

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS



**Evolução petrográfica e do quimismo de
minerais máficos de granitos, sienitos e
dioritos dos maciços Rio Negro e Palermo da
região Alto Rio Negro, PR**

DEDALUS - Acervo - IGC



30900026913

**MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF – 09/22)**

Aluno: Pedro Rabello Crisma: _____

Orientador: Prof. Dr. Silvio R. F. Vlach: _____

**São Paulo
2009**

Agradecimentos

A toda minha família que sempre me apoiaram durante estes cinco anos de curso, e em especial minha mãe Sandra que me disse que tinha o curso de Geologia e a minha irmã Amanda pelas zoeiras, brigas e compreensões na utilização do computador.

A todos com os quais convivi durante o curso, pelos momentos que passamos durante os campos, os estudos, as brincadeiras e as coisas sérias.

Aos amigos Vitor (Tainá), Marcelo (Imbecil) e Daphne pela ajuda que me deram durante todo esse tempo, pelas diversões e pelas conversas que tivemos e pelas que ainda virão. Sem vocês eu não teria crescido tanto profissional como pessoalmente.

Aos companheiros de bilhar: Danilo (Gonzo), Diego (Pesca), Giovanna (Fura), ao pessoal da Geo Jr.: Lucas (Sal), Lucas (Marmota), Guilherme (Sol) e Vinícius (Rebita), ao pessoal do pebolim: Victor Prates (Pré), parceiro do campeonato de pebolim e José Manuel (Jabá) pela diversão que tivemos.

Aos veteranos Flávio (Entupido), Bruno (Choquito), Ricardo (Wolverine) pelos conselhos que deram, Elisa (Farol), minha parceira de MapGeo, gostei muito de ter trabalhado com você. Aos amigos do mestrado Guilherme e Rafael, muitas risadas no fretado para Santo André.

Ao pessoal do IPT, Eduardo, Fábio e Nilson pela compreensão que tiveram comigo durante o período de estágio e pela força que me deram durante a realização deste trabalho.

Aos técnicos Angélica do Laboratório de Óptica e Marcus do Laboratório de Microsonda Eletrônica, com a ajuda pude realizar este trabalho.

Ao Frederico (Jaú) pela grande ajuda que me prestou para a execução desta monografia.

Ao Prof. Dr. Silvio Roberto Farias Vlach, por ter me aceitado como orientado e por exigir todo o meu conhecimento de geologia para a realização deste trabalho, além da paciência que teve para me orientar.

A Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) com o projeto coordenado pelo Prof. Dr. Silvio R. F. Vlach (PROC. 2008/00562-0), através do apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

“Com seu martelo, a sua talhadeira de aço,
a sua agulha com imã, o seu maçarico de sopro
e o seu frasco de ácido nítrico, era de fato
um homem muito forte”
(Júlio Verne – Viagem ao Centro da Terra)

Resumo

Os plutons Rio Negro e Palermo são parte integrante da Província Graciosa, S-SE do Brasil. Esta província, neoproterozóica (ca. 580 Ma) agrega diversos plutons graníticos e sieníticos de "tipo-A", aos quais se associam rochas gabro-dioríticas subordinadas e um típico vulcanismo bimodal. Duas associações petrográficas são reconhecidas: uma aluminosa, constituída de granitos metaluminosos a moderadamente peraluminosos, outra alcalina formada por sienitos e granitos metaluminosos a peralcalinos. Os plutons Rio Negro e Palermo afloram no extremo sudoeste da província, nos estados de Paraná e Santa Catarina, e são constituídas por rochas gabro-dioríticas, rochas graníticas da associação aluminosa e rochas híbridas, resultantes da interação entre magmas que as geraram.

As rochas gabro-dioríticas apresentam granulação fina a média (0,6 a 3,0mm), estrutura maciça e composta por quartzo, plagioclásio e máficos (ortopirixênio + clinopiróxênio + anfibólio + biotita $\pm$ allanita $\pm$ titanita $\pm$ apatita $\pm$ zircão), as rochas graníticas possuem granulação fina a grossa (0,7 a 5,0mm), estrutura maciça e composta por quartzo, plagioclásio, sendo que nos álcali-feldspatos granitos a quantidade de plagioclásio é muito pouco (aproximadamente 2%), feldspato alcalino e máficos (anfibólio + biotita $\pm$ zircão $\pm$ allanita $\pm$ apatita $\pm$ fluorita $\pm$ carbonato). Os monzonitos apresentam granulação fina a média (0,5 a 4,0mm), estrutura maciça, sendo composto por quartzo, plagioclásio, feldspato alcalino e máficos (anfibólio + biotita $\pm$ allanita $\pm$ zircão $\pm$ apatita $\pm$ clorita $\pm$ titanita), as rochas híbridas possuem granulação fina a média (0,5 a 4,0mm), estrutura maciça e composta por quartzo, plagioclásio, feldspato alcalino e máficos (anfibólio $\pm$ biotita $\pm$ zircão $\pm$ apatita).

As composições químicas de ortopirixênios das rochas gabro-dioríticas possuem maior quantidade ferro, com crescimento para a borda do cristal, já os clinopiróxênios apresentam menor quantidade de ferro, com decréscimo desta quantidade para a borda. Os cristais de anfibólio de ambos plutons apresentam grande quantidade de ferro e cálcio, com crescimento da quantidade em direção a borda do cristal. Os cristais de biotita apresentam grande quantidade de ferro, com decréscimo da quantidade para a borda, mas possuem valores para Fe^{2+} altos. Os cristais de plagioclásio apresentam teores de Na abaixo de 30% nas rochas graníticas, monzoníticas e híbridas, porém nas rochas gabro-dioríticas estes valores podem ultrapassar os 50%.

Os dados de química mineral permitiram avaliar as pressões de cristalização em torno de 0,9 a 1,8 Kbar, com o método Al-em-hornblenda, compatíveis com evidências geológicas e petrográficas indicativas de colocação relativamente rasa. As temperaturas de possível equilíbrio entre orto- e clinopiroxênio da rocha diorítica do pluton Palermo revelaram valores entre 880° e 950°C, enquanto valores no intervalo de 747° a 760°C foram obtida para as rochas dioríticas e monzoníticas do pluton Rio Negro e rochas dioríticas do pluton Palermo através do equilíbrio hornblenda-plagioclásio. As primeiras parecem compatíveis com a seqüência de cristalização esperada para estes líquidos dioríticos, enquanto as temperaturas obtidas com o par hornblenda-plagioclásio aproximam-se das temperaturas esperadas para o solidus do sistema.

Abstract

The plutons Rio Negro and Palermo are part of the Graciosa Province, S-SE Brazil. This province, Neoproterozoic (ca. 580 Ma) adds several granitic plutons and Syenite "type-A", which are associated with gabbro-dioritic rocks and subordinate a typical bimodal volcanism. Two petrographic associations are recognized: an aluminous, consisting of granites metaluminous to moderately peraluminous, another formed by alkaline syenites and granites metaluminososos the peralcalinos. The plutons Rio Negro and Palermo outcrop in the extreme southwest of the province, in the states of Parana and Santa Catarina, and are composed of gabbro-dioritic rocks, granitic rocks of the aluminous association and hybrid rocks resulting from the interaction between magmas that produced them.

The gabbro-dioritic rocks have fine to medium grained (0,6 to 3,0 mm), massive structure and composed of quartz, plagioclase and mafic (ortopyroxene + clinopyroxene + amphibole + biotite $\pm$ allanite $\pm$ titanite $\pm$ apatite $\pm$ zircon), the rocks granite are fine-grained to coarse (0,7 to 5,0 mm), massive structure and composed of quartz, plagioclase, and the alkali-feldspar granites the amount of plagioclase is very little (about 2%), alkali feldspar and mafic (amphibole + biotite $\pm$ zircon $\pm$ apatite $\pm$ allanite $\pm$ fluorite $\pm$ carbonate). The monzonites have fine to medium grained (0.5 to 4.0 mm), massive structure, composed of quartz, plagioclase, alkali feldspar and mafic (amphibole + biotite $\pm$ allanite $\pm$ apatite $\pm$ zircon $\pm$ chlorite $\pm$ titanite), the hybrid rocks have fine to medium grained (0,5 to 4,0 mm), massive structure and composed of quartz, plagioclase, alkali feldspar and mafic (amphibole $\pm$ biotite $\pm$ zircon $\pm$ apatite).

The chemical compositions of orthopyroxene gabbro-dioritic rocks have much iron, growing to the edge of the crystal, since the clinopyroxenes have lower amounts of iron, with a reduction of this amount to the edge. Amphibole crystals of both plutons have a large amount of iron and calcium, an increase of the amount toward the edge of the crystal. Biotite crystals have a large amount of iron, decreasing the amount to the edge, but have values for fe # high. The plagioclase crystals have percentages of below 30% in granitic rocks, and Monzonite hybrid, but in the gabbro-dioritic rocks these values can exceed 50%.

The mineral chemistry data allowed to evaluate the pressures of crystallization around 0.9 to 1.8 kbar, with the method in Al-hornblende compatible with geological evidence and petrographic indicative of relatively shallow placement. Temperatures possible balance between ortho-and clinopyroxene rock of dioritic pluton Palermo showed

values between 880 and 950 ° C, while values in the range of 747 ° to 760 ° C were obtained for the rocks and dioritic Monzonite pluton of Rio Negro and dioritic rocks of the pluton by Palermo balance hornblende-plagioclase. The first seemed to be consistent with the sequence of crystallization for these expected net diorites, as temperatures obtained from the hornblende-plagioclase pair close to the temperatures expected for the solidus of the system.

Índice

1. INTRODUÇÃO	4
2. METAS E OBJETIVOS	5
3. TRABALHOS PRÉVIOS	6
4. MATERIAIS E MÉTODOS	10
4.1. ATIVIDADES DE LABORATÓRIO	10
4.2. ATIVIDADES DE GABINETES	133
5. RESULTADOS OBTIDOS	14
5.1. PETROGRAFIA	14
5.1.1. PLUTON PALERMO	14
5.1.2. PLUTON RIO NEGRO	233
5.2. MINERALOGIA QUÍMICA	322
5.2.1. PIROXÊNIO	322
5.2.2. ANFIBÓLIO	344
5.2.3. BIOTITA	366
5.2.4. PLAGIOCLÁSIO	388
6. PARÂMETROS INTENSIVOS DE CRISTALIZAÇÃO	40
6.1. Pressão	41
6.2. Temperatura	42
6.3. Fugacidade de O ₂	43
7. CONCLUSÕES	46
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: MAPA GEOLÓGICO DA REGIÃO ALTO RIO NEGRO PR-SC (MODIFICADO DE HARARA 2001). 9

FIGURA 2: MAPA GEOLÓGICO COM LOCALIZAÇÃO DAS AMOSTRAS ESTUDADAS (MODIFICADO DE HARARA 2001). 11

FIGURA 3: QUADRO ILUSTRANDO UMA POSSÍVEL SEQÜÊNCIA DE CRISTALIZAÇÃO DOS ÁLCALI-FELDSPATOS GRANITOS 16

FIGURA 4: QUADRO ILUSTRANDO UMA POSSÍVEL SEQÜÊNCIA DE CRISTALIZAÇÃO DOS DIORITOS 18

FIGURA 5: QUADRO ILUSTRANDO UMA POSSÍVEL SEQÜÊNCIA DE CRISTALIZAÇÃO DOS MONZONITOS 211

FIGURA 6: QUADRO ILUSTRANDO UMA POSSÍVEL SEQÜÊNCIA DE CRISTALIZAÇÃO DOS SIENOGANITOS 233

FIGURA 7: QUADRO ILUSTRANDO UMA POSSÍVEL SEQÜÊNCIA DE CRISTALIZAÇÃO DO DIORITOS 25

FIGURA 8: QUADRO ILUSTRANDO UMA POSSÍVEL SEQÜÊNCIA DE CRISTALIZAÇÃO DAS ROCHAS HÍBRIDAS 27

FIGURA 9: QUADRO ILUSTRANDO UMA POSSÍVEL SEQÜÊNCIA DE CRISTALIZAÇÃO DOS ÁLCALI-FELDSPATO GRANITOS 29

FIGURA 10: QUADRO ILUSTRANDO UMA POSSÍVEL SEQÜÊNCIA DE CRISTALIZAÇÃO DOS MONZOGRANITOS 31

FIGURA 11: DIAGRAMA QAP DE CLASSIFICAÇÃO DE ROCHAS PLUTÔNICAS (STRECKEISEN 1967). 1 – QUARTZO DIORITOS/QUARTZO GABROS; 2 – QUARTZO MONZONITOS; 3 – ÁLCALI-FELDSPATO GRANITOS; 4 – SIENO-GRANITOS; 5 – MONZO-GRANITOS; 6 – GRANODIORITOS. 31

FIGURA 12: COMPOSIÇÃO DOS CLINO E ORTOPIROXÊNIO DOS PLUTONS PALERMO E RIO NEGRO NO DIAGRAMA WO- EN-FS DE MORIMOTO (1990).

333

FIGURA 13: PERFIL ANALÍTICO QUANTITATIVO NÚCLEO-BORDA DE CRISTAL DE CLINOPIROXÊNIO (ESQUERDA, AMOSTRA OM 473) E ORTOPIROXÊNIO (DIREITA, AMOSTRA OM 683). 344

FIGURA 14: DIAGRAMA CATIÔNICO $[Ca+Na]^B$ X $[Na]^B$ DE CLASSIFICAÇÃO DE ANFIBÓLIOS (LEAKE *ET AL.* 1997) 36

FIGURA 15: DIAGRAMA CATIÔNICO Si X $Fe^T/(Mg+Fe^T)$ DE CLASSIFICAÇÃO DOS ANFIBÓLIOS (LEAKE *ET AL.* 1997) 36

FIGURA 16: PERFIL DE VARIAÇÃO DE ANÁLISES QUÍMICAS EM DIFERENTES PONTOS DE UM CRISTAL DE FE-TSCHERMAKITA REPRESENTATIVO DA AMOSTRA OM 888 DA BIOTITA SIENOGRAFITOS. 366

FIGURA 17: DIAGRAMA CATIÔNICA Al^{IV} X $Fe/(Fe+Mg)$ PARA CLASSIFICAÇÃO DA BIOTITA. 38

FIGURA 18: PERFIL ANALÍTICO QUANTITATIVO NÚCLEO-BORDA DE CRISTAL DE BIOTITA. AMOSTRA OM 473. 38

FIGURA 19: DIAGRAMA TERNÁRIO AN-AB-OR (PROPORÇÕES MOLECULARES) COM REPRESENTAÇÃO DAS COMPOSIÇÕES DE PLAGIOCLÁSIO DOS GRANITOS PALERMO E RIO NEGRO. AS CURVAS DE SOLVUS REPRESENTADAS SÃO PARA $PH_2O = 1KBAR$ (FUHRMAN & LINDSLEY 1988; DEER *ET AL.* 2001) 40

FIGURA 20: PERFIL ANALÍTICO QUANTITATIVO NÚCLEO-BORDA DE CRISTAL DE PLAGIOCLÁSIO SELECIONADO DO GRANITO PALERMO. IMAGEM DO CRISTAL COM POLARIZADORES DESCRUZADOS. AMOSTRA OM 691. 40

FIGURA 21: DIAGRAMA $Fe^T/(Fe^T+Mg)$ X Al^T (ANDERSON & SMITH 1995) ILUSTRANDO POSSÍVEL INTERVALO DE PRESSÃO DE CRISTALIZAÇÃO DE

ANFIBÓLIOS NOS DIORITOS DOS GRANITOS PALERMO E RIO NEGRO. ERRO!
INDICADOR NÃO DEFINIDO.

Índice de Tabelas

TABELA I: PADRÕES E TEMPOS DE INTEGRAÇÃO DE CONTAGENS NAS ANÁLISES
WDS 133

TABELA II: LEGENDA PARA OS DIAGRAMAS DO SUBITEM 6.2 322

Anexo I: Pranchas de fotos microscópicas de amostras dos Plutons
Palermo e Rio Negro

Prancha 1: Pluton Palermo

Prancha 2: Pluton Rio Negro

Anexo II: Composições modais de amostras representativas dos Plutons
Palermo e Rio Negro

Tabela 1: Composições modais de amostras representativas do
Pluton Palermo

Tabela 2: Composições modais de amostras representativas do
Pluton Rio Negro

Anexo III: Análises químicas quantitativas (WDS) das principais fases
máficas e félsicas dos Plutons Palermo e Rio Negro

Tabela 1: Análises químicas representativas (WDS) de piroxênio dos
Plutons Palermo e Rio Negro

Tabela 2: Análises químicas representativas (WDS) de anfibólio dos
Plutons Palermo e Rio Negro

Tabela 3: Análises químicas representativas (WDS) de biotita dos
Plutons Palermo e Rio Negro

Tabela 4: Análises químicas representativas (WDS) de plagioclásio
dos Plutons Palermo e Rio Negro

1. Introdução

Granitos e rochas associadas de “tipo-A” constituem províncias magmáticas de expressão significativa no planeta. Reúnem rochas com afinidades geoquímicas contrastadas, formadas sob condições *redox* variadas, em ambientes geotectônicos diversos da crosta continental ou oceânica (e.g., Whalen et al, 1987; Pitcher, 1993; Bonin, 2007). Estas províncias foram formadas desde o Arqueano até o presente e podem apresentar ocorrências minerais de significativo interesse econômico (e.g., Sn, Nb, U, ETR, etc., cf. Eby, 1990; Pitcher, 1993).

Apesar da quantidade de informações reunidas na literatura ser extensa, diversas questões relacionadas à gênese e evolução deste magmatismo permanecem ainda abertas. No Brasil afloram diversas províncias deste tipo e, entre elas, a Província Neoproterozóica Graciosa, que aflora na região S-SE do Brasil (Gualda & Vlach, 2007a), sendo uma das mais típicas, motivando estudos por parte de vários pesquisadores do Instituto de Geociências.

As pesquisas recentes em petrologia têm mostrado cada vez mais que a combinação da análise textural de detalhe, através de imageamento óptico, eletrônico (BSE) e/ou de catodo-luminescência (CL) com microanálises pontuais qualitativas e quantitativas de alta resolução espacial são fontes de informação essenciais, não somente para quantificar parâmetros intensivos de cristalização, mas também para identificar e/ou quantificar trajetórias e/ou processos específicos de gênese e evolução magmática (e.g., Anderson, 1996; Robinson & Miller, 1999; Markl et al., 2001; Marsh, 2006). De fato, estes estudos têm mostrado que diversos destes processos ficam registrados na forma de zonamentos composicionais, reações de cristalização e desequilíbrios minerais, entre outros.

Este trabalho propõe a utilização da análise textural e micro-estrutural detalhada em microscópio petrográfico combinada com dados qualitativos e quantitativos obtidos com microsonda eletrônica (EPMA) para identificar possíveis trajetórias evolutivas e determinar as condições P , T $f_{(O_2)}$ de cristalização de magmas graníticos e dioríticos que formaram os “Plutons” Palermo e Rio Negro (SC/PR) da Província Graciosa. Existe na literatura uma quantidade significativa de dados geológicos, geoquímicos e

geocronológicos para as rochas que constituem estas ocorrências (e.g., Harara, 2001), mas faltam dados texturais de detalhe e, em especial, informações modais e sobre as variações químicas das fases minerais presentes. O trabalho se insere em projeto maior que estuda a geologia, mineralogia e petrologia de ocorrências selecionadas da província, sob coordenação do orientador e participação de diversos pesquisadores e estudantes do Instituto de Geociências.

2. Metas e Objetivos

As rochas graníticas da Província da Graciosa vêm sendo estudadas pelo orientador e pelos alunos nos últimos anos com análises em suas texturas, microestruturas das fases minerais máficas e acessórias e tendo um enfoque especial nas análises das trajetórias de evolução composicional destas fases para algumas ocorrências selecionadas da região. Estes estudos trazem informações relevantes para a caracterização do magmatismo na região e compreensão da sua evolução no tempo (e.g., Gualda & Vlach, 2007a,b,c; Gualda & Vlach, 2007; Vilalva, 2007; Vilalva & Vlach, 2007). Entretanto, em diversas outras ocorrências importantes faltam detalhes que permitam caracterizar e analisar a gênese e evolução do magmatismo na província de forma integrada.

Devido a esta falta de informações há a necessidade da expansão dos estudos para outras ocorrências importantes da província, entre elas os denominados “Plutons” Palermo e Rio Negro, que afloram na região Alto Rio Negro (PR/SC). Estes maciços são particularmente interessantes porque neles afloram de forma mais notável rochas gabrodioríticas e diversas rochas híbridas associadas à interação entre magmas básicos e ácidos (e.g., Harara, 2001), as quais são relativamente raras nas demais unidades litológicas estudadas. Estas rochas foram objetos de estudos geológicos, geoquímicos e geocronológicos de detalhe por Harara (2001) e existe um excelente embasamento para os estudos ora propostos. Adicionalmente, o referido autor disponibilizou a sua coleção de amostras para os estudos pretendidos.

O presente projeto propõe, assim, o detalhamento petrográfico e a determinação das composições químicas de fases minerais presentes em amostras selecionadas, para as quais já existem dados geoquímicos, isotópicos (Rb/Sr, Sm/Nd) e geocronológicos (U/Pb convencional em zircão) pormenorizados. Os objetivos específicos são:

- análise petrográfica em detalhe, com destaque para as relações texturais e microestruturas das fases minerais máficas de amostras selecionadas (19 amostras);
 - determinações modais para estas amostras;
 - determinações das composições químicas e suas variações no tempo de anfibólio, biotita, clinopiroxênio e feldspatos (três ou quatro amostras selecionadas do grupo de 20);
 - determinação de parâmetros intensivos de cristalização dos respectivos magmas (T , P , $f_{(O_2)}$);
 - comparação dos resultados obtidos com os disponíveis para ocorrências similares na província.

As ferramentas a serem utilizadas são clássicas e envolvem técnicas de microscopia petrográfica e de análise de imagens eletrônicas e quantificação química em microsonda eletrônica.

3. Trabalhos Prévios

A Província Graciosa

A Província Graciosa de granitos, sienitos e rochas associadas de “tipo-A” (Gualda & Vlach, 2007c) é uma importante província pós-colisional que aflora nos Estados de São Paulo, Paraná e Santa Catarina, colocada após o amalgamento das Microplacas Curitiba e Luis Alves, a Oeste e o Cinturão Granitóide Costeiro, a Leste, ocorrido há ca. 610 Ma (Basei et al., 1992; Siga Jr. et al., 1993).

A província é formada principalmente por plutons graníticos e sieníticos, que se colocaram em níveis crustais rasos e invadiram rochas arqueanas e paleo-proterozóicas das Microplacas de Curitiba e Luis Alves e que afloram ao longo da escarpa da Serra do Mar (Gualda & Vlach, 2007c.). Em planta, estes plutons apresentam forma subcircular ou alongada irregular com orientação preferencial NE. Rochas básico-intermediárias intrusivas, especialmente dioritos e monzodioritos, ocorrem como corpos pequenos e irregulares, diques sin-plutônicos e enclaves que aparecem em diversas ocorrências (Gualda, 2001; Harara, 2001; Garin et al., 2003) e caracterizam um magmatismo contemporâneo contrastado.

As rochas graníticas e sieníticas são reunidas em duas associações petrográficas: uma alcalina, composta por álcali-feldspato sienitos e granitos; outra aluminosa, formada

principalmente por sieno- e monzogranitos subsolvus (Gualda & Vlach 2007b). Estas associações apresentam assinaturas petrográficas, mineralógicas e geoquímicas próprias e formam plutons isolados ou maciços/complexos em que ocorrem lado a lado.

A associação alcalina é formada por álcali-feldspato sienitos, quartzo sienitos e granitos com estruturas e texturas diversas, de natureza *hipersolvus*, que apresentam olivina, piroxênios e anfibólios cálcicos como minerais máficos típicos das rochas menos evoluídas e piroxênios e anfibólios sódico-cálcicos e sódicos nas rochas mais evoluídas. Os minerais acessórios típicos são chevkinita + ilmenita $\pm$ titanita $\pm$ magnetita $\pm$ esfalerita e indicam condições de cristalização relativamente redutoras.

A associação aluminosa é formada por sieno- e monzogranitos *subsolvus*, com biotita como máfico primário típico, observando-se algum anfibólio cálcico nos termos mais máficos. As estruturas e texturas, assim como na associação alcalina, são variadas. Os minerais acessórios típicos encontrados são allanita + magnetita + titanita $\pm$ ilmenita e indicam condições de cristalização mais oxidantes.

Os "Plutons" Palermo e Rio Negro (Harara, 2001) são exemplos da associação aluminosa que afloram no Estado do Paraná. Um aspecto marcante destas ocorrências é a presença muito significativa de rochas básico-intermediárias (gabros, dioritos), incomum na província, e de rochas híbridas, resultantes da interação entre magmas básicos e ácidos (Harara, 2001), tornando-os interessantes para estudos mais detalhados como o proposto.

Os Plutons Rio Negro e Palermo

Os "Plutons" Palermo e Rio Negro afloram próximo à divisa entre os Estados do Paraná e Santa Catarina, na região Alto Rio Negro (Figura 1). Geologicamente são correlacionáveis entre si. O estudo mais completo destas ocorrências é devido a Harara (2001). A seguir, apresenta-se um breve resumo das suas características baseado no trabalho deste autor.

