB181	PB181	PB181	PB181	PB181	PB181	PB181	PB181	PB181	PB181	PB181	PB181	PB181	PB181	PB181
SiO2	c1p2	c1p5	c1p6	c1p7	c1p8	c1p9	c6p1	c6p10	c6p11	c6p12	c6p13	c6p14									
TiO2	45,859	46,439	45,929	47,255	46,761	46,254	47,510	47,426	49,278	46,574	46,804	46,864									
Al2O3	0,848	0,874	0,981	0,706	0,747	0,873	0,458	0,466	0,291	0,954	0,743	0,672									
FeO	6,636	6,457	6,165	5,690	6,382	6,453	5,750	5,911	4,675	6,491	6,390	5,802									
MnO	12,779	12,083	13,283	11,930	12,668	12,414	11,909	11,889	10,402	12,191	12,622	12,561									
MgO	0,299	0,301	0,338	0,368	0,393	0,378	0,362	0,384	0,345	0,348	0,360	0,334									
CaO	15,093	15,375	15,388	15,749	15,360	15,344	16,167	15,761	16,668	15,573	15,388	15,432									
Na2O	9,295	9,320	9,194	9,109	9,088	9,301	8,905	9,173	8,9	9,431	9,214	9,244									
K2O	3,746	3,697	3,852	3,956	3,777	3,664	3,975	3,835	3,938	3,777	3,769	3,834									
F	1,837	1,698	1,715	1,509	1,653	1,754	1,572	1,540	1,351	1,614	1,662	1,684									
Cl	2,601	2,028	1,578	2,367	2,017	2,021	2,305	2,026	2,477	1,832	2,167	1,487									
O_F/Cl	0,04	0,049	0,065	0,040	0,044	0,061	0,031	0,054	0,044	0,064	0,031	0,061									
Total	1,10	0,86	0,68	1,01	0,86	0,86	0,98	0,87	1,05	0,79	0,92	0,64									
	99,03	98,32	98,49	98,68	98,89	98,52	98,94	98,47	98,37	98,85	99,15	97,98									
TSi	6,794	6,862	6,765	6,961	6,856	6,826	6,940	6,966	7,211	6,830	6,861	6,923									
TAI	1,158	1,124	1,069	0,987	1,102	1,122	0,989	1,023	0,789	1,121	1,103	1,009									
TFe3	0,049	0,015	0,166	0,052	0,042	0,052	0,071	0,011	0,000	0,048	0,036	0,067									
Sum_T	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000									
CAI	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,016	0,000	0,000	0,000									
CFe3	0,643	0,614	0,694	0,594	0,741	0,660	0,753	0,662	0,549	0,619	0,700	0,585									
CTi	0,094	0,097	0,109	0,078	0,082	0,097	0,050	0,051	0,032	0,105	0,082	0,075									
CMg	3,333	3,387	3,379	3,458	3,357	3,376	3,521	3,451	3,636	3,405	3,363	3,399									
CFe2	0,891	0,865	0,777	0,823	0,771	0,820	0,631	0,787	0,724	0,828	0,811	0,900									
CMn	0,038	0,038	0,042	0,046	0,049	0,047	0,045	0,048	0,043	0,043	0,045	0,042									
Sum_C	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000									
BCa	1,475	1,475	1,451	1,438	1,428	1,471	1,394	1,444	1,395	1,482	1,447	1,463									
BNa	0,525	0,525	0,549	0,562	0,572	0,529	0,606	0,556	0,605	0,518	0,553	0,537									
Sum_B	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000									
ANa	0,551	0,535	0,551	0,568	0,501	0,519	0,520	0,536	0,513	0,556	0,518	0,561									
AK	0,347	0,320	0,322	0,284	0,309	0,330	0,293	0,289	0,252	0,302	0,311	0,317									
Sum_A	0,899	0,855	0,873	0,851	0,811	0,849	0,813	0,825	0,765	0,858	0,829	0,879									
Sum_cat	15,899	15,855	15,873	15,851	15,811	15,849	15,813	15,825	15,765	15,858	15,829	15,879									
CCI	0,010	0,012	0,016	0,010	0,011	0,015	0,008	0,013	0,011	0,016	0,008	0,015									
CF	1,219	0,948	0,735	1,103	0,935	0,943	1,065	0,941	1,146	0,850	1,004	0,695									

Tabela de Dados de Química Mineral de **anfíbólios** obtidos por microsonda eletrônica.
Fórmula Estrutural na base de 23 oxigênios.

Localização	PB181 c6p3	PB181 c6p4	PB181 c6p5	PB181 c6p6	PB181 c6p7	PB181 c6p9	PB48 c1p1	PB48 c3p1	PB48 c3p2	PB48 c3p3	PB48 c3p4	PB48 c3p5
SiO2	47,534	46,935	48,115	47,553	46,846	47,473	46,664	46,652	46,285	46,329	46,236	46,491
TiO2	0,528	0,603	0,467	0,481	0,563	0,704	0,945	1,108	1,268	1,115	1,428	1,122
Al2O3	6,1	6,223	5,542	5,741	5,883	5,865	6,679	7,182	7,700	6,964	7,182	6,853
FeO	12,312	13,084	11,389	12,066	13,261	11,938	11,982	11,860	12,206	12,031	12,231	12,167
MnO	0,3	0,394	0,436	0,371	0,371	0,334	0,388	0,290	0,304	0,275	0,304	0,271
MgO	15,649	15,6	15,977	15,860	15,699	15,689	15,074	15,228	14,699	14,643	14,804	14,977
CaO	9,125	9,308	9,059	9,222	8,9	9,059	10,657	10,582	10,696	10,933	10,824	10,795
Na2O	3,771	3,731	3,851	3,833	3,749	3,789	2,593	2,501	2,686	2,574	2,709	2,549
K2O	1,597	1,574	1,520	1,475	1,538	1,695	1,300	1,351	1,393	1,244	1,317	1,373
F	1,981	1,867	2,228	2,125	1,619	1,983	2,081	1,886	1,323	1,36	1,708	1,821
Cl	0,053	0,045	0,054	0,052	0,045	0,036	0,157	0,101	0,127	0,119	0,089	0,118
O_F_Cl	0,85	0,80	0,95	0,91	0,69	0,84	0,91	0,82	0,59	0,60	0,74	0,79
Total	98,95	99,36	98,64	98,78	98,47	98,57	98,52	98,74	98,69	97,59	98,83	98,54
TSi	6,944	6,837	7,051	6,968	6,842	6,968	6,889	6,829	6,785	6,884	6,805	6,857
TAI	1,049	1,067	0,949	0,991	1,012	1,014	1,111	1,171	1,215	1,116	1,195	1,143
TFe3	0,007	0,096	0,000	0,042	0,146	0,018	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sum_T	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
CAI	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,050	0,067	0,114	0,102	0,050	0,048
CFe3	0,718	0,780	0,614	0,666	0,900	0,631	0,493	0,578	0,438	0,306	0,394	0,447
CTi	0,058	0,066	0,051	0,053	0,062	0,078	0,105	0,122	0,140	0,125	0,158	0,124
CMg	3,408	3,387	3,491	3,464	3,418	3,433	3,317	3,323	3,212	3,243	3,248	3,293
CFe2	0,779	0,718	0,782	0,770	0,574	0,817	0,986	0,873	1,058	1,189	1,111	1,054
CMn	0,037	0,049	0,054	0,046	0,046	0,042	0,049	0,036	0,038	0,035	0,038	0,034
Sum_C	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
BCa	1,428	1,453	1,422	1,448	1,393	1,425	1,686	1,660	1,680	1,740	1,707	1,706
BNa	0,572	0,547	0,578	0,552	0,607	0,575	0,314	0,340	0,320	0,260	0,293	0,294
Sum_B	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
ANa	0,496	0,506	0,517	0,537	0,455	0,503	0,428	0,370	0,443	0,482	0,480	0,435
AK	0,298	0,292	0,284	0,276	0,287	0,317	0,245	0,252	0,261	0,236	0,247	0,258
Sum_A	0,794	0,799	0,801	0,812	0,741	0,821	0,673	0,622	0,704	0,718	0,727	0,693
Sum_cat	15,794	15,799	15,801	15,812	15,741	15,821	15,673	15,622	15,704	15,718	15,727	15,693
CCI	0,013	0,011	0,013	0,013	0,011	0,009	0,039	0,025	0,032	0,030	0,022	0,030
CF	0,915	0,860	1,033	0,985	0,748	0,920	0,972	0,873	0,613	0,639	0,795	0,849

