

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**GEOLOGIA E PETROLOGIA DO MACIÇO
GRANÍTICO ALTO TURVO (PR), PROVÍNCIA
GRACIOSA, REGIÃO S-SE DO BRASIL**

Fabiana Pereira Vogado

Orientador: Prof. Dr. Silvio Roberto Farias Vlach
Co-orientador: Francisco de Assis Negri

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA

(TF-2010/16)

SÃO PAULO
2010

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC



30900028433

**GEOLOGIA E PETROLOGIA DO MACIÇO GRANÍTICO ALTO TURVO
(PR), PROVÍNCIA GRACIOSA, REGIÃO S-SE DO BRASIL**

Fabiana Pereira Vogado



Orientador: Prof^o Dr. Silvio Roberto Farias Vlach

Co-orientador: Dr. Francisco de Assis Negri

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-10/16)

São Paulo

2010

TF
V877
FP.08

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

GEOLÓGIA E PETROLOGIA DO MACIÇO GRANÍTICO ALTO TURVO
(PR) PROVÍNCIA ORCOSA, REGIÃO S-SE DO BRASIL



Palavra-chave: Várzea

Coordenador: Prof. Dr. Edson Roberto Faria Viana
Co-orientador: Dr. Fernando de Almeida

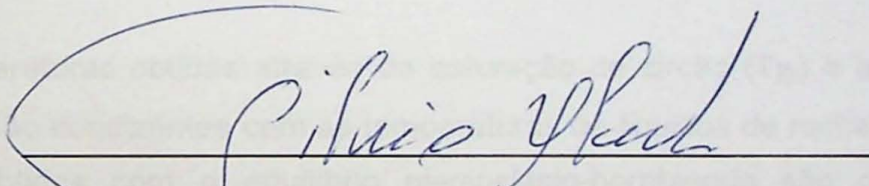
MONOGRAFIA DE TRABALHO DE GRADUAÇÃO
(1970)

2004-2005
2010

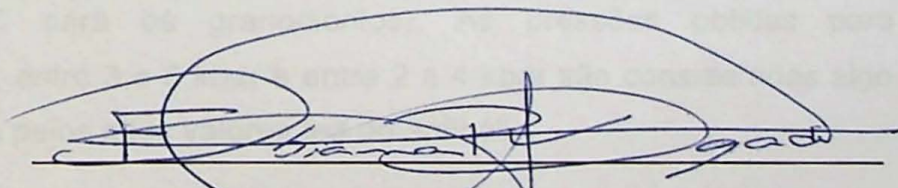
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**GEOLOGIA E PETROLOGIA DO MACIÇO GRANÍTICO ALTO TURVO
(PR), PROVÍNCIA GRACIOSA, REGIÃO S-SE DO BRASIL**

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-10/16)



Orientador: Prof^o Dr. Silvio Roberto Farias Vlach



Aluna: Fabiana Pereira Vogado

São Paulo
2010

RESUMO

O Maciço Alto Turvo, objeto de estudo desta monografia, está incluso na Província Graciosa de granitos e sienitos de "tipo-A". Localiza-se na região limítrofe entre os Estados de São Paulo e Paraná sendo representado por cinco variedades petrográficas distintas: monzogranitos I e II com biotita como mineral máfico principal, álcali-feldspato granitos e sienogranitos com hornblenda como máfico predominante além de granodioritos e quartzomonzonitos com clinopiroxênio, hornblenda e biotita.

Diferenças no teor de alcalinidade destas variedades petrográficas, as composições químicas das fases minerais máficas e a ocorrência de enclaves granodioríticos em monzo- e sienogranitos parecem indicar a coexistência de pelo menos dois magmas distintos no maciço. As análises de biotitas presentes nos monzogranitos e granodioritos resultam em valores $fe\#$ ($= Fe^T / (Mg + Fe^T)$) relativamente baixos, quando comparados ao clinopiroxênio e aos anfibólios cálcicos dos álcali-feldspato granitos, sienitos e monzonitos, e indicam que os magmas foram cristalizados em ambientes relativamente mais oxidantes. Os valores $fe\#$ das micas, bem como de rocha total observados nestas variedades são significativamente mais baixos que os observados em granitos típicos da Província Graciosa. Sugere-se que sejam granitos transicionais entre os granitos de tipo I (Caledoniano) e A mais típicos descritos em literatura. As características químicas dos minerais e rocha total dos sienogranitos e álcali-feldspatos granitos indicam a cristalização a partir de magmas relativamente mais reduzidos, comparáveis aos esperados em províncias magmáticas de tipo-A.

As temperaturas obtidas através da saturação de zircão (T_{Zr}) e apatita (T_{Ap}) entre 800 e 1000° C são condizentes com as temperaturas de *liquidus* de rochas de tipo A. Já as temperaturas obtidas com o equilíbrio plagioclásio-hornblenda são comparáveis com temperaturas próximas ao *solidus* do sistema (entre 690° e 720°C para os sienogranitos e 645° e 760°C para os granodioritos). As pressões obtidas para estas rochas, respectivamente, entre 3 e 5 kbar e entre 2 e 4 kbar são consideradas algo elevadas, talvez superestimadas pelos altos valores $fe\#$ do anfibólio.

As imagens gamaespectrométricas do Maciço Alto Turvo apresentam fortes anomalias positivas relacionadas às concentrações de K, Th e U comprovando o enriquecimento destes elementos nas rochas graníticas presentes. Embora não seja possível individualizar as variedades petrográficas do Maciço a partir destas imagens elas auxiliaram na revisão dos traçados externos que delimitam o corpo granítico.

ABSTRACT

The Alto Turvo Massif, object of study of this monograph, belongs to the Graciosa Province of "A-type" granites and syenites and crops out in the region between the states of São Paulo and Paraná. It consists of five distinct petrographic varieties: monzogranites I and II with biotite as the main mafic mineral, alkali feldspar granite and syenogranites characterized by the occurrence of hornblende, as well as quartz-monzonite and granodiorite with clinopyroxene, hornblende and biotite.

Alkalinity contrasts between these petrographic types as well as chemical compositions of the main mafic phases and the occurrence of granodioritic enclaves in monzo-, and syenogranites seem to indicate at least the existence of two distinct magmas. Biotite chemical analyses from monzogranite and granodiorite gave low $fe\#$ ($Fe^T/(Fe^T + Mg)$) values as compared with clinopyroxene and amphibole from alkali-feldspar syenites, syenogranites and monzonites suggesting that magmas were crystallized in relatively high oxidizing environments. The $fe\#$ values observed in biotite and whole rock are significantly lower than those observed in typical granites from the Graciosa Province. It is suggested that these rocks are transitional between I (Caledonian) and A type granites as described in the literature. The chemical signature of mafic minerals and whole rock alkali-feldspar granites and syenogranites indicate crystallization under relatively reducing conditions, as expected in rocks from A-type magmatic provinces.

Zircon and apatite saturation temperatures between 800 and 1000°C are quite consistent with the expected *liquidus* temperatures of granitic and syenitic A-type magmas. Hornblende-plagioclase geothermometry indicates near *solidus* temperatures between 690° and 720°C (syenogranites) and 645° and 760°C (granodiorites). The obtained pressures vary between 3 and 5 kbar and pressures between 2 and 4 kbar, respectively, and are considered somewhat higher and were probably super-estimated due to the high $fe\#$ values in hornblende.

Air-borne gamma ray spectrometric maps of the Alto Turvo Massif show strong positive anomalies related to the concentrations of K, Th and U indicating the relative enrichment of these elements in the granitic rocks as compared with the country rocks. Although it is not possible to individualize the petrographic varieties of the Massif from such images, they helped with the revision of the strokes that define the external granite body.

AGRADECIMENTOS

Durante o desenvolvimento deste trabalho recebi o apoio de diversas pessoas que merecem ser lembradas e devidamente agradecidas. Primeiramente ao meu orientador Prof. Dr. Silvio Roberto Farias Vlach e coorientador Dr. Francisco de Assis Negri por terem me auxiliado e me passado conhecimentos importantes para a realização desta monografia e para minha vida como profissional da geologia. Um agradecimento especial também ao Prof. Dr. Francisco J. F. Ferreira (UFPR) que me recebeu com toda hospitalidade possível no Laboratório de Pesquisas Geofísicas da UFPR me auxiliando na interpretação de imagens e ao doutorando Luís Gustavo de Castro (UFPR) que contribui para o tratamento dos dados.

Agradeço também aos técnicos dos laboratórios do Instituto de Geociências - USP que me ajudaram na geração de dados e nas atividades analíticas: José Paulo Sertek (LPA), Paulo Mori (Fluorescência), Marcos Mansueto (Microsonda Eletrônica) e Angélica (Óptica).

Não posso deixar de citar meu amigo de graduação Átila Pessoa pela força nas atividades de campo. E também das boas companhias que encontrei neste curso: Sheila, Denise, Cíntia, Angélica, Fernando, Stephano, Ana Letícia...

Um agradecimento especial à minha família, pais e irmãos, que tanto valor deram para a busca do conhecimento e sempre me ajudaram a trilhar um bom caminho durante os meus estudos. Ao meu companheiro de todas as horas Cláudio que acompanhou e apoiou toda minha história na geologia e me acalmou nos momentos críticos que envolveram este trabalho. Algumas linhas são muito pouco para agradecer a estas pessoas que tanto amo.

Por fim, agradeço ao Instituto Geológico pelo envolvimento nos trabalhos de campo e à FAPESP pelo apoio através do processo No 2008/00562-0.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Localização da Área de Estudo	1
2. OBJETIVOS	3
3. SÍNTESE BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. Província Graciosa	5
3.1.1. Associações de rochas graníticas e sieníticas	5
3.1.2. Rochas gabro-dioríticas e rochas vulcânicas básico-intermediárias	6
3.2. O Maciço Alto Turvo	8
4. MATERIAIS E MÉTODOS	9
4.1. Pesquisa Bibliográfica	9
4.2. Levantamentos de Campo	9
4.3. Otimização do Mapa Geológico	10
4.4. Análise de Padrões Aero-gamaespectrométricos	10
4.5. Análises Petrográficas	11
4.6. Determinações Modais	12
4.7. Suscetibilidade Magnética	12
4.8. Análises Químicas em Minerais	12
4.9. Análises Químicas em Rocha Total	13
5. RESULTADOS OBTIDOS	14
5.1. Geologia geral	14
5.1.1. Variedades petrográficas	14
5.1.2. Contatos	17
Contatos Externos	17
Contatos Internos	18
Lineamentos e Zonas de Cisalhamento	18
5.2. Dados Aero-gamaespectrométricos	19
5.3. Petrografia Geral	22
5.3.1. Biotita Monzogranitos I	22
5.3.2. Biotita Monzogranitos II	23
5.3.3. Biotita Granodioritos	24
5.3.4. Álcali-feldspato Granitos	25
5.3.5. Hornblenda Sienogranitos Acinzentados	26
5.3.6. Quartzo Monzonitos	27
5.4. Sequências de Cristalização	29
5.5. Suscetibilidade Magnética	30
5.6. Química Mineral	31
Minerais Máficos	31

5.6.1. Anfibólio	31
5.6.2. Biotita	33
5.6.3. Clinopiroxênio	34
Minerais Félsicos	34
5.6.4. Plagioclásio	34
5.7. Geoquímica de rocha total	36
5.8. Parâmetros Intensivos de Cristalização	40
5.8.1. Temperaturas <i>Liquidus</i>	40
5.8.2. Temperaturas <i>Solidus</i>	41
6. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES	42
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

ANEXO I – Mapa de Afloramentos Visitados

ANEXO II – Mapa Geológico

ANEXO III – Prancha I – Aspectos Macroscópicos

ANEXO IV – Imagem SRTM sobre Contornos Geológicos

ANEXO V – Mapas Aero-gamaespectrométricos

ANEXO VI – Prancha II – Aspectos Microscópicos

ANEXO VII – Dados Modais e de Suscetibilidade Magnética

ANEXO VIII – Dados de Química Mineral

ANEXO IX – Dados de Química de Rocha Total

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Determinações modais (%) obtidas para as variações petrográficas do Maciço Alto Turvo _____ ANEXO I

Tabela 2. Valores de suscetibilidade magnética ($\times 10^{-3}$ SI) obtidos em campo _____ ANEXO I

Tabela 3. Simbologia aplicada aos diagramas de química mineral _____ 31

Tabela 4. Análises químicas (% em peso de óxidos) obtidas com microsonda eletrônica (WDS) e proporções atômicas/catiônicas de anfibólios de amostras selecionadas do Maciço Alto Turvo _____ ANEXO VIII

Tabela 5. Análises químicas (% em peso de óxidos) obtidas com microsonda eletrônica (WDS) e proporções atômicas/catiônicas de biotitas de amostras selecionadas do Maciço Alto Turvo _____ ANEXO VIII

Tabela 6. Análises químicas (% em peso de óxidos) obtidas com microsonda eletrônica (WDS) e proporções atômicas/catiônicas de piroxênios de amostras selecionadas do Maciço Alto Turvo _____ ANEXO VIII

Tabela 7. Análises químicas (% em peso de óxidos) obtidas com microsonda eletrônica (WDS) e proporções atômicas/catiônicas de plagioclásios de amostras selecionadas do Maciço Alto Turvo _____ ANEXO VIII

Tabela 8. Elementos maiores e menores (% peso) e Normas CIPW para amostras representativas das variedades petrográficas do Maciço Alto Turvo _____ ANEXO IX

Tabela 9. Elementos traços (em ppm) para as amostras representativas das variedades petrográficas do Maciço Alto Turvo _____ ANEXO IX

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo	2
Figura 2. Articulação das folhas ocupadas em parte pelo Maciço Alto Turvo.	2
Figura 3. Mapa geológico esquemático das principais unidades geológicas do sul-sudeste brasileiro	7
Figura 4. Mapa de afloramentos visitados durante as etapas de campo	ANEXO I
Figura 5. Mapa Geológico enfatizando contornos modificados do Maciço	ANEXO II
Figura 6. Sobreposição dos dados digitais do terreno (SRTM) com contornos geológicos já redefinidos do Maciço Alto Turvo	ANEXO IV
Figura 7. Mapa aero-gamaespectrométrico de contagem total dos elementos K-Th-U para o Maciço Alto Turvo	ANEXO V
Figura 8. Mapa aero-gamaespectrométrico da concentração de K (% em peso) para o Maciço Alto Turvo	ANEXO V
Figura 9. Mapa aero-gamaespectrométrico da distribuição da concentração de eTh (em ppm) para o Maciço Alto Turvo	ANEXO V
Figura 10. Mapa aero-gamaespectrométrico da distribuição da concentração de eU (em ppm) para o Maciço Alto Turvo	ANEXO V
Figura 11. Mapa aero-gamaespectrométrico da distribuição da razão eTh/K para o Maciço Alto Turvo	ANEXO V
Figura 12. Mapa aero-gamaespectrométrico da distribuição da razão eU/K para o Maciço Alto Turvo	ANEXO V
Figura 13. Mapa aero-gamaespectrométrico do parâmetro $F = (K \cdot eU / eTh)$ para o Maciço Alto Turvo	ANEXO V
Figura 14. Mapa aero-gamaespectrométrico da distribuição da razão eU/eTh para o Maciço Alto Turvo	ANEXO V
Figura 15. Composição RGB – K (R), U (G), Th (B) para o Maciço Alto Turvo	ANEXO V
Figura 16. Diagrama modal Quartzo (Q) – Feldspato Alcalino (A) - Plagioclásio (P) para rochas plutônicas para amostras representativas do Maciço Alto Turvo	28
Figura 17. Quadro interpretativo da sequência de cristalização das variedades petrográficas presentes no Maciço Alto Turvo	28
Figura 18. (a) Histograma de frequência relativa para os valores de SM . (b) Relação dos valores de SM com a proporção modal de magnetita nas amostras do Maciço Alto Turvo.	30
Figura 19. Diagramas catiônicos $Si \times Mg / (Mg + Fe^{2+})$ de classificação dos anfibólios presentes nas variedades petrográficas do Maciço Alto Turvo segunda a IMA	32

Figura 20. Diagrama de correlação entre as proporções catiônicas $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg) \times Al^{IV}$ em biotitas das rochas presentes no Maciço Alto Turvo	33
Figura 21. Diagrama Wo-En-Fs para classificação de piroxênios	34
Figura 22. Diagrama Ab-Or-An para classificação de feldspatos quanto às proporções moleculares de cada componente	35
Figura 23. Simbologia empregada nos diagramas para distinção das variedades petrográficas	36
Figura 24. Diagrama de classificação química TAS ($Na_2O+K_2O \times SiO_2$, % em peso) para rochas plutônicas	38
Figura 25. Diagrama $FeO_I/(FeO_I+MgO) \times SiO_2$ (% peso)	38
Figura 26. (a) Diagrama MALI ($Na_2O+K_2O-CaO \times SiO_2$, % peso) (b) Diagrama de Shand ($A/CNK \times A/NK$ mol) relacionando o grau de alcalinidade das amostras.	39
Figura 27. (a) Diagrama discriminante de ambiente tectônico Nb x Y (em ppm) de Pearce et al. (1984) (b) Diagrama discriminante $Na_2O+K_2O \times Ce+Nb+Y+Zr$	39
Figura 28. Diagrama comparativo para temperaturas de saturação de zircão (TZr) e Apatita (TAp)	41

Diagrama discriminante de ambiente tectônico Nb x Y (em ppm) de Pearce et al. (1984) e Diagrama discriminante $Na_2O+K_2O \times Ce+Nb+Y+Zr$ de Pearce et al. (1984).

O Maciço Alto Turvo é uma das unidades mais importantes da região central do Estado de São Paulo, apresentando uma grande variedade de rochas ígneas e metamórficas. A unidade é caracterizada por uma grande variedade de rochas ígneas, incluindo granitos, diábasios, gnaissos e quartzitos. A unidade é também caracterizada por uma grande variedade de rochas metamórficas, incluindo gnaissos, quartzitos e migmatitos. A unidade é considerada uma das mais importantes da região central do Estado de São Paulo, devido à sua grande variedade de rochas ígneas e metamórficas.

1.1. Localização da Área de Estudo

O Maciço Alto Turvo localiza-se na região central do Estado de São Paulo, entre os municípios de São Paulo e Pindamonhangaba (Figura 1). A unidade é limitada pelas coordenadas geográficas 45°30' e 45°25' de longitude oeste e 24°55' e 25°07' de latitude sul. O principal rio que atravessa a unidade é o rio Paraíba do Sul, que nasce no Maciço Alto Turvo e deságua no oceano Atlântico. A unidade é considerada uma das mais importantes da região central do Estado de São Paulo, devido à sua grande variedade de rochas ígneas e metamórficas.

1. INTRODUÇÃO

O estudo do magmatismo granítico de “tipo-A” é um dos temas de maior relevância da petrologia atual (Bonin, 2007). A Província Graciosa de granitos e sienitos de “tipo-A” (Gualda & Vlach, 2007a), situada na região S-SE do Brasil, representa uma das províncias neoproterozóicas (ca. 580 Ma) mais típicas do continente e está sendo objeto de estudos detalhados por parte do orientador, colegas do Departamento de Mineralogia e Geotectônica e de vários estudantes de graduação e pós-graduação do IGc.

As variedades petrográficas que formam a Província Graciosa são agrupadas em duas associações principais muito contrastadas dos pontos de vista petrográfico e geoquímico: a associação alcalina, formada por álcali-feldspato sienitos e granitos de afinidades metaluminosas e peralcalinas, respectivamente, e a associação aluminosa (subalcalina) constituída por sieno- e monzogranitos de afinidades metaluminosas a marginalmente peraluminosas. Este magmatismo colocou-se em ambiente distensivo, associado à aglutinação do supercontinente Gondwana na região (Gualda & Vlach, 2007a, Vlach & Gualda, 2007). A coexistência destas associações torna os granitos da Província Graciosa importantes no que diz respeito à compreensão dos processos magmáticos relacionados à sua formação e à sua contribuição para a evolução da crosta continental superior.

O foco deste trabalho, que faz parte de um projeto mais amplo de estudo das associações alcalina e aluminosa da Província, é um estudo inicial do denominado Maciço Alto Turvo (originalmente definido como Granito Alto Turvo, Kaul, 1984) ainda pouco conhecido, localizado no setor Norte da província, tendo em vista incrementar a quantidade e a qualidade de informações geológicas e petrológicas disponíveis. Para isto foram realizadas diversas etapas de trabalho, envolvendo especialmente atividades de campo, análise de informações aero-gamaespectrométricas, petrografia e caracterização da composição química em rocha total (elementos maiores, menores e traços) e das principais fases minerais presentes.

1.1. Localização da Área de Estudo

O Maciço Alto Turvo localiza-se na região limítrofe entre os Estados de São Paulo e Paraná (Figura 1) e é limitado pelas coordenadas geodésicas 48°30' e 48°25' de longitude oeste e 24°55' e 25°07' de latitude sul. Os principais acessos à área de estudo são feitos a partir da BR-116 onde se concentram a maior parte dos afloramentos. Trilhas a partir de sítios que levam a algumas porções mais centrais do Maciço são escassas. A cidade mais próxima do área de estudo é Barra do Turvo, a uma distância de aproximadamente 40 km.

As áreas de afloramento do maciço correspondem às folhas topográficas 1:50.000 SG.22-X-D-II-2 (Serra da Virgem Maria), SG.22-X-D-III-1 (Serra Negra) e SG.22-X-B-VI-3 (Rio Turvo) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), impressas em 1987. A articulação destas folhas é apresentada na Figura 2.



Figura 1. Localização da área de estudo. Fonte: Google Maps, 2010. O quadrado em vermelho delimita a área de exposição do Maciço Alto Turvo.

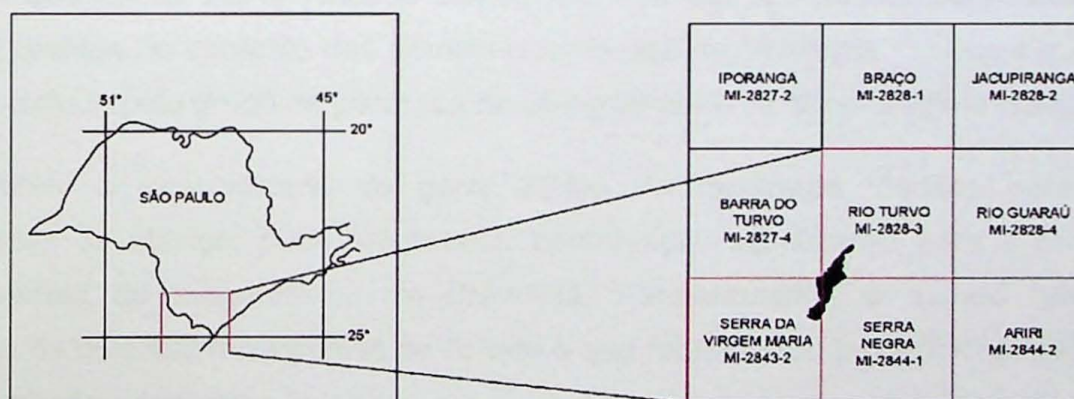


Figura 2. Articulação das folhas ocupadas em parte pelo Maciço Alto Turvo.

2. OBJETIVOS

O projeto tem como objetivo principal a caracterização geológica e a identificação das assinaturas mineralógica, petrográfica e geoquímica do Maciço Alto Turvo, visando gerar subsídios para futuras avaliações de modelos petrológicos e geodinâmicos para este maciço e para a evolução do magmatismo da Província Graciosa de uma forma geral. Os objetivos específicos são:

- aprimorar a definição dos contatos externos do Maciço, com apoio de trabalhos de campo e de dados aero-gamaespectrométricos;
- caracterizar petrográfica e mineralogicamente variedades típicas de rochas graníticas que afloram no maciço;
- identificar as assinaturas químicas dos minerais máficos presentes nas rochas graníticas;
- identificar as assinaturas geoquímicas mais características das rochas graníticas.

A principal motivação para o estudo proposto foi a carência verificada em literatura de dados sobre o Maciço Alto Turvo, em parte relacionada às dificuldades de acesso nas áreas em que aflora. As descrições disponíveis não são suficientes para caracterizar as rochas presentes no contexto das demais ocorrências da Província Graciosa que têm sido objeto de estudo pelo grupo de pesquisa no Departamento de Mineralogia e Geotectônica.

Assim, a possibilidade de gerar dados de qualidade inéditos para amostras selecionadas do Maciço, pode representar contribuição significativa para a evolução dos conhecimentos do magmatismo na Província. Paralelamente, o estudo baseia-se na integração de diversas ferramentas de estudo o que representou um adicional importante na minha formação acadêmica.

3. SÍNTESE BIBLIOGRÁFICA

A Província Graciosa de granitos e sienitos de "Tipo-A" (Gualda & Vlach, 2007a, cf. Figura 3) formada no final do Ciclo Brasileiro reúne significativo número de intrusões distribuídas desde o extremo SE do Estado de São Paulo até a região NE de Santa Catarina. A geração deste magmatismo está associada ao rearranjo crustal decorrente da colisão entre o Cinturão Granitóide Costeiro e o conjunto formado pelas Microplacas Curitiba e Luis Alves, em ambiente extensional, interpretado como pós-colisional (Gualda & Vlach, 2007a). Estas três unidades tectônicas independentes reconhecidas na região do Vale do Ribeira, litoral sul paulista e litoral leste paranaense foram introduzidas por Basei *et al.* (1992) para substituir a denominação "Maciço de Joinville" de Hasui *et al.* (1975).

A Microplaca Curitiba, ou Terreno Curitiba representa um segmento tectônico do Sistema Orogênico Mantiqueira (Brito Neves *et al.* 1999). São reconhecidas quatro unidades litotectônicas neste terreno: o Complexo Atuba representado por ortognaisses migmatíticos caracterizados pelo bandamento composicional com alternância de mesossomas anfibolíticos e leucossomas de composição tonalítica-granodiorítica (Siga Junior, 1995) denominado de Complexo Gnáissico Migmatítico por Vasconcelos *et al.* (1999); o Complexo Turvo-Cajati com micaxistos e paragnaisses; a Suíte Rio Piên com rochas graníticas cálcio-alcalinos deformados, que ocorrem em uma faixa alongada segundo NE com contatos relacionados a zonas de cisalhamento e, por fim, as Formações Capiru/Setuva compreendendo sequências de micaxistos, paragnaisses e quartzitos (Bigarella & Salamuni, 1965a).

A Microplaca Curitiba é limitada a N pelo Cinturão Ribeira (Hasui *et al.*, 1975), entidade geotectônica que se desenvolveu durante o Ciclo Brasileiro através de uma colagem que inclui duas orogêneses. Compreende rochas do embasamento, caracterizadas por uma associação de ortognaisses migmatíticos-miloníticos além de supracrustais metamorfizadas, originalmente designadas como Grupo Açungui e redefinidas como um Supergrupo (Campanha & Sadowski, 1999). A S a Microplaca Curitiba é limitada pela Microplaca Luis Alves.

A Microplaca Luis Alves, ou Terreno Luis Alves representa a única exposição de áreas cratônicas em relação ao Ciclo Brasileiro nos Estados de São Paulo, Paraná e Santa Catarina onde predominam rochas gnáissico-granulíticas ortoderivadas do Complexo Serra Negra (Silva *et al.*, 1981) denominadas por Vasconcelos *et al.* (1999) como Suíte Alto Turvo de idades Arqueanas (2720-2580 Ma) a Paleoproterozóicas (2250-1850 Ma) (Siga Júnior *et al.*, 1993; Siga Junior, 1995). É a sede principal das manifestações magmáticas da Província Graciosa sendo limitada a E pelo Cinturão Granitóide Costeiro e a S pelo Cinturão Dom Feliciano.

O Cinturão Granitóide Costeiro - Terreno Costeiro ou Cinturão Móvel Paranaguá - hospeda biotita-monzogranitos porfíricos, formados durante o Brasiliano (ca. 620-610 Ma) além de xistos, gnaisses e anfibolitos representantes de rochas encaixantes (Basei *et al.*, 1992; Siga Jr. *et al.* 1993).

3.1. Província Graciosa

A Província Graciosa, originalmente denominada Suíte Intrusiva Serra do Mar (Kaul, 1984, cf. Figura 3), reúne cerca de uma vintena de plútons, maciços ou complexos graníticos e sieníticos orientados segundo NE e distribuídos paralelamente ao litoral desde a região nordeste de Santa Catarina até o sudeste de São Paulo ao longo da Serra do Mar.

Diversas associações petrográficas do final do Neoproterozóico formadas por rochas graníticas e sieníticas compõem a Província Graciosa, às quais se associam rochas intrusivas básico-intermediárias - gabros, dioritos e monzodioritos - e rochas vulcânicas básicas e ácidas que constituem uma típica associação bimodal. Os maciços são intrusivos principalmente em rochas granulíticas arqueanas e em gnaisses e migmatitos paleo- a neoproterozóicos e se dispõem mais ou menos paralelamente ao contato entre a Microplaca Luis Alves e o Cinturão Granitóide Costeiro (Kaul, 1984; Siga Jr. *et al.* 1993).

Os corpos graníticos que compõem a Província Graciosa apresentam geometria com formas que vão desde irregulares a subcirculares e estruturas isótropas e ou orientadas que corroboram a idéia de que a colocação dos corpos se deu em ambiente extensional. As estruturas e texturas, a associação com rochas vulcânicas, bem como alguns dados geobarométricos (Vlach & Gualda, 2007; Vilalva, 2008) indicam ainda que os magmas cristalizaram-se em níveis crustais relativamente rasos. De acordo com Kaul (1997), falhas extensionais, associadas a uma dinâmica rúptil propiciou a colocação dos maciços.

3.1.1. Associações de rochas graníticas e sieníticas

As rochas graníticas e sieníticas da Província são reunidas em duas associações petrográficas principais (Gualda & Vlach, 2007a; Vlach & Gualda, 2007): uma denominada alcalina, outra aluminosa.

A associação alcalina é constituída por álcali-feldspato sienitos e quartzo sienitos metaluminosos, que evoluem para álcali-feldspato granitos peralcalinos. São rochas hololeucocráticas a leucocráticas, equigranulares, de granulação fina a média e de natureza *hipersolvus* cujos termos mais máficos apresentam olivina, piroxênios e anfibólios cálcicos,

enquanto os termos mais evoluídos apresentam anfibólios e piroxênios sódicos (Gualda & Vlach, 2007a, Gualda & Vlach, 2007b). As ocorrências mais típicas são o Maciço Corupá e partes dos Maciços Morro Redondo, Anhangava, Graciosa e Mandira.

A associação aluminosa é formada por sieno- e monzogranitos *subsolvus*, tipicamente leucocráticos a hololeucocráticos com estruturas maciças e granulação de fina a grossa. São rochas metaluminosas a marginalmente peraluminosas que apresentam biotita como mineral máfico característico, acompanhada por hornblenda nas variedades mais máficas (Gualda & Vlach, 2007a). Esta associação aflora, entre outros, nos Maciços Morro Redondo, Anhangava, Graciosa, Mandira, Alto Turvo e Agudos.

3.1.2. Rochas gabro-dioríticas e rochas vulcânicas básico-intermediárias

Gabros e dioritos afloram subordinadamente em diversas áreas da Província, juntamente com as associações alcalina e aluminosa, caracterizando um magmatismo contemporâneo embora contrastado. Quartzo-dioritos e monzodioritos são predominantes enquanto gabros e quartzo-gabros são reconhecidos apenas nos Maciços Rio Negro e Palermo. As relações estruturais, texturais e micro-estruturais indicam coexistência e mistura parcial dos magmas básico-intermediários com os magmas sieníticos e graníticos (Gualda, 2001; Gualda & Vlach, 2007a, Vlach & Gualda, 2007).

Rochas vulcânicas associadas às rochas plutônicas afloram em volume significativo na região do Maciço Morro Redondo e integram as bacias vulcanossedimentares de Campo Alegre, Guaratubinha e Corupá (cf. Figura 3, Prazeres Filho *et al.*, 2003; Heilbron *et al.*, 2004) e constituem uma típica associação bimodal. A presença de bacias vulcanossedimentares contemporâneas associadas aos diversos maciços graníticos evidenciam a colocação destes em níveis crustais rasos. (Gualda & Vlach, 2007a). Estas bacias apresentam arenitos e conglomerados na base seguidos de rochas vulcânicas ácidas.

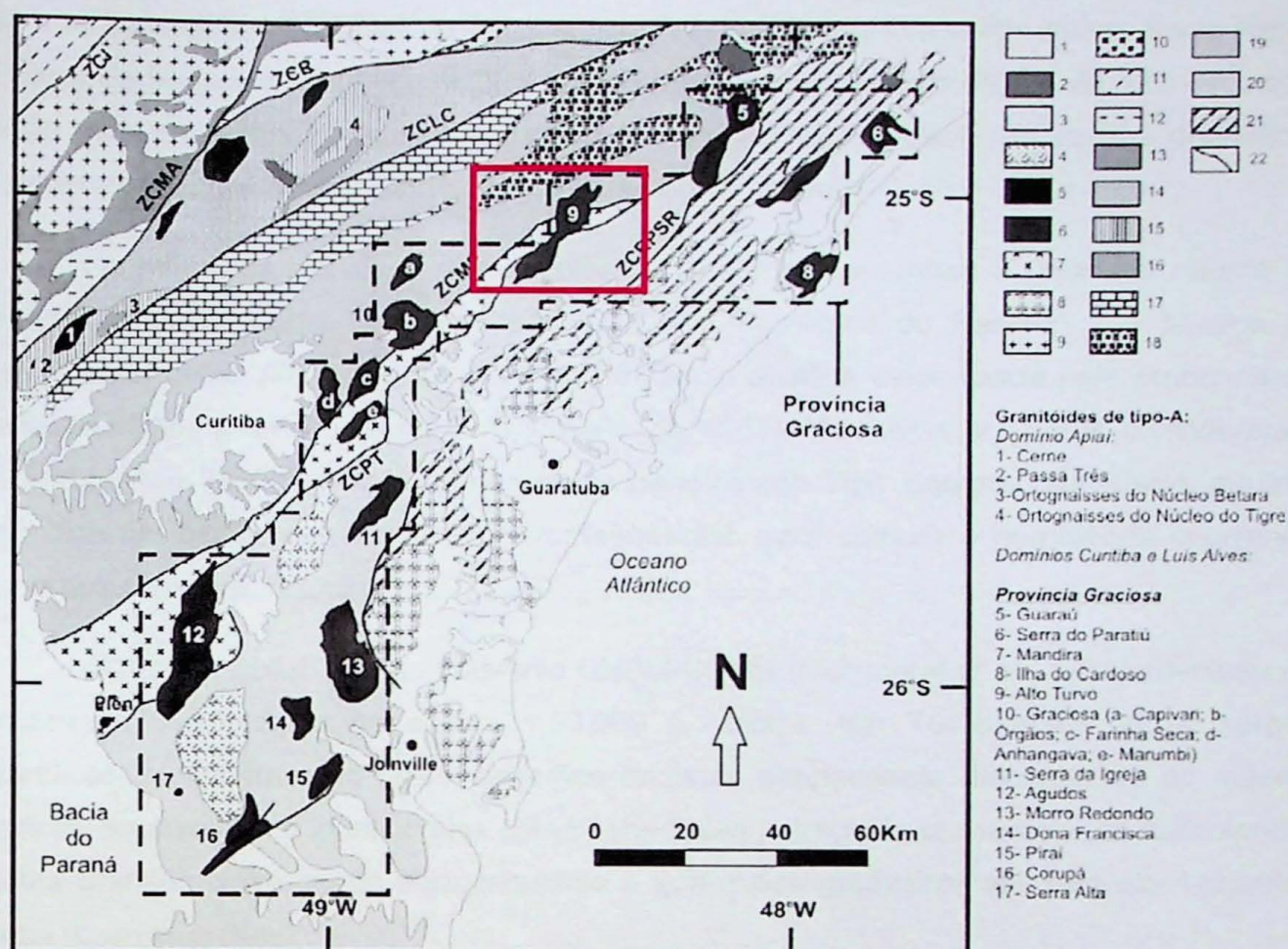


Figura 3. Mapa geológico esquemático das principais unidades geológicas do sul-sudeste brasileiro (adaptado e modificado de Prazeres Filho et al., 2003 e Heilbron et al., 2004). 1-Coberturas Fanerozóicas; 2-Complexos alcalinos mesozóicos; 3-Bacia Eopaleozóica; 4-Bacias Neoproterozóicas; [Neoproterozóico] 5-Stocks graníticos de características de tipo-A do Domínio Apiaí; 6-Granitos e sienitos de tipo-A da Província Graciosa; 7-Batólito cálcio-alcalino Piên-Mandirituba; 8-Batólito Paranaguá; DOMÍNIO APIAÍ: 9-Batólito Três Córregos e Stocks graníticos menores; 10-Formação Iporanga; 11-Grupo Itaiacoca; 12-Subgrupo Lageado; [Mesoproterozóico] 13 - Formação Águas Claras; 14-Formação Votuverava; [Paleoproterozóico] 15-Formação Perau; 16-Núcleos granito-gnáissicos alcalinos (tipo-A); DOMÍNIO CURITIBA: [Neoproterozóico] 17-Formação Capiuri; 18-Sequência Turvo-Cajati; [Paleoproterozóico] 19-Complexo Atuba; DOMÍNIO LUÍS ALVES: [Arqueano-Paleoproterozóico] 20-Complexo Granulítico de Santa Catarina; DOMÍNIO PARANAGUÁ: [Neoproterozóico] 21-Metassedimentos protomiloníticos (Sequência Rio das Cobras); 22-Zonas de cisalhamento (ZCI: Zona de Cisalhamento Itapirapuã; ZCMA: Morro Agudo; ZCR: Ribeira; ZCLC: Lancinha-Cubatão; ZCMP: Mandirituba-Piraquara; ZCRPSR: Rio Palmital-Serrinha; ZCPT: Piên-Tijucas. O quadrado em vermelho delimita a área de estudo.