O Pluton Palermo aflora entre os municípios de Tijucas do Sul e Mandirituba, e apresenta forma em "gota", orientada segundo N-S, ao longo dos contatos entre o Terreno Gnáissico Anfibolítico Granulítico e a Suíte Granítica Piên-Mandirituba. Foram mapeados quatro litotipos principais: sieno- e monzogranitos, quartzo-monzonitos/quartzo sienitos, monzogabros e rochas graníticas híbridas. Os primeiros aparecem no centro e nas bordas da ocorrência; são rochas maciças, inequigranulares a equigranulares de

granulação média a grossa, coloração rósea-avermelhada que apresentam biotita como máfico principal, eventualmente acompanhada por hornblenda. Fluorita ocorre em cavidades mirolíticas. Os quartzo-monzonitos/quartzo sienitos afloram ao Sul; apresentam estrutura e textura similares, colorações acinzentadas a esverdeadas, contendo, além de biotita, anfibólio e clinopiroxênio como minerais máficos típicos. De acordo com Harara (2001), algumas variedades sieníticas seriam “fracamente peralcalinas”. As rochas híbridas aparecem nas regiões sudoeste, centro-norte e sudeste; apresentam estruturas maciças e texturas inequigranulares de granulações grossa, média ou mesmo fina. Feições típicas de mistura de magmas (enclaves duplos, xenocristais, quartzo ocelar, feldspato alcalino manteado por plagioclásio) são comuns. Petrograficamente incluem desde monzogabros/monzodioritos a quartzo-monzodioritos com biotita, anfibólio, clinopiroxênio e ortopiroxênio até quartzo-monzonitos e monzogranitos com biotita, podendo ou não apresentar anfibólio e clinopiroxênio.

O Pluton Rio Negro aflora ao Sul do município de Agudos do Sul e a Leste de Piên, com formato elipsoidal alongado NE, aflorando ao longo da Zona de cisalhamento Piên-Mandirituba. Apresenta forma concêntrica. No núcleo são encontrados monzogabros ricos em biotita, com anfibólio, clinopiroxênio e, eventualmente, ortopiroxênio, de estruturas pouco orientadas ou maciças e granulação fina a média. Nas zonas intermediárias afloram rochas híbridas estruturalmente, texturalmente e composicionalmente similares às descritas para o Granito Palermo, enquanto que nas bordas aparecem biotita sieno- e monzogranitos maciços, inequigranulares com granulações médias a grossas, também similares aos descritos no Granito Palermo.

Na porção Sul do Granito Rio Negro aflora o denominado Granito Tarumã, circundado pelas rochas híbridas e biotita granitos típicos do primeiro. São monzogranitos maciços, inequigranulares de granulação fina, de coloração cinza clara que apresentam biotita ± hornblenda como minerais máficos típicos. Apresentam com alguma frequência enclaves microgranulares máficos esféricos e/ou elipsoidais, ricos em biotita e anfibólio.

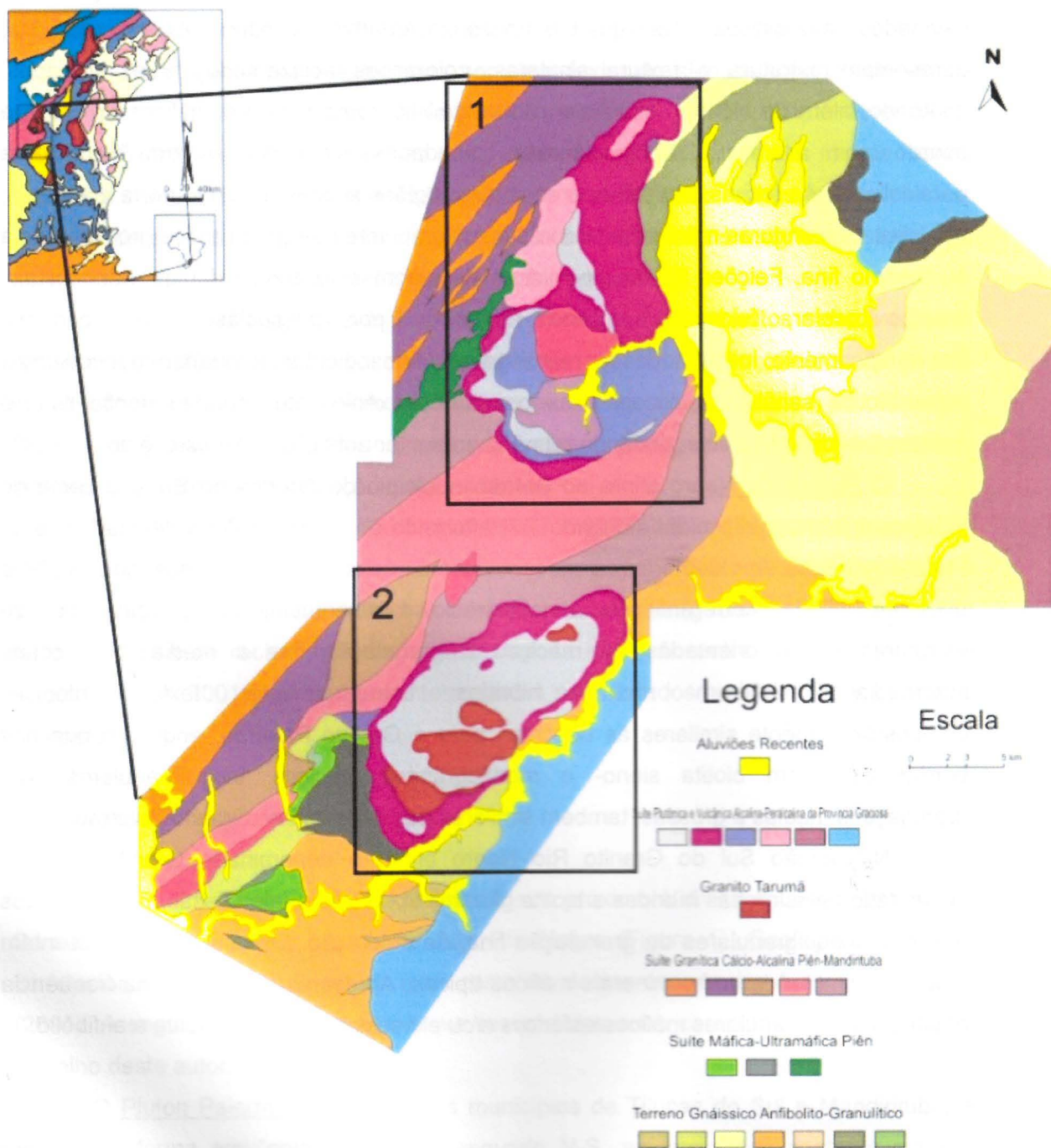


Figura 1: Localização e mapa geológico da Região Alto Rio Negro PR-SC (modificado de Harara 2001). 1: Pluton Palermo; 2: Pluton Rio Negro.

4. Materiais e Métodos

As atividades desenvolvidas para a preparação da monografia incluíram, além de estudos bibliográficos contínuos, trabalhos de laboratório e de gabinete, conforme detalhados a seguir. Não foram efetuadas atividades de campo, pois as amostras estudadas foram gentilmente cedidas pelo Dr. O. M. M. Harara e fazem parte da coleção coletada por ocasião da sua Tese de Doutorado. Foram selecionadas para os estudos propostos 19 amostras representativas das principais variedades litológicas homogêneas e híbridas mapeadas por este autor nos Granitos Palermo e Rio Negro, para as quais já existem informações geológicas, petrográficas, geoquímicas e geocronológicas muito adequadas (Figura 2).

4.1. Atividades de laboratório

As atividades de laboratório incluíram microscopia petrográfica, incluindo determinações modais e análises químicas minerais com microsonda eletrônica.

Os estudos petrográficos foram efetuados com o microscópio petrográfico OlympusTM modelo BXP-40, sob luz transmitida e ZeissTM modelo Axioplan-pol, sob luz transmitida e refletida do Laboratório de Óptica do GMG-IGc/USP, em seções delgadas convencionais e delgadas-polidas em amostras frescas representativas das principais unidades litológicas dos Granitos Palermo e Rio Negro. 19 seções foram descritas, nove do Granito Palermo e dez do Granito Rio Negro, segundo técnicas clássicas de microscopia petrográfica (MacKenzie *et al.* 1995). Foi dada ênfase ao reconhecimento e caracterização das principais fases minerais e acessórias, assim como as diversas texturas que caracterizam a principal fácies petrográficas. Após as análises petrográficas terem sido efetuadas, foram selecionados cristais representativos das fases minerais principais para análises em microsonda eletrônica.

As determinações modais foram efetuadas com *charriot* acoplado ao microscópio Leitz WetzlarTM, modelo Ortholux e contador de pontos manual Clay-AdamsTM do Laboratório de Óptica do GMG – IGc/USP. Em cada seção foram totalizados 1500 pontos, em uma área de dimensões adequadas, escolhida ao acaso.

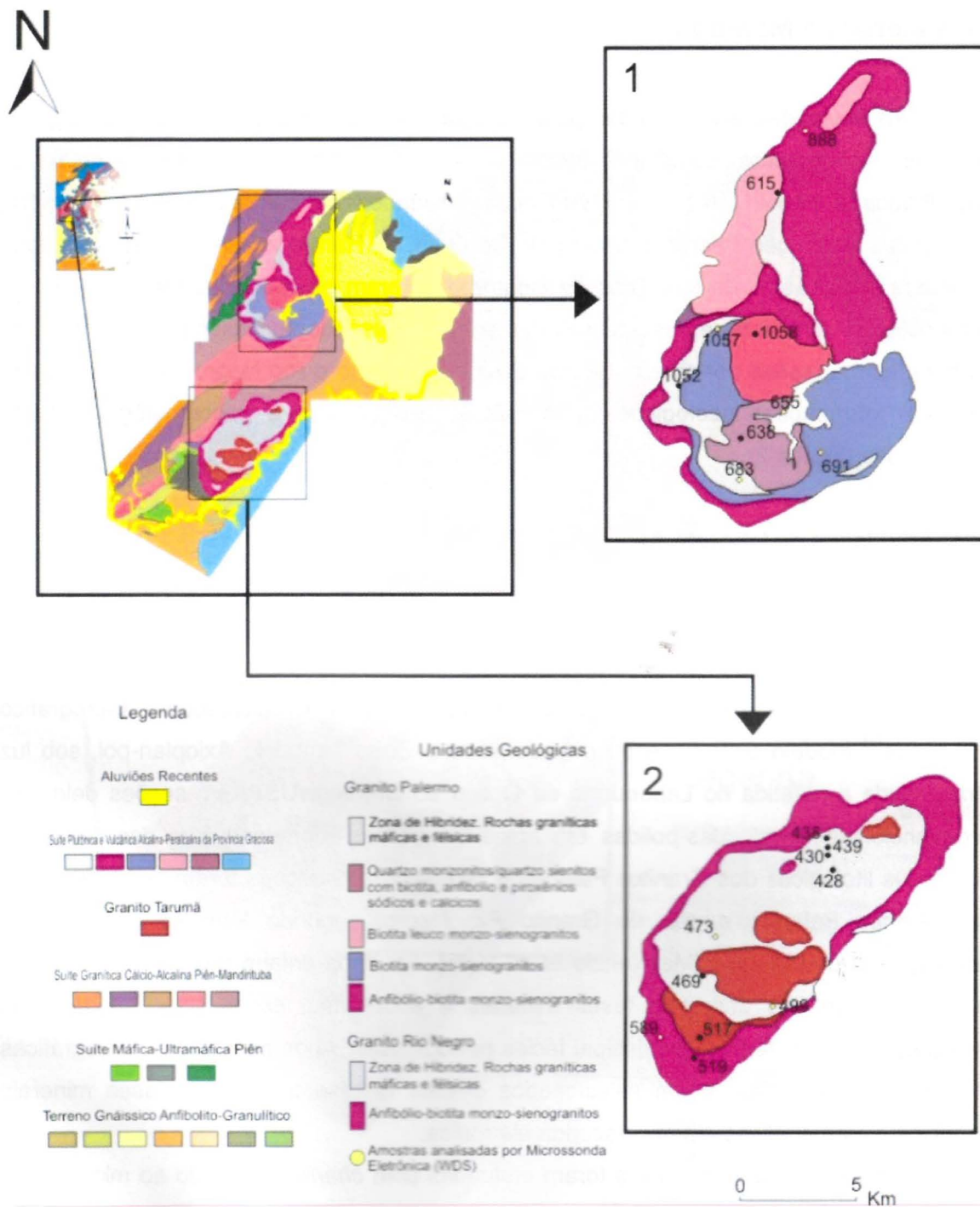


Figura 2: Mapa geológico com localização das amostras estudadas (modificado de Harara 2001). 1: Pluton Palermo; 2: Pluton Rio Negro.

Realizado as análises petrográficas foi efetuada a documentação fotográfica microscópica das fases minerais principais e acessórias, além das texturas principais das amostras escolhidas. Para tanto se usou a câmera fotográfica digital *Olympus*TM, modelo C5050Z, com resolução de 5,0 megapixels acoplada ao microscópio *Zeiss Axioplan*, do Laboratório de Óptica do GMG – IGc/USP.

Análises químicas pontuais quantitativas por espectrometria de dispersão de comprimento de onda (WDS) das principais fases minerais (piroxênio, anfibólio, biotita e plagioclásio) foram realizadas no Laboratório de Microsonda Eletrônica do GMG – IGc/USP. O equipamento utilizado é um *Jeol*TM modelo JXA-8600S, equipado de detector ED e cinco espectrômetros WD, cada qual com dois cristais analisadores (STE/TAP, TAP/PET, PET/LIF, PET/LIF e PET/LIF), e sistema de automação *Voyager 4.4*. da *Noran Instruments*TM. As análises foram efetuadas em seções delgadas-polidas cobertas com uma fina película de C (ca. 25nm) com evaporador da *Edwards*TM, modelo Auto 306.

As correções dos efeitos de matriz (número e absorção atômicos e fluorescência secundária) e redução dos valores de intensidades para porcentagens em peso de elementos e/ou óxidos foram efetuadas utilizando o programa *PROZA* (e.g., Bastin et al 1990, apud Goldstein et al. 1992), disponível no sistema de automação da *Noran*TM.

Foram selecionadas 8 seções delgadas-polidas entre as mais representativas, sendo 3 do Granito Rio Negro e 5 do Granito Palermo. Em cada seção foram analisados entre 3 e 8 cristais mais típicos de cada geração textural distinta de biotita, piroxênio, anfibólio e plagioclásio. As condições analíticas empregadas foram 15KeV, 20nA e 1 μ m, respectivamente para voltagem de aceleração, corrente de diâmetro do feixe eletrônico focado para obtenção de imagens; no caso das análises as condições foram às mesmas, a exceção do feixe, aumentado para 5 μ m de diâmetro.

As análises pontuais foram realizadas nas zonas de núcleo, intermediárias e bordas dos cristais, utilizando-se como referência os zonamentos ópticos e/ou observados nas imagens fotográficas. Os padrões utilizados e os tempos de contagens para os elementos analisados estão resumidos na Tabela I.

Tabela I

Padrões e tempos de integração de contagens nas análises WDS

Linha	Cristal	Padrões				T(s)*
		Piroxênio	Anfibólio	Biotita	Feldspato	
Si K α	TAP	wollastonita	wollastonita	wollastonita	microclínio	10-20
Ti K α	LiF	rutilo	rutilo	rutilo	rutilo	20-40
Zr L α	PET	zircão	zircão	---	---	30
Al K α	TAP	hornblenda	hornblenda	anortita	anortita	10-40
Fe K α	LiF	olivina	olivina	olivina	olivina	20-30
Mn K α	LiF	olivina	olivina	olivina	olivina	20-40
Mg K α	TAP	diopsídio	diopsídio	diopsídio	diopsídio	20-40
Zn K α	LiF	ZnO	ZnO	ZnO	---	20-40
Ca K α	PET	wollastonita	wollastonita	wollastonita	anortita	10-30
Ba L α	LiF	---	---	barita	---	30
Na K α	TAP	albita	albita	albita	albita	10-20
K K α	PET	microclínio	microclínio	microclínio	microclínio	20-40
Cl K α	PET	---	apatita	apatita	---	10
F K α	TAP	---	fluorita	fluorita	---	10

* Tempo total de integração de contagens igualmente dividido entre pico e radiação de fundo.

4.2. Atividades de gabinetes

As atividades de gabinete incluíram em especial o tratamento das imagens e dos dados petrográficos e químicos minerais obtidos em laboratório.

O tratamento das imagens fotográficas teve como objetivo de realçar contrastes e variações de cores que podem indicar variações composicionais em um cristal, e foi efetuado com softwares comerciais convencionais (*Corel™ PhotoPaint X3*). Para a confecção do mapa geológico também utilizou-se softwares comerciais convencionais (*Corel™ PhotoPaint X3*).

O tratamento dos dados de quimismo mineral (conversão em proporções de cátions, fórmulas estruturais, proporções moleculares etc.) foi efetuado com o programa Mincalc (Gualda & Vlach inédito). Para a biotita e plagioclásio as fórmulas estruturais foram calculadas com base em 22 e 32 O respectivamente. No caso do piroxênio a partição Fe²⁺/Fe³⁺ foi efetuada segundo o método de Droop (1987), considerando-se 4 cátions totais e 6 para o anfibólio, onde (OH) é uma variável adicional, as estimativas foram realizadas utilizando-se o método descrito por Schumacher em Leake et al. (1997).

5. Resultados Obtidos

5.1. Petrografia

5.1.1. Pluton Palermo

As amostras selecionadas do Pluton Palermo constituem quatro grupos petrograficamente distintos: álcali-feldspatos granitos, monzo- a sienogranitos, dioritos e monzonitos, os quais são descritos brevemente a seguir (ver também Figura 2)

- Rochas álcali-feldspáticas

Foram descritos duas amostras (OM 638 e OM 655) de rochas álcali-feldspáticas aflorantes na região sul da área estudada, sendo contornados pelas rochas híbridas a sudoeste, anfibólio-biotita monzo-sienogranitos a leste-sul e a noroeste, aluviões e biotita monzo-sienogranitos a nordeste.

As amostras são de granulação média (1,0 a 4,0mm) e cores variando entre rosa e cinza, apresentando estruturas maciças em escala de amostra de mão e lâmina. As texturas são inequigranulares. A amostra OM 638 tem estrutura maciça e textura fanerítica média com megacristais de feldspatos alcalinos (até 5,0mm).

Ao microscópio petrográfico as amostras de rochas álcali-feldspáticas são similares. Modalmente correspondem a álcali-feldspatos granitos, com quantidades de plagioclásio variáveis, de traços a pouco menos de 2% em volume.

A trama textural é dominada por cristais tabulares de feldspato alcalino e cristais granulares de quartzo. Os minerais máficos (11 a 13% em volume) aparecem em cristais isolados ou mais frequentemente agregados de vários cristais.

O quartzo aparece em geral xenomórfico, ocorrendo intersticialmente, límpido, com extinção homogênea. Apresenta inclusões de anfibólio, feldspato alcalino e minerais opacos.

O feldspato alcalino é tabular, com contatos entre os cristais são retos a levemente irregulares. A geminação de Calrsbad é observada em poucos cristais, sendo que na maioria dos cristais o feldspato é mesopertítico, com finas lamelas regulares, subparalelos, de albita exsolvida (Anexo I, Prancha 1b). São observados nas bordas do feldspato alcalino formação de cristais exsolvidos de albita pura de granulação muito fina,

formados no contato de dois cristais de feldspato alcalino mesopertítico ("swapped rims") (Anexo I, Prancha 1c). Na amostra OM 638 são observadas relações entre feldspato alcalino e plagioclásio formando típicas texturas anti-rapakivi. Os cristais de plagioclásio apresentam alteração para sericita no centro do cristal e no feldspato alcalino é observado zonamento concêntrico.

Entre os minerais máficos primários, o mineral dominante é um anfibólio (10% em volume) prismático xenomórfico, com contatos irregulares. Apresenta pleocroísmo em cores verde e marrom do grupo da hornblenda. É parcial ou totalmente substituído por biotita, que aparece nas bordas irregulares, fraturas ou até mesmo ao longo dos seus planos de clivagem. São observados inclusões de minerais opacos e de zircão, com o último gerando halos pleocróicos. Na amostra OM 655 os cristais possuem pleocroísmo mais acentuado em tons de verde e azul claro e associados a estes estão cristais de astrolfilita (Anexo I, Prancha 1d). Em alguns cristais de anfibólio observa-se o centro incolor, com inclusões de minerais opacos subidiomórficos, orientados segundo os planos de clivagem do anfibólio.

A biotita ocorre como cristais placóides com forte pleocroísmo variando de laranja a marrom escuro. Apresenta contatos retos na sua maior dimensão e em sua menor dimensão são observadas bordas irregulares. Está associada ao anfibólio, sendo observadas inclusões de opacos e zircão.

Os minerais opacos são subidiomórficos a xenomórficos (< 0,4mm), ocorrendo isolados ou como inclusões em anfibólio e biotita.

Zircão e allanita idiomórfico a subidiomórficos, com dimensões variando entre 0,2 e 0,4mm, são os acessórios mais típicos e aparecem isolados ou como inclusões (zircão) em anfibólio e piroxênio. Allanita apresenta-se muito metamictizada. Fluorita (traço) é xenomórfica.

Astrolfilita foi observada na amostra OM 655 xenomórfica (0,3 a 0,5mm), apresentando coloração amarelada e pleocroísmo ausente. Pode aparecer isolada ou associada ao anfibólio.

Modas e sequência de cristalização

As determinações modais efetuadas para as rochas álcali-feldspáticas (Anexo II, Tabela 1) indicam que todas elas correspondem a álcali-feldspatos granitos: plotam na

aresta QP do diagrama modal QAP (Figura 11). As quantidades modais de minerais máficos se situam no intervalo entre 11 e 13 %.

A sequência de cristalização para as fases minerais reconhecidas nas rochas álcali-feldspáticas, levou em consideração os estágios magmático, tardi-magmático e pós-magmático, e foi interpretada a partir das relações texturais entre estes minerais, que se encontra na Figura 3.

Estágio	Magmático			Pós-magmático	
Minerais	Precoce	Principal	Tardio	1	2
Quartzo					
Feldspato Alcalino					
Plagioclásio					
Anfibólio					
Biotita					
Allanita					
Astrofilita					
Minerais Opacos					
Apatita					
Fluorita					
Sericita					

Figura 3: Sequência de cristalização dos álcali-feldspatos granitos do Pluton Palermo

- Dioritos

Foram descritas três amostras (OM 683, OM 1052 e OM 1057) de rochas aflorantes na região sudoeste da área estudada. Nesta área, as rochas dioríticas são contornadas por anfibólios monzo-sienogranitos e biotita monzo-sienogranitos (Figura 2).

As amostras são de granulação fina a média (0,6 a 3,0mm) e apresentam cores variando entre cinza rosado a cinza escuro. Em geral, as estruturas são maciças em escala de mão e de lâmina, mas a amostra OM 1052 apresenta leve estrutura orientada. As texturas são inequigranulares. A amostra OM 1057 apresenta textura fanerítica fina com megacristais de plagioclásio e feldspato alcalino.

Ao microscópio petrográfico as amostras de rochas dioríticas são similares. Modalmente correspondem a quartzo dioritos, com quantidades de quartzo e feldspato alcalino variáveis, entre 2 a 10% em volume.

A trama textural é dominada por cristais tabulares de plagioclásio. Os minerais máficos (23 a 44% em volume) aparecem em cristais isolados ou mais formando agregados de vários cristais.

O quartzo (< 0,6mm) aparece em geral xenomórfico. Os cristais são sempre intersticiais, límpidos e apresentam extinção homogênea ou levemente ondulante. Os contatos entre os cristais de quartzo são lobados enquanto os contatos com os outros minerais variam de retos a irregulares.

O plagioclásio (0,4 a 1,2mm) é subidiomórfico a idiomórfico, com contatos mútuos irregulares. Apresentam geminações segundo as Leis da Albita e de Carlsbad e encontram-se variavelmente sericitizados e/ou saussuritizados. A maioria dos cristais apresenta zonamento concêntrico normal ou oscilatório (An variando entre 15 e 19). Inclusões de minerais opacos são comuns. Na amostra OM 1052 os cristais de plagioclásio estão levemente orientados, conferindo um certo aspecto traquitóide à textura. Na amostra OM 1057 são observados mantos de feldspato alcalino em torno dos cristais de plagioclásio (textura anti-rapakivi, Anexo I, Prancha 1g).

O feldspato alcalino (2,0mm) é subidiomórfico, aparece intersticialmente e apresenta contatos irregulares com outros cristais. Na amostra OM 1057 o feldspato alcalino chega a ser mesopertítico (Anexo I, Prancha 1f), apresentando finas lamelas regulares, subparalelas, de albita exsolvida.

