

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ESTUDOS PETROGRÁFICOS, GEOQUÍMICOS E
TECTÔNICOS DO MAGMATISMO ALCALINO
EOCRETÁCEO DA PROVÍNCIA AMAMBAY,
NORDESTE DO PARAGUAI ORIENTAL**

Gerson Saturnino de Paula

Orientador: Prof. Dr. Celso de Barros Gomes

Co-orientador: Dr. Victor Velázquez Fernandez

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF - 2004/11)

TF
P324
GS.e

SÃO PAULO
2004

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Estudos Petrográficos, Geoquímicos e Tectônicos
do Magmatismo Alcalino Eocretáceo da Província
Amambay, Nordeste do Paraguai Oriental**

Gerson Saturnino de Paula

Monografia de Trabalho de Formatura

Banca Examinadora

Prof. Dr. Celso de Barros Gomes _____

Prof. Dr. Excelso Ruberti _____

Prof. Dr. Gergely Andres Júlio Szabó _____

São Paulo

2004

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC



30900016341

**ESTUDOS PETROGRÁFICOS, GEOQUÍMICOS E TECTÔNICOS DO
MAGMATISMO ALCALINO EOCRETÁCEO DA PROVÍNCIA
AMAMBAY, NORDESTE DO PARAGUAI ORIENTAL**

Gerson Saturnino de Paula



Orientador: Prof. Dr. Celso de Barros Gomes
Co-Orientador: Dr. Victor Velázquez Fernandez

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF/2004-11)

SÃO PAULO
2004

TF
P324
G.S. e

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

ESTUDOS DE INTERFERÊNCIA DE ONDAS E REFLEXÃO EM
MAGNÉTICO E LÍQUIDO E DA PROPAGAÇÃO
DE ONDAS EM MEIO ANISÓTRPO



Geografia de São Paulo

Geografia, Prof. Dr. Carlos de Sá
Co-orientador Dr. Vitor Vasconcelos

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE PÓS-GRADUAÇÃO
(1970-1971)

SÃO PAULO
1971

A Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências da Universidade de São Paulo, pelo apoio financeiro (Processo nº 12/0174) e pelo fornecimento de todos os materiais necessários para a realização deste trabalho.

A todos os funcionários da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências da Universidade de São Paulo, em especial ao Sr. Manoel de Jesus, pelo auxílio prestado durante a realização deste trabalho.

As minhas amigas e amigos, em especial as minhas irmãs, Sr. Maria da Silva de Paula e Sr. Maria da Silva de Paula, e minhas amigas, Sr. Maria da Silva de Paula e Sr. Maria da Silva de Paula, pelo apoio e incentivo prestado durante a realização deste trabalho.

A todos os professores da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências da Universidade de São Paulo, em especial ao Sr. Manoel de Jesus, pelo auxílio prestado durante a realização deste trabalho.

Em especial ao Sr. Manoel de Jesus, pelo auxílio prestado durante a realização deste trabalho. Aos professores da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências da Universidade de São Paulo, em especial ao Sr. Manoel de Jesus, pelo auxílio prestado durante a realização deste trabalho.

Ao professor Sr. Manoel de Jesus, pelo auxílio prestado durante a realização deste trabalho. Ao Sr. Manoel de Jesus, pelo auxílio prestado durante a realização deste trabalho.

Ao Sr. Manoel de Jesus, pelo auxílio prestado durante a realização deste trabalho. Ao Sr. Manoel de Jesus, pelo auxílio prestado durante a realização deste trabalho.

Ao Sr. Manoel de Jesus, pelo auxílio prestado durante a realização deste trabalho. Ao Sr. Manoel de Jesus, pelo auxílio prestado durante a realização deste trabalho.

Ao Sr. Manoel de Jesus, pelo auxílio prestado durante a realização deste trabalho. Ao Sr. Manoel de Jesus, pelo auxílio prestado durante a realização deste trabalho.

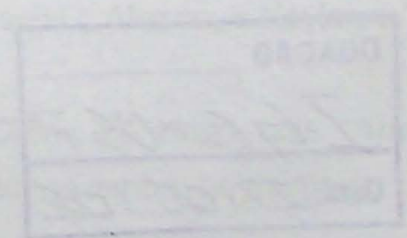
Ao Sr. Manoel de Jesus, pelo auxílio prestado durante a realização deste trabalho. Ao Sr. Manoel de Jesus, pelo auxílio prestado durante a realização deste trabalho.

Ao Sr. Manoel de Jesus, pelo auxílio prestado durante a realização deste trabalho. Ao Sr. Manoel de Jesus, pelo auxílio prestado durante a realização deste trabalho.

Ao Sr. Manoel de Jesus, pelo auxílio prestado durante a realização deste trabalho. Ao Sr. Manoel de Jesus, pelo auxílio prestado durante a realização deste trabalho.

Ao Sr. Manoel de Jesus, pelo auxílio prestado durante a realização deste trabalho. Ao Sr. Manoel de Jesus, pelo auxílio prestado durante a realização deste trabalho.

Ao Sr. Manoel de Jesus, pelo auxílio prestado durante a realização deste trabalho. Ao Sr. Manoel de Jesus, pelo auxílio prestado durante a realização deste trabalho.



Aos meus pais Maria da Silva de Paula e Jorge Saturnino de Paula (*in memoriam*), irmãos Emerson, Edilaine e Edvânia, e namorada Márcia Lopes da Silva

DOAÇÃO

IGC-USP

Data: 27/05/05

Agradecimentos

À Fapesp, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo apoio financeiro (Processo 01/10714-3) e pela concessão da bolsa de iniciação científica (Processo 03/03843-7).

A todos os funcionários do Coseas, em especial a assistente social Neuza pela concessão da bolsa alimentação e bolsa de estudos Prof. "Eduardo Panadés", sem as quais não teria sido possível continuar os estudos do curso de Geologia.

Aos vários amigos que ajudaram nos trabalhos de campo no Paraguai, em especial o Dr. Victor Velázquez Fernandez, o motorista Miltonete, o casal de índios, nossos guias, Fausto Cohene e Gisela Armoa, sem me esquecer do filho que Gisela carregava em seu ventre, e o Sr. Ricardo Moraes Simões, proprietário da fazenda Cerro Sarambí.

À equipe da Polícia Federal Brasileira e Exército Paraguaio, pela colaboração no sobrevôo do Cerro Sarambí.

Ao funcionário Reynaldo (Cuca), pela ajuda na compilação do mapa geológico.

Aos docentes e funcionários dos laboratórios do GMG, Marcos (microsonda eletrônica), Zé Paulo (LTA), Angélica (óptica), Vascos (CPGeo), Ivoni, Elen e Artur (Geocron).

Ao professor Sílvio Vlack e Excelso Ruberti, pela ajuda no tocante à química mineral.

Ao Gaston, pelo auxílio e dúvidas tiradas sobre o programa MINPET.

Aos funcionários Nilva (tesouraria) e Éricson (informática).

Às secretárias Clélia e Luciana pela ajuda na correção final desta monografia.

Aos amigos da Arcadis Hidro Ambiente, em especial à Márcia pela ajuda na impressão deste trabalho.

Aos funcionários da gráfica, seção de alunos, biblioteca, seção de laminação, limpeza e segurança.

Aos amigos que me acompanharam durante esses cinco anos de curso, em especial a Di Marte, Jaú, Lampião e Xubaca, pelas dúvidas esclarecidas.

À amiga Camila (Rasgadeira), não sei, mas ela pediu para que eu a agradecesse.

À amiga Kacilda, pois sem ela o abstract não estaria terminado.

Aos amigos e professores do cursinho da Poli, em especial o Alisson, o Neylor, o Tio, o Santiago, o Rafael e o Daniel.

Aos amigos de finais de semana Sr. Amorim, Celso, Clóvis, Fê, Hugo, Lole, Marcos, Marmota, Rô, Ronan, Serginho, Célia, Kely, Ana e aos que não me lembro no momento.

Ao amigo Pe. Gilvan e seus colaboradores.

Aos professores Celso de Barros Gomes e Victor Velázquez Fernandez pela orientação e apoio neste trabalho.

ÍNDICE GERAL

RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2 - METODOLOGIA.....	3
2.1 - Compilação e digitalização de mapas temáticos	3
2.2 - Trabalhos de campo.....	3
2.3 - Análise estrutural.....	3
2.4 - Análises petrográficas	4
2.5 - Análises com microsonda eletrônica.....	4
2.6 - Análises geoquímicas.....	4
CAPÍTULO 3 - CONTEXTO GEOLÓGICO DA ÁREA DE ESTUDO	5
3.1 - Geologia local.....	5
3.2 - Aspecto morfométrico.....	6
3.3 - Análise estrutural.....	6
CAPÍTULO 4 - MAGMATISMO ALCALINO DA PROVÍNCIA AMAMBAY	9
4.1 - Ocorrência e distribuição	9
4.2 - Caracterização petrográfica.....	10
4.2.1 - Suíte intrusiva.....	10
4.2.2 - Suíte extrusiva.....	12
4.3 - Geoquímica de elementos maiores e traços.....	14
4.4 - Química mineral	15
CAPÍTULO 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	18
CAPÍTULO 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	20
ANEXOS	
Anexo I – Figuras	
Anexo II – Fotos	
Anexo III – Tabelas	

RESUMO

As rochas alcalinas da Província Amambay apresentam grande diversidade litológica e modo variado de formação, ocorrendo como *stocks*, diques, *plugs* e derrames. Estão representadas por tipos intrusivos (sienodioritos, mela-sienitos, nefelina sienitos, sienitos, carbonatitos e fenitos) e extrusivos (fonotefritos, tefrifonolitos, traquitos, traquifonolitos, fonolitos, analcima fonolitos e lamprófiros). Quimicamente, essa associação litológica mostra elevado conteúdo em álcalis e afinidade potássica.

O comportamento dos elementos hidromagmátófilos nas rochas silicáticas revela acentuada anomalia negativa em K, P e Ti, além de positiva em Ba, Th, U, La, Ce, Sr e Zr. Já as Terras Raras, ao lado do forte fracionamento das TRL em relação às TRP, exibem distribuição uniforme para os elementos TRM a TRP.

As Terras Raras dos carbonatitos possuem comportamento similar ao das rochas silicáticas, enquanto que os seus elementos hidromagmátófilos demonstram pronunciada anomalia negativa em Rb, Th, Ta e Zr, e positiva em Ba, U, La, Ce e Sr.

À exceção dos carbonatitos e fenitos, o comportamento das rochas da Província de Amambay evidencia padrões muito semelhantes tanto para os elementos hidromagmátófilos como para as Terras Raras, sugerindo, dessa forma, que as pequenas variações observadas estejam muito possivelmente relacionadas a mudanças de fases mineralógicas no curso da cristalização.

Com relação à química dos minerais, os feldspatos são do tipo alcalino potássico, variando de anortoclásio a ortoclásio. Os feldspatóides estão representados por nefelina e analcima, estando a nefelina comumente alterada para cancrinita. Os principais minerais são piroxênio (diopsídio, augita, egirina-augita e egirina) e biotita, enquanto que os opacos estão representados essencialmente por magnetita, mostrando grande variação composicional. As granadas são do tipo andradita e classificadas como melanita, devido ao alto teor de Ti.

As estruturas rúpteis presentes na área, principalmente aquelas próximas das intrusões maiores, além de distribuídas radialmente, apresentam padrão de orientação com visível influência desses corpos. As anomalias bem definidas e localizadas observadas nos mapas gravimétrico e magnetométrico guardam inteira concordância com a distribuição dos corpos alcalinos.

ABSTRACT

The alkaline rocks of the Amambay Province show a large lithological variation as well as different ways of formation, occurring as stocks, dykes, plugs and "flows". These rocks consist of intrusive (syenodiorites, mela-syenites, nepheline syenites, syenites, carbonatites and fenites) and extrusive (phonotephrites, tephriphonolites, trachytes, trachyphonolites, phonolites, analcime phonolites and lamprophyres) types. Chemically, the rock associations contain high alkali concentration and potassic affinity.

The behaviour of the hygromatophile elements in the silicatic rocks indicates high negative anomalies in K, P and Ti, and positive ones in Ba, Th, U, La, Ce, Sr and Zr. The rare-earth elements, besides the strong fractionation of the LREE in relation to the HREE, show uniform distribution for the MREE and HRE.

The REE in the carbonatites have a behaviour similar to that of the silicatic rocks, whereas their hygromatophile elements show a negative anomaly in Rb, Th, Ta and Zr, and a positive one in Ba, U, La, Ce and Sr.

Excepting the carbonatites and fenites, the behaviour of the rocks of the Amambay Province show patterns similar to those of the hygromatophile elements and rare-earth elements, what suggests that the small variations noted are related to mineralogical phase changes during crystallization.

Regarding the chemistry of the minerals, the feldspars are alkaline, potassic-rich varieties, ranging from anorthoclase to orthoclase. The feldspathoids are represented by nepheline and analcime, being the nepheline usually replaced by cancrinite. The principal mafic minerals consist of pyroxene (diopside, augite, aegirine–augite and aegirine) and biotite, whereas the opaques mainly correspond to magnetite, with a large compositional variation. The garnets are andradite and classified as melanite due to its high Ti content.

The rutil structures in the area, specially those closer to the large intrusions, besides being radially distributed, have an orientation pattern clearly influenced by these bodies. The well-defined and well-located anomalies observed in the gravimetric and magnetometric maps coincide with the distribution of the alkaline rocks.

CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO

O magmatismo alcalino do Paraguai Oriental, agrupado em seis províncias distintas, representa três eventos tectono-magmáticos principais (Permo-Triássico, Eocretáceo e Terciário) e encontra-se freqüentemente associado a grandes feições estruturais, notadamente falhas, com expressivas anomalias magnetométricas e/ou gravimétricas (Velázquez *et al.*, 1998; Comin-Chiaramonti *et al.*, 1999).

O evento mais antigo, de idade Permo-Triássica (240-250 Ma), ocorre nas proximidades da cidade de Porto Murtinho, na zona fronteiriça entre o Paraguai e o Estado de Mato Grosso do Sul (Brasil). Ele reúne principalmente sienitos variando de fortemente insaturados a supersaturados, com as rochas formando complexos anelares e stocks, e caracterizando a assim chamada Província Alto Paraguai (Velázquez *et al.*, 1996; Gomes *et al.*, 1996).

O evento Eocretáceo apresenta três pulsos magmáticos e compreende rochas de afinidade essencialmente potássica. O primeiro, entre 135-140 Ma, está bem representado nas circunvizinhanças das cidades de Valle-mí (Província Rio Apa) e Pedro Juan Caballero (Província Amambay), respectivamente, nas porções norte e nordeste do Paraguai Oriental. Na Província Rio Apa, o magmatismo é pouco expressivo e está presente na forma de pequenos diques de filiação basanítica-carbonatítica. O magmatismo da Província Amambay encontra-se tectonicamente no domínio do Arco de Ponta Porã e reúne dois complexos anelares, Cerro Chiriguelo e Cerro Sarambí, tendo como principal tipo litológico carbonatitos (Censi *et al.*, 1989) associados a sienitos, shonkinitos e fenitos. Diques e *plugs* de traquito e fonolito aparecem em Cerro Guazú, Cerro Apuá e Cerro Tayay. O segundo pulso é representado pelo magmatismo da Província Central, com idade entre 126-128 Ma (Gomes *et al.*, 2003), e inclui grande diversidade de tipos litológicos, moderada a fortemente potássicos. Os corpos alcalinos concentram-se sobretudo junto à região central do país, nos arredores das cidades de Sapucaí, General Bernardino Caballero, Ybytyimi e La Colmena, e estão estruturalmente relacionados ao *Rift* de Assunção. O terceiro pulso magmático, de idade próxima à 120 Ma (Velázquez *et al.*, 2003), é reconhecido na extremidade meridional do país, próximo às cidades de San Juan Bautista e San Ignacio. Essa ocorrência, referida na literatura como Província Misiones, consiste em rochas alcalinas de composição sódica (nefelinitos e fonolitos peralcalinos) que afloram como pequenos *plugs* e diques (Comin-Chiaramonti *et al.*, 1992; Velázquez *et al.*, 2002).

O evento Terciário, com idade entre 39-61 Ma, mas com visível predomínio no intervalo 56-58 Ma (Gomes *et al.*, 2003), está restrito à região centro-oeste do Paraguai Oriental, onde se faz presente nas circunvizinhanças da cidade de Assunção, dando origem à Província Assunção. Ele congrega rochas de composição sódica, principalmente nefelinitos, portadoras de nódulos mantélicos que variam desde dunitos a lherzolitos (Comin-Chiaramonti *et al.*, 1991). Em proporção bem menor ocorrem também fonolitos.

Embora o magmatismo alcalino do Paraguai já tenha sido objeto de grande número de investigações (e.g. Comin-Chiaramonti & Gomes, 1996; Velázquez *et al.*, 1996; Comin-Chiaramonti *et al.*, 1997, 1999), a Província Amambay (Fig. 1) ainda não foi pesquisada com o mesmo nível de detalhamento. Assim, este trabalho pretende contribuir para o melhor conhecimento da geologia do magmatismo alcalino eocretáceo presente na área e associado tectonicamente ao Arco de Ponta Porã.

1. INTRODUÇÃO

Recentemente, dados foram coletados e analisados em algumas áreas da Província Amambay, do Paraguai, de acordo com o projeto de pesquisa "Magmatismo alcalino e metamorfismo em áreas de alta pressão e alta temperatura" (Projeto 1/90-000) do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) do Brasil. Este trabalho faz parte de uma série de estudos de campo e laboratorial realizados pelo "Geological Survey of Brazil" (CNPq).

2.2 - Trabalhos de campo

Os trabalhos de campo foram realizados no norte do Paraguai, na Província Amambay, no período de setembro de 1992 a novembro de 1993, com o objetivo de coletar amostras de rochas ígneas e metamórficas.

Para o estudo geológico, foram coletadas amostras de rochas ígneas e metamórficas em áreas de alta pressão e alta temperatura, com o objetivo de coletar amostras de rochas ígneas e metamórficas, bem como de realizar estudos de campo nas áreas de alta pressão e alta temperatura, com o objetivo de coletar amostras de rochas ígneas e metamórficas.

2.3 - Análises laboratoriais

Com o propósito de determinar as composições de rochas ígneas e metamórficas, foram realizadas análises químicas em laboratório, com o objetivo de determinar as composições de rochas ígneas e metamórficas, bem como de realizar estudos de campo nas áreas de alta pressão e alta temperatura, com o objetivo de coletar amostras de rochas ígneas e metamórficas.

CAPÍTULO 2 - METODOLOGIA

2.1 - Compilação e digitalização de mapas temáticos

De modo a possibilitar a operação com grande volume de dados e elevado desempenho para as mais variadas aplicações, foi criado um banco de informações georeferenciadas, empregando-se os programas AUTOCAD R14, SURFER 8.0 e GLOBAL MAPER 5.0, que permitem coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados, especialmente num ambiente de respostas a problemas.

Nesse banco de dados foram compilados e digitalizados os seguintes acervos iconográficos: 1) mapa geológico do Paraguai Oriental, na escala 1:250.000, preparado pela empresa Anschutz (1980); 2) mapas aeromagnetométrico e aerogravimétrico, respectivamente, nas escalas 1:250.000 e 1:500.000, elaborados pelas empresas "Aerial Geophysics Company" (1980) e "Photo Gravity Corporation" (1991); 3) mapa de modelo digital de elevação, na escala 1:250.000, com precisão de até 90 m, produzido a partir de dados de interferômetro de radar disponibilizados pela "Eros Data Center" do "U.S. Geological Survey".

2.2 - Trabalhos de campo

As atividades de campo foram executadas na região de Pedro Juan Caballero, nordeste do Paraguai, no período compreendido entre 7 a 18 de dezembro de 2003, e contaram também com a participação do geólogo Dr. Victor Velázquez Fernandez.

Para o seu desenvolvimento foram utilizados mapa geológico da região, na escala 1:250.000, bem como cartas topográficas do Instituto Geográfico Militar do Paraguai, nas escalas 1:100.000 e 1:50.000, com o propósito de auxiliar na localização das ocorrências, bem como no detalhamento da geologia dos corpos alcalinos. Os pontos foram georeferenciados com GPS, modelo GARMIN 12XL, permitindo leitura de até oito dígitos.

2.3 - Análise estrutural

Com o propósito de determinar os paleocampos de tensões vigentes à época da intrusão dos corpos alcalinos foram coletados dados estruturais (falhas, juntas e diques) durante o desenvolvimento dos trabalhos de campo e complementados com aqueles extraídos diretamente do mapa geológico. Para o tratamento e interpretação desse conjunto de dados foram utilizados programas específicos, tais como QUICKPLOT e STERONET. Esses programas permitem a obtenção dos campos de esforços a partir de uma população de falhas coetâneas, bem como pelas análises do padrão de orientação de juntas e diques Dunne & Hancock (1994).

2.4 - Análises petrográficas

Com base em observações macroscópicas, foram separadas 60 amostras provenientes de diferentes corpos e confeccionadas as correspondentes secções delgadas. Para o reconhecimento das feições ópticas e texturais comuns às associações mineralógicas presentes, empregou-se microscópio óptico, modelo OLYMPUS BXP 40, do Laboratório de Microscopia do Instituto de Geociências.

É importante apontar que a caracterização mineralógica e petrográfica foi usada como uma diretriz geral, uma vez que, para fins de classificação e nomenclatura das rochas, recorreu-se também a outros critérios, como o modo de ocorrência e a sua associação no campo, além do esquema recomendado pela IUGS (Le Maitre, 1989) e da grade química proposta por De La Roche (1986).

2.5 - Análises com microsonda eletrônica

Após trabalho minucioso de investigação óptica, foi preparado um total de 20 secções polidas e delgadas destinadas à programação analítica dos principais minerais constituintes das rochas por meio de microsonda eletrônica. As análises foram executadas no Laboratório de Microsonda Eletrônica do Instituto de Geociências, empregando-se aparelho JEOL-JXA-8600S. As condições de trabalho obedeceram à rotina daquele laboratório: potencial de aceleração de 15 kV e corrente do feixe eletrônico de 20 nA, com diâmetro de 5 μ para os minerais máficos e entre 10-15 μ para os félsicos. As fórmulas estruturais e demais proporções catiônicas e moleculares dos minerais foram recalculadas com o auxílio do programa MINPET 2.0.2 (Richard, 1995).

2.6 - Análises geoquímicas

Concluída a fase de caracterização petrográfica, 20 amostras foram selecionadas, preparadas e enviadas à empresa "Actlabs Laboratory", Ontário, Canadá, para fins de determinação de análises químicas (elementos maiores, traços e Terras Raras) em rocha total.

A preparação do material se deu no Laboratório de Tratamento de Amostras do Instituto de Geociências. Inicialmente, as amostras foram fragmentadas numa prensa hidráulica até atingir granulação de 25 mesh, tamanho este apropriado para posterior pulverização com o auxílio de moinho de anéis de tungstênio. Após essa etapa, elas tiveram a sua granulação reduzida a abaixo de 200 mesh, com o auxílio do aparelho "McCrone Micronising Mill".