Tabela de Dados de Química Mineral de **anfíbólios** obtidos por microsonda eletrônica.
Fórmula Estrutural na base de 23 oxigênios.

Localização	PB5A C2P1	PB5A C2P2	PB5A C2P3	PB5A C2P4	PB5A C3P1	PB5A C3P4	PB5A C3P5	PB5A C3P6
SiO2	44,035	44,325	43,504	44,114	44,142	44,415	43,859	44,27
TiO2	1,157	1,056	1,185	576	949	1,176	1,409	1,195
Al2O3	8,582	8,446	8,101	8,282	8,371	7,646	7,713	7,703
FeO	15,784	14,973	14,570	14,761	14,690	15,479	15,162	15,427
MnO	0,260	0,352	0,253	0,239	0,296	0,309	0,301	0,349
MgO	12,648	12,559	12,686	13,113	12,792	12,647	12,544	12,598
CaO	11,804	11,732	13,399	13,313	13,030	13,033	12,892	13,023
Na2O	2,001	2,054	2,05	1,864	1,991	2,036	2,096	2,065
K2O	1,332	1,475	1,441	1,195	1,417	1,322	1,319	1,383
F	0,558	0,828	0,684	0,337	0,836	0,644	0,879	1,019
Cl	0,165	0,134	0,129	0,209	0,175	0,129	0,152	0,188
O_F_Cl	0,27	0,38	0,32	0,19	0,39	0,30	0,40	0,47
Total	98.33	97.93	98.00	98.00	98.69	98.84	98.33	99.22
TSi	6,558	6,653	6,634	6,638	6,648	6,686	6,658	6,675
TAI	1,442	1,347	1,366	1,362	1,352	1,314	1,342	1,325
TFe3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sum_T	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
CAI	0,063	0,146	0,089	0,105	0,133	0,041	0,037	0,043
CFe3	0,521	0,308	0,000	0,061	0,000	0,000	0,000	0,000
CTi	0,130	0,119	0,136	0,065	0,108	0,133	0,161	0,136
CMg	2,808	2,810	2,884	2,941	2,872	2,838	2,839	2,832
CFe2	1,445	1,571	1,858	1,797	1,850	1,949	1,925	1,945
CMn	0,033	0,045	0,033	0,030	0,038	0,039	0,039	0,045
Sum_C	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
BCa	1,884	1,887	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
BNa	0,116	0,113	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sum_B	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
ANa	0,461	0,485	0,606	0,544	0,581	0,594	0,617	0,604
AK	0,253	0,282	0,280	0,229	0,272	0,254	0,255	0,266
Sum_A	0,715	0,767	1,076	0,920	0,956	0,950	0,969	0,974
Sum_cat	15,715	15,767	16,076	15,920	15,956	15,950	15,969	15,974
CCl	0,042	0,034	0,033	0,053	0,045	0,033	0,039	0,048
CF	0,263	0,393	0,330	0,160	0,398	0,307	0,422	0,486

Tabela de Dados de Química Mineral de **anfíbios** obtidos por microsonda eletrônica.
Fórmula Estrutural na base de 23 oxigênios.

Biotitas

Localização	PB-123A I21	PB-123A I24	PB-22 I10	PB-22 I11	PB-22 I13	PB-22 I21	PB-36c c1p1	PB-36c c1p2	PB-36c c1p3	PB-36c c2p1	PB-36c c2p2	PB-36c c2p3	PB-36c c2p4
SiO2	40,06	39,51	39,05	38,52	38,56	38,76	39,656	38,92	38,892	39,587	39,316	39,929	39,523
TiO2	2,85	3,18	3,5	3,69	3,93	3,42	3,142	3,344	3,143	2,881	2,952	2,922	2,913
Al2O3	12,47	12,25	12,77	12,87	12,87	13,98	12,458	12,115	12,3	12,194	12,317	12,467	12,383
FeO	11,06	10,93	13,23	13,68	13,54	12,48	11,233	10,35	10,483	9,950	9,592	10,520	10,111
MnO	0,06	0,06	0,06	0,06	0,15	0,05	0,069	0,125	0,149	0,130	0,143	0,153	0,150
MgO	17,95	18,2	17,63	17,3	17,29	18,11	18,299	19,463	19,106	19,469	19,647	19,175	19,308
Na2O	0,12	0,09	0,02	0,07	0,11	0,04	0,169	0,196	0,218	0,143	0,154	0,140	0,179
K2O	9,6	9,69	10,02	9,87	9,92	10,12	9,831	9,970	9,751	9,784	9,866	9,49	9,539
BaO	0,54	0,67	0,31	0,51	0,41	0,33	456	657	0,803	0,669	0,712	0,769	0,821
F	2,78	3,31					1,297	1,146	1,797	1,74	1,29	1,221	1,256
Cl	0,27	0,29					0,206	0,172	0,185	0,083	0,044	0,028	0,067
O_F_Cl	1,23	1,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,59	0,52	0,80	0,75	0,55	0,52	0,54
Total	97,76	98,18	96,59	96,57	96,78	97,29	96,82	96,46	96,83	96,63	96,03	96,81	96,25
CTotal	96,53	96,72	96,59	96,57	96,78	97,29	96,23	95,94	96,03	95,88	95,48	96,29	95,71
Si	5,916	5,860	5,732	5,680	5,670	5,629	5,839	5,751	5,766	5,839	5,805	5,844	5,825
AlIV	2,084	2,140	2,208	2,235	2,229	2,371	2,160	2,108	2,148	2,118	2,142	2,149	2,149
AlVI	0,085	0,000	0,000	0,000	0,000	0,020	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ti	0,317	0,355	0,386	0,409	0,435	0,374	0,348	0,372	0,351	0,320	0,328	0,322	0,323
Fe2	1,366	1,356	1,624	1,687	1,665	1,516	1,383	1,279	1,300	1,227	1,184	1,288	1,246
Mn	0,008	0,008	0,007	0,007	0,019	0,006	0,009	0,016	0,019	0,016	0,018	0,019	0,019
Ba	0,031	0,039	0,018	0,029	0,024	0,019	0,026	0,038	0,047	0,039	0,041	0,044	0,047
Mg	3,952	4,024	3,858	3,803	3,790	3,921	4,017	4,288	4,223	4,281	4,324	4,184	4,242
Na	0,034	0,026	0,006	0,020	0,031	0,011	0,048	0,056	0,063	0,041	0,044	0,040	0,051
K	1,809	1,834	1,876	1,857	1,861	1,875	1,847	1,880	1,844	1,841	1,858	1,772	1,794
O	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000