Entre os minerais máficos primários, o mineral dominante é um anfibólio prismático subidiomórfico (< 0,6mm), com contatos irregulares ou mesmo interpenetrados em detalhe. Apresenta pleocroísmo em tons de verde claro e verde escuro, mais típico da hornblenda. É parcial ou totalmente substituído por biotita, que aparece nas bordas irregulares do cristal e ao longo de planos de fratura e de clivagens. São observados inclusões de minerais opacos, zircão e titanita, os dois últimos gerando halos pleocróicos no hospedeiro. Alguns cristais são irregularmente zonados, mostrando núcleos quase incolores, que opticamente correspondem a anfibólio actinolítico. Inclusões diminutas, idiomórficas, de minerais opacos são muito comuns nestes núcleos.

A biotita ocorre como cristais placóides com forte pleocroísmo variando de amarelo pálido a marrom escuro. Apresenta contatos retos na sua maior dimensão e em sua menor dimensão são observados contatos irregulares. Ocorrem isoladas ou mais comumente associadas ao anfibólio (Anexo I, Prancha 1h), sendo observadas inclusões de minerais opacos e zircão, o último gerando halos pleocróicos bem marcados.

Clinopiroxênio ocorre na amostra OM 683. Aparece como cristais xenomórficos a subidiomórficos, arredondados e bem fraturados, com dimensões inferiores a 0,3mm). Aparece associado aos outros minerais máficos ou, mais frequentemente, isolado. As

características ópticas são compatíveis com uma augita (pleocroísmo ausente a incipiente em tons de bege, 2Vz médio a alto).

Os minerais opacos (magnetita e ilmenita) são idiomórficos a subidiomórficos (< 0,4mm) e ocorrem isolados ou como inclusões em anfibólio e biotita.

Zircão, apatita e titanita idiomórficos a subidiomórficos, com dimensões variando entre 0,2 e 0,4mm, são os acessórios mais típicos e aparecem isolados ou como inclusões (zircão) em anfibólio e piroxênio. Na amostra OM 1052 é observada alteração ferruginosa com cor marrom alaranjada associada aos minerais opacos.

Modas e seqüência de cristalização

As determinações modais efetuadas (Anexo II, Tabela 1) indicam que todas as amostras estudadas correspondem a quartzos dioríticos (Figura 10). As quantidades modais de minerais máficos se situam no intervalo entre 23 e 44 %.

A seqüência de cristalização para as fases minerais reconhecidas nas rochas dioríticas (Figura 4) foi interpretada a partir das relações texturais entre estes minerais.

Estágio Minerais	Magmático			Pós-magmático	
	Precoce	Principal	Tardio	1	2
Quartzo					
Feldspato Alcalino					
Plagioclásio					
Ortopiroxênio					
Clinopiroxênio					
Anfibólio					
Biotita					
Allanita					
Titanita					
Minerais Opacos					
Apatita					
Zircão					
Sericita					

Figura 4: Quadro ilustrativo da possível seqüência de cristalização para as rochas dioríticas do Pluton Palermo

- Monzonitos

Foram descritas duas amostras (OM 615 e OM 691) de rochas monzoníticas. Estas variedades afloram na região sudeste da área, em contato com os álcali-feldspato granitos, e na região noroeste, próxima da zona mapeada como híbrida da área (Figura 2).

As amostras de mão apresentam cores em tons de rosa avermelhado a acinzentado e estrutura maciça. São amostras de aspecto mais heterogêneo com texturas inequigranulares. A amostra OM 691 apresenta regiões porções com predomínio de minerais félsicos e porções mais máficas, nas quais se observam megacristais de feldspato alcalino manteados por plagioclásio (textura rapakivi). Nesta mesma amostra é observado um enclave microgranular máfico (5,0 cm) de granulação fina.

Ao microscópio petrográfico as amostras de rochas monzoníticas são similares. Modalmente correspondem a quartzo monzonitos, com quantidades de quartzo variáveis, de 5 a pouco menos de 20% em volume.

A trama textural é dominada por cristais tabulares de feldspato alcalino e plagioclásio. Os máficos (10 e 26% em volume) aparecem em cristais isolados ou mais frequentemente em agregados de vários cristais e distribuem-se em geral intersticialmente aos feldspatos.

O quartzo (0,5 a 0,7mm) aparece geralmente xenomórfico. Ocorre intersticial aos feldspatos, límpido, com extinção homogênea, sendo observados poucos cristais com extinção ondulante. O contato com outros minerais é lobado e com o feldspato é irregular.

O feldspato alcalino (1,7 a 3,0mm) é subidiomórfico a idiomórfico e apresenta mais tipicamente a geminação de Carlsbad. Apresenta hábitos tabulares em seção e os contatos entre os cristais são irregulares e aparecem sempre mais límpidos que os cristais de plagioclásio. Na maioria das amostras o feldspato é mesopertítico, com finas lamelas, subparalelas, de albita exsolvida.

O plagioclásio (0,8 a 2,5mm) é subidiomórfico a idiomórfico, mas com contatos irregulares. As geminações das Leis de Carlsbad e Albita são típicas na maioria dos cristais. Em alguns casos apresenta zonamento composicional concêntrico (An variando entre 7 e 13). Os cristais de plagioclásio possuem forte sericitização e/ou saussuritização, principalmente nas regiões mais internas dos cristais. Mirmequitas aparecem na amostra OM 691 e tipicamente ocorrem em bordas mais albiticas do plagioclásio quanto este faz contato feldspato alcalino.

Anfibólio é o principal mineral máfico primário. Aparece com hábito prismático, subidiomórfico, com dimensões entre 0,5 e 0,9 mm, em geral formando agregados de diversos cristais com os demais minerais máficos. Apresenta pleocroísmo em tons de verde pálido a verde acastanhado, mais típico de uma hornblenda. Alguns cristais mostram zonamento composicional mais ou menos concêntrico, as bordas apresentando tons de pleocroísmo mais escuros que as zonas centrais. Os cristais, em sua maioria,

apresentam-se parcialmente substituídos por biotita e/ou alterados para clorita. São observadas inclusões de minerais opacos idiomórficos (0,2mm) xenomórficos (Anexo I, Prancha 1i), não possuindo uma orientação preferencial, e de zircões.

A biotita aparece em placas maiores, isoladas, ou em agregados com o anfibólio (Anexo I, Prancha 1k) e minerais opacos. O pleocroísmo é forte, variando de bege a marrom escuro. Frequentemente são observadas inclusões de minerais opacos e zircão.

Os minerais opacos (0,2mm) são desde xenomórficos a idiomórficos e incluem magnetita e ilmenita. Ocorrem isolados (idiomórficos) ou como inclusões (xenomórficos) em anfibólio e biotita. Os cristais de zircão (< 0,3mm) são idiomórficos e aparecem isolados ou como inclusões em anfibólio e biotita, gerando halos pleocróicos. Minerais opacos e zircão são os acessórios mais típicos que aparecem em ambas as amostras.

A amostra OM 691 apresenta allanita zonada, com graus variáveis de metamictização (Anexo I, Prancha 1j). Este fenômeno também afeta os cristais de feldspatos vizinho, causando neles pequenas fissuras.

Na amostra OM 615 são observados outros minerais acessórios, que incluem fluorita, carbonato e clorita. A fluorita é xenomórfica (traço) ocorrendo principalmente agregada a outros cristais. A clorita ocorre como substituição parcial da biotita e/ou do anfibólio. O carbonato ocorre como alteração.

Modas e seqüência de cristalização

As amostras estudadas correspondem modalmente a quartzo monzonitos, com quantidades de quartzo variáveis, entre 5 a pouco menos de 20% em volume (Anexo II, Tabela 1, Figura 11). As quantidades modais de minerais máficos se situam no intervalo entre 10 e 26 %.

A seqüência de cristalização interpretada para as fases minerais reconhecidas nas rochas monzoníticas é apresentada na Figura 5.

Estágio Minerais	Magmático			Pós-magmático	
	Precoce	Principal	Tardio	1	2
Quartzo					
Feldspato Alcalino					
Plagioclásio					
Anfibólio					
Biotita					
Allanita					
Zircão					
Minerais Opacos					
Apatita					
Fluorita					
Carbonato					
Clorita					
Sericita					

Figura 5: Quadro ilustrativo da possível seqüência de cristalização para as rochas monzoníticas do Pluton Palermo

- Rochas sienograníticas

Foram descritas duas amostras (OM 888 e OM 1058) de rochas graníticas que afloram nas regiões central e norte da área (Figura 2). Em amostras de mão, os granitos apresentam cores em tons de rosa esbranquiçadas a avermelhadas, estrutura maciça e textura fanerítica fina a média. São rochas leucocráticas com plagioclásio identificável pela coloração mais esbranquiçada em amostra de mão, apresentando minerais máficos isolados ou em agregados irregulares formados por diversos grãos.

A trama textural é dominada por cristais granulares de quartzo e tabulares de plagioclásio e feldspato alcalino. Os minerais máficos (6 a 9% em volume) aparecem mais frequentemente agregados de vários cristais e por vezes isolados (Anexo I, Prancha 11).

O quartzo (0,8 a 1,25 mm) aparece como cristais xenomórficos a subidiomórficos. Os cristais são límpidos e em sua maioria possuem extinção homogênea. Os contatos observados com outros minerais são lobados a levemente irregulares. Inclusões de cristais bem formados de muscovita são por vezes encontradas.

Os cristais de feldspato são tabulares. Os cristais de plagioclásio são maiores (1,50 a 2,00 mm), subidiomórficos a idiomórficos, com contatos irregulares com outros minerais. A geminação da Lei da Albita é típica na maioria dos cristais. Sericitização e/ou saussuritização são comuns (Na variando entre 6 e 12). Os feldspatos alcalinos são menores (0,8 a 1,0mm), subidiomórficos, com contatos lobados a levemente irregulares com outros minerais. São peritéticos e não apresentam geminação bem desenvolvida. Texturas de tipo anti-rapakivi são observadas ocasionalmente.

Entre os minerais máficos primários o mineral dominante é o anfibólio subidiomórfico (0,8 a 1,1mm), sendo encontrado mais comumente isolado. Apresenta leve pleocroísmo em tons de verde claro e verde médio. Os contatos com outros minerais são lobados a levemente irregulares. As principais inclusões são de minerais opacos e zircão.

A biotita aparece como cristais placóides isolados ou agregados aos cristais de anfibólio, sendo que se forma a partir deste último. É observado forte pleocroísmo variando de amarelo claro a castanho avermelhado. Frequentemente são observadas inclusões de outros minerais, tais como opacos e zircão, com o último ocasionando halos pleocróicos. O contato com os outros minerais é reto no comprimento maior do cristal e irregular no comprimento menor.

Os minerais opacos (0,4mm) são subidiomórficos, ocorrendo de forma isolada, ou mais comumente como inclusão nos cristais de anfibólio e biotita. Os cristais de zircão são idiomórficos (< 0,5mm), sendo encontrados como inclusões em anfibólio e biotita.

Na amostra OM888 foram observados outros minerais acessórios, tais como apatita e allanita, sendo a primeira diminuta, subidiomórfica a idiomórfica, e a segunda apresentando-se metamictizada.

Na amostra OM1058 observou-se muscovita, titanita, fluorita e carbonatos como minerais acessórios. A muscovita idiomórfica (< 0,3mm) ocorre tanto como inclusão como em cristais isolados e ocorre também substituindo os cristais de feldspato. A titanita (< 0,3mm) é subidiomórfica a xenomórfica, sendo encontrada como inclusões em cristais biotita e anfibólio. A fluorita ocorre como um agregado de cristais. O carbonato ocorre irregularmente.

Modas e seqüência de cristalização

Modalmente, as rochas graníticas descritas correspondem a sienogranitos, com quantidades em volume de máficos entre 2 e 5% (Anexo II, Tabela 1, Figura 11).

A seqüência de cristalização para as fases minerais reconhecidas nas rochas sieníticas é apresentada na Figura 6.

Estágio	Magmático			Pós-magmático	
Minerais	Precoce	Principal	Tardio	1	2
Quartzo					
Feldspato Alcalino					
Plagioclásio					
Anfibólio					
Biotita					
Muscovita					
Allanita					
Zircão					
Minerais Opacos					
Apatita					
Fluorita					
Titanita					
Carbonato					
Sericita					

Figura 6: Quadro ilustrativo da possível seqüência de cristalização para as rochas sienograníticas do Pluton Palermo

5.1.2. Pluton Rio Negro

As informações da literatura (Harara, 2001) e as análises das amostras do Pluton Rio Negro permitem reconhecer quatro grupos distintos: álcali-feldspato granitos (sem plagioclásio observável), monzogranitos, dioritos e rochas de aspecto híbrido, cuja distribuição em mapa é apresentada na (Figura 2).

- Dioritos

Foram descritas três amostras (OM 438, OM 439 e OM 473) de rochas dioríticas que ocorrem na região central da área estudada. Estas rochas são contornadas por anfibólio-biotita monzo e sienogranitos e ao sul fazem contato com anfibólio monzogranitos (Figura 2).

As amostras são de granulação fina a média (0,5 a 1,2mm) e coloração cinza escura. A estrutura é maciça e a textura inequigranular. Na amostra OM 438 são observados fenocristais de plagioclásio. A amostra OM 438 possui enclave microgranular máfico, rico em anfibólio e biotita, de granulação muito fina e de tamanho centimétrico, aproximadamente 1,5cm.

Ao microscópio petrográfico as amostras de rochas dioríticas são similares.

A trama textural é dominada por cristais tabulares de plagioclásio. Os minerais máficos (25 a 40% em volume) aparecem em cristais isolados ou mais frequentemente agregados de vários cristais, sendo observados por toda a lâmina.

O quartzo (0,2 a 0,9mm) aparece em geral subidiomórfico a xenomórfico. São sempre intersticiais, límpido, com extinção homogênea ou levemente ondulante, sendo observado contatos irregulares com os outros minerais e lobados com outros cristais de quartzo. Na amostra OM 438 são observadas dois tipos de textura: gráfica e mimerquíticas (Anexo I, Prancha 2b). A última ocorre em plagioclásio, principalmente em contato entre plagioclásio e feldspato alcalino.

O plagioclásio (0,3 a 1,3mm) é subidiomórfico a idiomórfico, com os contatos entre os cristais irregulares. A geminação seguindo (An variando entre 24 e 50) a Lei da Albita e Carlsbad é típica na maioria dos cristais. Nas amostras são observadas alterações por sericita e inclusões de apatita acicular. Na amostra OM 438 são observados megacristais de plagioclásio (2,0 a 3,0mm). Na amostra OM 439 é observado texturas mesopertíticas originadas da exsolução de plagioclásio e feldspato alcalino.

O feldspato alcalino ocorre como finas lamelas, regulares, subparalelos de albita exsolvida.

Entre os minerais máficos primários, o mineral dominante é um piroxênio prismático subidiomórfico a xenomórfico (0,6 a 1,0mm), de coloração verde oliva, sendo observado duas direções de clivagem. Os contatos são irregulares, apresentam algumas fraturas no interior do cristal e nas bordas são observados anfibólios com características mais sódico-cálcicas substituindo o piroxênio (Anexo I, Prancha 2c).

A biotita ocorre como cristais placóides com forte pleocroísmo variando de amarelo pálido a marrom escuro. Apresenta contatos retos na sua maior dimensão e em sua menor dimensão são observados contatos irregulares. Ocorrem isoladas ou mais comumente associadas ao anfibólio.

Os minerais opacos são subidiomórficos a xenomórficos (< 0,4mm), ocorrendo isolados ou como inclusões em anfibólio. A apatita é subidiomórfica a idiomórfica (0,2mm), ocorrendo como inclusões em outros minerais ou como cristais isolados. Esses são os acessórios mais comumente encontrados nos dioritos.

Nas amostras OM 438 e 473 outro acessório encontrado é o zircão subidiomórfico (< 0,4mm), que aparece como inclusões nos cristais de anfibólio e biotita.

Na amostra OM 438 são observados titanita subidiomórfica e material ferruginoso preenchendo espaços entre os cristais, principalmente próximo dos piroxênios e anfibólios.

Modas e seqüência de cristalização

Modalmente correspondem a quartzo dioritos, com quantidades de quartzo e feldspato alcalino variáveis, de 2 a 10% em volume. As determinações modais efetuadas para as rochas dioríticas (Anexo II, Tabela 2) indicam que todas elas correspondem a dioritos (Figura 11). As quantidades modais de minerais máficos se situam no intervalo entre 27 e 40 %.

A seqüência de cristalização para as fases minerais reconhecidas nas rochas dioríticas, levou em consideração os estágios magmático, tardi-magmático e pós-magmático, e foi interpretada a partir das relações texturais entre estes minerais, que se encontra na Figura 7.

Estágio	Magmático		Pós-magmático		
Minerais	Precoce	Principal	Tardio	1	2
Quartzo					
Feldspato Alcalino					
Plagioclásio					
Ortopiroxênio					
Clinopiroxênio					
Anfibólio					
Titanita					
Minerais Opacos					
Apatita					
Zircão					
Sericita					

Figura 7: Quadro ilustrativo da possível seqüência de cristalização para as rochas dioríticas do Pluton Rio Negro

- Rochas híbridas

Foram descritas duas amostras (OM 428 e OM 469) de rochas aflorantes próximas ao núcleo do corpo granítico, descritas como híbridas por Harara (2001). Encontram-se sempre associadas às rochas dioríticas e nas zonas de contato entre as rochas dioríticas e graníticas (Figura 2).

As amostras são de granulação fina a média (0,5 a 4,0mm) com cor cinza a cinza escura, apresentando estrutura maciça em escala de mão e de lâmina.

Ao microscópio petrográfico as amostras de rochas híbridas são similares. Modalmente correspondem a granodioritos, com quantidades de variáveis, de 24,9 a 27,4% em volume.

A trama textural é dominada por cristais granulares de quartzo. Os minerais máficos (19 a 24% em volume) aparecem em cristais isolados ou mais frequentemente agregados de vários cristais, sendo observados por toda a lâmina (Anexo I, Prancha 2d).

O quartzo (0,5 a 1,0mm) aparece em geral subidiomórficas a xenomórficas. São límpidos, com extinção homogênea ou levemente ondulante, sendo observados contatos irregulares com os outros minerais e lobados com outros cristais de quartzo. Na amostra OM 428 são observados xenocristais de quartzo (2,0 a 2,2mm) e ocelos contornados por cristais de anfibólio (Anexo I, Prancha 2e).

Nas amostras foram observados dois tipos de feldspato: plagioclásio e feldspato alcalino. O plagioclásio (0,8 a 2,0mm) é tabular com alteração mais evidente por sericita, apresentando contatos levemente retos a lobados, enquanto que o feldspato alcalino (0,5 a 1,0mm) é subidiomórfico a xenomórfico, apresentando menor alteração por sericita e não é límpido como o quartzo, com contatos lobados a levemente irregulares. A Lei da Albita é típica na maioria dos cristais (An variando entre 15 e 20). Ocasionalmente, são observadas exsoluções de feldspato alcalino em plagioclásio.

Entre os minerais máficos primários o mineral dominante é o anfibólio xenomórfico (0,8 a 1,1mm) muito alterado, sendo encontrado isolado ou mais comumente agregado a outros cristais de anfibólio. Apresenta leve pleocroísmo em tons de verde e verde escuro. Os cristais podem apresentar fraturas, mas os contatos com outros minerais são lobados a levemente irregulares. São observados inclusões de minerais opacos.

Na amostra OM 428 é observado biotita que ocorre como cristais placóides com forte pleocroísmo variando de amarelo pálido a marrom escuro. Apresenta contatos retos na sua maior dimensão e em sua menor dimensão são observados contatos irregulares. Ocorrem isoladas ou mais comumente associadas ao anfibólio.

Os minerais opacos são xenomórficos (0,5mm) ocorrendo como inclusões em cristais de anfibólio. Os cristais de apatita são subidiomórficos a idiomórficos (< 0,6mm) ocorrendo como inclusões em alguns minerais ou como cristais isolados. Em geral estes dois minerais são mais abundantes nas rochas híbridas.

Na amostra OM 428 são observados cristais de zircão subidiomórficos (< 0,5mm), sendo encontrados como cristais isolados ou mais comumente como inclusões em cristais de anfibólio, podendo gerar halos pleocróicos.

Modas e seqüência de cristalização

As determinações modais efetuadas para as rochas híbridas (Anexo II, Tabela 2) indicam que todas elas correspondem a granodioritos (Figura 10). As quantidades modais de minerais máficos se situam no intervalo entre 19 e 24 %. Nos granodioritos é observado um excesso de quartzo, incomum neste tipo de rocha. Isso ocorre devido a inclusão de quartzo que aparece como xenocristais, portanto não formados a partir da cristalização dos magmas originais.

A seqüência de cristalização para as fases minerais reconhecidas nas rochas híbridas, levou em consideração os estágios magmático, tardi-magmático e pós-magmático, e foi interpretada a partir das relações texturais entre estes minerais, que se encontra na Figura 8.

Estágio	Magmático			Pós-magmático	
Minerais	Precoce	Principal	Tardio	1	2
Quartzo					
Plagioclásio					
Feldspato Alcalino					
Anfibólio					
Zircão					
Minerais Opacos					
Apatita					
Sericita					

Figura 8: Quadro ilustrativo da possível seqüência de cristalização para as rochas híbridas do Pluton Rio Negro

- Álcali-feldspatos granitos

Foram descritos duas amostras (OM 430 e OM 589) de álcali-feldspatos granitos aflorantes na região central da área estudada, próxima do contato do Granito Rio Negro com as rochas do embasamento (Gnaiss Granulíticos Félsicos).

As amostras são de granulação média à grossa (1,0 a 6,0mm) com cores cinza escuro, apresentando estruturas maciças em escala de amostra de mão e lâmina. As texturas são inequigranulares.

Ao microscópio petrográfico as amostras de rochas álcali-feldspáticas são similares. Modalmente correspondem a álcali-feldspatos granitos, com quantidades de plagioclásio variáveis, de traços a pouco menos de 2% em volume.

A trama textural é dominada por cristais tabulares de feldspato alcalino e cristais granulares de quartzo. Os minerais máficos (7 a 16% em volume) aparecem em cristais isolados ou mais frequentemente agregados de vários cristais (Anexo I, Prancha 2f).

O quartzo aparece em geral subidiomórfico a xenomórfico (0,5 a 1,0mm), ocorrendo intersticialmente, límpido, com extinção homogênea. Apresenta fenocristais (4,0 a 5,0mm), mais arredondados do que os cristais da matriz. Os contatos são lobados a levemente retos com outros minerais. Na amostra OM 430 são observados ocelos de quartzo envolto por mantos de piroxênio (Anexo I, Prancha 2g).

O feldspato alcalino é tabular (0,5 a 1,0mm), com contatos entre os cristais são retos a levemente irregulares. A geminação de Calrsbad é observada em poucos cristais, sendo que na maioria dos cristais o feldspato é mesoperitítico (Anexo I, Prancha 2h), com finas lamelas regulares, subparalelas, de albita exsolvida.

Entre os minerais máficos primários, o mineral dominante é um piroxênio (10% em volume) prismático xenomórfico, com contatos irregulares. São observados fraturas nos cristais, além de inclusões de minerais opacos. Na amostra OM 589 encontra-se associado ao piroxênio cristais de anfibólio xenomórfico (0,6mm), também apresentando inclusões de minerais opacos e zircão.

A biotita ocorre como cristais placóides com forte pleocroísmo variando de laranja a castanho escuro. Apresenta contatos levemente retos a lobados, sendo que as bordas por vezes apresentam-se corroídas, devido a alteração. Está associada ao anfibólio, sendo observadas inclusões de opacos e zircão.

Os minerais opacos são subidiomórficos a xenomórficos (< 0,4mm), ocorrendo isolados ou como inclusões em anfibólio e biotita. Zircão subidiomórficos (< 0,4mm) ocorrem como inclusões em cristais de anfibólio e biotita. Estes são os acessórios comumente encontrados nos álcali-feldspatos granitos.

Na amostra OM 589 é encontrado fluorita xenomórfica como agregado de cristais.

Modas e seqüência de cristalização

As determinações modais efetuadas para as rochas álcali-feldspáticas (Anexo II, Tabela 2) indicam que todas elas correspondem a álcali-feldspatos granitos: plotam na aresta QP do diagrama modal QAP (Figura 11). As quantidades modais de minerais máficos se situam no intervalo entre 7 a 16 %.

A seqüência de cristalização para as fases minerais reconhecidas nas rochas álcali-feldspáticas, levou em consideração os estágios magmático, tardi-magmático e pós-magmático, e foi interpretada a partir das relações texturais entre estes minerais, que se encontra na Figura 9.

Estágio	Magmático			Pós-magmático	
Minerais	Precoce	Principal	Tardio	1	2
Quartzo					
Feldspato Alcalino					
Plagioclásio					
Biotita					
Minerais Opacos					
Zircão					
Fluorita					
Sericita					

Figura 9: Quadro ilustrativo da possível seqüência de cristalização para álcali-feldspato granitos do Pluton Rio Negro

- Monzogranitos

Foram descritos três amostras (OM 499, OM 517, OM 519) de rochas macroscopicamente classificáveis como monzogranitos, dadas as proporções relativas entre os feldspatos. Estas rochas sfloram na região S-SE do pluton, sendo contornadas por aluviões recentes. São intrusivas em gnaisses granulíticos máficos, portadores de granada (Harara, 2001, cf. Figura 2)

As amostras são de granulação fina a média (0,5 a 4,0mm), apresentam cores em tons de rosa avermelhado a acinzentado, estruturas maciças em escala de amostra de mão e lâmina. As texturas são inequigranulares a algo porfiríticas.