CAPÍTULO 3 - CONTEXTO GEOLÓGICO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 - Geologia local

O cenário geológico da porção NE do Paraguai Oriental (Fig. 2) é dominado por grandes seqüências de depósitos sedimentares, com algumas delas acompanhadas por eventos tectono-magmáticos.

A unidade aflorante mais antiga é formada por muscovita (ou clorita) xistos que ocorrem como material encaixante dos complexos alcalinos do Cerro Chiriguelo e Cerro Sarambí. Essa unidade é designada como Grupo Cerro Corá e consiste em uma série de rochas metamórficas de idade pré-cambriana (Livieres, 1987) pertencentes ao embasamento cristalino, este referido na literatura paraguaia como *Precambriaco Norte* (Orué, 1996), e correspondendo em parte à extremidade sul da Província Tapajós, Sub-província Madeira (Amaral, 1984).

O Paleozóico é marcado por extensa deposição de sedimentos distribuídos em três seqüências distintas. A primeira, de idade ordoviciana-siluriana, representa um ambiente fluvial a marinho costeiro e reúne arenitos friáveis, arenitos conglomeráticos e conglomerados. Essa seqüência ocorre nas imediações dos cerros Chiriguelo e Sarambí.

A segunda, de idade permo-carbonífera, está situada principalmente a oeste da área em estudo e localmente associada ao complexo do Cerro Chiriguelo. O seu ambiente de formação é glacial a flúvio-glacial e compõe-se basicamente de diamictitos maciços até bem acamados, diamictitos pouco friáveis com seixos, além de arenitos friáveis densamente acamados a maciços, localmente feldspáticos, com estratificação cruzada e intercalações de diamictitos. A terceira seqüência, de idade carbonífero superior, ocupa a porção sul da área e é conformada por sedimentos de caráter transgressivo, consistindo em arenitos, siltitos e folhelhos intercalados (Harrington, 1950; Orué, 1996).

No Mesozóico, toda a seqüência deposicional foi interrompida pelo evento tectônico do Atlântico Sul, responsável pela fragmentação dos continentes e por expressiva atividade magmática toleítica, assim como pelas diversas intrusões alcalinas de idade eocretácea. Quase concomitantemente a esse evento, na porção central da área ocorreram extensos depósitos sedimentares de idade eocretácea formados em ambiente desértico (Formação Misiones), localmente fluvial, e em parte intercalados com derrames basálticos da Formação Serra Geral. Essa unidade sedimentar contém arenitos friáveis a maciços, por vezes laminados, apresentando estratificação cruzada. No final do Cretáceo, teve lugar a formação de depósitos de conglomerados, fanglomerados, brechas e arenitos silicificados (Formação Acaray) (Harrington, 1972; Putzer, 1962; Orué, 1996), freqüentemente associados com os complexos alcalinos dos cerros Chiriguelo e Sarambí.

Precedendo os derrames toleíticos da Formação Serra Geral, destacam-se as intrusões alcalinas localizadas nas zonas de interseção de estruturas antiformais, de direção NE-SW, com as zonas de falhamento de direção NW-SE. Essas intrusões se caracterizam

por mostrar grande diversidade litológica e modo de ocorrência variado, como diques, *plugs*, *stocks* e derrames.

Por último, mencionem-se os sedimentos quaternários compostos por areias, siltes e argilas inconsolidadas, distribuídos ao longo do leito das principais drenagens da região e em zonas de planícies alagadas (Livieres, 1987; Orué, 1996).

3.2 - Aspecto morfométrico

A integração das imagens de satélite e o mapa de sombreamento de relevo (Fig. 3) possibilitaram a análise morfoestrutural da área e o reconhecimento de quatro grandes compartimentos de classes altimétricas. O domínio da classe altimétrica mais baixa (≤ 125 -250 m), que ocorre no setor WNW, representa o preenchimento de extensos vales por depósitos aluvionares quaternários. Sedimentos paleozóicos pertencentes à Formação Aquidabán estão também em parte enquadrados nessa classe.

A leste da área de estudo, predomina a classe altimétrica de 500 a 625 m, consistindo em uma longa faixa de direção N-S, onde se delimita claramente a ocorrência de derrames toleíticos da Formação Serra Geral, originando ampla meseta com forte escarpa lateral.

A classe altimétrica de maior expressão é representada pelas intrusões alcalinas, com valores que variam desde 550 a 625 m, chegando a atingir atitudes de 750 m nos cumes. Nesse cenário, os cerros Sarambí e Guazú constituem-se nas mais proeminentes elevações da região. Já o Cerro Chiriguelo sustenta uma topografia circular com classes altimétricas variando entre 450-550 m.

Além dos principais tipos de compartimento descritos acima, uma classe altimétrica entre 250–400 m abrange boa parte da área de estudo, sustentando diversas colinas aplainadas, e composta basicamente por depósitos sedimentares da Formação Misiones.

Tanto na imagem de satélite, como no mapa de sombreamento de relevo, foi possível reconhecer-se vários lineamentos morfoestruturais, com direção principal para NW-SE e subordinadamente para NE-SW. Morfoestrutura de caráter circular é observada junto aos corpos intrusivos do Cerro Chiriguelo e do Cerro Sarambí, enquanto que o do Cerro Guazú apresenta uma geometria cônica, com a parte central levemente abatida e a parte externa circunscrita por estruturas radiais.

3.3 - Análise estrutural

A partir do mapa geológico foram extraídas medidas de lineamentos (84), de falhas (47) e de diques (53). Os diagramas de rosáceas construídos com base nesses dados (Fig. 4) mostram duas tendências principais de orientação, NW-SE e NE-SW, com visível predomínio para a primeira. Para complementar esses dados, falhas, fraturas e diques foram caracterizados e cadastrados durante os trabalhos de campo. A análise dos pólos de

um grupo de fraturas que secciona o arenito cretáceo da Formação Misiones, na Colônia Indígena Itaipausú (Fig. 5a), exibe uma orientação persistente segundo a direção NW-SE. Os planos de mergulhos das fraturas são verticais a subverticais e sugerem uma extensão na direção NE-SW. Associado com esse conjunto de fraturas ocorre um dique de traquito com direção NW-SE (Fig. 5b), que confirma a posição do eixo de tensão mínimo σ_3 /horizontal na direção NE-SW. As medidas de fraturas tomadas no arenito permiano, no extremo sul do Cerro Chiriguelo (Fig. 5c), indicam uma direção NE-SW. Por se tratarem de fraturas contínuas, subverticais, paralelas e com espaçamento centimétrico, elas se constituem em juntas de cisalhamento, com o eixo de tensão mínimo σ_3 /horizontal na posição NW-SE.

No corte da pedreira de Itapopó, extremo sul do Cerro Chiriguelo, existe uma excelente exposição de arenitos e folhelhos intercalados, de idade permiana. Nesse local foram caracterizados dois grupos de fraturas (Fig. 5d). De um lado, as fraturas de mergulho alto e com direção NNE-SSW; de outro, as fraturas de mergulho baixo e com direção NWW-SEE. As relações geométricas observadas no campo e o padrão de orientação sugerem que essas estruturas foram geradas sob um mesmo campo de esforços, com o eixo de tensão máximo σ_1 /vertical e o σ_3 /horizontal na direção NNW-SSE.

Foram cadastrados também oito diques alcalinos de espessura centimétrica (entre 40 a 80 cm), cujas composições variam de traquito a fonolito. Três deles ocorrem no pavimento de uma estrada de terra que dá acesso à extremidade SW do Cerro Sarambí, e exibem orientação constante N45E (Fig. 5e). Os cinco restantes estão distribuídos de maneira espaçada nas vizinhanças da Colônia Indígena Itaipausú e mostram marcante dispersão na orientação, variando desde N-S, NW-SE e NE-SW (Fig. 5f). As mudanças significativas de orientação do conjunto de diques são indicativas de uma sucessiva variação dos campos de esforços durante a sua colocação ou, alternativamente, esses pequenos corpos foram influenciados pelas intrusões maiores, como pode ser comprovado nas proximidades do Cerro Sarambí, onde as feições estruturais lineares estão distribuídas radialmente e apontam para um visível controle da intrusão.

Com o intuito de complementar a interpretação dos dados estruturais foram integrados os mapas aeromagnetométrico e gravimétrico obtidos junto ao Departamento de Recursos Minerais, órgão vinculado ao Ministério de Obras Públicas e Comunicações do Paraguai. Esses mapas são resultados do programa de Levantamentos Geológicos Básicos da companhia "Anschutz Corporation" (1980) e foram elaborados pelas empresas "Aerial Geophysics Company" (1980) e "Photo Gravity Corporation" (1991).

Do ponto de vista operacional, os dados de anomalias magnéticas foram levantados a partir de linhas de vôo de baixa altitude, com duas direções principais, E-W e N-S, levando em consideração os seguintes parâmetros magnéticos estabelecidos pela "National Space Service Data Center of the USA" para a região oriental do Paraguai: intensidade média do

campo, 23,580 gammas; inclinação média, -20° ; declinação média do N verdadeiro, 9° W (cf. Hales, 1980).

Os dados referentes à variação da aceleração da gravidade foram obtidos com gravímetro GRS-67, cobrindo um total de 3679 estações distribuídas ao longo das principais estradas. Os registros permitiram construir um mapa residual de anomalia Bouguer, com intervalo de 5 mGal entre os contornos, dentro de um padrão de densidade de redução de $2,67 \text{ kg/m}^3$.

No mapa aeromagnetométrico, verifica-se a existência de nítidas anomalias lineares, com valores de 5000 a 5100 nT, orientadas preferencialmente para NW (Fig. 6). Grande parte do setor oeste da área apresenta anomalias de contraste magnético pequeno, porém, com variação lateral muito ampla (4700 a 4950 nT), fortemente influenciada pelos depósitos sedimentares. Notadamente, os corpos alcalinos dos cerros Chiriguelo e Sarambí estão associados às anomalias de maior intensidade (5100-5200 nT), assim como a área de ocorrência das rochas vulcânicas toleíticas da Formação Serra Geral.

O mapa residual de Bouguer evidencia claramente dois tipos de anomalia, circular e linear (Fig. 7). A NW e SE da cidade de Pedro Juan Caballero, podem ser distinguidas duas anomalias negativas circulares, com passagem lateral brusca chegando até -65 mGal no centro. Essas anomalias muito provavelmente delimitam áreas tectonicamente mais instáveis ou pequenas bacias. Parcialmente associadas a essas anomalias têm-se os depósitos da Formação Acaray do Cretáceo Superior. Por outro lado, a W e SSW da intrusão do Cerro Sarambí, é possível observar uma longa faixa de gradiente gravimétrico que varia entre 5 a -15 mGal , acompanhando em linhas gerais os pacotes sedimentares de idade permo-carbonífera da Formação Aquidabán.

CAPÍTULO 4 - MAGMATISMO ALCALINO DA PROVÍNCIA AMAMBAY

4.1 - Ocorrência e distribuição

Os trabalhos de campo foram executados na região de Pedro Juan Caballero e focalizaram principalmente as ocorrências alcalinas do Cerro Corá e do Cerro Sarambí, assim como os corpos satélites de Cerro Apuá e Cerro Jhú (Fig. 8). Na oportunidade, foram consumidos 10 dias de trabalho, que permitiram obter um total de 76 pontos de controle das estruturas presentes e a relação dos corpos alcalinos com as unidades litoestratigráficas da região, além da coleta de 70 amostras representativas das principais ocorrências.

Cerro Chiriguelo (Cerro Corá)

Trata-se de um complexo alcalino-carbonatítico de forma circular, com aproximadamente 7,5 km de diâmetro (Fig. 8a) e (Foto 1), e distante 25 km da cidade de Pedro Juan Caballero. A parte externa do seu setor oeste é constituída por sedimentos paleozóicos e rochas metamórficas (gnaisses, mica xistos e quartzitos). Internamente, é possível reconhecer uma associação de carbonatitos (sövitos, alvikitos e ferrocronatitos, com predomínio do primeiro), fenitos reomórficos e pequenas intrusões de nefelina sienito mais junto às bordas do complexo. Além dessa associação, espesso volume de derrames toleíticos recobre boa parte do setor leste do complexo.

Cerro Sarambí

Está localizado a aproximadamente 60 km a SW da cidade de Pedro Juan Caballero. O complexo é formado por uma estrutura circular com cerca de 8,5 km de diâmetro (Fig. 8b) e (Foto 2). Externamente, a estrutura é conformada por sedimentos paleozóicos e, em menor extensão, por rochas metamórficas (mica xistos e quartzitos). Um corpo central de composição sienítica (sienodioritos, mela-sienitos, sienitos e nefelina sienitos) parece corresponder à litologia dominante. Diques de lamprófito, fonotefrito, fonolito e traquito cortam a intrusão principal. Porções de fenitos reomórficos são freqüentes nas margens da intrusão.

Cerro Apuá

É um pequeno *plug* ocorrendo a 4 km da borda WSW do Cerro Sarambí (Fig. 8c) e (Foto 3). Os trabalhos de levantamento geológico executados permitiram constatar que o corpo não apresenta grandes variações litológicas, sendo formado apenas de rochas efusivas do tipo traquito.

Colônia Indígena Itaipausú

Corresponde a uma região ao sul do Cerro Chiriguelo mostrando morros de arenitos avermelhados, com a maior parte deles sustentados por diques de traquito e fonolito (Fig. 8d) e (Fotos 4 e 5).

Cerro Jhú

Sustenta uma elevação não superior a 400 m (Fig. 8e) e (Foto 6), distante cerca de 40 km a SE do Cerro Sarambí, e consiste na sua maior parte por rochas efusivas do tipo analcima fonolito.

4.2 - Caracterização petrográfica

A caracterização mineralógico-petrográfica dos litotipos reconhecidos na Província de Amambay permitiu reuni-los em dois grupos distintos, intrusivo e extrusivo.

4.2.1 - Suíte intrusiva

Sienodioritos

Estão presentes no Cerro Sarambí e possuem cor cinza, aspecto maciço e composição homogênea. Microscopicamente, contêm feldspato alcalino e piroxênio, com biotita subordinada, e mostram em geral textura alotriomórfica (Fig. 9a). O piroxênio é o mineral máfico predominante e ocorre disseminado entre os grãos de feldspato na forma de cristais subidiomórficos a xenomórficos; sua cor é verde e o pleocroísmo verde-amarelado, e usualmente contém inclusões de biotita, plagioclásio, apatita, opacos e zircão. O feldspato encontra-se geminado segundo a lei de Carlsbad e é de composição sódica, além de ter como inclusões principais apatita e opacos. A biotita se caracteriza por apresentar hábito lamelar e forte pleocroísmo castanho-amarelado.

Mela-sienitos

Essas rochas são de ocorrência restrita e foram reconhecidas somente no Cerro Sarambí. Elas exibem textura fanerítica de granulação média e cor escura. Em todas as amostras analisadas notou-se visível predomínio dos constituintes máficos sobre os félsicos. Ao microscópio, revelam uma assembléia mineralógica reunindo feldspato alcalino e piroxênio, tendo o último como fase dominante (Fig. 9b). Opacos, apatita, titanita e zircão aparecem como constituintes menores.

A grande maioria do piroxênio augítico mostra caráter idiomórfico a subidiomórfico e dimensões variáveis. Os cristais bem desenvolvidos exibem cor amarela, zoneamento do tipo oscilatório com a parte central mais clara, e geminação polissintética. O feldspato alcalino é quase sempre subidiomórfico com hábito tabular e apresenta geminação segundo a lei de Carlsbad. Já os grãos xenomórficos, que ocupam os espaços interstícios, revelam zoneamento do tipo "patchy" e inclusões de piroxênio, opacos e apatita.

Sienitos

Os sienitos ocorrem nos complexos anelares dos cerros Chiriguelo e Sarambí. Em amostras de mão exibem cor cinza, aspecto maciço e textura fanerítica, por vezes porfirítica, com granulação variando de fina a grossa. Apresentam grande heterogeneidade quanto à

relação félsicos/máficos. Os primeiros minerais estão representados por feldspato alcalino e feldspatóides (nefelina), enquanto que os segundos têm piroxênio como termo dominante.

Microscopicamente, os sienitos contêm feldspato alcalino e piroxênio como constituintes mais abundantes e, em menor quantidade, biotita e opacos (Fig. 9c). O feldspato é do tipo sanidina, mostrando hábito tabular alongado quando na forma de fenocristal, com dimensões submilimétricas a centimétricas, ou como membro da matriz. Em geral, está geminado segundo a lei de Carlsbad e, por vezes, se mostra zonado; freqüentemente contém inclusões de apatita, opacos, micrólitos de piroxênio e titanita. O piroxênio exhibe grande variação quanto à forma e tamanho. Geralmente, está presente formando fenocristais subidiomórficos ou como grãos xenomórficos disseminados na matriz. Na condição de acessórios aparecem melanita, apatita e zircão; como produtos de alteração reconhecem-se sericita, clorita e carbonatos.

Nefelina sienitos

Na localidade de Cerro Chiriguelo, os nefelina sienitos ocorrem de forma muito dispersa e estão sempre associados com os fenitos. Já no Cerro Sarambí, a ocorrência dessas rochas acha-se limitada aos domínios dos sienitos mela-sienitos. Em geral, mostram grande variação textural e granulométrica, podendo em alguns casos desenvolver textura de caráter pegmatítico, onde os cristais de feldspato alcalino atingem tamanho superior a 1,5 cm.

A assembléia mineralógica é marcada pela predominância de feldspato alcalino que se apresenta como cristais subidiomórficos de hábito prismático alongado, freqüentemente geminados segundo a lei de Carlsbad (Fig. 9d). O piroxênio do tipo egrina-augita evidencia crescimento intergranular, desenvolvendo-se entre os cristais de feldspato alcalino. A grande maioria dos cristais é subidiomórfica, variando desde pequenos grãos aciculares até aqueles de hábito prismático curto. Os cristais exibem coloração verde oliva e pleocroísmo intenso na mesma tonalidade. A nefelina ocorre como grão intersticial com contorno muito irregular e contém inclusões de piroxênio acicular, apatita e opacos. Titanita e apatita são os acessórios mais freqüentes.

Fenitos

O costume de empregar o termo fenito de maneira ampla na literatura obedece principalmente a duas razões. Em primeiro lugar, porque abrange uma diversidade litológica muito grande de protólitos (ígneos, metamórficos e sedimentares) e, em segundo lugar, porque os processos que atuam durante a alteração são muitos complexos, envolvendo fases diferentes de voláteis e condições variáveis de P , T e X . Contudo, um denominador comum para as rochas feníticas consiste na sua estreita relação com intrusões alcalinas ou alcalina-carbonatíticas, onde se desenvolvem como produto de alteração metasomática *in locus*. Em decorrência dessa origem complexa, existem várias propostas de classificação para essas rochas, contudo, neste trabalho, preferiu-se adotar a nomenclatura de Von

Eckermann (1948), que emprega o termo fenito para designar rochas plutônicas de aparência ígnea apresentando evidências texturais de substituição e recristalização.

Os fenitos aqui estudados provêm de duas localidades distintas, Cerro Chiriguelo e Cerro Sarambí. No Cerro Chiriguelo, essas rochas estão associadas com carbonatitos e formam uma complexa auréola de contato ao longo das bordas S e SW da intrusão. Na segunda localidade, as amostras foram coletadas na parte interna da estrutura, setor NE, nas proximidades dos corpos de mela-sienito e nefelina sienito.

Em amostras de mão, os fenitos são semelhantes aos sienitos e exibem textura granular grosseira, aspecto maciço e homogêneo, tendo o feldspato potássico como principal mineral constituinte. Já ao microscópio é possível distinguir duas variedades composicionais de fenitos, uma sienítica e a outra nefelina sienítica (Figs. 9e, f). A primeira é constituída quase inteiramente por grandes cristais de feldspato alcalino com extinção ondulante. Os poucos cristais de piroxênio do tipo egirina-augita estão completamente envolvidos por placas de feldspato alcalino. Uma característica principal dessas rochas é a microestrutura heteroblástica, representada por grãos de feldspato, com grau variável de deformação e por veios de egirina-augita fortemente orientados e interconectados. Como principal acessório tem-se granada. Na segunda variedade, além de ter a nefelina como acessório principal, existe aumento considerável no conteúdo de piroxênio. O feldspato, fraturado e granuloso, apresenta extinção ondulante e borda freqüentemente recristalizada. Os grãos xenomórficos de egirina-augita prevalecem como inclusões, enquanto que os cristais prismáticos aciculares subidiomórficos ocupam os espaços intersticiais, contornando a borda dos feldspatos. A textura granoblástica heterogênea, reunindo grãos xenomórficos de feldspato alcalino parcialmente recristalizados e cristais aciculares de egirina-augita, representa a principal feição de deformação.

Carbonatitos

Os carbonatitos, encontrados em pedreiras no complexo anelar do Cerro Chiriguelo, exibem aspecto maciço e grande variação da granulação, com os cristais chegando a atingir dimensões centimétricas. Nas amostras de granulação mais grossa, a textura passa de equigranular a porfirítica e a cor varia de cinza claro a marrom. Mineralogicamente, a rocha é constituída por calcita, com biotita ocorrendo em menor quantidade (Fig. 9g). Os cristais de calcita são subidiomórficos a xenomórficos, tendo como principais inclusões mica, apatita e mais raramente opacos. As micas (flogopita) aparecem na forma de lamelas alongadas, e exibem forte pleocroísmo e coloração marrom.

4.2.2 - Suíte extrusiva

Lamprófiros (minette)

Em amostra de mão, essas rochas possuem cor escura e caráter porfirítico, com fenocristais máficos imersos em matriz afanítica. Ao microscópio, reconhece-se textura porfirítica a glomeroporfirítica com fenocristais idiomórficos a subidiomórficos de biotita e,

em menor extensão, de piroxênio (Fig. 10a). A matriz contém cristais xenomórficos alongados de piroxênio e grãos irregulares de magnetita imersos em matriz onde se desenvolveram grãos xenomórficos de feldspato alcalino e nefelina. Os minerais acessórios mais comuns são opacos e apatita.

Analcima fonolitos

Esse litotipo foi apenas reconhecido na localidade de Cerro Jhú, distante aproximadamente 40 km a SE do Cerro Sarambí, e ocorre como pequeno *plug* de elevação não superior a 400 m. À vista desarmada, as amostras apresentam coloração cinza escura e textura porfirítica com fenocristais de piroxênio.

Microscopicamente, a rocha revela amplo predomínio de analcima na matriz, ainda que o mineral esteja também presente como microfenocristal (Fig. 10b). O piroxênio, do tipo augita, apresenta grande variação quanto à forma e tamanho. No geral, ocorre como fenocristal idiomórfico a subidiomórfico mostrando forte zoneamento, ou ainda, como grãos xenomórficos disseminados na matriz. Em nicóis paralelos, o piroxênio é de cor verde-amarelado e com pleocroísmo do mesmo tom, sendo as partes centrais dos cristais invariavelmente de coloração mais clara. Em todas as amostras estudadas a granada encontra-se amplamente distribuída na matriz como microfenocristais bem desenvolvidos ou como grãos xenomórficos. Como principais acessórios reconhecem-se apatita, opacos e ocasionalmente zircão.