Tabela de Dados de Química Mineral de **biotitas** obtidos por microsonda eletrônica.
Formula Estrutural na base de 22 oxigênios.

localização	PB-36c c2p5	PB-36c c2p6	PB-36c c4p1	PB-36c c4p2	PB-36c c4p3	PB-47 c1p1	PB-47 c1p10	PB-47 c1p6	PB-5A /27	PB-5A /28	PB-5A /29	PB-92A /1	PB-92A /12
SiO2	40,226	39,338	39,825	40,420	39,766	40,826	40,944	40,575	38,65	38,65	38,74	40,63	40,69
TiO2	2,587	2,663	2,911	2,799	3,126	0,942	0,993	1,172	2,65	3,13	2,86	1,2	1,19
Al2O3	12,152	12,236	12,454	12,364	12,427	11,836	11,547	11,633	13,29	12,78	13,11	11,82	11,81
FeO	9,929	10,745	9,874	9,84	10,101	8,771	9,243	9,420	14,57	14,85	14,16	10,84	10,79
MnO	0,113	0,085	0,125	0,167	0,086	0,429	0,335	0,294	0,14	0,1	0,07	0,34	0,37
MgO	19,443	18,881	19,673	19,988	19,457	21,678	21,095	20,772	17,12	16,71	17,19	19,11	19,23
Na2O	0,211	0,105	0,192	0,204	0,153	0,207	0,248	0,266	0,05	0,08	0,07	0,22	0,26
K2O	9,777	9,946	9,356	9,725	9,614	9,920	10,058	10,229	10,05	10,05	9,83	9,87	9,79
BaO	0,896	0,826	0,610	0,617	0,649	0	0	0	0,25	0,17	0,45	0,58	0,3
F	1,101	1,574	1,548	1,156	1,592	3,474	2,606	3,170	0	0	0	3,71	3,44
Cl	0,08	0,07	0,09	0,072	0,111	0,052	0,034	0,057	0	0	0	0	0
O_F_Cl	0,48	0,68	0,67	0,50	0,70	1,47	1,10	1,35	0,00	0,00	0,00	1,56	1,45
Total	96,52	96,47	96,66	97,35	97,08	98,14	97,10	97,59	96,77	96,52	96,48	98,32	97,87
CTotal	96,04	95,79	95,99	96,85	96,38	96,67	96,00	96,24	96,77	96,52	96,48	96,76	96,42
Si	5,899	5,836	5,836	5,861	5,822	5,966	6,008	5,977	5,700	5,723	5,720	6,017	6,021
AlIV	2,099	2,138	2,149	2,111	2,143	2,034	1,992	2,018	2,300	2,229	2,280	1,983	1,979
AlVI	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,004	0,000	0,008	0,000	0,000	0,079	0,079
Ti	0,285	0,297	0,321	0,305	0,344	0,104	0,110	0,130	0,294	0,349	0,318	0,134	0,132
Fe2	1,218	1,333	1,210	1,193	1,237	1,072	1,134	1,160	1,797	1,839	1,748	1,343	1,335
Mn	0,014	0,011	0,016	0,021	0,011	0,053	0,042	0,037	0,017	0,013	0,009	0,043	0,046
Ba	0,051	0,048	0,035	0,035	0,037	0,000	0,000	0,000	0,014	0,010	0,026	0,034	0,017
Mg	4,251	4,176	4,298	4,321	4,247	4,723	4,615	4,561	3,764	3,689	3,784	4,219	4,242
Na	0,060	0,030	0,055	0,057	0,043	0,059	0,071	0,076	0,014	0,023	0,020	0,063	0,075
K	1,829	1,882	1,749	1,799	1,796	1,849	1,883	1,922	1,891	1,898	1,852	1,865	1,848
O	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000

Tabela de Dados de Química Mineral de **biotitas** obtidos por microsonda eletrônica.
Formula Estrutural na base de 22 oxigênios.

localização	PB-92A /13	PB-92A /4	PB-92A /6
SiO2	40.3	39.71	40.05
TiO2	1.47	1.24	0.96
Al2O3	11.73	11.67	11.75
FeO	10.87	11.24	10.74
MnO	0.33	0.37	0.44
MgO	18.81	19.55	19.71
Na2O	0.25	0.22	0.26
K2O	9.7	9.79	9.89
BaO	0.52	0.49	0.44
F	3.55	3.57	3.75
Cl	0.01	0	0
O_F_Cl	1.50	1.50	1.58
Total	97.54	97.85	97.99
CTotal	96.04	96.35	96.41
Si	6.007	5.926	5.962
AlIV	1.993	2.051	2.038
AlVI	0.066	0.000	0.022
Ti	0.165	0.139	0.107
Fe2	1.355	1.403	1.337
Mn	0.042	0.047	0.055
Ba	0.030	0.029	0.026
Mg	4.180	4.349	4.374
Na	0.072	0.064	0.075
K	1.844	1.864	1.878
O	22,000	22,000	22,000

Tabela de Dados de Química Mineral de **biotitas** obtidos por microsonda eletrônica.
Formula Estrutural na base de 22 oxigênios.

Óxidos de Fe e Ti

	PB-148 / C2			PB-148 / C5	
	<i>Média no Grão</i>	<i>Desvio Padrão</i>		<i>Média no Grão</i>	<i>Desvio Padrão</i>
SiO2	0.2298	0.4494		0.3658	0.4688
TiO2	17.3272	2.1075		38.2378	5.3140
Al2O3	0.0785	0.0560		0.0898	0.0584
Fe2O3(T)	0.0000	0.0000		0.0000	0.0000
FeO(T)	74.1520	1.8430		55.0016	4.6577
MnO	0.1893	0.0384		0.6370	0.1640
MgO	0.1195	0.0355		0.3912	0.0696
CaO	0.1415	0.2926		0.1404	0.1940
Na2O	0.0000	0.0000		0.0000	0.0000
K2O	0.0000	0.0000		0.0000	0.0000
Cr2O3	0.1257	0.0211		0.0598	0.0360
BaO	0.0000	0.0000		0.0000	0.0000
ZnO	0.0000	0.0000		0.0000	0.0000
V2O3	0.0000	0.0000		0.0000	0.0000
NiO	0.0000	0.0000		0.0000	0.0000
Nb2O3	0.0000	0.0000		0.0000	0.0000
Sum:	92.3635	0.7845		94.9234	0.9955
Fe2O3 wt. %	65.4321			24.1042	
FeO wt. %	15.2757			33.3123	
total	98.9192	0.6571		97.3384	0.5302
Si	0.0060			0.0095	
Ti	0.3431			0.7511	
Al	0.0024			0.0028	
Fe+3	1.2967			0.4746	
Fe+2	0.3362			0.7274	
Mn	0.0042			0.0141	
Mg	0.0047			0.0152	
Ca	0.0040			0.0039	
Na	0.0000			0.0000	
K	0.0000			0.0000	
Cr	0.0026			0.0012	
Ba	0.0000			0.0000	
Zn	0.0000			0.0000	
V	0.0000			0.0000	
Ni	0.0000			0.0000	
Nb	0.0000			0.0000	
Total:	2			2	
	Recalculado			Recalculado	
TiO2	0.343	25.841		0.751	43.777
Fe2O3	0.648	48.833		0.237	13.828
FeO	0.336	25.326		0.727	42.395
Total	1.328	100.000		1.716	100.000

Tabelas de Química Mineral de Óxidos obtida por Microsonda Eletrônica.