A trama textural é dominada por cristais granulares de quartzo e tabulares de feldspato alcalino e plagioclásio. Os minerais máficos (6 a 22% em volume) aparecem em cristais isolados ou mais frequentemente agregados de vários cristais (Anexo I, Prancha 2i).

O quartzo aparece subidiomórfico a xenomórfico (0,1 a 0,7mm), ocorrendo intersticialmente entre os cristais de feldspato, límpidos, com extinção homogênea ou levemente ondulante. Os contatos são lobados a levemente retos com os outros cristais.

Na amostra OM 499 é encontrado intercrescimento gráfico entre quartzo e feldspato alcalino (Anexo I, Prancha 2j).

Nas amostras foram observados dois tipos de feldspato: feldspato alcalino e plagioclásio. O plagioclásio tabular é observado tanto na matriz (0,3 a 0,9mm) como na forma de fenocristais (2,0 a 4,0mm), com contatos lobados a levemente irregulares, apresentando geminação seguindo a Lei da Albita e Carlsbad na maioria dos seus cristais. O feldspato ocorre como cristais tabulares, fazendo parte da matriz ou como fenocristais. São observadas alterações por sericita. O feldspato alcalino xenomórfico (0,4 a 0,8mm) encontrado na matriz, sofrendo menos alteração por sericita do que o plagioclásio. São observadas finas lamelas, regulares, subparalelos de albita exsolvida de feldspato alcalino e plagioclásio.

Entre os minerais máficos primários o mineral dominante é o anfibólio subidiomórfico (0,1 a 0,5mm), sendo encontrado isolado ou mais comumente formando agregados com outros cristais de anfibólio. Apresenta leve pleocroísmo em tons de verde e verde escuro. O contato com outros minerais é lobado a levemente irregular, com presença de inclusões de minerais opacos. Associado às bordas do anfibólio está a biotita. Na amostra OM 519 é observado substituição de anfibólio por clorita.

A biotita ocorre como cristal placóide (0,1 a 0,5mm), com forte pleocroísmo de laranja a castanho escuro. Os cristais possuem contatos irregulares com outros minerais e apresenta inclusões de minerais opacos e titanita, sendo que este último gera halos pleocróicos.

Os minerais opacos são xenomórficos (< 0,5mm) ocorrem isolados ou mais comumente como inclusões em cristais de anfibólio e biotita. Titanita subidiomórfica a xenomórfica (< 0,4mm) ocorre como inclusões nos cristais de anfibólio. Apatita e allanita subidiomórfica a xenomórfica (< 0,4mm) ocorrem como cristais isolados. Estes são os acessórios mais comuns nestas rochas.

Modas e seqüência de cristalização

As determinações modais efetuadas para as rochas monzo-sienograníticas (Anexo II, Tabela 2) indicam que todas elas correspondem a monzogranitos (Figura 11). As quantidades modais de minerais máficos se situam no intervalo entre 6 e 22 %.

A seqüência de cristalização para as fases minerais reconhecidas nas rochas monzograníticas, levou em consideração os estágios magmático, tardi-magmático e pós-

magmático, e foi interpretada a partir das relações texturais entre estes minerais, que se encontra na Figura 10.

Estágio	Magmático			Pós-magmático	
	Precoce	Principal	Tardio	1	2
Quartzo					
Feldspato Alcalino					
Plagioclásio					
Anfibólio					
Biotita					
Allanita					
Zircão					
Minerais Opacos					
Apatita					
Titanita					
Clorita					
Sericita					

Figura 10: Sequência de cristalização dos monzogranitos

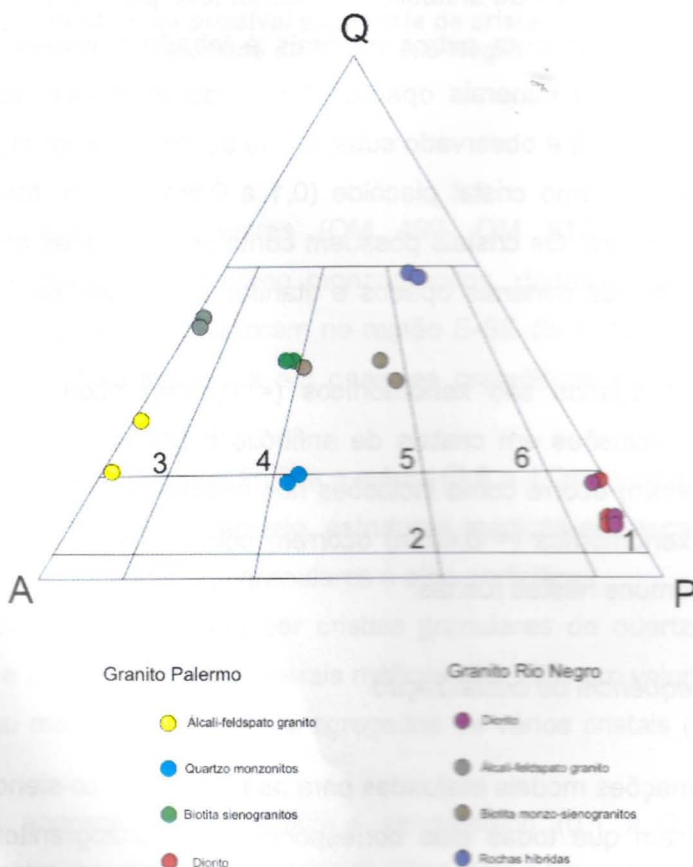


Figura 11: Diagrama QAP de classificação de rochas plutônicas (Sterckeisen 1967). 1 – quartzo dioritos/quartzo gabros; 2 – quartzo monzonitos; 3 – álcali-feldspato granitos; 4 – sieno-granitos; 5 – monzo-granitos; 6 – granodioritos.

5.2. Mineralogia Química

Os dados de mineralogia química foram obtidos com Microsonda Eletrônica, nas principais fases minerais dos Granitos Palermo e Rio Negro. Os minerais analisados foram piroxênio, anfibólio, biotita e plagioclásio. Os resultados analíticos de cada grupo mineral, proporções catiônicas, moleculares e fórmulas estruturais são apresentados no Anexo 3, Tabelas 1 a 4.

A simbologia utilizada para as amostras estudadas em todos os diagramas apresentados a seguir é representada na Tabela II:

Tabela II
Legenda para os diagramas do subitem 5.2

Granito Palermo	Granito Rio Negro
Álcali-feldspato granitos ■ OM 655	Dioritos ○ OM 473
Dioritos ■ OM 683 ■ OM 1057	Álcali-feldspato granitos ● OM 499
Quartzo monzonitos ■ OM 691	Monzogranitos ● OM 589
Sienogranitos ■ OM 888	

5.2.1. Piroxênio

Nas amostras analisadas foram observados clino e ortopiroxênios, sendo dois cristais dos dioritos do Granito Palermo e dois cristais, também de dioritos, do Granito Rio Negro.

Os cristais analisados do Granito Rio Negro são ortopiroxênios que apresentam poucas variações composicionais e correspondem quimicamente a uma enstatita (Eg₅₁₋₅₆, Figura 12). Os cristais apresentam índice #fe [$Fe^T/(Fe^T+Mg)$] médio de 0,651. São zonadas composicionalmente, observando-se em direção às bordas, uma diminuição dos

teores de CaO (1,15 – 0,97%, em peso), TiO₂ (0,22 – 0,10%) e FeO (30,60 – 30,04%) e um aumento de MgO (16,16 – 16,30%) e MnO (0,85 – 1,02%). Estes ortopiroxênios possuem pouco teor de Na₂O (0,02%, teor médio), sendo que outros teores, tais como K₂O e Cr₂O₃ a média está inferior a 0,01%, enquanto que o teor de ZrO₂ é maior na borda do cristal (0,05%).

Os cristais analisados do Granito Palermo são orto e clinopiroxênios, com o primeiro correspondendo quimicamente a um enstatita (Eg₅₁₋₅₆) e o segundo a um diopsídio (Di₈₅₋₉₀). O cristal de ortopiroxênio apresenta índice #fe médio de 0,565. Composicionalmente são zonadas, sendo observado em direção às bordas, uma diminuição Al₂O₃ (0,80 – 0,60%, em peso) e CaO (1,80 – 1,31%) e um aumento de FeO (25,38 – 25,73%), MnO (0,68 – 0,75%) e MgO (19,61 – 19,99%). A borda é mais rica em ZrO₂ (0,03%; núcleo = 0,01%) e a zona intermediária é mais rica em Cr₂O₃ (0,03%; núcleo = 0,00%).

O cristal de clinopiroxênio apresenta índice #fe médio de 0,425. São zonadas composicionalmente, observando-se em direção às bordas, uma diminuição dos teores de Al₂O₃ (0,85 – 0,78%, em peso), MgO (13,98 – 13,89%), FeO (10,97 – 9,85%) e Na₂O (0,31 – 0,27%) e um aumento no teor de CaO (21,41 – 22,09%). MnO apresenta variações mais complexas. O cristal apresenta o núcleo mais rico em TiO₂ (0,85%; borda = 0,78%), sendo mais rico em ZrO₂ na borda (0,05%; núcleo = 0,00%).

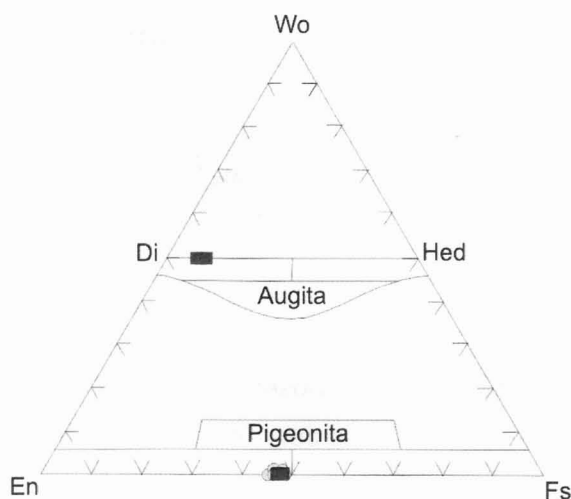


Figura 12: Composição dos clino e ortopiroxênios das rochas dioríticas dos plutons Palermo e Rio Negro no diagrama molecular Wo (CaSiO₃)-En(MgSiO₃)-Fs(FeSiO₃) de Morimoto (1990). Para legenda ver Tabela II.

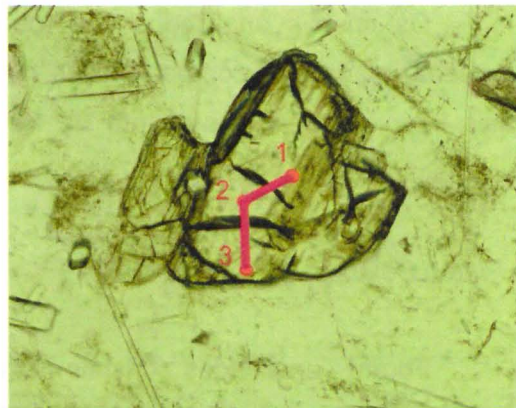
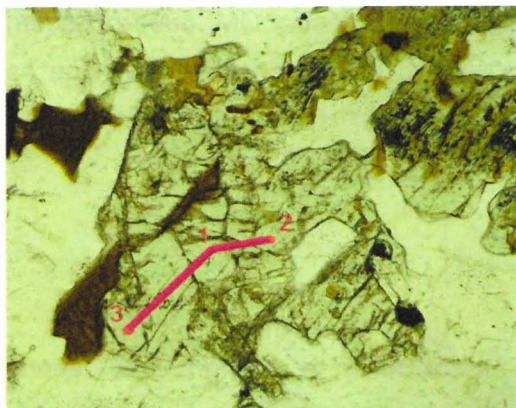


Figura 13: Fotomicrografias ilustrando a localização (núcleo → borda) dos pontos analisados com microsonda eletrônica (WDS, ver também Anexo III, Tabela 1), para cristais de clinopiroxênio (esquerda, amostra OM 473) e ortopiroxênio (direita, amostra OM 683). Luz plano polarizada.

5.2.2. Anfibólio

Minerais do grupo dos anfibólios são indicadores importantes do grau de diferenciação das rochas hospedeiras (e.g., Gualda 2001). Estes minerais estão presentes como fases máficas relativamente abundantes nas rochas dioríticas, monzoníticas e graníticas, tanto no Pluton Palermo quanto no Rio Negro. Todos os anfibólios analisados (Anexo III, Tabela 2) se classificam como anfibólios cálcicos (Figura 14).

A seguir detalham-se alguns aspectos da química mineral, observados para os dois plutons.

- Pluton Rio Negro

Foram analisados cristais em dioritos e quartzo monzonitos, sendo classificados como anfibólios cálcicos (Figura 14). Os cristais dos dioritos da amostra OM 473 se classificam como Fe-hornblenda (Figura 15), apresentando valores #Fe baixos em comparação com os monzonitos (Anexo III, Tabela 2).

Os cristais analisados das rochas dioríticas (Amostras OM 473 e OM 499) possuem pequenas variações composicionais no perfil núcleo-borda (Anexo III, Tabela 2), apresentando algumas variações importantes como aumento de FeO^{C} (17,30 – 17,76%), MgO (11,82 – 12,19%), Na_2O (1,03 – 1,11%) e diminuição de Al_2O_3 (5,88 – 5,75%).

Os cristais analisados das rochas monzoníticas (Amostra OM 499) possuem pequenas variações composicionais núcleo-borda (Anexo III, Tabela 2), sendo que as mais importantes são aumento de FeO^{C} (20,35 – 21,03%), Na_2O (1,27 – 1,80%) e diminuição de MgO (10,24 – 9,73%).

- *Pluton Palermo*

Foram analisados cristais em diorito, monzonitos e siengranitos, sendo classificados como anfibólios cálcicos (Figura 14). Os cristais de dioritos da amostra OM 683 Mg a Fe- hornblenda possuem valores menores de #fe (média de 0,493) em comparação com os monzonitos e sienogranitos (Anexo III, Tabela 2). Microscopicamente os cristais de diorito apresentam núcleos incolores, indicando maior quantidade de Mg, enquanto que os cristais dos monzonitos e sienogranitos possuem núcleos em tons de verde, indicando maior quantidade de Fe.

Os cristais analisados das rochas dioríticas possuem pequenas variações composicionais, sendo importante a diminuição de MgO (15,02 – 14,69%).

Os cristais analisados das rochas monzoníticas apresentam pouca variação composicional, sendo importantes o aumento de FeO^{C} (27,42 – 29,15%) e Al_2O_3 (7,16 – 7,32%) e diminuição de MgO (4,59 – 3,71%) e Na_2O (2,14 – 1,68%).

Os cristais analisados dos sienogranitos possuem pequena variação, sendo mais importante o aumento de FeO^{C} (29,42 – 30,32%) e Al_2O_3 (7,17 – 7,55%) e diminuição de MgO (3,19 – 2,39%).

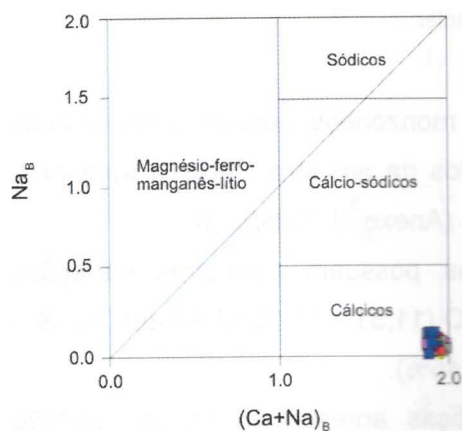


Figura 14: Diagrama catiônico $[Ca+Na]^B$ x $[Na]^B$ de classificação de anfibólios (Leake et al. 1997)

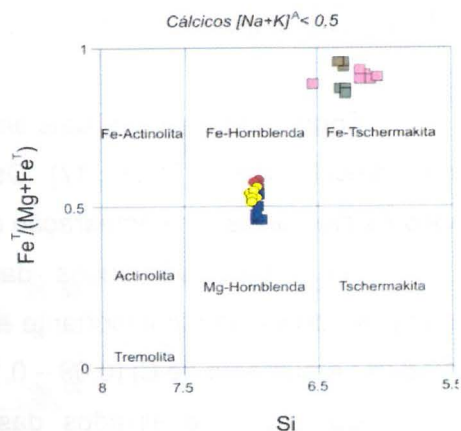


Figura 15: Diagrama catiônico Si x $Fe^T/(Mg+Fe^T)$ de classificação dos anfibólios (Leake et al. 1997)

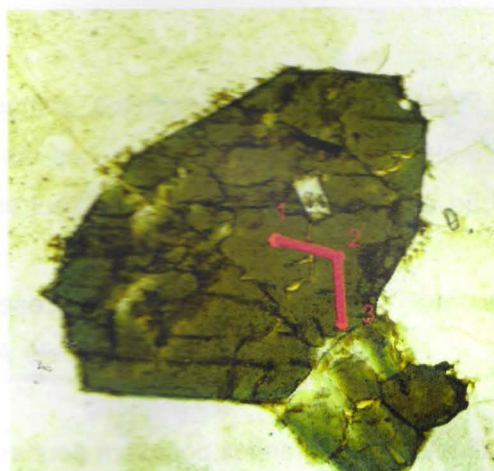


Figura 16: Fotomicrografia ilustrando a localização (núcleo → borda) dos pontos analisados com microsonda eletrônica (WDS, ver também Anexo III, Tabela 2), para cristais de anfibólio (Amostra OM 888 de biotita sienogranitos). Luz plano polarizada.

5.2.3. Biotita

Estes minerais estão presentes como fases máficas relativamente abundantes nas rochas dioríticas, monzoníticas e graníticas, tanto no Pluton Palermo quanto no Rio Negro. Todas as biotita analisadas (Anexo III, Tabela 3) apresentam-se ricas na molécula annita (Figura 17).

- Pluton Rio Negro

Foram analisados cristais em dioritos e quartzo monzonitos, apresentando-se ricos na molécula annita (Figura 17). Os cristais dos dioritos da amostra OM 473 apresenta valores #fe baixos em comparação com os monzonitos (Anexo III, Tabela 3).

Os cristais analisados das rochas dioríticas possuem pequenas variações composicionais, sendo importante a diminuição de MgO (11,51 – 11,36%) e FeO (21,58 – 19,87%) e aumento de Cl (0,09 – 0,14%) e F (0,14 – 0,45%).

Os cristais analisados das rochas monzoníticas apresentam pouca variação composicional, sendo importantes o aumento de FeO (24,02 – 24,34%) e Al₂O₃ (12,38 – 12,55%) e diminuição de Cl (1,08 – 0,75%) e F (0,21 – 0,16%).

- Pluton Palermo

As análises foram feitas em dioritos, monzonitos, sienogranitos e álcali-feldspato granitos, sendo ricos na molécula annita. Os cristais dos dioritos apresentam valores inferiores de #fe em relação aos cristais analisados nas outras amostras de rochas do pluton.

Os cristais analisados das rochas dioríticas apresentam poucas variações composicionais, sendo as mais importantes os aumentos de Al₂O₃ (13,56 – 13,71%) e FeO (16,41 – 16,78%).

Os cristais dos álcali-feldspatos granitos possuem poucas variações, apresentando importantes diminuições de Al₂O₃ (13,56 – 13,71%), FeO (16,41 – 16,78%) e MgO (5,12 – 4,95%).

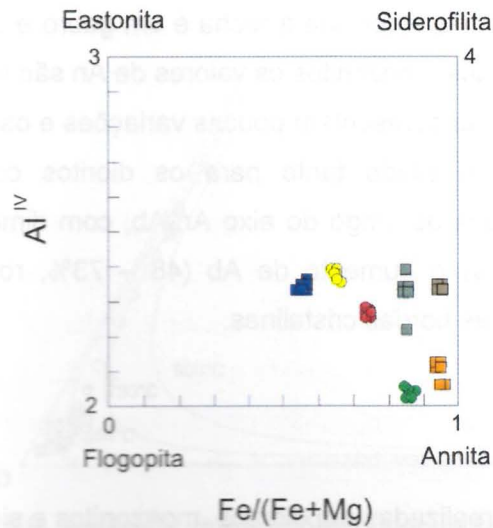


Figura 17: Diagrama catiônica Al^{IV} x $Fe/(Fe+Mg)$ para classificação da biotita (Deer *et al.* 1992).

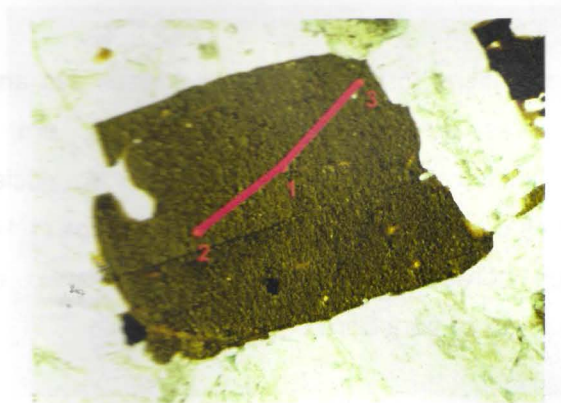


Figura 18: Fotomicrografias ilustrando a localização (núcleo → borda) dos pontos analisados com microsonda eletrônica (WDS, ver também Anexo III, Tabela 3), para cristais de anfibólio (Amostra OM 473 de dioritos do Pluton Rio Negro). Luz plano polarizada.

5.2.4. Plagioclásio

Estes minerais estão presentes nas rochas dioríticas, monzoníticas e graníticas, tanto no Pluton Palermo quanto no Rio Negro.

- Pluton Rio Negro

Foram analisados cristais de plagioclásio de rochas dioríticas e monzoníticas. Os dados obtidos para os dioritos mostram valores de An variando entre 24 e 51%, sendo os

valores acima de 50% um indicador que a rocha é um gabro e os valores abaixo indicam que a rocha é um diorito. Nos monzonitos os valores de An são inferiores a 20%.

Os teores de An e Ab apresentam poucas variações e os teores de Or são sempre baixos (Figura 19), sendo valido tanto para os dioritos como os monzonitos. As composições estão plotadas ao longo do eixo An-Ab, com diminuição dos teores de An (50 - 20%, dioritos/gabros) e aumento de Ab (48 - 73%, rochas monzoníticas) bem marcados do núcleo para as bordas cristalinas.

- Pluton Palermo

As análises foram realizadas em dioritos, monzonitos e sienogranitos.

Os cristais de plagioclásio das rochas dioríticas apresentam teores de An variando entre 57 e 62%, indicando que não se trata de um diorito e sim de um gabro (Anexo III, Tabela 4). Os valores de Or são muito baixo (0,80 a 1,05%) e Ab possui pouca variação (38 - 42%).

Das rochas monzoníticas foram analisados cristais das amostras OM 691 e OM 1057, apresentando teores de An baixos (5 - 15%), em comparação com os gabros/dioritos. É observado diminuição do teor de An do núcleo para a borda e os valores de Or são maiores comparados com os gabros/dioritos (1,14 - 4,57%).

Os sienogranitos apresentam teores de An variando entre 6 e 13%, com diminuição deste teor do núcleo para borda.

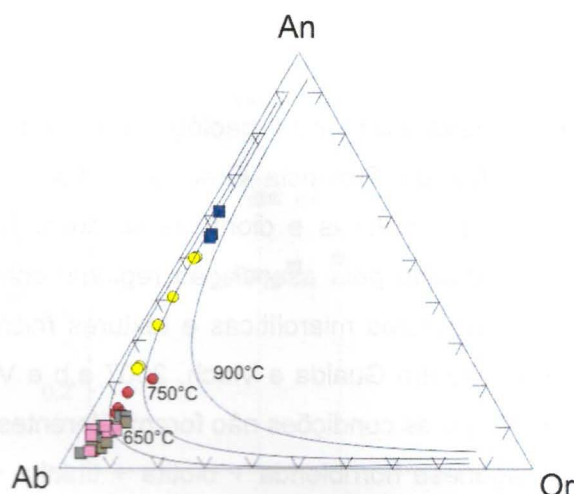


Figura 19: Diagrama ternário An-Ab-Or (proporções moleculares) com representação das composições de plagioclásio para rochas dioríticas, monzoníticas e sienograníticas dos plutons Palermo e Rio Negro. As curvas de solvus representadas são para $pH_2O = 1\text{Kbar}$ (Fuhrman & Lindsley 1988; Deer et al. 2001)

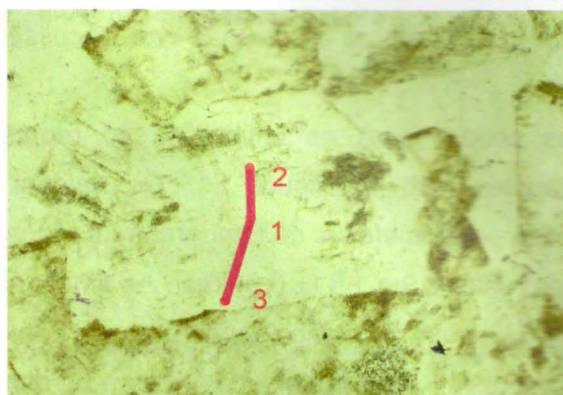


Figura 20: Fotomicrografias ilustrando a localização (núcleo → borda) dos pontos analisados com microsonda eletrônica (WDS, ver também Anexo III, Tabela 4), para cristais de plagioclásio (Amostra OM 691 de monzonitos do Pluton Palermo). Luz plano polarizada.