Fonotefritos e tefrifonolitos

Essas rochas aparecem como pequenos diques cortando os sienitos pegmatíticos na localidade do Cerro Sarambí. Macroscopicamente, apresentam textura afanítica e coloração cinza escura. Ao microscópio, ressalta a grande diversidade textural e mineralógica (Figs. 10c, d). Os fonotefritos contêm maior conteúdo de minerais máficos (egirina-augita e biotita) como microfenocristais, enquanto que nos tefrifonolitos predominam cristais subidiomórficos de plagioclásio. Em ambas as litologias a matriz é composta por finas lamelas de feldspato alcalino, plagioclásio e grãos xenomórficos de piroxênio e nefelina intersticial. Pequenos cristais de apatita e abundantes grãos de opacos disseminados na matriz representam as fases acessórias mais comuns.

Traquifonolitos

Essas rochas ocorrem na parte interna da estrutura do Cerro Sarambí na forma de pequenos diques, com espessura não superior a 80 cm, cortando os sienitos. Em amostras de mão, os traquifonolitos possuem granulação fina a afanítica, aspecto maciço e coloração cinza escura. Ao microscópio, eles exibem textura microporfirítica, tendo piroxênio do tipo augita como microfenocristais predominantes; por vezes, estes são de feldspato alcalino e mais raramente de biotita (Fig. 10e). A matriz consiste no geral de finas lamelas de feldspato alcalino subidiomórfico, grãos xenomórficos de nefelina e piroxênio. Em algumas amostras, os cristais tabulares de feldspato alcalino apresentam ligeira orientação subparalela, à

semelhança da textura traquítica. Finas lamelas de biotita, além de cristais prismáticos de apatita e grãos xenomórficos de opacos estão presentes como acessórios.

Traquitos

Os traquitos exibem coloração cinzenta, aspecto maciço e granulação fina, sendo a sua textura tipicamente porfirítica com matriz afanítica. Os fenocristais são marcadamente de feldspato alcalino idiomórfico e hábito tabular. Ao microscópio, o seu caráter porfirítico e a textura traquítica acham-se prontamente realçadas (Fig. 10f). Em geral, os fenocristais de feldspato estão geminados segundo a lei de Carlsbad. Reconhecem-se também lamelas finas de biotita com pleocroísmo marrom-amarelado. O piroxênio da matriz corresponde a uma egirina-augita e aparece preenchendo cavidades entre os grãos de feldspato. Cristais idiomórficos de titanita, apatita e grãos xenomórficos de opacos são as fases acessórias mais frequentes.

Fonolitos

Ocorrem como pequenos diques nos arredores dos complexos anelares dos cerros Chiriguelo e Sarambí, bem como na Colônia Indígena Itaipausú. Eles exibem cor verde escuro, aspecto maciço, granulação fina e textura porfirítica, destacando-se macroscopicamente fenocristais de feldspato alcalino e/ou feldspatóides (nefelina); em menor quantidade aparecem piroxênio e biotita. Ao microscópio, o feldspato é do tipo sanidina e forma cristais tabulares geminados segundo a lei de Carlsbad; raramente o mineral é zonado e contém em geral inclusões de piroxênio, titanita, opacos e apatita (Fig. 10g). O piroxênio é do tipo egirina e está presente como pequenos cristais; quando integrando a matriz mostra-se acicular. A matriz dessas rochas apresenta grãos xenomórficos de piroxênio, lamelas de feldspato alcalino e grânulos intersticiais de nefelina e carbonatos. Como minerais acessórios aparecem opacos disseminados, inclusões de zircão e cristais de titanita.

4.3 - Geoquímica de elementos maiores e traços

As análises químicas das rochas alcalinas da Província Amambay (Tabela 1) apresentam variações significativas no seu grau de evolução.

No diagrama R1-R2 (De La Roche, 1986) (Fig. 11), verifica-se que essas rochas estão agrupadas no campo dos nefelina sienitos (fonolitos), sienitos (traquitos), essexitos (fonotefritos e tefrifonolitos) e sienodioritos (traquiandesitos). Da mesma forma, no diagrama TAS (Cox *et al.*, 1979) (Fig. 12), elas tendem a ocupar, respectivamente, os mesmos campos. Por outro lado as rochas classificadas quanto à petrografia em minette e analcima fonolito caem nos campos, respectivamente, dos tefritos e fonolitos.

Projetando-se os dados dos elementos maiores no diagrama ternário AFM (Macdonald & Katsura, 1964) (Fig. 13), nota-se que a maior concentração dos pontos se dá junto ao vértice Na+K, indicando assim clara afinidade alcalina para essas rochas. Observa-

se ainda no diagrama AFM que as rochas menos evoluídas (tefrifonolitos e lamprófiros) possuem razões Fe/Alc mais baixas e maior concentração em Mg. O gráfico relacionando Na_2O e K_2O (Comin-Chiaramonti *et al.*, 1996) (Fig. 14) permite distinguir a sua natureza eminentemente potássica.

A distribuição dos elementos Terras Raras normalizados para condritos (Boynnton, 1984) (Fig. 15) revela forte fracionamento das TRL em relação às TRP e comportamento constante para as TRM e TRP. Por outro lado, o comportamento dos elementos hidromagmátófilos normalizados para o manto primitivo (Sun & McDonough, 1989) (Fig. 16) indica pronunciada anomalia negativa em K, P e Ti, e positiva em Ba, Th, U, La, Ce, Sr e Zr.

Os carbonatitos estão representados nos diagramas normalizados para condritos (Boynnton, 1984) e manto primitivo (Sun & McDonough, 1989), respectivamente, das Figuras 17 e 18. Observa-se no primeiro gráfico um comportamento similar ao das rochas silicáticas para os elementos Terras Raras, ainda que estes estejam comparativamente presentes em maior concentração. No segundo, estão bem evidenciadas a anomalia positiva em Ba, U, La, Ce e Sr, e negativa em Rb, Th, Ta e Zr.

De um modo geral, percebe-se que o comportamento geoquímico das rochas acima, excluídos os carbonatitos e os fenitos, apresenta padrões muito semelhantes tanto para os elementos hidromagmátófilos como para as Terras Raras, levando a supor que as pequenas variações observadas estejam ligadas possivelmente a mudanças de fases mineralógicas no curso da cristalização.

4.4 - Química mineral

Para o estudo da química dos minerais foram preparadas vinte amostras, abrangendo os diversos litotipos pertencentes aos principais corpos das ocorrências alcalinas da Província Amambay, sendo executadas 191 análises quantitativas com auxílio da microsonda eletrônica, por dispersão de energia, assim distribuídas: 51 em feldspatos, 11 em feldspatóides, 50 em piroxênios, 30 em biotitas, 11 em granadas e 38 em óxidos de Fe-Ti.

Feldspatos

Os feldspatos formam, ao lado da nefelina, os minerais félsicos mais importantes do conjunto de rochas da Província Amambay, com a sua composição variando principalmente ao longo do plano Or-Ab (Fig. 19). A observação conjunta dos dados evidencia que o comportamento químico da maioria desses minerais é extremamente homogêneo e corresponde ao grupo dos feldspatos potássicos. As somatórias dos cátions na fórmula estrutural variam entre 19,968 a 20,271 (Tabela 2), valores muito próximos ao da fórmula teórica (20,0). A baixa concentração de Ca, Sr, Ba e Na, à exceção dos traquitos (Pam-04 e Pam-34), indica que transformações subsólidas não tiveram participação significativa no

quimismo desses minerais. Por outro lado, os feldspatos dos traquitos se caracterizam por apresentar relação Na:K de 2:1, além de mostrar enriquecimento um pouco maior em Ca. Já nos fenitos a relação Na:K é de 1:3 (Tabela 2).

Feldspatóides

Os feldspatóides estão representados principalmente por nefelina e analcima, com maior predomínio para o primeiro. Esses minerais com freqüência mostram-se alterados, notadamente a nefelina que passa para cancrinita (Tabela 3).

A nefelina foi observada nos mela-sienitos, fenitos e minettes, enquanto que a analcima foi reconhecida apenas no analcima fonolito. À semelhança dos feldspatos, a nefelina exibe comportamento mais ou menos homogêneo em termos da concentração de Na_2O e K_2O , cujos valores situam-se, respectivamente, em torno de 16 e 6% para os mela-sienitos e de 16 e 8% para os fenitos. Da mesma maneira, pode-se constatar também que o conteúdo de Ca, Sr e Ba é relativamente baixo.

A analcima se caracteriza por apresentar valores somatórios dos cátions (~4,70) muito acima dos referenciais teóricos (2,0), além de conteúdo variado de K_2O (0,03-2,59%), por sua vez superiores também aos limites teóricos esperados, sugerindo assim uma incorporação de K_2O residual na sua composição.

Piroxênios

O tratamento analítico estabelecido aos piroxênios obedeceu estritamente ao recomendado pela "International Mineralogical Association" (Morimoto, 1989).

Os piroxênios da Província Amambay apresentam grande variação composicional, podendo ser agrupados nos membros diopsídio, augita, egirina-augita e menos comumente egirina (Figs. 20A, B e C). Essas mudanças acham-se refletidas principalmente nas concentrações de FeO (e Fe_2O_3), MgO e CaO, e são muito notórias na passagem dos membros diopsídio até egirina, onde se constata num primeiro momento, clara substituição de Mg por Fe (FeO), seguida da diminuição de Ca e aumento das concentrações de Fe (Fe_2O_3) e Na (Fig. 20). Outra variação importante refere-se ao comportamento do TiO_2 , apresentando como valores extremos 0,11 e 3,18% (Tabela 4), sendo que os conteúdos mais elevados são encontrados nos piroxênios dos tefrifonolitos.

Biotitas

Análises químicas representativas das biotitas acham-se reunidas na Tabela 5, com os dados para Mg-($\text{Al}^{\text{IV}}+\text{Ti}$)-($\text{Fe}^{2+}+\text{Mn}$) projetados no gráfico composicional da Figura 21 (De Min, 1993). Ainda que a razão Mg: Fe^{2+} varie amplamente, esses minerais mantêm-se dentro do campo das biotitas magnesianas. O elevado conteúdo em TiO_2 ($\text{Ti} > 0,25$ a.f.u.), segundo a recomendação de Rock (1982), permite classificá-las como biotitas titaníferas. O exame da Tabela 5 indica que esses minerais contêm teores insuficientes de Si e Al para o preenchimento das posições tetraédricas estruturais, o que sugere que pequenas quantidades de Fe^{2+} , ou mesmo de Ti, estejam ocupando a posição do Si. Ba exibe

comportamento variado, sendo que a maior concentração do elemento se dá nas biotitas pertencentes aos fonotefritos (2,55 %, Tabela 5).

Óxidos de Fe-Ti

A fase opaca comum a todos os tipos petrográficos da Província Amambay é a magnetita e está representada no diagrama $\text{FeO-TiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (Buddington & Lindsley, 1964, modificado de Haggerty, 1976) (Fig. 22). Ao lado da grande variação composicional (principalmente o estado de oxidação do ferro), esses minerais têm também como característica significativa o grande enriquecimento em TiO_2 (Tabela 6), sobretudo nos nefelina sienitos, fonotefritos e tefrifonolitos, atingindo valores de até 10,56% nas primeiras rochas. Não menos expressiva é a concentração de TiO_2 em outros tipos petrográficos (analcima fonolitos, traquitos e fonolitos), levando à classificação desses minerais como magnetitas titaníferas.

Granadas

Análises químicas das granadas, acompanhadas das porcentagens dos seus respectivos membros finais, são fornecidas na Tabela 7 e mostradas na Figura 23. Esses minerais, presentes em diversos tipos de rochas (sienitos, fenitos, analcima fonolitos e fonolitos) da Província Amambay, correspondem ao membro andradita que varia de 89,9 a 98,4%. Eles possuem teores de TiO_2 da ordem de 1,86 a 8,43% e relação $\text{Fe}^{3+} > \text{Ti}$ no sítio octaédrico, o que permite (cf. Deer *et al.*, 1982) a sua classificação como melanita.

CAPÍTULO 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

A geologia da região nordeste do Paraguai Oriental guarda estreita relação com a extremidade sul do Cráton Amazônico, com a Faixa Paraguaia na sua porção sul e, principalmente, com o flanco ocidental da Bacia do Paraná. Estratigraficamente, distingue-se uma unidade pré-cambriana apresentando cobertura carbonática de margem cratônica neoproterozóica, além de fácies arenosa do Paleozóico, em contraste nítido com as litologias do embasamento.

Petrograficamente, a Província Amambay é caracterizada pela presença de uma suíte intrusiva que reúne sienitos (com e sem feldspatóides), sienodioritos e seus produtos metassomáticos (fenitos), além de carbonatitos; e de uma suíte extrusiva representada por fonolitos, tefrifonolitos, traquitos, além de analcima fonolitos e lamprófios.

Excluídos os carbonatitos, essas rochas contêm feldspato alcalino como fase félsica dominante, enquanto que piroxênio e biotita representam os minerais máficos mais freqüentes; em algumas amostras melanita e analcima são constituintes importantes. Nefelina ocorre acidentalmente e apatita, titanita, opacos e zircão estão presentes como acessórios. Os carbonatitos têm calcita como mineral mais abundante e mica (flogopita) está presente em quantidade variável. As principais inclusões são de apatita e opacos. Já os fenitos são caracterizados por uma textura granoblástica heterogênea, reunindo cristais de feldspato alcalino com extinção ondulante e borda parcialmente recristalizada, além de concentrações de grãos aciculares de egirina-augita fortemente orientados.

O comportamento dos elementos maiores e traços reflete as assembléias minerais presentes, e o fracionamento dos elementos Terras Raras é condizente com o grau de evolução das rochas. A afinidade caracteristicamente potássica das rochas da Província é confirmada por diagramas de variação, que atestam também a sua natureza evoluída e a sua formação muito provavelmente por processos de cristalização fracionada.

O quadro geológico da região é marcado pela existência de extensos depósitos paleozóicos e de diversos pulsos de atividade tectono-magmática alcalina. Dentro desse contexto, levando-se em conta as associações litológicas (alcalina-carbonatíticas) existentes e a sua manifestação anterior aos derrames toleíticos, têm-se que as intrusões da Província Amambay apresentam aspecto geodinâmico singular. Este fato parece ganhar maior consistência quando são confrontados os dados estruturais e as informações extraídas dos mapas geofísicos, que revelam, respectivamente, padrões de orientação bem definidos e localizadas anomalias gravimétricas e magnetométricas, guardando concordância com a distribuição dos corpos alcalinos e com as principais estruturas da região.

Evidências de campo e dados geocronológicos disponíveis na literatura (Comte & Hasui, 1971; Eby & Mariano, 1992) são indicativos de que as rochas alcalinas da Província Amambay, associadas tectonicamente ao Arco Ponta Porã, precederam as lavas basálticas da Bacia do Paraná. Por outro lado, há que se reconhecer que essa província reúne uma

associação litológica complexa, envolvendo diversas rochas alcalinas silicáticas, carbonatitos e as rochas feníticas derivadas, a tornar indispensável a obtenção de dados isotópicos para uma melhor compreensão dos mecanismos que atuaram na sua gênese.

Análises de química mineral foram realizadas para todos os litotipos amostrados na Província Amambay, sendo a fase félsica mais importante representada pelos feldspatos.

Os feldspatos analisados são do tipo alcalino potássico, ocorrem em todos os corpos amostrados, possuindo variação de anortoclásio até ortoclásio, sendo este último o predominante.

Os feldspatóides estão representados por nefelina e analcima, estando a primeira freqüentemente alterada para cancrinita. A nefelina pode ser encontrada nos mela-sienitos, fenitos e minettes; possuem comportamento homogêneo quanto à concentração de Na_2O e K_2O , sendo constatado também teor relativamente baixo de Sr, Ca e Ba.

A analcima é caracterizada pelo seu conteúdo variado de K_2O , com valores acima dos teóricos esperados, o que sugere uma incorporação de K_2O residual na sua composição.

Os minerais máficos mais importantes são piroxênios e biotitas. Os piroxênios apresentam grande variação composicional, podendo ser classificados como diopsídio, augita, egirina-augita e egirina. Mostram variações significativas de MgO , CaO e FeO e menores de TiO_2 e Al_2O_3 .

As biotitas analisadas possuem ampla variação da razão $\text{Mg}:\text{Fe}^{2+}$, situando-se, contudo, no campo das biotitas magnesianas, com teor elevado em TiO_2 , o que permite que sejam classificadas como biotitas titaníferas.

Os minerais opacos analisados estão representados principalmente pela magnetita. Eles exibem grande variação composicional, com elevado enriquecimento em TiO_2 , sobretudo nos nefelina sienitos, fonotefritos e tefrifonolitos; essa variação é menos expressiva em outras rochas (analcima fonolitos, traquitos e fonolitos).

As granadas são formadas por mais de 89% do membro andradita, possuindo uma relação de $\text{Fe}^{3+}:\text{Ti}$ no sítio octaédrico, além de classificadas como melanita.

Foram previstas análises geoquímicas isotópicas (Rb/Sr e Sm/Nd) de alguns tipos litológicos, programação esta no entanto prejudicada pelo movimento grevista que atingiu as universidades públicas estaduais paulistas, criando dificuldades para o atendimento normal dos laboratórios.

CAPÍTULO 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aerial Geophysics Company (1980). Composite map of aeromagnetic survey of Eastern Paraguay (Scale 1:1.000.000) Archivo DRM-MOPC, Asunción.
- Amaral, G. (1984). Províncias Tapajós e Rio Branco. In: Almeida, F.F.M. & Hasui, Y. (eds.) *O precambriano do Brasil*. Editora Edgard Blücher Ltda., São Paulo, pp. 6-35.
- Anschutz Corporation (1980). Geological map of Eastern Paraguay (Scale 1:200.000). Archivo DRM-MOPC, Asunción.
- Boynton, W.V. (1984). Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: Henderson, P. (ed.) *Rare earth elements geochemistry*. Elsevier, pp. 63-114.
- Buddington, A.F. & Lindsley, D.H. (1964). Iron-titanium oxide minerals and synthetic equivalents. *J. Petrol.* **5**, 310-357.
- Censi, P., Comin-Chiaramonti, P., Longinelli, A., Demarchi, G. & Orué, D. (1989). Geochemistry and C-O isotopes of the Chiriguélo carbonatite (Northeastern Paraguay). *J. South Amer. Earth Sci.* **3**, 295-303.
- Comin-Chiaramonti, P. & Gomes, C.B. (1996). *Alkaline magmatism in central-eastern Paraguay. Relationships with coeval magmatism in Brazil*. Edusp/Fapesp, São Paulo, 464p.
- Comin-Chiaramonti, P., Civetta, L., Petrini, R., Piccirillo, E.M., Bellieni, G., Censi, P., Bitschene, P.R., Demarchi, G., De Min, A., Gomes, C.B., Castillo, A.C.M. & Velázquez, J.C. (1991). Tertiary nephelinitic magmatism in Eastern Paraguay: petrology, Sr-Nd isotopes and genetic relationships with associated spinel-peridotite xenoliths. *Eur. J. Mineral.* **3**, 507-525.
- Comin-Chiaramonti, P., Cundari, A., De Min, A., Gomes, C.B., Velázquez, V.F. (1996). Magmatism in eastern Paraguay: Occurrence and Petrography. In: Comin-Chiaramonti, P. & Gomes, C.B. (eds) *Alkaline magmatism in central-eastern Paraguay. Relationships with coeval magmatism in Brazil*. Edusp/Fapesp, São Paulo, pp. 103-122.
- Comin-Chiaramonti, P., Cundari, A., DeGraff, J.M., Gomes, C.B. & Piccirillo, E.M. (1999). Early Cretaceous–Tertiary magmatism in Eastern Paraguay (western Paraná Basin): geological, geophysical and geochemical relationships. *J. Geodyn.* **28**, 375-391.
- Comin-Chiaramonti, P., Cundari, A., Piccirillo, E.M., Gomes, C.B., Castorina, F., Censi, P., De Min, A., Marzoli, A., Speziale, S. & Velázquez, V.F. (1997). Potassic and sodic igneous rocks from Eastern Paraguay: their origin from the lithospheric mantle and genetic relationship with the associated Paraná flood tholeiites. *J. Petrol.* **38**, 495-528.
- Comin-Chiaramonti, P., Gomes, C.B., Petrini, R., De Min, A., Velázquez, V.F. & Orué, D. (1992) A new area of alkaline rocks in Eastern Paraguay. *Rev. Bras. Geoc.* **22**, 500-506.
- Comte, D. & Hasui, Y. (1971). Geochronology of Eastern Paraguay by potassium-argon method. *Rev. Bras. Geoc.* **1**, 33-43.

- Cox, K.G., Bell, J.K. & Pankurst, R.J. (1979). *The interpretation of igneous rocks*. George Allen & Unwin, London, 450p.
- De La Roche, H.C. (1986). Classification et nomenclature des roches ignées: un essai de restauration de la convergence entre systématique, typologie de usage et modélisation génétique. *Bull. Soc. Géol. France* **2**, 337-353.
- Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J. (1982). *Rock-forming minerals. Vol. 1A (Orthosilicates)*, Longman Group Ltd. London, 919p.
- De Min, A. (1993). *Il Magmatismo Mesozoico K-Alcalino Del Paraguai Orientale: aspetti petrogenetici ed implicazioni geodinamiche*. Tese de Doutorado, Universtá degli Studi di Trieste, 242p.
- Dunne, W.M. & Hancock, P.L. (1994). Palaeostress analysis of small-scale brittle structures. In: Hancock, P.L. (ed.) *Continental deformation*. Pergamon Press, Oxford, pp.101-120.
- Eby, G.N. & Mariano, A.N. (1992). Geology and geochronology of carbonatites and associated alkaline rocks peripheral to the Paraná Basin, Brazil-Paraguay. *J. South Amer. Earth Sci.* **6**, 207-216.
- Eckermann, H.V. (1948). The alkaline district of Alnö Island. *Sverig. Geol. Undersök., Ser. Ca.* **36**, pp. 1-176.
- Gomes, C.B., Laurenzi, M.A., Censi, P., De Min, A., Velázquez, V.F. & Comin-Chiaramonti, P. (1996). Alkaline magmatism from northern Paraguay (Alto Paraguay): a Permo-Triassic Province. In: Comin-Chiaramonti, P. & Gomes, C.B. (eds.) *Alkaline magmatism in central-eastern Paraguay. Relationships with coeval magmatism in Brazil*. Edusp/Fapesp, São Paulo, pp. 223-230.
- Gomes, C.B., Milan, A., Velázquez, V.F., Riccomini, C., Comin-Chiaramonti, P., Vasconcelos, P.M. & Tassinari, C.C.G. (2003). Magmatismo alcalino na porção centro-oriental do Paraguai: novos dados geocronológicos para as rochas das Províncias Central e Assunção. *VII Congr. Geoq. PLOP, Maputo, Moçambique, Resumos*, p. 34.
- Haggerty, S.E. (1976) Opaque mineral oxides in terrestrial igneous rocks. In: Rumble, D. (ed) *Oxide minerals. Mineral. Soc. Am., Short Course Notes* **3**, 101-300.
- Hales, F.W. (1980). An interpretation of the data from the airborne magnetic surveys in northern areas of eastern Paraguay. DRM-MOPC/T.A.C., Asunción, 119p.
- Harrington, H.J. (1950). *Geología del Paraguay Oriental. Fac. Cienc. Exact. Fis. Nat., Contr. Cient. Série E, Geología* **1**, 1-88.
- Harrington, H.J. (1972). Silurian of Paraguay. In: Bevy, B.W.B.N. & Bougot, A.J. (eds.) *Correlation of the South American Silurian rocks. Geol. Soc. Amer., Spec. Paper* **133**, 41-50.
- Le Maitre, R.W. (1989). *A classification of igneous rocks and glossary of terms*. Blackwell Sci. Publ., Oxford, 193p.