3.2. O Maciço Alto Turvo

O Maciço Alto Turvo (Figura 3, ver também Kaul, 1997) aflora na região limítrofe entre os estados de São Paulo e Paraná, ocupando parte das folhas Rio Turvo, Serra Negra e Serra da Virgem Maria (Figura 2). Apresenta área superficial da ordem de 120 km², com forma mais ou menos irregular, alongada na direção NE, intrusivo em rochas gnáissicas Paleoproterozóicas a Arqueanas do Complexo Serra Negra.

Os primeiros trabalhos que envolveram o Maciço remontam a uma das etapas do mapeamento geológico da “Comissão da Carta Geológica do Paraná”. O Maciço foi interpretado como um corpo intrusivo de tendência alcalina evidenciada pela presença de anfibólio sódico e textura granular (Cordani *et al.*, 1967). Melcher *et al.* (1973), consideraram o Maciço Alto Turvo como pertencente ao denominado Tipo Equigranular. Estes autores identificaram biotita como mineral ferromagnesiano mais comum e hornblenda ocorrendo subordinadamente.

O projeto SUDELPA do convênio DNPM-CPRM (Morgental *et al.*, 1975) envolveu no mapeamento geológico na escala 1:50.000 o Maciço Alto Turvo entre outros corpos graníticos. Neste trabalho foram descritos contatos parcialmente discordantes do maciço com as encaixantes e identificados como variedades petrográficas mais típicas hornblenda-biotita granitos cinza claros equigranulares e porfiróides grosseiros além de álcali-granitos cinza rosados grosseiros.

Segundo Kaul (1997), os litotipos presentes no Granito Alto Turvo correspondem a hornblenda biotita granitos de coloração cinza clara ou cinza rosada, equigranulares, isótopos, de granulação grossa, constituídos por feldspato alcalino pertítico, plagioclásios (albita e oligoclásio), quartzo, hornblenda verde e biotita castanha, além de minerais acessórios como titanita, allanita, fluorita, zircão, apatita e opacos. Estas rochas, próximo às falhas que seccionam o maciço, apresentam-se catacladasas.

Quanto à caracterização da idade e ambientação tectônica, verifica-se que o Alto Turvo é um dos maciços em que há grande carência de dados geológicos mais detalhados, o que gera diversas controvérsias. Cordani & Bittencourt (1967) apresentam uma determinação K/Ar para um granito equigranular, que resultou em idade de 630 ± 20 Ma, permitindo situá-lo no período sin- a tardi-tectônico do então denominado Ciclo Brasileiro. Silva *et al.*, (1981) incluíram o Maciço no conjunto dos granitóides pós-cinemáticos brasileiros. Kaul (1984) incluiu o Granito Alto Turvo na Suíte Intrusiva Serra do Mar, assumindo o seu caráter anorogênico e idade Eo-paleozóica. Uma determinação U-Pb (ID-TIMS) em frações de zircão para uma variedade de biotita monzogranito resultou em idade de intercepto superior (forçado na origem) de 593 ± 34 Ma (O. Siga Jr., inédito).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento da monografia foi baseado em diversas atividades que envolveram etapas de trabalhos de campo e de coleta de amostras representativas além de atividades laboratoriais, as quais incluíram análise e preparação de mapas com dados aerogamaespectrométricos disponíveis, petrografia, geoquímica de rocha total e mineral. Parte das atividades laboratoriais foram desenvolvidas na Universidade Federal do Paraná (UFPR), como parte de estágio, dedicado principalmente à análise e interpretação de mapas aerogamaespectrométricos, sob orientação do Dr. Francisco J. F. Ferreira. Os procedimentos e métodos de trabalho utilizados são descritos com detalhe a seguir.

4.1. Pesquisa Bibliográfica

A pesquisa bibliográfica foi realizada continuamente durante o desenvolvimento do trabalho, contando-se com o acervo da Biblioteca do IGc-USP e com o conteúdo de sistemas de dados como o portal de periódicos da CAPES, FAPESP e SciELO. Os objetivos desta foram a familiarização com a informação geológica regional e local existentes e com procedimentos de análise e tratamento dos dados obtidos.

4.2. Levantamentos de Campo

Foram realizadas duas etapas de trabalhos de campo, visando o reconhecimento da área de estudo e amostragem. A primeira delas foi efetuada em um período de três dias em Março de 2009. Esta etapa fez parte das atividades envolvidas no estágio então em andamento no Instituto Geológico sob orientação do Dr. Francisco A. Negri, diretor da Divisão de Geologia do Instituto. Nesta etapa foram analisados, descritos e amostrados 22 afloramentos do Maciço Alto Turvo e suas encaixantes regionais.

A segunda etapa, com duração de quatro dias ocorreu durante o mês de Setembro de 2010. Nesta, foram levantados perfis orientados segundo NW-SE com o intuito de alcançar a porção mais central do Maciço. Por se tratar de uma região de densa cobertura vegetal e relevo acidentado não foi possível realizar avanços significativos. Nesta etapa, 30 pontos foram visitados. Assim, foram totalizados 52 afloramentos, cuja localização é apresentada no mapa de pontos da Figura 4 (Anexo I).

As atividades de campo foram realizadas tendo como referências o mapa geológico compilado a partir de dados provenientes do projeto Integração Geológica Vale do Ribeira –

Litoral Sul de autoria do Instituto Geológico (no prelo) e nas folhas topográficas 1:50.000 do IBGE.

A localização precisa dos afloramentos estudados foi efetuada com Sistema de Posicionamento Geográfico portátil Garmim (GPSMap 76CsX). Utilizou-se também de suscetibilímetro magnético para medições *in situ*, que auxiliam na separação de tipos petrográficos e de bússola modelo *Clar* para determinações de atitudes de estruturas planares.

4.3. Otimização do Mapa Geológico

O mapa geológico apresentado nesta monografia (Figura 5 - Anexo II) é uma compilação dos dados obtidos no projeto *Integração Geológica Vale do Ribeira – Litoral Sul* de autoria do Instituto Geológico (no prelo) com os dados apresentados na folha Curitiba (SG-22) na escala 1:1.000.000 de autoria da CPRM (2004).

Devido às limitações relacionadas às características naturais da área de estudo, os contornos definidos para o Maciço Alto Turvo foram revisados com base nos dados obtidos nos levantamentos de campo e também com base nos padrões aero-gamaespectrométricos e no modelo digital do terreno (Figura 6 – Anexo IV) da Missão SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). A versão final foi preparada com o programa ArcGis9 – ArcMapTM, versão 9.3. No presente estágio de estudo, as variedades petrográficas definidas são indicadas com simbologia própria pontualmente, uma vez que a quantidade de informações não permite ainda esboçar contatos internos com o grau de confiança adequado.

4.4. Análise de Padrões Aero-gamaespectrométricos

O Maciço Alto Turvo aflora em uma região onde as condições de acesso e a qualidade de afloramentos frescos *in situ* não são as mais adequadas. Assim, como ferramenta de suporte foi utilizada a assinatura aero-gamaespectrométrica - expressa por mapas de contorno das intensidades relativas devidas a radiação de K, Th e U convertidas em quantidades equivalentes, e suas relações. Estas informações permitem, em geral, obter um traçado mais realista dos contatos entre granitos e rochas encaixantes devido às abundâncias significativas destes elementos em granitos de “tipo-A”, quando comparadas às observadas em rochas gnáissicas e migmatíticas típicas do embasamento ou ainda rochas graníticas cálcio-alcalinas mais antigas (Ulbrich *et al.*, 2009, parte II). Foram utilizados os dados digitais georreferenciados disponibilizados pela CPRM através do *Projeto Aerogeofísico Serra do Mar Sul* executado pela GEOFOTO (GEOFOTO, 1978) para a

região, reprocessados pelo *Brazil Airbone Radiometric Mapping Project* (BARMP, 1997) envolvendo correções de micronivelamento e transformações das contagens por segundo (cps) para ppm de eU e eTh e % em peso de K, através de retrocalibração (Minty, 1991).

O tratamento destes dados foi realizado no LPGA – Laboratório de Pesquisas em Geofísica Aplicada - da Universidade Federal do Paraná (UFPR) e se deu sob a supervisão do Dr. Francisco José Fonseca Ferreira durante estágio de três dias realizado em Agosto de 2010. Contamos também, para a confecção das imagens, com o auxílio do doutorando Luís Gustavo de Castro, orientado pelo professor Dr. Ferreira. . Uma discussão geral sobre o método e referências específicas podem ser obtidos em Ulbrich et al. (2009, Geologia USP, parte I).

As imagens apresentadas nesta monografia foram tratadas no programa Oasis Montaj 7.2 da GeoSoft integrando os contornos geológicos com os mapas em *color-scale* representando a distribuição da contagem total (CT, que representa a somatória das contagens de K, U e Th) e os teores quantitativos dos elementos K em porcentagem, U e Th em equivalentes, expressos como eU e eTh em ppm (mapas diretos). Foram também gerados mapas para razões eU/eTh, eU/K, eTh/K, para o fator $F=K*(eU/eTh)$ e ternário K-U-Th (mapas derivados). Os mapas descritos podem ser visualizados nas Figuras 7 a 15 (Anexo V).

4.5. Análises Petrográficas

Foram preparadas 14 seções delgadas convencionais, representativas das principais variedades de rochas amostradas nos trabalhos de campo. A descrição petrográfica destas amostras enfatizou a identificação da mineralogia máfica e acessória e as relações texturais e micro-estruturais entre as fases minerais. Os trabalhos foram efetuados no Laboratório de Microscopia Petrográfica do Departamento de Mineralogia e Geotectônica do IGc-USP com o microscópio *Olympus* modelo BXP-40, com apoio de literatura petrográfica geral (Mackenzie et al., 1982; Willians et al., 1982).

A documentação digital das características mineralógicas, texturais e/ou micro-estruturais das amostras, parte da qual foi utilizada também como apoio para as atividades analíticas realizadas no Laboratório de Microsonda, foi efetuada durante o estágio na UFPR, no Laboratório de Análises de Minerais e Rochas (LAMIR), com a utilização do microscópio *Olympus* modelo BX60 acoplado a câmera Sony CCD-IRIS. Para a captação e tratamento das imagens foi utilizado o programa Image - Pro Plus disponível no laboratório.

4.6. Determinações Modais

Para a classificação petrográfica das amostras estudadas de acordo com a International Union of Geological Sciences (IUGS, cf. Streckeisen, 1978 e Le Maitre, 2002) foram efetuadas determinações modais utilizando *charriot* acoplado ao microscópio *Leitz Wetzlar* e contador manual de pontos modelo *Clay-Adams*. O espaçamento empregado foi de 0,5 mm para as amostras de granulação média a grossa e 0,2 mm para amostras de granulação fina. Foram contadas 14 amostras, totalizando-se, em média, entre 1200 a 1500 pontos para cada amostra. Os resultados modais são apresentados na Tabela 1 do Anexo VII desta monografia.

4.7. Suscetibilidade Magnética

A suscetibilidade magnética é a relação entre o momento magnético e o volume unitário definidos como J e H respectivamente ($SM=J/H$) sendo diretamente proporcional ao volume modal de minerais que apresentam propriedades magnéticas (Sauck, 1972). É uma quantidade representada em unidades SI e que permite diferenciar muito apropriadamente as rochas graníticas e sieníticas das associações alcalina e aluminosa (Gualda & Vlach, 2007a), bem como rochas submetidas a processos de alteração hidrotermal.

As medidas de suscetibilidade foram efetuadas em campo, utilizando o suscetibilímetro portátil SM-30, em amostras frescas e em superfícies relativamente planas. Em média foram tomadas 7 medidas para cada amostra. O tratamento dos resultados foi feito no programa *Microsoft Excel 2007*. Os resultados constam na Tabela 2 do Anexo VII.

4.8. Análises Químicas em Minerais

Análises químicas quantitativas pontuais através de dispersão de comprimentos de onda (WDS) foram obtidas no Laboratório de Microsonda Eletrônica do Departamento de Mineralogia e Geotectônica do IGc-USP, com o equipamento JEOL JXA-8600S, durante um período de dois dias em Outubro de 2010. As condições analíticas foram 15 kV, 20 nA e 5 μ m para a voltagem de aceleração da coluna, corrente e diâmetro do feixe eletrônico, respectivamente. As rotinas analíticas e os padrões utilizados como referência corresponderam aos normais, usualmente utilizados no laboratório.

Foram selecionadas sete seções delgadas-polidas cobertas com uma película de C com aproximadamente 250 nm de espessura. Em cada amostra foram analisados, com

base nas descrições petrográficas, entre 4 a 6 cristais menos alterados das principais fases minerais.

O trabalho focou a caracterização geral do quimismo, com análises das fases minerais máficas (biotita, anfibólio e piroxênio) e de plagioclásio. Alguns dos cristais analisados, particularmente plagioclásio, mostram algum zoneamento composicional. Os resultados químicos obtidos são apresentados nas Tabelas 4 a 7 do Anexo VIII.

O tratamento dos dados como conversão em proporções de cátions e de moléculas foi efetuado com o programa MinCalc (Gualda & Vlach, inédito) e programas convencionais para representações gráficas e elaboração de diagramas de classificação.

4.9. Análises Químicas em Rocha Total

Oito amostras selecionadas do Maciço Alto Turvo foram analisadas para os elementos maiores, menores e traços por Fluorescência de Raios X no Laboratório de Fluorescência do Departamento de Mineralogia e Geotectônica do IGc-USP.

As amostras foram preparadas no Laboratório de Tratamento de Amostras (LTA) do Instituto de Geociências. Cerca de 1 a 5 kg de material fresco foram cominuidos com marreta e britador de mandíbulas. Uma alíquota obtida por quarteamento do material original com cerca de 60 a 80 g foi transformada em pó com granulação inferior a 200 mesh em moinho de disco de ágata. Uma alíquota do pó foi micronizada para a preparação de pastilhas prensadas servindo de objeto para a análise dos elementos traços; outra parte foi fundida para as análises dos elementos maiores e menores. A determinação da perda ao fogo foi feita por gravimetria, após queima do pó. Os procedimentos adotados correspondem aos utilizados no laboratório (Mori *et al.*, 1999). Para aferição da acurácia e da reprodutibilidade dos resultados, foram analisados paralelamente o padrão JG1a e uma réplica da amostra AT-15D. Os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 8 e 9 do Anexo IX.

O tratamento dos dados e os diagramas de classificação foram efetuados com planilhas do programa *Microsoft Excel 2007* além de programas específicos de tratamento e diagramação de dados litogeoquímicos. As normas CIPW foram calculadas com planilha inédita desenvolvida por J. Lowestern do USGS.

5. RESULTADOS OBTIDOS

5.1. Geologia geral

Os granitos e sienitos presentes no Maciço Alto Turvo são intrusivos em rochas gnáissicas Paleoproterozóicas a Arqueanas do Complexo Serra Negra também denominado de Suíte Alto Turvo (Vasconcelos et al., 1999) pertencentes ao Terreno Luis Alves. As rochas gnáissicas são caracterizadas por bandamento composicional com predomínio de rochas de composição anfibolítica.

A W o maciço granítico faz limite com a Suíte Rio Piên (Siga Júnior *et al.*, 1993), caracterizada por apresentar rochas graníticas deformadas mais antigas, colocadas nas zonas de contato entre os Terrenos Curitiba e Luis Alves. São granitóides miloníticos, cuja foliação é marcada pela orientação de minerais máficos e porfiroclastos de feldspato potássico. Nesta porção o Maciço se limita também com gnaisses representantes do Complexo Atuba que apresentam bandamento composicional bastante evidente com bandas félsicas quartzo-feldspática e bandas máficas anfibolíticas caracterizado também pela foliação subvertical. A relação de contato do Granito Alto Turvo com as encaixantes pode ser visualizada no mapa geológico (Figura 5 - Anexo II).

Duas importantes zonas de cisalhamento estão associadas ao corpo granítico em questão: a Zona de Cisalhamento Faxinal (ZCF) que marca o contato da Suíte Ruio Piên e da porção N do Maciço Alto Turvo com os gnaisses do Complexo Atuba e a Zona de Cisalhamento Piên-Tijucas (ZCPT). Esta parece atravessar o maciço na direção NE-SW. Devido à dificuldade de se encontrar afloramentos *in situ* o controle estrutural do Maciço não pode ser realizado.

Durante as atividades de campo foi possível distinguir seis tipos petrográficos distintos pertencentes ao maciço que serão discutidos a seguir.

5.1.1 Variedades petrográficas

Os trabalhos de campo aliados a petrografia permitiram identificar nas áreas examinadas tipos contrastados de rochas graníticas, os quais são definidos a seguir:

- **Biotita Monzogranitos I:** fácies petrográfica predominante no maciço. Ocorrem principalmente na porção N da área estudada e tem como afloramentos típicos os pontos AT-08, AT-09, AT-22 e AT-23. Macroscopicamente estas rochas apresentam estrutura maciça e textura inequigranular de granulação média. A coloração rosada proveniente dos cristais de feldspato alcalino é típica destas rochas o que auxilia na distinção em campo. São rochas hololeucocráticas com IC variando de 2% a 4% e

valores médios de suscetibilidade magnética na ordem de $3,0 \times 10^{-3}$ SI. É comum a presença de diques aplíticos de composição granítica cortando estas rochas (Anexo III, Foto 1).

Em campo o mineral máfico identificado é a biotita, que ocorre muitas vezes em formatos alongados. São rochas relativamente ricas em quartzo enquanto feldspato alcalino e plagioclásio ocorrem em proporções similares.

- **Biotita Monzogranitos II:** esta variedade distingue-se da primeira pela diferença na coloração e na granulação. Os afloramentos AT-15, AT-17 e AT-38 localizados na porção NW do Maciço representam estas rochas. Em geral, apresentam estrutura maciça, inequigranularidade marcante e granulação grossa (Anexo III, Foto 2). São rochas leucocráticas com IC entre 6% e 7% e coloração rosa claro que se aproxima de um tom creme. A suscetibilidade magnética destas rochas apresenta valor médio de $3,2 \times 10^{-3}$ SI. Enclaves microgranulares centimétricos a decimétricos foram encontrados em algumas amostras desta variedade petrográfica (Anexo III, foto 3).

Assim com nos monzogranitos I, biotita representa a principal fase mineral máfica.

- **Biotita Granodioritos:** no Maciço Alto Turvo esta fácies petrográfica ocorre como enclaves nos monzogranitos II e em áreas de maiores altitudes visitadas em campo, como na região da Serra Pelada situada na porção W do maciço (afloramento AT-36), esta variação petrográfica é predominante ocorrendo como matacões de feições geométricas menos arredondadas.

Como enclaves apresentam formato arredondado e tamanhos centimétricos a decimétricos com contatos bruscos a difusos com o granito hospedeiro. É possível encontrar feições de enclaves duplos com núcleos sutilmente mais máficos apresentando cristais de biotita alongados (Anexo III, Fotos 4 e 5). Em geral, podemos caracterizar estes enclaves como microgranulares, leucocráticos com IC em torno de 11% e coloração acinzentada. Os valores de suscetibilidade magnética nestes enclaves são baixos, em torno de $0,15 \times 10^{-3}$ SI. Fenocristais de feldspato alcalino de dimensões centimétricas estão presentes como xenocristais provenientes da rocha hospedeira (Anexo III, Foto 6). Em algumas amostras os enclaves estão associados a estruturas de fluxo (Anexo III, Foto 7).

As rochas granodioríticas, quando ocorrem como matacões, apresentam estrutura maciça, textura equigranular, granulação fina e coloração acinzentada com IC em torno de 18% (Anexo III, Foto 8). A suscetibilidade magnética apresenta valores médios na ordem de $6,0 \times 10^{-3}$ SI. Como nos enclaves, xenocristais de feldspato alcalino e plagioclásio de tamanhos centimétricos ocorrem com frequência.

A granulação fina destas rochas prejudica a distinção mineralógica realizada em campo.

- **Álcali-feldspato Granitos e Sienogranitos:** esta fácies petrográfica é representada por álcali-feldspato granitos com estrutura maciça, textura inequigranular de granulação média a grossa e coloração cinza esverdeado. São rochas hololeucocráticas com IC variando de 4% a 7% (Anexo III, Foto 9) e valores médios de suscetibilidade magnética na ordem de $2,3 \times 10^{-3}$ SI. Entre os afloramentos desta variedade podemos destacar os pontos AT-04 no extremo SW do Maciço e AT-19 e localizados a W.

Os sienogranitos também apresentam estrutura maciça. Já a textura é inequigranular de granulação média a grossa a porfirítica de média densidade com megacristais de feldspato alcalino de 1,0 a 1,5 cm. Os sienogranitos são leucocráticos com índice de cor (IC) variando de 8% a 11% e com suscetibilidade magnética apresentando valores médios de $3,8 \times 10^{-3}$ SI. Sua coloração acinzentada a cinza rosada típica ajuda na diferenciação em campo (Anexo III, Foto 10). Esta variedade petrográfica é encontrada no extremo SW (AT-01) e também na porção N do Maciço (afloramentos AT-06, AT-28 e AT-29).

Em campo é possível distinguir que os álcali-feldspato granitos e os sienogranitos apresentam anfibólio como o mineral máfico principal ocorrendo como cristais bem formados. Biotita nestas rochas ocorre subordinada ao anfibólio. Entre os minerais félsicos, o feldspato alcalino é predominante enquanto plagioclásio ocorre em baixas proporções chegando a ser inexistente em algumas amostras.

- **Quartzo Monzonitos:** as rochas quartzo-monzoníticas foram encontradas em campo sempre no contato do Maciço Alto Turvo com suas encaixantes. A princípio, estas rochas foram classificadas como charnockitos, mas a ausência de ortopiroxênio nas amostras descartou esta classificação. São rochas maciças e apresentam textura inequigranular de granulação grossa caracterizadas pela cor esverdeada com IC em torno de 11% e suscetibilidade magnética baixa quando comparada as demais variedades petrográficas com valores em torno de $0,6 \times 10^{-3}$ SI.

5.1.2. Contatos

Contatos Externos

Embora a área onde aflora o Maciço Alto Turvo seja caracterizada pela cobertura vegetal densa e pela topografia acidentada é possível inferir adequadamente parte de seus contatos externos com as encaixantes regionais, principalmente nas regiões N e W do maciço cortadas pela rodovia BR-116. Já na porção S-SE e a na porção E a falta de acessos dificulta muito a delimitação do corpo granítico.

As rochas pertencentes ao Maciço apresentam caráter intrusivo constatado pela presença de xenólitos de um granitóide porfiritico foliado e bastante deformado, apresentando pequenas dobras intrafoliares e porfiroclastos de feldspato alcalino de tamanhos centimétricos possivelmente representante das rochas da Suíte Rio Piên. O contato do granito com os xenólitos é bastante difuso comprovando o caráter da injeção magmática. (Anexo III, Fotos 11 e 12).

O contato do Maciço Alto Turvo com as rochas da Suíte Rio Piên ocorre a W. A NW o Maciço faz contato com os gnaisses pertencentes ao Complexo Atuba, mas em campo não havia afloramentos que marcassem com clareza este contato. Da mesma maneira os contatos a E com os gnaisses retrabalhados do complexo Serra Negra não puderam ser determinados.

Já que o controle de campo não foi suficiente para se traçar os contatos do Maciço com suas encaixantes foram utilizados os dados digitais de elevação (SRTM) que permitiram, juntamente com as descrições de afloramentos, traçar um contorno mais realista para o Maciço. Levando em consideração que as rochas graníticas correspondem às maiores elevações é possível através desta imagem distinguí-las das demais rochas pertencentes ao contexto geológico da área de estudo (Figura 6 - Anexo IV).

Além da imagem SRTM os dados de aero-gamaespectrometria da área, que serão discutidos mais detalhadamente no item 5.2 deste trabalho, também foram utilizados para auxiliar na definição dos contatos externos do Maciço Alto Turvo já que as rochas graníticas geralmente apresentam concentrações relativamente altas de K, Th e U correspondendo a anomalias positivas nestes mapas. Os valores utilizados como guias para diferenciar as rochas do Maciço dos gnaisses mais típicos do embasamento e delimitar o corpo granítico foram os seguintes: concentrações de K variando entre 1,67% e 3,0%; Th com concentrações acima de 17 ppm e U com valores acima de 4,44 ppm.

Assim, com o emprego destas ferramentas, foi possível melhorar os contornos do Maciço Alto Turvo apresentados no mapa geológico do (Figura 5 - Anexo II). Em relação aos

mapas anteriores algumas áreas foram simplificadas como os prolongamentos existentes a N e a W.

Contatos Internos

Os trabalhos de campo juntamente com a análise petrográfica das principais amostras do Maciço Alto Turvo permitiram a identificação de domínios onde ocorrem mais tipicamente as variedades petrográficas já definidas, com monzogranitos ocorrendo na porção N do Maciço (pontos AT-08, AT-09, AT-22, AT-23) e álcali-feldspato granitos e sienogranitos presentes principalmente nas porções W e SW da área estudada (Pontos AT-01, AT-04, AT-19, AT-40A). Porém os dados existentes não permitem a definição de contatos entre as variedades ou qualquer tipo de zoneamento interno dos corpos.

Por outro lado, as imagens aero-gamaespectrométricas, discutidas no item seguinte, parecem sugerir que o Maciço Alto Turvo deve ser constituído de intrusões (plutons) separadas. A distribuição das intensidades totais e do eTh indicam 4 ou 5 zonas de máximos, separadas por intensidades menores. Estes máximos eventualmente podem representar intrusões (plutons) distintas (ver, situação similar na região da Serra da Graciosa, cf. Gualda & Vlach, 2007a e discussão em Gualda *et al.* 2001). Entretanto somente dados geológicos de maior detalhe poderão ou não confirmar esta hipótese.

Lineamentos e Zonas de Cisalhamento

Os mapas geológicos disponíveis da área indicam a presença de duas zonas de cisalhamento importantes na área de estudo: A Zona de Cisalhamento Faxinal que está associada à divisão dos Terrenos Curitiba e Luis Alves e marca o contato da Suíte Rio Piên com o Complexo Atuba e a Zona de Cisalhamento Piên-Tijucas que parece interceptar o Maciço Alto Turvo na direção NE-SW. Em campo não foi possível relacionar a ação desta última zona de cisalhamento com o Maciço. Trabalhos anteriores (Kaul, 1997) se referem a porções cataclásticas do granito que não puderam ser identificadas nas atividades de campo realizadas.

Na imagem que corresponde aos dados digitais de elevação é possível ainda identificar um padrão estrutural representado por lineamentos de direção WNW- ESE. Em campo este controle estrutural, possivelmente associado a uma deformação de caráter rúptil, pode ser acompanhado em alguns afloramentos onde os blocos apresentavam faces planas nesta mesma orientação (ver fotografias na Figura 6 - Anexo IV). Devido à dificuldade de acesso, medidas não puderam ser tomadas.

5.2. Dados Aero-gamaespectrométricos

A aero-gamaespectrometria pode se converter em ferramenta muito útil de suporte para o mapeamento de rochas graníticas, particularmente as de “tipo-A”, devido às abundâncias significativas dos elementos K, U e Th quando comparadas às observadas em rochas gnáissicas e migmatíticas mais típicas do embasamento cristalino ou mesmo rochas graníticas cálcio-alcalinas. Esta técnica geofísica consiste na medição da radiação gama gerada a partir dos isótopos filhos destes elementos durante o decaimento radioativo natural (Adams e Gasparini, 1970). Fatores como efeitos climáticos, presença ou não de cobertura vegetal e propriedades físicas das fontes radioativas devem ser considerados, pois alteram as concentrações dos radionuclídeos comprometendo a interpretação das imagens (Minty, 1997).

O K é um elemento que aparece em abundância média de 1,5% na crosta continental total, concentrado na crosta superior. O U apresenta abundância média de 1,3 ppm enquanto o Th tem teor estimado de 5,6 ppm (Rudnick e Gao, 2004). O primeiro elemento está concentrado em feldspatos potássicos e minerais micáceos como biotita e muscovita. U e Th aparecem em concentrações variadas na estrutura de minerais acessórios, como allanita, apatita, fluorita, monazita, titanita e zircão substituindo outros cátions das estruturas minerais.

Em regiões de clima tropical, como é o caso da área onde aflora o Maciço Alto Turvo, sujeitas à forte intemperismo causado por regimes de chuvas e temperaturas elevadas, o Th, entre os três elementos em questão, apresenta comportamento relativamente mais estável, portanto a sua resposta gamaespectrométrica pode indicar teores próximos aos originais da rocha sã (Ulbrich *et al.*, 2009). O K, nestas condições, passa por processos de lixiviação associados à conversão de feldspatos em argilo-minerais pobres neste elemento. Processos de alteração hidrotermal também influenciam no comportamento e mobilidade destes elementos.

As imagens aero-gamaespectrométricas apresentadas no Anexo V representam cortes das imagens obtidas no Projeto Serra do Mar Sul (GEOFOTO, 1978) sobrepostas aos contornos extraídos do mapa geológico para facilitar a visualização da distribuição dos elementos em relação ao relevo da área e detectar possíveis dispersões dos radionuclídeos.

O mapa de contagem total dos elementos (Figura 7 - Anexo V) mostra uma resposta gamaespectrométrica alta, com anomalias significativas de valores entre 7,29 a 11,29 segundo uma faixa NE-SW associados à área do Maciço Alto Turvo. As maiores concentrações aparecem nas regiões mais elevadas, mostrando que as rochas graníticas sustentam as principais serras da região. Ainda neste mapa é possível visualizar que as

rochas gnáissicas do embasamento apresentam concentrações baixas de valores entre 1,35 a 3,25 representadas pelas cores azul e verde, facilitando assim a delimitação dos contornos externos do Maciço.

As concentrações de K do Maciço são em geral altas, acima de 1,67% com exceção da porção NE onde se identifica uma região anômala com concentrações menores deste elemento na ordem de 0,48% a 1,08% (Figura 8 - Anexo V). No mapa onde consta o modelo digital de elevação (Figura 6 - Anexo IV) percebe-se que esta zona é caracterizada por um vale associado a um controle estrutural de direção WNW-ESE. Aparentemente é neste vale que se localiza a rodovia BR-116. Além disto, esta região caracterizada por baixas concentrações de K é cortada por diversos rios que tem suas nascentes localizadas nas áreas de serra: são os rios Caçadorzinho e Cedro II que deságuam no Rio Turvo localizado a N do Maciço. Sendo assim uma explicação factível para os baixos valores de K nesta região estaria associada a processos intempéricos de remoção de radionuclídeos e a intensa movimentação de blocos por ser uma área topograficamente acidentada.

Por outro lado as concentrações de eTh e eU são bastante elevadas nesta mesma região o que pode ser verificado nos mapas derivados eTh/K e eU/K (Figuras 11 e 12 – Anexo V). Esta área anômala pode ser então caracterizada por uma variedade petrográfica empobrecida em feldspato potássico. Como não há coleta de dados nesta região devido à dificuldade de acesso não é possível comprovar esta hipótese.

O Th apresenta resposta gamaespectrométrica alta em toda a área do Maciço com valores entre 17,2 e 23,2 ppm (Figura 9 - Anexo V), um pouco elevados quando comparados com os obtidos através da análise química que apresenta média de 15 ppm de Th (Tabela 9 - Anexo IX). A resposta gamaespectrométrica deste elemento também está associada a sua alta estabilidade mesmo em ambientes muito suscetíveis ao intemperismo como é o caso da área estudada.

O mapa gamaespectrométrico do U (Figura 10 - Anexo V) também apresenta valores altos para este elemento em todo o Maciço, acima de 4,44 ppm bastante similares aos obtidos na análise geoquímica que apresentou valor médio de 5 ppm mas muito acima do valor estabelecido para a crosta superior (1,3 ppm, Rudnick e Gao, 2004).

Como as áreas enriquecidas em K, U e Th no Maciço Alto Turvo são em geral correspondentes, as relações eTh/K e eU/K (Figuras 11 e 12 – Anexo V) são convertidas em anomalias com baixos valores como efeito da divisão pelo elemento K. Esta correlação não se aplica para a região NE do maciço onde os valores de K já discutidos são menores. As altas concentrações de K em relação aos elementos Th e U também fica evidente no mapa do parâmetro F (Figura 13 - Anexo V).

Ainda em relação ao U e ao Th é possível notar no mapa derivado eU/eTh (Figura 14 - Anexo V) que não há uma correlação positiva entre estes dois elementos já que as áreas ressaltadas neste mapa não correspondem às áreas anômalas identificadas nos mapas de eU e eTh constatando-se que as rochas presentes no Maciço Alto Turvo são mais enriquecidas no elemento Th.

A análise do mapa ternário K-eTh-eU (Figura 15 - Anexo V) colabora para a delimitação do Maciço Alto Turvo onde as áreas claras correspondem às rochas enriquecidas nos três elementos além de corroborar as interpretações extraídas dos demais mapas gamaespectrométricos.

É interessante observar que os mapas de diretos de contagem total e especialmente os de concentrações de eTh e eU parecem sugerir 4 ou 5 máximos, que correspondem igualmente a máximos topográficos, os quais podem indicar a presença de corpos intrusivos ou plutons independentes. Como em campo não foi possível definir contatos entre as diferentes variedades petrográficas presentes no Maciço Alto Turvo esta hipótese ainda não pode ser confirmada.

3.3.1. Rocha Monzogítica

Rocha Monzogítica é a facie petrográfica predominante no Maciço Alto Turvo apresentando como principal ocorrência o porfiro A de alta cristalinidade e como alteração típica os porfiro AT-08, AT-09, AT-22 e AT-23. São rochas caracterizadas pela coloração rosada, com textura macia e fino a intermediária de grãos arredondados por causas de plagioclásio e cristais aluviais. São rochas basaltóicas com teores entre 2% a 4% e valores médios de susceptibilidade magnética na ordem de 10^{-3} SI.