6. Parâmetros intensivos de cristalização

São apresentadas e discutidas a seguir algumas avaliações para a pressão e temperatura de cristalização das rochas estudadas com base em informações geológicas, petrográficas e da química mineral obtidas e/ou disponíveis na literatura.

6.1. Pressão

De forma geral, diversas evidências geológicas e petrográficas obtidas para ocorrências melhor conhecidas da Província Graciosa indicam que os magmas que formaram as rochas graníticas, sieníticas e dioríticas se colocaram em níveis crustais relativamente rasos, como indicado pela associação regional com vulcanismo bimodal, bem como a frequência de estruturas mirolíticas e texturas micrográficas em diversos plutons graníticos (cf. discussão em Gualda e Vlach, 2007 a,b e Vilalva, 2007). No caso dos plutons Palermo e Rio Negro as condições não foram diferentes.

A presença da paragênese hornblenda + biotita + titanita + apatita (+ quartzo + feldspato alcalino + plagioclásio) em diversas das amostras (dioritos, monzonitos e granitos) estudadas destes plutons, permite, em princípio, a aplicação do geobarômetro *Al-em-hornblenda*, uma vez que nestes casos existe uma correlação mais direta entre a entrada de Al na estrutura dos anfibólios cálcicos, através de uma reação de substituição *tchermakítica*, é facilitada pelo aumento da pressão (ver discussão em Anderson 1996 e Anderson & Smith 1995).

As composições obtidas para os anfibólios são representadas no diagrama $Fe^T/(Fe^T+Mg) \times Al^T$ apresentado na figura 21. Os valores de pressão obtidos, consideradas as correções para os efeitos de temperatura de fugacidade de O (Anderson & Smith, 1995), se situam entre 0,9 e 1,8 ($\pm 0,6$) kbar. As amostras dos dioritos do Pluton Rio Negro estão poucas dispersas no gráfico, localizando-se dentro do intervalo de 1 a 2 Kbar, enquanto que os monzonitos do Pluton Rio Negro e os dioritos do Pluton Palermo estão dispersos variando de valores inferiores a 1 Kbar a quase 2 Kbar. Merece ser mencionado que os erros são relativamente elevados (33 – 67 % relativo) e que, no caso das rochas graníticas, os teores da molécula de albita no plagioclásio são relativamente mais elevadas quando comparadas as sugeridas pelos autores mencionados. De qualquer forma, os resultados guardam certa consistência e sugerem pressões da ordem de 1 a 2 Kbar, perfeitamente compatíveis com as evidências geológicas e petrográficas, e similares com valores obtidos para outras ocorrências da província (Gualda & Vlach, 2007b, Vilalva, 2007).

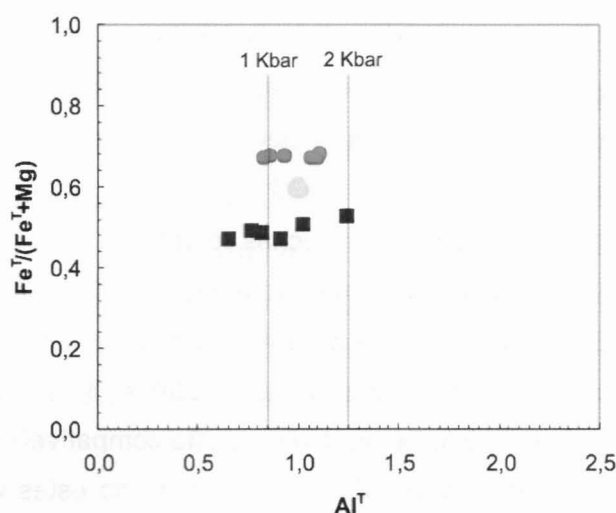


Figura 21: Diagrama $\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+}+\text{Mg})$ - Al^{3+} (Anderson & Smith 1995), ilustrando possível intervalo de pressão de cristalização de anfibólios nos dioritos e monzonitos dos Granitos Palermo e Rio Negro. Legenda dos pontos ver Tabela II.

6.2. Temperatura

O geotermômetro orto- clinopiroxênio

A presença de orto-piroxênio, já percebida por Harara (2001) em rochas gábricas e/ou dioríticas dos plutons estudados é algo inusitado. De fato, estas são as primeiras ocorrências de rochas básico-intermediárias conhecidas na província com ambos os piroxênios, que certamente devem merecer estudos mais aprofundados.

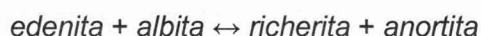
As texturas observadas não garantem que estes minerais coexistiram em equilíbrio durante toda a sua cristalização. É possível que o clinopiroxênio seja uma fase algo posterior, talvez derivada de alguma reação entre o ortopiroxênio e o líquido magmático.

De qualquer forma, parece claro que, em algum momento, estes dois minerais coexistiram, permitindo, pelo menos um exercício de avaliação da temperatura para a rocha diorítica representada pela amostra OM 683, através do equilíbrio ortopiroxênio-clinopiroxênio, um geotermômetro clássico na literatura petrológica (Blundy & Holland, 1990) e muito importante, uma vez que independe das condições *oxi-red*, da atividade de sílica e depende muito pouco da pressão litostática do ambiente de cristalização.

O programa QUILF (Andersen, 1993) foi utilizado para tal, assumindo-se uma pressão de 1,5 Kbar. Os valores obtidos situam-se entre os limites máximo e mínimo de 950° e 880 ° C, tomando-se pares de dados para núcleo (par 1-n, Anexo III, Tabela 1) e borda (par 3-b) dos cristais de piroxênios respectivamente. Infelizmente, os erros obtidos com o método resultaram bem elevados (ca. 110° e 67° C, respectivamente). Dados de química de rocha total apontam para rochas dioríticas similares temperaturas de saturação em apatita, calculadas de acordo com Watson & Harrison 1993, que variam entre ca. 900° e 1000° C, muito próximas as temperaturas estimadas para líquidos básico-intermediários (ver discussão em Gualda & Vlach, 2007a, b). Neste sentido, os dados obtidos para os pares núcleo-núcleo e borda-borda são compatíveis e parecem coerentes com uma história normal de cristalização, entretanto, como estes valores são similares considerando-se os erros envolvidos, dados de mais precisos são ainda necessários.

O geotermômetro anfibólio-plagioclásio

O geotermômetro plagioclásio-hornblenda foi calibrado com base na reação de equilíbrio:



por Holland e Blundy (1994) e depois otimizado, pela inclusão de correções para os efeitos da pressão e das condições ox-red por Anderson & Smith (1995) e pode, em princípio, ser aplicado tanto para sistemas supersaturados em sílica (com quartzo modal), quanto para situações subsaturadas.

Este geotermômetro AMPHCAL foi aplicado para seis pares hornblenda-plagioclásio dos plutons estudados, que correspondem as rochas diorítica e monzoníticas, amostras OM 473, OM 499 e OM 683 (Anexo III, Tabelas 2 e 4). Os resultados obtidos se situam em um intervalo relativamente restrito, entre 747° e 760° (+/-50 °) C, muito similares aos obtidos por Gualda & Vlach (2007b) para amostras da região da Serra da Graciosa. Como discutido por estes autores, considerando-se que as temperaturas de *liquidus* derivadas a partir dos conceitos de saturação Zr (Watson & Harrison 1993), P e de dados experimentais (Johannes & Holtz 1996, King *et al.* 1997) variam entre 800 ° - 900° C, os resultados obtidos são compatíveis com temperaturas mais próximas aos respectivos sólidos e, portanto, representativas dos estágios mais avançados da cristalização dos magmas.

6.3. Fugacidade de O₂

Os dados obtidos não permitem avaliar adequadamente as condições ox-red de cristalização dos magmas dioríticos e graníticos. A similaridade das associações mineralógicas das rochas estudadas com dioritos e granitos da associação aluminosa da província, com paragêneses que incluem, além de quartzo e feldspatos, anfibólio cálcico, biotita, titanita, allanita, magnetita e ilmenita sugerem condições relativamente oxidantes, próximas ao tampão TMQAI (titanita-magnetita-quartzo-anfibólio-ilmenita, cf. Wones, 1989), como deduzido por Vlach & Gualda (2007).

7. Conclusões

A Província da Graciosa apresenta diversos maciços graníticos, dentre eles os Granitos Palermo e Rio Negro de granitos tipo-A. Os dados obtidos nesta monografia permitem caracterizá-los e individualizá-los pelas suas características petrográficas e mineralógicas.

A seguir será apresentada uma síntese geral, assim como algumas inferências que podem ser extraídas destes dados.

Contrastes petrográficos e mineralógicos

Os dados modais e petrográficos mostram que o Granito Palermo é formado por álcali-feldspatos granitos, dioritos, monzogranitos e sienogranitos, e o Granito Rio Negro é formado por dioritos, rochas híbridas, álcali-feldspato granitos e monzogranitos.

As relações texturais entre os minerais máficos e félsicos mostram que os minerais máficos das principais fases iniciam a sua cristalização anteriormente aos cristais de feldspato (alcalino e plagioclásio) e quartzo.

Os dois granitos apresentam litologias semelhantes, podendo assim fazer uma comparação entre as suas paragêneses. Os álcali-feldspatos do Granito Palermo possuem uma associação máfica primária de biotita + hornblenda + allanita + astrofilita + apatita (+ fluorita), sendo um pouco mais cálcico e principalmente pela presença de astrofilita, a rocha possui natureza peralcalina; enquanto que as paragênese dos álcali-feldspatos do Granito Rio Negro são caracterizadas pela presença de biotita e zircão e ausência de anfibólio e allanita nas fases primárias, sendo um pouco mais

sódico, apresentando caráter metaluminoso. Os dioritos do Granito Palermo apresenta uma associação máfica primária de piroxênio + anfibólio + biotita + zircão + apatita (+ allanita + titanita), sendo mais sódicos apresentando caráter peralcalino; entretanto no Granito Rio Negro, os dioritos apresentam paragêneses de piroxênio + anfibólio + biotita (zircão + apatita + titanita), com características mais sódicas e caráter metaluminoso. As presenças de ortopiroxênios e principalmente de cristais de plagioclásio com teores de An superior a 50% indicam que as amostras são gabros (Granito Rio Negro), enquanto que as amostras que possuem clinopiroxênios indicam que são dioritos (Granito Palermo).

Os quartzos monzonitos do Granito Palermo apresenta paragêneses anfibólio + biotita + apatita (+allanita + zircão + clorita), com características sódicas e caráter peralcalino. Os sienogranitos possuem uma associação máfica primária de anfibólio + biotita + apatita + titanita (+ muscovita + zircão + allanita), apresentando cristais de biotita sódicos e cristais de anfibólio cálcicos, com as rochas apresentando caráter peralcalino.

As rochas híbridas apresentam paragêneses de anfibólio + zircão + apatita (+ biotita) apresentando características mais sódicas e com caráter metaluminoso. Os monzogranitos apresentam paragêneses de minerais máficos primários de anfibólio + biotita + zircão + titanita (+ allanita + apatita + clorita), com características mais sódicas e caráter metaluminoso a moderadamente peraluminoso, da associação aluminosa Gualda & Vlach (2007), possuindo biotita comum (annita).

A comparação do quimismo dos minerais máficos ferro-magnesianos mostra que os valores, em geral, do índice $fe\#$ similares em ambos os granitos, porém em alguns cristais de anfibólio e biotita esse valor é significativamente maior no Granito Palermo. A biotita e a hornblenda tendem a ser relativamente homogêneas composicionalmente, com relações de empobrecimento de alguns dos principais elementos, como Na, Fe^{3+} , Fe^{2+} e Ca. No caso dos anfibólios as variações composicionais núcleo-borda são mais complexas, contudo através de evidências texturais é possível indicar que os anfibólios mais sódicos, que apresentam um pleocroísmo mais forte, são em geral mais tardios.

As rochas graníticas possuem o parâmetro $fe\#$ relativamente alto (Anexo III, Tabelas 1, 2 e 3), característica típica de granitos do tipo A (Bonin, 2007). Os valores menores de $fe\#$ aparecem nas rochas dioríticas (Anexo III, Tabelas 1, 2 e 3), pois são variedades máficas, portanto mais ricas em Mg.

Nos Granitos Palermo e Rio Negro, assim como em outros maciços graníticos da província, são observados minerais raros, a maioria ainda não descritos nas rochas

peralcalinas, em especial na fácies petrográficas mais deformadas, como astrofilita $[(K, Na)_3(Fe^{2+}, Mn)_7Ti_2Si_8O_{24} \cdot (O, OH, F)_7]$. A presença de apatita e zircão, indica que os magmas residuais são relativamente pobres em Na e Ti, portanto metaluminosos a moderadamente peraluminosos.

Condições de cristalização

Com os dados obtidos dos geotermômetros anfibólio-plagioclásio e utilizando a relação de Al com Fe^{2+} é possível estimar que a temperatura de formação das rochas dos dois plutons varia entre 747 a 760°C (+/- 50°), sendo compatíveis com temperaturas mais próximas aos respectivos sólidos e, portanto, representativas dos estágios mais avançados da cristalização dos magmas, e que as pressões que os dois plutons se formaram em condições crustais rasas.

8. Referências Bibliográficas

- ANDERSEN, D.J., Lindsley, D.H., and Davidson, P.M. (1993). QUILF: a PASCAL program to assess equilibria among Fe-Mg-Ti oxides, pyroxenes, olivine, and quartz. *Computers in Geosciences* 19, 1333-1350.
- ANDERSON, J.L., 1996. *Status of thermobarometry of granitic batholiths. Transactions of the Royal Society of Edinburgh (Earth Sciences)*, 87:125-138.
- ANDERSON, J. L.; SMITH, D. R., 1995. The effect of temperature and oxygen fugacity on Al-in-hornblend barometry. *American Mineralogist*, 80:549-559
- BASEI, M. A. S., SIGA JR., O., MACHIAVELLI, A., MANCINI, F., 1992. *Evolução tectônica dos terrenos entre os Cinturões Ribeira e Dom Feliciano (PR-SC)*. *Revista Brasileira de Geociências* 22, 216-221.
- BONIN, B., 2007. *A-type granites and related rocks. Evolution of concept, problems and prospects. Lithos*, 97:1-29.

- Blundy J.D. & Holland T.J.B. 1990. Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer. *Contr. Mineral. Petrol.*, **104**:208-224.
- DEER, W.A., HOWIE R.A., ZUSSMAN J. 1992. *Rock-forming minerals*. London, 2a Ed. Longmans (eds.), 696 p.
- DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J., 2001. *Rock Forming Minerals V 4a: Framework silicates: Feldspars*. London, The Geological Society. 972p.
- DROOP, G.T.R., 1987. A general equation for estimating Fe³⁺ in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analysis, using stoichiometric criteria. *Mineralogical Magazine*, 51:431-437
- EBY, G N., 1990. *The A-type granitoids: A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis*. *Lithos*, **26**:115-134.
- FUHRMAN, M. L. & LINDSLEY, D. H. 1988. Ternary-feldspar modeling and thermometry. *American Mineralogist*, **73**:201-215.
- GUALDA, G.A.R, 2001. *Evolução petrográfica e mineralógica das associações alcalina e aluminosa dos granitos tipo-A da Graciosa, PR*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. Inédita. 250 p.
- GUALDA, G. A. R., VLACH, S. R. F. *Allanite and chevkinite in A-type granites and syenites of the Graciosa Province, southern Brazil*. *Lithos* 97, 98-121.
- GUALDA, G. A. R., VLACH, S. R. F. *The Serra da Graciosa A-type Granites and Syenites, southern Brazil Part 2: Petrographic and mineralogical evolution of the alkaline and aluminous associations*. *Lithos* 93, 310-327.
- GUALDA, G. A. R., VLACH, S. R. F. *The Serra da Graciosa A-type Granites and Syenites, southern Brazil Part 3: Magmatic evolution and post magmatic breakdown of amphiboles of the alkaline association*. *Lithos* 93, 328-329

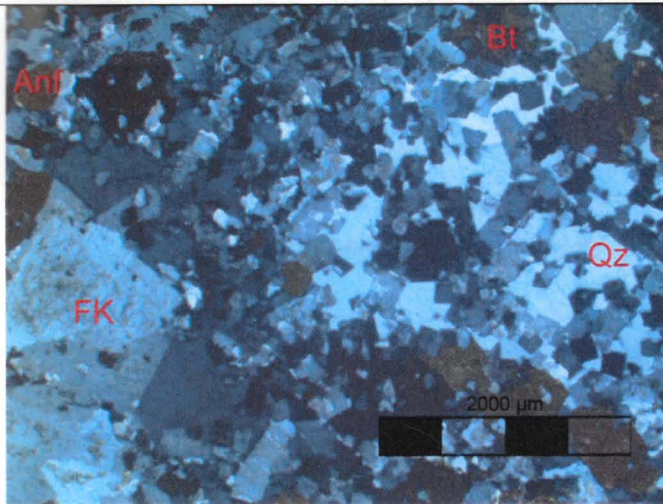
- HARARA, O. M. M., 2001. *Mapeamento e Investigação Petroológica e Geocronológica dos Litotipos da Região Alto Rio Negro (PR-SC): Um Exemplo de Sucessivas e Distintas Atividades Magmáticas Durante o Neoproterozóico III* [tese de doutorado]. São Paulo: Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.
- HIBBARD, M. J., 1995. *Petrography to Petrogenesis*. New Jersey, Prentice-Hall, 587p.
- HOLLAND, Y.; BLUNDY, J., 1994. Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry. *Contributions to mineralogy and Petrology*, **116**:433-447.
- JOHANNES, W. & HOLTZ, F., 1996. *Petrogenesis na Experimental Petrology of Granitic Rocks*. Berlin, Springer-Verlag. 335p.
- KAUL, P.F.T., 1997. *O magmatismo na Serra do Mar e adjacências (sul do Brasil) e seus condicionantes tectônicos*. Tese de doutorado. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. Inédita. 293 p.
- KING, P. L.; WHITE, A. J. R.; CHAPPEL, B. W.; ALLEN, C. M., 1997. Characterization and origin of aluminous A-type granites from the Lachland fold belt, southeastern Australia. *Journal of Petrology*, **38**(3):371:391.
- LEAKE, B.E.; WOOLEY, A.R.; ARPS, C.E.S.; BIRCH, W.D.; GILBERT, M.C.; GRICE, J.D.; HAWTHORNE, F.C.; KATO, A.; KISCH, H.J.; KRIVOVICHEV, V.G.; LINTHOUT, K.; LAIRD, J.; MANDARINO, J.A.; MARESCH, W.V.; NICKEL, E.H.; ROCK, N.M.S.; SCHUMACHER, J.C.; SMITH, D.C.; STEPHENSON, N.C.N.; UNGARETTI, L.; WHITTAKER, E.J.W.; YOUZHI, G. Nomenclature of amphiboles: report of the Subcommittee on Amphiboles of The International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **61**:295-321.
- MARKL, G.; MARKS, M.; SHWINN, G.; SOMMER, H., 2001. *Phase equilibrium constraints on intensive crystallization parameters of the Ili Maussaq Complex, south Greenland*. *Journal of Petrology*, **423**:2231-2258.

- MARSH, B. D. (2006). *Dynamics of magmatic systems*. *Elements*, 2:287-292.
- PITCHER, W.S., 1993. *The nature and origin of granite*. New York. Blackie Academic and Professional. 321 p.
- ROBINSON, D. M.; MILLER, C.F. (1999) *Record of magma chambers processes preserved in accessory mineral assemblages, Aztec Wash pluton, Nevada*. *American Mineralogist*, 84:1346–1353.
- SIGA JR., O., BASEI, M. A. S., MACHIAVELLI, A., 1993. *Evolução geotectônica da porção NE de Santa Catarina e SE do Paraná, com base em interpretações geocronológicas*. *Revista Brasileira de Geociências* 23, 215-223.
- VILALVA, F.C.J., 2007. *Petrografia e mineralogia de granitos peralcalinos: O Pluton Papanduva, Complexo Morro Redondo (PR/SC)*. Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. Inédita. 289 p.
- VILALVA, F.C.J.; VLACH, S. R. F., 2007. *Caracterização e evolução química de anfibólios em granitos peralcalinos do Complexo Morro Redondo (PR/SC), Província Graciosa*. XI Congresso Brasileiro de Geoquímica, Atibaia. CDROM.
- WATSON E.B. & HARRISON T.M. 1983. Zircon saturation revisited: temperature and composition effects in a variety of crustal magmatypes. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 64:295-304.
- WHALEN, J.B.; CURIE, K.L.; CHAPPEL, B.W., 1987. *A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis*. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 95:407-419.
- WONES D.R. 1989. Significance of the assemblage titanite + magnetite + quartz in granitic rocks. *Am. Mineral.*, 74:744-749.

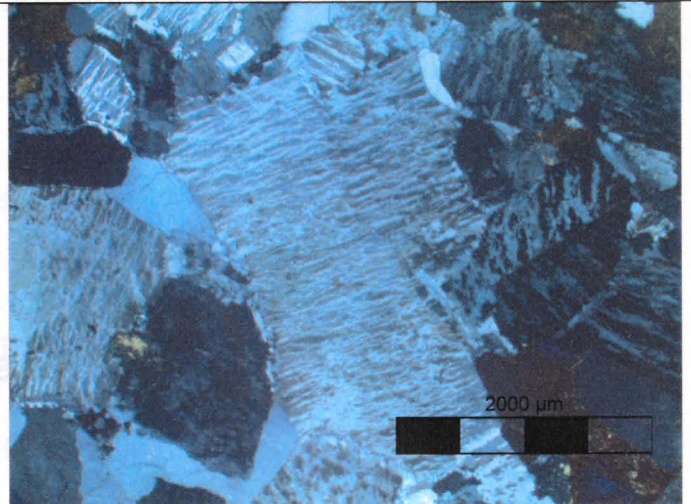
Anexo I

Pranchas de fotos microscópicas de amostras dos Granitos Palermo e Rio Negro

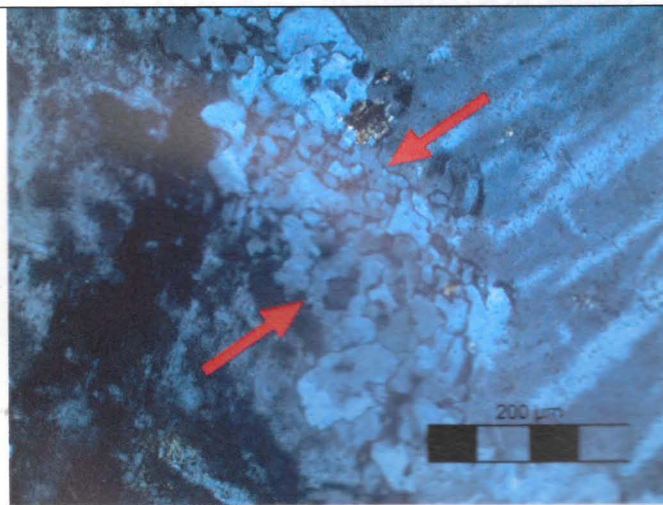
Prancha 1 – Granito Palermo



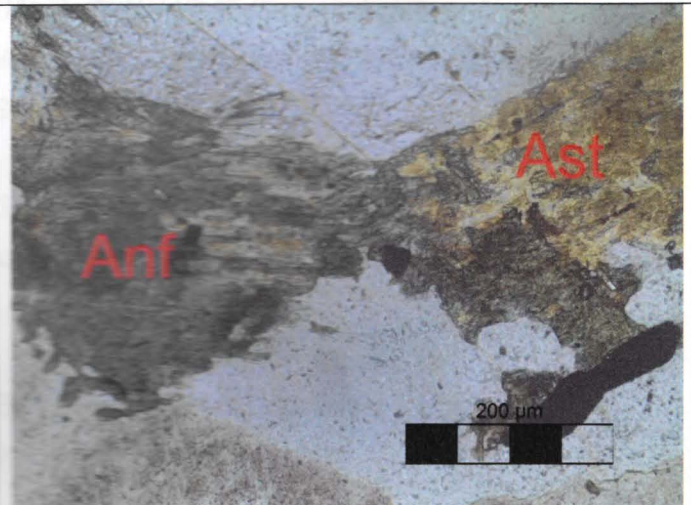
(a) Aspecto textural geral dos álcali-feldspatos granitos. Quartzo (Qz), feldspato alcalino (FK), anfibólio (Anf) e biotita (Bt). Amostra OM 638, polarizadores cruzados.



(b) Cristal de feldspato alcalino mesopertítico dos álcali-feldspatos graníticos. Amostra OM 655, polarizadores cruzados.