- Livieres, R.A. (1987). *Der karbonatit-komplex von Chiriguelo, Nordost-Paraguay*. Tese de Doutoramento, Universidade de Clausthal, 191p.
- MacDonald, G.A. & Katsura, R. (1964). Chemical composition of Hawaiian lavas. *J. Petrol.*, **5**, 82-133.
- Morimoto, N. (1989). Nomenclature of pyroxenes. *Mineral J.* **14**, 198-221.
- Orué, D. (1996). *Síntese da geologia do Paraguai Oriental, com ênfase para o magmatismo alcalino associado*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 163p.
- Photo Gravity Corporation (1991). Regional Bouguer gravity data and station location map of the Paraguay (Scale 1:2.000.000). Archivo DRM-MOPC, Asunción.
- Putzer, H. (1962). *Die geologie von Paraguay. Beitr. Reg. Geol. Erde* **2**, 1-182.
- Richard, L.L. (1995). MINPET Geological Software mineralogical and petrological data processing system.
- Rock, N.M.S. (1982) Chemical mineralogy of the Monchique alkaline complex, southern Portugal. *Contrib. Mineral. Petrol.* **81**, 64-68.
- Sun, S.S. & McDonough, W.F. (1989). Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A.D. & Norry, M.J. (eds.) *Magmatism in ocean basins. Geol. Soc. London, Spec. Pub.* **42**, 313-345.
- U.S. Geological Survey (2003). *The national map seamless data distribution system* (<http://www.seamless.usgs.gov>).
- Velázquez, V.F., Gomes, C.B., Orué, D. & Comin-Chiaramonti, P. (1996). Magmatismo alcalino do Paraguai Oriental: uma revisão e atualização das províncias. *Bol. IG-USP, Série Científica* **27**, 61-79.
- Velázquez, V.F., Gomes, C.B., Riccomini, C., Comin-Chiaramonti, P., Brumatti, M., Vasconcelos, P.M. & Tassinari, C.C.G. (2003). Características isotópicas e idades $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ para as rochas alcalinas da Província Misiones, Paraguai Meridional. *VII Congr. Geol. PLOP, Maputo, Moçambique, Resumos*, p. 39.
- Velázquez, V.F., Riccomini, C., Gomes, C.B. & Brumatti, M. (2002). Magmatismo alcalino da Província Misiones, Paraguai sul-oriental: aspectos geoquímicos e tectônicos. *XLI Congr. Bras. Geol., João Pessoa*, p. 456.
- Velázquez, V.F., Riccomini, C., Gomes, C.B., Figueredo, L. & Figueredo, C. (1998). Relações tectônicas do magmatismo alcalino do Paraguai Oriental. *Rev. IG São Paulo* **19**, 43-49.

ANEXOS

Anexo I – Figuras



Legenda

01. Coberturas sedimentares quaternárias
02. Rochas alcalinas cenozoicas
03. Depósitos cenozoicos da Formação Patiño
04. Rochas alcalinas cretáceas
05. Depósitos sedimentares neocretáceos da Formação Acaray
06. Derrames toleíticos eocretáceos da Formação Alto Paraná
07. Arenitos eocretáceos da Formação Misiones
08. Rochas alcalinas permo-triássicas
09. Unidades sedimentares permianas do Grupo Independência
10. Unidades sedimentares permo-carboníferas do Grupo Coronel Oviedo
11. Unidades sedimentares ordovicianas-silurianas dos Grupos Caacupé e Itacurubi
12. Rochas carbonáticas neoproterozóicas do Grupo Itapucumi
13. Embasamento arqueano a neoproterozóico
14. Falhas principais, tracejadas quando inferidas

PROVÍNCIAS ALCALINAS

- AP - Alto Paraguai
 RA - Rio Apa
 AM - Amambay
 AS - Assunção (Rift de Assunção, Terciário)
 CE - Central (Rift de Assunção, Cretáceo)
 MI - Misiones (Graben de Santa Rosa, Cretáceo)

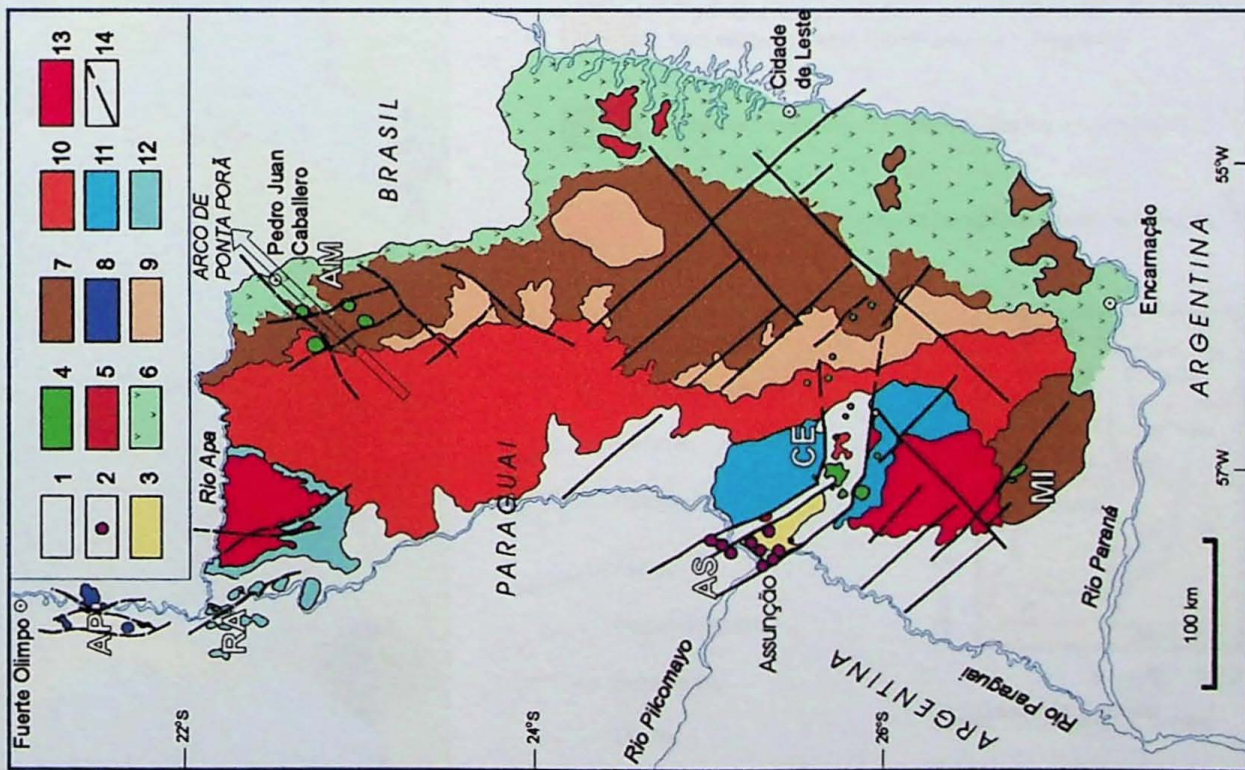
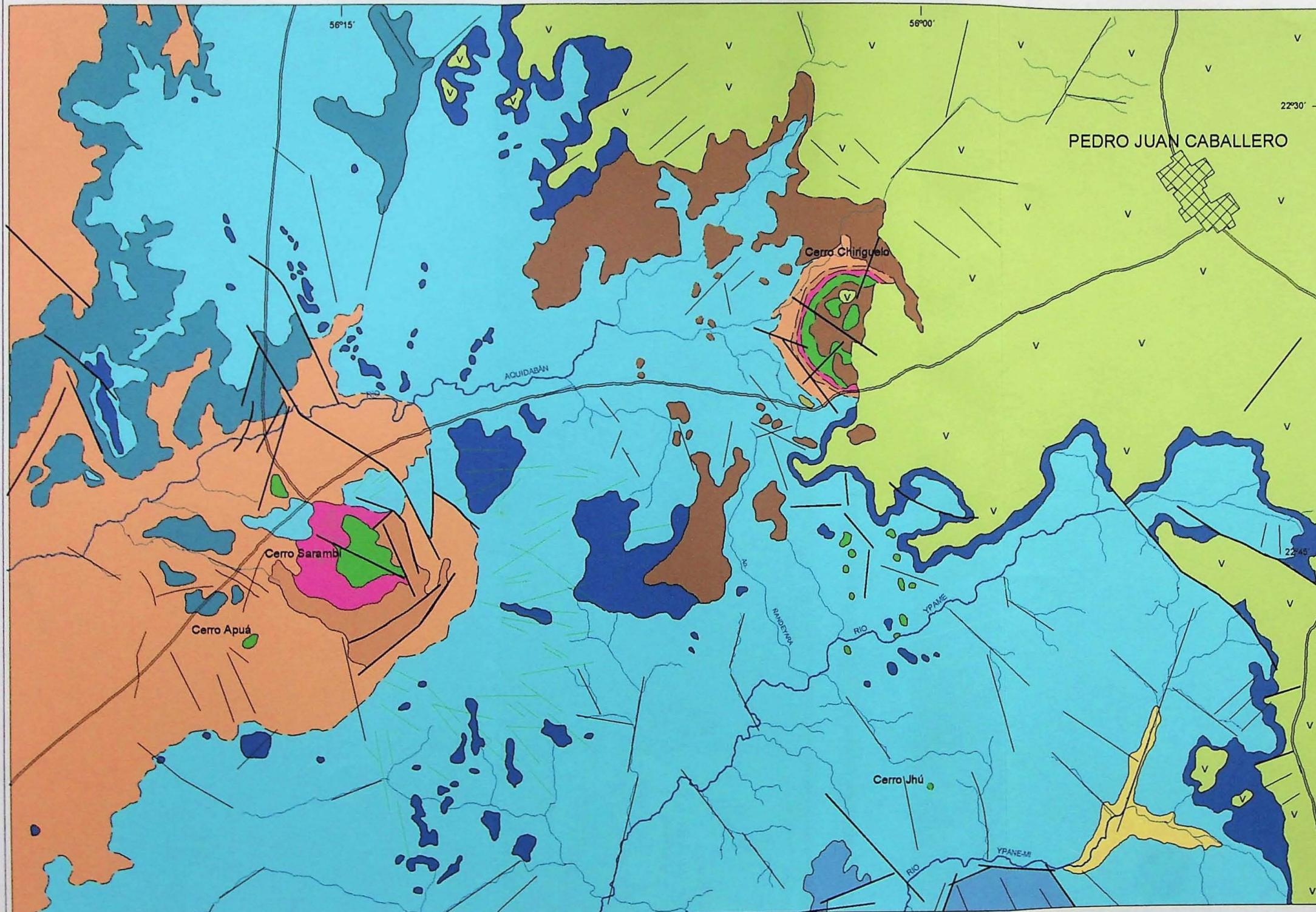


Figura 1. Mapa geológico simplificado do Paraguai Oriental, mostrando as ocorrências alcalinas associadas (extratido de Velázquez *et al.*, 1998).

MAPA GEOLÓGICO DO NORDESTE DO PARAGUAI ORIENTAL



LEGENDA

- Areia, silte argila inconsolidadas.
- Basaltos (localmente amigdaloidal ou vesicular), com lentes de areia silicificada na porção inferior.
- Complexos alcalinos intrusivos com grande diversidade litológica (nefelina sienito, sienito, traquito, fenito, carbonatito, fonolito, etc).
- Conglomerados, fanglomerados, brechas e arenitos silicificados, ocorrendo alguns derrames basálticos.
- Arenitos maciços silicificados, localmente com estratificação cruzada, ocorrendo derrames basálticos na porção inferior.
- Arenitos fráveis a maciços, por vezes laminados, apresentando estratificação cruzada (eólico, localmente fluvial).
- Arenitos, siltos e folhelhos intercamados.
- Arenitos fráveis, densamente acamados a maciços; localmente eldspáticos, com estratificação cruzada e intercalações de diamictitos.
- Diamictitos maciços até bem acamados, diamictitos pouco fráveis com seixos e arenitos fráveis (glacial e fluvio-glacial).
- Arenitos fráveis, arenitos conglomeráticos e conglomerados.
- Metamórficas indiferenciáveis (complexos Sarambi e Chiriguelo).

- Drenagens principais
- Estradas
- Cidades
- Falhas
- Contatos inferidos
- Lineamentos
- Diques



Fonte: The Anschutz Corporation, 1980

FIGURA 2

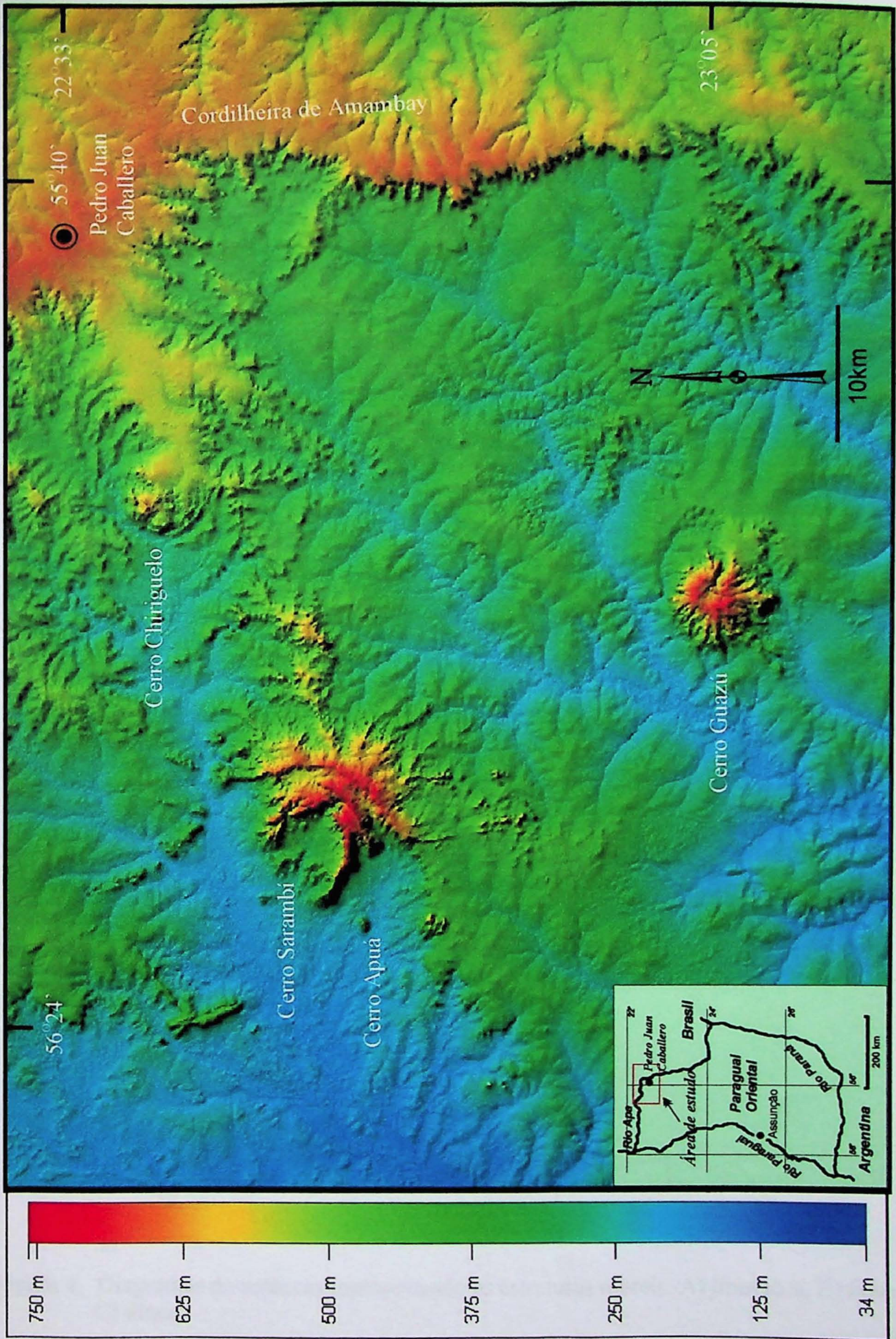


Figura 3. Mapa do modelo digital do terreno obtido para a área de estudo.

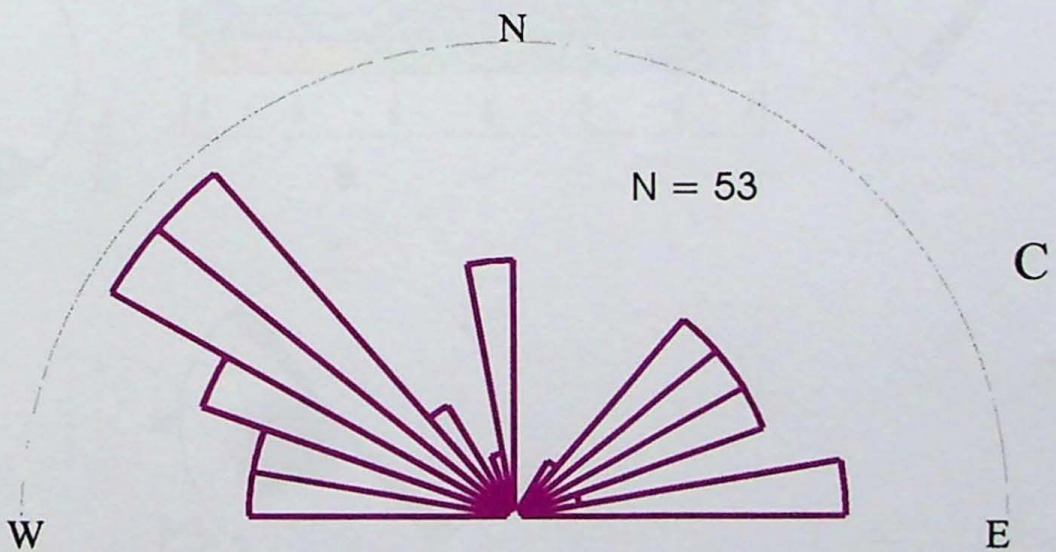
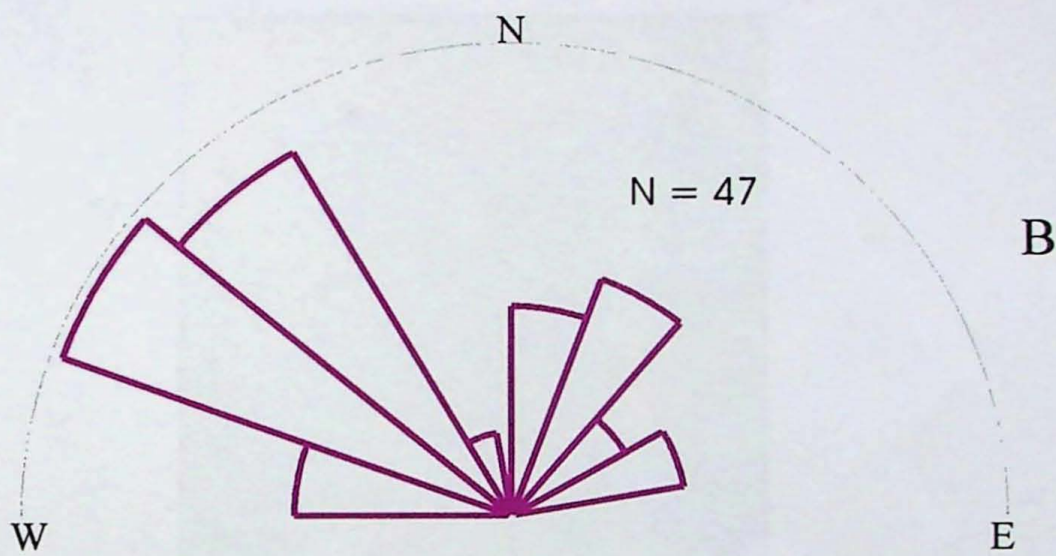
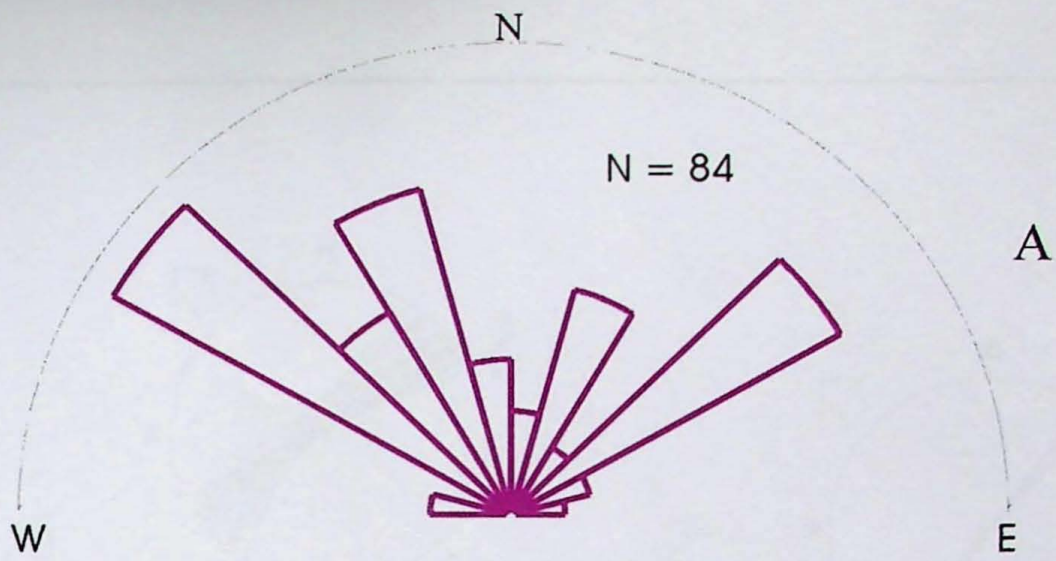


Figura 4. Diagramas de rosáceas representando as estruturas rúpteis: A) lineações, B) falhas e C) diques.