PB-148 / C5			PB-148 / C5		
	<i>Média no Grão</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>Média no Grão</i>	<i>Desvio Padrão</i>	
SiO ₂	0.0525	0.00353	0.04333	0.0055	
TiO ₂	0.1055	0.1491	0.079	0.0653	
Al ₂ O ₃	0.217	0.00707	0.2166	0.0366	
Fe ₂ O ₃ (T)	0	0	0	0	
FeO(T)	92.1135	0.4277	92.0403	0.70237	
MnO	0.004	0.005656	0.00633	0.005312	
MgO	0.0185	0.026162	0.01966	0.014055	
CaO	0.0105	0.01484	0.046	0.0206	
Na ₂ O	0	0	0	0	
K ₂ O	0	0	0	0	
Cr ₂ O ₃	0.253	0.00424	0.264	0.01805	
BaO	0	0	0	0	
ZnO	0	0	0	0	
V ₂ O ₃	0	0	0	0	
NiO	0	0	0	0	
Nb ₂ O ₃	0	0	0	0	
Sum:	92.7745	0	92.7153	0.5576	
Fe ₂ O ₃ wt. %	67.8486		67.8792		I
FeO wt. %	31.0627		30.9619		
total	99.5723	0.6207	99.51625	0.8618	
Si	0.00202		0.001675		
Ti	0.00305		0.002309		
Al	0.00988		0.009857		
Fe+3	1.9722		1.9741		
Fe+2	1.00345		1.00073		
Mn	0.0001314		0.000208		
Mg	0.00106		0.001128		
Ca	0.000432		0.00191		
Na	0		0		
K	0		0		
Cr	0.007727		0.00807		
Ba	0		0		
Zn	0		0		
V	0		0		
Ni	0		0		
Nb	0		0		
Total:	3		3		
Recalculado			Recalculado		
TiO ₂	0.003	0.153	0.002	0.116	
Fe ₂ O ₃	0.986	49.488	0.987	49.598	
FeO	1.003	50.358	1.001	50.286	
Total	1.993	100.000	1.990	100.000	

Tabelas de Química Mineral de Óxidos obtida por Microsonda Elettronica.

PB-181 / C3			PB-148 / C1		
	Média no Grão	Desvio Padrão	Média no Grão	Desvio Padrão	
SiO2	0.0280	0.0173	0.0317	0.0293	
TiO2	17.3407	0.4209	18.7993	2.3686	
Al2O3	0.1167	0.0555	1.0375	1.8964	
Fe2O3(T)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
FeO(T)	74.9407	1.1223	72.0533	2.4366	
MnO	0.2083	0.0229	0.3235	0.0556	
MgO	0.0307	0.0070	0.3328	0.1672	
CaO	0.0213	0.0199	0.0310	0.0241	
Na2O	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
K2O	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
Cr2O3	0.0737	0.0345	0.0890	0.0209	
BaO	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
ZnO	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
V2O3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
NiO	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
Nb2O3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
Sum:	92.7600	1.0234	92.6979	0.4072	
Fe2O3 wt. %	66.2376		62.3074		
FeO wt. %	15.3395		15.9885		
total	99.3964	1.1361	98.9406	0.5709	
Si	0.0007		0.0008		
Ti	0.3425		0.3698		
Al	0.0036		0.0316		
Fe+3	1.3084		1.2253		
Fe+2	0.3368		0.3497		
Mn	0.0046		0.0072		
Mg	0.0012		0.0129		
Ca	0.0006		0.0009		
Na	0.0000		0.0000		
K	0.0000		0.0000		
Cr	0.0015		0.0018		
Ba	0.0000		0.0000		
Zn	0.0000		0.0000		
V	0.0000		0.0000		
Ni	0.0000		0.0000		
Nb	0.0000		0.0000		
Total:	2		2		
Recalculado			Recalculado		
TiO2	0.342	25.684	0.370	27.761	
Fe2O3	0.654	49.060	0.613	45.990	
FeO	0.337	25.256	0.350	26.249	
Total	1.333	100.000	1.332	100.000	

Tabelas de Química Mineral de Óxidos obtida por Microsonda Eletronica.

	PB-148 / C1			PB-148 / C1	
	<i>Média no Grão</i>	<i>Desvio Padrão</i>		<i>Média no Grão</i>	<i>Desvio Padrão</i>
SiO ₂	0.1400	0.2055		0.0270	0.0190
TiO ₂	0.0929	0.1103		19.3130	1.1080
Al ₂ O ₃	0.2437	0.0370		0.0850	0.0337
Fe ₂ O ₃ (T)	0.0000	0.0000		0.0000	0.0000
FeO(T)	91.4261	0.6936		71.9570	1.2134
MnO	0.0051	0.0082		0.2123	0.0270
MgO	0.0344	0.0186		0.1396	0.0240
CaO	0.0217	0.0283		0.0046	0.0056
Na ₂ O	0.0000	0.0000		0.0000	0.0000
K ₂ O	0.0000	0.0000		0.0000	0.0000
Cr ₂ O ₃	0.2266	0.0237		0.0960	0.0146
BaO	0.0000	0.0000		0.0000	0.0000
ZnO	0.0000	0.0000		0.0000	0.0000
V ₂ O ₃	0.0000	0.0000		0.0000	0.0000
NiO	0.0000	0.0000		0.0000	0.0000
Nb ₂ O ₃	0.0000	0.0000		0.0000	0.0000
Sum:	92.1905	1.0300		91.8353	0.3597
Fe ₂ O ₃ wt. %	67.2290			61.1479	
FeO wt. %	30.9329			16.9355	
total	98.9263	0.6026		97.9618	0.4782
Si	0.0055			0.0007	
Ti	0.0027			0.3859	
Al	0.0112			0.0027	
Fe+3	1.9655			1.2220	
Fe+2	1.0051			0.3762	
Mn	0.0002			0.0048	
Mg	0.0020			0.0055	
Ca	0.0009			0.0001	
Na	0.0000			0.0000	
K	0.0000			0.0000	
Cr	0.0070			0.0020	
Ba	0.0000			0.0000	
Zn	0.0000			0.0000	
V	0.0000			0.0000	
Ni	0.0000			0.0000	
Nb	0.0000			0.0000	
Total:	3			2	
	Recalculado			Recalculado	
TiO ₂	0.003	0.248		0.386	28.105
Fe ₂ O ₃	0.085	7.817		0.611	44.499
FeO	1.005	91.935		0.376	27.397
Total	1.093	100.000		1.373	100.000

Tabelas de Química Mineral de Óxidos obtida por Microsonda Eletrônica.