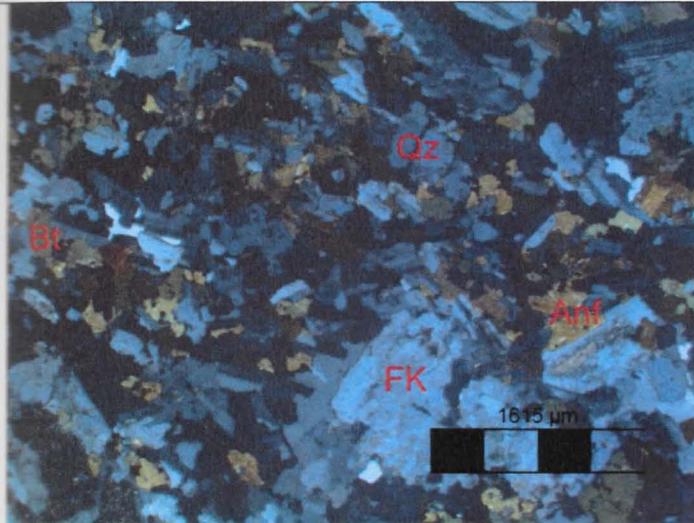


(c) Detalhe de bordas de albita do tipo "swapped rims" ao longo do contato entre dois cristais de feldspato alcalino dos álcali-feldspatos granitos. Amostra OM 655, polarizadores cruzados.

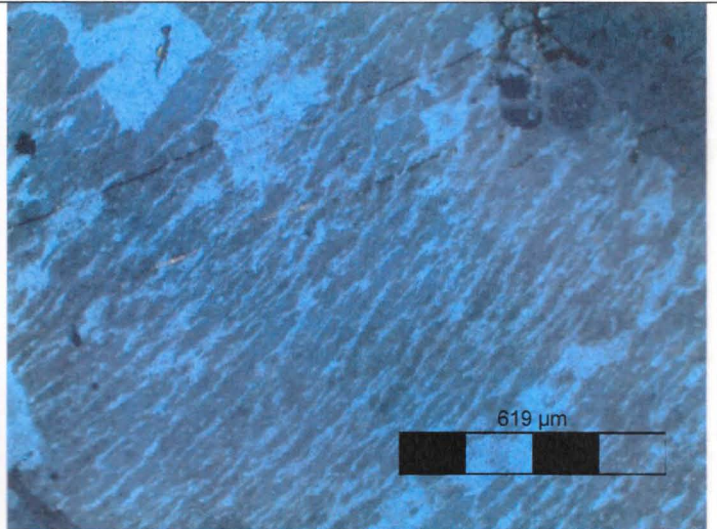


(d) Relação de contato entre o cristal de anfibólio (Anf) e o cristal de astrofilita (Ast) dos álcali-feldspatos granitos. Amostra OM 655, polarizadores descruzados.

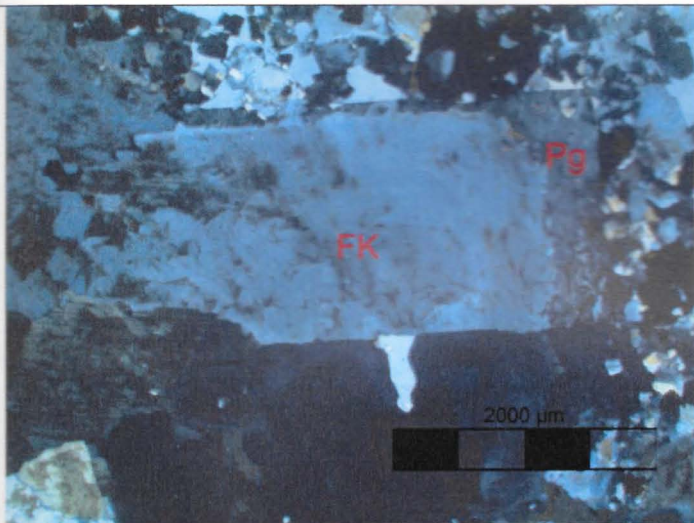
Prancha 1 – Granito Palermo



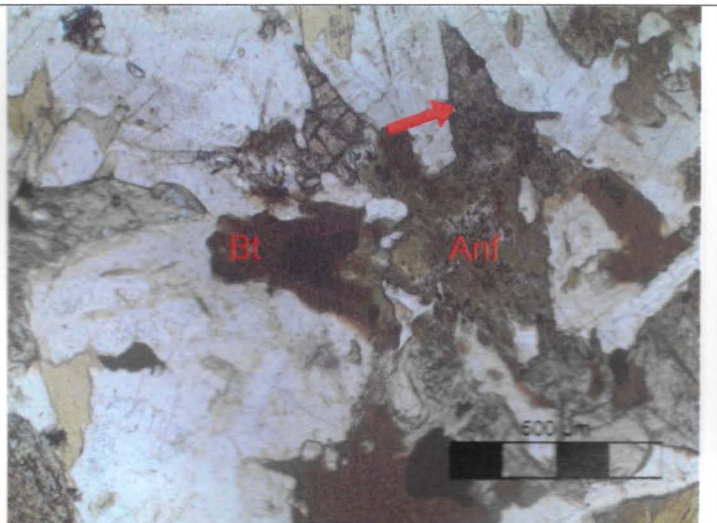
(e) Aspecto textural geral dos dioritos. Quartzo (Qz), feldspato alcalino (FK), anfibólio (Anf) e biotita (Bt). Amostra OM 1052, polarizadores cruzados.



(f) Cristal de feldspato alcalino mesopertítico dos dioritos. Amostra OM 1057, polarizadores cruzados.

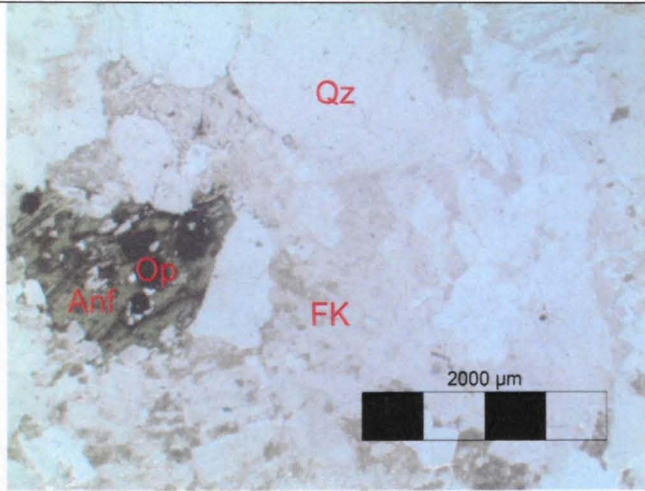


(g) Cristal de plagioclásio manteando o cristal de feldspato alcalino em dioritos. Amostra OM 1057, polarizadores cruzados.



(h) Relação de contato entre o cristal de anfibólio (Anf) e o cristal de biotita (Bt) dos dioritos. Notar anfibólio incolor na parte superior da foto, devido a maior presença de Ca-Na. Amostra OM 683, polarizadores descruzados.

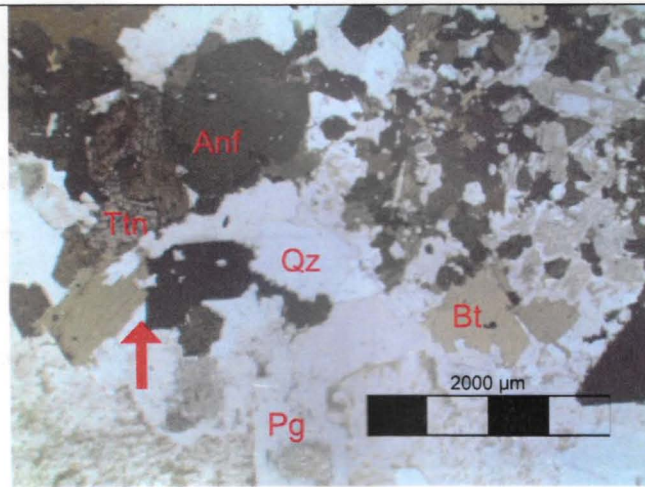
Prancha 1 – Granito Palermo



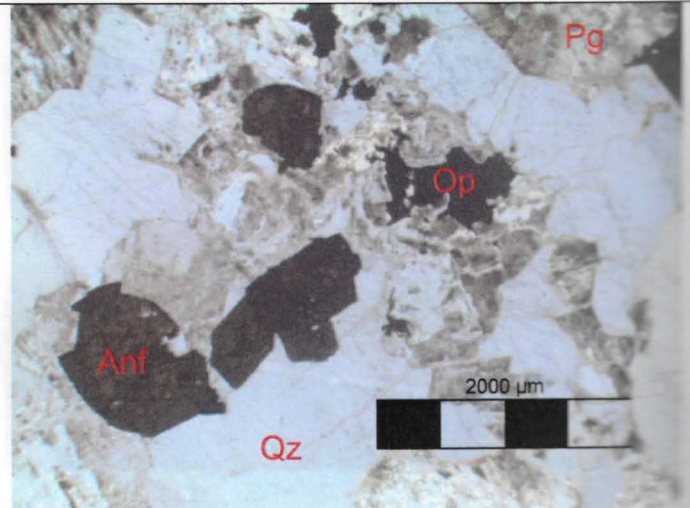
(i) Aspecto textural geral do quartzo monzonitos/quartzo sienitos. Quartzo (Qz), feldspato alcalino (FK), anfibólio (Anf) e opacos (Op). Notar as inclusões de opacos no anfibólio na parte esquerda da foto. Amostra OM 615, polarizadores descruzados.



(j) Cristal de allanita com borda metamictizada, causando fraturas no plagioclásio. Amostra 691, polarizadores descruzados.

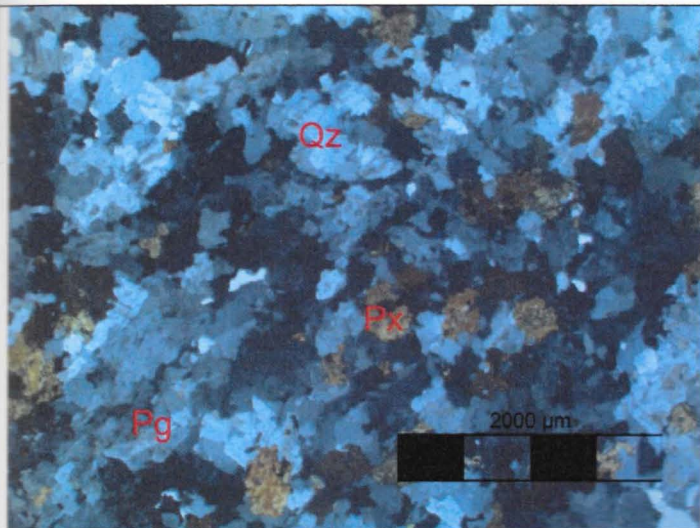


(k) Textura geral do quartzo monzonitos/quartzo sienitos. Quartzo (Qz), plagioclásio (Pg), anfibólio (Anf), biotita (Bt) e titanita (Ttn). Notar a relação de contato entre anfibólio e biotita na parte esquerda da foto. Amostra OM 691, polarizadores descruzados.

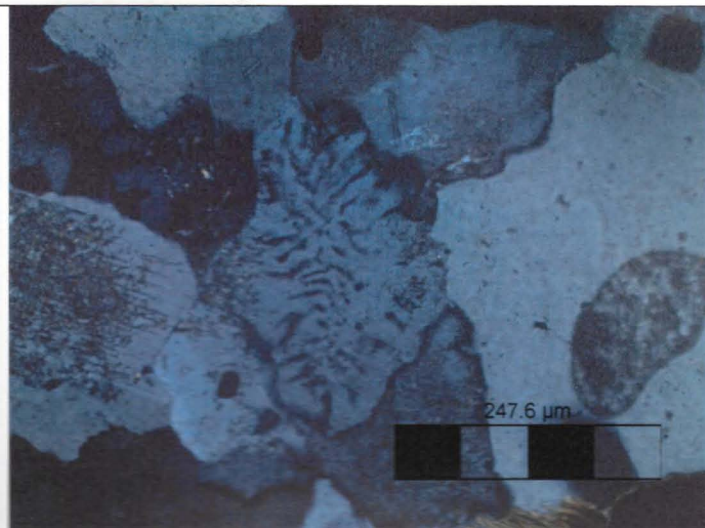


(l) Textura geral dos biotita sienogranitos. Quartzo (Qz), plagioclásio (Pg), anfibólio (Anf) e minerais opacos (Op). Amostra OM 888, polarizadores descruzados.

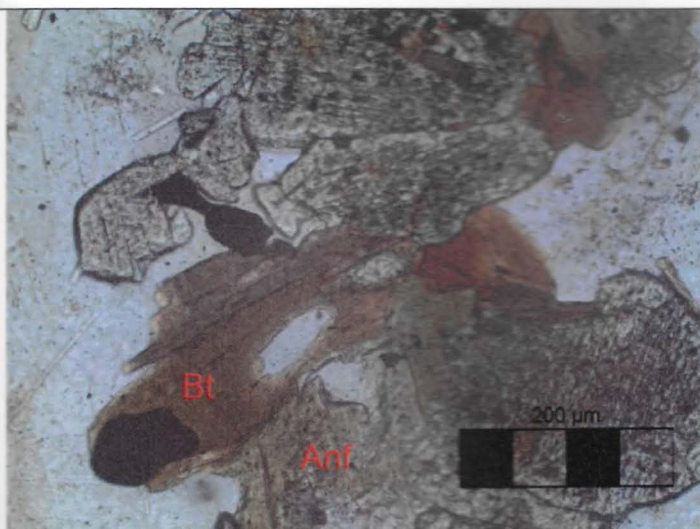
Prancha 2 – Granito Rio Negro



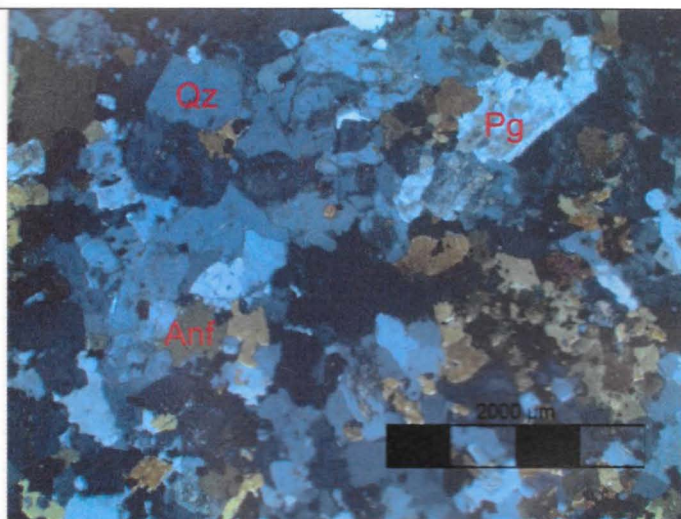
(a) Textura geral dos dioritos. Quartzo (Qz), plagioclásio (Pg) e piroxênio (Px). Amostra OM 439, polarizadores cruzados.



(b) Cristal com mimerquita em dioritos. Amostra OM 438, polarizadores cruzados.

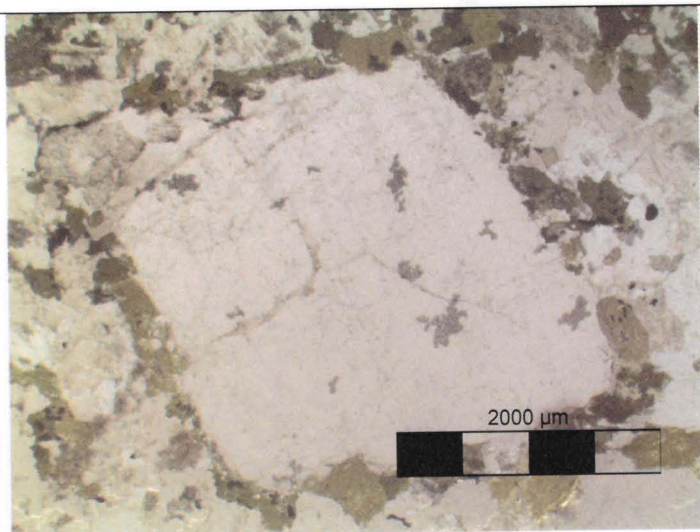


(c) Relação de contato entre biotita (Bt) e anfibólio (Anf) com características mais Na-Ca em dioritos. Amostra OM 473, polarizadores descruzados.

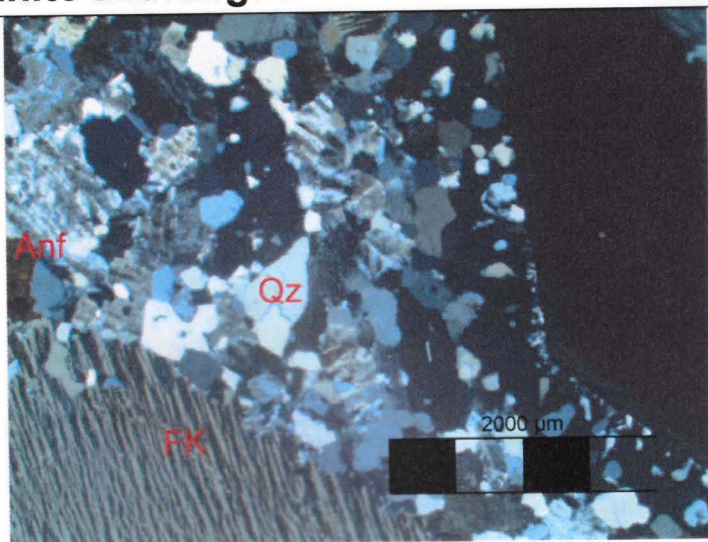


(d) Textura geral de rochas híbridas. Quartzo (Qz), plagioclásio (Pg) e anfibólio (Anf). Amostra 428, polarizadores cruzados.

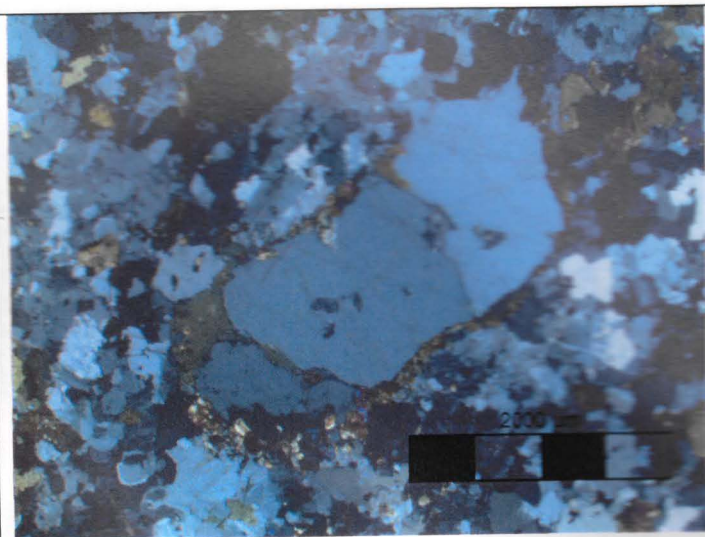
Prancha 2 – Granito Rio Negro



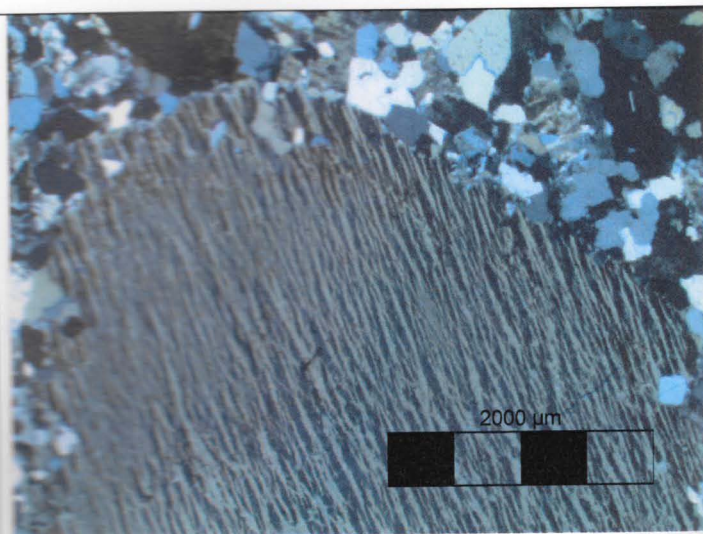
(e) Ocelo de quartzo envolto por cristais de anfibólio. Amostra 428, polarizadores descruzados.



(f) Textura geral dos álcali-feldspatos sieníticos. Quartzo (Qz), feldspato alcalino (FK) e anfibólio (Anf). Amostra 589, polarizados cruzados.

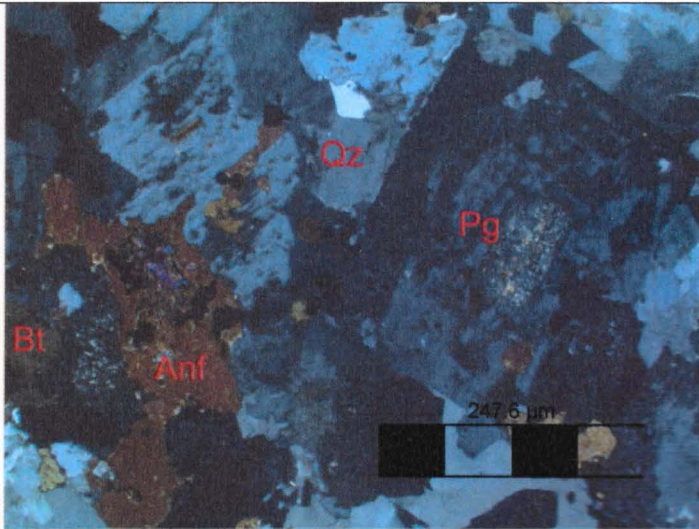


(g) Ocelo de quartzo manteado por cristais de piroxênio de rocha álcali-feldspato sienítica. Amostra OM 430, polarizadores cruzados.

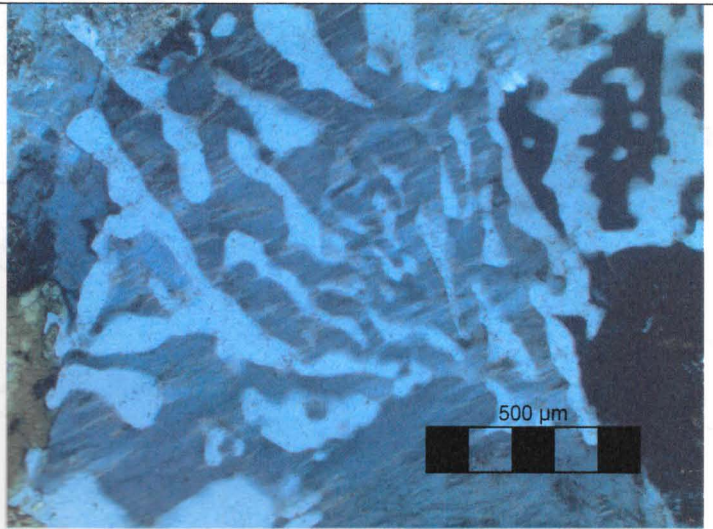


(h) Cristal de feldspato alcalino mesopertítico dos álcali-feldspato sienitos. Amostra OM 589, polarizadores cruzados.

Prancha 2 – Granito Rio Negro



(i) Textura geral dos biotita monzo-sienogranitos. Quartzo (Qz), plagioclásio (Pg), anfibólio (Anf) e biotita (Bt). Amostra OM 519, polarizadores cruzados.



(j) Intercrescimento gráfico em biotita monzo-sienogranitos. Amostra OM 499, polarizadores cruzados.