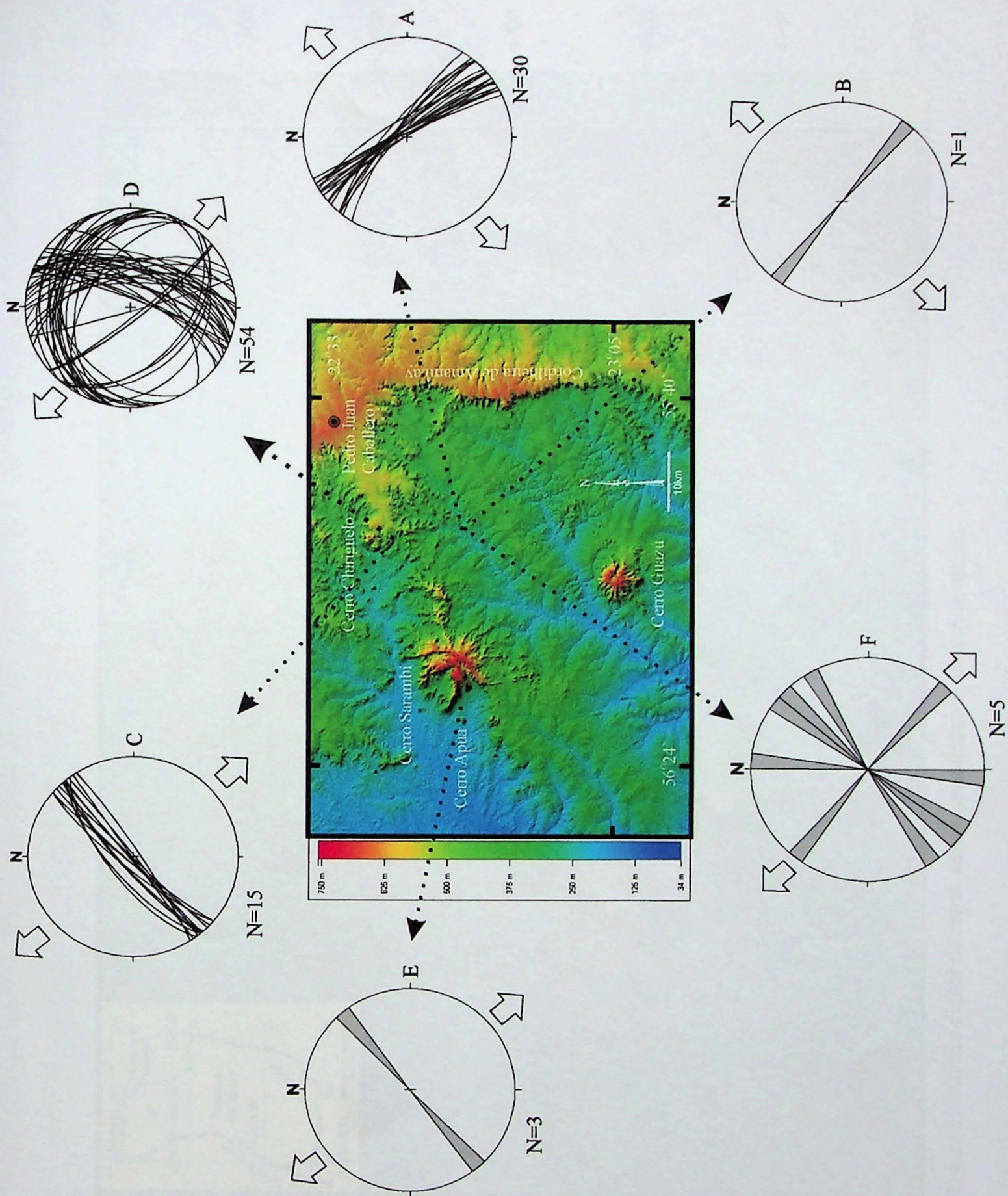


Figura 5. Os distintos diagramas representam os padrões de orientação de fraturas e diques que ocorrem na área de estudo. As setas indicam a posição do eixo de tensão σ_3 .

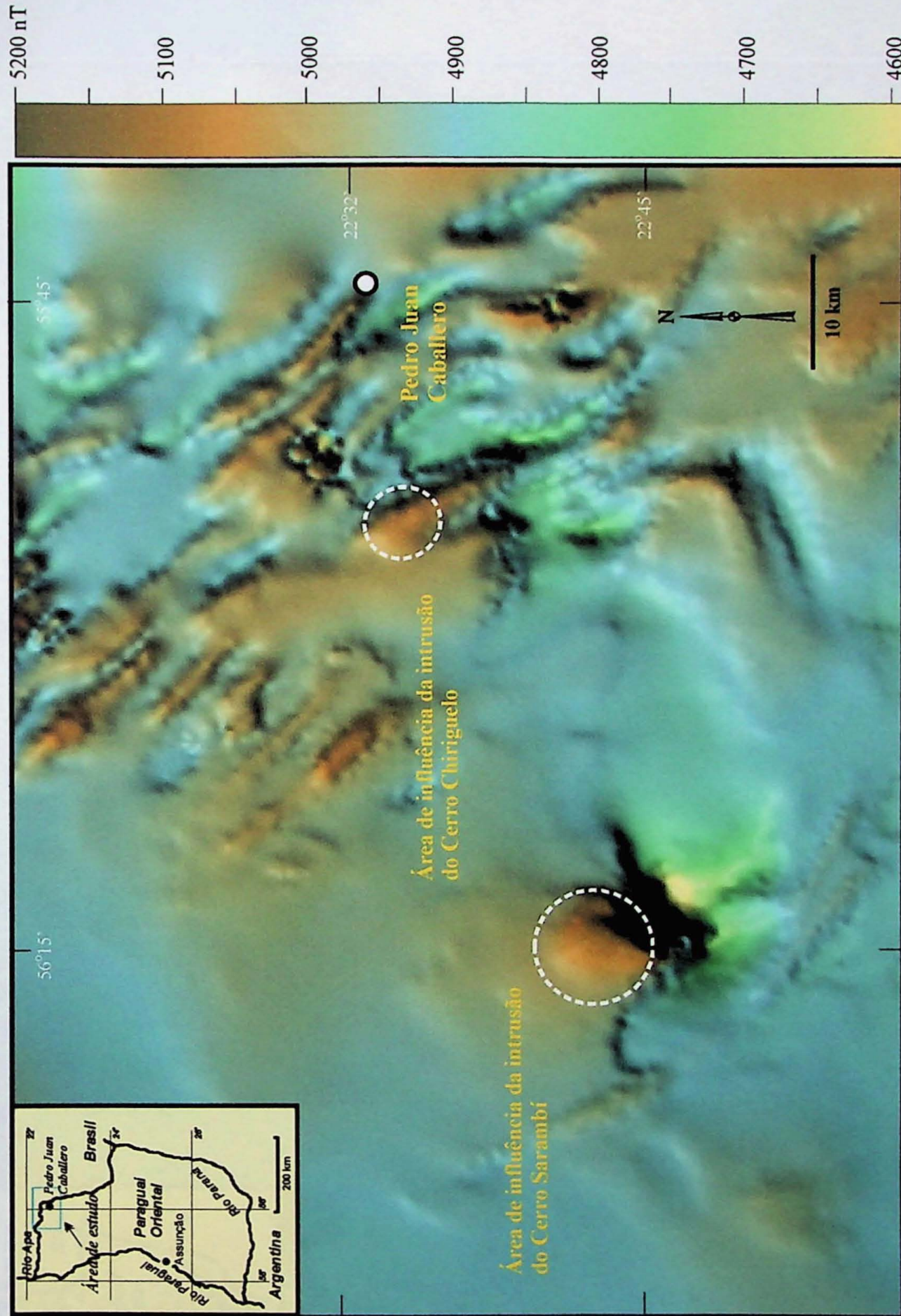


Figura 6. Modelo digital do mapa aeromagnetométrico da área de estudo.

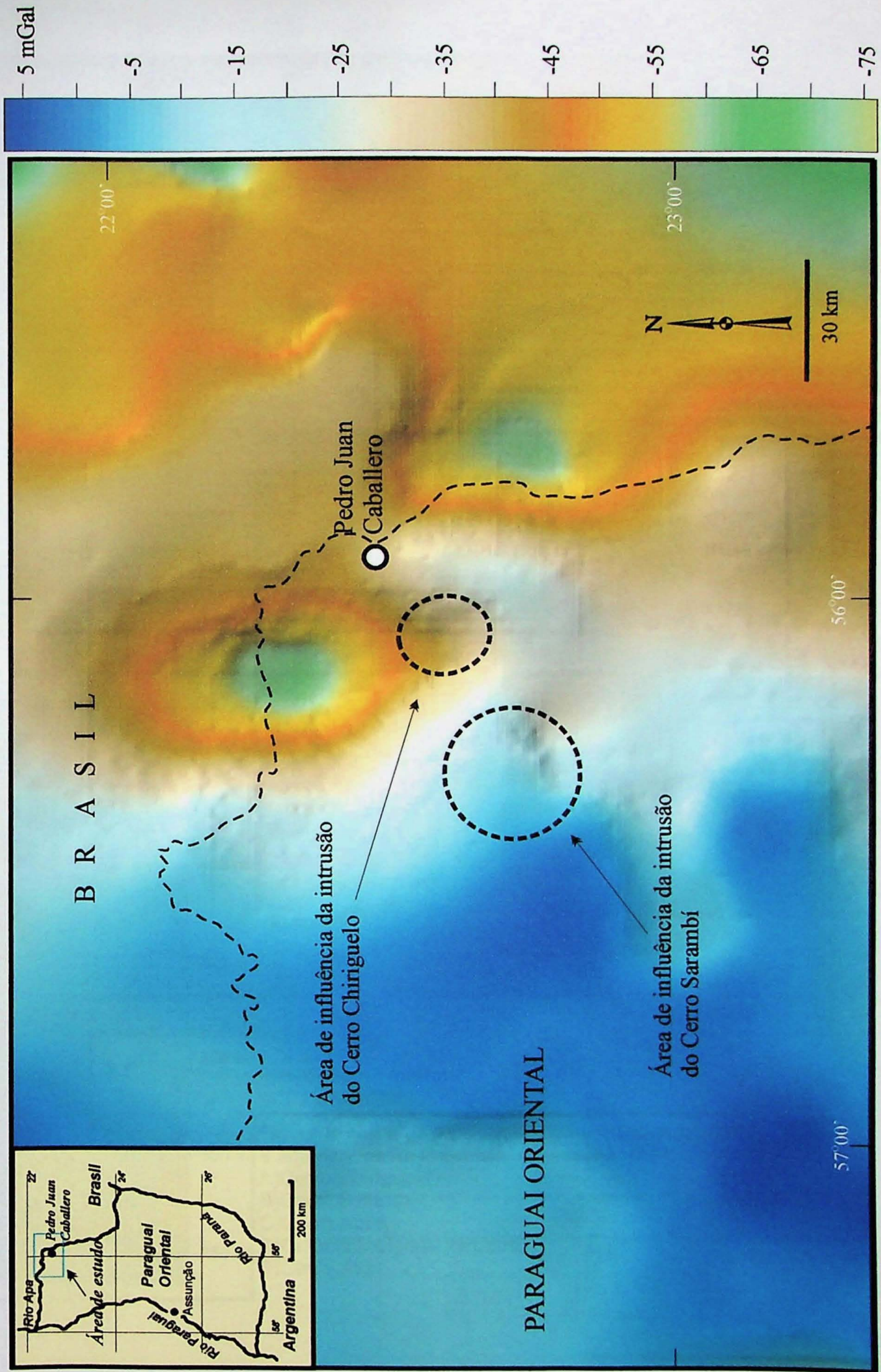


Figura 7. Modelo digital do mapa de anomalia Bouguer da área de estudo.

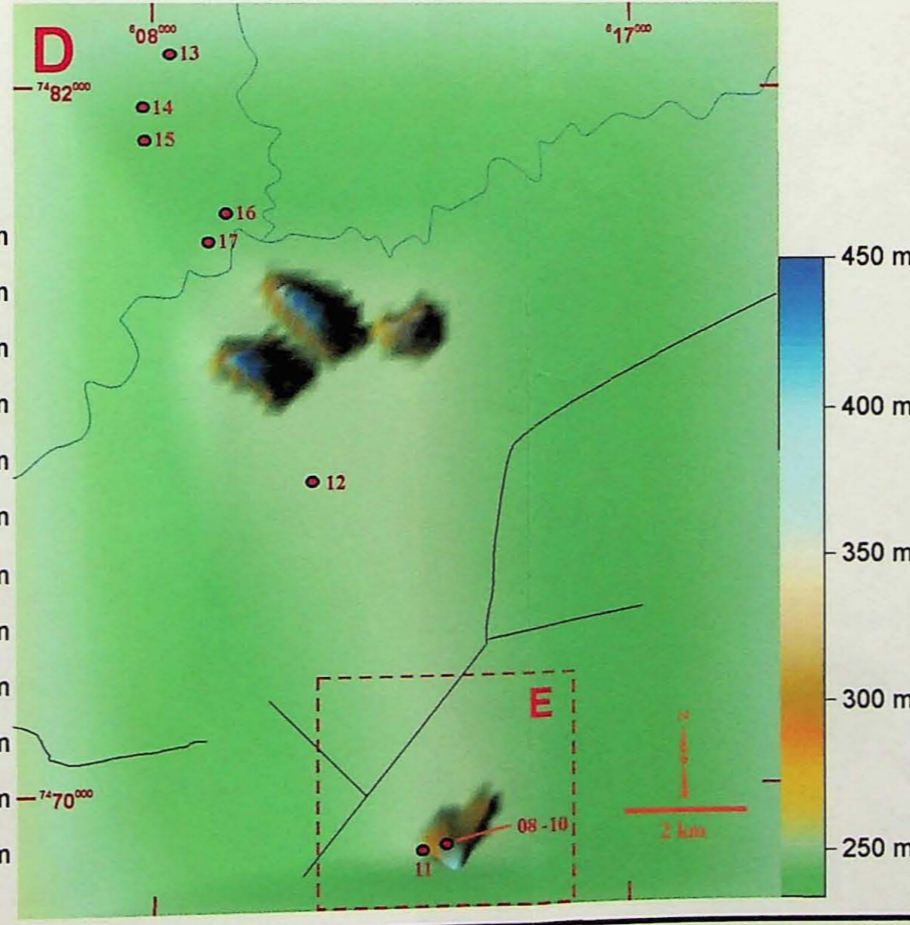
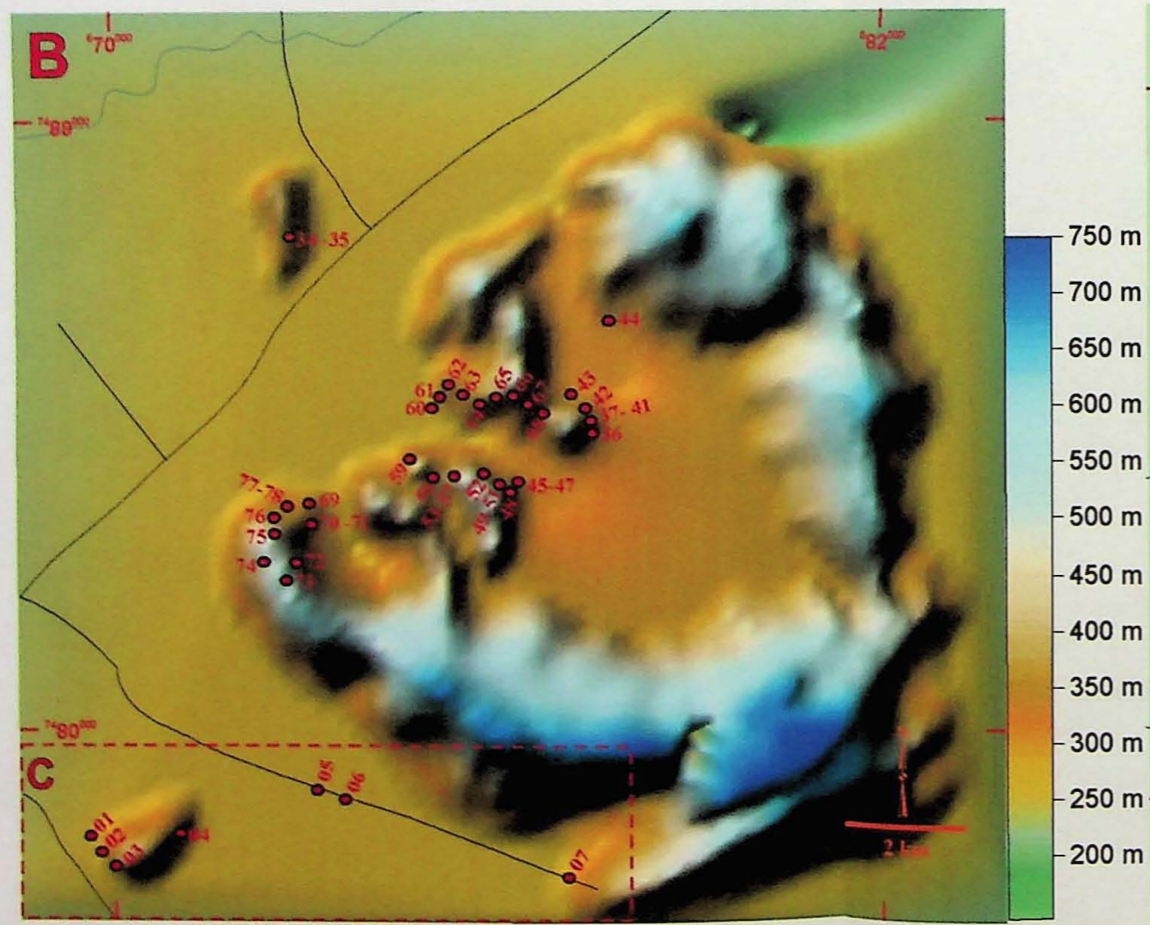
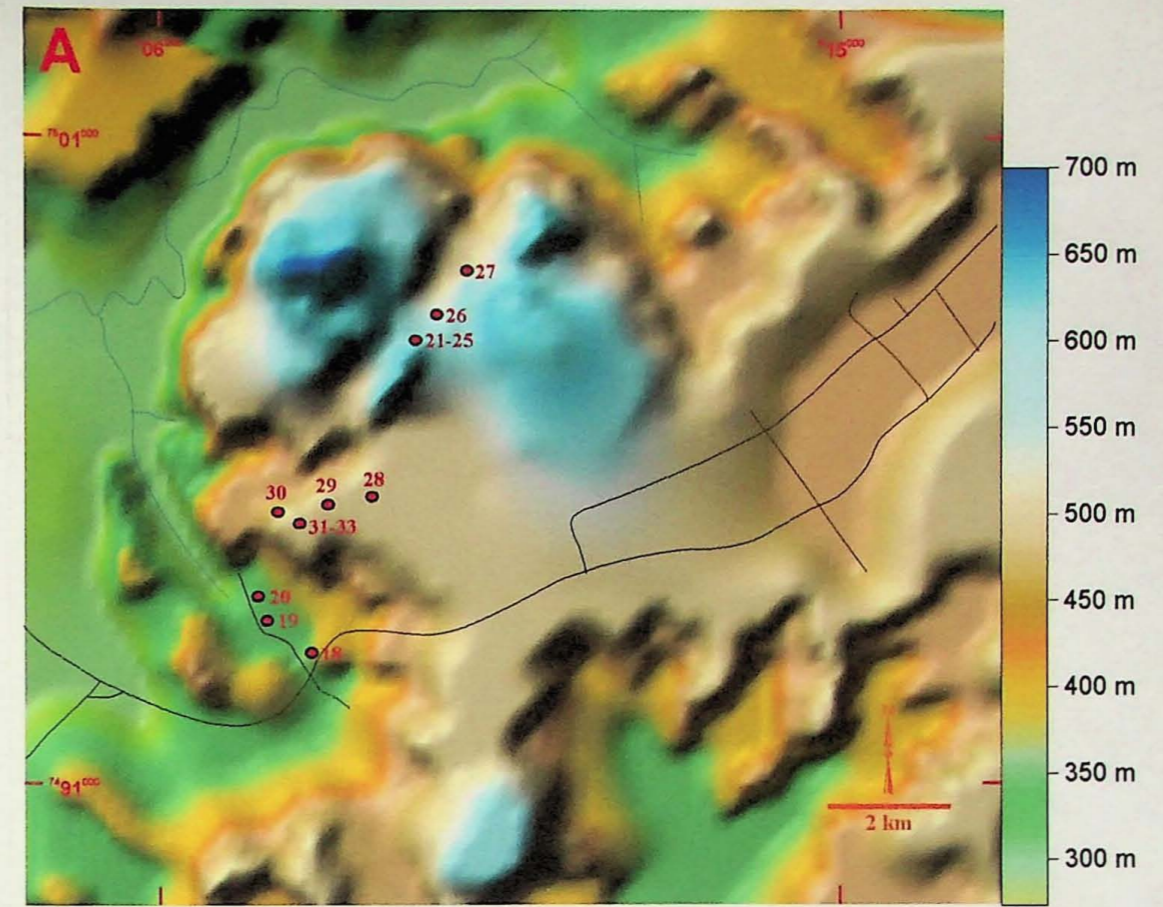
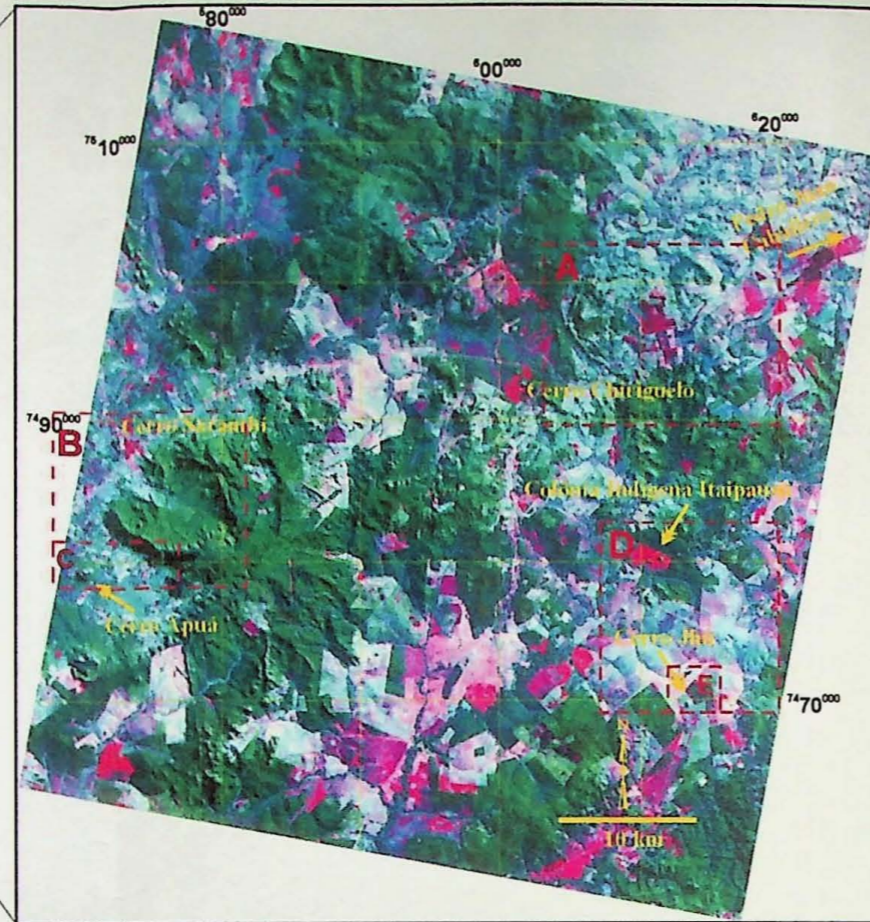
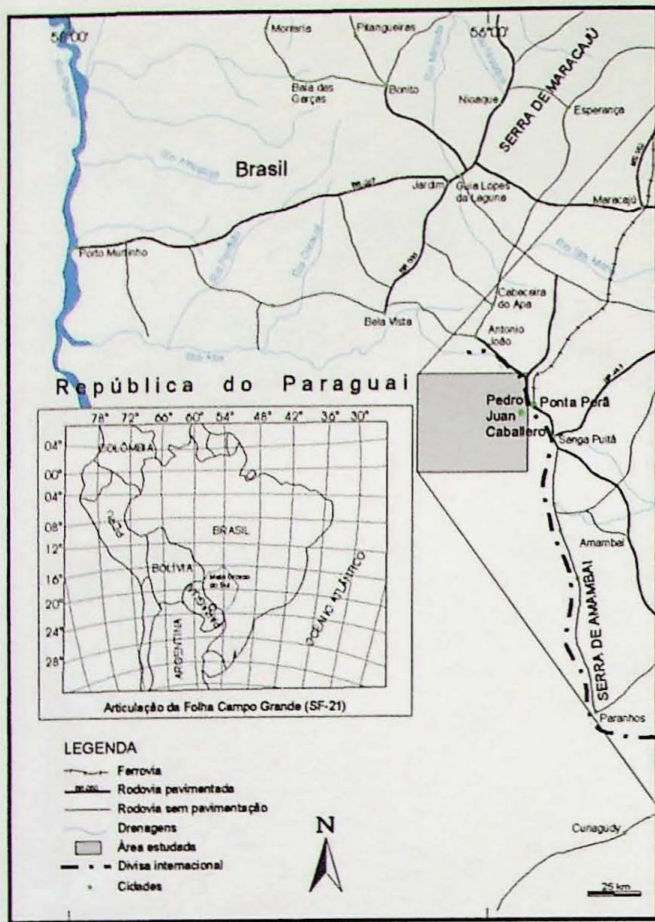
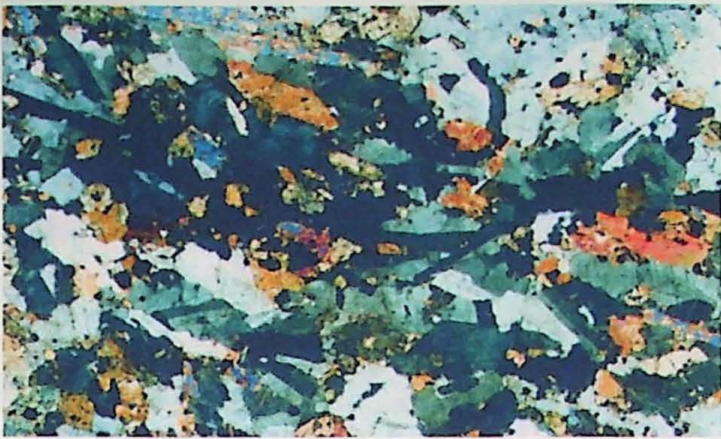
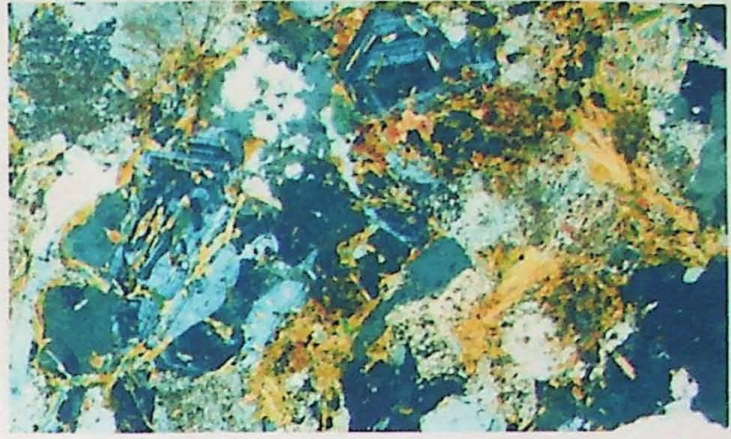