PB-42A / C1			PB-47B / C1		
	Média no Grão	Desvio Padrão	Média no Grão	Desvio Padrão	
SiO2	0.4600	0.0275	0.0173	0.0120	
TiO2	16.7333	0.7030	0.0363	0.0467	
Al2O3	0.0483	0.0213	0.0147	0.0080	
Fe2O3(T)	0.0088	0.0295	0.0000	0.0000	
FeO(T)	75.0445	0.7023	92.3667	0.5735	
MnO	0.1789	0.0358	0.3107	0.0159	
MgO	0.0597	0.0222	0.0220	0.0166	
CaO	0.0224	0.0326	0.0530	0.0415	
Na2O	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
K2O	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
Cr2O3	0.0608	0.0188	0.1153	0.0023	
BaO	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
ZnO	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
V2O3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
NiO	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
Nb2O3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
Sum:	92.1853	0.8907	92.9360	0.4916	
Fe2O3 wt. %	66.9851	1.1634	68.6196	0.4591	
FeO wt. %	14.7707	0.6095	30.6221	0.1636	
total	98.8878	0.9133	99.8111	0.5372	
Si			0.0000		
Ti	0.3323		0.3323		
Al	0.0015		0.0015		
Fe+3	1.3310		1.3310		
Fe+2	0.3261		0.3261		
Mn	0.0039		0.0040		
Mg	0.0023		0.0023		
Ca	0.0006		0.0006		
Na	0.0000		0.0000		
K	0.0000		0.0000		
Cr	0.0013		0.0013		
Ba	0.0000		0.0000		
Zn	0.0000		0.0000		
V	0.0000		0.0000		
Ni	0.0000		0.0000		
Nb	0.0000		0.0000		
Total:	2		2		
Recalculado			Recalculado		
TiO2	0.332	25.000	0.332	25.000	
Fe2O3	0.166	50.758	0.166	50.758	
FeO	0.326	24.242	0.326	24.242	
Total	0.825	100.000	0.825	100.000	

Tabelas de Química Mineral de Óxidos obtida por Microsonda Eletronica.

PB-181 / C1			PB-181 / C3		
	<i>Média no Grão</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>Média no Grão</i>	<i>Desvio Padrão</i>	
SiO2	0.0350	0.0580	0.0272	0.0236	
TiO2	0.1760	0.0580	17.2959	0.3592	
Al2O3	0.0830	0.0071	0.0657	0.0334	
Fe2O3(T)	0.1120	0.0792	0.0000	0.0000	
FeO(T)	92.6110	0.4419	74.9046	0.7206	
MnO	0.0320	0.0120	0.2664	0.0227	
MgO	0.0010	0.0177	0.1206	0.1359	
CaO	0.0260	0.0233	0.0420	0.0307	
Na2O		0.0000	0.0000	0.0000	
K2O	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
Cr2O3	0.1120	0.0622	0.0767	0.0201	
BaO	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
ZnO	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
V2O3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
NiO	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
Nb2O3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
Sum:	91.6000	0.0000	92.7990	0.7560	
Fe2O3 wt. %	68.2862		66.5162		
FeO wt. %	31.1665		15.0528		
total	99.9177	0.6845	99.4634	0.8856	
Si	0.0013		0.0007		
Ti	0.0051		0.3412		
Al	0.0038		0.0020		
Fe+3	1.9799		1.3125		
Fe+2	1.0043		0.3301		
Mn	0.0010		0.0059		
Mg	0.0001		0.0047		
Ca	0.0011		0.0012		
Na	0.0000		0.0000		
K	0.0000		0.0000		
Cr	0.0034		0.0016		
Ba	0.0000		0.0000		
Zn	0.0000		0.0000		
V	0.0000		0.0000		
Ni	0.0000		0.0000		
Nb	0.0000		0.0000		
Total:	3		2		
Recalculado			Recalculado		
TiO2	0.007	0.371	0.341	25.702	
Fe2O3	0.983	49.241	0.656	49.430	
FeO	1.006	50.388	0.330	24.867	
Total	1.997	100.000	1.328	100.000	

Tabelas de Química Mineral de Óxidos obtida por Microsonda Eletrônica.

PB-181 / C1			PB-181 / C1		
	Média no Grão	Desvio Padrão		Média no Grão	Desvio Padrão
SiO ₂	0.0967	0.1040		0.0330	0.0040
TiO ₂	19.0377	1.2720		0.0910	0.0910
Al ₂ O ₃	0.1139	0.0943		0.0645	0.0095
Fe ₂ O ₃ (T)	0.0000	0.0000		0.0000	0.0000
FeO(T)	73.4280	1.4665		93.1615	0.1465
MnO	0.5504	0.0903		0.0615	0.0005
MgO	0.0466	0.0263		0.0085	0.0085
CaO	0.0881	0.1149		0.0225	0.0075
Na ₂ O	0.0000	0.0000		0.0000	0.0000
K ₂ O	0.0000	0.0000		0.0000	0.0000
Cr ₂ O ₃	0.1240	0.0184		0.1620	0.0200
BaO	0.0000	0.0000		0.0000	0.0000
ZnO	0.0000	0.0000		0.0000	0.0000
V ₂ O ₃	0.0000	0.0000		0.0000	0.0000
NiO	0.0000	0.0000		0.0000	0.0000
Nb ₂ O ₃	0.0000	0.0000		0.0000	0.0000
Sum:	93.4854			93.6045	1.1573
Fe ₂ O ₃ wt. %	63.2803			68.8318	
FeO wt. %	16.4879			31.2261	
total	99.8256	0.9978		100.0579	0.1204
Si	0.0025			0.0013	
Ti	0.3736			0.0026	
Al	0.0035			0.0029	
Fe+3	1.2418			1.9844	
Fe+2	0.3596			1.0005	
Mn	0.0122			0.0020	
Mg	0.0018			0.0005	
Ca	0.0025			0.0009	
Na	0.0000			0.0000	
K	0.0000			0.0000	
Cr	0.0026			0.0049	
Ba	0.0000			0.0000	
Zn	0.0000			0.0000	
V	0.0000			0.0000	
Ni	0.0000			0.0000	
Nb	0.0000			0.0000	
Total:	2			3	
Recalculado			Recalculado		
TiO ₂	0.374	27.587		0.003	0.132
Fe ₂ O ₃	0.621	45.853		0.992	49.727
FeO	0.360	26.560		1.000	50.118
Total	1.354	100.000		1.995	99.976

Tabelas de Química Mineral de Óxidos obtida por Microsonda Eletrônica.