Anexo II

Composições modais de amostras representativas dos
Granitos Palermo e Rio Negro

Tabela 1

Composições modais de amostras representativas do Pluton Palermo

Minerais (%)	Granito Palermo								
	OM 615	OM 638	OM 655	OM 683	OM 691	OM 888	OM 1052	OM 1057	OM 1058
Quartzo	21,3	18,5	24,6	9,8	19,8	40,1	9,7	9,9	43,9
Plagioclásio	31,1	3,1	2,7	46,6	24,0	20,0	46,3	55,0	20,0
Feldspato Alcalino	37,8	65,5	61,7	---	30,0	31,1	12,5	12,3	29,7
Anfibólio	3,3	10,4	6,1	26,0	13,5	---	20,5	21,1	1,5
Piroxênio	---	---	---	0,2	---	---	0,1	0,1	---
Biotita	2,7	1,3	1,7	13,8	9,6	4,8	7,2	0,1	2,0
Muscovita	---	---	---	---	---	---	---	---	1,2
Clorita	0,9	---	---	---	---	---	---	---	---
Opacos	1,9	1,0	0,7	3,5	2,1	2,9	3,5	1,1	0,2
Zircão	0,4	---	---	0,1	0,1	0,5	0,1	---	---
Titanita	0,2	---	---	---	0,3	---	0,1	0,2	1,0
Allanita	---	0,2	0,5	---	0,7	0,5	---	0,2	---
Fluorita	---	---	0,2	---	---	---	---	---	0,2
Carbonato	0,2	---	---	---	---	---	---	---	0,2
Astrofilita	---	---	1,8	---	---	---	---	---	---
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
M	10	13	11	44	26	9	32	23	6
Q/QAP	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,4	0,1	0,1	0,5

Tabela 2

Composições modais de amostras representativas do Pluton Rio Negro

Minerais (%)	Granito Rio Negro									
	OM 428	OM 430	OM 438	OM 439	OM 469	OM 473	OM 499	OM 517	OM 519	OM 589
Quartzo	44,0	43,5	13,7	14,0	48,8	9,2	38,8	42,0	36,2	46,8
Plagioclásio	27,2	---	55,7	51,9	24,9	48,5	19,3	31,8	36,2	---
Feldspato Alcalino	4,3	40,2	5,2	3,4	7,3	2,6	20,0	20,0	9,6	46,0
Anfibólio	19,2	10,1	10,0	10,2	14,7	16,3	14,7	2,1	10,5	0,3
Piroxênio	---	0,7	11,2	16,4	---	5,0	---	---	---	---
Biotita	1,0	---	0,3	1,0	0,3	14,5	2,7	3,3	2,7	4,2
Muscovita	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Clorita	---	---	---	---	---	---	---	---	0,2	---
Opacos	4,3	5,5	3,6	3,1	4,1	3,8	4,5	0,7	4,3	2,5
Zircão	---	---	0,1	---	---	0,1	---	---	---	---
Titanita	---	---	0,2	---	---	---	---	---	0,1	---
Allanita	---	---	---	---	---	---	---	0,1	0,2	---
Fluorita	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0,2
Carbonato	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Astrofilita	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
M	24	16	25	31	19	40	22	6	18	7
Q/QAP	0,5	0,5	0,2	0,2	0,6	0,2	0,5	0,4	0,4	0,5

Anexo III

Análises químicas quantitativas (WDS) das principais
fases máficas e félsicas dos Plutons Palermo e Rio
Negro

Tabela 1

Análises químicas representativas de piroxênio dos Plutons Palermo e Rio Negro

Amostra Cristal Ponto	OM473 (Diorito)					
	c37 - opx			c39 - opx		
	1-n	2-i	3-b	1-n	2-i	3-b
SiO ₂	50,57	50,40	51,02	50,61	51,00	50,82
TiO ₂	0,16	0,07	0,18	0,22	0,13	0,10
Al ₂ O ₃	0,28	0,28	0,27	0,29	0,29	0,27
FeO	30,91	30,42	30,83	30,60	30,41	30,04
Mno	0,98	0,94	1,02	0,85	0,95	0,93
MgO	16,16	16,21	16,30	16,62	16,46	16,32
CaO	1,13	1,15	1,09	1,12	1,15	0,97
Na ₂ O	0,03	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,00
Cr ₂ O ₃	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02
ZrO ₂	0,00	0,00	0,05	0,03	0,02	0,00
Total	100,22	99,49	100,75	100,38	100,41	99,48

Fórmula Estrutural com base em 4 cátions totais e 6 oxigênios

Si	1,961	1,966	1,970	1,954	1,970	1,981
Al	0,013	0,013	0,012	0,013	0,013	0,012
FeIII	0,026	0,021	0,018	0,033	0,017	0,007
Soma T	1,999	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Fe ³⁺	0,029	0,038	0,017	0,031	0,018	0,010
Ti	0,005	0,002	0,005	0,006	0,004	0,003
Cr	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000
Zr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,934	0,942	0,938	0,956	0,948	0,948
Fe	0,032	0,018	0,040	0,005	0,030	0,039
Soma M1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe	0,915	0,926	0,920	0,919	0,917	0,923
Mn	0,032	0,031	0,033	0,028	0,031	0,031
Ca	0,047	0,048	0,045	0,046	0,047	0,040
Na	0,002	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001
K	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000
Soma M2	0,996	1,007	0,998	0,996	0,996	0,995
Cátions	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
fe	0,657	0,652	0,654	0,648	0,649	0,648

Legenda: n: núcleo; i: zona intermediária; b: borda; opx: ortopiroxênio; cpx: clinopiroxênio

Tabela 1

Análises químicas representativas de piroxênio dos Plutons Palermo e Rio Negro

Amostra Cristal Ponto	OM683 (Diorito)					
	c28 - opx			c32 - cpx		
	1-n	2-i	3-b	1-n	2-i	3-b
SiO ₂	51,16	51,37	51,69	52,06	52,52	52,47
TiO ₂	0,18	0,12	0,21	0,22	0,15	0,10
Al ₂ O ₃	0,80	0,60	0,63	0,85	0,81	0,78
FeO	25,38	25,71	25,73	10,12	10,97	9,85
MnO	0,68	0,71	0,75	0,33	0,35	0,32
MgO	19,61	19,64	19,99	13,98	13,91	13,89
CaO	1,80	0,81	1,31	21,90	21,41	22,09
Na ₂ O	0,02	0,01	0,01	0,30	0,31	0,27
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cr ₂ O ₃	0,00	0,03	0,01	0,03	0,05	0,00
ZrO ₂	0,01	0,03	0,02	0,00	0,00	0,04
Total	99,63	99,03	100,34	99,79	100,48	99,81
Fórmula Estrutural com base em 4 cátions totais e 6 oxigênios						
Si	1,943	1,965	1,951	1,947	1,955	1,962
Al	0,036	0,027	0,028	0,037	0,035	0,034
FeIII	0,021	0,008	0,021	0,016	0,010	0,000
Soma T	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	1,996
Fe ³⁺	0,044	0,024	0,036	0,058	0,054	0,051
Ti	0,005	0,003	0,006	0,006	0,004	0,003
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Zr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,951	0,973	0,958	0,779	0,771	0,774
Fe	0,000	0,000	0,000	0,157	0,170	0,172
Soma M1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Mg	0,159	0,147	0,167	0,000	0,000	0,000
Fe	0,741	0,791	0,755	0,086	0,108	0,085
Mn	0,022	0,023	0,024	0,010	0,011	0,010
Ca	0,073	0,033	0,053	0,877	0,854	0,885
Na	0,001	0,001	0,000	0,021	0,023	0,020
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma M2	0,996	0,995	0,999	0,995	0,995	0,999
Cátions	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
fe	0,564	0,567	0,563	0,420	0,441	0,415

Legenda: n: núcleo; i: zona intermediária; b: borda; opx: ortopiroxênio; cpx: clinopiroxênio

Tabela 2

Análises químicas representativas de anfibólio dos Plutons Palermo e Rio Negro

Amostra Cristal Ponto	OM473 (Diorito)					
	1-n	c33 2-i	3-b	1-n	c38 2-i	3-b
SiO ₂	47,65	47,00	45,34	46,62	47,54	47,16
TiO ₂	1,35	1,60	1,42	1,34	1,29	1,30
Al ₂ O ₃	5,89	5,87	5,84	5,88	5,79	5,75
FeO	17,30	17,65	17,76	18,48	17,87	17,77
MnO	0,29	0,31	0,33	0,32	0,33	0,34
MgO	11,96	11,99	12,14	11,82	11,90	12,19
CaO	11,75	10,92	11,47	10,92	11,18	11,15
Na ₂ O	1,03	1,11	1,11	1,18	1,15	0,99
K ₂ O	0,64	0,62	0,66	0,61	0,58	0,56
ZnO	0,07	0,02	0,00	0,04	0,07	0,05
F	0,00	0,21	0,09	0,00	0,00	0,06
Cl	0,03	0,06	0,05	0,04	0,09	0,04
Total parc	97,96	97,34	96,18	97,25	97,78	97,36
O=F,Cl	0,01	0,10	0,05	0,01	0,02	0,04
Total	97,95	97,24	96,13	97,24	97,76	97,33

Fórmula Estrutural com partição Fe²⁺/Fe³⁺ segundo o método de Schumacher (in Leake *et al.* 1997)

Si	6,84	6,78	6,74	6,76	6,80	6,82
Ti	0,15	0,17	0,16	0,15	0,14	0,14
Al	1,00	1,00	1,02	1,01	0,98	0,98
Soma T	7,98	7,95	7,93	7,91	7,92	7,94
Fe ^{III}	0,49	0,62	0,00	0,49	0,73	0,58
Fe	1,59	1,51	2,21	1,75	1,41	1,57
Mn	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Mg	2,56	2,58	2,69	2,56	2,54	2,63
Soma C	4,67	4,74	4,94	4,84	4,71	4,82
Ca	1,81	1,69	1,83	1,70	1,71	1,73
Zn	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
Na	0,19	0,31	0,17	0,30	0,28	0,27
Soma B	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Na	0,10	0,00	0,15	0,03	0,04	0,01
K	0,12	0,11	0,12	0,11	0,11	0,10
Soma A	0,22	0,11	0,27	0,15	0,15	0,11
F	0,00	0,10	0,04	0,00	0,00	0,03
Cl	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01
Cátions	15,271	15,232	15,593	15,344	15,201	15,254
fe	0,59	0,60	0,59	0,61	0,60	0,59

Legenda: n: núcleo; i: zona intermediária; b: borda

Tabela 2

Análises químicas representativas de anfibólio dos Plutons Palermo e Rio Negro

Amostra Cristal Ponto	OM499 (Quartzo monzonito)					
	c11			c12		
	1-n	2-i	3-b	1-n	2-i	3-b
SiO ₂	47,56	45,46	45,13	46,14	46,79	47,21
TiO ₂	0,92	1,53	1,64	1,46	0,72	0,67
Al ₂ O ₃	4,80	6,41	6,47	6,26	5,39	4,98
FeO	21,08	20,36	20,72	20,35	20,62	21,03
MnO	0,40	0,39	0,40	0,41	0,35	0,42
MgO	10,24	9,83	9,73	9,84	9,75	10,08
CaO	11,45	10,50	10,86	10,99	11,14	11,29
Na ₂ O	1,27	1,79	1,80	1,58	1,31	1,22
K ₂ O	0,59	0,88	0,88	0,81	0,59	0,56
ZnO	0,07	0,00	0,02	0,09	0,10	0,09
F	0,30	0,34	0,55	0,19	0,26	0,44
Cl	0,11	0,10	0,07	0,15	0,14	0,09
Total parc	98,77	97,59	98,26	98,26	97,16	98,06
O=F,Cl	0,15	0,17	0,25	0,11	0,14	0,20
Total	98,62	97,42	98,01	98,14	97,01	97,86

Fórmula Estrutural com partição Fe²⁺/Fe³⁺ segundo o método de Schumacher (in Leake et al. 1997)

Si	6,93	6,57	6,54	6,65	6,87	6,91
Ti	0,10	0,17	0,18	0,16	0,08	0,07
Al	0,82	1,09	1,11	1,06	0,93	0,86
Soma T	7,85	7,82	7,83	7,87	7,88	7,84
FeIII	0,25	0,67	0,41	0,57	0,57	0,50
Fe	2,32	1,79	2,11	1,89	1,96	2,08
Mn	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05
Mg	2,22	2,12	2,10	2,11	2,13	2,20
Soma C	4,84	4,62	4,66	4,62	4,71	4,82
Ca	1,79	1,62	1,69	1,70	1,75	1,77
Zn	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
Na	0,21	0,38	0,31	0,30	0,24	0,22
Soma B	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Na	0,16	0,13	0,19	0,15	0,14	0,13
K	0,11	0,16	0,16	0,15	0,11	0,10
Soma A	0,26	0,29	0,36	0,30	0,25	0,23
F	0,14	0,16	0,27	0,09	0,12	0,21
Cl	0,03	0,03	0,02	0,04	0,04	0,02
Cátions	15,436	15,395	15,529	15,379	15,306	15,342
fe	0,67	0,67	0,68	0,67	0,68	0,68

Legenda: n: núcleo; i: zona intermediária; b: borda

Tabela 2

Análises químicas representativas de anfibólio dos Plutons Palermo e Rio Negro

Amostra Cristal Ponto	OM683 (Diorito)					
	c25			c26		
	1-n	2-i	3-b	1-n	2-i	3-b
SiO ₂	48,40	46,26	48,47	49,61	51,39	49,49
TiO ₂	1,10	1,03	0,76	1,00	0,81	0,68
Al ₂ O ₃	6,11	7,36	5,36	4,89	3,90	4,51
FeO	14,67	15,08	13,66	14,24	13,99	14,14
MnO	0,33	0,33	0,30	0,32	0,41	0,39
MgO	14,27	13,51	15,24	15,02	15,67	14,69
CaO	11,85	11,87	11,27	11,68	10,54	11,94
Na ₂ O	0,82	0,99	0,61	0,68	0,52	0,66
K ₂ O	0,32	0,57	0,22	0,25	0,17	0,25
ZnO	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04
F	0,00	0,00	0,19	0,06	0,13	0,12
Cl	0,06	0,14	0,05	0,04	0,06	0,08
Total parc	97,93	97,15	96,13	97,77	97,62	96,97
O=F,Cl	0,01	0,03	0,09	0,03	0,07	0,07
Total	97,92	97,12	96,03	97,74	97,55	96,90

Fórmula Estrutural com partição Fe²⁺/Fe³⁺ segundo o método de Schumacher (in Leake et al. 1997)

Si	6,85	6,61	6,98	7,06	7,31	7,12
Ti	0,12	0,11	0,08	0,11	0,09	0,07
Al	1,02	1,24	0,91	0,82	0,65	0,76
Soma T	7,98	7,96	7,97	7,99	8,05	7,95
FeIII	0,82	0,81	0,80	0,55	0,50	0,55
Fe	0,92	0,99	0,85	1,14	1,17	1,15
Mn	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05
Mg	3,01	2,88	3,27	3,19	3,32	3,15
Soma C	4,78	4,72	4,95	4,92	5,04	4,90
Ca	1,80	1,82	1,74	1,78	1,61	1,84
Zn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,20	0,18	0,17	0,19	0,14	0,16
Soma B	2,00	2,00	1,91	1,97	1,75	2,00
Na	0,02	0,09	0,00	0,00	0,00	0,03
K	0,06	0,10	0,04	0,05	0,03	0,05
Soma A	0,08	0,20	0,04	0,05	0,03	0,07
F	0,00	0,00	0,09	0,03	0,06	0,06
Cl	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01	0,02
Cátions	15,117	15,253	15,080	15,147	15,031	15,149
fe	0,51	0,53	0,47	0,49	0,47	0,49

Legenda: n: núcleo; i: zona intermediária; b: borda

Tabela 2

Análises químicas representativas de anfibólio dos Plutons Palermo e Rio Negro

Amostra Cristal Ponto	OM691 (Quartzo monzonito)			OM888 (Sienogranito)		
	c18			c45		
	1-n	2-i	3-b	1-n	2-i	3-b
SiO ₂	41,33	42,76	42,01	41,51	41,34	40,48
TiO ₂	1,48	1,50	0,86	1,81	1,66	1,78
Al ₂ O ₃	7,22	7,00	7,30	7,17	7,29	7,55
FeO	27,42	26,51	29,15	29,42	29,28	30,32
MnO	1,03	0,90	1,01	0,67	0,74	0,83
MgO	4,59	5,28	3,71	3,19	3,21	2,39
CaO	9,83	9,74	10,48	10,24	10,15	9,94
Na ₂ O	2,30	2,35	1,95	2,15	2,06	2,15
K ₂ O	0,95	0,95	1,12	1,09	1,08	1,13
ZnO	0,08	0,08	0,07	0,08	0,11	0,06
F	0,82	0,64	0,81	0,73	0,88	0,76
Cl	0,23	0,20	0,08	0,29	0,33	0,35
Total parc	97,29	97,89	98,51	98,35	98,11	97,74
O=F,Cl	0,40	0,31	0,36	0,37	0,44	0,40
Total	96,89	97,58	98,15	97,97	97,67	97,34

Fórmula Estrutural com partição Fe^{2+}/Fe^{3+} segundo o método de Schumacher (in Leake et al. 1997)

Si	6,26	6,33	6,32	6,28	6,27	6,19
Ti	0,17	0,17	0,10	0,21	0,19	0,21
Al	1,29	1,22	1,29	1,28	1,30	1,36
Soma T	7,72	7,72	7,71	7,77	7,76	7,76
FeIII	0,47	0,69	0,70	0,45	0,60	0,57
Fe	3,00	2,59	2,96	3,27	3,12	3,31
Mn	0,13	0,11	0,13	0,09	0,09	0,11
Mg	1,04	1,16	0,83	0,72	0,73	0,54
Soma C	4,64	4,56	4,62	4,53	4,54	4,53
Ca	1,60	1,54	1,69	1,66	1,65	1,63
Zn	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Na	0,40	0,45	0,31	0,33	0,34	0,37
Soma B	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Na	0,28	0,23	0,26	0,30	0,27	0,27
K	0,18	0,18	0,21	0,21	0,21	0,22
Soma A	0,47	0,41	0,48	0,51	0,48	0,49
F	0,42	0,31	0,40	0,37	0,44	0,39
Cl	0,06	0,05	0,02	0,08	0,09	0,10
Cátions	15,710	15,555	15,602	15,665	15,603	15,658
fe	0,86	0,83	0,89	0,90	0,90	0,93

Legenda: n: núcleo; i: zona intermediária; b: borda

Tabela 2

Análises químicas representativas de anfibólio dos Plutons Palermo e Rio Negro

Amostra	OM1057 (Quartzo monzonito)					
	Cristal	c3			c4	
Ponto	1-n	2-i	3-b	1-n	2-i	3-b
SiO ₂	41,65	41,67	41,16	41,07	41,76	42,47
TiO ₂	2,02	1,79	1,91	1,74	1,63	1,30
Al ₂ O ₃	7,16	7,32	7,32	7,93	7,48	6,40
FeO	27,95	28,26	29,07	27,51	27,37	28,70
MnO	0,58	0,55	0,75	0,54	0,54	0,71
MgO	4,18	4,27	3,16	4,39	4,46	3,57
CaO	9,98	9,93	10,02	10,00	9,94	10,29
Na ₂ O	2,05	2,13	1,90	2,12	2,14	1,68
K ₂ O	1,08	1,15	1,07	1,07	1,07	0,93
ZnO	0,06	0,09	0,09	0,03	0,01	0,07
F	0,31	0,53	0,26	0,80	0,63	0,80
Cl	0,28	0,24	0,25	0,25	0,32	0,25
Total parc	97,29	97,93	96,95	97,44	97,36	97,16
O=F,Cl	0,19	0,28	0,17	0,39	0,34	0,39
Total	97,10	97,65	96,78	97,05	97,02	96,77

Fórmula Estrutural com partição Fe²⁺/Fe³⁺ segundo o método de Schumacher (in Leake et al. 1997)

Si	6,30	6,26	6,26	6,18	6,28	6,52
Ti	0,23	0,20	0,22	0,20	0,18	0,15
Al	1,28	1,30	1,31	1,41	1,32	1,16
Soma T	7,81	7,76	7,79	7,78	7,79	7,83
Fe ^{III}	0,45	0,50	0,61	0,72	0,64	0,56
Fe	3,09	3,05	3,08	2,74	2,80	3,13
Mn	0,07	0,07	0,10	0,07	0,07	0,09
Mg	0,94	0,96	0,72	0,99	1,00	0,82
Soma C	4,55	4,58	4,51	4,51	4,51	4,59
Ca	1,62	1,60	1,63	1,61	1,60	1,69
Zn	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01
Na	0,38	0,39	0,36	0,38	0,40	0,30
Soma B	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Na	0,23	0,23	0,20	0,23	0,23	0,20
K	0,21	0,22	0,21	0,21	0,20	0,18
Soma A	0,43	0,45	0,41	0,44	0,43	0,38
F	0,16	0,27	0,13	0,40	0,32	0,40
Cl	0,08	0,06	0,07	0,07	0,09	0,07
Cátions	15,620	15,650	15,544	15,573	15,568	15,482
fe	0,87	0,87	0,90	0,86	0,86	0,89

Legenda: n: núcleo; i: zona intermediária; b: borda

Tabela 3

Análises químicas representativas de biotita dos Plutons Palermo e Rio Negro

Amostra Cristal Ponto	OM473 (Diorito)						OM499 (Quartzo monzonito)					
	c36			c40			c9			c14		
	1-n	2-i	3-b	1-n	2-i	3-b	1-n	2-i	3-b	1-n	2-i	3-b
SiO ₂	36,73	36,60	36,54	35,80	35,91	36,02	36,42	36,32	36,21	36,84	36,41	36,37
TiO ₂	4,95	5,26	4,53	5,00	4,82	4,92	3,95	4,27	4,45	4,13	4,43	4,01
Al ₂ O ₃	12,81	13,14	12,84	13,04	13,01	12,98	12,47	12,45	12,56	12,38	12,52	12,55
FeO	21,58	20,78	19,87	21,60	21,17	21,28	24,02	23,51	24,34	24,61	23,67	24,67
MnO	0,11	0,12	0,13	0,05	0,10	0,13	0,15	0,19	0,15	0,20	0,21	0,22
MgO	11,51	11,45	11,36	11,11	11,00	11,10	9,38	9,40	9,34	9,36	9,16	9,19
ZnO	0,08	0,06	0,01	0,05	0,05	0,03	0,07	0,06	0,06	0,07	0,06	0,07
CaO	0,02	0,00	0,01	0,09	0,05	0,03	0,05	0,02	0,02	0,00	0,02	0,02
BaO	0,31	0,43	0,29	0,40	0,23	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	0,18	0,15	0,12	0,13	0,12	0,11	0,18	0,09	0,07	0,14	0,11	0,10
K ₂ O	9,58	9,38	9,61	9,16	9,53	9,47	9,13	9,57	9,47	9,45	9,55	9,34
Cl	0,06	0,13	0,10	0,09	0,11	0,14	0,45	0,67	0,59	1,08	0,51	0,75
F	0,14	0,26	0,45	0,20	0,29	0,04	0,23	0,21	0,20	0,21	0,18	0,16
Soma	98,08	97,76	95,86	96,72	96,38	96,60	96,49	96,74	97,44	98,47	96,82	97,45
O=F,Cl	0,07	0,14	0,21	0,10	0,14	0,05	0,20	0,24	0,21	0,33	0,19	0,24
Total	98,00	97,62	95,65	96,61	96,24	96,55	96,30	96,50	97,23	98,14	96,63	97,21
Fórmula Estrutural com base em 22 oxigênios												
Si	5,56	5,54	5,64	5,50	5,54	5,53	5,68	5,66	5,61	5,68	5,66	5,65
Al	2,44	2,46	2,36	2,50	2,46	2,47	2,32	2,34	2,39	2,32	2,34	2,35
Soma T	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Al	0,99	1,06	1,14	1,05	1,09	1,06	1,11	1,09	1,06	1,06	1,10	1,10
Ti	0,56	0,60	0,53	0,58	0,56	0,57	0,46	0,50	0,52	0,48	0,52	0,47
FeIII	3,79	3,65	3,56	3,84	3,78	3,78	4,34	4,26	4,41	4,41	4,28	4,44
Fe	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04
Mn	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03
Mg	2,60	2,59	2,61	2,55	2,53	2,54	2,18	2,18	2,16	2,15	2,12	2,13
Zn	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Soma Y	7,98	7,94	7,88	8,03	7,99	8,00	8,16	8,10	8,20	8,16	8,10	8,21
Ca	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Na	0,03	0,04	0,02	0,03	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K	0,07	0,06	0,05	0,06	0,05	0,04	0,08	0,04	0,03	0,06	0,05	0,04
Ba	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Soma X	0,12	0,12	0,09	0,13	0,09	0,10	0,09	0,04	0,03	0,06	0,05	0,05
Soma-Cát.	15,686	15,612	15,636	15,655	15,675	15,665	15,649	15,661	15,665	15,666	15,638	15,671
Cl	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,04	0,12	0,18	0,15	0,28	0,13	0,20
F	0,07	0,12	0,22	0,10	0,14	0,02	0,11	0,10	0,10	0,10	0,09	0,08
fe	0,65	0,65	0,64	0,66	0,66	0,66	0,72	0,71	0,73	0,73	0,72	0,73

Legenda: n: núcleo; i: zona intermediária; b: borda

Tabela 3

Análises químicas representativas de biotita dos Plutons Palermo e Rio Negro

Amostra Cristal Ponto	OM589 (Álcali-feldspato granito)					
	c15			c17		
	1-n	2-i	3-b	1-n	2-i	3-b
SiO ₂	37,47	37,20	36,73	36,60	36,68	37,10
TiO ₂	3,84	3,48	3,85	3,23	3,55	3,87
Al ₂ O ₃	10,23	10,36	10,14	10,42	10,36	10,12
FeO	29,65	29,64	29,40	30,43	29,41	27,87
MnO	0,57	0,57	0,60	0,53	0,51	0,48
MgO	5,12	5,00	4,95	4,61	4,82	5,05
ZnO	0,30	0,27	0,21	0,24	0,23	0,19
CaO	0,01	0,00	0,01	0,00	0,03	0,01
BaO	0,10	0,01	0,00	0,09	0,09	0,07
Na ₂ O	0,10	0,07	0,12	0,11	0,11	0,08
K ₂ O	9,36	9,14	9,14	9,03	9,07	9,05
Cl	0,22	0,27	0,19	0,18	0,23	0,25
F	0,96	0,96	0,86	1,07	1,41	1,03
Total parc	97,92	96,99	96,22	96,54	96,50	95,17
O=F,Cl	0,45	0,47	0,41	0,49	0,65	0,49
Total	97,46	96,52	95,81	96,05	95,85	94,68