Figura 8. Mapa de localização dos pontos percorridos e amostrados na Província Amambay:
 A) Cerro Chiriguelo
 B) Cerro Sarambí
 C) Cerro Apuá
 D) Colônia Indígena Itaipausú
 E) Cerro Jhú

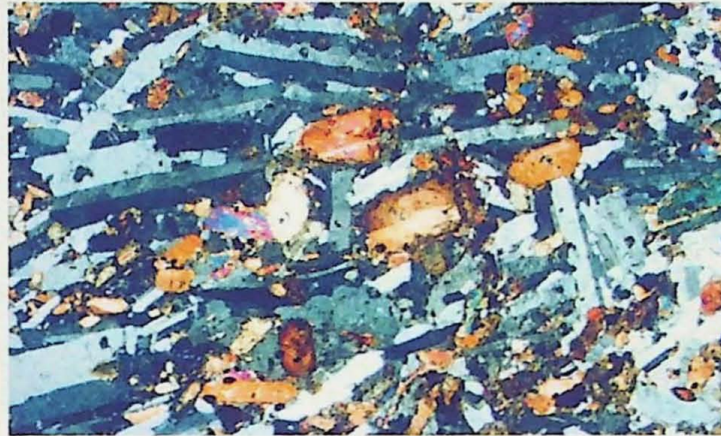
A



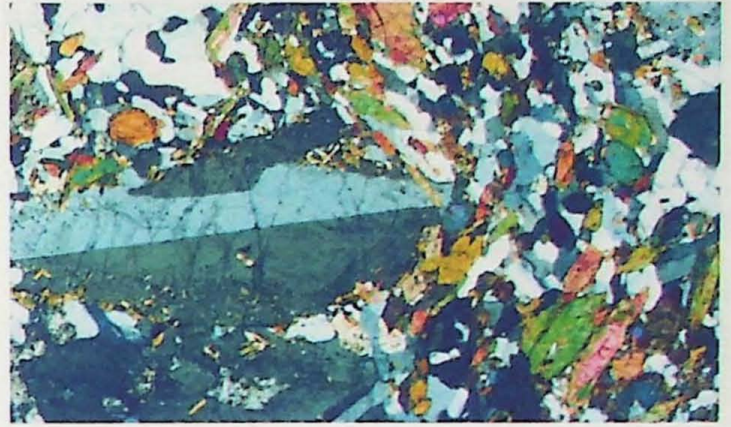
E



B



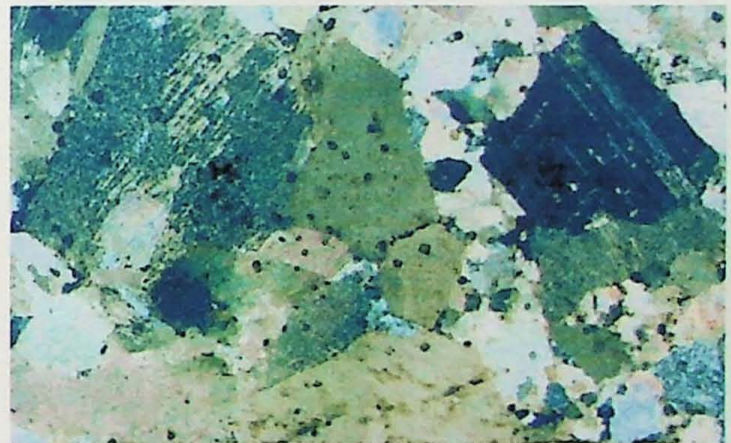
F



C



G



D

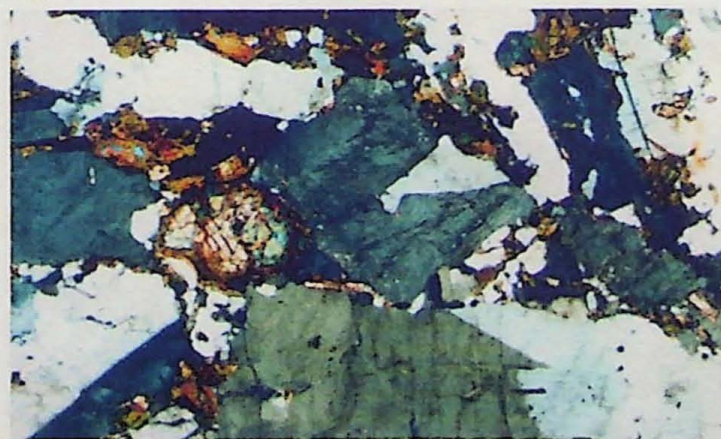


Figura 9. Fotomicrografias das rochas intrusivas da Província Amambay. A, Sienodiorito; B, Mela-sienito; C, Sienito; D, Nefelina sienito; E e F, Fenitos; G, Carbonatito. As principais fases mineralógicas dessas rochas, excetuando o carbonatito, são feldspato alcalino e piroxênio. Texturalmente, as rochas sieníticas variam desde hipidiomórfica a xenomórfica granular. Já os fenitos são caracterizados por uma textura heteroblástica granular. O carbonatito é tipicamente xenomórfico granular, com desenvolvimento de finas lamelas de exsolução nos cristais de carbonato. Nicóis cruzados, filtro azul, 25X.

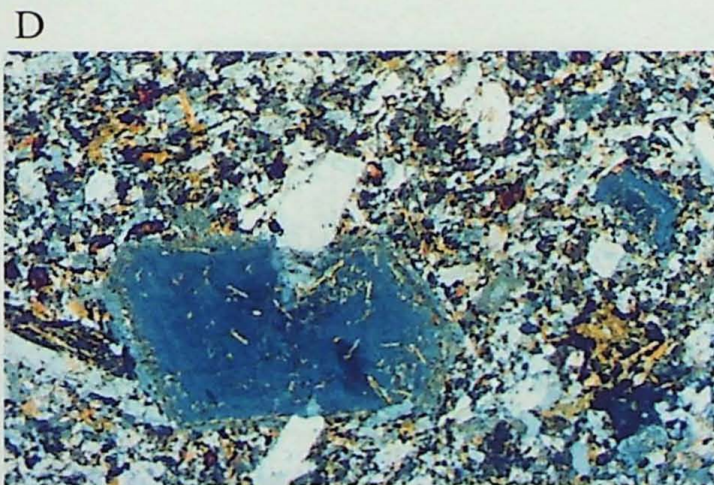
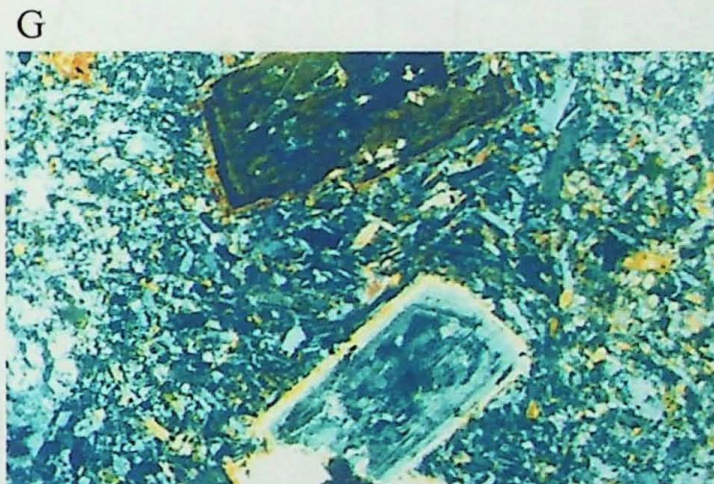
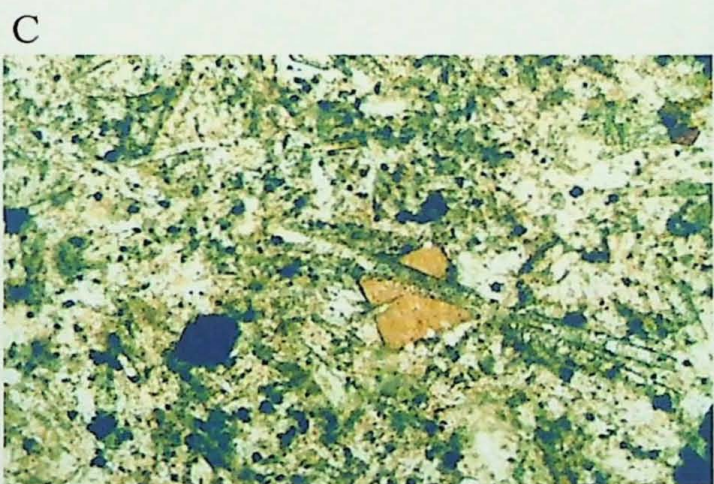
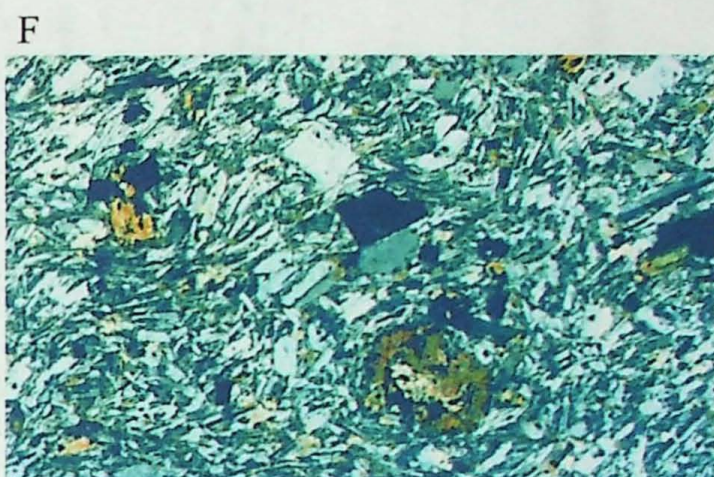
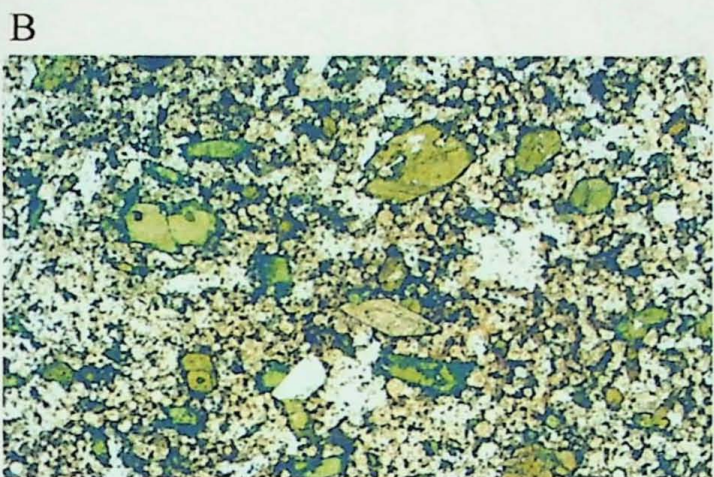
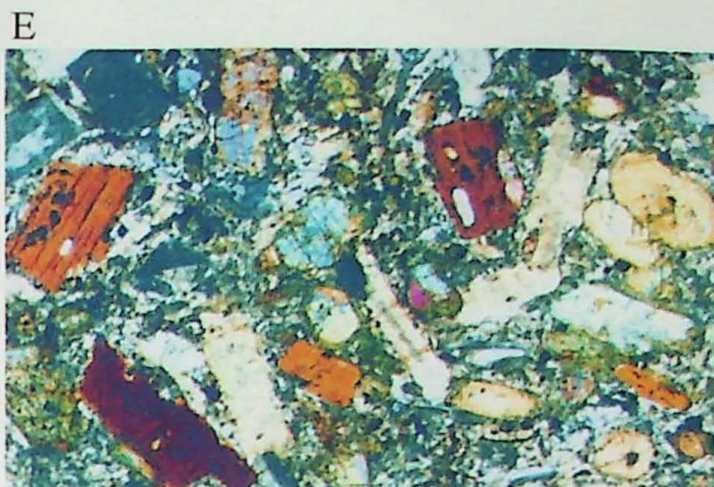


Figura 10. Fotomicrografias das rochas extrusivas da Província Amambay. A, Lamprófiro; B, Analcimito; C, Fonotefrito; D, Tefrifonolito; E, Traquifonolito; F, Traquito e G, Fonolito. Uma particularidade comum a essas rochas é a presença dominante de feldspato alcalino e piroxênio. Não obstante, nota-se um aumento significativo de biotita e analcima, respectivamente, na composição do lamprófiro e analcimito. Invariavelmente, todas possuem textura porfírica com matriz holocristalina. Nicóis cruzados (exceto a B e C), filtro azul, 25X.

LEGENDA

+	Sienodiorito
▽	Mela-sienito
△	Sienito
○	Nefelina sienito
▽	Fenito
◇	Tefrito (minette)
▽	Fonolito (Analcima fonolito)
○	Fonotefrito
□	Tefrifonolito
□	Traquifonolito
◇	Traquito
□	Fonolito

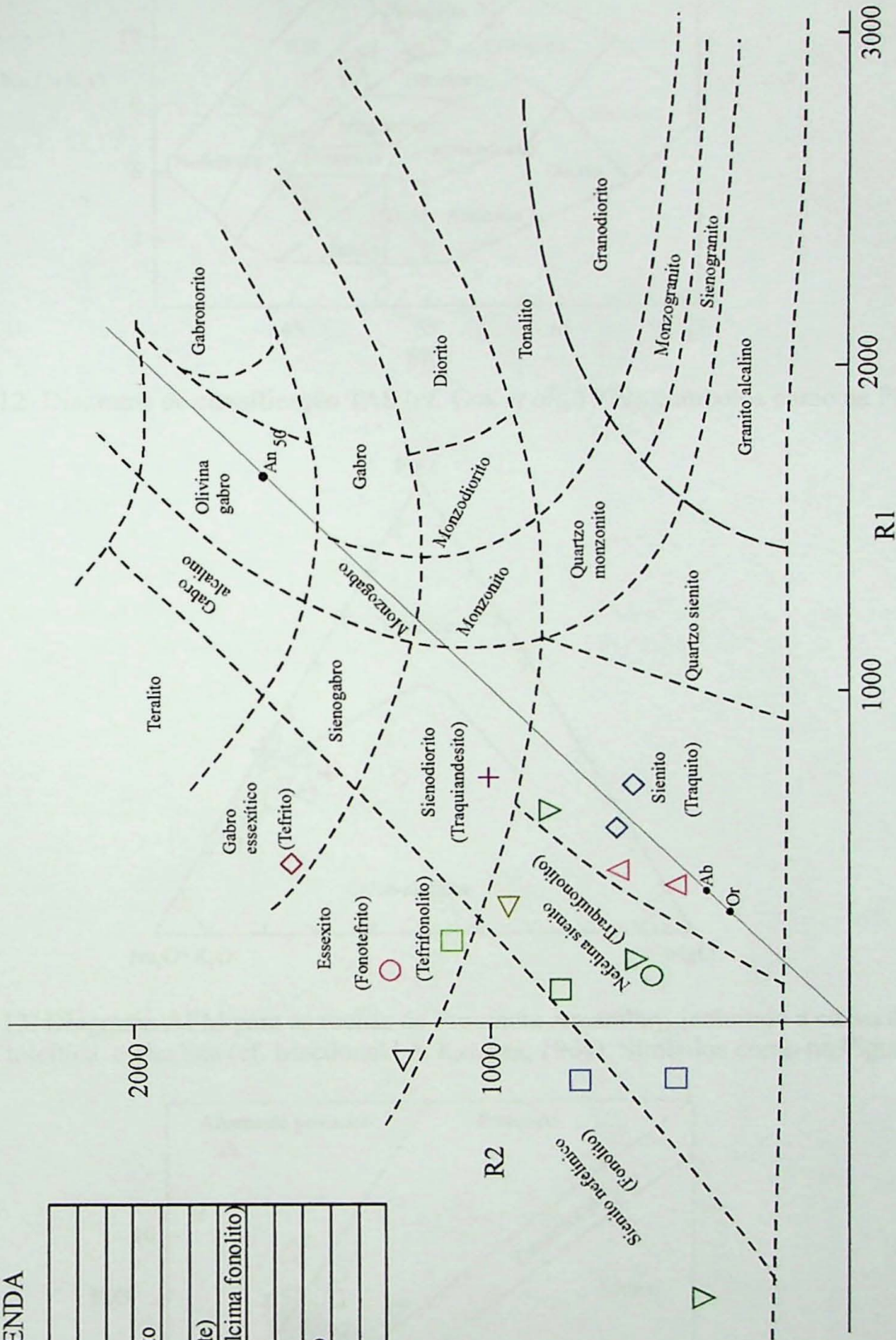


Figura 11. Diagrama de classificação R1-R2 (cf. De La Roche, 1986) para as rochas alcalinas da Província Amambay.

$$R1 = 4Si - 11(Na + K) - 2(Fe + Ti); R2 = 6Ca + 2Mg + Al.$$

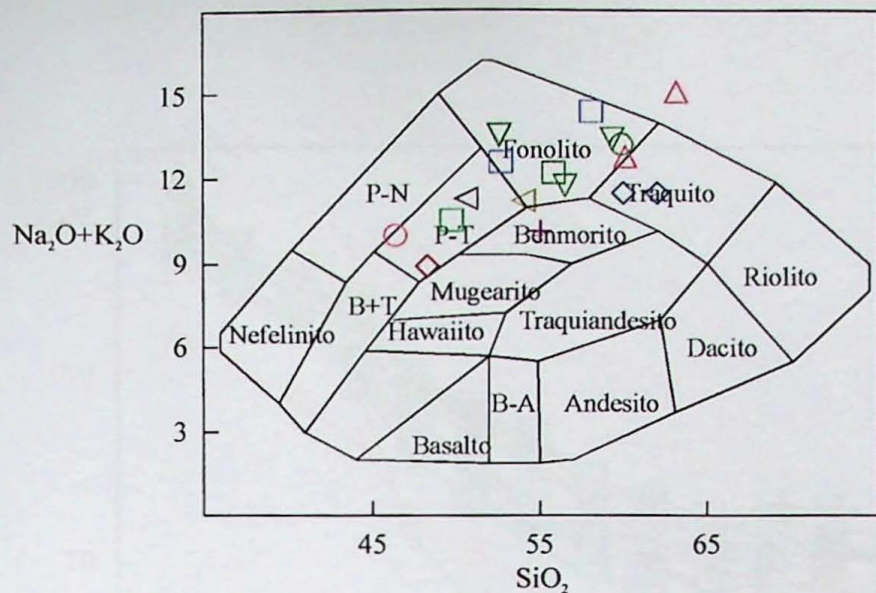


Figura 12. Diagrama de classificação TAS (cf. Cox *et al.*, 1979). Símbolos como na Figura 11.