Monzogitização da basaltóica caracteriza-se por alteração de textura predominantemente a basaltóica, independentemente da natureza da alteração de

5.3. Petrografia Geral

Passa-se a seguir as características petrográficas das rochas graníticas presentes no Maciço Alto Turvo anteriormente definidas no item 5.1.1. As determinações modais obtidas são apresentadas na Tabela 1 (Anexo VII). Estes valores foram lançados no diagrama modal de classificação (Streckeisen, 1967) representado na Figura 16.

Cabe adiantar que, entre as amostras selecionadas do maciço para os estudos mais detalhados, os biotita monzogranitos e granodioritos apresentam características similares com a associação aluminosa presente em vários outros maciços que compõem a Província Graciosa, uma vez que são rochas que apresentam tipicamente dois feldspatos (alcalino e plagioclásio) primários, portanto de natureza *subsolvus* e biotita como máfico mais típico, indicando caráter moderadamente peraluminoso.

A correlação dos álcali-feldspato granitos de aspecto “charnokítico” e sienogranitos já não é tão imediata. Rochas similares com cores verdes bem marcadas são mais típicas da associação alcalina, mas, pelo outro, rochas associadas mais diferenciadas de natureza tipicamente peralcalina estão ausentes ou, pelo menos, não foram encontradas durante os trabalhos de campo. Os álcali-feldspato granitos do Maciço apresentam mesopertita como único feldspato, sendo originalmente rochas *hipersolvus*, mas os sienogranitos apresentam algum plagioclásio sódico primário. O mineral máfico mais típico é um anfibólio cálcico, acompanhado frequentemente por allanita, indicando caráter metaluminoso, o qual é compartilhado pelos termos mais primitivos de ambas as associações alcalina e aluminosa, embora allanita seja acessório típico das rochas da associação aluminosa (Vlach & Gualda, 2007). Desta maneira serão necessários estudos mais detalhados para definir se a associação alcalina está ou não presente no Maciço Alto Turvo.

5.3.1. Biotita Monzogranitos I

Biotita Monzogranito é a fácies petrográfica predominante no Maciço Alto Turvo apresentando como área principal de ocorrência a porção N da área estudada e como afloramentos típicos os pontos AT-08, AT-09, AT-22 e AT-23. São rochas caracterizadas pela coloração rosada, com estrutura maciça e textura inequigranular de granulação média dada por cristais de plagioclásio e feldspato alcalino. São rochas hololeucocráticas com IC variando entre 2% a 4% e valores médios de suscetibilidade magnética na ordem de $3,0 \times 10^{-3}$ SI.

Microscopicamente os monzogranitos apresentam-se homogêneos. A textura predominante é a inequigranular hipidiomórfica constituída por cristais subédricos de

feldspato alcalino pertítico apresentando contatos externos irregulares e que representam de 23% a 38% em volume. Plagioclásio (andesina – An₃₂) ocorre como cristais subédricos, prismáticos e geralmente saussuritizados alcançando entre 23% a 31% em volume da rocha. Cristais de quartzo anédricos apresentam contatos poligonizados, alguns recristalizados e também irregulares, sinuosos a serrilhados (Foto 1 - Anexo VI).

Diferente das demais ocorrências petrográficas do maciço, estas rochas não apresentam anfibólio em sua composição. O mineral máfico predominante é a biotita que ocorre em cristais anédricos intersticiais (Foto 2 - Anexo VI) ou em formato ripiforme e em baixas proporções (entre 1,8 a 3,5%) com pleocroísmo característico do amarelado ao marrom.

Titanita, allanita, zircão e opacos constituem a mineralogia acessória nesta variedade petrográfica. Em geral os minerais acessórios ocorrem como cristais subédricos de forma aleatória na seção com exceção do zircão que se associa com os cristais de biotita e de feldspato alcalino na forma de inclusões.

5.3.2. Biotita Monzogranitos II

Esta variedade distingue-se dos monzogranitos I pela diferença na coloração e na granulação. Os afloramentos AT-15, AT-17 e AT-38 localizados na porção NW do maciço representam estas rochas. Apresentam coloração rosa claro que se aproxima de um tom creme, estrutura maciça, inequigranularidade marcada dada principalmente pelos cristais de feldspato alcalino que chegam a atingir 1,0 cm evidenciando a granulação grossa desta variedade. São rochas leucocráticas com IC entre 6% e 7%. A suscetibilidade magnética destas rochas apresenta valor médio de $3,2 \times 10^{-3}$ SI. Enclaves microgranulares foram encontrados em algumas amostras desta variedade.

A mineralogia não difere da encontrada nos biotita monzogranitos I. A diferença é apenas textural e não composicional. Sendo assim, as composições modais destas duas variedades são muito similares.

Ao microscópio a textura predominante é inequigranular hipidiomórfica caracterizada por cristais de feldspato alcalino subédricos com lamelas de exsolução pouco expressivas e por cristais de plagioclásio que também ocorre como cristais subédricos, tabulares, deformados (Foto 3 - Anexo VI) sem apresentar zoneamentos notáveis. A ocorrência deste mineral se associa também a pequenos agrupados de 4 a 5 cristais. Quartzo ocorre em geral nos interstícios das principais fases minerais, ocupando bolsões quartzosos ou cominuídos indicando a ação deformacional sobre estas rochas.

Assim com nos monzogranitos I, biotita representa a principal fase mineral máfica representando 5% do volume total da rocha. Os cristais de biotita são subédricos apresentando formatos ripiformes a subédricos com contornos irregulares. Podem ocorrer isoladamente ou formar pequenos glomérulos máficos. Alguns cristais apresentam evidências deformacionais (Fotos 4 e 5 - Anexo VI).

Entre os principais acessórios podemos citar titanita que ocorre na forma de cristais prismáticos (Foto 6 - Anexo VI) além de zircão e apatita granulares na forma de inclusões em biotita. Opacos representam menos que 0,5% do volume total da rocha e ocorrem sempre associados à mineralogia máfica principalmente nos agrupados.

5.3.3. Biotita Granodioritos

No Maciço Alto Turvo esta fácies petrográfica ocorre como enclaves nos monzogranitos II e em áreas de maiores altitudes visitadas em campo, como na região da Serra Pelada situada na porção W do maciço (afloramento AT-36), esta variação petrográfica é predominante ocorrendo como matacões de feições geométricas menos arredondadas.

Como enclaves apresentam formato arredondado e tamanhos centimétricos a decimétricos sendo caracterizados como microgranulares, leucocráticos com IC em torno de 11% e coloração acinzentada. Os valores de suscetibilidade magnética nestes enclaves são baixos, em torno de $0,15 \times 10^{-3}$ SI. Fenocristais de feldspato alcalino de dimensões centimétricas estão presentes como xenocristais provenientes da rocha hospedeira. Os contatos dos enclaves com o granito hospedeiro variam de brusco a difuso.

Quando ocorrem como matacões, apresentam estrutura maciça, textura equigranular, granulação fina e coloração acinzentada com IC em torno de 18%. A suscetibilidade magnética apresenta valores médios na ordem de $6,0 \times 10^{-3}$ SI. Como nos enclaves, xenocristais de feldspato alcalino e plagioclásio de tamanhos centimétricos ocorrem com frequência.

Microscopicamente esta fácies petrográfica apresenta granulação fina e textura equigranular alotromórfica a hipidiomórfica onde apenas os cristais de plagioclásio (oligoclásio, alcançando 36% do volume da rocha) são subédricos de formato tabular. Os cristais de quartzo predominante nas amostras que alcançam porcentagens em torno de 40%, e feldspato alcalino (variando entre 5% a 16% o volume total da rocha) são anédricos e apresentam contatos irregulares entre si. Formam uma matriz onde se destacam os xenocristais de plagioclásio de composição sutilmente mais cálcica (andesina), compatível

com os encontrados nos sienos e monzogranitos e também de feldspato alcalino em geral subédricos (Foto 7 - Anexo VI).

A mineralogia máfica é representada por cristais de biotita anédricos a subédricos (5 a 7,5% do volume da rocha) com pleocroísmo do amarelado ao marrom escuro que ocorrem definindo pequenos aglomerados máficos, mas também disseminados pela seção (Foto 8 - Anexo VI). Quando anfibólio está presente nestas rochas, geralmente na forma de cristais subédricos caracterizados pelo pleocroísmo do verde oliva ao verde escuro, também ajudam a compor os aglomerados máficos (Foto 9 - Anexo VI).

Entre os acessórios ocorrem titanita e opacos na forma de cristais subédricos espalhados pela seção (Foto 10 - Anexo VI) além de cristais euédricos de zircão associados aos aglomerados máficos. Como mineral de alteração ocorre clorita associada a alguns cristais de biotita.

5.3.4.Álcali- feldspato Granitos

São rochas que apresentam coloração verde acinzentada ou cinza esverdeada com textura inequigranular dada por cristais maiores de feldspato alcalino e granulação média a grossa. São rochas hololeucocráticas a leucocráticas, com IC variável entre 4% a 7%. Os afloramentos mais típicos destas rochas são representados pelos pontos AT-04, no extremo SW do maciço e AT-19. Algumas amostras apresentam diminutos enclaves microgranulares e/ou glomérulos ricos em minerais máficos (AT-04A e AT-04B).

Ao microscópio, são rochas relativamente homogêneas, com textura inequigranular hipidiomórfica dominada por feldspato alcalino tabular, a alotromórfica. Feldspato alcalino pertítico a mesopertítico (1,5 a 3,0 mm) é o mineral dominante, alcançando entre 57 e 67 % em volume da rocha. Ocorre como cristais subédricos, em geral com contornos externos irregulares (Foto 11 - Anexo VI). Quartzo ocorre definindo duas gerações: uma marcada por cristais maiores (0,6 a 2,0 mm), subédricos, límpidos, apresentando extinção ondulante e outra, com cristais de menor granulação (< 0,2 mm), resultantes de cominuição associada à deformação. Plagioclásio (Andesina - An₃₅) ocorre subordinadamente na forma de cristais subédricos definindo pequenos grupos de 3 a 5 cristais e também nos interstícios das principais fases minerais.

O mineral máfico principal é um anfibólio cálcico do grupo da hornblenda, com pleocroísmo em tons do amarelo esverdeado ao verde escuro. Ocorre na forma de cristais euédricos a subédricos com dimensões entre 0,7 a 1,2 mm (Fotos 12 e 13 - Anexo VI), que aparecem como cristais isolados, ou também em aglomerados máficos juntamente com

biotita de formato alongado pouco comum e tonalidades de pleocroísmo entre amarelado e marrom. As relações texturais sugerem que a biotita é produto de desestabilização do anfibólio.

Os minerais acessórios incluem especialmente zircão em cristais euédricos a subédricos e minerais opacos, que aparecem ora como cristais isolados, em agregados com os minerais máficos, ou ainda como inclusões. Fluorita também ocorre como mineral acessórios na forma de cristais anédricos bastante desenvolvidos (Foto 13 - Anexo VI).

Entre os minerais de alteração, ocorre principalmente clorita e minerais opacos, como alteração de hornblenda.

Enclaves e glomérulos microgranulares

Apresentam dimensões entre 0,6 a 1,0 cm e composição monzogranítica. Os contatos com o granito principal variam de mais bruscos a algo difusos. As fases minerais principais são representadas por cristais maiores, euédricos, de feldspato alcalino tabular (0,8 mm a 1,3 cm), plagioclásio ripiforme (andesina, avaliações ópticas) que ocorrem geralmente agrupados (Foto 14 - Anexo VI) e quartzo apresentando contatos irregulares com os demais cristais. Os minerais máficos incluem biotita anédrica com pleocroísmo em tons de marrom, hornblenda anédrica a subédrica com pleocroísmo em tons de verde escuro e clinopiroxênio (augita) já bastante modificado apresentando pleocroísmo em tons de verde claro. Estes minerais ocorrem predominantemente agrupados com textura que indicam reações de desestabilização entre eles (Foto 15 - Anexo VI). Nas zonas de contato entre feldspato alcalino e plagioclásio desenvolvem-se por vezes intercrescimentos mirmequíticos (Foto 16 – Anexo VI). Os minerais acessórios incluem zircão, apatita e minerais opacos que ocorrem agrupados ou isolados, geralmente como inclusões nos demais minerais.

5.3.5. Hornblenda Sienogranitos Acinzentados

Macroscopicamente as rochas desta variação petrográfica apresentam estrutura maciça, textura inequigranular de granulação média a grossa a porfírica de média densidade com megacristais de feldspato alcalino de 1,0 a 1,5 cm. Os sienogranitos são leucocráticos com índice de cor (IC) variando de 8% a 11%. Sua coloração acinzentada típica ajuda na diferenciação em campo. Esta variação petrográfica é encontrada nos extremos SW (AT-01) e também na porção N (afloramentos AT-06, AT-28 e AT-29).

Microscopicamente os sienogranitos apresentam textura inequigranular hipidiomórfica caracterizada pela ocorrência de 44% a 60% de feldspato alcalino peritítico

ocorrendo na forma de cristais subédricos com tamanhos entre 1,0 a 8,0 mm e de cristais de plagioclásio tabulares (Andesina – An₃₅) que formam pequenos aglomerados de quatro a cinco cristais representando um total de 18% do volume da rocha. Compõem ainda a mineralogia félsica principal cristais anédricos de quartzo (22%) apresentando contatos sinuosos a lobulados.

Anfibólio cálcio constitui o principal mineral máfico presente nestes sienogranitos com porcentagens que variam entre 5 % e 10%). Ocorre como cristais subédricos de 1 a 1,5 mm caracterizados pelo pleocroísmo do marrom amarelado ao marrom esverdeado. Inclusões de opacos, titanita e zircão estão presentes com certa frequência. Como minerais de alteração podemos citar biotita e clorita que ocorrem subordinadamente e em baixas proporções se desenvolvendo a partir dos cristais de anfibólio. Entre os acessórios podemos citar titanita, allanita na forma de cristais euédricos zonados, zircão e opacos (Fotos 17 e 18- Anexo VI).

Assim como nos demais tipos petrográficos a mineralogia máfica desenvolve também pequenos bolsões caracterizados pela ocorrência de cristais de biotita, anfibólio, opaco e apatita aglomerados (Foto 19 - Anexo II) e em granulação menor do que a da predominante. A composição química dos minerais destes bolsões não difere dos demais minerais presentes.

5.3.6. Quartzo Monzonitos

As rochas quartzo-monzoníticas foram encontradas em campo sempre no contato do Granito Alto Turvo com suas encaixantes. A princípio, estas rochas foram classificadas como charnockitos, mas a ausência de ortopiroxênio nas amostras descartou esta classificação.

Macroscopicamente os monzonitos são maciços e apresentam textura inequigranular de granulação grossa. São caracterizadas pela cor esverdeada com IC em torno de 11%.

Ao microscópio, texturas de reação são comuns onde cristais de clinopiroxênio anédricos a subédricos com pleocroísmo em tons de verde que representam aproximadamente 3% do volume total da rocha dão lugar a cristais de anfibólio subédricos com pleocroísmo do amarelado ao verde escuro (Fotos 20 e 21 - Anexo VI). Ao redor dos cristais máficos se desenvolvem uma série de minerais micáceos possivelmente produto de alteração. Como nas demais variedades petrográficas a mineralogia máfica ocorre definindo pequenos aglomerados.

Feldspato alcalino pertítico a mesopertítico é o mineral félsico mais importante ocorrendo na forma de cristais anédricos a subédricos com contornos irregulares perfazendo um total de 55% do volume da rocha. Plagioclásio (andesina) ocorre em menor proporção (29%) como cristais subédricos definindo grupos de 4 a 6 cristais. Quartzo (5%) ocorre ocupando interstícios das principais fases minerais desenvolvendo contatos polygonizados.

Entre os principais acessórios cristais de zircão como inclusões em anfibólios e piroxênios, titanita associada aos opacos, fluorita e apatita. Carbonato também ocorre preenchendo fraturas.

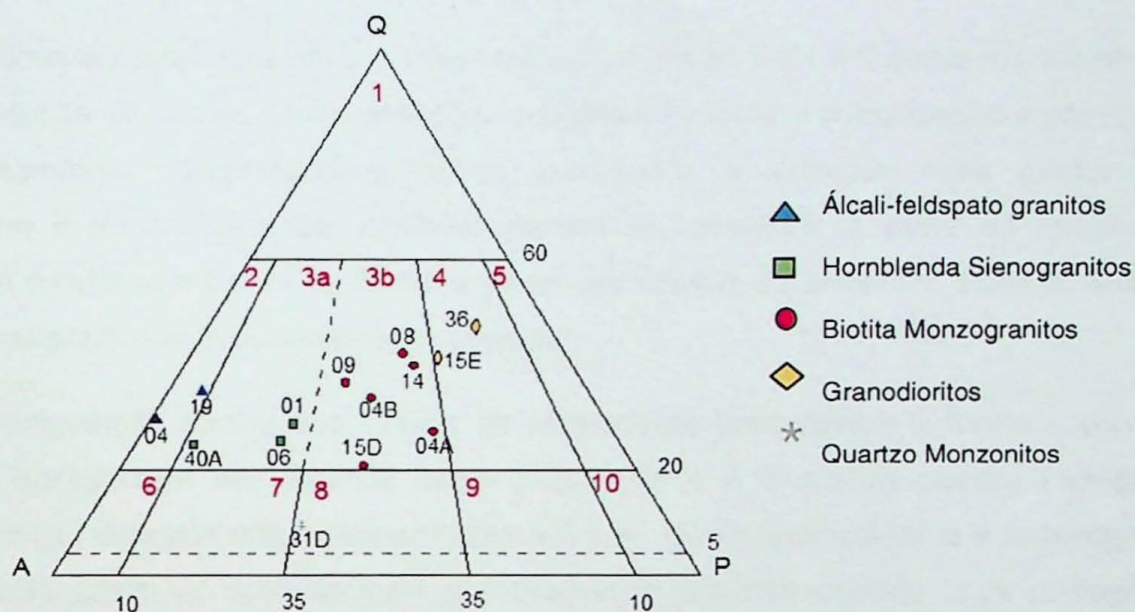


Figura 16. Diagrama modal Quartz (Q) – Feldspato Alcalino (A) - Plagioclásio (P) para rochas plutônicas (baseado em Streckeisen, 1967) para amostras representativas do Maciço Alto Turvo. Os números de 1 a 10 em vermelho correspondem às diferentes famílias de rochas. 2- Álcali feldspato granitos, 3a-Sienogranitos, 3b-Monzogranitos, 4-Granodioritos e 8-Quartz Monzonitos.

MINERALOGIA	MAGMÁTICO PRINCIPAL	MAGMÁTICO TARDIO A FINAL	PÓS-MAGMÁTICO
K-feldspato	-----	-----	
Plagioclásio	-----	-----	
Quartzo	-----	-----	-----
Piroxênio	-----	-----	
Anfibólio	-----	-----	
Biotita	-----	-----	-----
Zircão	-----	-----	
Apatita	-----	-----	
Allanita	-----	-----	
Titanita	-----	-----	
Opacos	-----	-----	-----

Figura 17. Quadro interpretativo da sequência de cristalização das variedades petrográficas presentes no Maciço Alto Turvo.

5.4. Sequências de Cristalização

Com base nas descrições petrográficas foi possível inferir a sequência de cristalização para as rochas presentes no Maciço Alto Turvo.

A primeira fase félsica a se cristalizar deve ter sido o feldspato alcalino já que este mineral é predominante na maior parte das rochas analisadas ocorrendo como cristais de maior granulação e geralmente apresentando algumas faces bem formadas. A cristalização progride com a geração de cristais de piroxênio (quando presentes), zircão e apatita, acessórios que ocorrem principalmente como inclusões em minerais.

As composições ricas em ferro (ver química mineral, item 5.6 desta monografia) dos minerais máficos presentes, como anfibólios e biotitas, indicam a cristalização a partir de um líquido magmático diferenciado, portanto, associados a estágios mais evoluídos do magmatismo e da cristalização. Anfibólio parece se cristalizar a partir da reação com piroxênio já existente e biotita se forma a partir dos cristais de anfibólio. Titanita, allanita e opacos completam o estágio magmático principal.

A composição sódica dos cristais de plagioclásio presentes e a forma como estes cristais se apresentam nas lâminas como grupos de 4 a 6 cristais podem indicar uma cristalização em estágios magmáticos tardios a finais. Já nos granodioritos e monzogranitos a cristalização pode ter ocorrido mais precocemente que nos demais tipos petrográficos sendo este mineral predominante.

As feições observadas em lâmina para o mineral quartzo sugerem duas etapas de cristalização: uma relacionada à fase magmática principal onde se desenvolvem cristais límpidos de maior granulação e outra tardia a pós-magmática com formação de quartzo intersticial. Cabe ressaltar que nas variedades petrográficas onde o feldspato alcalino é predominante o quartzo ocorre subordinadamente.

5.5. Suscetibilidade Magnética

As rochas pertencentes ao Maciço Alto Turvo apresentaram valores médios de suscetibilidade magnética bastante dispersos, variando na ordem de $1,69$ a $6,29 \times 10^{-3}$ SI com predomínio de valores entre $2,0$ e $4,0 \times 10^{-3}$ SI como mostra o histograma de frequência da Figura 18.a. Estes valores normalmente encontrados em rochas graníticas com magnetita, estão relacionados com a proporção modal dos minerais opacos indicando possíveis condições oxidantes do ambiente de cristalização (Figura 18.b).

Os resultados obtidos são comparados com os apresentados por Gualda & Vlach (2007a) para a Província Graciosa como um todo. Observa-se que, apesar do número restrito de dados, estes são comparáveis com os obtidos para os granitos da associação aluminosa daqueles autores, que se situam entre 1 e 7×10^{-3} SI. As rochas da associação alcalina, por sua vez, são caracterizadas por valores de SMs em geral inferiores a 1×10^{-3} SI.

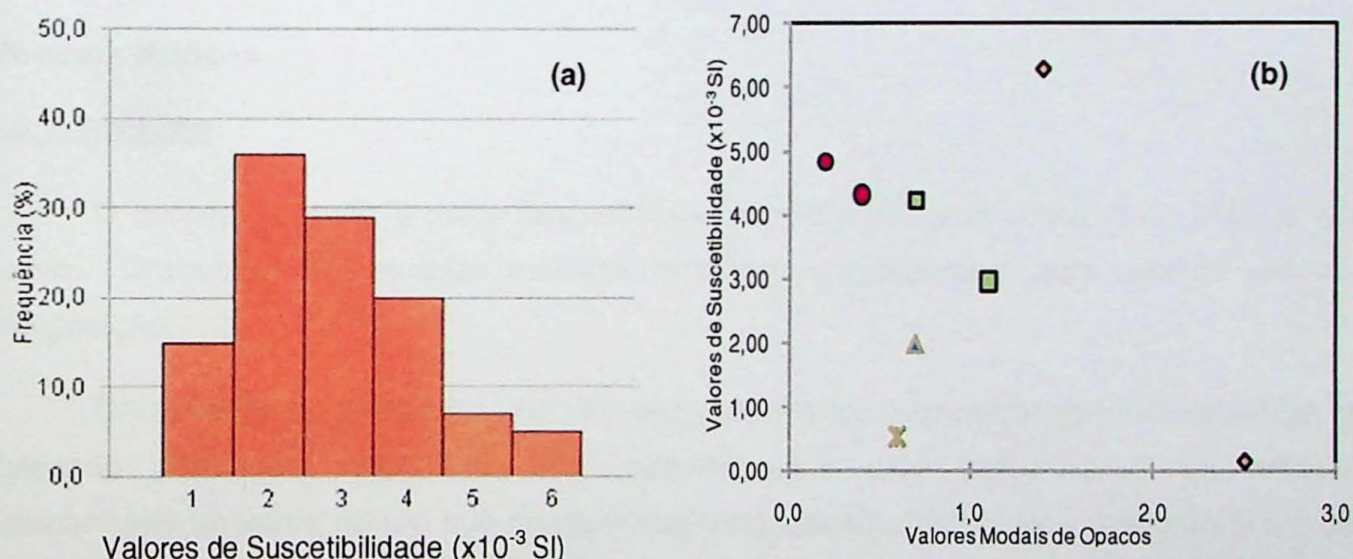


Figura 18. (a) Histograma de frequência relativa para os valores de SM. **(b)** Relação dos valores de SM com a proporção modal de magnetita nas amostras do Maciço Alto Turvo. Legenda como na Figura 16.

5.6. Química Mineral

Foram caracterizadas quimicamente as fases máficas das principais variedades petrográficas pertencentes ao Maciço Alto Turvo através da análise em sete seções delgadas-polidas de anfibólio, piroxênio (quando existente) e biotita. Análises em plagioclásio também foram realizadas. Os resultados obtidos com microsonda eletrônica estão sumarizados nas Tabelas 4 a do Anexo VIII. A simbologia utilizada nos diagramas é apresentada na Tabela 3. Passa-se a seguir para a discussão dos resultados obtidos.

Biotita Monzogranitos	Hornblenda Sienogranitos	Granodioritos	Quartzo Monzonitos
+ AT-09 ○ AT-15D	● AT-01 ● AT-40A	▼ AT-36 ■ AT-15E	▲ AT-31D

Tabela 3. Simbologia aplicada aos diagramas de química mineral.

Minerais Máficos

5.6.1. Anfibólio

O mineral anfibólio é típico das rochas sienograníticas que ocorrem no Maciço Alto Turvo. Granodioritos e quartzo monzonitos também apresentam este mineral em sua composição.

Geralmente os cristais de anfibólio ocorrem em formato subédrico isoladamente ou definindo pequenos agregados. São caracterizados pelo pleocroísmo do amarelo acastanhado ao verde escuro que revelam sua composição cálcica. Nos granodioritos e em algumas amostras de sienogranitos biotita ocorre associada com este mineral como resultado de reações tardi a pós-magmáticas. Na amostra de quartzo-monzonito os cristais de anfibólio revelam texturas de reação com formação a partir dos cristais de clinopiroxênio existentes.

Nos sienogranitos (AT-01 e AT-40A) os cristais de anfibólio analisados apresentam composições tipicamente cálcicas com valores médios de 11% em peso de CaO. São também enriquecidos em FeO apresentando valores geralmente acima de 30% e empobrecidos em MgO evidenciando que sua cristalização ocorreu a partir de líquidos magmáticos mais evoluídos. São classificados como ferro-edenita hornblenda e hornblenda hastingsítica (Figura 19.a). Algumas amostras desta variedade petrográfica apresentaram anfibólios pouco menos evoluídos classificados como ferro hornblenda (Figura 19.b).

Os cristais de anfibólio analisados nas amostras representantes de granodioritos (AT-15E e AT-36) apresentaram concentrações de MgO um pouco mais elevadas que nos sienogranitos com valores variando entre 7,8% e 10,3% em peso enquanto as concentrações de FeO apresentaram valores mais baixos com média de 22% indicando cristalização a partir de líquido magmático menos diferenciado. Estes anfibólios foram classificados como ferro edenita-hornblenda e magnésio hornblenda (Figuras 19.a e 19.b). Na única amostra de quartzo-monzonito analisada o anfibólio presente corresponde a uma hastingsita hornblenda.

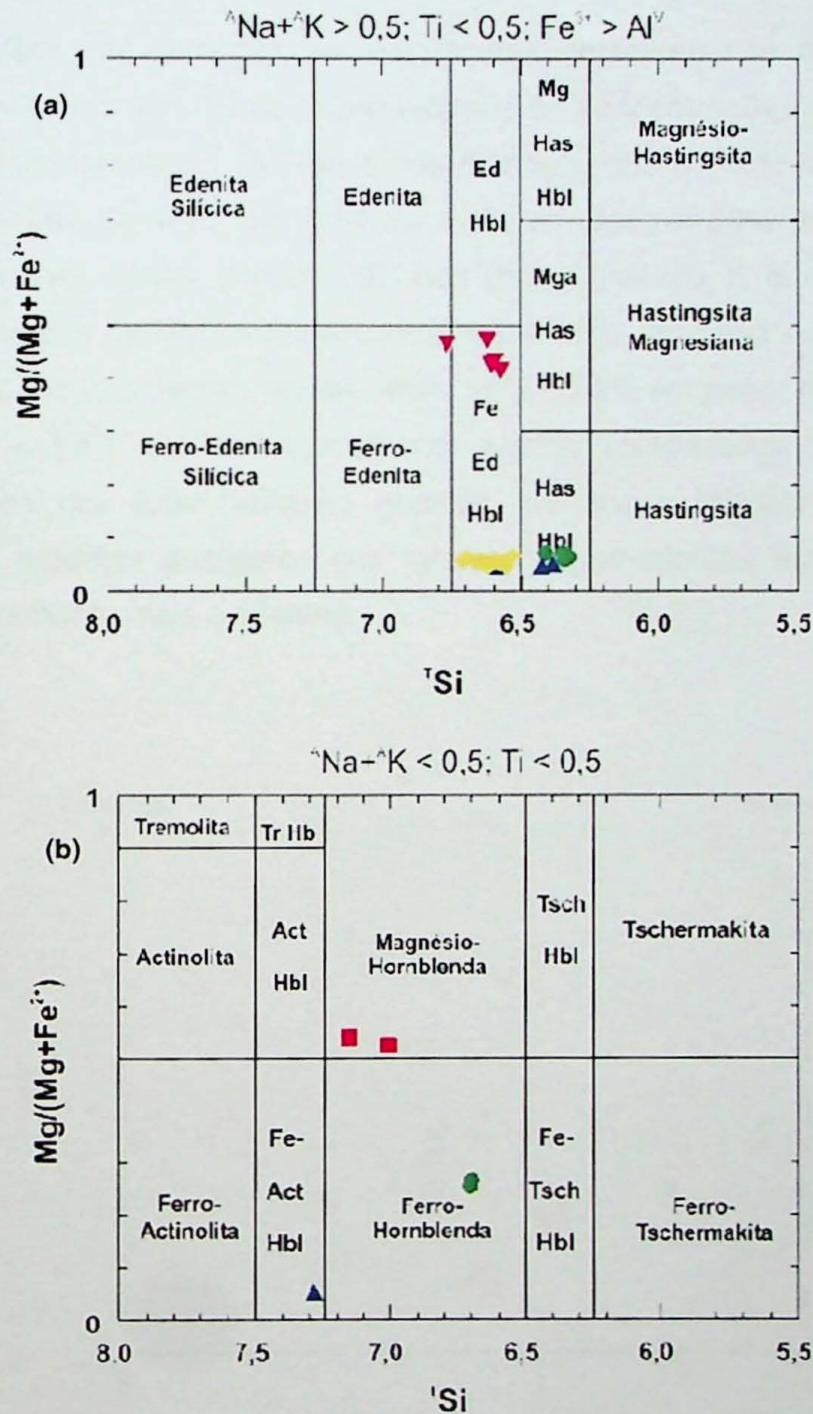


Figura 19. Diagramas catiônicos Si x $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$ de classificação dos anfibólios presentes nas variedades petrográficas do Maciço Alto Turvo segunda a IMA (Leake *et al.*, 1997).

5.6.2. Biotita

Biotita é a fase máfica principal dos biotita monzogranitos I e II e também das rochas granodioríticas pertencentes ao Maciço Alto Turvo. Ocorrem como cristais anédricos a subédricos com pleocroísmo do amarelado ao marrom escuro definindo pequenos agregados máficos, mas também disseminados pela seção. Nos álcali feldspato granitos e em algumas amostras representativas dos sienogranitos os cristais de biotita estão relacionados com os cristais de anfibólio substituindo-os parcialmente e desenvolvendo texturas de reação.

As variações nas composições das biotitas presentes nas diferentes variedades petrográficas do Maciço Alto Turvo dizem respeito às concentrações de ferro e magnésio. Enquanto nos monzogranitos I (AT-09) e nos sienogranitos (AT-01) os cristais analisados apresentaram valores de MgO em torno de 3,0% em peso e 30% de FeO mostrando-se ricos na componente annita (Figura 20), nos monzogranitos II e nos granodioritos as concentrações médias de MgO variaram entre 9% e 12% em peso com concentrações de FeO mais baixas que nas demais rochas, entre 16% e 22% em peso, resultando em valores $fe\#$ ($= Fe^{T}/(Mg + Fe^{T})$) relativamente baixos quando comparados aos clinopiroxênio e anfibólios cálcicos dos álcali-feldspato granitos, sienitos e monzonitos. Estas análises indicam que os magmas geradores dos monzo- e granodioritos foram cristalizados em ambientes relativamente mais oxidantes.

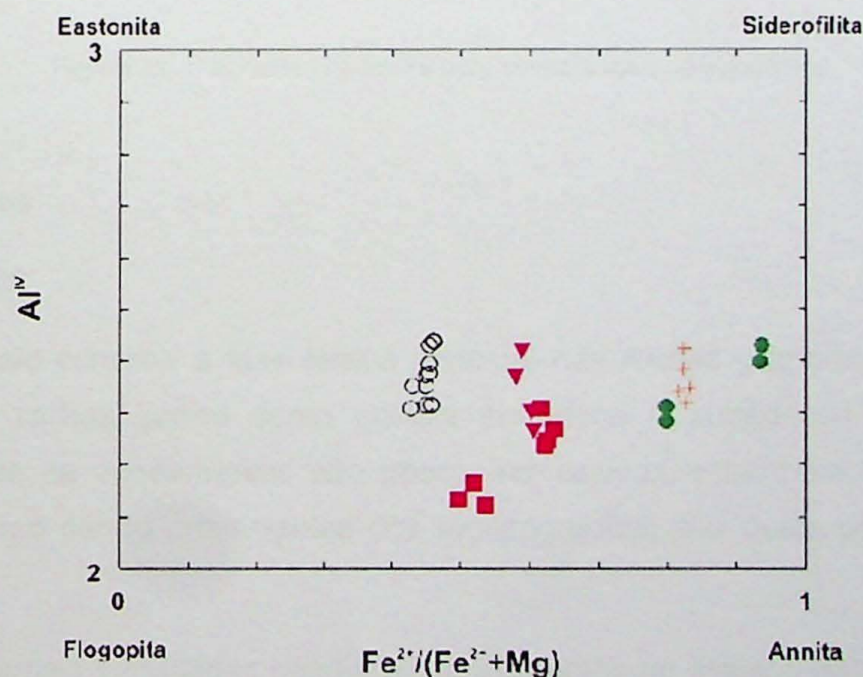


Figura 20. Diagrama de correlação entre as proporções catiônicas $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg) \times Al^{IV}$ em biotitas das rochas presentes no Maciço Alto Turvo.

5.6.3. Clinopiroxênio

As análises de clinopiroxênio ficaram restritas apenas a amostra AT-31D representante do quartzo-monzonito. Nesta rocha os cristais de piroxênio apresentam-se em formato anédrico a subédrico bastante alterados, substituídos por anfibólio ou então associados com uma série de minerais micáceos produzidos pela sua alteração. Pleocroísmo em tons de verde é característico deste mineral.

O diagrama da Figura 21 revela que estes piroxênios apresentam concentrações altas de FeO (acima de 30% em peso) e também de CaO (acima de 11%) apresentando bastante homogeneidade e sendo classificados como ferro pigeonita (Deer *et al.*, 1992)

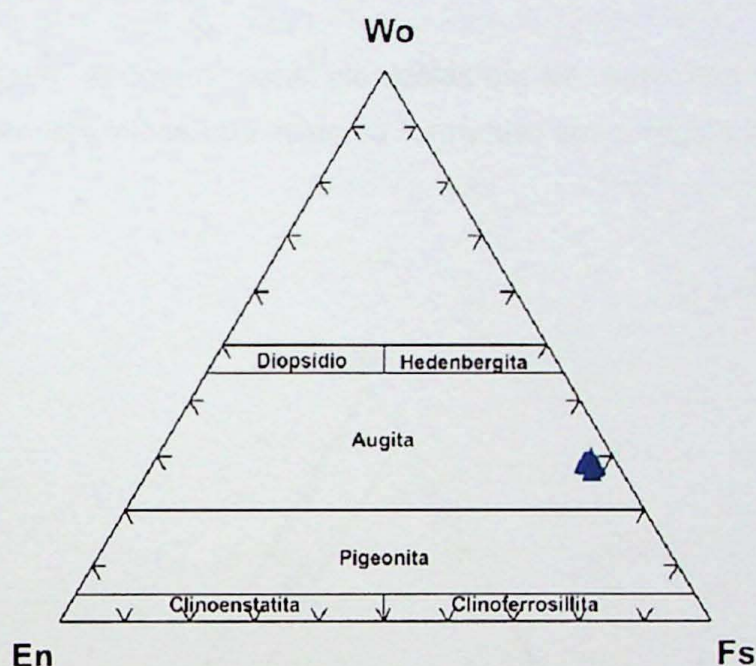


Figura 21. Diagrama Wo-En-Fs para classificação de piroxênios.