Fórmula Estrutural com base em 22 oxigênios

Si	5,972	5,983	5,951	5,950	5,962	6,038
Al ^{IV}	2,028	2,017	2,049	2,050	2,038	1,962
Soma T	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al ^{VI}	0,854	0,929	0,857	0,944	0,938	0,948
Ti	0,460	0,421	0,469	0,395	0,434	0,474
Fe ³⁺	5,584	5,625	5,625	5,813	5,634	5,391
Fe	0,109	0,110	0,116	0,102	0,099	0,094
Mn	0,077	0,078	0,082	0,073	0,070	0,066
Mg	1,216	1,199	1,196	1,118	1,169	1,226
Zn	0,035	0,033	0,026	0,029	0,027	0,023
Soma Y	8,336	8,394	8,372	8,473	8,370	8,221
Ca	0,003	0,000	0,003	0,000	0,008	0,002
Na	0,008	0,001	0,000	0,008	0,008	0,006
K	0,041	0,032	0,053	0,048	0,047	0,036
Ba	0,006	0,000	0,000	0,005	0,005	0,004
Soma X	0,058	0,033	0,055	0,061	0,068	0,049
Cl	0,060	0,073	0,051	0,050	0,063	0,070
F	0,482	0,490	0,443	0,550	0,727	0,531
Cátions	15,574	15,563	15,574	15,611	15,569	15,471
fe	0,853	0,856	0,860	0,868	0,859	0,847

Legenda: n: núcleo; i: zona intermediária; b: borda

Tabela 3

Análises químicas representativas de biotita dos Plutons Palermo e Rio Negro

Amostra Cristal Ponto	OM655 (Álcali-feldspato granito)					
	1-n	c5 2-i	3-b	1-n	c6 2-i	3-b
SiO ₂	35,30	34,57	35,16	35,30	34,57	35,16
TiO ₂	3,41	3,32	3,10	3,41	3,32	3,10
Al ₂ O ₃	11,75	11,57	11,42	11,75	11,57	11,42
FeO	34,83	35,14	34,68	34,83	35,14	34,68
MnO	0,37	0,46	0,37	0,37	0,46	0,37
MgO	0,27	0,23	0,23	0,27	0,23	0,23
ZnO	0,06	0,11	0,06	0,06	0,11	0,06
CaO	0,08	0,08	0,09	0,08	0,08	0,09
BaO	0,03	0,09	0,10	0,03	0,09	0,10
Na ₂ O	0,05	0,04	0,01	0,05	0,04	0,01
K ₂ O	8,36	8,52	8,39	8,36	8,52	8,39
Cl	0,11	0,11	0,13	0,11	0,11	0,13
F	0,08	0,11	0,13	0,08	0,11	0,13
Total parc	94,69	94,35	93,86	94,69	94,35	93,86
O=F,Cl	0,06	0,07	0,09	0,06	0,07	0,09
Total	94,63	94,28	93,77	94,63	94,28	93,77

Fórmula Estrutural com base em 22 oxigênios

Si	5,889	5,833	5,934	5,889	5,833	5,934
Al ^{IV}	2,111	2,167	2,066	2,111	2,167	2,066
Soma T	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al ^{VI}	1,356	1,283	1,342	1,356	1,283	1,342
Ti	0,427	0,422	0,393	0,427	0,422	0,393
Fe ³⁺	6,819	6,928	6,872	6,819	6,918	6,872
Fe	0,073	0,091	0,074	0,073	0,091	0,074
Mn	0,052	0,065	0,053	0,052	0,065	0,053
Mg	0,066	0,058	0,057	0,066	0,058	0,057
Zn	0,008	0,013	0,008	0,008	0,013	0,008
Soma Y	8,801	8,860	8,799	8,801	8,850	8,799
Ca	0,020	0,020	0,022	0,020	0,020	0,022
Na	0,003	0,009	0,009	0,003	0,009	0,009
K	0,022	0,017	0,005	0,022	0,017	0,005
Ba	0,002	0,006	0,006	0,002	0,006	0,006
Soma X	0,046	0,052	0,042	0,046	0,052	0,042
Cl	0,030	0,033	0,037	0,030	0,033	0,037
F	0,042	0,056	0,071	0,042	0,056	0,071
Cátions	15,425	15,519	15,442	15,425	15,519	15,442
fe	0,992	0,994	0,993	0,992	0,994	0,993

Legenda: n: núcleo; i: zona intermediária; b: borda

Tabela 3

Análises químicas representativas de biotita dos Plutons Palermo e Rio Negro

Amostra Cristal Ponto	OM683 (Diorito)							
	1-n	c27 2-i	3-b	1-n	2-i	c31 3-b	4-i	5-b
SiO ₂	35,28	36,38	36,23	35,79	31,49	34,52	35,93	36,02
TiO ₂	4,16	4,22	4,24	4,39	4,25	4,35	4,52	4,87
Al ₂ O ₃	13,56	13,74	13,71	13,39	22,73	15,30	13,63	13,53
FeO	16,41	16,56	16,78	16,69	15,13	16,50	16,73	16,94
MnO	0,12	0,07	0,09	0,06	0,13	0,07	0,12	0,09
MgO	13,51	13,60	13,53	12,90	11,42	12,67	13,21	13,06
ZnO	0,01	0,00	0,03	0,07	0,02	0,02	0,00	0,04
CaO	0,01	0,04	0,02	0,13	0,02	0,07	0,01	0,00
BaO	0,22	0,44	0,37	0,39	0,87	0,19	0,27	0,33
Na ₂ O	0,14	0,13	0,09	0,11	0,14	0,14	0,12	0,13
K ₂ O	9,27	9,55	9,20	8,92	8,18	8,98	9,40	9,22
Cl	0,04	0,05	0,07	0,06	0,06	0,08	0,02	0,04
F	0,08	0,06	0,04	0,12	0,14	0,18	0,00	0,04
Total parc	92,81	94,83	94,39	92,99	94,60	93,08	93,96	94,30
O=F,Cl	0,04	0,04	0,03	0,06	0,07	0,09	0,00	0,02
Total	92,77	94,79	94,36	92,93	94,53	92,99	93,96	94,27
Fórmula Estrutural com base em 22 oxigênios								
Si	5,508	5,558	5,554	5,575	4,775	5,371	5,537	5,536
Al ^{IV}	2,492	2,442	2,446	2,425	3,225	2,629	2,463	2,464
Soma T	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al ^{VI}	1,251	1,269	1,271	1,264	2,868	1,579	1,251	1,211
Ti	0,489	0,485	0,489	0,514	0,485	0,509	0,524	0,563
Fe ³⁺	2,946	2,970	2,969	3,007	2,522	2,930	2,974	3,011
Fe	0,021	0,013	0,017	0,011	0,022	0,013	0,022	0,015
Mn	0,015	0,009	0,012	0,008	0,016	0,010	0,016	0,011
Mg	3,145	3,097	3,091	2,995	2,582	2,938	3,034	2,992
Zn	0,001	0,000	0,003	0,008	0,003	0,002	0,000	0,005
Soma Y	7,868	7,843	7,852	7,807	8,497	7,982	7,821	7,808
Ca	0,003	0,009	0,005	0,029	0,004	0,016	0,002	0,000
Na	0,018	0,037	0,031	0,033	0,068	0,016	0,022	0,028
K	0,057	0,053	0,037	0,045	0,054	0,057	0,050	0,052
Ba	0,013	0,026	0,022	0,024	0,052	0,012	0,016	0,020
Soma X	0,092	0,126	0,096	0,130	0,178	0,100	0,091	0,100
Cl	0,012	0,012	0,018	0,015	0,016	0,020	0,004	0,010
F	0,041	0,029	0,017	0,058	0,068	0,089	0,000	0,018
Cátions	15,699	15,670	15,631	15,583	15,521	15,630	15,644	15,598
fe	0,549	0,549	0,554	0,564	0,570	0,566	0,559	0,565

Legenda: n: núcleo; i: zona intermediária; b: borda

Tabela 3

Análises químicas representativas de biotita dos Plutons Palermo e Rio Negro

Amostra Cristal Ponto	OM691 (Quartzo monzonito)					
	1-n	c20 2-i	3-b	1-n	c23 2-i	3-b
SiO ₂	34,85	34,86	34,99	33,59	35,10	35,45
TiO ₂	3,95	3,48	3,35	3,35	3,68	3,47
Al ₂ O ₃	11,76	11,82	11,77	11,86	12,17	11,81
FeO	30,62	30,90	30,35	30,37	29,84	29,68
MnO	0,58	0,58	0,59	0,56	0,54	0,51
MgO	4,81	4,81	5,05	4,82	5,04	5,26
ZnO	0,09	0,13	0,08	0,07	0,07	0,09
CaO	0,03	0,03	0,00	0,10	0,06	0,03
BaO	0,13	0,02	0,15	0,23	0,05	0,00
Na ₂ O	0,10	0,09	0,10	0,11	0,09	0,04
K ₂ O	9,28	9,35	9,38	8,79	9,14	9,19
Cl	0,16	0,13	0,13	0,12	0,12	0,13
F	0,25	0,54	0,81	0,27	0,09	0,49
Total parc	96,60	96,72	96,74	94,22	95,97	96,15
O=F,Cl	0,14	0,26	0,37	0,14	0,06	0,23
Total	96,46	96,47	96,37	94,08	95,90	95,92

Fórmula Estrutural com base em 22 oxigênios

Si	5,643	5,659	5,684	5,590	5,669	5,730
Al ^{IV}	2,357	2,341	2,316	2,410	2,331	2,270
Soma T	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al ^{VI}	1,011	1,051	1,065	1,081	1,143	1,105
Ti	0,481	0,424	0,409	0,419	0,446	0,422
Fe ³⁺	5,747	5,797	5,702	5,816	5,583	5,569
Fe	0,110	0,110	0,112	0,108	0,103	0,097
Mn	0,079	0,079	0,081	0,078	0,074	0,070
Mg	1,160	1,164	1,222	1,196	1,214	1,268
Zn	0,010	0,016	0,009	0,009	0,008	0,011
Soma Y	8,599	8,641	8,600	8,706	8,571	8,542
Ca	0,006	0,006	0,000	0,024	0,013	0,006
Na	0,011	0,002	0,014	0,021	0,004	0,000
K	0,044	0,038	0,044	0,048	0,037	0,018
Ba	0,008	0,001	0,010	0,015	0,003	0,000
Soma X	0,070	0,047	0,068	0,107	0,058	0,024
Cl	0,045	0,036	0,037	0,032	0,032	0,035
F	0,127	0,276	0,415	0,142	0,044	0,248
Cátions	15,728	15,768	15,768	15,778	15,681	15,676
fe	0,864	0,865	0,857	0,863	0,851	0,850

Legenda: n: núcleo; i: zona intermediária; b: borda

Tabela 3

Análises químicas representativas de biotita dos Plutons Palermo e Rio Negro

Amostra Cristal Ponto	OM888 (Sienogranito)					
	1-n	c41 2-i	3-b	1-n	c44 2-i	3-b
SiO ₂	33,70	33,99	33,72	33,37	33,67	34,14
TiO ₂	3,25	3,12	3,34	3,27	3,20	3,77
Al ₂ O ₃	11,70	12,07	12,30	12,50	12,28	11,69
FeO	33,36	33,53	32,34	32,94	32,90	33,25
MnO	0,64	0,61	0,58	0,68	0,61	0,67
MgO	2,66	2,65	2,68	2,56	2,63	2,65
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,12	0,02	0,07	0,08	0,15	0,10
BaO	0,24	0,23	0,25	0,23	0,24	0,14
Na ₂ O	8,27	8,62	8,48	8,17	7,72	8,15
K ₂ O	0,50	0,50	0,45	0,47	0,18	0,16
Cl	0,40	0,28	0,36	0,31	0,32	0,31
F	0,10	0,09	0,07	0,12	0,15	0,06
Total parc	94,92	95,73	94,63	94,71	94,02	95,07
O=F,Cl	0,13	0,10	0,11	0,12	0,13	0,10
Total	94,79	95,62	94,52	94,59	93,89	94,98
Fórmula Estrutural com base em 22 oxigênios						
Si	5,537	5,526	5,520	5,475	5,542	5,560
Al ^{IV}	2,463	2,474	2,480	2,525	2,458	2,440
Soma T	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al ^{VI}	0,935	0,996	1,080	1,101	1,115	0,925
Ti	0,401	0,382	0,411	0,404	0,396	0,462
Fe ³⁺	6,279	6,232	6,061	6,169	6,205	6,236
Fe	0,121	0,116	0,109	0,130	0,116	0,126
Mn	0,088	0,085	0,080	0,095	0,084	0,092
Mg	0,651	0,643	0,653	0,627	0,644	0,642
Zn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma Y	8,475	8,453	8,394	8,524	8,560	8,483
Ca	0,028	0,005	0,016	0,020	0,035	0,024
Na	0,021	0,020	0,022	0,020	0,021	0,012
K	3,608	3,715	3,684	3,548	3,376	3,541
Ba	0,016	0,014	0,016	0,015	0,016	0,009
Soma X	3,673	3,755	3,738	3,603	3,448	3,586
Cl	0,112	0,078	0,101	0,086	0,088	0,087
F	0,050	0,045	0,037	0,061	0,077	0,030
Cátions	16,299	16,346	16,276	16,262	16,122	16,158
fe	0,926	0,927	0,924	0,928	0,926	0,926

Legenda: n: núcleo; i: zona intermediária; b: borda

Tabela 4

Análises químicas representativas de plagioclásio dos Plutons Palermo e Rio Negro

Amostra Cristal Ponto	OM473 (Diorito)					
	c34			c35		
	1	2	3	1	2	3
SiO ₂	53,76	54,36	60,50	61,44	57,26	57,20
Al ₂ O ₃	28,32	28,32	23,78	23,33	25,31	26,47
TiO ₂	0,00	0,08	0,01	0,12	0,00	0,00
Fe ₂ O ₃	0,13	0,20	0,10	0,16	0,14	0,10
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03
MgO	0,01	0,00	0,01	0,02	0,02	0,00
CaO	10,40	10,64	5,03	5,00	7,25	8,50
Na ₂ O	5,59	5,68	8,75	8,53	7,41	6,76
K ₂ O	0,20	0,21	0,35	0,43	0,23	0,22
SrO	0,14	0,23	0,25	0,15	0,17	0,19
BaO	0,12	0,00	0,02	0,00	0,00	0,05
Total	98,65	99,72	98,79	99,17	97,80	99,51

Fórmula Estrutural com base em 32 oxigênios

Si	9,856	9,866	10,912	11,004	10,481	10,326
Al	6,119	6,058	5,054	4,925	5,460	5,632
Fe ³⁺	0,017	0,027	0,013	0,022	0,020	0,013
Soma T	15,992	15,952	15,979	15,950	15,960	15,971
Ti	0,000	0,011	0,002	0,016	0,000	0,000
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,005
Mg	0,002	0,000	0,002	0,004	0,005	0,000
Ca	2,042	2,069	0,972	0,960	1,422	1,643
Na	1,986	2,000	3,060	2,963	2,629	2,367
K	0,048	0,049	0,080	0,097	0,054	0,050
Sr	0,015	0,024	0,026	0,015	0,018	0,020
Ba	0,009	0,000	0,002	0,000	0,000	0,004
Soma M	4,101	4,153	4,143	4,055	4,129	4,088
Cátions	20,093	20,105	20,123	20,025	20,109	20,060
An	50,39	50,53	24,14	24,16	34,92	40,82
Ab	48,45	48,28	73,93	73,43	63,77	57,96
Or	1,16	1,19	1,93	2,41	1,31	1,22

Legenda: n: núcleo; i: zona intermediária; b: borda

Tabela 4

Análises químicas representativas de plagioclásio dos Plutons Palermo e Rio Negro

Amostra Cristal Ponto	OM499 (Quartzo monzonito)					
	c10			c13		
	1	2	3	1	2	3
SiO ₂	62,81	61,45	66,00	62,82	63,32	62,52
Al ₂ O ₃	22,94	23,82	20,55	22,40	22,24	22,65
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,05
Fe ₂ O ₃	0,20	0,15	0,34	0,17	0,12	0,13
MnO	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00
MgO	0,02	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00
CaO	3,94	5,06	0,51	3,27	3,39	3,21
Na ₂ O	9,18	8,47	10,58	9,70	9,42	9,75
K ₂ O	0,53	0,34	0,91	0,34	0,31	0,25
SrO	0,20	0,12	0,12	0,16	0,12	0,14
BaO	0,10	0,00	0,10	0,00	0,06	0,06
Total	99,92	99,41	99,13	98,87	98,96	98,74

Fórmula Estrutural com base em 32 oxigênios

Si	11,164	10,979	11,718	11,240	11,311	11,212
Al	4,805	5,016	4,300	4,724	4,682	4,787
Fe ³⁺	0,026	0,019	0,045	0,023	0,015	0,017
Soma T	15,995	16,014	16,064	15,987	16,009	16,016
Ti	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,006
Mn	0,002	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000
Mg	0,005	0,003	0,004	0,000	0,000	0,000
Ca	0,751	0,968	0,096	0,627	0,648	0,616
Na	3,164	2,932	3,643	3,366	3,263	3,388
K	0,119	0,077	0,207	0,077	0,070	0,056
Sr	0,021	0,012	0,013	0,016	0,012	0,015
Ba	0,007	0,000	0,007	0,000	0,004	0,004
Soma M	4,068	3,994	3,970	4,088	3,998	4,086
Cátions	20,062	20,008	20,034	20,095	20,006	20,102
An	19,17	24,56	2,93	15,74	16,62	15,56
Ab	77,89	73,50	91,86	82,36	81,64	83,06
Or	2,94	1,94	5,21	1,89	1,74	1,37

Legenda: n: núcleo; i: zona intermediária; b: borda

Tabela 4

Análises químicas representativas de plagioclásio dos Plutons Palermo e Rio Negro

Amostra	OM683 (Diorito)			OM691 (Quartzo monzonito)					
Cristal	c29			c21			c22		
Ponto	1	2	3	1	2	3	1	2	3
SiO ₂	53,08	51,53	52,18	61,87	62,61	66,46	64,35	65,45	65,23
Al ₂ O ₃	29,24	29,33	29,64	21,70	22,14	20,07	21,54	21,20	20,79
TiO ₂	0,03	0,04	0,08	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Fe ₂ O ₃	0,23	0,22	0,37	0,21	0,19	0,16	0,20	0,17	0,12
MnO	0,02	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,02	0,02	0,01
MgO	0,00	0,03	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
CaO	11,69	11,94	12,70	2,84	3,00	0,47	2,12	1,98	1,54
Na ₂ O	4,79	4,86	4,39	9,86	9,78	11,52	10,54	10,34	10,82
K ₂ O	0,16	0,19	0,14	0,41	0,38	0,26	0,55	0,60	0,35
SrO	0,13	0,13	0,18	0,13	0,11	0,07	0,10	0,18	0,14
BaO	0,09	0,00	0,00	0,00	0,07	0,13	0,00	0,00	0,00
Total	99,46	98,27	99,69	97,05	98,27	99,16	99,44	99,93	98,99
Fórmula Estrutural com base em 32 oxigênios									
Si	9,676	9,525	9,513	11,293	11,281	11,780	11,444	11,558	11,598
Al	6,282	6,388	6,368	4,668	4,702	4,193	4,515	4,412	4,356
Fe ³⁺	0,031	0,031	0,050	0,029	0,026	0,022	0,026	0,022	0,016
Soma T	15,989	15,944	15,931	15,990	16,009	15,994	15,985	15,992	15,971
Ti	0,004	0,005	0,011	0,002	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000
Mn	0,003	0,000	0,001	0,003	0,000	0,000	0,003	0,003	0,001
Mg	0,000	0,007	0,002	0,002	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000
Ca	2,282	2,364	2,480	0,555	0,578	0,090	0,405	0,374	0,294
Na	1,692	1,743	1,550	3,488	3,416	3,960	3,632	3,540	3,729
K	0,037	0,044	0,033	0,095	0,086	0,059	0,125	0,135	0,078
Sr	0,014	0,014	0,019	0,013	0,012	0,007	0,011	0,018	0,015
Ba	0,007	0,000	0,000	0,000	0,005	0,009	0,000	0,000	0,000
Soma M	4,039	4,178	4,096	4,159	4,097	4,129	4,178	4,070	4,117
Cátions	20,028	20,142	20,047	20,149	20,106	20,123	20,163	20,062	20,107
An	57,12	57,10	61,23	13,69	14,53	2,56	9,96	9,64	7,50
Ab	41,96	41,84	37,98	84,01	83,37	96,00	87,03	87,05	90,60
Or	0,92	1,05	0,80	2,30	2,11	1,44	3,01	3,31	1,91

Legenda: n: núcleo; i: zona intermediária; b: borda

Tabela 4

Análises químicas representativas de plagioclásio dos Plutons Palermo e Rio Negro

Amostra Cristal Ponto	OM888 (Sienogranito)					
	c43			c46		
	1	2	3	1	2	3
SiO ₂	64,31	66,06	65,19	63,39	64,41	64,57
Al ₂ O ₃	21,43	20,51	21,03	21,27	20,98	20,38
TiO ₂	0,04	0,00	0,01	0,05	0,00	0,00
Fe ₂ O ₃	0,16	0,14	0,14	0,12	0,15	0,09
MnO	0,00	0,00	0,01	0,03	0,01	0,00
MgO	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00
CaO	2,15	1,17	1,71	2,46	1,74	1,30
Na ₂ O	10,13	10,89	10,16	9,46	10,19	10,44
K ₂ O	0,27	0,45	0,68	1,01	0,70	0,53
SrO	0,07	0,24	0,12	0,17	0,23	0,13
BaO	0,00	0,00	0,00	0,11	0,03	0,01
Total	98,54	99,48	99,05	98,09	98,42	97,45

Fórmula Estrutural com base em 32 oxigênios

Si	11,481	11,680	11,582	11,445	11,552	11,661
Al	4,509	4,275	4,403	4,526	4,434	4,338
Fe ³⁺	0,021	0,019	0,019	0,017	0,020	0,012
Soma T	16,010	15,974	16,004	15,988	16,007	16,010
Ti	0,005	0,000	0,002	0,007	0,000	0,000
Mn	0,000	0,000	0,001	0,005	0,002	0,000
Mg	0,000	0,002	0,000	0,003	0,001	0,001
Ca	0,412	0,222	0,326	0,475	0,335	0,251
Na	3,507	3,734	3,500	3,312	3,543	3,654
K	0,061	0,102	0,155	0,233	0,159	0,121
Sr	0,007	0,025	0,013	0,018	0,024	0,014
Ba	0,000	0,000	0,000	0,008	0,002	0,001
Soma M	3,991	4,084	3,997	4,060	4,065	4,042
Cátions	20,021	20,079	20,021	20,049	20,072	20,052
An	10,50	6,04	8,48	12,39	8,88	6,58
Ab	87,98	91,46	87,64	81,86	87,20	90,43
Or	1,52	2,50	3,88	5,75	3,92	2,99

Legenda: n: núcleo; i: zona intermediária; b: borda

Tabela 4

Análises químicas representativas de plagioclásio dos Plutons Palermo e Rio Negro

Amostra Cristal Ponto	OM1057 (Quartzo monzonito)					
	c1			c2		
	1	2	3	1	2	3
SiO ₂	65,71	64,87	65,55	65,69	65,74	65,74
Al ₂ O ₃	21,02	21,18	20,57	21,41	20,85	20,44
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,01
Fe ₂ O ₃	0,12	0,15	0,17	0,13	0,15	0,11
MnO	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
CaO	1,88	1,87	1,04	1,91	1,39	1,11
Na ₂ O	10,14	10,16	10,87	10,49	10,76	10,66
K ₂ O	0,82	0,53	0,21	0,30	0,21	0,44
SrO	0,15	0,05	0,10	0,07	0,12	0,02
BaO	0,10	0,04	0,05	0,07	0,01	0,00
Total	99,94	98,86	98,56	100,17	99,22	98,53
Fórmula Estrutural com base em 32 oxigênios						
Si	11,604	11,558	11,685	11,550	11,635	11,715
Al	4,375	4,448	4,321	4,437	4,349	4,292
Fe ³⁺	0,016	0,020	0,023	0,017	0,020	0,015
Soma T	15,994	16,027	16,028	16,004	16,003	16,022
Ti	0,000	0,000	0,000	0,011	0,000	0,002
Mn	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,000	0,001	0,000	0,004	0,001	0,000
Ca	0,355	0,357	0,198	0,360	0,263	0,213
Na	3,472	3,508	3,757	3,576	3,690	3,682
K	0,184	0,119	0,048	0,067	0,047	0,100
Sr	0,016	0,005	0,011	0,007	0,012	0,002
Ba	0,007	0,003	0,004	0,005	0,000	0,000
Soma M	4,035	3,994	4,017	4,029	4,014	3,998
Cátions	20,029	20,021	20,046	20,033	20,038	20,021
An	9,36	9,15	5,29	9,26	6,87	5,36
Ab	86,07	87,86	93,52	89,08	91,96	92,12
Or	4,57	2,99	1,19	1,66	1,17	2,51

Legenda: n: núcleo; i: zona intermediária; b: borda

Obs: Molécula de An inclui as moléculas de SrAl₂Si₂O₈ e BaAl₂Si₂O₈