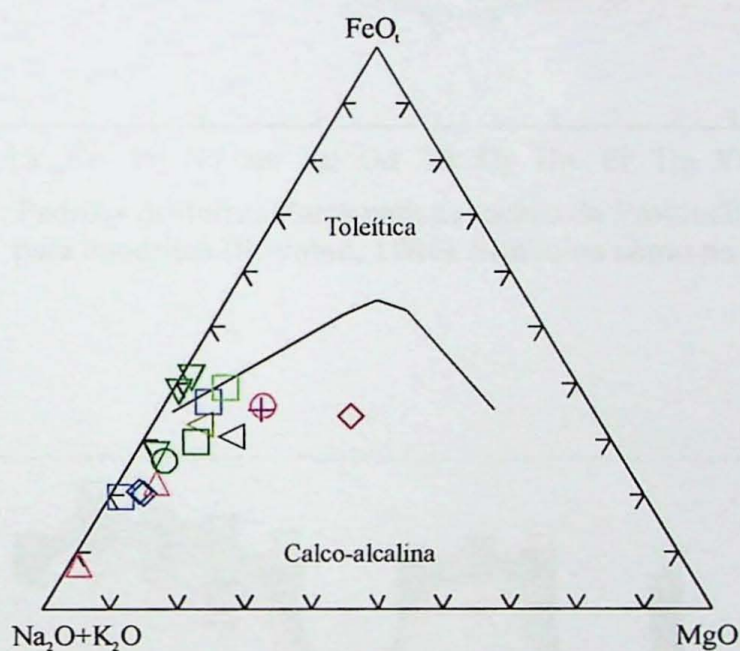


Figura 13. Diagrama AFM para as rochas da Província Amambay, incluindo a curva de separação das séries toleítica e alcalina (cf. Macdonald & Katsura, 1964). Símbolos como na Figura 11.

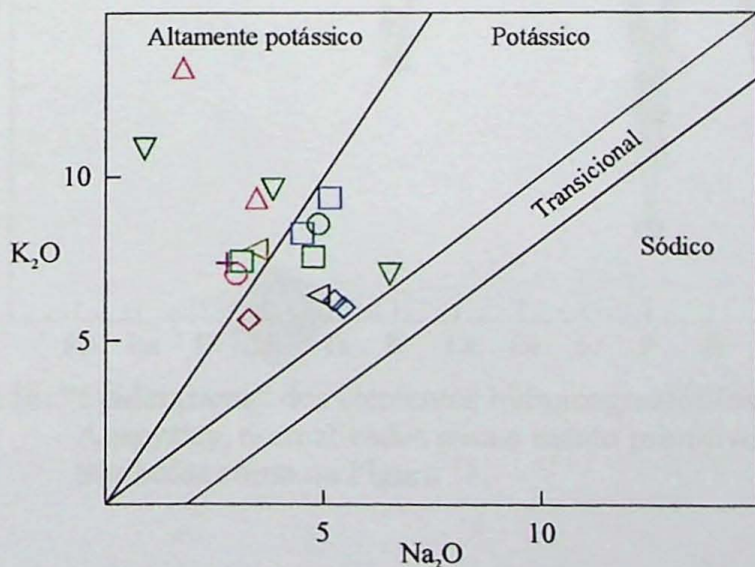


Figura 14. Diagrama de alcalinidade Na_2O vs. K_2O (cf. Comin-Chiaramonti *et al.*, 1996). Símbolos como na Figura 11.

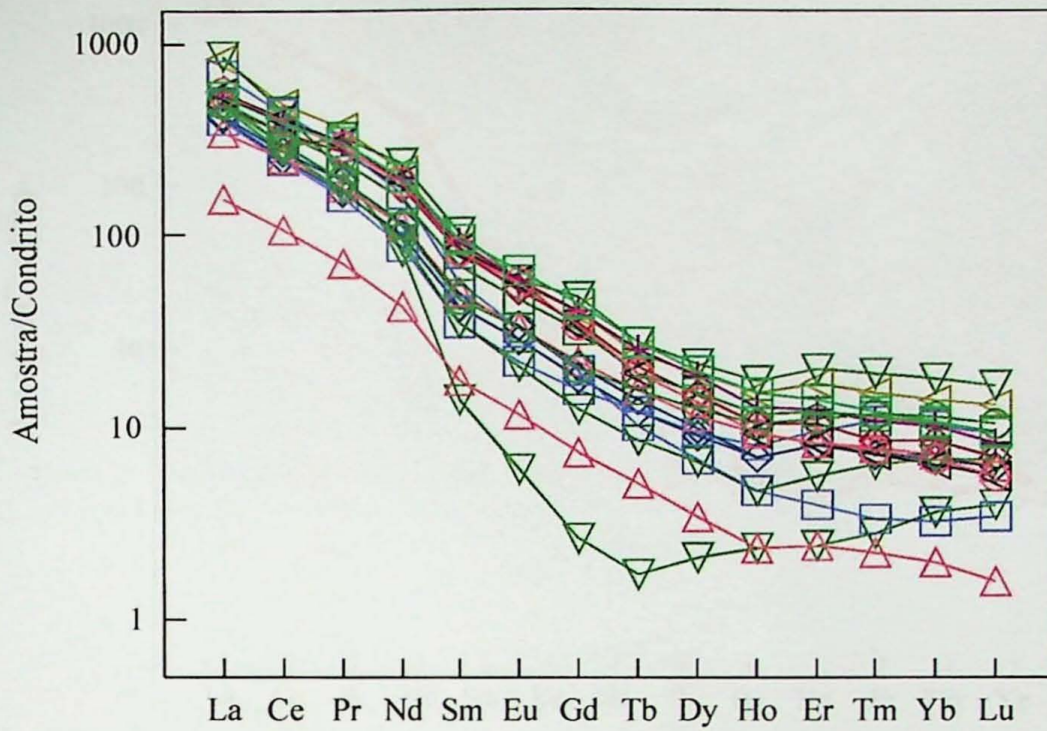


Figura 15. Padrões de Terras Raras para as rochas da Província Amambay, normalizados para condritos (Boynton, 1984). Símbolos como na Figura 11.

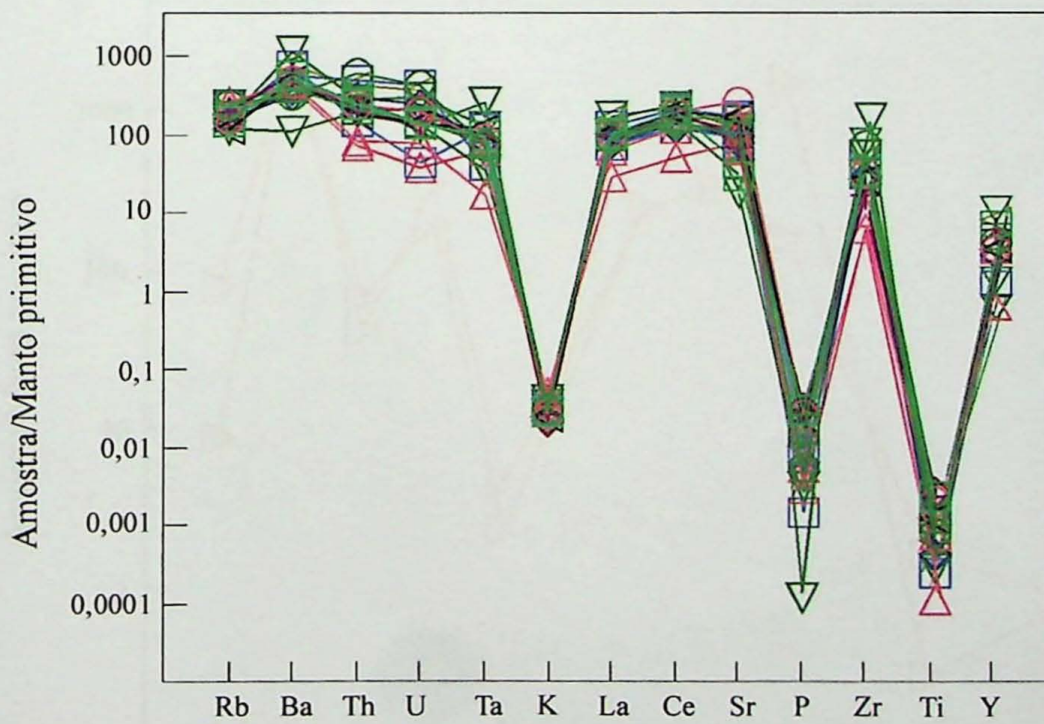


Figura 16. "Spidergrams" dos elementos hidromagmatófilos para as rochas da Província Amambay, normalizados para o manto primitivo (Sun & McDonough, 1989). Símbolos como na Figura 11.

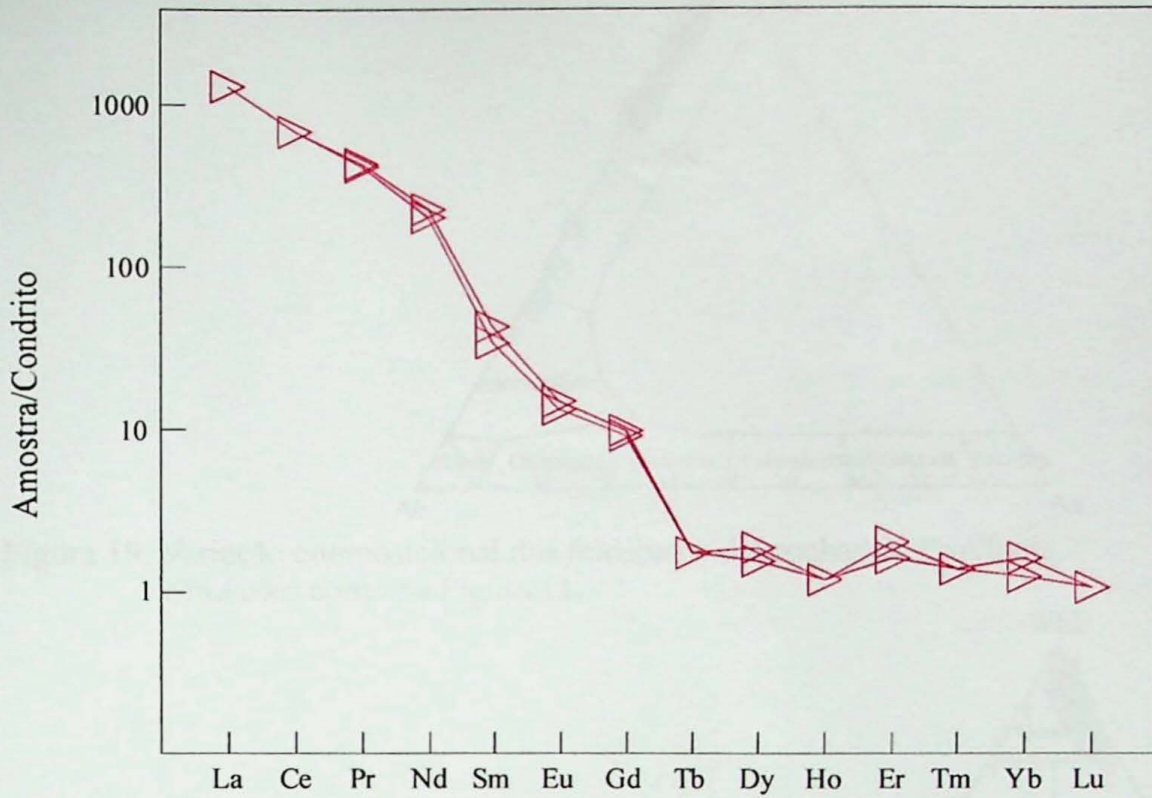


Figura 17. Padrões de Terras Raras para as rochas carbonatíticas do Cerro Chiriguelo, normalizados para condritos (Boynton, 1984).

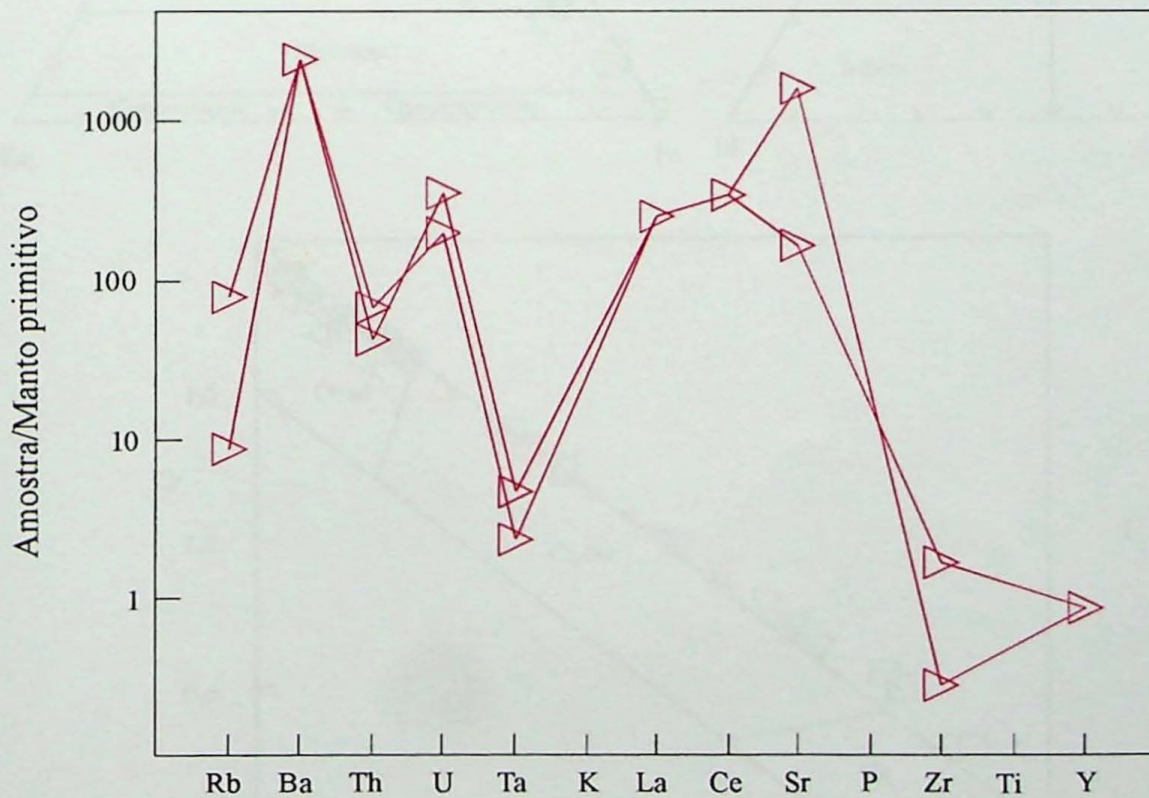


Figura 18. "Spidergrams" dos elementos hidromagmatófilos para os carbonatitos do Cerro Chiriguelo, normalizados para o manto primitivo (Sun & McDonough, 1989).

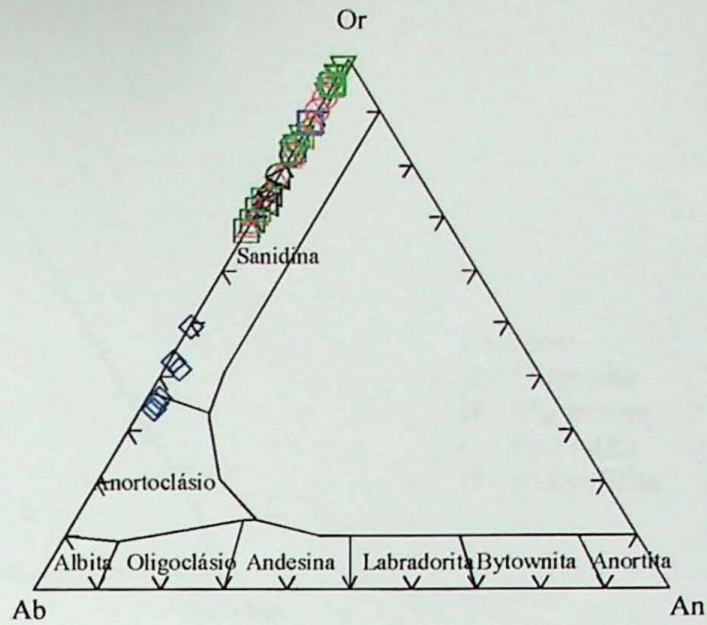


Figura 19. Variação composicional dos feldspatos das rochas da Província. Símbolos como na Figura 11.

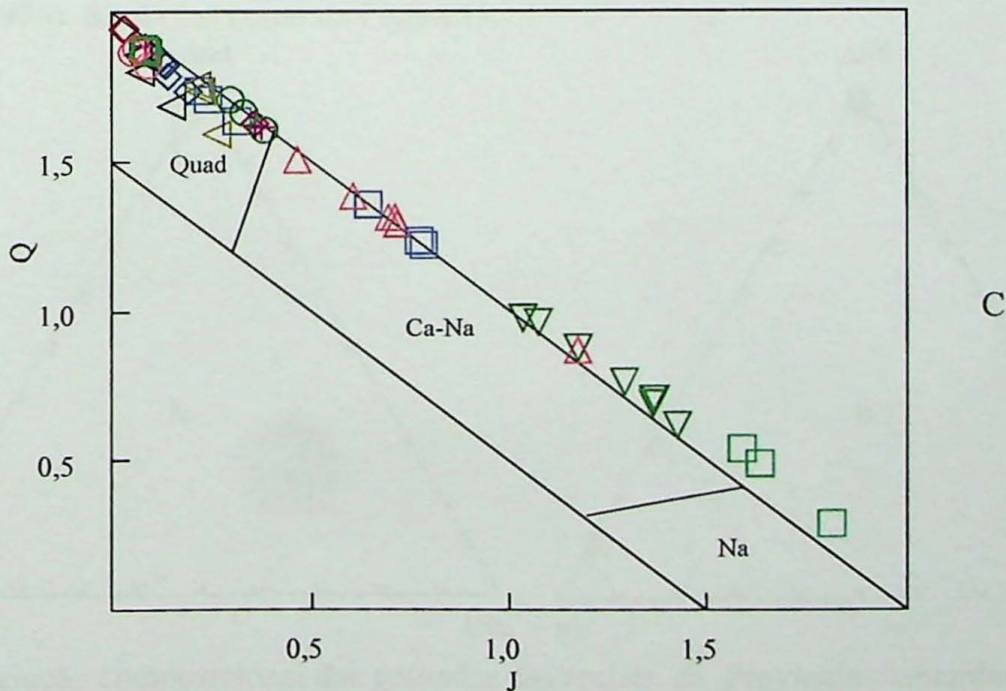
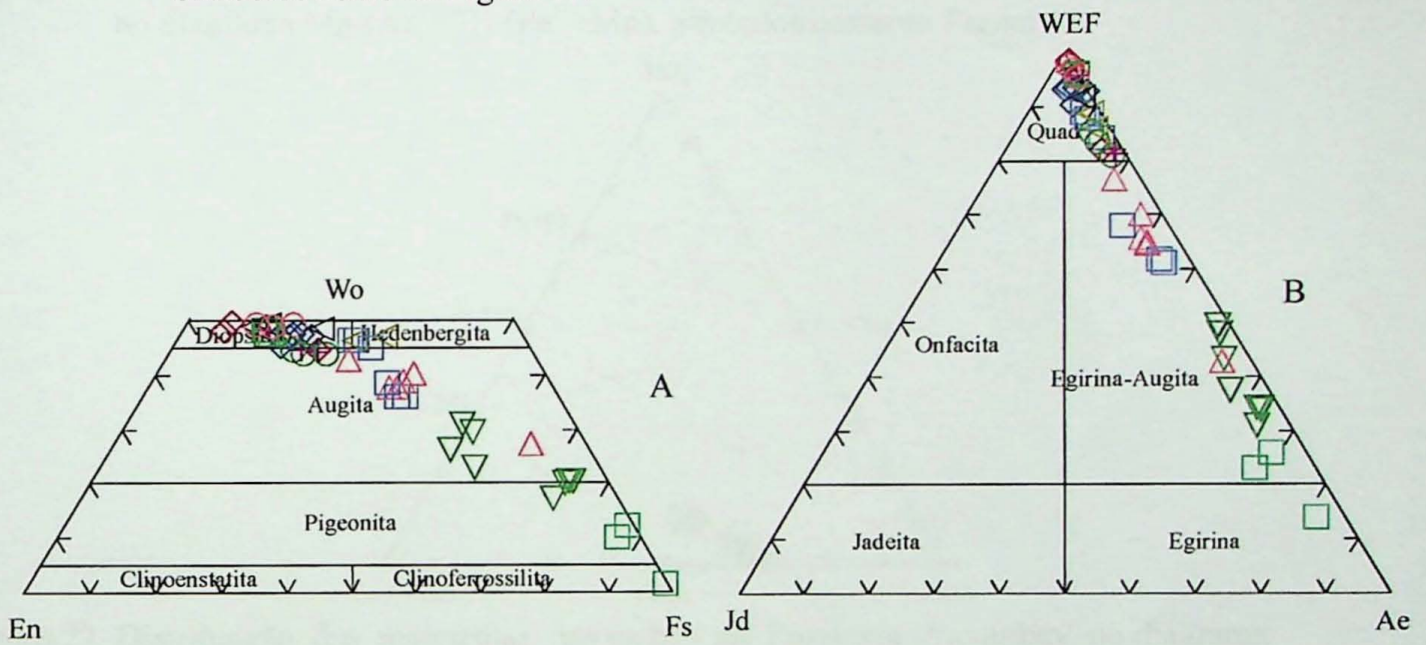


Figura 20 (A, B e C). Composição dos piroxênios das rochas da Província Amambay nos diagramas de classificação do IMA (Morimoto, 1989). Símbolos como na Figura 11.