Minerais Félsicos

5.6.4. Plagioclásio

Plagioclásio constitui a fase félsica principal nas rochas granodioríticas (AT-15E e AT-36). Nestas rochas ocorre como cristais anédricos a subédricos de caráter mais homogêneo onde os zoneamentos são pouco expressivos e também como fenocristais interpretados como sendo provenientes dos monzogranitos aos quais os granodioritos se associam.

Já nas demais variedades petrográficas existentes no Maciço (monzogranitos - AT-09 e AT-15D; sienogranitos -AT01 e AT-40; quartzo-monzonitos - AT-31D), o plagioclásio sempre ocorre em proporções menores que a do feldspato alcalino. Geralmente ocorrem em

grupos de 4 a 5 cristais subédricos. Cabe ressaltar que em todas as amostras os cristais apresentavam-se saussuritizados.

Quimicamente os plagioclásios existentes nos álcali-feldspatos granitos e sienogranitos do Maciço Alto Turvo são ricos na componente albita (concentrações de Na_2O acima de 10% em peso) enquanto os monzogranitos e granodioritos apresentam plagioclásios com composições no intervalo oligoclásio como apresentado no diagrama da Figura 22. A análise petrográfica destes plagioclásios os posiciona no intervalo andesina-oligoclásio indicando problemas na amostragem das análises. Muitos dos cristais de plagioclásio analisados encontram-se saussuritizados, alteração que pode ter modificado a composição inicial deste mineral.

Se as análises apontam para plagioclásios se aproximando de composições próximas a albita pura isto indica que estes se formaram em estágios já evoluídos do líquido magmático.

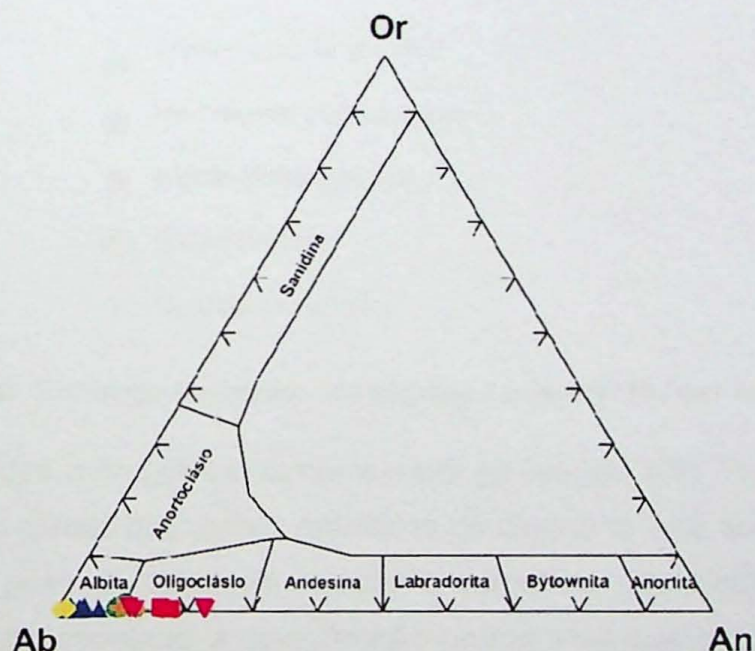


Figura 22. Diagrama Ab-Or-An para classificação de feldspatos quanto às proporções moleculares de cada componente.

5.7. Geoquímica de rocha total

Granitos Tipo-A apresentam características do ponto de vista geoquímico que os diferenciam dos demais tipos de granitos (I, S e M). Em geral, apresentam altas concentrações de álcalis, em torno de 8,7% em comparação com 6,53% encontrados no Tipo-I, 5,23% nos granitos Tipo-M e 6,37% nos do Tipo-S (Whalen, 1987). São também ricos em sílica, Fe e Ga, elementos terras raras e elementos de alto campo como Zr, Nb e Y. Por outro lado são empobrecidos em Ca, Al e Mg.

Os dados de geoquímica do Maciço Alto Turvo obtidos através de Fluorescência de raios-X (Tabelas 8 e 9 – Anexo IX) são em geral condizentes com as características dos granitos Tipo-A. As concentrações de SiO_2 das análises são altas e pouco variáveis, entre 70,4 e 76,7 (% em peso) indicando rochas bastante evoluídas. A somatória de álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) varia de 8,03% a 9,1% enquanto CaO apresenta valores de 0,63% a 2,9%. Em relação aos elementos traços, bário (Ba) e zircônio (Zr) se destacam com concentrações que variam de 232 ppm a 1735 ppm para Ba e 168 ppm a 618 ppm para Zr. A legenda utilizada nos diagramas é apresentada na Figura 23.

- ▲ Álcali-feldspato granitos
- Hornblenda Sienogranitos
- Biotita Monzogranitos
- ◆ Granodioritos
- * Quartzos Monzonitos

Figura 23. Simbologia empregada nos diagramas para distinção das variedades petrográficas.

As variedades petrográficas pertencentes ao Maciço Alto Turvo situam-se, em sua grande maioria, no campo das rochas graníticas do diagrama TAS que mostra a variação da porcentagem em peso de sílica em relação à somatória dos álcalis ($\text{SiO}_2 \times \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$, Figura 24). Este fato corrobora a classificação petrográfica que posiciona estas rochas no campo dos sieno- e monzogranitos. Esta correspondência entre a classificação química e petrográfica das amostras também é notada para as rochas granodioríticas. Já a amostra de quartzo-monzonito ocupa o campo de quartzo-sienito no diagrama TAS.

Outra característica importante ressaltada nas amostras analisadas é a concentração de ferro discriminada no diagrama $\text{SiO}_2 \times \text{FeO}_t / (\text{FeO}_t + \text{MgO})$ (Frost *et al.*, 2001) com valores que oscilam entre 0,8 e 1,0 (Figura 25).

No diagrama MALI (Frost *et al.*, 2001) temos o Índice de Peacock modificado onde as variáveis iniciais $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ e CaO foram substituídas por uma única variável ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{CaO}$). Neste diagrama (Figura 26.a) as análises evidenciam um incremento na

concentração de álcalis com o aumento da sílica caracterizando os sienogranitos como rochas tipicamente álcali-cálcicas enquanto monzogranitos e granodioritos apresentam tencências cálcio-alcalinas. Já o quartzo-monzonito ocupa o campo das rochas alcalinas. O campo tracejado em vermelho presente neste e nos demais diagramas representa as análises de outros granitos e sienitos também pertencentes à Província Graciosa (ver Gualda & Vlach, 2007 a).

Ainda referente ao grau de alumina-saturação, os dados geoquímicos revelam a característica tipicamente metaluminosa das amostras dos sienogranitos analisadas. Granodioritos e monzogranitos apresentam caráter metaluminoso à fracamente peraluminosa. (Figura 26.b). Os índices agpaíticos ($Al_2O_3 / Na_2O + K_2O$ mol) em geral variam de 1,042 a 1,334.

O caráter anorogênico destas rochas é representado no diagrama discriminante de ambiente tectônico Y x Nb (Pearce *et al.*, 1984). As análises revelam características de um magmatismo intraplaca típico de granitos Tipo-A (Figura 27.a). Outro diagrama discriminante (Figura 27.b) apresenta a relação da somatória dos álcalis contra a somatória de elementos traços (Ce+Nb+Y+Zr em ppm) mostrando a delimitação do campo que separa os granitos Tipo-A dos demais, bem como a composição média para os quatro tipos de granito (A, I, S e M; Whalen *et al.*, 1987). No entanto as análises dos monzo- e granodioritos apresentaram valores que se aproximam da interface composicional entre magmas do Tipo-A e I,

Assim, a análise geoquímica das diferentes variedades petrográficas existentes no Maciço Alto Turvo mostram que há uma distinção mesmo que sutil para estas rochas. Sienogranitos tendem a apresentar caráter álcali-cálcico com amostras geralmente metaluminosas enquanto as variedades monzograníticas e granodioríticas apresentam caráter cálcio-alcalino com rochas metaluminosas a fracamente peraluminosas.

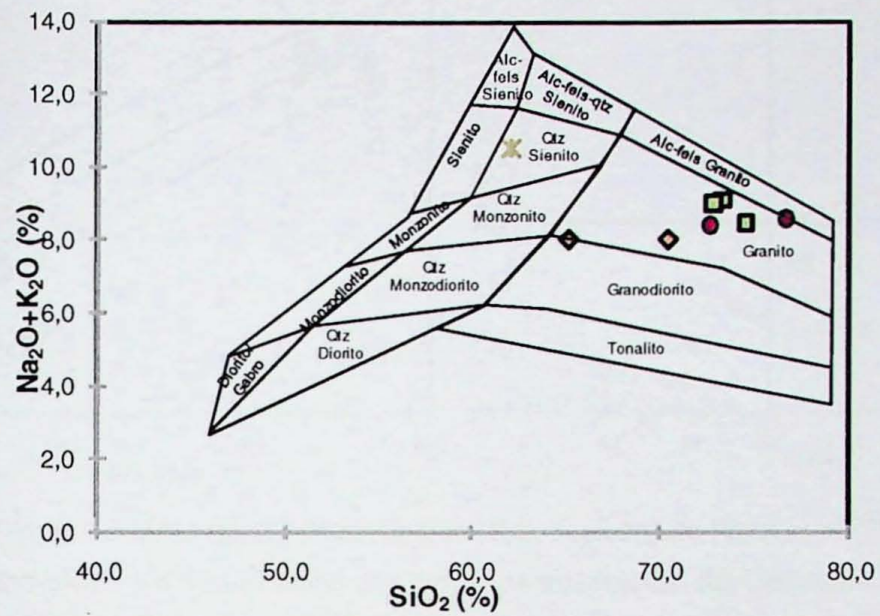


Figura 24. Diagrama de classificação química TAS ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ x SiO_2 , % em peso) para rochas plutônicas.

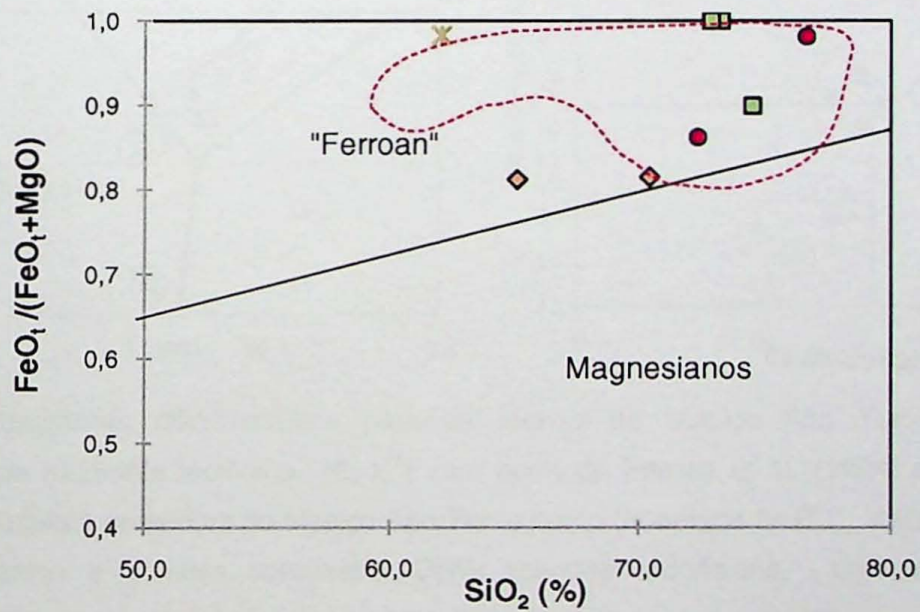


Figura 25. Diagrama $\text{FeO}_t/(\text{FeO}_t+\text{MgO})$ x SiO_2 (% peso), evidenciando as composições ricas em Fe.

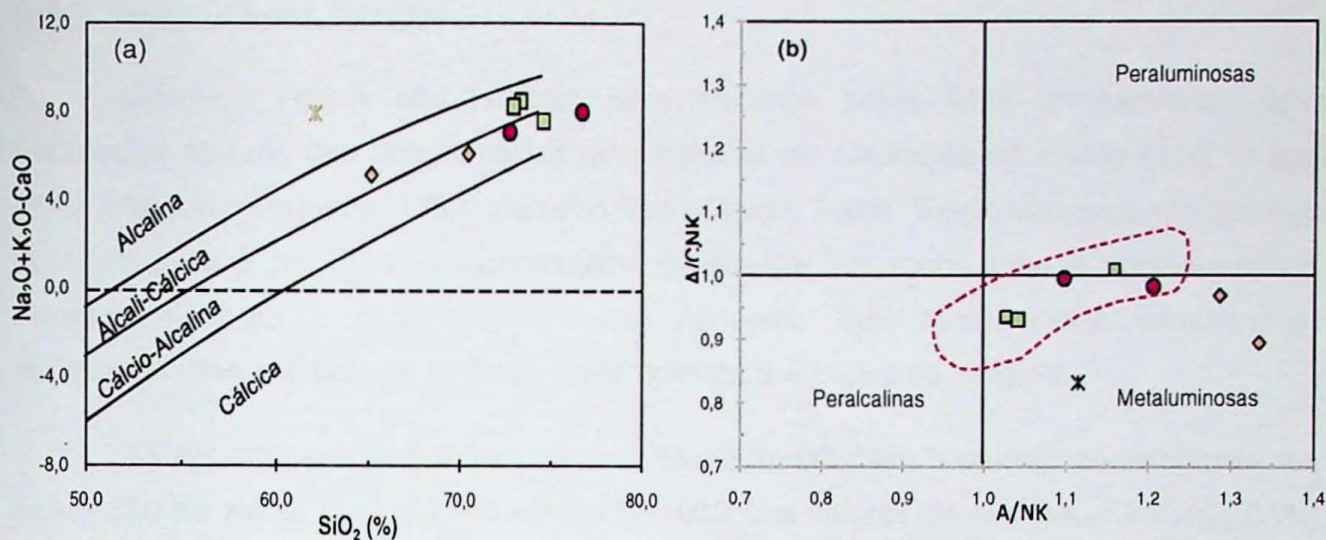


Figura 26. (a) Diagrama MALI ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}$ x SiO_2 , % peso) de Frost et al.(2001) caracterizando a tendência cálcio-alcalina a álcali-cálcica das amostras analisadas. **(b)** Diagrama de Shand (A/CNK x A/NK mol) relacionando o grau de alcalinidade das amostras.

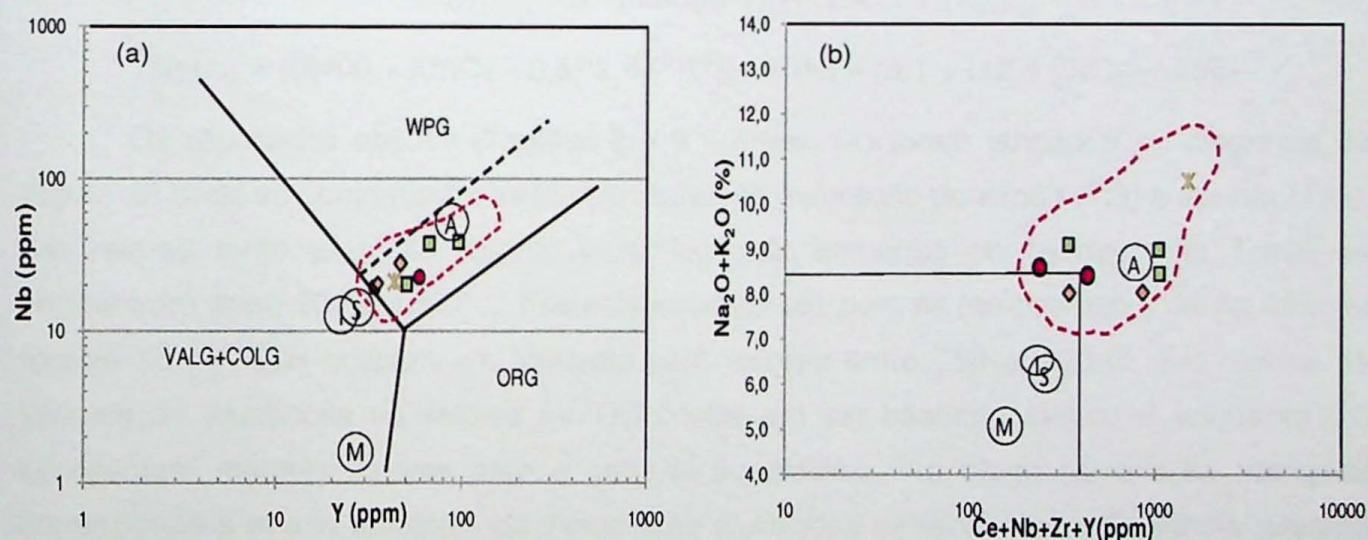


Figura 27. Diagramas discriminantes para as rochas do Maciço Alto Turvo. **(a)** Diagrama discriminante de ambiente tectônico Nb x Y (em ppm) de Pearce et al. (1984) caracterizando os variedades graníticas presentes no Maciço Alto Turvo como intraplaca (WPG); VAG+COLG: granitos de arco vulcânico e granitos colisionais; ORG: granitos orogênicos. Campos A, I, S e M correspondem às composições médias destes tipos graníticos segundo Whalen et al. (1987). **(b)** Diagrama discriminante $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ x $\text{Ce}+\text{Nb}+\text{Y}+\text{Zr}$ diferenciando as amostras de granitos Tipo-A dos demais.

5.8. Parâmetros Intensivos de Cristalização

5.8.1. Temperaturas *Liquidus*

Granitos Tipo-A são também caracterizados pelas altas temperaturas *liquidus* estimadas através das denominadas temperaturas de saturação de zircão (T_{Zr}) e apatita (T_{Ap}, Watson e Harrison, 1983; Harrison and Watson, 1984). Estas temperaturas podem ser determinadas a partir das concentrações elementais em rocha total e correspondem às necessárias para a cristalização destes minerais. Tais temperaturas geralmente se aproximam das estimativas mínimas da temperatura *líquidus* do magma.

As equações abaixo correspondem às utilizadas para o cálculo de temperaturas de saturação de zircão para valores entre 750-1000°C e valores de M ($[(Na+K+2Ca)/(Si*Al)_{cat}]$) entre 0,9 e 1,7. Já no caso de apatita são considerados intervalos de 45-75% em peso de SiO₂ (Watson e Harrison, 1983; Harrison and Watson, 1984). D_{Zr} e D_{Ap} nas equações correspondem aos coeficientes de partição do Zr e do P entre zircão, apatita e magma.

$$\ln D_{Zr} = \{-3,8 - [0,85(M-1)]\} + 12900 / T \text{ (K)}$$

$$\ln D_{Ap} = \{8400 + [(SiO_2 - 0,5) * 2,64 * 10^4]\} / T \text{ (K)} - (3,1 + \{12,4 [SiO_2 - 0,5]\})$$

Os resultados obtidos (Tabelas 8 e 9 - Anexo IX) foram lançados no diagrama da Figura 28 onde se compararam as temperaturas de saturação de zircão (T_{Zr}) e apatita (T_{Ap}). Os valores tanto para T_{Zr} quanto para T_{Ap} das amostras do Maciço Alto Turvo se concentram entre 800 e 1000° C bastante condizentes com as temperaturas de *liquidus* de rochas Tipo-A que ocupam um intervalo com valores entre 750 e 900°C. Em rochas da associação aluminosa os valores de T_{Ap} costumam ser bastante elevados enquanto T_{Zr} apresentam maiores valores para a associação alcalina. No diagrama a área tracejada corresponde a outras amostras da associação aluminosa pertencentes à Província (Gualda & Vlach, 2007a) comprovando o caráter metaluminoso das amostras analisadas.

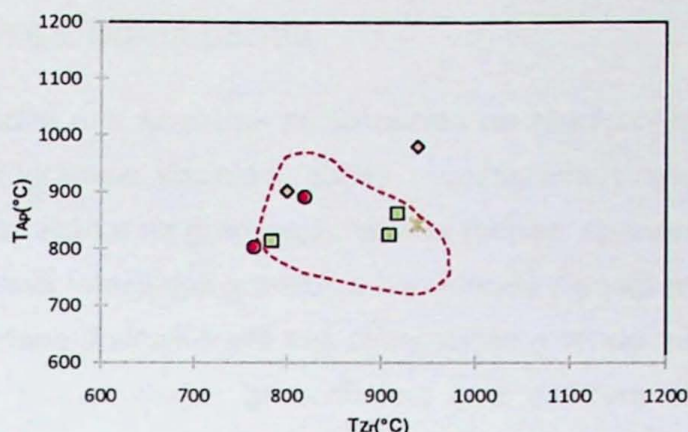
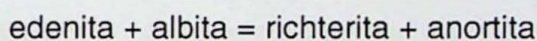


Figura 28. Diagrama comparativo para temperaturas de saturação de zircão (Tzr) e Apatita (TAp). Simbologia empregada como na figura 16.

5.8.2. Temperaturas Solidus

Temperaturas e pressões de cristalização podem ser determinadas com base em reações de equilíbrio calibradas experimentalmente. Para rochas graníticas metaluminosas, como é o caso das variedades presentes no Maciço Alto Turvo, a geotermometria se baseia nas reações plagioclásio-anfibólio empregando-se o método de calibração de Holland & Blundy (1994) para a reação:



Assim, com base nas composições de plagioclásio e anfibólio cálcico coexistentes pode-se calcular as temperaturas de cristalização (cf. Anderson, 1996) que se aproximam das temperaturas de solidus do magma original.

A amostra AT-01 representante dos sienogranitos apresenta temperaturas entre 690 e 720°C e pressões entre 3 e 5 kbar. Fixando as pressões em 2 kbar, os valores de temperatura pouco se alteram. Já para a amostra AT-36 classificada como granodiorito as temperaturas oscilaram entre 645 e 760°C e pressões entre 2 e 4 kbar. O mesmo resultado é obtido quando as pressões são fixadas para 2 kbar.

As demais amostras analisadas (AT-15E, AT-31-D) não resultaram em valores adequados já que o plagioclásio presente é muito sódico (albita) e provavelmente mais tardio impossibilitando o equilíbrio com a hornblenda. As pressões avaliadas são um pouco mais elevadas que as esperadas para granitos de colocação relativamente rasa, o que deve estar associado com os valores fe# relativamente altos nos minerais formadores de rocha (cf. Anderson, 1996).

6. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

As análises realizadas nas amostras pertencentes ao Maciço Alto Turvo permitiram distinguir variedades petrográficas distintas: biotita monzogranitos separados em I e II devido a diferenças na coloração e na granulação destas rochas, apresentando biotita como mineral máfico principal; álcali feldspatos granitos e hornblenda sienogranitos caracterizados pela predominância de feldspato alcalino em sua composição e tendo minerais do grupo da hornblenda como máfico predominante; granodioritos que ocorrem como enclaves nos monzogranitos e também como matacões e quartzo-monzonitos que apresentam clinopiroxênio, anfibólio e biotita em sua composição e tem sua ocorrência restrita às regiões de contato entre o Maciço e as encaixantes regionais. A classificação petrográfica é correspondente à classificação geoquímica destas rochas (Figura 24).

Diversas sutis diferenças entre as rochas que apresentam biotita como máfico principal (monzo- e granodioritos) e as que apresentam anfibólio como fase máfica predominante (álcali-feldspato granitos e sienogranitos) puderam ser traçadas após as análises petrográficas e químicas.

Os biotitas monzogranitos e granodioritos apresentam características similares com a associação aluminosa presente em vários outros maciços que compõem a Província Graciosa, pois são rochas que apresentam dois feldspatos primários (alcalino e plagioclásio), caracterizando a natureza *subsolvus* destas rochas além de possuir biotita como máfico mais típico, indicando caráter moderadamente peraluminoso.

Já os álcali-feldspato granitos e sienogranitos podem fazer parte ou não desta associação aluminosa. Rochas similares em outros maciços pertencentes à Província Graciosa são mais típicas da associação alcalina embora exemplares mais diferenciados de natureza peralcalina desta associação estejam ausentes no Maciço estudado. A ocorrência de mesopertita como único feldspato nos álcali-feldspatos granitos indica rochas *hipersolvus*, mas a associação mineral de anfibólio cálcico acompanhado por allanita como acessório típico e presença de plagioclásio mesmo que tardio nos siegranitos são mais comuns na associação aluminosa (Vlach & Gualda, 2007). Desta maneira serão necessários estudos mais detalhados para definir se a associação alcalina está ou não presente no Maciço Alto Turvo.

Biotita monzogranitos e granodioritos continuam apresentando diferenças em relação aos álcali-feldspato granitos e siegranitos no que diz respeito à alcalinidade destas rochas. Sienogranitos tendem a apresentar caráter álcali-cálcico com amostras em geral metaluminosas enquanto as variedades monzograníticas e granodioríticas apresentam caráter cálcio-alcalino com rochas metaluminosas a fracamente peraluminosas.

A análise química em minerais também revelou diferenças entre estas rochas. Anfibólios de composições tipicamente cálcicas, ricos em FeO e empobrecidos em MgO indicando que a cristalização destes minerais tenha ocorrido a partir de líquidos magmáticos diferenciados são encontrados nos sienogranitos. Já os anfibólios presentes nos granodioritos apresentam concentrações consideráveis de MgO na composição deste mineral, sugerindo que sejam mais primitivos. Esta correlação se estende para a análise de plagioclásios onde sienogranitos apresentam composições que se aproximam de albita pura enquanto que monzo- e granodioritos apresentam plagioclásios com menores concentrações de Na em sua composição.

Todas estas diferenças associadas à ocorrência de enclaves de granodioritos em monzo- e sienogranitos encontrados em campo podem indicar a coexistência de pelo menos dois magmas distintos relacionados a geração destas rochas. A hipótese de que monzogranitos e granodioritos estariam relacionados a uma fonte magmática diferente também pode ser apoiada pela análise dos valores de $fe\# (= Fe^T / (Mg + Fe^T))$ encontradas em biotitas destas variedades petrográficas. Estes valores quando comparados as fases máficas dos sienogranitos e monzonitos apresentam-se relativamente menores sugerindo ambientes de cristalização mais oxidantes associados a magmas do Tipo I. Estas rochas podem então representar a presença de um magma transicional.

As temperaturas *solidus* para estas rochas também apresentaram diferenças nos levando a crer que realmente granodioritos e monzogranitos podem estar associados a um magma diferente dos geradores das rochas sienograníticas com temperaturas de *solidus* relativamente mais altas, entre 645° e 760°C enquanto que os sienogranitos tem sua temperatura de cristalização entre 690° e 720°C.

A distinção destas variedades petrográficas não pode ser visualizada nos mapas aerogamaespectrométricos do Maciço. No entanto é possível observar que nos mapas diretos de contagem total e especialmente os de eTh e eU parecem sugerir 4 ou 5 máximos, que correspondem igualmente a máximos topográficos, os quais podem indicar a presença de corpos intrusivos ou plutons independentes.

As imagens aero-gamaespectrométricas foram muito úteis na delimitação do Maciço Alto Turvo já que as respostas relacionadas às concentrações de K, Th e U para o Maciço estavam sempre associadas à anomalias positivas comprovando o enriquecimento destes elementos nas rochas graníticas presentes. Estas imagens auxiliaram na correção de alguns traçados externos eliminando áreas apresentadas anteriormente como correspondentes ao Maciço.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

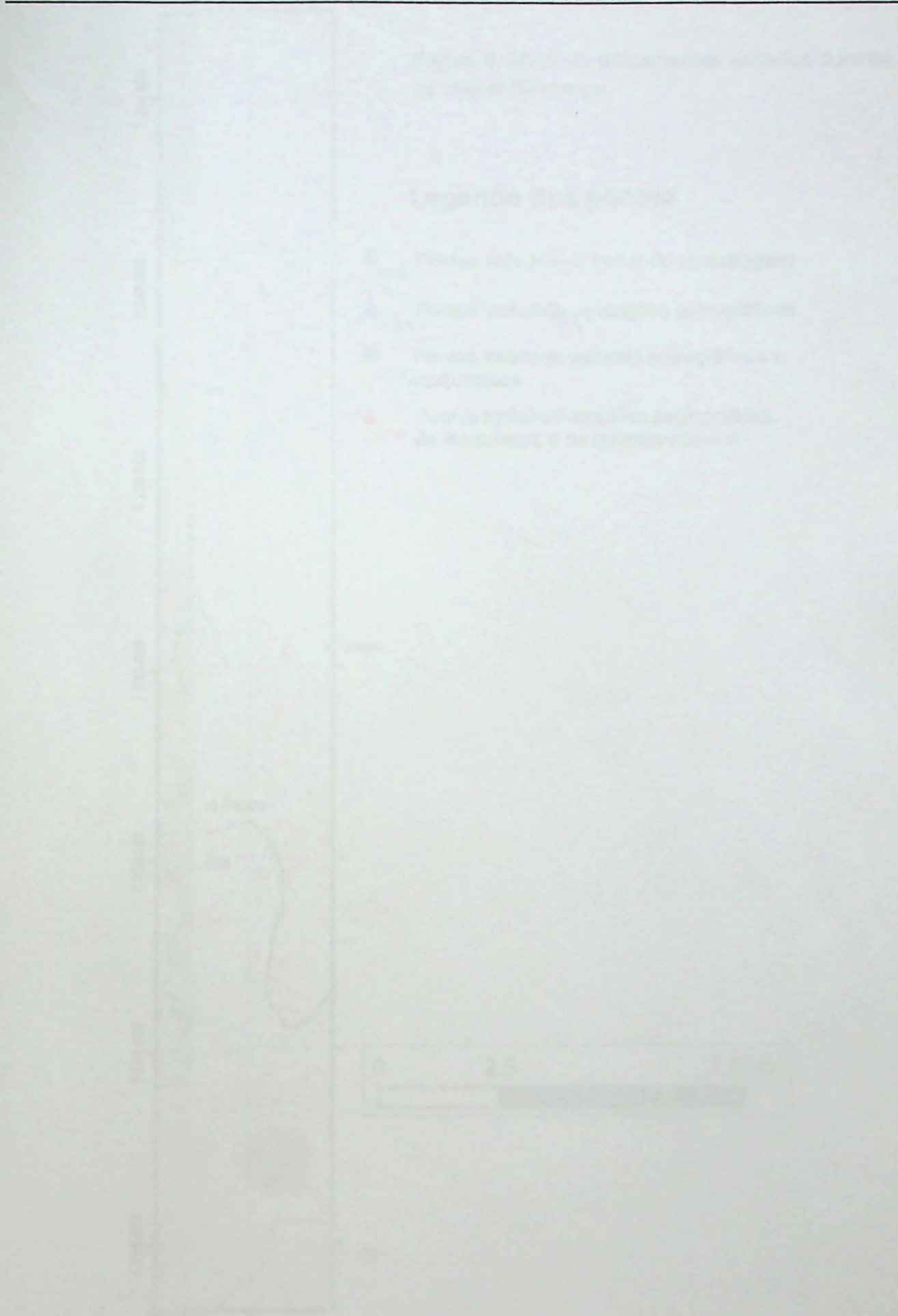
- Adams J.A.S, Gasparini P. 1970. Gamma-ray spectrometry of rocks. New York. *Elsevier*, 295p.
- Anderson J.L. 1996. Status of thermobarometry in granitic batholits. Transactions of the Royal Society of Edinburgh. *Earth Sciences*, **87**: 125-138.
- BARMP. 1997. *Brazil Airbone Radiometric Mapping Project*. Rio de Janeiro: PWG – Paterson, Grant & Watson, Limited, CPRM – Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais, and Geological Survey of anadá. 18p.
- 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** (2): 216-221.
- Bigarella J. J & Salamuni R. 1956a. Estudos preliminares BA Série Açungui. V. Estruturas organógenas nos dolomitos da Formação Capiru (Estado do Paraná). *Dusenya*, Curitiba. **7**(6):317-323.
- Bonin B. 2007. A-type granites and related rocks: Evolution of a concept, problems and prospects. *Lithos*, **97**: 1-29.
- Brito Neves B.B., Campos Neto M.C., Fuck A. F. 1999. From Rodinia to Western Gondwana: na approach to the Brasiliano-Pan African Cycle and orogenesis collage. *Episodes*, **22**: 155-156.
- Campanha G.A.C. & Sadowski G. R. 1999. Tectonics of the Southern Portion of the Ribeira Belt (Apiáí Domain). *Precambrian Research*, **98** (1):31-51.
- Cordani U.G & Bittencourt I. 1967. Determinações de idade Potássio – Argônio em rochas do Grupo Açungui. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 21, *Anais*, 1, p. 218-233.
- Deer W. A., Howie R.A., Zussman M.A.1992 *An introduction to the rock-forming minerals*. Longman. 2nd. Ed London. 696p.
- Faleiros F. M. 2008. *Evolução de terrenos tectono-metamórficos da Serrania do Ribeira e Planalto Alto Turvo (SP, PR)*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 306 p.
- Ferreira F.J.F., Frutking A., Guimarães G.B., Alves L.S., Martin V.M.O., Ulbrich G.J.H. 2009. Levantamentos Gamaespectrométricos em Granitos Diferenciados. II: O Exemplo do Granito Joaquim Murtinho, Complexo Granítico Cunhaporanga, Paraná. *Geologia USP – Série Científica*, **9**: 55-72.
- Frost B.R., Barnes C. G., Collins W. J., Arculus R. J., Ellis D. J., Frost C. D. 2001. A Geochemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology*, **42** (11):2033-2048.
- GEOFOTO S.A. 1978a. *Fotogrametria, cartografia e aerogeofísica “Projeto Serra do Mar Sul – fase de aquisição de dados (levantamento aeromagnético e aerogamaespectrométrico Serra do Mar entre Santa Catarina e Paraná)”*. Brasília. MME/DNPM/CPRM. Relatório Preliminar.

- GEOFOTO S.A. 1978b. *Fotogrametria, cartografia e aerogeofísica "Projeto Serra do Mar Sul – fase de processamento de dados"*. Brasília. MME/DNPM/CPRM. Relatório Preliminar.
- 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.
- Gualda G. A. R. & Vlach S. R. F. 2007 a. The Serra da Graciosa A-type granites and syenites, southern Brazil. Part 1: Regional setting and geological characterization. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **79**: 405-430.
- Gualda G. A. R. & Vlach S. R. F. 2007b. 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.
- Harrison T.M., Watson E.B. 1984. The behavior of apatite during crustal anatexis – equilibrium and kinetic considerations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **48**:1467-1477.
- Holland Y, Blundy J. 1994. Non-ideal interactions in calc amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry. *Contributions of Mineralogy and Petrology*. **116**: 433-447.
- Hasui Y., Carneiro C.D.R., Coimbra A.M. 1975. The Ribeira Folded Belt. *Revista Brasileira de Geociências*, **5**: 257-266.
- Heilbron M., Pedrosa-Soares A. C., Campos Neto M.C., Silva L.C., Trouw R.A.J., Janasi V.A. 2004. Província Mantiqueira. In: Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, C.D.R.; Brito-Neves, B.B. 2004. *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. 203-234pp.
- Kaul P.F.T. 1984. Significado dos granitos anorogênicos da Suíte Intrusiva Serra do Mar na evolução da crosta sul-sudeste do Brasil, no âmbito das folhas SG-22, Curitiba e SG-23, Iguape. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 33, *Anais*, **6**: 2815-2825.
- Kaul P.F.T. 1997. *O magmatismo na Serra do Mar e adjacências (Sul do Brasil) no final do Neoproterozóico e seus condicionantes tectônicos*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 293 p.
- Leake B.E., e 21 membros da IMA. 1997. Nomenclature of amphiboles report of Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **61**:295-231.
- Melcher G.C., Gomes C.B., Cordani U.G., Bettencourt J.S., Damaceno E.C., Girardi V.A.V., Melfi A.J. 1973. Geologia e petrografia das rochas metamórficas e graníticas associadas do Vale do Ribeira de Iguape, SP e PR. *Revista Brasileira de Geociências*, **3**: 97-123.
- Minty B.R.S. 1991. Simple micro-levelling for aeromagnetic data. *Exploration Geophysics*, **22**: 591-592.