PB-47B / C2			PB-181 / C1		
	<i>Média no Grão</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>Média no Grão</i>	<i>Desvio Padrão</i>	
SiO2	0.0137	0.0165	0.0171	0.0000	
TiO2	0.0273	0.0465	17.4704	2.9375	
Al2O3	0.0413	0.0098	0.1286	0.1259	
Fe2O3(T)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
FeO(T)	92.6287	0.5612	74.1600	2.1747	
MnO	0.2960	0.0547	0.7324	0.1625	
MgO	0.0147	0.0131	0.0931	0.0438	
CaO	0.0260	0.0156	0.0179	0.0191	
Na2O	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
K2O	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
Cr2O3	0.1083	0.0078	0.0877	0.0142	
BaO	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
ZnO	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
V2O3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
NiO	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
Nb2O3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
Sum:	93.1560	0.5376	92.7073		
Fe2O3 wt. %	68.7744	0.4071	65.9634		
FeO wt. %	30.7449	0.1999	14.8056		
total	100.0466	0.5772	99.3163	0.8928	
Si	0.0005		0.0005		
Ti	0.0008		0.3447		
Al	0.0019		0.0040		
Fe+3	1.9922		1.3040		
Fe+2	0.9898		0.3247		
Mn	0.0097		0.0163		
Mg	0.0008		0.0036		
Ca	0.0011		0.0005		
Na	0.0000		0.0000		
K	0.0000		0.0000		
Cr	0.0033		0.0018		
Ba	0.0000		0.0000		
Zn	0.0000		0.0000		
V	0.0000		0.0000		
Ni	0.0000		0.0000		
Nb	0.0000		0.0000		
Total:	3		2		
Recalculado			Recalculado		
TiO2	0.001	0.055	1.651	29.367	
Fe2O3	0.996	50.140	2.066	34.087	
FeO	0.989	50.140	2.726	36.584	
Total	1.987	100.000	6.443	100.000	

Tabelas de Química Mineral de Óxidos obtida por Microsonda Eletronica.

PB-148 / C7			PB-148 / C7			PB-148 / C7		
	Média no Grão	Desvio Padrão				Média no Grão	Desvio Padrão	
SiO2	0.06	0.0321	0.052			0.0375	0.0213	
TiO2	0.02833	0.02565	19.589			0.09325	0.0997	
Al2O3	0.1783	0.01686	0.058			0.2995	0.0535	
Fe2O3(T)	0	0	0			0	0	
FeO(T)	92.366	0.5737	72.384			91.55075	0.5386	
MnO	0.02666	0.0265	0.156			0.025	0.0288	
MgO	0.065	0.01126	0.134			0.07225	0.0379	
CaO	0.04066	0.0125	0.047			0.0455	0.0353	
Na2O	0	0				0	0	
K2O	0	0	0			0	0	
Cr2O3	0.08433	0.03594	0.089			0.08925	0.0049	
BaO	0	0	0			0	0	
ZnO	0	0	0			0	0	
V2O3	0	0	0			0	0	
NiO	0	0	0			0	0	
Nb2O3	0	0	0			0	0	
Sum:	91.6	0.92	92.509			92.213	0	
Fe2O3 wt. %	68.312		61.29897			67.6088	0.36619	
FeO wt. %	30.8988		17.22667			30.7157	0.24665	
total	99.6942	0.62383	98.65064			98.9868	0.7776	
Si	0.00231		0.001371			0.00145		
Ti	0.000824		0.388608			0.0027		
Al	0.008105		0.001803			0.01369		
Fe+3	1.983042		1.216384			1.9752		
Fe+2	0.99685		0.379899			0.99729		
Mn	0.000872		0.003484			0.000816		
Mg	0.00373		0.005268			0.004171		
Ca	0.00168		0.001327			0.0018855		
Na	0		0			0		
K	0		0			0		
Cr	0.002567		0.001855			0.00273		
Ba	0		0			0		
Zn	0		0			0		
V	0		0			0		
Ni	0		0			0		
Nb	0		0			0		
Total:	3		2			3		
Recalculado			Recalculado			Recalculado		
TiO2	0.001	0.041	0.389	28.250		0.003	0.136	
Fe2O3	0.992	49.845	0.608	44.178		0.988	49.689	
FeO	0.997	50.113	0.380	27.595		0.997	50.175	
Total	1.989	100.000	1.377	100.000		1.988	100.000	

Tabelas de Química Mineral de Óxidos obtida por Microsonda Eletrônica.

Feldspatos

Localização	PB-123A /28	PB-123A /29	PB-123A /32	PB-123A /33	PB-123A /34	PB-123A /36	PB-123A /37	PB-38 /10	PB-38 /12	PB-38 /13	PB-38 /14	PB-38 /47	PB-38 /48
SiO ₂	64.85	64.52	64.75	64.71	64.78	64.94	64.66	64.15	64.42	64.21	63.86	65.17	64.3
Al ₂ O ₃	19.72	19.63	20	20.55	19.63	19.02	19.91	19.56	19.48	19.39	19.5	20.07	19.44
Fe ₂ O ₃	0.10	0.08	0.12	0.13	0.10	0.10	0.07	0.36	0.35	0.30	0.35	0.13	0.06
CaO	0.28	0.29	0.56	1.1	0.21	0.26	0.29	0	0.01	0.01	0.02	0.6	0.21
SrO	0.65	0.65	0.54	0.48	0.55	0.56	0.57	0.57	0.49	0.64	0.62	0.5	0.56
BaO	1.03	0.56	1.11	0.71	0.85	0.95	1.03	2.12	2.09	2.01	1.77	0.87	0.08
Na ₂ O	3.93	3.91	4.18	5.17	3.42	3.62	3.58	2.75	2.77	2.88	2.57	3.77	2.4
K ₂ O	9.28	9.35	9	7.04	10.47	9.62	9.87	10.74	10.84	10.76	11.35	9.61	11.56
Total	99.84	98.99	100.26	99.89	100.01	99.07	99.98	100.25	100.45	100.20	100.04	100.72	98.61
Si	11,825	11,832	11,763	11,690	11,828	11,926	11,795	11,800	11,821	11,818	11,785	11,780	11,871
Al	4,235	4,239	4,279	4,372	4,221	4,114	4,277	4,237	4,209	4,203	4,238	4,272	4,227
Fe ₃	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.05	0.05	0.04	0.05	0.02	0.01
Na	1,390	1,390	1,472	1,811	1,211	1,289	1,266	0.981	0.986	1,028	0.920	1,321	0.859
Ca	0.055	0.057	0.109	0.213	0.041	0.051	0.057	0.000	0.002	0.002	0.004	0.116	0.042
K	2,159	2,187	2,086	1,622	2,439	2,254	2,297	2,520	2,538	2,526	2,672	2,216	2,723
Ba	0.074	0.040	0.079	0.050	0.061	0.068	0.074	0.153	0.150	0.145	0.128	0.062	0.006
Sr	0.07	0.07	0.06	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.07	0.07	0.05	0.06
Ab	38.6	38.2	40.1	49.7	32.8	35.9	35.0	28.0	28.0	28.9	25.6	36.2	23.7
An	1.5	1.6	3.0	5.8	1.1	1.4	1.6	0.0	0.1	0.1	0.1	3.2	1.2
Or	59.9	60.2	56.9	44.5	66.1	62.7	63.5	72.0	72.0	71.0	74.3	60.7	75.1
X	16.07	16,081	16,062	16,082	16,059	16,050	16,082	16,087	16,080	16,061	16,073	16,072	16,108
Z	3,688	3,684	3,766	3,716	3,762	3,672	3,704	3,704	3,726	3,741	3,774	3,735	3,640

Tabela de Dados de Química Mineral de feldspatos obtidos por microsonda eletrônica.