- Minty B.R.S. 1997. The Fundamentals of airborne gamma-ray spectrometry. *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics*, **17**: 39-50.
- Morgental A., Batolla Jr. F., Pinto G.G., Paiva I.P., Drumond B.V. 1975. Projeto SUDELPA-CPRM, Relatório Final. Geologia, vol. 1, São Paulo, SP, Brasil.
- Prazeres Filho H.J., Harara O.M., Basei M.A.S., Passarelli C.R. & Siga Júnior O. 2003. Litoquímica, geocronologia U-Pb e geologia isotópica (Sr-Nd-Pb) das rochas graníticas dos batólitos Cunhaporanga e Três Córregos na porção sul do Cinturão Ribeira, Estado do Paraná. *Geologia USP – Série Científica*, **3**: 51-70.
- Mori P.E., Reeves S., Correia C.T., Haukka M. 1999. Development of a fused glass disc XRF facility and comparison with the pressed powder pellet technique at Instituto de Geociências, São Paulo University. *Revista Brasileira de Geociências*, **29**: 441-446.
- Pearce J. A., Harris N. B. W. & Tindle A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*. **25**: 956-983.
- Rudnick R, Gao S. 2004. Composition of the continental crust. In: Holland H.D., Turekian K.K. 2004. *Treatise on geochemistry*. Elsevier pergamon, **3**: 1-64.
- 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** (3): 215-223.
- Siga Jr. O., Basei M.A.S., Reis Neto J.M., Machiavelli A., Harara O.M. 1995. O Complexo Atuba: Um Cinturão Paleoproterozóico Intensamente Retrabalhado no Neoproterozóico. *Geologia USP – Série Científica*, **26**: 69-98.
- Silva, A.T.S. da, Francisconi O., Godoy, A.M. de, Batolla Jr. F. 1981. Projeto integração e detalhe geológico no Vale do Ribeira. DNPM/ CPRM, Relatório final, v1, São Paulo.
- Streckeisen A. 1967. Classification and nomenclature of igneous rocks. *Neues Jahrbuch für Mineralogische. Abtheilung*. **107**: 144-240
- Ulbrich G.J.H., Ulbrich M.N.C., Ferreira F.J.F., Alves L.S., Guimarães G.B., Frutking A. 2009. Levantamentos Gamaespectrométricos em Granitos Diferenciados. I: Revisão da Metodologia e do Comportamento Geoquímico dos Elementos K, Th e U. . *Geologia USP – Série Científica*, **9**: 33-53.
- Vasconcelos C. S, Dehler N. M., Yamato A. A., Lopes Junio I. 1999. Projeto Jacupiranga-Rio Guaraú. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. São Paulo. 230p.
- Vlach S.R.F. & Gualda G.A.R. 2007. Allanite and chevkinite in A-type granites and syenites of the Graciosa Province, southern Brazil. *Lithos*, **97** (1-2): 98-121.
- Vlach S.R.F. & Gualda G.A.R. (inédito). Age-Mona: Software sem registro de patente.

- Vilalva F.C.J. 2008. *Petrografia e Mineralogia de Granitos Peralcalinos: O Plúton Papanduva, Complexo Morro Redondo (PR/SC)*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 289 p.
- Watson E.B., Harrison T.M. 1983. Zircon Saturation revisited: temperature and composition effects in a variety of magmas types. *Earth and Planetay Science Letters*. **64**: 295-304
- Whalen J. B., Currie K. L. & Cappel B. W. 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. **95**: 407-418.

ANEXO I – MAPA DE AFLORAMENTOS VISITADOS



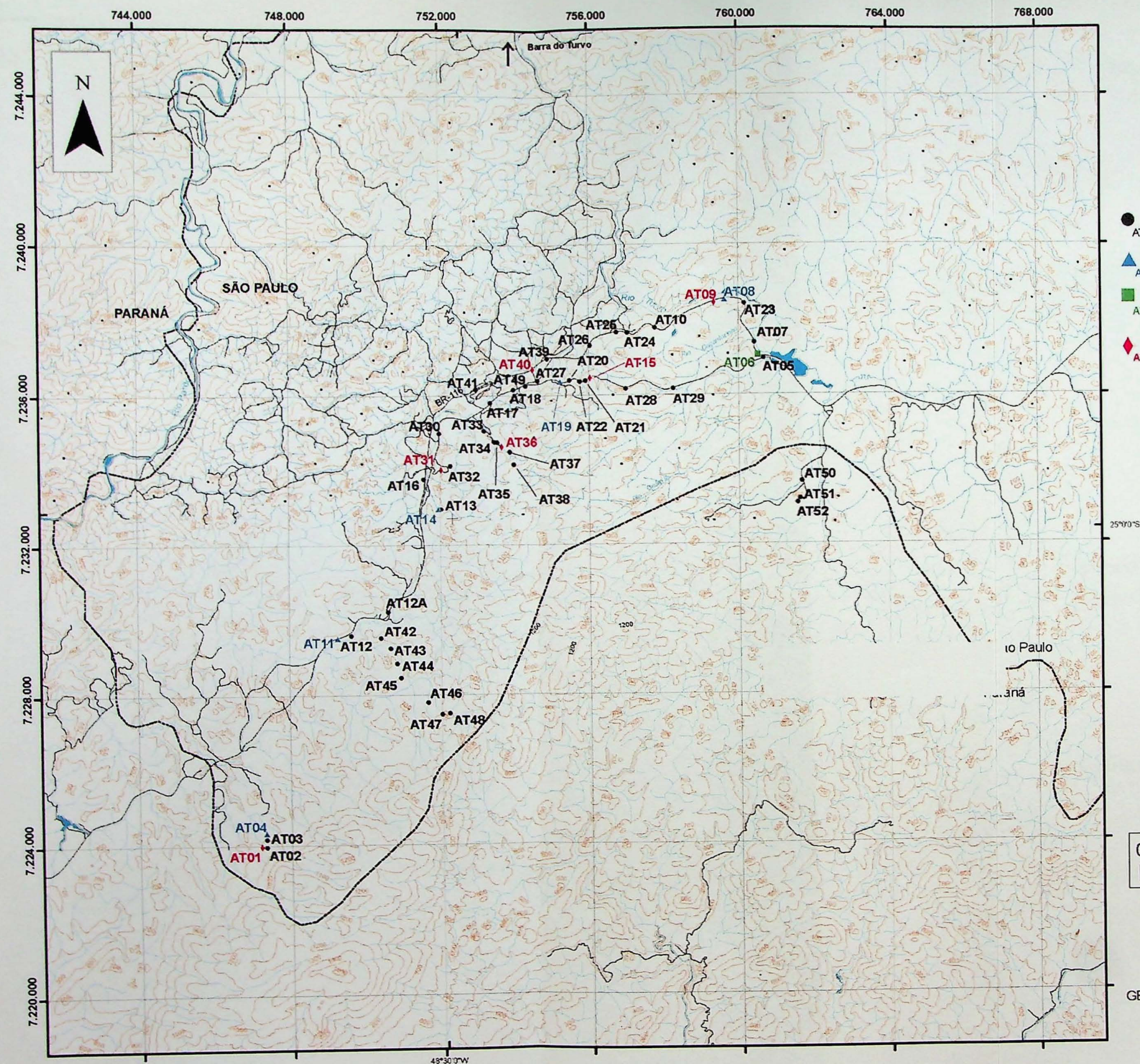
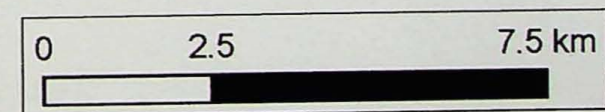


Figura 4. Mapa de afloramentos visitados durante as etapas de campo.

Legenda dos pontos

- Pontos estudados, incluindo amostragem
AT02
- ▲ Pontos incluindo descrições petrográficas
AT08
- Pontos incluindo estudos petrográficos e litoquímicos
AT06
- ◆ Pontos incluindo análises petrográficas, de litoquímica e de química mineral
AT01



GE



Mapa Geológico de la zona de estudio, modificado a partir de...

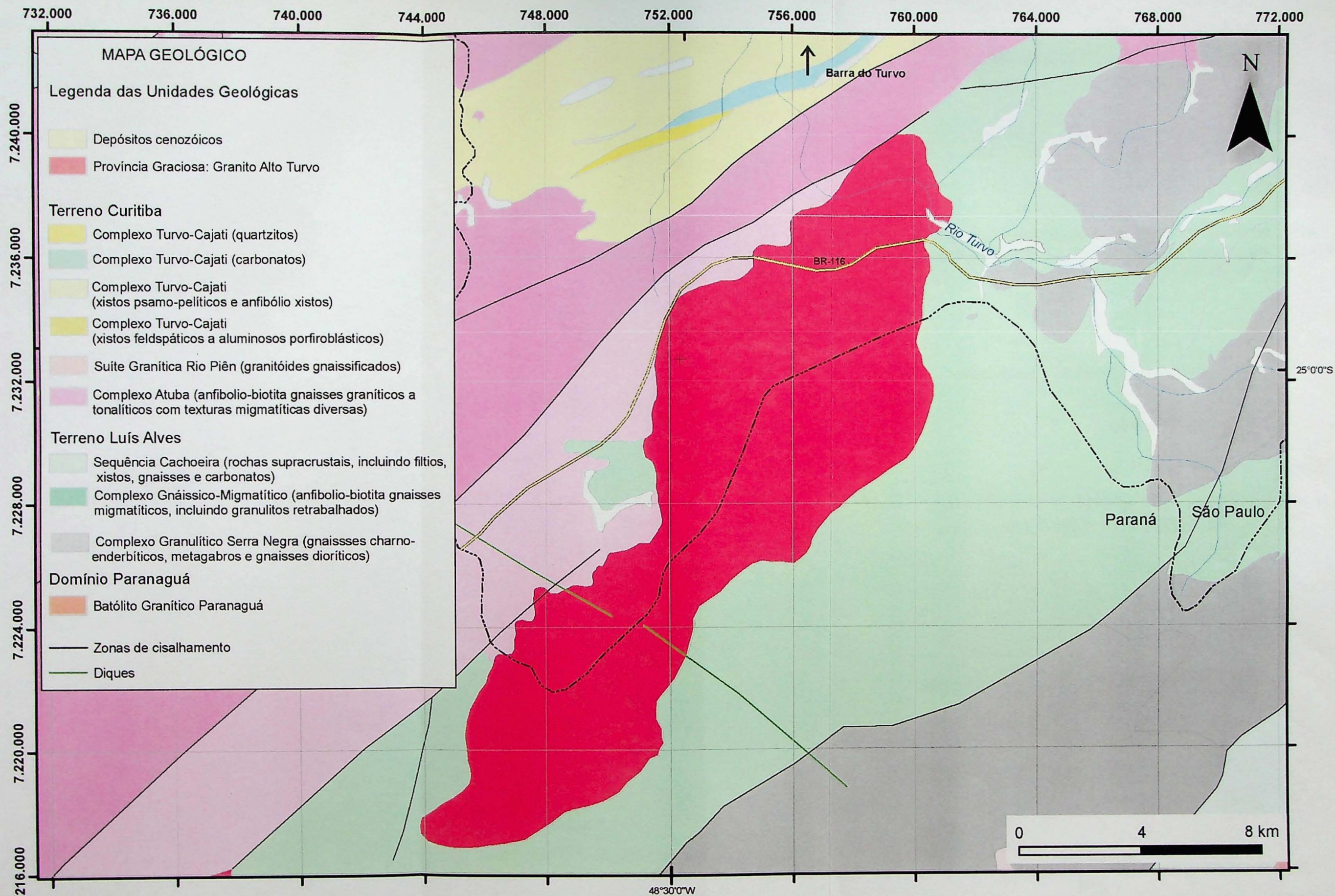


Figura 5. Mapa Geológico enfatizando contornos modificados a N e a W do Maciço Alto Turvo com base nos dados digitais do terreno e nas imagens aero-gamaespectrométricas da área. Fonte: Mapa geológico modificado a partir dos dados do Projeto Integração Geológica do Vale do Ribeira e Litoral Sul do Estado de São Paulo (Instituto Geológico, no prelo) e Folha SG22 - Curitiba - 1:1.000.000, CPRM, 2004.



Fig. 1. Vista macroscópica da amostra de rocha (cortado) com aspecto granular.



Fig. 2. Vista macroscópica da amostra de rocha (cortado) com aspecto granular.



Fig. 3. Vista macroscópica da amostra de rocha (cortado) com aspecto granular.

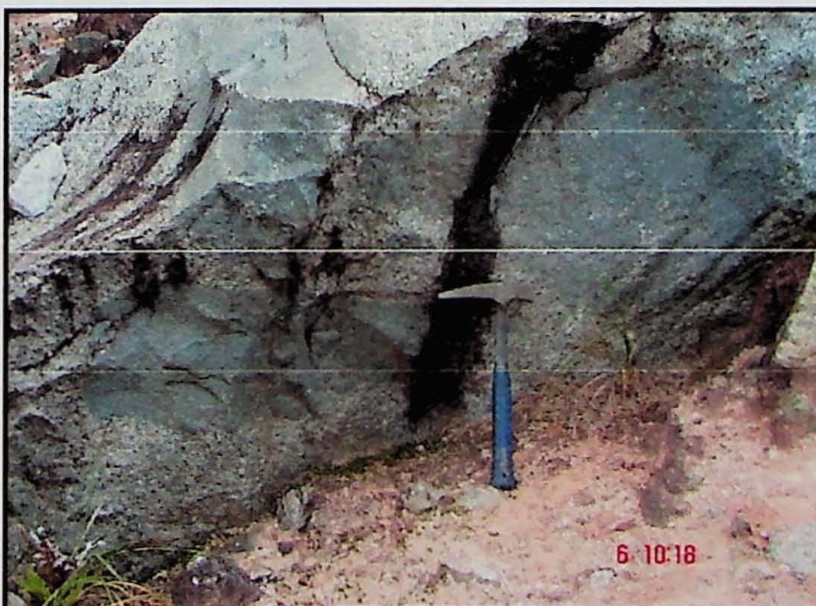
PRANCHA I – ASPECTOS MACROSCÓPICOS



(1) Biotita monzogranito I hololeucocrático rosado. Detalhe para dique aplítico. Amostra AT-08.



(2) Aspecto macroscópico de biotita monzogranito II de granulação grossa com pequenos enclaves microgranulares. Amostra AT-15D.



(3) Exemplos de enclaves centimétricos a decimétricos presentes nos biotita monzogranitos II. Amostra AT-15.

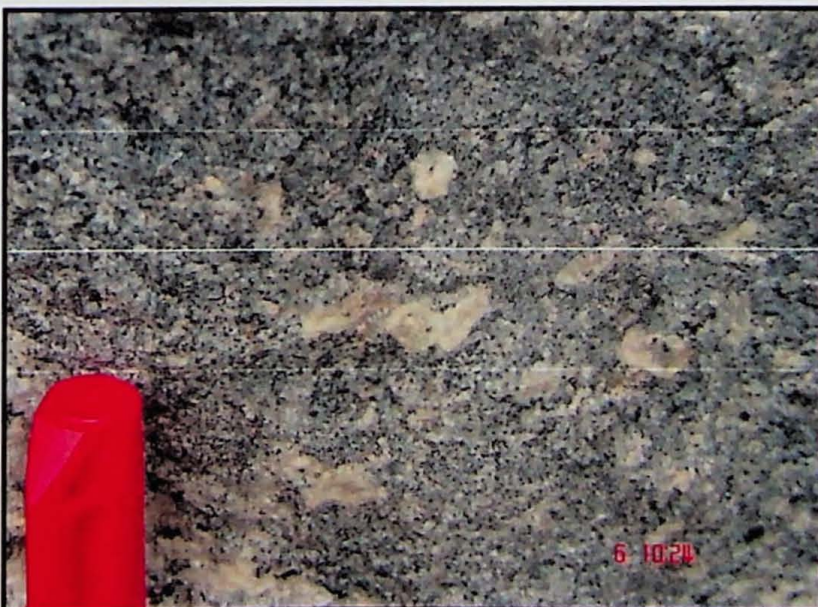
PRANCHA I – ASPECTOS MACROSCÓPICOS



(4) Enclave duplo com núcleo mais máfico em destaque. Amostra AT-15E.



(5) Cristais de biotita alongados presentes no núcleo do enclave duplo. Amostra AT-15E.



(6) Xenocristais de feldspato alcalino em enclave granodiorítico. Amostra AT-15E.

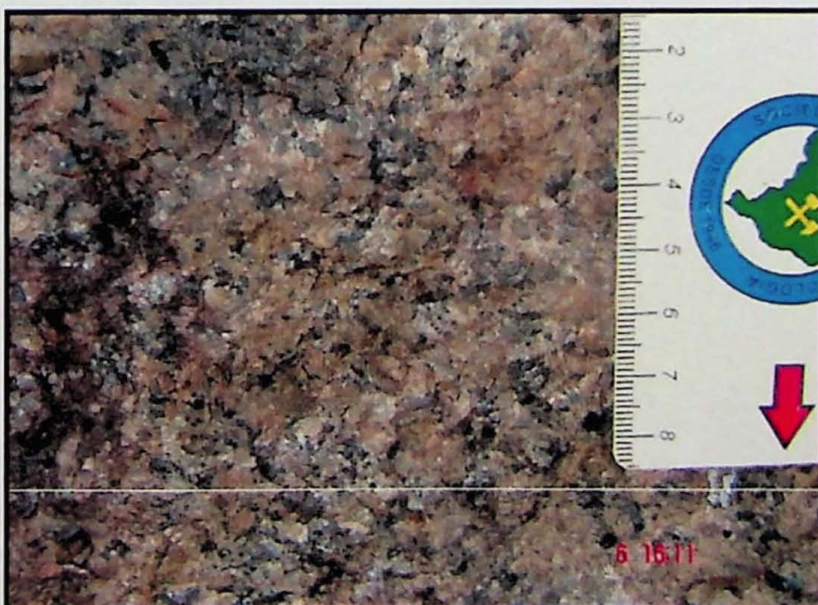
PRANCHA I – ASPECTOS MACROSCÓPICOS



(7) Enclave microgranular apresentando feições de fluxo magmático (seta indica o sentido). Amostra AT-15.



(8) Bloco de granodiorito com xenocristais de feldspato alcalino. Amostra AT-36.



(9) Aspecto macroscópico de álcali-feldspato granito com textura inequigranular e granulação média. Amostra AT-19.

PRANCHA I – ASPECTOS MACROSCÓPICOS



(10) Hornblenda sienogranito com xenólito de granitóide porfiroclástico do embasamento. Amostra AT-20.



(11) Porfiroclastos de feldspato alcalino presentes no xenólito do embasamento. Amostra AT-20.



(12) Contato difuso entre xenólito (porção mais escura na foto) com sienogranito do Maciço Alto Turvo.

ANEXO IV – IMAGEM SRTM SOBRE CONTORNOS GEOLÓGICOS



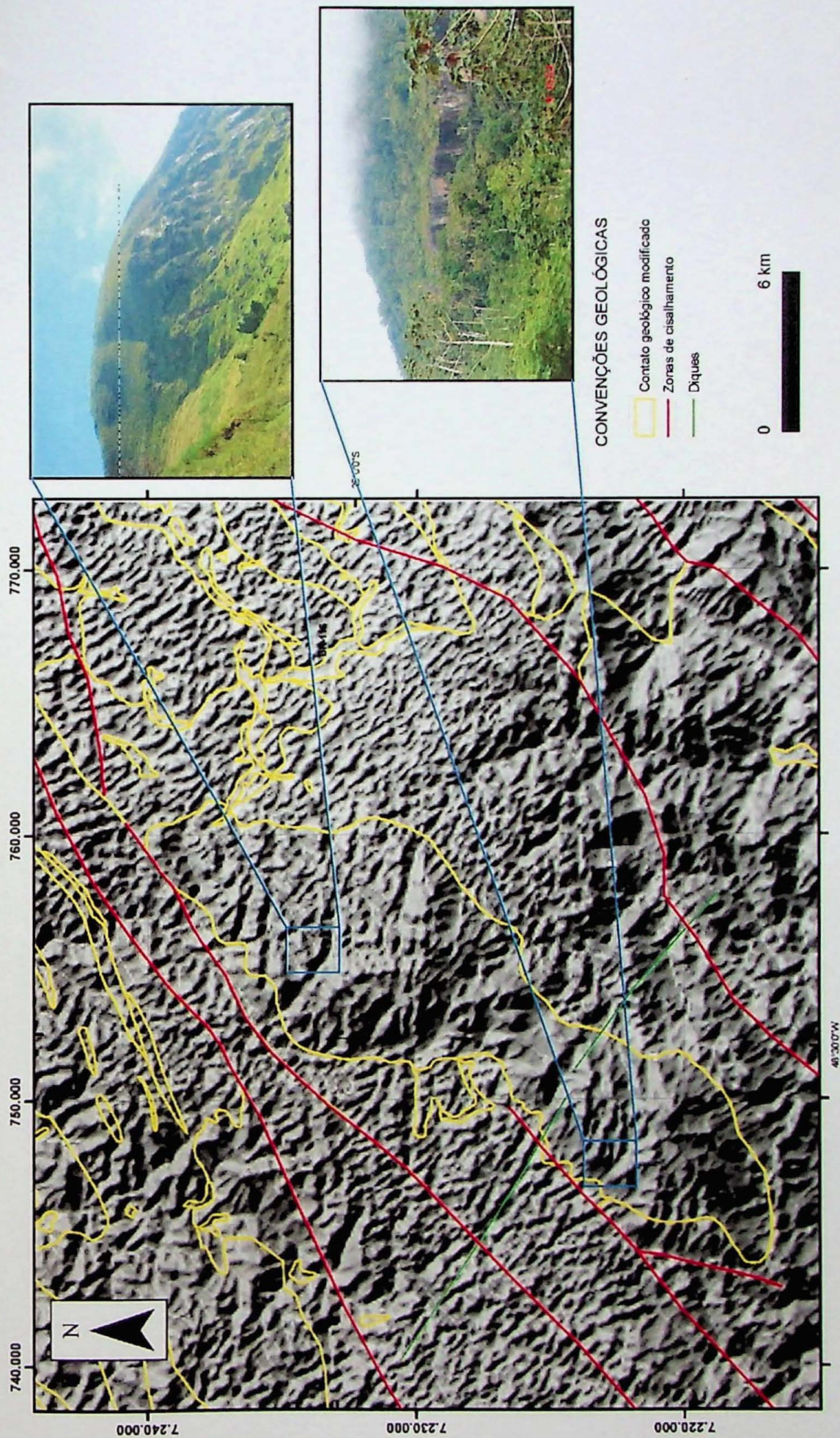


Figura 6. Sobreposição dos dados digitais do terreno (SRTM) com contornos geológicos já redefinidos do Maciço Alto Turvo. As fotos mostram faces planares de alguns blocos possivelmente associadas às estruturas de direção WNW-ESE.



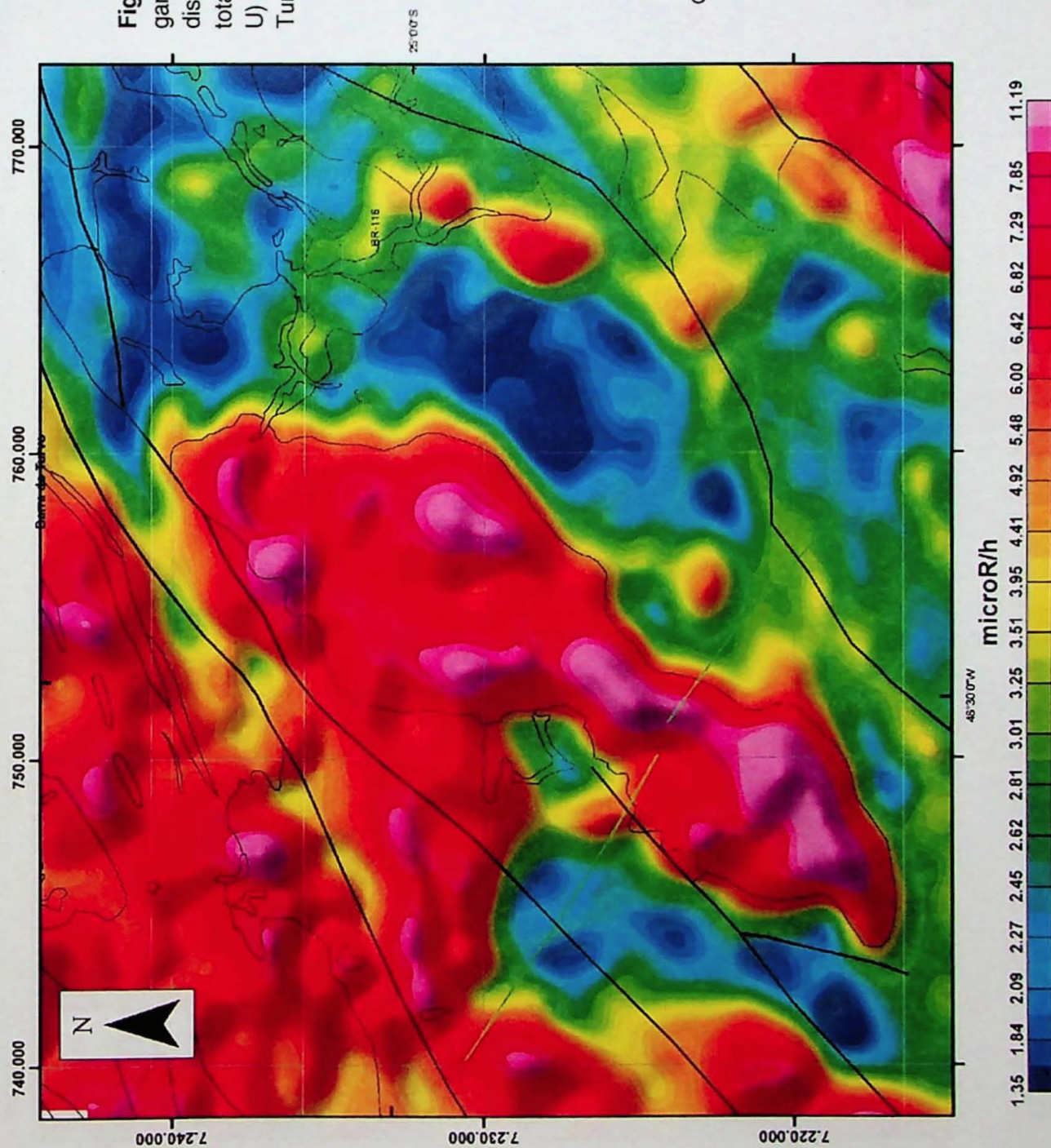


Figura 7. Mapa aero-gamaespectrométrico de distribuição da contagem total dos elementos (K-Th-U) para o Maciço Alto Turvo.

CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

- Contato geológico modificado
- Zonas de cisalhamento
- - - Diques

0 6 km

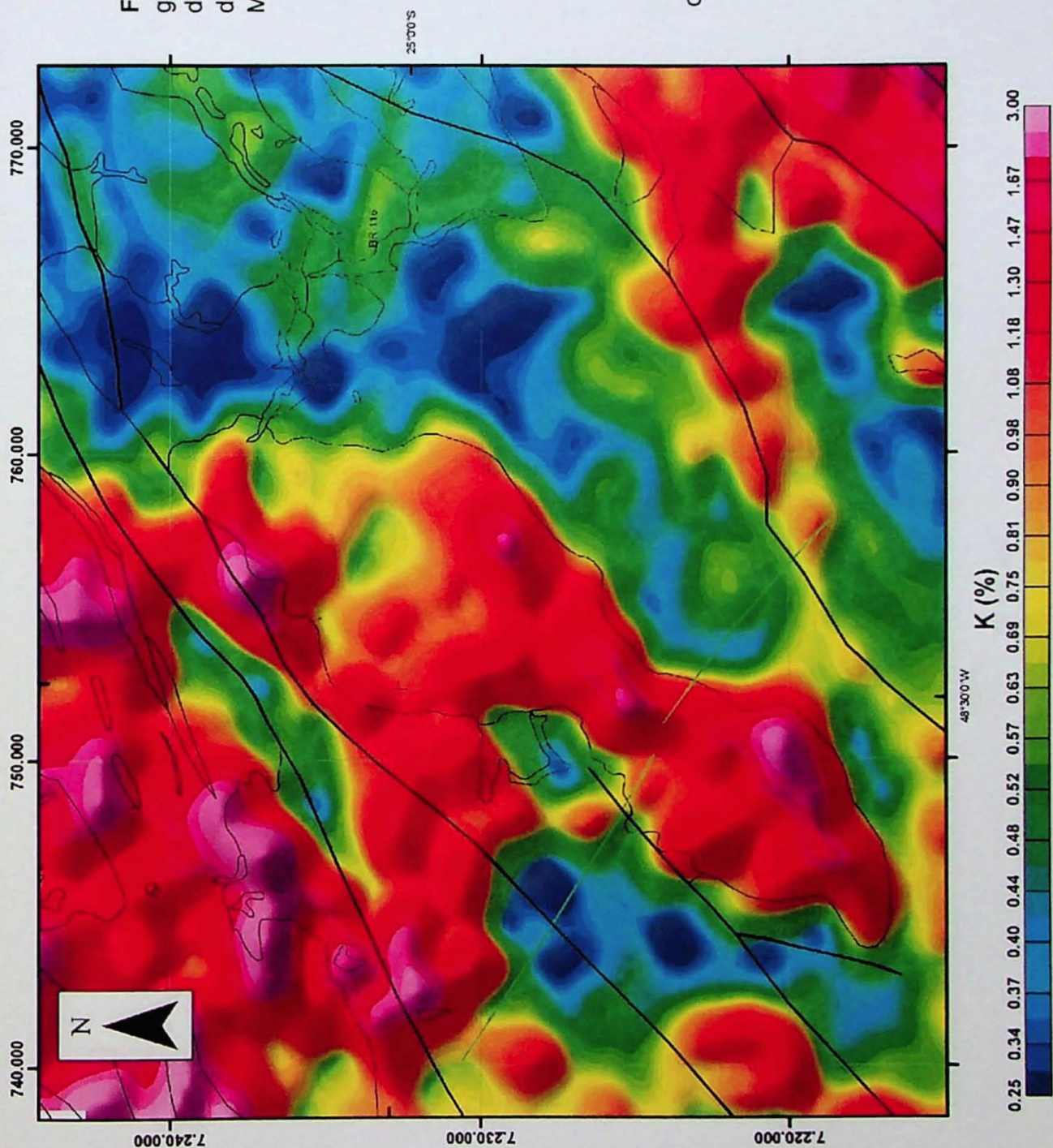
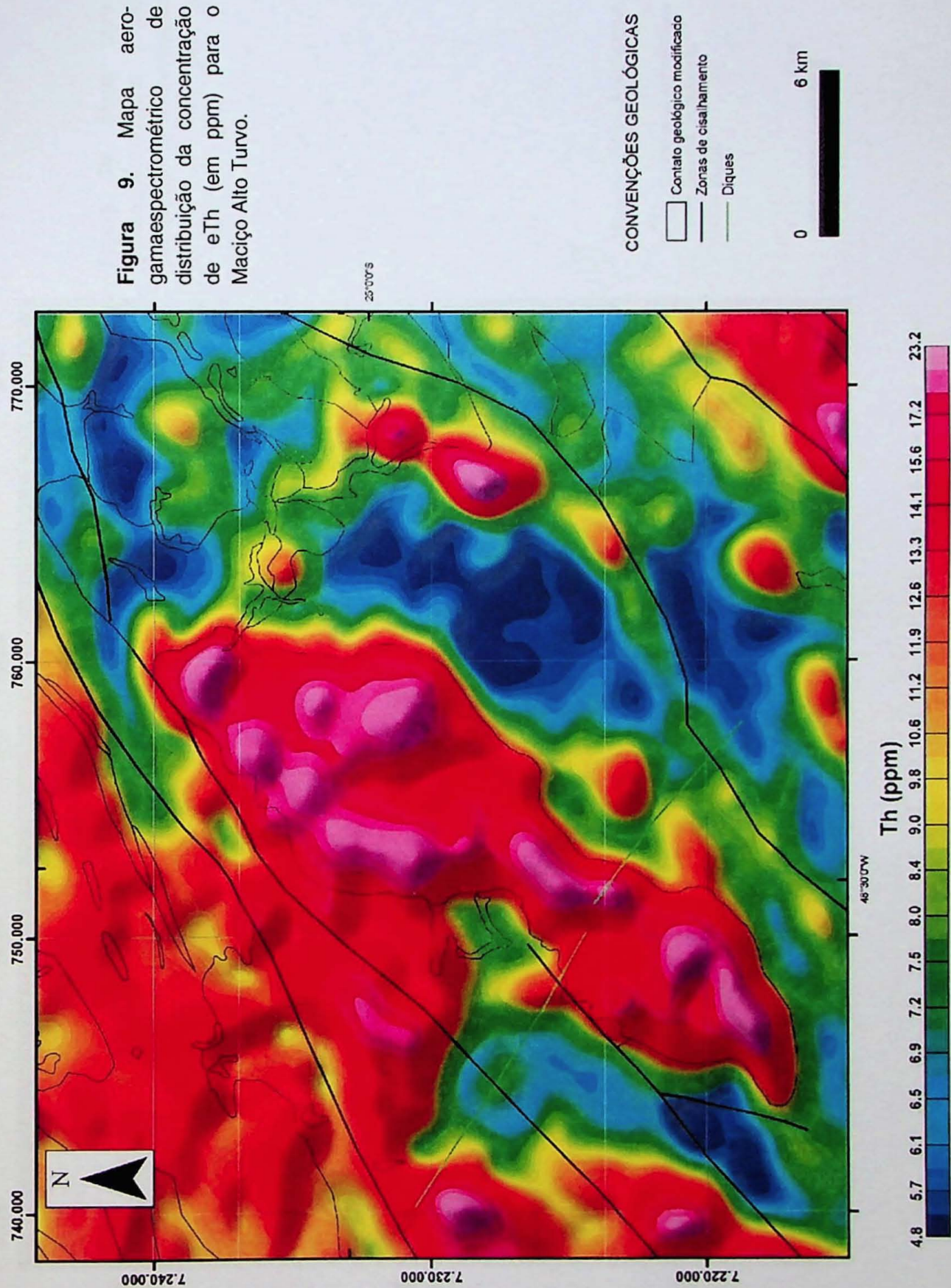
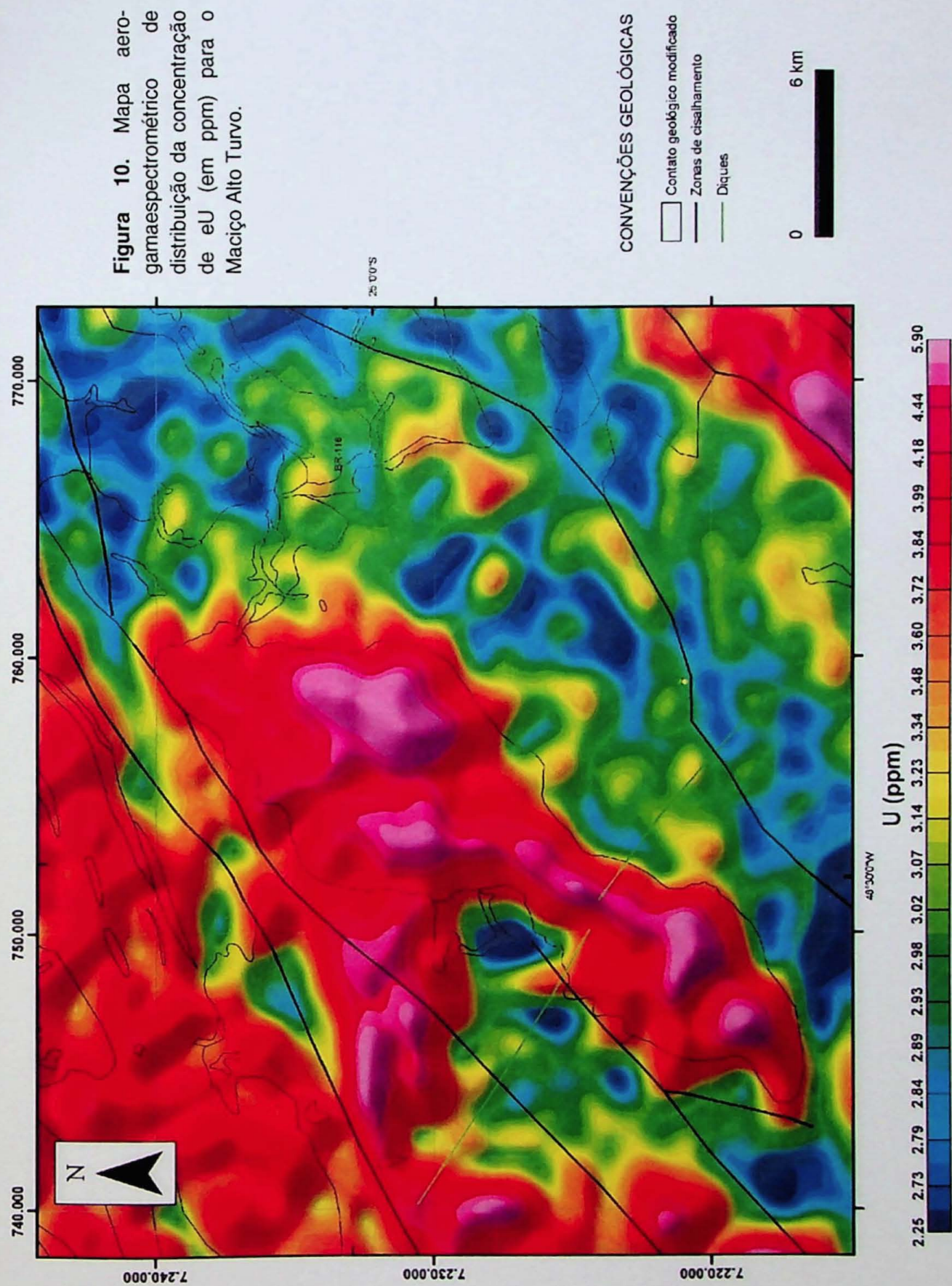


Figura 8. Mapa aeromagnético de distribuição da concentração de K (% em peso) para o Maciço Alto Turvo.