localização	PB-38 49	PB-38 55	PB-38 56	PB-38 borda/9	PB-38 ncl./12	PB-8D 1	PB-8D 2	PB-8D 3	PB-8D 4	PB-8D 5	PB-8D 6	PB-92A 18	PB-92A 19
SiO2	65.34	65.21	64.82	65.01	64.25	65.06	66.04	64.43	64.71	64.96	65.39	68.45	63.5
Al2O3	19.71	20.99	20.96	19.13	19.33	19.42	19.25	18.9	19.11	19.07	19.05	19.98	19.7
Fe2O3	0.10	0.10	0.11	0.38	0.44	0.37	0.38	0.38	0.35	0.33	0.36	0.11	0.33
CaO	0.55	1.84	1.55	0	0	0	0.04	0.01	0	0	0	0.12	0.01
SrO	0.42	0.41	0.36	0.51	0.57	0.56	0.5	0.47	0.67	0.68	0.61	0.43	0.66
BaO	0.85	0.43	0.63	1.05	1.75	0.9	0.76	0.88	0.9	0.89	0.87	0	2.02
Na2O	2.99	6.59	5.68	1.57	2.64	3.1	5.14	2.94	3.26	3.61	3.45	10.47	2.39
K2O	10.45	4.34	6.29	13.21	11.08	11.06	8.01	11.11	10.6	10.03	10.37	0.09	11.2
Total	100.41	99.91	100.40	100.86	100.06	100.47	100.12	99.12	99.60	99.57	100.10	99.65	99.81
Si	11,855	11,646	11,623	11,892	11,828	11,855	11,921	11,899	11,882	11,902	11,921	11,973	11,756
Al	4,211	4,415	4,426	4,121	4,191	4,167	4,092	4,111	4,132	4,115	4,090	4,116	4,295
Fe3	0.01	0.01	0.01	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.01	0.05
Na	1,052	2,282	1,975	0.557	0.942	1,095	1,799	1,053	1,161	1,283	1,220	3,551	0.858
Ca	0.107	0.352	0.298	0.000	0.000	0.000	0.008	0.002	0.000	0.000	0.000	0.022	0.002
K	2,419	0.989	1,439	3,083	2,602	2,571	1,845	2,618	2,483	2,344	2,412	0.020	2,645
Ba	0.060	0.030	0.044	0.075	0.126	0.064	0.054	0.064	0.065	0.064	0.062	0.000	0.147
Sr	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.06	0.05	0.05	0.07	0.07	0.06	0.04	0.07
Ab	29.4	63.0	53.2	15.3	26.6	29.9	49.3	28.7	31.9	35.4	33.6	98.8	24.5
An	3.0	9.7	8.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.6	0.1
Or	67.6	27.3	38.8	84.7	73.4	70.1	50.5	71.3	68.1	64.6	66.4	0.6	75.5
X	16,076	16,071	16,059	16,063	16,079	16,072	16,063	16,060	16,064	16,067	16,061	16,099	16,101
Z	3,648	3,663	3,766	3,765	3,730	3,780	3,756	3,787	3,759	3,741	3,744	3,603	3,702

Tabela de Dados de Química Mineral de feldspatos obtidos por microsonda eletrônica.

localização	PB-92A 20	PB-92A 21	PB-92A 22	PB-92A 23	PB-92A 24	PB-92A 25
SiO2	64.52	64.59	63.77	64.3	64.32	64.48
Al2O3	19.32	18.92	19.69	19.06	19.14	18.99
Fe2O3	0.37	0.55	0.38	0.43	0.16	0.38
CaO	0	0	0	0.01	0	0
SrO	0.52	0.42	0.58	0.47	0.62	0.56
BaO	1.19	0.81	2.26	1.21	1	1.02
Na2O	2.41	2.92	2.56	2.77	2.07	2.68
K2O	11.67	11.7	11.17	11.22	12.54	11.66
Total	100.00	99.91	100.41	99.47	99.85	99.77
Si	11,854	11,871	11,754	11,867	11,868	11,877
Al	4,180	4,095	4,274	4,143	4,159	4,119
Fe3	0.05	0.08	0.05	0.06	0.02	0.05
Na	0.859	1,041	0.915	0.991	0.741	0.957
Ca	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000
K	2,735	2,743	2,627	2,642	2,952	2,740
Ba	0.086	0.058	0.163	0.088	0.072	0.074
Sr	0.06	0.04	0.06	0.05	0.07	0.06
Ab	23.9	27.5	25.8	27.3	20.1	25.9
An	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
Or	76.1	72.5	74.2	72.7	79.9	74.1
X	16,084	16,046	16,078	16,070	16,047	16,046
Z	3,730	3,922	3,755	3,783	3,785	3,821

Tabela de Dados de Química Mineral de feldspatos obtidos por microsonda eletrônica.

Geoquímica de Rocha

(FRX e ICP-MS)

	PB-181A UPC	PB-185A UPPB	PB-185B UPPB	PB-186B2 UPPB	PB-185C Cumulato	PB-169 Cumulato	PB-8D Cumulato
SiO2	55.64	55.19	58.27	65.22	41.03	38.31	44.73
TiO2	1.791	2.234	1.393	0.239	4.213	5.67	3.40
Al2O3	13.31	14.17	14.83	18.01	6.00	9.39	5.52
Fe2O3T	6.34	6.21	4.63	1.39	11.65	15.23	14.21
FeOT	5.70	5.59	4.17	1.25	10.48	13.70	12.79
MnO	0.101	0.083	0.064	0.023	0.218	0.13	0.24
MgO	3.39	2.61	1.95	0.22	10.33	8.96	7.69
CaO	5.84	5.00	4.48	1.55	15.01	10.49	15.52
Na2O	3.58	2.60	3.01	5.25	1.46	1.15	2.15
K2O	6.83	8.35	8.70	7.24	3.89	3.77	2.65
P2O5	1.135	0.780	0.656	0.032	3.327	2.92	2.69
TOTAL	97.96	97.23	97.98	99.17	97.13	96.02	98.80

Tabela de Dados Geoquímicos de Elementos Maiores (óxidos em % em peso) obtidos por FRX.

	PB-36A UPC	PB-38 UPC	PB-68B UPC	PB-8A UPC	PB8b UPC	PB70a UPC	PB114a UPC	PB-2 UPC	PB71 UPC	PB-30 UPC	PB-142 UPPB	PB-148 UPPB	PB-174A
SiO2	56.29	55.55	58.73	56.25	55.22	57.45	56.33	57.39	55.83	53.58	58.42	58.15	56.32
TiO2	1.37	1.65	1.41	1.53	1.78	1.39	1.47	1.43	1.62	1.80	1.41	1.41	1.357
Al2O3	12.26	13.02	13.42	13.61	13.55	13.80	13.55	13.81	12.93	11.81	14.82	14.60	13.44
Fe2O3T	6.62	6.63	6.03	6.33	6.84	5.30	5.99	5.96	6.83	6.99	5.65	5.80	5.68
FeOT	5.96	5.97	5.43	5.70	6.15	4.77	5.39	5.36	6.15	6.29	5.08	5.22	5.11
MnO	0.09	0.10	0.09	0.09	0.09	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08	0.09	0.076
MgO	3.92	3.19	2.87	3.00	2.75	2.91	3.23	2.87	3.26	3.93	2.47	2.80	3.00
CaO	8.46	6.63	6.00	5.80	5.06	5.00	6.21	5.39	6.16	8.28	4.51	5.31	6.21
Na2O	2.63	2.85	3.32	3.15	3.32	3.28	3.38	3.46	2.76	2.50	3.41	3.20	2.94
K2O	6.78	7.61	6.94	7.32	7.01	7.21	6.59	7.42	7.45	6.91	6.58	6.59	7.68
P2O5	1.82	1.52	1.22	1.18	0.88	1.04	1.34	1.07	1.23	1.93	0.90	1.08	1.352
TOTAL	100.24	98.75	100.03	98.61	96.50	97.48	98.18	99.27	98.16	97.82	98.25	99.03	98.06

Tabela de Dados Geoquímicos de Elementos Maiores (óxidos em % em peso) obtidos por FRX.

	PB-5A UPPB	PB-22 UCC	PB-09 USM	PB25 USM	PB59 USM	PB130 USM	PB-92B UPC	PB-53 UPC	PB-123A UPPB	PB-92A UPC	PB-47B UPC
SiO2	59.58	57.27	56.98	58.17	56.79	60.26	60.82	58.38	57.75	56.67	56.56
TiO2	1.46	1.77	1.61	1.40	1.63	1.46	1.27	1.48	1.60	1.86	1.68
Al2O3	14.82	14.27	14.55	14.71	14.56	14.99	14.30	15.04	14.50	13.66	13.07
Fe2O3T	5.87	6.72	6.92	5.23	6.49	5.69	5.81	5.98	6.26	6.25	6.75
FeOT	5.28	6.05	6.23	4.71	5.84	5.12	5.23	5.38	5.63	5.62	6.07
MnO	0.08	0.09	0.10	0.09	0.10	0.07	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10
MgO	2.72	3.44	3.58	2.28	3.47	2.57	2.87	2.78	3.02	2.56	3.28
CaO	5.05	5.66	5.86	4.25	5.46	4.87	4.57	5.09	5.70	5.49	6.69
Na2O	3.18	3.37	3.28	3.16	2.96	3.33	3.58	3.62	3.13	3.37	2.83
K2O	7.19	6.22	5.56	6.16	6.16	6.08	6.46	6.19	6.52	7.42	7.62
P2O5	1.09	1.05	1.11	0.90	0.99	0.92	0.93	0.94	1.16	1.00	1.54
TOTAL	99.80	99.86	99.55	96.35	98.61	100.24	100.70	99.59	99.74	98.38	100.12

Tabela de Dados Geoquímicos de Elementos Maiores (óxidos em % em peso) obtidos por FRX.

	PB-92A UPC	PB-47B UPC	PB-36A UPC	PB-38 UPC	PB-68B UPC	PB-8A UPC	PB8B UPC	PB-70A UPC	PB-114 UPC	PB-2 UPC
Sc	10									
V	198	155	83.00	154	137	100	100	91.0	93	85
Rb	245	256	184.00	197	225	190	181	238.00	166	199
Sr	4000	3477	4367.00	3457	2796	3633	2857	2751	3327	2927
Y	44	43	37.00	41	31	48	26	27.00	29	47
Zr	599	395	194	376	266	200	200	154.00	205	135
Nb	31					9				16
Cs	4					2.86				
Ba	6810	7349	9483.00	7214.00	6280	6060	5842	5125.00	6489	5680
La	221					165	138	138.00	166	163
Ce	446					389				327
Nd	239					189				161
Sm	42					31.36				24.4
Eu	11					6.28				5.91
Gd	25					15.7				
Tb	25	1.96				15.7				
Dy	12					8.06				
Ho	2	1.21				1.42				
Tm		0.30								
Yb	2					1.74				1.39
Lu	0	0.24				0.22				0.23
Hf	15									
Th	20									
U	3									

Tabela de Dados Geoquímicos de Elementos Traços (em ppm) .

	PB-71 UPC	PB-181A UPC	PB-185B UPPB	PB-185C UPPB	PB-186B2 UPPB	PB-142 UPPB	PB-148 UPPB	PB-30 UPC
Sc				33				
V	89	85.8	85.8	210.0	226.2	73.0	92.0	73.0
Rb	223	166	214	178	138	161	129	99
Sr	4516	3104	3133	2840	1738	2320	3884	2120
Y	26	38	35	115	22	35	36	19
Zr	231	1684	199	461	24	513	464	83
Nb		34.3	24.5	16.9	22.0	22.7	18.4	1.4
Cs		1.4	1.2	3.6	1.2	1.6	1.2	0.9
Ba	5418	4467	5690	2277	2344	4063	6018	6147
La	155	218	202	684	11	189	387	184
Ce		438	449	1409	45	312	651	393
Nd	0	178	198	756	23	156	247	180
Sm		28.9	33.2	94.6	5.1	25.9	35.8	35.9
Eu		7.2	8.0	22.8	1.2	6.4	8.4	8.8
Gd		15.4	15.6	45.5	4.1	16.2	16.8	22.8
Tb		1.6	1.8	4.5	0.7	1.7	1.8	21.8
Dy		7.0	7.3	19.1	3.6	7.4	7.6	8.0
Ho		1.2	1.2	3.3	0.7	1.3	1.2	1.2
Tm		0.4	0.3	0.8	0.2	0.4	0.3	0.3
Yb		2.2	1.6	4.6	1.5	2.3	2.0	1.7
Lu		0.3	0.2	0.6	0.2	0.3	0.3	0.2
Hf		30.3	5.7	12.8	0.6	11.9	11.0	3.7
Th		11.2	8.2	21.5	3.6	11.0	20.3	4.1
U		1.36	1.06	2.15	1.25	1.77	1.79	0.18

Tabela de Dados Geoquímicos de Elementos Traços (em ppm) .

	PB-8D UPC	PB-5A UPPB	PB-22 UCC	PB-09 USM	PB-25 USM	PB-59 USM	PB-130 USM	PB-92B UPC	PB-53 UPC	PB-123A UPPB
Sc				14.15						
V	221	115	133	164	95	123	136	127	125	131
Rb	99	168	115	104	134	110	135	162	132	162
Sr	2161	3110	2409	2385	2362	1917	1951	2245	2585	3282
Y	81	34	27	24	30	26	28	25	26	27
Zr	202	265	363	329	293	179	387	447	654	422
Nb				13.3						
Cs				2.28						
Ba	2094	6132	4478	4477	4182	3898	3800	3788	4673	6160
La	540	138	103	96	126	70				
Ce	1000	291	210	187						
Nd	540	148	110	104						
Sm	69	22.8	16.60	18.65						
Eu	23.9	6.21	4.57	5.21						
Gd				11.74						
Tb				11.74						
Dy				6.29						
Ho				0.97						
Tm										
Yb	4.22	1.75	1.51	1.57						
Lu	0.69	0.27	0.2	0.23						
Hf				7.12						
Th	23	5.6	2.1	2.18						
U	3.3	0.9		0.27						

Tabela de Dados Geoquímicos de Elementos Traços (em ppm)

DOAÇÃO
<i>IGC-USP</i>
Data: <i>20.02.09</i>