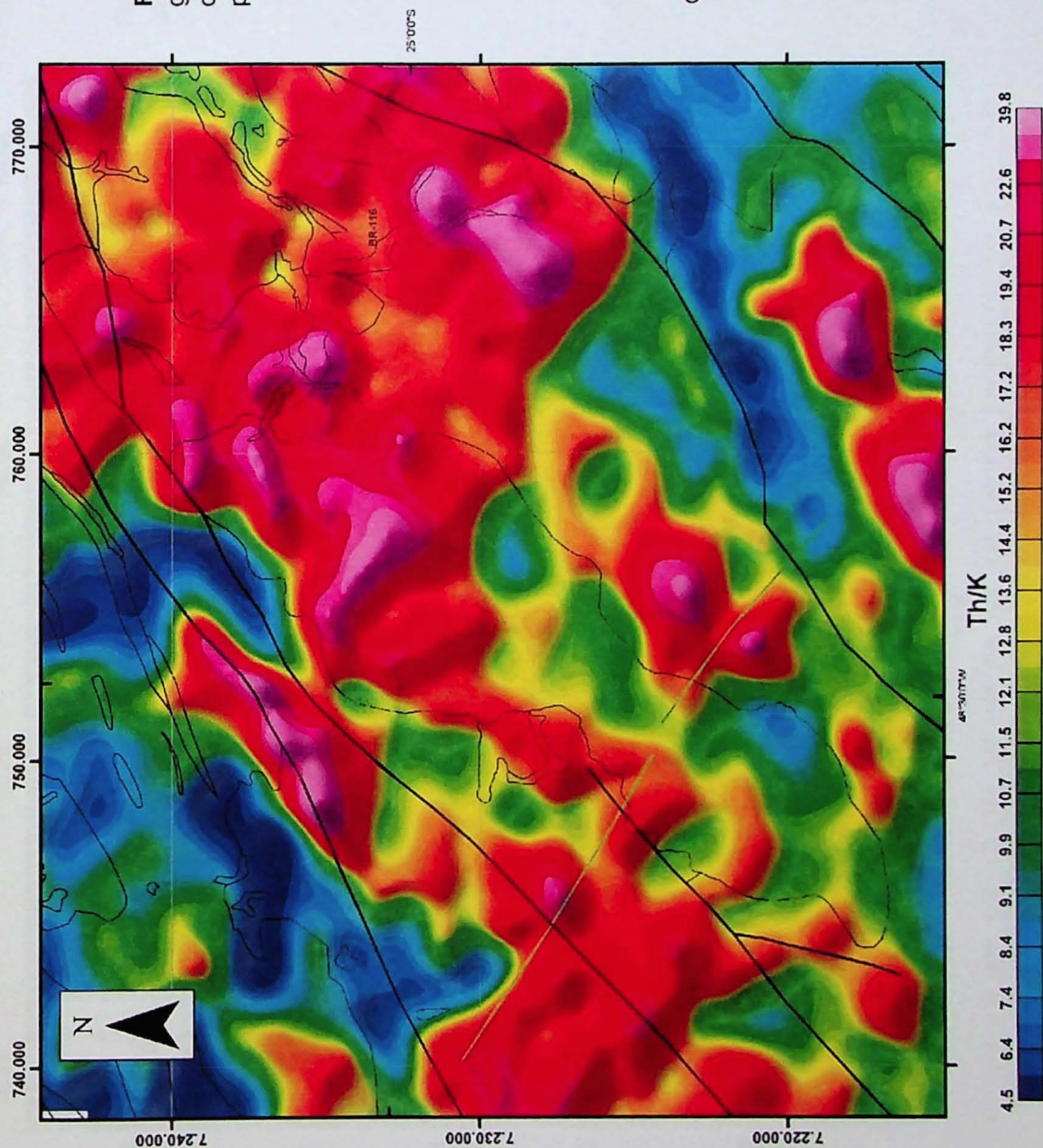


Figura 11. Mapa aerogamaespectrométrico da distribuição da razão eTh/K para o Maciço Alto Turvo.

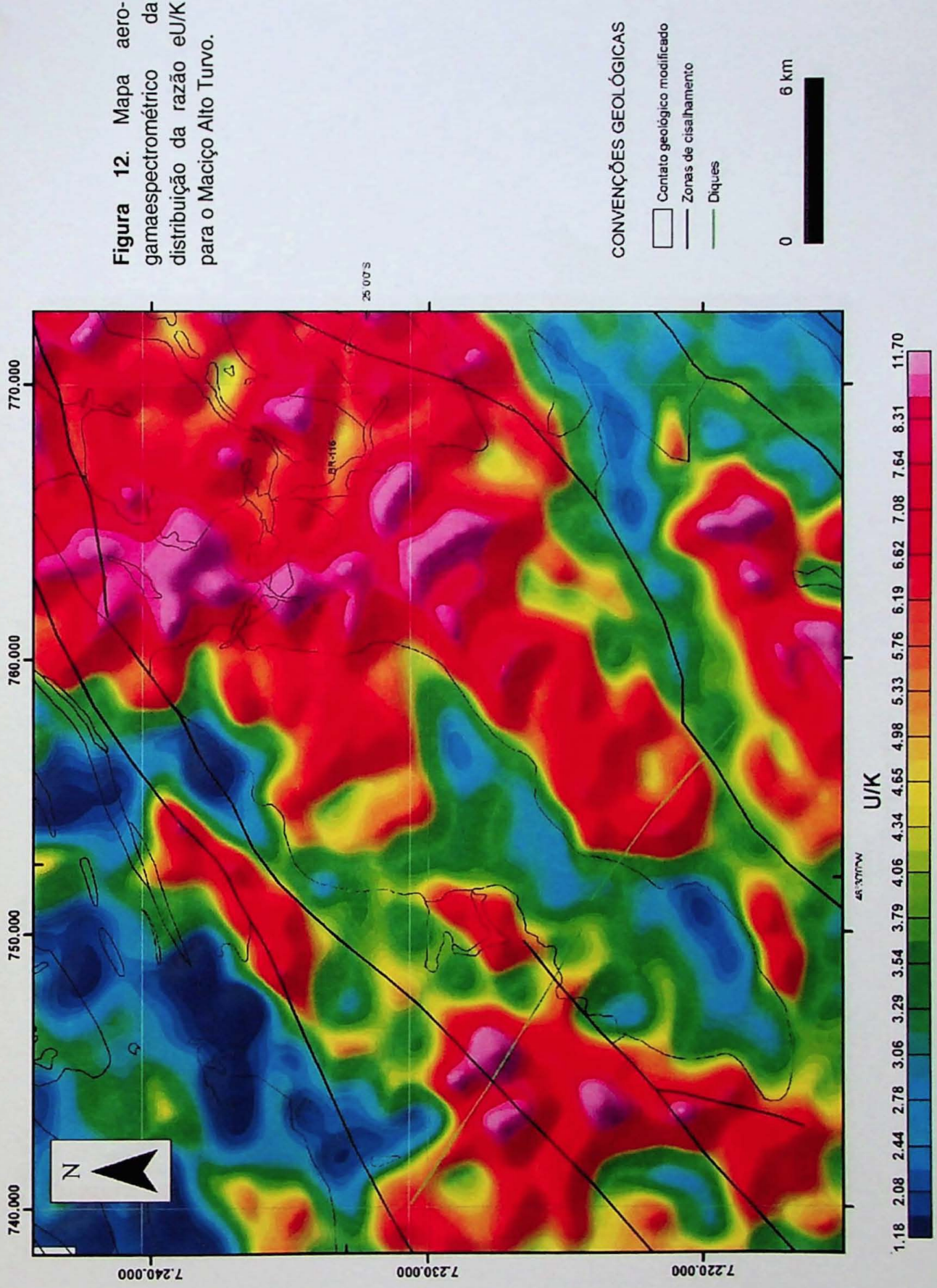
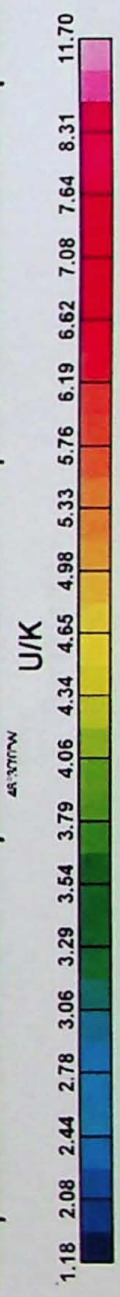


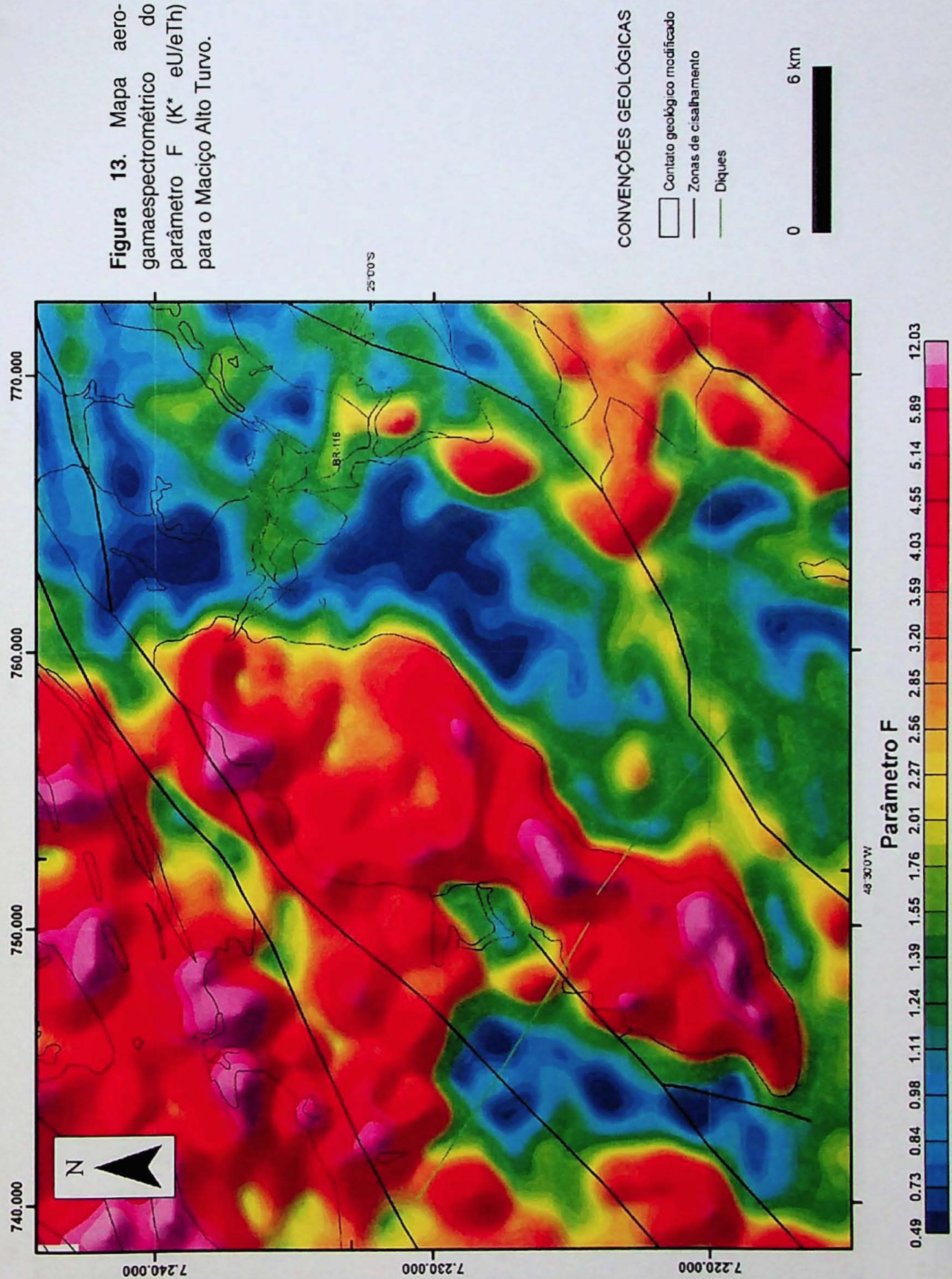
Figura 12. Mapa aero-
gamaespectrométrico da
distribuição da razão eU/K
para o Maciço Alto Turvo.

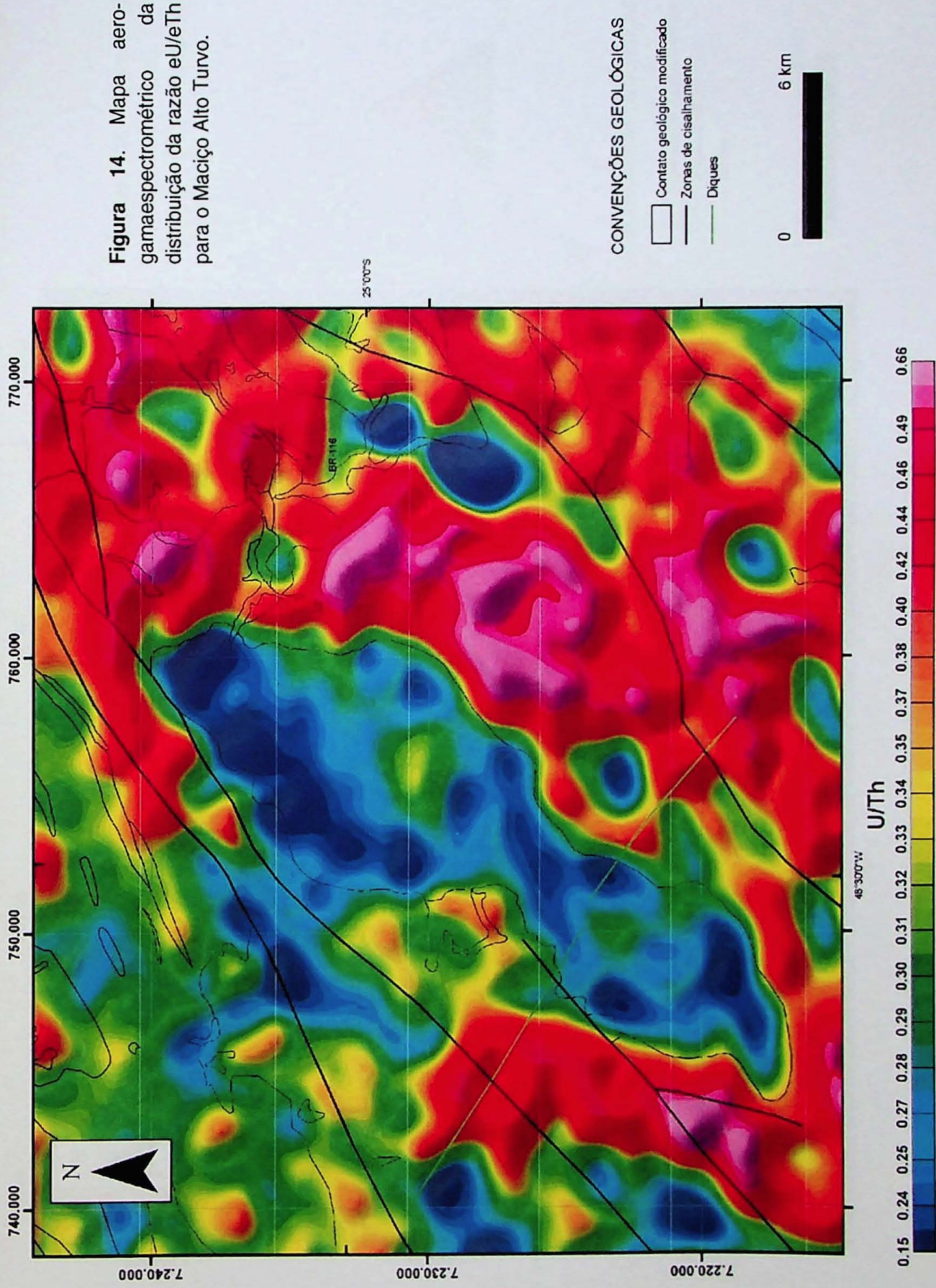
CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

- Contato geológico modificado
- Zonas de cisalhamento
- Diques

0 6 km







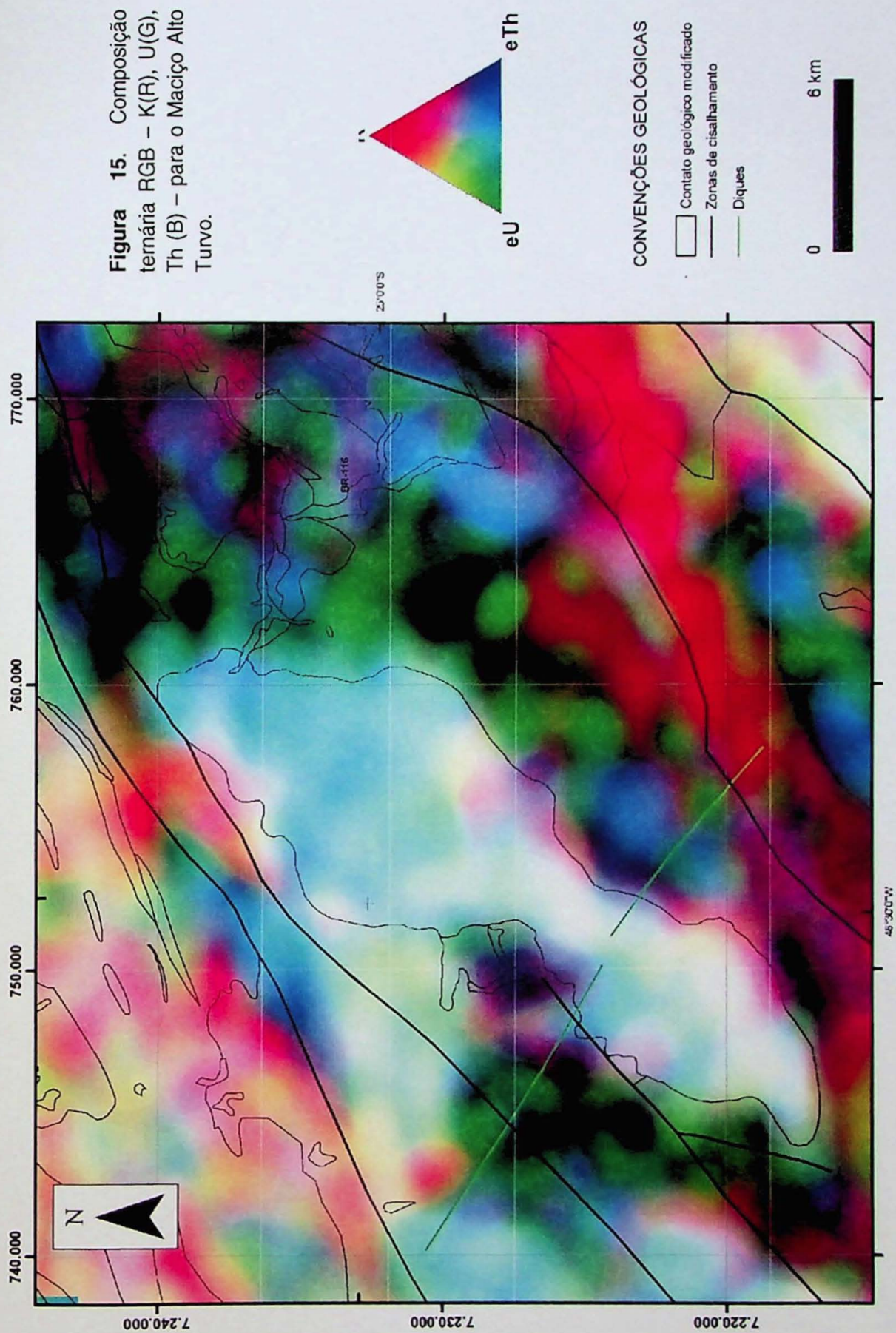


Figura Microscópica 1 - 3



1) Cortejo de tecido vegetal
mostrando a estrutura do
cortejo e a estrutura do
pith. (Figura 1) (Figura 2)
(Figura 3) (Figura 4)



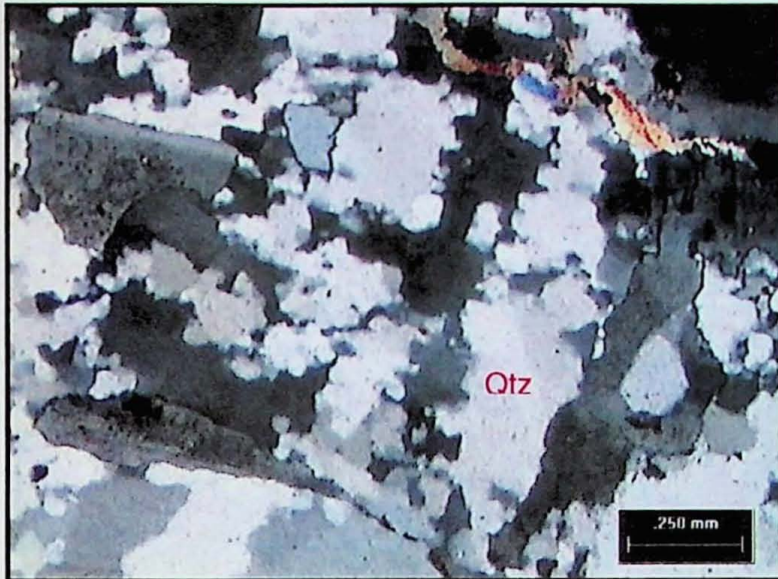
2) Cortejo de tecido de
cortejo e a estrutura do
pith. (Figura 1) (Figura 2)
(Figura 3) (Figura 4)



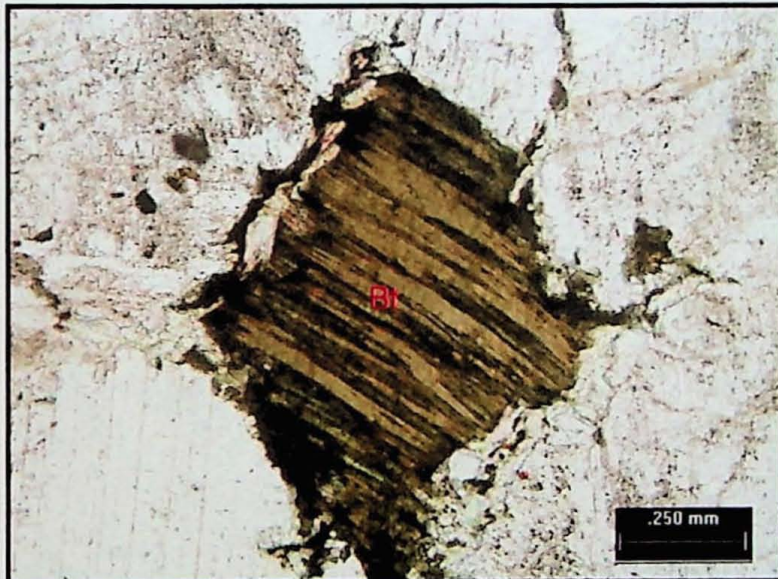
3) Cortejo de tecido de
cortejo e a estrutura do
pith. (Figura 1) (Figura 2)
(Figura 3) (Figura 4)

PRANCHA II – ASPECTOS MICROSCÓPICOS

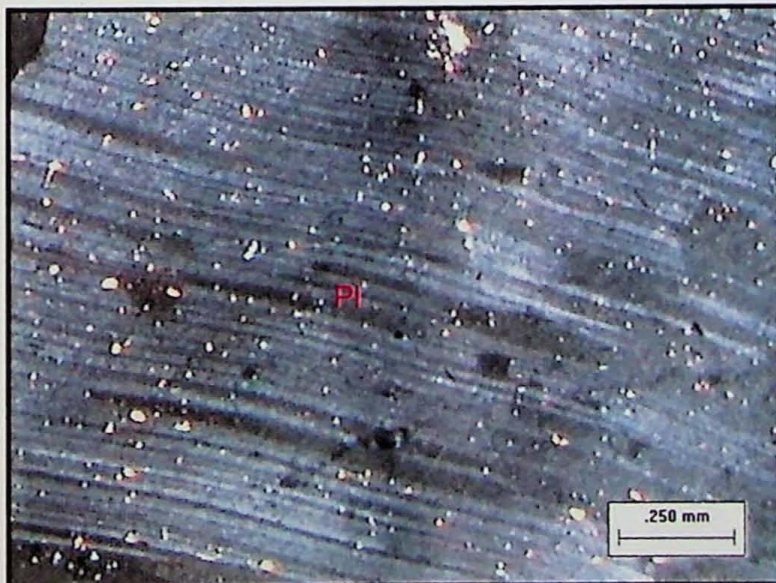
Biotita Monzogranitos I e II



(1) Cristais de quartzo límpidos apresentando contatos irregulares e associados com cristais de plagioclásio de aspecto 'sujo'. Polarizadores cruzados. Amostra AT – 08.



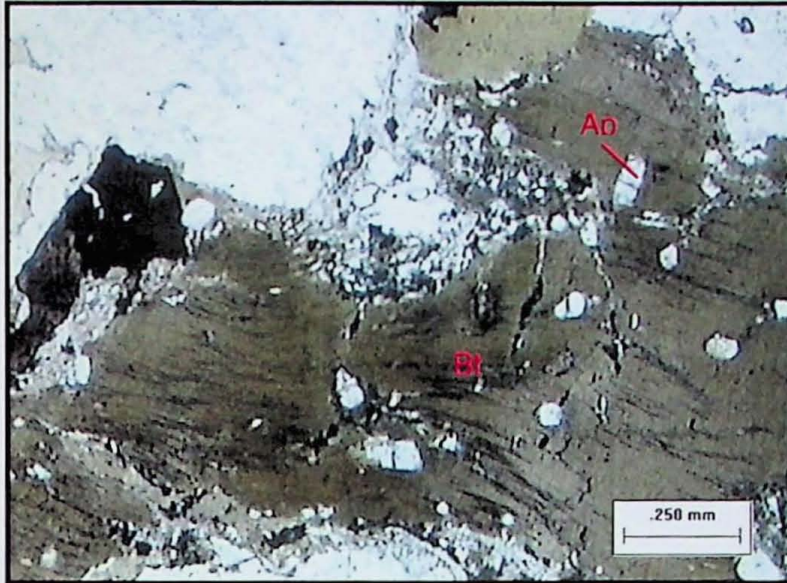
(2) Cristal de biotita de cor acastanhada parcialmente substituída por clorita e intersticial entre feldspatos. Luz plano polarizada. Amostra AT – 09.



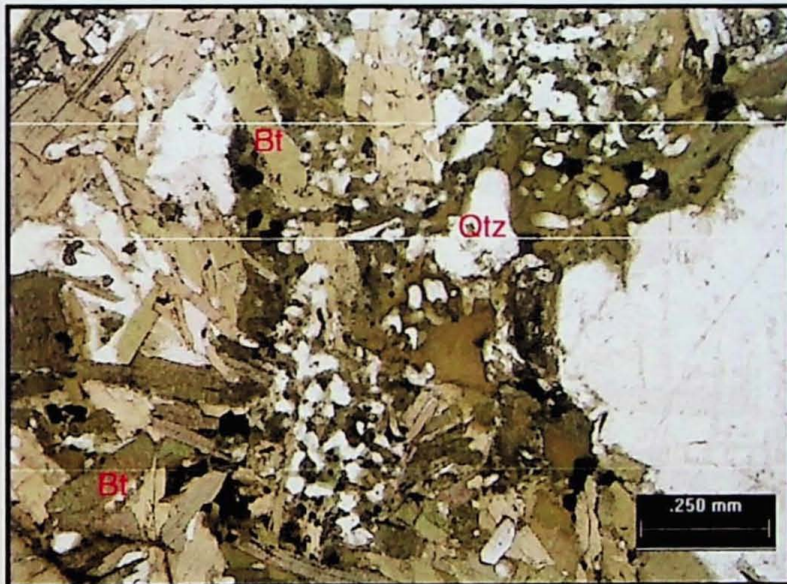
(3) Megacristal de plagioclásio apresentando lamelas da geminação da Lei da Albita com indícios de deformação plástica. Polarizadores cruzados. Amostra AT-15D.

PRANCHA II – ASPECTOS MICROSCÓPICOS

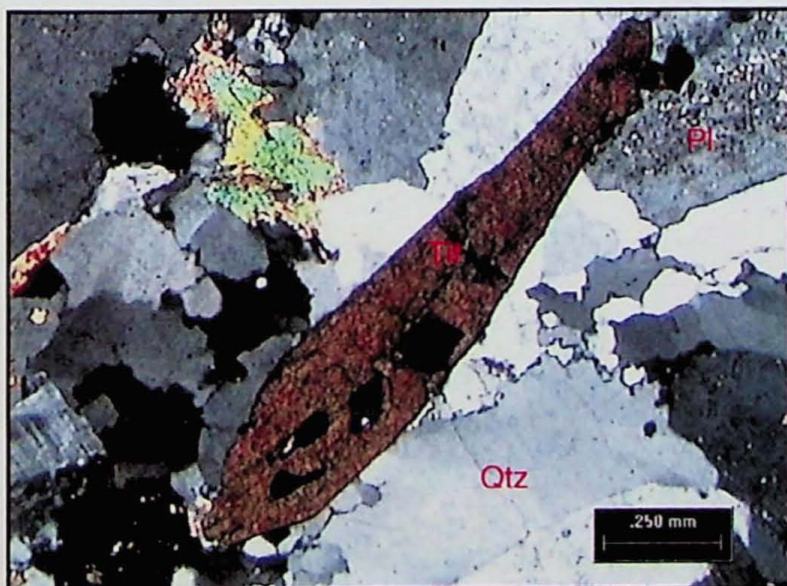
Biotita Monzogranitos I e II



(4) Cristal de biotita esverdeada com evidências de deformação plástica. Presença de inclusões de apatita. Luz plano polarizada. Amostra AT- 15D.



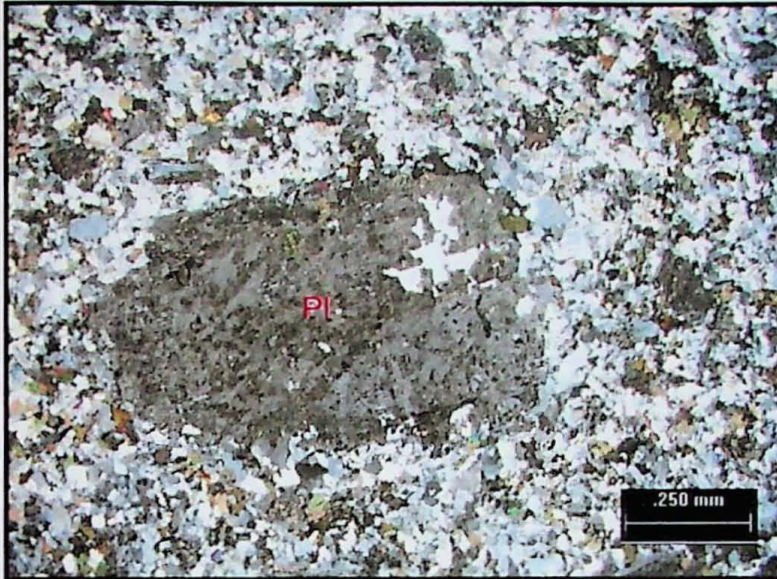
(5) Glomérulo máfico.com biotitas euédricas prismáticas a anédricas de coloração verde a amarelado. Quartzo ocorre associado a estes cristais de biotita. Luz plano polarizada. Amostra AT- 15D.



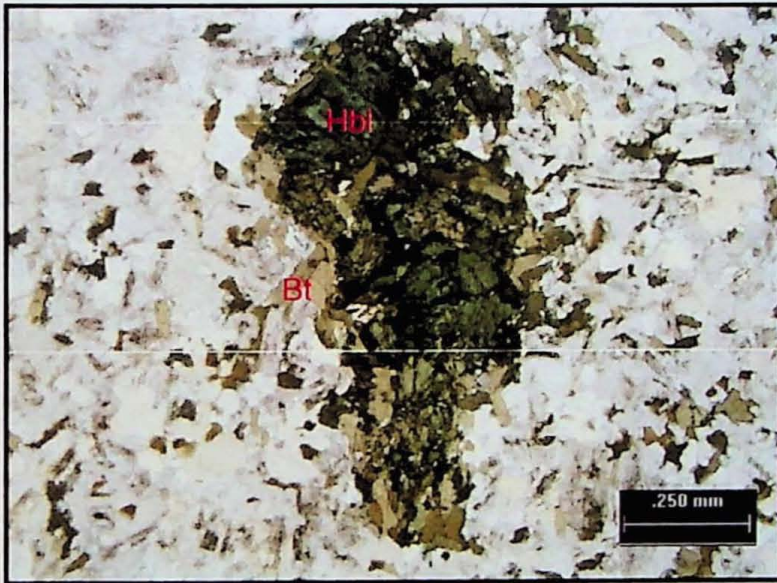
(6) Titanita subédrica com inclusões de opaco. Polarizadores cruzados. Amostra AT-15D.

PRANCHA II – ASPECTOS MICROSCÓPICOS

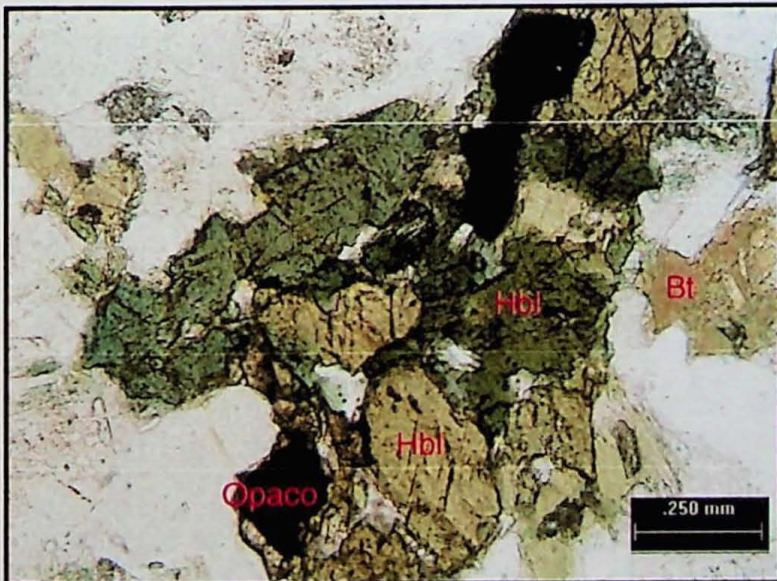
Granodioritos



(7) Xenocrystal de plagioclásio subédrico em meio a matriz quartzo-feldspática. É possível identificar pequenos agregados máficos. Polarizadores cruzados. Amostra AT- 36.



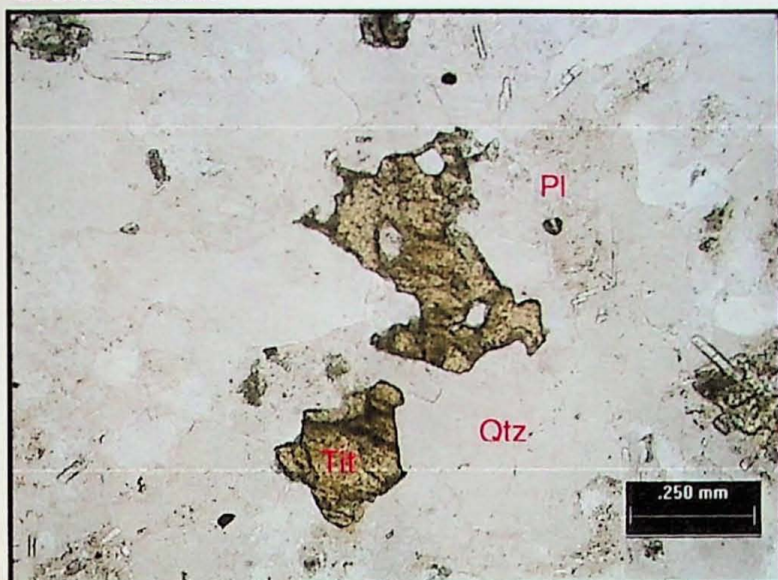
(8) Minerais máficos ocorrendo disseminados pela seção e também definindo glomérulos. Hornblenda caracterizada pela coloração verde oliva e biotita acastanhada. Luz plano polarizada. Amostra AT-36.



(9) Cristais de anfibólio subédricos com pleocroísmo do marrom esverdeado a verde definindo aglomerado máfico. Luz plano polarizada. Amostra AT-36.

PRANCHA II – ASPECTOS MICROSCÓPICOS

Granodioritos

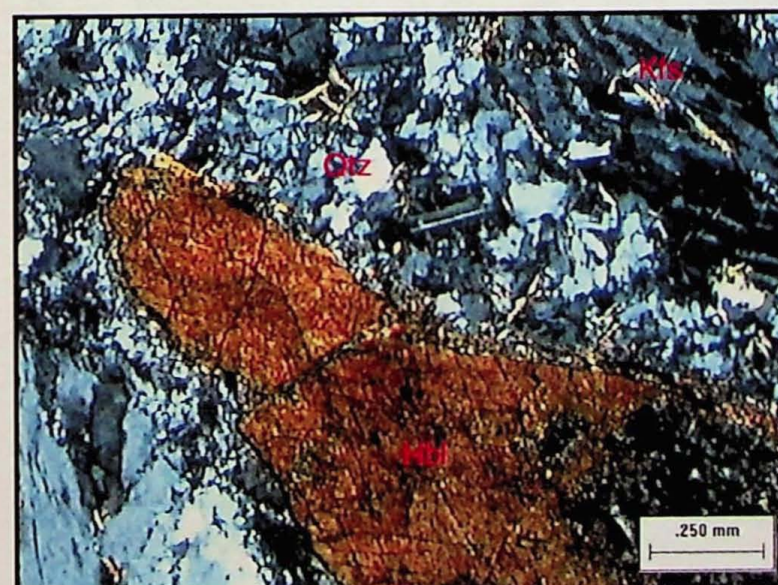


(10) Titanita em cristais subédricos a intersticiais anédricos. Polarizadores paralelos. Amostra AT-36.

Álcali-feldspato granitos



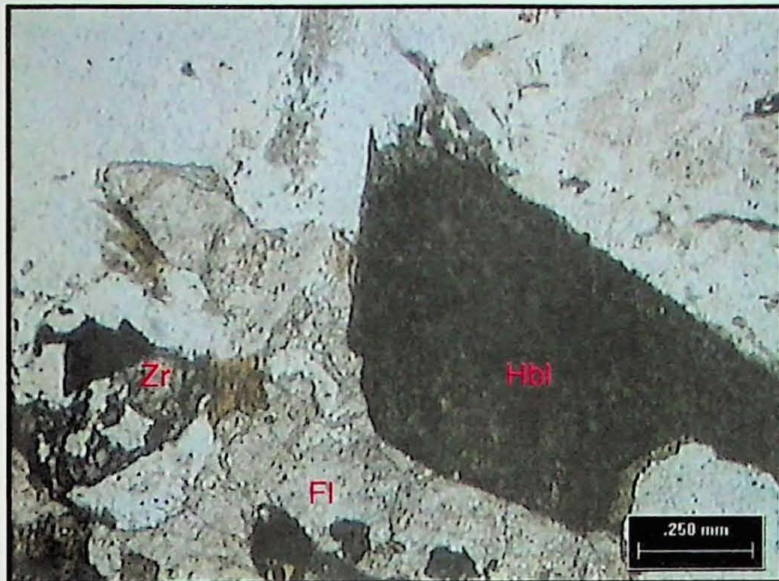
(11) Cristais de feldspato alcalino pertítico anédricos a subédricos com contornos irregulares predominantes na seção. Polarizadores cruzados. Amostra AT – 04.



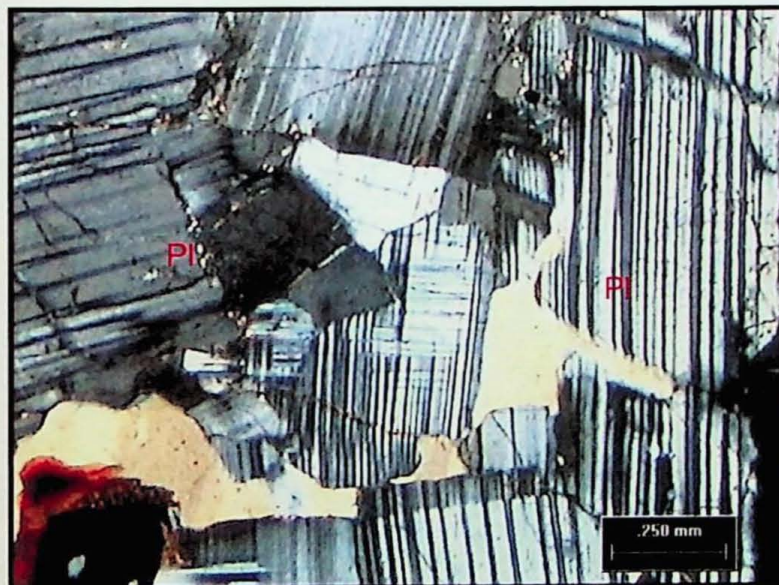
(12) Cristal de anfibólio subédrico associado com cristais microgranulares de quartzo ocorrendo intersticialmente. Polarizadores cruzados. Amostra AT – 04.

PRANCHA II – ASPECTOS MICROSCÓPICOS

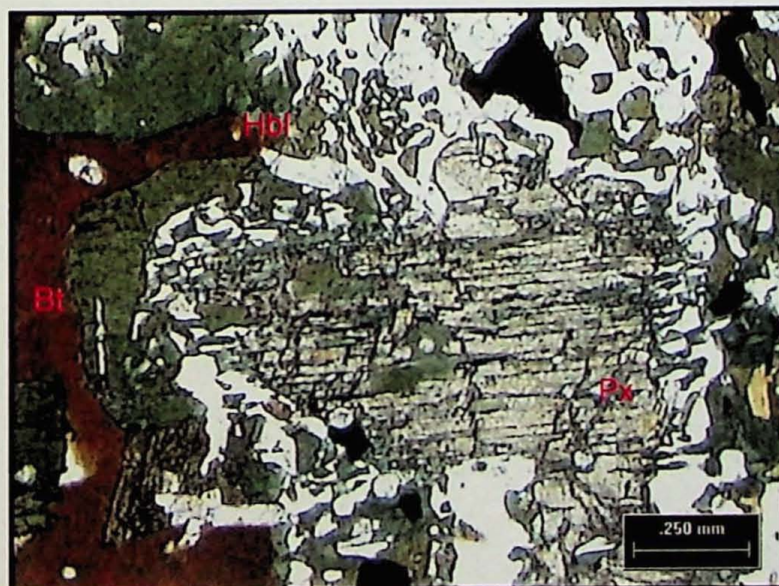
.Álcali-feldspato granitos



(13) Cristal de anfibólio subédrico associado com zircão, opacos e fluorita bastante desenvolvida. Luz plano polarizada. Amostra AT-04.



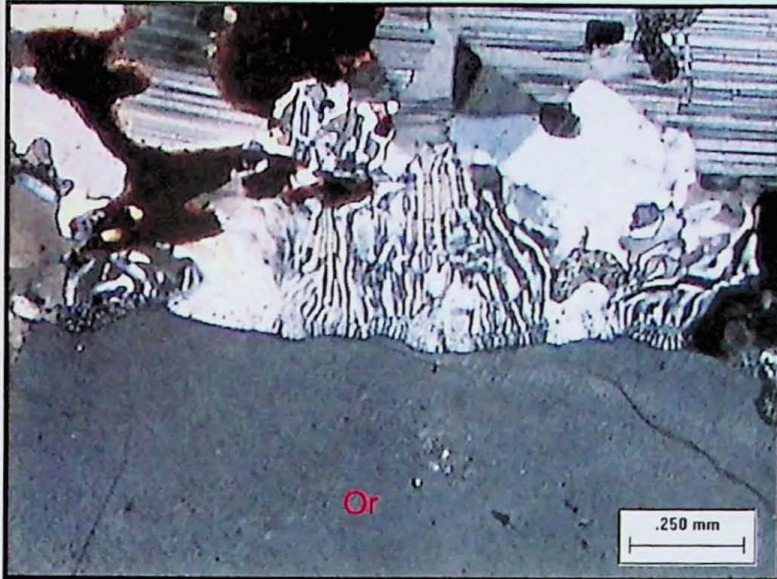
(14) Cristais de plagioclásio subédricos tabulares agrupados e caracterizados pela geminação da Lei da Albita. Nicóis cruzados. Amostra AT- 04B.



(15) Cristal de piroxênio sendo substituído por anfibólio. Biotita, apatita, quartzo e opacos também estão relacionados. Luz plano polarizada. Amostra AT- 04B.

PRANCHA II – ASPECTOS MICROSCÓPICOS

Álcali-feldspato granitos



(16) Mirmequitas se desenvolvendo em torno de megacristal de ortoclásio. Polarizadores cruzados. Amostra AT-04A.

Sienogranitos



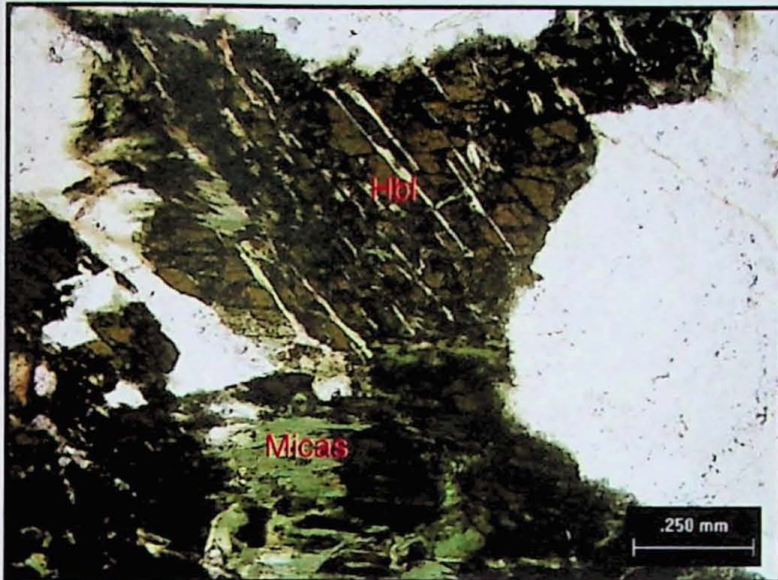
(17) Allanita zonada associada a cristal subédrico de anfibólio esverdeado. Luz plano polarizada. Amostra AT – 06.



(18) Bolsão máfico com cristais de biotita, anfibólio, opacos e apatita associados. Luz plano polarizada. Amostra AT-01.

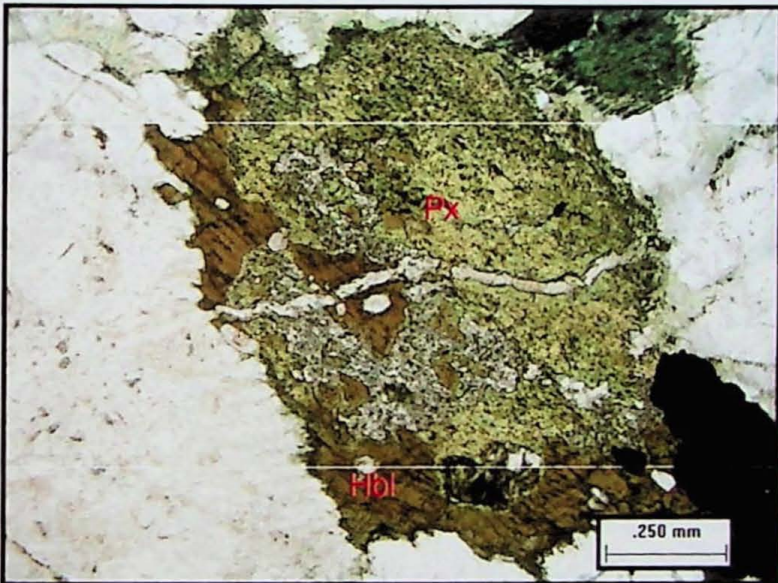
PRANCHA II – ASPECTOS MICROSCÓPICOS

Sienogranitos

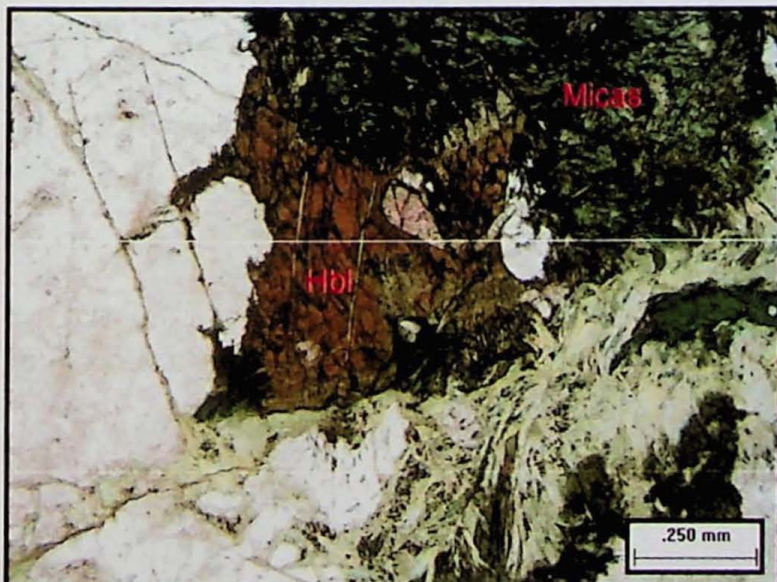


(19) Minerais micáceos associados a cristal de anfibólio como produto de alteração. Luz plano paralela. Amostra AT – 40.

Quartzo Monzonitos



(20) Clinopiroxênio e anfibólio representando textura de reação. Polarizadores paralelos. AT-31D.



(21) Cristal de anfibólio com associação de micas como produto de alteração. Polarizadores paralelos. AT-31D

Tabela 1
Determinações modais (%) obtidas para as variações petrográficas do Maciço Alto Turvo

MINERALOGIA FÉLSICA	AT-01	AT-04	AT-04A	AT-04B	AT-06	AT-08	AT-09	AT-14	AT-15D	AT-15E	AT-19	AT-31D	AT-36	AT-40A
Feldspato Alcalino	44.1	67.5	18.5	22.7	47.7	22.9	37.8	22.0	41.0	16.2	57.5	54.6	5.2	59.4
Plagioclásio	18.4	-	39.0	21.5	19.0	31.1	23.4	36.2	36.7	34.6	3.6	28.9	36.6	12.0
Quartzo	26.0	29.5	19.2	23.0	24.0	41.6	36.7	38.1	16.1	37.6	32.1	5.0	40.7	22.0
MINERALOGIA MÁFICA	AT-01	AT-04	AT-04A	AT-04B	AT-06	AT-08	AT-09	AT-14	AT-15D	AT-15E	AT-19	AT-31D	AT-36	AT-40A
Anfíbólio	9.8	1.7	3.5	12.8	6.5	-	-	-	-	0.9	4.2	5.2	10.6	4.8
Biotita	1.3	0.8	11.0	17.6	-	3.5	1.8	2.4	5.2	7.5	1.9	-	4.9	0.3
Piroxênio	-	-	4.7	0.7	-	-	-	-	-	-	-	3.5	-	-
Opacos (Magnetit	-	0.2	3.8	1.2	0.7	0.6	0.2	0.9	0.4	2.5	0.7	0.6	1.4	1.1
MINERALOGIA ACESSÓRIA	AT-01	AT-04	AT-04A	AT-04B	AT-06	AT-08	AT-09	AT-14	AT-15D	AT-15E	AT-19	AT-31D	AT-36	AT-40A
Allanita	0.2	-	-	-	0.4	-	0.1	0.1	-	-	-	-	-	-
Apatita	-	-	0.3	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clorita	-	-	-	-	1.3	-	-	-	-	-	-	1.5	-	-
Fluorita	-	0.3	-	-	-	-	0.1	0.2	-	-	-	-	-	-
Titanita	0.2	-	-	-	0.4	-	-	-	0.6	0.7	-	0.2	0.6	0.3
Zircão	-	-	-	-	-	0.3	-	0.1	-	-	-	0.5	0.3	0.1
M	11.5	3.0	23.3	32.8	9.3	4.4	2.2	3.7	6.2	11.6	6.8	11.5	17.8	6.6

Tabela 2
Valores de suscetibilidade magnética (*10⁻³ SI) obtidos em campo.

Medidas	AT-01	AT-05	AT-06	AT-09	AT-10	AT-15D	AT-15E	AT-17	AT-18	AT-19	AT-21	AT-23	AT-24	AT-28	AT-29	AT-31D	AT-36	AT-40	AT-47
1	1.14	2.72	5.29	5.39	3.66	4.96	0.24	3.44	3.75	2.66	3.52	2.44	4.49	4.91	3.72	0.76	6.76	3.54	0.08
2	1.28	2.7	5.16	5.00	3.58	4.89	0.19	3.10	3.70	2.62	3.26	2.10	4.23	4.81	3.45	0.71	6.63	3.52	0.07
3	1.62	2.69	4.20	5.01	3.56	4.87	0.15	3.03	2.81	2.34	2.99	1.98	4.13	4.75	2.98	0.61	6.61	3.14	0.06
4	1.85	2.63	4.16	4.98	3.30	4.87	0.12	3.01	2.62	1.78	2.78	1.92	4.11	4.61	2.83	0.51	6.37	2.88	0.06
5	1.86	2.63	4.15	4.60	3.08	3.87	0.12	2.76	2.59	1.68	2.72	1.84	3.83	4.51	2.67	0.51	6.30	2.83	0.06
6	1.95	2.52	3.41	4.46	3.07	3.41	0.11	2.75	2.59	1.40	2.68	1.27	3.80	3.30	2.66	0.32	5.68	2.43	0.05
7	2.12	2.50	3.20	4.45	3.05	3.40	0.11	2.68	2.56	1.40	2.54	1.26	3.62	2.90	2.51	0.30	5.68	2.39	0.05
Médias	1.69	2.63	4.22	4.84	3.33	4.32	0.15	2.97	2.95	1.98	2.93	1.83	4.03	4.26	2.97	0.53	6.29	2.96	0.06

Tabela 4
Análises químicas (% em peso de óxidos) obtidas com microsonda eletrônica (WDS) e proporções atômicas/catiônicas de anfíbios de amostras selecionadas do Maciço Alto Turvo

ID	AT-01 P-01A-B	AT-01 P-01B-B	AT-01 P-02A-B	AT-01 P-02B-B	AT-01 P-03A-B	AT-01 P-03B-B	AT-01 P-04A-B	AT-01 P-04B-B	AT-01 P-01-C	AT-15E P-02-C	AT-15E P-01-C	AT-31D P-01-C	AT-31D P-02-C	AT-31D P-03-C	AT-31D P-04-C	AT-31D P-05-C	AT-36 P-01-C	AT-36 P-02-C
SiO ₂	38.63	38.27	39.03	38.28	42.71	42.42	38.30	38.35	47.35	45.78	38.67	44.88	38.89	39.91	38.17	40.99	42.41	
TiO ₂	1.83	1.96	1.75	1.72	0.54	0.69	1.68	1.87	0.20	0.37	1.78	0.17	2.24	1.28	1.75	1.96	1.35	
Al ₂ O ₃	8.90	8.70	8.65	8.73	6.79	6.61	8.81	8.46	4.42	5.11	8.54	3.55	8.46	7.25	8.63	8.48	7.52	
FeO	32.44	31.53	31.70	30.83	30.05	29.41	32.24	32.35	21.03	21.46	32.76	34.50	31.89	33.42	31.45	22.30	23.97	
MnO	0.93	0.99	0.85	0.79	0.83	0.84	0.79	0.97	0.87	0.88	0.50	0.73	0.72	0.56	0.63	0.46	0.61	
MgO	1.12	1.22	1.28	1.52	4.48	4.66	1.08	1.14	10.29	9.78	0.90	1.01	0.83	0.78	0.83	8.45	7.74	
CaO	10.13	10.06	10.31	10.05	10.29	10.62	10.06	10.01	11.75	11.53	10.43	11.43	10.59	10.85	10.54	8.64	11.13	
ZnO	0.11	0.12	0.04	0.05	0.08	0.08	0.06	0.09	0.06	0.03	0.08	0.03	0.00	0.05	0.04	0.07	0.03	
Na ₂ O	2.17	2.10	1.87	2.14	1.26	1.19	1.94	2.04	0.62	0.85	1.74	0.52	1.53	0.91	1.72	0.94	1.69	
K ₂ O	1.34	1.33	1.42	1.26	1.13	1.02	1.35	1.35	0.66	0.74	1.35	0.43	1.35	1.25	1.46	3.05	1.10	
Cl	0.48	0.54	0.54	0.56	0.18	0.15	0.58	0.44	0.06	0.05	0.43	0.00	0.32	0.19	0.49	0.06	0.21	
F	0.10	0.11	0.19	0.00	0.01	0.11	0.10	0.05	0.27	0.42	0.00	0.00	0.00	0.05	0.20	0.62	0.42	
Total	98.16	96.91	97.64	95.91	98.34	97.79	96.98	97.11	97.59	97.00	97.19	97.24	96.80	96.51	95.91	96.01	98.18	
(F,Cl)=OH	0.15	0.17	0.20	0.13	0.04	0.08	0.17	0.12	0.13	0.19	0.10	0.00	0.07	0.06	0.20	0.28	0.22	
Total	98.01	96.74	97.44	95.78	98.30	97.71	96.80	96.99	97.46	96.81	97.10	97.24	96.73	96.45	95.72	95.73	97.96	

Proporções atômicas, com base no método de Schumaker, modificado por Gualda e Vlach (inédito)																		
Si	6.292	6.310	6.365	6.332	6.738	6.758	6.294	6.349	7.208	7.070	6.348	7.318	6.396	6.590	6.382	6.458	6.617	
Ti	0.224	0.242	0.214	0.213	0.064	0.082	0.207	0.233	0.023	0.043	0.219	0.021	0.277	0.159	0.221	0.232	0.158	
Al	1.708	1.690	1.662	1.701	1.262	1.242	1.706	1.651	0.792	0.930	1.652	0.682	1.639	1.410	1.700	1.574	1.383	
FeII	0.648	0.620	0.687	0.695	0.634	0.418	0.812	0.419	0.297	0.258	0.673	0.242	0.515	0.593	0.452	0.722	0.279	
Fe	3.771	3.727	3.637	3.569	3.331	3.501	3.618	4.059	2.380	2.514	3.824	4.463	3.870	4.022	3.945	2.216	2.848	
Mn	0.128	0.138	0.118	0.110	0.111	0.113	0.110	0.136	0.113	0.115	0.070	0.100	0.100	0.079	0.089	0.062	0.080	
Mg	0.272	0.300	0.312	0.373	1.054	1.107	0.264	0.280	2.334	2.250	0.221	0.246	0.202	0.193	0.208	1.985	1.799	
Ca	1.768	1.777	1.802	1.781	1.740	1.813	1.771	1.776	1.916	1.907	1.835	1.997	1.865	1.919	1.887	1.458	1.860	
Zn	0.013	0.014	0.005	0.006	0.010	0.009	0.007	0.011	0.007	0.004	0.010	0.003	0.000	0.007	0.004	0.008	0.004	
Na	0.684	0.670	0.592	0.687	0.385	0.367	0.618	0.654	0.184	0.255	0.553	0.164	0.487	0.293	0.557	0.287	0.511	
K	0.279	0.280	0.296	0.266	0.228	0.208	0.284	0.286	0.129	0.147	0.283	0.089	0.283	0.263	0.312	0.612	0.219	
Soma_Cat	15.787	15.768	15.690	15.733	15.556	15.617	15.691	15.853	15.381	15.494	15.688	15.325	15.635	15.528	15.756	15.612	15.759	
Cl	0.131	0.151	0.148	0.156	0.048	0.041	0.160	0.124	0.017	0.014	0.119	0.001	0.090	0.054	0.140	0.016	0.055	
F	0.050	0.056	0.099	0.000	0.003	0.053	0.052	0.026	0.130	0.206	0.000	0.000	0.000	0.026	0.107	0.311	0.206	
fe#	0.94	0.94	0.93	0.92	0.79	0.78	0.94	0.94	0.53	0.55	0.95	0.95	0.96	0.96	0.95	0.60	0.63	

(1) fe# = Fe^{II}/(Fe^{II}+Mg). A partição Fe^{II}/Fe^{III} foi feita através do máximo de Schumaker (Gualda e Vlach, 2005)

(2) ID = Identificação do ponto analisado; C= centro, B=borda, I = zona intermediária.

Tabela 4 - Continuação
Análises químicas (% em peso de óxidos) obtidas com microsonda eletrônica (WDS) e proporções atômicas/catiónicas de anfíbios selecionadas do Maciço Alto Turvo

ID	AT-36 P-03A - B	AT-36 P-03B - C	AT-36 P-04 - C	AT-36 P-05 - C	AT-40A P-01A - C	AT-40A P-01B - B	AT-40A P-02A - C	AT-40A P-02B - B	AT-40A P-02C - B	AT-40A P-03 - C	AT-40A P-04A - B	AT-40A P-04B - C	AT-40A P-06 - C	AT-40A P-07A - C	AT-40A P-07B - B	AT-40A P-07C - B	AT-40A P-08 - C
SiO ₂	44.08	42.88	42.24	42.35	40.69	40.56	40.09	40.21	40.26	40.10	40.75	40.99	40.62	39.38	40.86	40.34	40.20
TiO ₂	1.21	1.29	1.28	1.09	1.49	1.58	1.34	1.32	1.29	1.48	1.67	1.11	1.51	1.48	1.55	1.77	1.21
Al ₂ O ₃	7.03	7.37	7.81	7.79	6.52	7.08	6.85	6.97	7.21	7.05	7.11	6.80	6.98	7.01	6.32	6.99	6.80
FeO	21.38	22.09	22.40	22.89	33.97	34.52	34.43	34.03	34.66	32.64	34.14	34.52	35.13	32.51	33.99	31.89	32.01
MnO	0.58	0.56	0.48	0.42	0.88	0.85	1.12	0.86	0.83	0.79	0.86	0.91	0.80	0.87	0.84	0.86	0.99
MgO	8.96	8.78	8.15	7.85	1.05	0.98	0.93	0.85	0.82	1.03	0.97	1.07	1.20	1.08	1.16	1.02	0.90
CaO	11.68	11.48	11.33	11.53	9.62	9.77	9.83	9.67	10.08	9.89	9.33	10.00	9.87	9.95	9.50	9.97	9.31
ZnO	0.06	0.07	0.07	0.00	0.16	0.11	0.19	0.12	0.11	0.17	0.09	0.11	0.21	0.17	0.16	0.12	0.09
Na ₂ O	1.44	1.30	1.72	1.32	2.15	1.74	1.89	2.10	1.71	2.16	1.89	1.85	2.05	2.17	1.91	2.14	2.14
K ₂ O	0.98	1.18	1.15	1.14	1.14	1.15	1.15	1.17	1.23	1.21	1.27	1.17	1.09	1.26	1.13	1.22	1.24
Cl	0.15	0.11	0.11	0.05	0.24	0.24	0.20	0.25	0.13	0.34	0.27	0.15	0.22	0.39	0.21	0.28	0.18
F	0.73	0.22	0.46	0.36	0.15	0.00	0.00	0.05	0.00	0.16	0.05	0.10	0.25	0.10	0.10	0.06	0.06
Total	98.27	97.33	97.21	96.78	98.06	98.55	98.01	97.60	98.32	97.02	98.40	98.80	99.93	96.36	97.72	96.66	95.10
(F,Cl)=OH	0.34	0.12	0.22	0.16	0.12	0.05	0.05	0.08	0.03	0.14	0.08	0.08	0.15	0.13	0.09	0.09	0.06
Total	97.93	97.22	96.99	96.61	97.94	98.50	97.97	97.52	98.29	96.87	98.32	98.73	99.78	96.23	97.63	96.57	95.04

Proporções atômicas, com base no método de Schumaker, modificado por Gualda e Vlach (nêdito)																	
Si	6.738	6.653	6.569	6.590	6.729	6.636	6.658	6.642	6.606	6.627	6.636	6.691	6.652	6.613	6.767	6.644	6.689
Ti	0.139	0.151	0.149	0.128	0.186	0.194	0.167	0.163	0.159	0.184	0.204	0.136	0.186	0.187	0.193	0.220	0.151
Al	1.266	1.347	1.431	1.428	1.271	1.364	1.342	1.358	1.394	1.373	1.364	1.309	1.348	1.387	1.233	1.358	1.333
FeII	0.537	0.342	0.563	0.669	0.000	0.188	0.000	0.272	0.240	0.393	0.397	0.208	0.000	0.128	0.000	0.457	0.717
Fe	2.196	2.524	2.350	2.310	4.698	4.535	4.783	4.430	4.517	4.119	4.252	4.504	4.812	4.436	4.707	3.936	3.737
Mn	0.075	0.074	0.063	0.056	0.123	0.117	0.158	0.121	0.115	0.111	0.119	0.126	0.111	0.123	0.117	0.120	0.139
Mg	2.042	2.032	1.889	1.820	0.259	0.240	0.231	0.209	0.202	0.254	0.236	0.261	0.293	0.269	0.287	0.251	0.223
Ca	1.913	1.908	1.888	1.923	1.705	1.712	1.748	1.711	1.772	1.752	1.629	1.750	1.732	1.790	1.686	1.759	1.659
Zn	0.007	0.008	0.008	0.000	0.020	0.013	0.023	0.015	0.013	0.020	0.011	0.013	0.026	0.021	0.020	0.014	0.011
Na	0.426	0.392	0.519	0.397	0.691	0.551	0.608	0.672	0.543	0.693	0.596	0.587	0.651	0.705	0.612	0.683	0.689
K	0.192	0.234	0.228	0.226	0.240	0.239	0.243	0.247	0.257	0.254	0.264	0.243	0.227	0.270	0.239	0.256	0.262
Soma_Cat	15.530	15.665	15.658	15.545	15.921	15.789	15.961	15.839	15.818	15.780	15.709	15.829	16.038	15.930	15.861	15.698	15.611
Cl	0.038	0.030	0.030	0.012	0.066	0.067	0.057	0.069	0.037	0.094	0.074	0.043	0.061	0.110	0.058	0.079	0.049
F	0.355	0.106	0.224	0.177	0.077	0.000	0.000	0.028	0.000	0.084	0.027	0.053	0.127	0.055	0.052	0.030	0.030
fe#	0.57	0.59	0.61	0.62	0.95	0.95	0.95	0.96	0.96	0.95	0.95	0.95	0.94	0.94	0.94	0.95	0.95

(1) fe# = Fe²⁺/(Fe²⁺+Mg). A partição Fe²⁺/Fe³⁺ foi feita através do máximo de Schumaker (Gualda e Vlach, 2005)

(2) ID = identificação do ponto analisado; C= centro, B=borda, I = zona intermediária.

Tabela 5
Análises químicas (% em peso de óxidos) obtidas com microsonda eletrônica (WDS) e proporções atômicas/calônicas de biotitas de amostras selecionadas do Maciço Alto Turvo

ID	AT-01 P-01-C	AT-01 P-02-C	AT-01 P-03-B	AT-01 P-04-C	AT-01 P-05-C	AT-01 P-06-C	AT-09 P-03-C	AT-09 P-04-C	AT-09 P-05-B	AT-09 P-06-C	AT-15D P-01-C	AT-15D P-02-B	AT-15D P-03A-C	AT-15D P-03B-B	AT-15D P-04-C	AT-15D P-05A-C	AT-15D P-05B-B	AT-15D P-06-C
SiO ₂	34.22	34.88	35.79	35.27	34.82	35.63	35.67	36.03	34.48	25.62	37.52	36.90	37.39	37.04	37.17	37.68	37.67	38.09
TiO ₂	3.14	3.37	2.57	2.59	3.31	2.63	2.82	2.29	1.86	0.34	2.28	1.68	1.78	1.78	1.69	2.03	1.93	1.69
Al ₂ O ₃	14.61	16.05	13.98	13.61	16.62	15.65	16.18	16.39	15.75	19.62	15.83	15.82	15.61	15.72	15.13	16.40	16.07	16.13
FeO	31.30	30.77	29.96	30.28	30.66	29.01	28.47	28.13	29.82	31.90	17.66	16.38	16.45	15.39	15.97	18.30	18.13	16.91
ZnO	0.00	0.04	0.07	0.10	0.06	0.13	0.10	0.12	0.04	0.15	0.06	0.06	0.04	0.08	0.11	0.13	0.10	0.14
MnO	0.47	0.41	0.43	0.37	0.38	0.47	0.48	0.42	0.48	0.83	0.50	0.41	0.44	0.53	0.40	0.46	0.50	0.47
MgO	1.27	1.21	4.22	4.27	1.15	3.25	3.43	3.58	3.23	3.55	12.09	12.57	12.49	12.37	13.15	12.36	12.41	12.73
CaO	0.03	0.00	0.00	0.06	0.02	0.17	0.03	0.09	0.02	2.29	0.01	0.00	0.00	0.00	0.05	0.02	0.00	0.02
BaO	0.00	0.06	0.01	0.08	0.03	0.04	0.03	0.08	0.00	0.03	0.04	0.03	0.06	0.05	0.02	0.06	0.06	0.02
Na ₂ O	0.02	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.02	0.03	0.05	0.03	0.04	0.03	0.06	0.05	0.02	0.06	0.06	0.02
K ₂ O	9.09	9.07	9.06	8.93	9.09	9.34	9.51	9.60	8.75	0.39	9.78	9.35	9.44	9.20	9.50	9.62	9.88	9.84
Cl	0.26	0.32	0.17	0.22	0.35	0.15	0.10	0.19	0.11	0.09	0.04	0.02	0.00	0.03	0.04	0.01	0.02	0.05
F	0.00	0.00	0.39	0.02	0.26	0.35	0.44	0.25	0.35	0.00	0.36	0.72	0.82	0.51	0.88	0.61	0.71	0.82
Total	94.41	96.20	96.66	95.83	96.77	96.85	97.29	97.19	96.06	85.22	96.44	94.60	94.70	93.55	94.22	97.89	97.67	97.16
(F,Cl)=OH	0.06	0.07	0.20	0.06	0.19	0.18	0.21	0.15	0.17	0.02	0.16	0.31	0.35	0.22	0.38	0.26	0.30	0.36
Total	94.35	96.13	96.46	95.77	96.58	96.66	97.08	97.04	95.88	85.22	96.28	94.29	94.35	93.54	93.84	97.63	97.36	96.80

Proporções atômicas, com base em 22 O																		
Si	5.647	5.604	5.717	5.688	5.569	5.653	5.616	5.659	5.681	5.578	4.592	5.649	5.662	5.713	5.659	5.710	5.711	5.605
Ti	0.390	0.407	0.308	0.314	0.397	0.314	0.334	0.271	0.308	0.227	0.045	0.258	0.193	0.204	0.217	0.207	0.195	0.227
Al	2.842	3.038	2.632	2.588	3.132	2.926	3.003	3.034	3.073	3.002	4.145	2.809	2.861	2.811	2.900	2.856	2.740	2.876
Fe	4.320	4.134	4.003	4.085	4.100	3.849	3.748	3.696	3.612	4.034	4.780	2.224	2.102	2.102	2.092	1.984	2.052	2.276
Zn	0.000	0.004	0.008	0.012	0.007	0.015	0.012	0.014	0.004	0.018	0.010	0.007	0.007	0.004	0.011	0.009	0.012	0.014
Mn	0.065	0.055	0.058	0.051	0.052	0.063	0.064	0.056	0.056	0.065	0.126	0.064	0.053	0.057	0.054	0.069	0.053	0.058
Mg	0.311	0.289	1.004	1.027	0.274	0.768	0.805	0.838	0.761	0.857	1.108	2.713	2.876	2.846	2.776	2.843	3.012	2.739
Ca	0.005	0.000	0.001	0.011	0.003	0.028	0.005	0.014	0.003	0.004	0.440	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.004
Ba	0.000	0.003	0.000	0.005	0.002	0.002	0.002	0.005	0.000	0.002	0.000	0.016	0.039	0.011	0.072	0.063	0.008	0.013
Na	0.006	0.012	0.010	0.009	0.009	0.013	0.007	0.010	0.015	0.009	0.000	0.012	0.010	0.017	0.001	0.016	0.006	0.016
K	1.914	1.859	1.846	1.837	1.855	1.891	1.910	1.924	1.934	1.805	0.088	1.879	1.830	1.839	1.786	1.808	1.862	1.825
Soma_cal	15.502	15.406	15.586	15.627	15.400	15.522	15.507	15.520	15.449	15.602	15.334	15.633	15.634	15.605	15.568	15.567	15.658	15.651
Cl	0.074	0.086	0.045	0.059	0.096	0.041	0.027	0.050	0.030	0.024	0.004	0.010	0.005	0.001	0.008	0.007	0.011	0.003
F	0.000	0.000	0.196	0.009	0.129	0.177	0.221	0.126	0.175	0.000	0.000	0.171	0.350	0.398	0.000	0.251	0.428	0.288
fe#	0.93	0.93	0.80	0.80	0.94	0.83	0.82	0.82	0.83	0.82	0.81	0.45	0.42	0.42	0.43	0.41	0.41	0.45

(1) fe# = FeT/(FeT+Mg)

(2) ID = identificação do ponto analisado; C= centro, B=borda, I = zona intermediária.

Tabela 5 - Continuação
Análises químicas (% em peso de óxidos) obtidas com microsonda eletrônica (WDS) e proporções atômicas/catiônicas de biotitas selecionadas do Maciço Alto Turvo

ID	AT-15D P-07 - B	AT-15D P-08 - C	AT-15D P-09 - C	AT-15D P-10 - B	AT-15D P-11 - B	AT-15D P-12 - C	AT-15D P-13 - C	AT-15D P-14 - C	AT-15E P-01A - B	AT-15E P-01B - C	AT-15E P-02 - B	AT-15E P-03 - C	AT-15E P-04 - C	AT-15E P-05 - C	AT-15E P-06 - B	AT-36 P-01 - C	AT-36 P-02 - C	AT-36 P-03 - C	AT-36 P-04 - C	AT-36 P-05 - C
SiO ₂	37.44	37.25	37.15	37.55	37.60	36.78	36.65	36.88	36.86	36.93	36.79	38.13	38.06	38.01	37.05	36.01	36.81	36.75	35.67	36.28
TiO ₂	2.39	2.13	2.55	2.16	2.09	1.73	1.95	1.52	2.52	2.49	2.82	1.71	1.60	1.40	2.66	1.99	2.53	2.64	5.28	2.20
Al ₂ O ₃	15.83	15.96	16.40	15.43	15.86	15.73	15.80	16.54	15.41	15.16	14.76	14.66	13.88	14.40	14.77	13.46	14.06	13.78	13.27	14.21
FeO	16.82	18.80	17.11	17.67	17.70	16.53	18.42	18.32	23.00	22.33	23.41	19.99	20.92	19.12	23.08	22.88	23.41	24.08	20.37	23.71
ZnO	0.07	0.09	0.12	0.09	0.05	0.07	0.28	0.27	0.13	0.09	0.11	0.09	0.07	0.08	0.08	0.05	0.06	0.11	0.05	0.08
MnO	0.50	0.47	0.46	0.57	0.48	0.53	1.16	1.07	0.52	0.53	0.47	0.58	0.52	0.55	0.49	0.22	0.39	0.29	0.32	0.25
MgO	12.44	12.56	11.46	12.15	11.72	12.24	12.09	12.08	7.96	7.54	7.50	9.72	10.88	10.88	7.76	8.57	8.50	8.89	7.96	9.63
CaO	0.01	0.02	0.05	0.01	0.03	0.02	0.00	0.01	0.04	0.02	0.00	0.04	0.02	0.03	0.00	0.02	0.00	0.01	4.36	0.01
BaO	0.09	0.26	0.57	0.28	0.38	0.93	0.02	0.00	0.47	0.60	0.16	0.04	0.46	0.00	0.00	0.33	0.41	0.32	0.21	0.34
Na ₂ O	0.03	0.04	0.07	0.07	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.01	0.02	0.07	0.00	0.04	0.02	0.05	0.02	0.01	0.04	0.05
K ₂ O	9.79	9.61	9.34	9.57	9.69	9.33	9.67	9.61	9.15	9.18	9.41	9.49	9.51	9.63	9.54	9.00	9.66	9.72	8.22	9.63
Cl	0.04	0.05	0.01	0.06	0.01	0.04	0.09	0.08	0.10	0.08	0.06	0.07	0.11	0.08	0.10	0.15	0.10	0.16	0.09	0.11
F	0.38	0.46	0.42	0.62	0.36	0.62	0.78	0.57	0.35	0.60	0.46	1.14	1.24	0.90	0.83	0.56	0.65	0.85	0.70	1.19
Total	95.83	97.70	95.70	96.22	95.97	94.54	96.32	96.98	96.54	95.55	95.94	95.72	97.28	95.10	96.38	93.26	96.60	97.62	96.53	97.69
(F,Cl)=OH	0.17	0.20	0.18	0.27	0.16	0.27	0.35	0.26	0.17	0.27	0.20	0.49	0.55	0.40	0.37	0.27	0.30	0.40	0.32	0.53
Total	95.66	97.49	95.52	95.94	95.81	94.28	96.58	96.72	96.37	95.28	95.74	95.22	96.73	94.70	96.01	92.99	96.30	97.22	96.21	97.16
Proporções atômicas, com base em 22 O																				
Si	5.647	5.570	5.625	5.683	5.687	5.663	5.562	5.561	5.692	5.764	5.731	5.879	5.833	5.868	5.754	5.788	5.733	5.697	5.528	5.630
Ti	0.271	0.240	0.290	0.246	0.237	0.200	0.222	0.172	0.293	0.292	0.330	0.198	0.185	0.163	0.310	0.241	0.297	0.308	0.615	0.257
Al	2.814	2.813	2.926	2.753	2.827	2.854	2.825	2.939	2.804	2.788	2.711	2.665	2.507	2.619	2.704	2.551	2.581	2.518	2.423	2.599
Fe	2.122	2.350	2.167	2.236	2.239	2.129	2.338	2.311	2.970	2.914	3.050	2.578	2.681	2.468	2.998	3.075	3.050	3.123	2.640	3.077
Zn	0.008	0.010	0.013	0.010	0.006	0.008	0.031	0.030	0.014	0.010	0.012	0.010	0.008	0.009	0.009	0.006	0.007	0.013	0.006	0.009
Mn	0.064	0.060	0.059	0.073	0.061	0.069	0.149	0.136	0.069	0.070	0.062	0.075	0.068	0.072	0.064	0.029	0.052	0.038	0.042	0.033
Mg	2.796	2.799	2.587	2.742	2.641	2.808	2.735	2.716	1.831	1.755	1.740	2.234	2.486	2.503	1.796	2.054	1.973	2.054	1.839	2.227
Ca	0.001	0.003	0.008	0.001	0.004	0.002	0.000	0.001	0.006	0.003	0.000	0.007	0.003	0.004	0.000	0.003	0.000	0.002	0.723	0.001
Ba	0.005	0.015	0.034	0.017	0.022	0.056	0.001	0.000	0.028	0.037	0.010	0.002	0.028	0.000	0.000	0.020	0.025	0.019	0.013	0.021
Na	0.008	0.013	0.020	0.020	0.004	0.004	0.005	0.010	0.012	0.002	0.005	0.021	0.000	0.012	0.007	0.014	0.006	0.002	0.011	0.016
K	1.884	1.833	1.804	1.848	1.869	1.833	1.872	1.849	1.802	1.829	1.870	1.867	1.860	1.897	1.891	1.845	1.920	1.922	1.624	1.906
Soma_cat	15.621	15.706	15.534	15.628	15.598	15.628	15.742	15.726	15.520	15.465	15.521	15.535	15.659	15.614	15.533	15.625	15.642	15.697	15.463	15.775
Cl	0.009	0.013	0.002	0.015	0.002	0.010	0.022	0.020	0.026	0.020	0.015	0.018	0.028	0.021	0.025	0.040	0.026	0.043	0.023	0.028
F	0.180	0.216	0.200	0.294	0.174	0.300	0.372	0.272	0.170	0.237	0.225	0.555	0.603	0.439	0.409	0.282	0.320	0.419	0.345	0.584
fe#	0.43	0.46	0.46	0.45	0.46	0.43	0.46	0.46	0.62	0.62	0.64	0.54	0.52	0.50	0.63	0.60	0.61	0.60	0.59	0.58

(1) fe# = Fe²⁺/(Fe²⁺+Mg)
(2) ID = identificação do ponto analisado, C= centro, B=borda, I = zona intermediária.

Tabela 6
Análises químicas (% em peso de óxidos) obtidas com microsonda eletrônica (WDS) e proporções alômicas/catiônicas de piroxênios de amostras selecionadas do Maciço Alto Turvo

ID	AT-31D P-01A - C	AT-31D P-01B - B	AT-31D P-02 - B	AT-31D P-03A - C	AT-31D P-03B - B	AT-31D P-04 - C	AT-31D P-05 - B	AT-31D P-06 - B	AT-31D P-07A - C	AT-31D P-07B - B	AT-31D P-08 - B	AT-31D P-09 - B	AT-31D P-10A - C	AT-31D P-10B - B	AT-31D P-11 - B
SiO ₂	48.72	48.54	47.42	49.20	48.61	48.84	48.46	48.21	46.35	48.51	47.95	47.52	48.29	48.87	58.78
TiO ₂	0.00	0.09	0.04	0.09	0.04	0.00	0.00	0.06	0.11	0.02	0.15	0.06	0.04	0.13	0.11
Al ₂ O ₃	0.90	1.26	2.40	0.53	0.96	0.99	0.98	1.31	3.57	1.84	1.91	2.43	1.58	0.92	1.68
FeO	35.93	35.11	34.53	33.27	33.08	32.89	35.00	35.63	32.46	32.89	31.78	32.53	33.33	32.36	25.94
MnO	1.01	0.94	0.81	0.91	1.00	0.92	0.91	0.96	0.81	0.85	0.79	0.88	0.86	0.92	0.73
MgO	1.30	1.10	0.91	1.20	1.39	1.13	1.45	1.40	1.35	1.33	1.60	0.91	1.51	1.22	0.89
CaO	11.36	11.46	11.34	11.51	11.28	11.57	11.71	11.26	11.28	11.55	11.25	11.63	11.45	11.40	8.98
Na ₂ O	0.14	0.19	0.31	0.13	0.15	0.18	0.13	0.16	0.40	0.23	0.35	0.35	0.21	0.15	0.22
K ₂ O	0.08	0.11	0.24	0.04	0.11	0.08	0.10	0.09	0.39	0.19	0.21	0.22	0.14	0.07	0.13
Total	99.44	98.78	97.99	96.87	96.61	96.60	98.72	99.08	96.71	97.41	95.98	96.52	97.40	96.05	97.47
Proporções catiônicas considerando 4 cations, segundo Droop (1987)															
Si	2.048	2.051	2.013	2.118	2.094	2.105	2.046	2.030	1.976	2.065	2.064	2.041	2.058	2.118	2.483
Soma T	2.048	2.051	2.013	2.118	2.094	2.105	2.046	2.030	2.000	2.065	2.064	2.041	2.058	2.118	2.483
Ti	0.000	0.003	0.001	0.003	0.001	0.000	0.000	0.002	0.003	0.001	0.005	0.002	0.001	0.004	0.004
Al	0.044	0.063	0.120	0.027	0.049	0.050	0.049	0.065	0.179	0.092	0.097	0.123	0.079	0.047	0.084
Fell	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe	1.263	1.241	1.225	1.198	1.192	1.185	1.236	1.255	1.157	1.171	1.144	1.168	1.187	1.173	0.916
Mn	0.036	0.034	0.029	0.033	0.036	0.034	0.032	0.034	0.029	0.031	0.029	0.032	0.031	0.034	0.026
Mg	0.082	0.069	0.057	0.077	0.089	0.073	0.091	0.088	0.086	0.084	0.103	0.058	0.096	0.079	0.056
Ca	0.512	0.519	0.516	0.531	0.521	0.534	0.530	0.508	0.515	0.527	0.519	0.535	0.523	0.529	0.407
Na	0.012	0.015	0.026	0.011	0.013	0.015	0.010	0.013	0.033	0.019	0.029	0.029	0.018	0.013	0.018
K	0.004	0.006	0.013	0.002	0.006	0.005	0.005	0.005	0.021	0.011	0.012	0.012	0.008	0.004	0.007
Soma M	1.952	1.949	1.987	1.882	1.906	1.895	1.954	1.970	2.020	1.935	1.936	1.959	1.942	1.882	1.517
fe#	0.94	0.95	0.96	0.94	0.93	0.94	0.93	0.93	0.93	0.93	0.92	0.95	0.93	0.94	0.94

(1) fe# = FeT/(FeT+Mg). A partição Fell/Fell foi feita através do máximo de Schumaker (Gualda e Vlach, 2005)

(2) ID = Identificação do ponto analisado; C= centro, B=borda, I = zona intermediária.

(3) T e M: sítios relacionados à estrutura mineral

Tabela 7

Análises químicas (% em peso de óxidos) obtidas com microsonda eletrônica (WDS) e proporções atômicas/catiônicas de plagioclásios de amostras selecionadas do Maciço Alto Turvo														
ID	AT-01 P-01 - B	AT-01 P-02A - C	AT-01 P-02B - C	AT-01 P-03 - C	AT-01 P-04 - B	AT-01 P-05 - B	AT-01 P-06 - B	AT-09 P-01A - B	AT-09 P-01B - C	AT-09 P-02A - B	AT-09 P-02B - C	AT-09 P-03A - B	AT-09 P-03B - C	AT-15D P-01 - C
SiO ₂	65.95	64.58	65.56	65.37	64.79	66.20	65.12	65.84	65.45	66.09	66.75	65.81	65.16	60.58
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.07	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	20.95	21.63	21.20	21.10	21.06	19.70	21.58	21.35	21.37	21.68	21.65	21.84	22.21	22.22
Fe ₂ O ₃	0.07	0.16	0.02	0.00	0.11	0.03	0.01	0.23	0.05	0.07	0.18	0.03	0.10	0.12
MnO	0.03	0.03	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
CaO	1.91	2.55	2.06	1.91	2.02	0.37	2.07	1.96	1.99	2.02	2.16	2.29	2.75	3.46
Na ₂ O	10.89	10.33	10.78	10.59	10.40	11.78	10.35	10.58	10.98	10.74	10.51	10.55	10.19	9.10
K ₂ O	0.13	0.07	0.07	0.06	0.17	0.08	0.29	0.09	0.09	0.08	0.09	0.11	0.05	0.07
SrO	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.20
BaO	0.00	0.00	0.00	0.01	0.10	0.04	0.00	0.04	0.00	0.10	0.01	0.01	0.06	0.01
Total	99.94	99.35	99.68	99.10	98.71	98.24	99.41	100.10	99.95	100.78	101.35	100.63	100.52	95.76
Proporções catiônicas, considerando 32 O														
Si	11.612	11.455	11.570	11.590	11.557	11.823	11.523	11.568	11.533	11.541	11.575	11.507	11.420	11.188
Al	4.348	4.523	4.409	4.409	4.428	4.147	4.501	4.422	4.438	4.461	4.424	4.500	4.588	4.836
Soma T	15.960	15.978	15.980	15.999	15.985	15.970	16.024	15.990	15.971	16.002	15.999	16.007	16.008	16.025
Ti	0.000	0.000	0.000	0.009	0.003	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FelII	0.010	0.021	0.003	0.000	0.014	0.005	0.001	0.031	0.007	0.009	0.023	0.004	0.013	0.016
Mn	0.005	0.004	0.000	0.000	0.003	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
Ca	0.361	0.485	0.389	0.363	0.386	0.071	0.393	0.369	0.375	0.378	0.400	0.429	0.516	0.685
Na	3.718	3.553	3.689	3.639	3.598	4.080	3.550	3.605	3.751	3.635	3.533	3.575	3.463	3.257
K	0.029	0.015	0.016	0.013	0.039	0.018	0.065	0.020	0.020	0.018	0.020	0.024	0.011	0.016
Sr	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.021
Ba	0.000	0.000	0.000	0.001	0.007	0.003	0.000	0.003	0.000	0.007	0.001	0.001	0.004	0.001
Soma M	4.123	4.078	4.096	4.024	4.053	4.180	4.010	4.028	4.157	4.048	3.980	4.034	4.008	3.997
Proporções componentes moleculares														
An	8.79	11.97	9.50	9.03	9.58	1.71	9.81	9.25	9.05	9.38	10.13	10.65	12.93	17.32
Ab	90.51	87.66	90.12	90.64	89.44	97.87	88.57	90.24	90.47	90.16	89.36	88.76	86.79	82.27
Or	0.71	0.37	0.38	0.33	0.98	0.43	1.62	0.51	0.48	0.45	0.51	0.59	0.28	0.41

(1) ID = Identificação do ponto analisado; C= centro, B=borda, I = zona intermediária.

(2) T e M: sítios relacionados à estrutura mineral

Tabela 7 - Continuação

Análises químicas (% em peso de óxidos) obtidas com microsonda eletrônica (WDS) e proporções alômicas/catiônicas de plagioclásios de amostras selecionadas do Maciço Alto Turvo

ID	AT-15D P-02 - C	AT-15D P-03 - C	AT-15D P-04 - C	AT-15D P-05 - B	AT-15E P-01 - C	AT-15E P-02 - C	AT-15E P-03 - C	AT-15E P-04 - C	AT-31D P-01 - C	AT-31D P-02 - C	AT-31D P-03A - B	AT-31D P-03B - C	AT-31D P-04 - C	AT-31D P-05A - B
SiO ₂	61.29	62.12	62.90	60.96	63.42	63.85	62.37	61.18	68.17	64.42	67.82	66.19	67.19	68.56
TiO ₂	0.05	0.03	0.00	0.00	0.03	0.05	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	22.34	22.33	22.38	22.12	22.76	22.15	21.87	23.04	20.34	18.78	20.69	20.05	20.92	20.17
Fe ₂ O ₃	0.05	0.18	0.05	0.07	0.05	0.00	0.16	0.03	0.09	0.00	0.21	0.00	0.41	0.06
MnO	0.00	0.00	0.01	0.03	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.04	0.01	0.05	0.00
MgO	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.00	0.09	0.01
CaO	3.82	3.75	3.42	3.42	3.69	3.30	3.05	4.59	0.35	0.00	0.75	0.70	1.42	0.23
Na ₂ O	9.61	9.49	9.72	9.33	9.51	9.77	9.58	8.97	11.53	0.48	10.89	11.45	10.99	11.42
K ₂ O	0.08	0.05	0.07	0.05	0.04	0.10	0.08	0.19	0.06	16.08	0.05	0.03	0.06	0.04
SrO	0.11	0.11	0.12	0.14	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BaO	0.13	0.07	0.00	0.05	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.46	0.00	0.03	0.11	0.13
Total	97.49	98.13	98.66	96.16	99.53	99.25	97.16	98.04	100.57	100.22	100.44	98.48	101.23	100.62

Proporções catiônicas, considerando 32 O

Si	11.156	11.211	11.268	11.213	11.250	11.349	11.325	11.068	11.854	11.920	11.803	11.783	11.669	11.907
Al	4.793	4.749	4.725	4.795	4.758	4.641	4.680	4.912	4.169	4.095	4.243	4.206	4.283	4.129
Soma T	15.949	15.960	15.993	16.008	16.008	15.990	16.004	15.980	16.022	16.014	16.045	15.989	15.952	16.036
Ti	0.007	0.004	0.000	0.000	0.003	0.007	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000
FelII	0.007	0.025	0.006	0.010	0.007	0.000	0.022	0.004	0.012	0.000	0.027	0.000	0.054	0.008
Mn	0.000	0.000	0.002	0.004	0.002	0.002	0.000	0.000	0.002	0.000	0.005	0.001	0.007	0.000
Mg	0.002	0.001	0.000	0.001	0.002	0.000	0.002	0.002	0.004	0.002	0.004	0.000	0.023	0.002
Ca	0.745	0.726	0.657	0.674	0.702	0.628	0.593	0.890	0.064	0.000	0.139	0.133	0.263	0.043
Na	3.392	3.322	3.375	3.328	3.270	3.366	3.371	3.147	3.888	0.171	3.673	3.953	3.701	3.844
K	0.019	0.012	0.017	0.011	0.010	0.022	0.018	0.043	0.013	3.796	0.011	0.006	0.013	0.009
Sr	0.011	0.012	0.012	0.015	0.001	0.002	0.002	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ba	0.009	0.005	0.000	0.004	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.033	0.000	0.002	0.007	0.009
Soma M	4.193	4.106	4.069	4.045	3.996	4.027	4.011	4.088	3.984	4.002	3.859	4.100	4.068	3.915

Proporções componentes moleculares

An	17.93	17.87	16.23	16.80	17.63	15.65	14.89	21.82	1.63	0.00	3.64	3.25	6.62	1.10
Ab	81.62	81.82	83.35	82.93	82.12	83.81	84.67	77.12	98.06	4.32	96.08	96.61	93.05	98.67
Or	0.45	0.31	0.41	0.26	0.24	0.54	0.44	1.05	0.32	95.68	0.28	0.14	0.33	0.23

(1) ID = Identificação do ponto analisado; C= centro, B=borda, I = zona intermediária.

(2) T e M: sítios relacionados à estrutura mineral

Tabela 7 - Continuação

Análises químicas (% em peso de óxidos) obtidas com microsonda eletrônica (WDS) e proporções alômicas/catiónicas de plagioclásios de amostras selecionadas do Maciço Alto Tuvo																			
ID	AT-31D	AT-31D	AT-36	AT-36	AT-36	AT-36	AT-36	AT-36	AT-36	AT-36	AT-36	AT-36	AT-36	AT-36	AT-36	AT-36	AT-36	AT-40A	AT-40A
	P-05B - C	P-06 - B	P-01A - B	P-01B - C	P-02 - B	P-03A - B	P-03B - C	P-04 - B	P-05A - B	P-05B - B	P-01 - C	P-02 - C	P-03 - C	P-04 - B					
SiO ₂	68.10	67.70	56.98	61.71	61.79	62.35	58.32	65.73	66.17	66.37	68.11	68.32	68.03	68.22					
TiO ₂	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.08	0.08	0.05	0.05	0.05	0.01	0.04					
Al ₂ O ₃	20.62	20.77	26.00	18.12	23.09	23.67	26.89	21.92	22.38	22.12	19.66	19.37	19.55	19.28					
Fe ₂ O ₃	0.02	0.00	0.00	0.07	0.14	0.20	0.10	0.25	0.00	0.04	0.32	0.22	0.17	0.07					
MnO	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00					
MgO	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00					
CaO	0.40	0.87	7.35	0.03	4.66	4.78	8.33	2.53	2.37	2.35	0.27	0.24	0.27	0.07					
Na ₂ O	11.33	11.24	7.27	0.39	8.90	8.97	6.59	10.08	10.47	10.31	11.47	11.23	11.35	11.87					
K ₂ O	0.10	0.09	0.06	15.48	0.13	0.08	0.13	0.06	0.16	0.09	0.06	0.14	0.10	0.04					
SrO	0.03	0.01	0.06	0.02	0.05	0.07	0.12	0.00	0.03	0.07	0.00	0.04	0.01	0.02					
BaO	0.00	0.00	0.11	0.87	0.04	0.00	0.07	0.06	0.00	0.00	0.03	0.09	0.00	0.04					
Total	100.61	100.69	97.83	96.69	98.81	100.13	100.65	100.70	101.65	101.39	99.98	99.71	99.49	99.65					
Proporções catiónicas, considerando 32 O																			
Si	11.831	11.772	10.421	11.883	11.088	11.042	10.371	11.485	11.457	11.507	11.918	11.979	11.949	11.975					
Al	4.223	4.257	5.605	4.113	4.884	4.941	5.636	4.514	4.566	4.519	4.054	4.003	4.047	3.988					
Soma T	16.054	16.029	16.026	15.996	15.972	15.984	16.007	15.998	16.023	16.026	15.972	15.982	15.996	15.963					
Ti	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.010	0.010	0.007	0.007	0.007	0.002	0.005					
Fell	0.003	0.000	0.000	0.010	0.019	0.026	0.014	0.032	0.000	0.005	0.042	0.029	0.023	0.009					
Mn	0.000	0.001	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001					
Mg	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.003	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000					
Ca	0.074	0.162	1.440	0.007	0.896	0.907	1.588	0.473	0.440	0.437	0.051	0.045	0.050	0.014					
Na	3.818	3.788	2.578	0.147	3.095	3.081	2.271	3.415	3.514	3.465	3.892	3.816	3.864	4.041					
K	0.021	0.020	0.013	3.804	0.031	0.018	0.030	0.014	0.034	0.019	0.013	0.030	0.022	0.008					
Sr	0.003	0.001	0.006	0.002	0.005	0.007	0.012	0.000	0.003	0.007	0.000	0.004	0.001	0.002					
Ba	0.000	0.000	0.008	0.066	0.003	0.000	0.005	0.004	0.000	0.000	0.002	0.006	0.000	0.002					
Soma M	3.920	3.974	4.045	4.034	4.051	4.040	3.935	3.949	4.002	3.941	4.007	3.940	3.962	4.083					
Proporções componentes moleculares																			
An	1.88	4.07	35.73	0.17	22.28	22.63	40.82	12.12	11.03	11.13	1.30	1.16	1.27	0.34					
Ab	97.57	95.43	63.96	3.71	76.95	76.91	58.41	87.52	88.11	88.38	98.36	98.07	98.18	99.46					
Or	0.54	0.50	0.32	96.12	0.76	0.46	0.77	0.36	0.86	0.49	0.34	0.78	0.55	0.20					

(1) ID = Identificação do ponto analisado, C= centro, B=borda, I = zona intermediária.

(2) T e M: sítios relacionados à estrutura mineral

Tabela 8
Elementos maiores e menores (% peso) e Normas CIPW para amostras representativas das variedades petrográficas do Maciço Alto Turvo

Amostras	AT-01	AT-06	AT-09	AT-15D	AT-15E	AT-31D	AT-36	AT-40A	LD
SiO2	74.54	73.28	76.67	72.35	72.68	62.07	65.13	72.88	
TiO2	0.20	0.26	0.08	0.31	0.31	0.69	0.84	0.29	0.03
Al2O3	12.79	12.31	12.38	13.29	13.21	15.56	14.42	12.28	0.003
Fe2O3	1.61	2.85	1.07	2.25	2.23	7.53	5.28	3.25	0.02
MnO	0.04	0.07	0.03	0.05	0.05	0.22	0.09	0.09	0.01
MgO	0.18	< 0.01	0.02	0.36	0.36	0.13	1.22	< 0.01	0.002
CaO	0.89	0.64	0.63	1.37	1.36	2.60	2.91	0.77	0.01
Na2O	3.37	3.81	3.51	3.32	3.30	4.59	3.75	3.66	0.01
K2O	5.08	5.29	5.09	5.14	5.12	5.92	4.29	5.33	0.02
P2O5	0.04	0.03	0.02	0.07	0.07	0.13	0.31	0.03	0.01
PF	0.30	0.32	0.34	0.34	0.40	0.22	0.42	0.26	0.003
Total	99.03	98.85	99.84	98.84	99.02	99.65	98.66	98.85	0.01

Normas CIPW									
Quartz (Qz)	33.02	29.22	35.13	29.56	30.13	26.56	6.80	19.07	29.18
Corundum(C)	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Orthoclase(Or)	30.02	31.26	30.08	30.38	30.26	24.82	34.98	25.35	31.50
Albite(Al)	28.52	32.24	29.70	28.09	27.92	32.41	38.84	31.73	30.97
Anorthite(An)	4.15	0.86	2.99	6.18	6.11	8.47	4.37	9.84	1.34
Diopside (Wo)	0.00	0.89	0.02	0.08	0.08	0.25	3.21	1.08	0.95
Diopside (En)	0.00	0.01	0.00	0.03	0.04	0.12	0.23	0.56	0.01
Dioside (Fs)	0.00	1.01	0.02	0.05	0.05	0.12	3.35	0.49	1.07
Diopside (Di)	0.00	1.91	0.03	0.16	0.17	0.49	6.78	2.12	2.03
Hypersthene (En)	0.45	0.01	0.05	0.86	0.86	1.52	0.10	2.48	0.01
Hypersthene (Fs)	0.92	0.77	0.68	1.17	1.15	1.53	1.43	2.15	0.99
Hypersthene (Hy)	1.37	0.78	0.73	2.04	2.01	3.06	1.53	4.63	0.99
Magnetite(Mt)	0.97	1.72	0.64	1.35	1.34	1.75	4.53	3.18	1.96
Ilmenite(Il)	0.38	0.49	0.16	0.58	0.59	0.70	1.30	1.60	0.56
Apatite(Ap)	0.09	0.06	0.03	0.15	0.16	0.22	0.30	0.72	0.07
TOTAL	100.10	101.22	100.26	100.70	100.86	102.02	107.74	104.99	101.62

Parâmetros diversos e temperaturas de saturação de apatia (Watson e Harrison, 1983; Harrison and Watson, 1984)									
ID (Qz+Ab+Or)	91.55	92.72	94.91	88.03	88.31	83.78	80.62	76.16	91.64
fe#	77.29	99.54	95.32	70.40	70.21	62.65	95.66	62.22	99.60
AVCNK	1.010	0.936	0.996	0.983	0.983	0.969	0.833	0.895	0.931
AN/K	1.158	1.026	1.097	1.205	1.204	1.286	1.115	1.334	1.042
Tap (°C)	863	815	803	886	892	902	843	980	825

Tabela 9
Elementos traços (em ppm) para as amostras representativas das variedades petrográficas do Maciço Alto Turvo

Amostra	AT-01	AT-06	AT-09	AT-15D	AT-15E	AT-31D	AT-36	AT-40A	LD
Ba	232	629	24	1024	880	1568	1765	285	37
Ce	335	104	39	133	86	190	213	329	35
Co	10	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	7	< 6	6
Cr	< 13	< 13	< 13	< 13	< 13	< 13	19	21	13
Cu	< 5	6	< 5	< 5	< 5	10	16	< 5	5
Ga	21	17	16	16	16	21	17	22	9
La	222	72	37	90	58	107	114	183	28
Nb	39	20	23	19	21	21	28	38	9
Nd	116	34	29	41	30	82	69	98	14
Ni	< 5	< 5	< 5	< 5	7	< 5	8	6	5
Pb	13	16	16	16	13	13	16	9	4
Rb	139	159	169	143	138	55	104	103	3
Sc	< 14	< 14	< 14	< 14	< 14	15	< 14	< 14	14
Sr	24	98	13	161	177	69	344	32	2
Th	8	26	24	17	12	7	11	16	7
U	< 3	11	6	4	4	6	4	4	3
V	4	12	1	15	39	< 6	62	5	9
Y	96	50	59	34	35	43	47	67	2
Zn	108	35	16	40	62	100	83	132	2
Zr	591	168	119	234	205	1254	575	618	2
Cl	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	50
F	1916	1041	978	1146	2264	< 500	2395	1033	500
S	< 550	< 550	< 550	< 550	< 550	< 550	< 550	< 550	550
Parâmetros diversos e temperaturas de saturação em zr (Watson e Harrison, 1983; Harrison and Watson, 1984)									
Rb/Sr	5.69	1.63	13.07	0.89	0.78	0.79	0.30	3.21	
Ba/Sr	9.50	6.42	1.89	6.36	4.96	22.78	5.13	8.89	
La/Nb	5.77	3.56	1.64	4.66	2.82	5.05	4.06	4.85	
U/Th	-	0.40	0.23	0.25	0.35	0.91	0.35	0.26	
T _{zr} (°C)	917	784	765	817	800	939	879	909	

DOAÇÃO _____

TGC-USP

Data: *21/02/11*