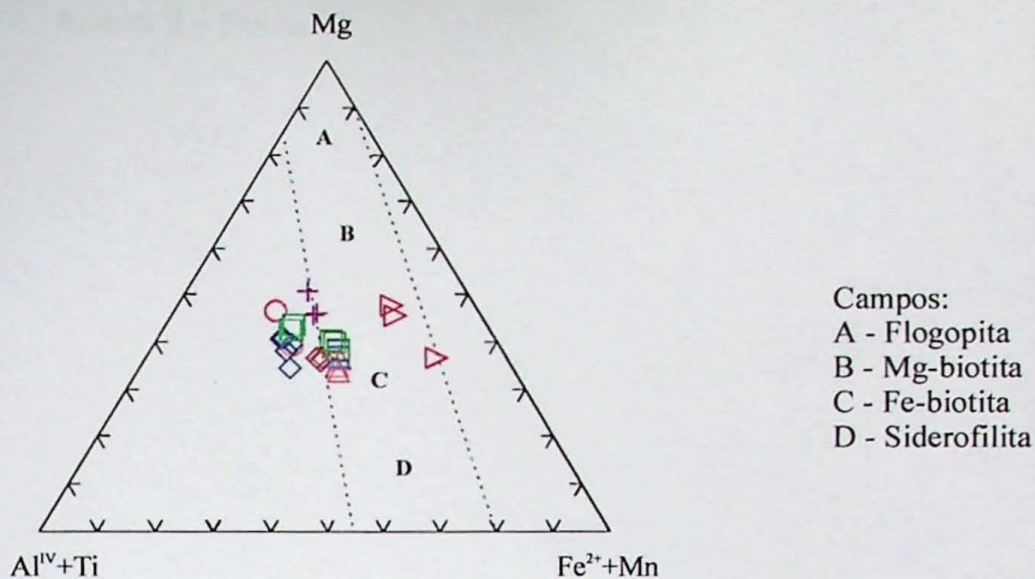


Figura 21. Classificação das micas (cf. De Min, 1993) das rochas da Província Amambay no diagrama Mg-(Al^{IV}+Ti)-(Fe²⁺+Mn). Símbolos como na Figura 11.

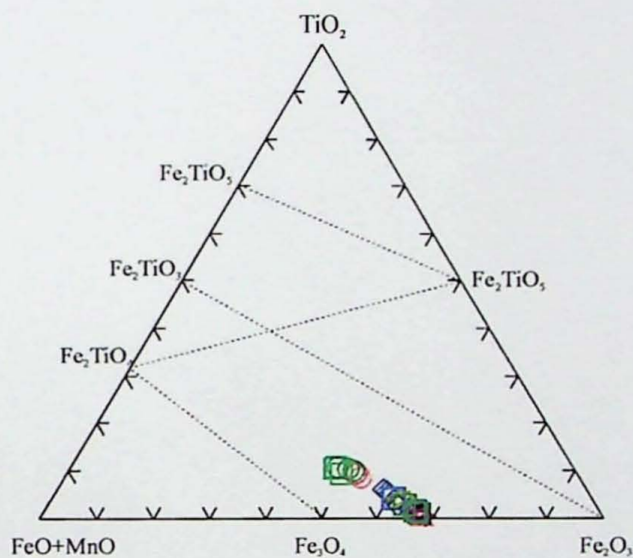


Figura 22. Distribuição das magnetitas das rochas da Província Amambay no diagrama FeO-TiO₂-Fe₂O₃ de Buddington & Lindsley (1964), modificado por Haggerty (1976). Símbolos como na Figura 11.

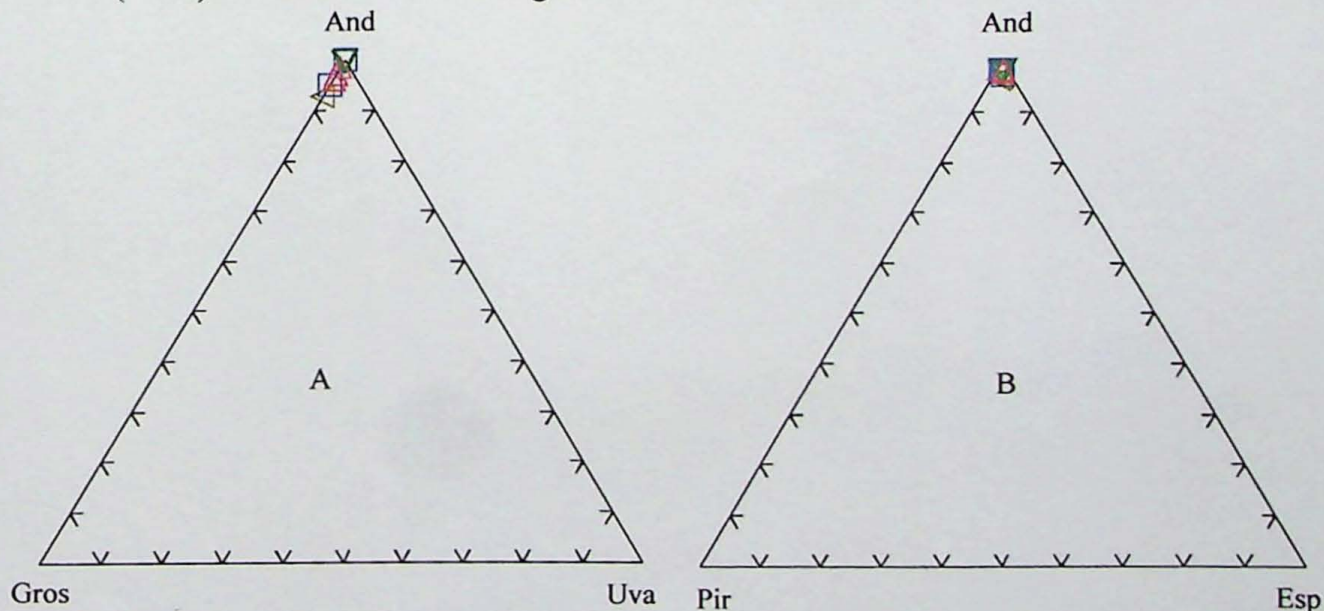
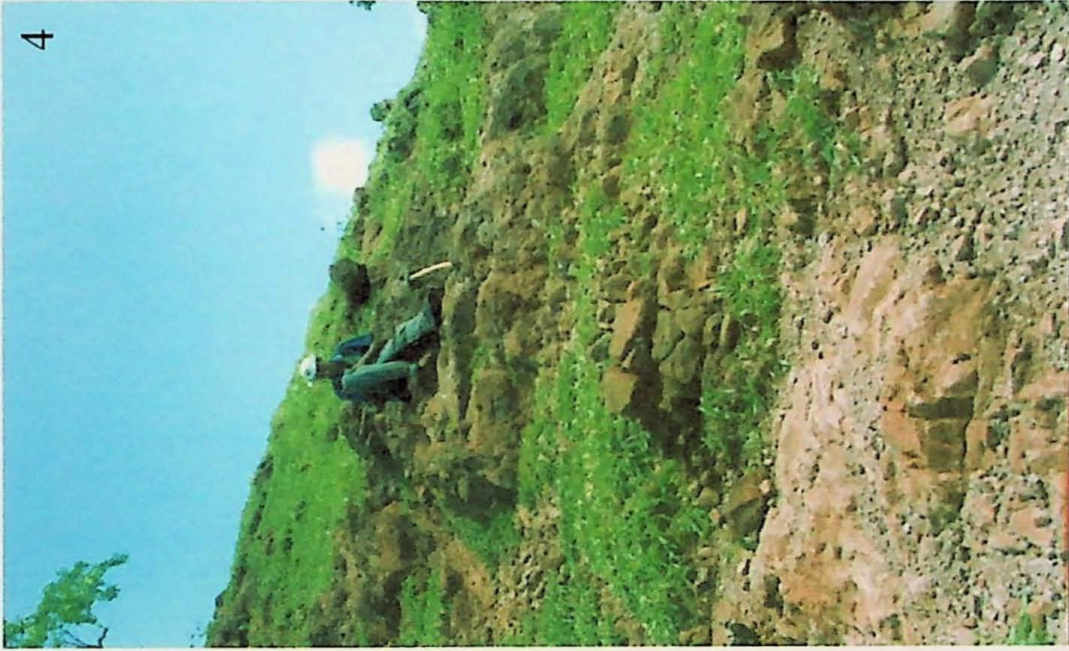


Figura 23. Variação composicional das granadas das rochas da Província Amambay nos diagramas Andradita-Grossulária-Uvarovita (A) e Andradita-Piropo-Espessartita. Símbolos como na Figura 11.

Anexo II – Fotos



1



4



5



2



3



6

Fotos das principais ocorrências
alcalinas da Província Amambay:
1- Vista panorâmica da pedreira de
carbonatito no Cerro Chirigué
2- Vista aérea do Cerro Sarabí
3- Plug de traquito no Cerro Apuá
4 e 5- Diques de traquito e fonolito
na Colônia Indígena Itaipausú
6- Plug de analcimito no Cerro Jhú

Tabela 1. Análises dos elementos maiores (%), traços e Terras Raras (ppm), valores de R1-R2 (cf. De La Roche, 1986) para os principais tipos litológicos da Província Amambay.

	Sd	Ms	Si	Si	Ns	Fe	Fe	Fe	La	Af
	Pam-49	Pam-41	Pam-39	Pam-46	Pam-68	Pam-43	Pam-30	Pam-28	Pam-37	Pam-11
SiO ₂	54,99	50,67	60,04	63,03	59,81	59,21	52,52	56,49	48,31	53,98
TiO ₂	1,86	1,22	0,89	0,25	0,92	0,82	0,46	1,76	2,00	0,82
Al ₂ O ₃	11,76	15,81	16,05	17,71	14,93	15,62	15,23	12,62	10,94	14,11
Fe ₂ O _{3t}	8,73	7,52	4,88	1,56	6,21	6,44	11,86	9,17	10,04	7,45
MnO	0,15	0,14	0,09	0,03	0,14	0,13	0,14	0,19	0,15	0,22
MgO	3,06	2,61	1,02	0,27	0,99	0,61	0,41	0,24	6,96	1,37
CaO	6,24	7,41	2,78	1,00	2,11	2,57	2,42	5,60	9,64	5,72
Na ₂ O	2,74	4,87	3,44	1,77	4,74	3,81	6,50	0,88	3,25	3,44
K ₂ O	7,39	6,42	9,34	13,33	8,48	9,61	7,04	10,87	5,63	7,79
P ₂ O ₅	0,76	0,62	0,20	0,12	0,20	0,16	-0,01	0,13	0,81	0,32
P.F.	1,10	1,39	0,70	0,88	1,38	1,26	1,95	0,93	1,25	3,65
Total	98,78	98,68	99,43	99,95	99,91	100,24	98,52	98,88	98,99	98,87
Sc	17	8	6	1	4	3	-1	3	25	6
V	200	124	105	56	115	123	293	493	236	240
Cr	54	41	41	23	-20	40	-20	-20	113	29
Co	20	15	6	1	13	5	4	14	34	6
Ni	-20	-20	-20	-20	-20	28	-20	-20	30	-20
Cu	45	16	-10	13	-10	-10	17	11	-10	11
Zn	112	95	65	-30	115	114	61	188	103	136
Ga	18	18	19	26	28	29	27	22	20	17
Rb	146	86	141	184	181	177	88	114	135	126
Sr	2072	4153	2845	1889	2342	2661	2763	731	2682	3211
Cs	1,5	1,3	0,6	0,8	2,5	2,3	0,9	0,9	2,0	1,2
Ba	4856	3798	3128	3482	2573	3382	847	9140	3040	5826
Y	32	22	21	6	26	11	6	52	25	42
Zr	323	454	214	147	1022	782	2591	1050	412	701
Hf	9,9	13,1	6,9	3,9	24,6	19,6	52,2	24,7	11,8	17,7
Nb	59	86	57	33	94	62	259	161	69	114
Sn	4	4	3	1	3	4	4	6	3	4
Ta	4,0	5,2	2,8	0,8	3,3	1,6	11,2	5,7	3,3	3,5
Tl	2,3	1,8	1,5	1,9	2,1	2,6	2,1	1,3	1,9	2,3
Pb	26	33	13	27	74	28	15	81	18	40
Th	19,8	18,3	6,9	8,3	61,2	26,1	19,0	26,9	21,2	42,4
U	3,9	3,7	1,0	2,1	11,4	3,6	3,5	7,9	5,5	9,7
La	194	205	126	57,8	180	172	322	197	177	312
Ce	379	389	239	101	286	266	435	279	335	473
Pr	42,4	42,3	24,8	9,81	26,4	23,8	30,4	44,9	37,5	50,9
Nd	144	140	80,1	30,5	79,9	67,2	59,4	168	129	158
Sm	21,5	19,5	11,6	4,1	10,9	8,0	3,2	23,8	19,0	20,1
Eu	5,13	5,09	2,86	1,02	2,85	1,83	0,53	5,12	4,51	4,91
Gd	12,5	10,2	6,8	2,3	6,3	3,8	0,8	14,8	10,7	12,4
Tb	1,5	1,1	0,9	0,3	0,9	0,5	0,1	1,6	1,2	1,4
Dy	7,1	5,2	4,4	1,3	4,7	2,5	0,8	8,3	5,6	7,4
Ho	1,1	0,8	0,8	0,2	0,9	0,4	0,2	1,5	0,9	1,3
Er	3,1	2,1	2,1	0,6	2,8	1,4	0,6	5,0	2,6	4,2
Tm	0,39	0,26	0,28	0,08	0,42	0,23	0,10	0,69	0,31	0,55
Yb	2,5	1,6	1,8	0,5	2,8	1,7	0,9	4,5	2,1	3,5
Lu	0,32	0,21	0,24	0,06	0,40	0,26	0,15	0,64	0,27	0,50
R1	667,7	-99,1	433,5	403,8	119,1	141,3	-803,4	604,9	412,2	321,0
R2	1050,2	1232,4	662,9	467,8	567,7	611,6	578,0	858,6	1591,4	956,7

Abreviações:

Af, analcima fonolito; Ca, carbonatito; Fe, fenito; Fo, fonolito; Ft, fonotefrito; La, lamprófito; Ms, mela-sienito; Ns, nefelina sienito; Si, sienito; Sd, sienodiorito; Tf, tefrifonolito; Tr, traquito; Trf, traquifonolito.

Tabela 1. Continuação.

	Ft	Tf	Trf	Tr	Tr	Fo	Fo	Ca	Ca
	Pam-56	Pam-61	Pam-52	Pam-04	Pam-34	Pam-17	Pam-45	Pam-24	Pam-26
SiO ₂	46,41	49,69	55,80	61,93	59,94	57,98	52,60	3,70	1,64
TiO ₂	1,65	1,88	1,23	0,59	0,61	0,42	1,87	0,05	0,02
Al ₂ O ₃	14,55	12,76	15,51	16,87	16,63	16,93	15,46	0,64	0,12
Fe ₂ O _{3t}	9,04	9,50	7,05	3,83	3,89	4,43	10,01	3,23	1,68
MnO	0,16	0,14	0,15	0,08	0,08	0,14	0,14	0,32	0,11
MgO	3,03	1,55	1,58	0,77	0,62	0,31	1,40	1,47	0,20
CaO	7,35	7,28	4,27	2,09	2,66	2,03	4,21	42,98	51,26
Na ₂ O	2,96	3,08	4,64	5,46	5,25	5,01	4,31	-0,01	-0,02
K ₂ O	7,07	7,44	7,54	6,04	6,24	9,36	8,30	0,71	-0,02
P ₂ O ₅	0,66	0,73	0,48	0,18	0,18	0,07	0,29	0,35	0,78
P.F.	7,07	6,27	1,33	1,40	2,81	2,72	0,94	35,32	40,18
Total	99,95	100,32	99,58	99,24	98,91	99,40	99,53	88,76	95,95
Sc	11	14	9	6	4	2	5	-1	-2
V	197	203	138	65	59	111	236	39	90
Cr	-20	-20	27	57	36	58	-20	-20	-20
Co	20	23	11	6	5	2	22	-1	-1
Ni	-20	-20	-20	165	-20	72	-20	-20	48
Cu	25	48	15	17	12	-10	15	29	36
Zn	100	113	100	61	66	109	53	97	31
Ga	21	19	22	21	20	24	24	12	3
Rb	114	106	119	115	110	160	124	55	6
Sr	6185	1078	3527	2265	2302	2083	4058	37527	3722
Cs	7,5	1,4	1,1	1,0	1,3	1,2	1,1	5,7	2,6
Ba	3688	4413	3043	2490	2845	4536	5699	18386	18720
Y	22	37	28	19	19	22	10	4	4
Zr	514	558	561	478	454	824	517	3	18
Hf	13,7	14,6	14,5	11,6	13,0	18,7	15,3	1,5	0,7
Nb	76	75	68	52	79	93	89	51	18
Sn	3	4	3	3	3	3	3	-1	-1
Ta	4,0	4,4	3,4	3,2	3,6	1,8	5,2	0,2	-0,1
Tl	1,9	1,6	2,0	1,5	1,7	3,2	1,2	36,8	2,9
Pb	23	34	34	47	56	58	6	845	145
Th	23,3	24,3	20,9	30,0	29,5	47,6	14,2	4,0	6,4
U	5,1	3,7	3,9	6,6	6,6	11,4	1,2	9,4	5,2
La	205	198	183	150	154	146	254	484	478
Ce	379	377	328	241	267	237	418	660	662
Pr	40,5	42,1	33,9	23,4	26,8	21,6	39,9	60,5	59,0
Nd	134	144	110	71,6	83,8	62,7	116	163	149
Sm	18,9	21,9	16,0	9,8	11,5	8,1	13,0	10,1	8,1
Eu	4,97	5,76	4,07	2,49	2,94	1,90	2,89	1,33	1,15
Gd	10,4	13,3	9,7	5,5	6,4	4,8	6,1	3,0	2,8
Tb	1,1	1,6	1,1	0,7	0,8	0,7	0,6	-0,1	-0,1
Dy	5,2	7,6	5,8	3,5	3,8	3,6	2,6	0,6	0,7
Ho	0,8	1,3	1,0	0,6	0,6	0,7	0,4	-0,1	-0,1
Er	2,1	3,5	3,0	2,0	2,0	2,4	1,0	0,5	0,4
Tm	0,27	0,43	0,41	0,26	0,26	0,38	0,12	-0,05	-0,05
Yb	1,7	2,7	2,6	1,7	1,8	2,5	0,8	0,4	0,3
Lu	0,21	0,36	0,37	0,24	0,24	0,36	0,13	-0,04	-0,04
R1	89,7	160,2	75,7	650,3	543,4	-240,9	-298,0	-8,8	72,8
R2	1222,2	1106,1	839,5	592,7	641,6	564,7	823,2	4683,9	5496,6

Tabela 2 - Continuação.

Rocha	Fenito			Minette			Analcima fonólito			Fonotefrito			Tefrifonólito					
	Pam-30	Pam-30	Pam-28	Pam-37	Pam-37	Pam-28	Pam-10	Pam-10	Pam-10	Pam-56	Pam-56	Pam-61	Pam-61	Pam-61	Pam-61			
Amostra	64,79	64,95	64,09	64,37	63,72	63,43	64,86	63,90	64,82	63,69	63,45	60,56	64,20	63,44	62,17	64,10	65,11	63,51
SiO ₂	17,86	17,96	17,71	18,12	17,90	18,33	18,42	18,82	18,52	18,84	16,46	19,29	17,97	18,28	18,80	18,37	18,33	18,49
Al ₂ O ₃	0,01	0,02		0,07	0,07		0,07	0,03	0,04	0,04	0,02	0,03		0,03	0,03	0,08	0,02	0,01
TiO ₂	0,81	0,62	0,72	0,63	1,09	0,76	0,36	0,29	0,42	0,33	3,33	0,97	0,47	0,71	0,55	1,16	0,33	0,26
Fe ₂ O ₃		0,02		0,01				0,01	0,01	0,01					0,01	0,02	0,01	0,01
MnO		0,01		0,01					0,01	0,01	0,01	0,02		0,05	0,01	0,09	0,05	0,02
MgO																		
CaO				0,04														0,03
Na ₂ O	0,35	0,37	0,39	0,66	0,17	0,74	2,78	2,74	2,99	1,66	0,52	1,21	0,55	1,07	0,73	0,51	2,995	0,56
K ₂ O	16,83	17,04	16,88	16,33	16,67	15,87	12,92	12,56	12,83	14,43	16,19	13,39	15,74	14,91	14,66	16,17	12,54	15,62
BaO	0,07	0,22	0,39	0,62	1,16	1,76	0,47	1,17	0,41	1,69	1,48	5,28	0,88	0,44	2,14	0,21	0,14	1,19
SrO		0,01	0,06	0,05	0,03	0,03	0,31	0,50	0,31	0,23		0,29	0,19	0,50	1,09		0,04	0,09
Total	100,72	101,21	100,23	100,80	100,85	100,91	100,20	100,02	100,36	100,92	101,46	101,04	99,99	99,41	100,18	100,71	99,59	99,76

Fórmula estrutural na base de 32 Oxigênios																		
Si	11,971	11,964	11,949	11,918	11,873	11,824	11,821	11,828	11,896	11,798	11,859	11,511	11,963	11,864	11,717	11,847	11,965	11,881
Al	3,889	3,898	3,892	3,954	3,931	4,026	3,991	4,106	4,006	4,114	3,624	4,322	3,946	4,028	4,175	4,002	3,970	4,076
Ti	0,001	0,003		0,010			0,010	0,003	0,006	0,006	0,003	0,004		0,004	0,004	0,011	0,003	0,001
Fe ³⁺	0,112	0,086	0,100	0,088	0,153	0,107	0,050	0,040	0,058	0,046	0,468	0,138	0,066	0,099	0,078	0,161	0,046	0,036
Mn		0,003		0,002				0,002	0,002	0,001					0,001	0,002	0,002	0,001
Mg		0,002		0,002					0,001	0,001	0,003	0,006		0,013	0,002	0,024	0,013	0,006
Ca					0,008												0,006	
Na	0,992	0,985	1,062	1,293	0,910	1,200	1,006	1,053	0,899	0,636	0,690	0,740	0,496	0,489	0,485	0,758	0,464	0,738
K	3,029	2,965	3,003	2,827	3,192	2,913	2,996	2,853	3,119	3,661	3,440	3,376	3,585	3,625	3,527	3,365	3,638	3,413
Ba	0,005	0,016	0,028	0,045	0,085	0,129	0,034	0,085	0,030	0,122	0,109	0,393	0,064	0,032	0,158	0,016	0,010	0,087
Sr		0,001	0,007	0,005	0,003	0,003	0,033	0,053	0,033	0,025		0,032	0,020	0,054	0,119		0,004	0,010
Soma	20,074	20,108	20,132	20,107	20,086	20,129	20,059	20,069	20,099	20,119	20,116	20,102	20,000	20,039	20,048	20,058	20,026	20,027
Ab	3,1	3,2	3,4	5,8	1,5	6,6	24,7	24,9	26,1	14,8	4,7	12,1	5,0	9,8	7,1	4,6	26,6	5,1
An					0,2												0,2	
Or	96,9	96,8	96,6	94,2	98,3	93,4	75,3	75,1	73,9	85,2	95,3	87,9	95,0	90,2	92,9	95,4	73,2	94,9

Tabela 2 - Continuação.

Rocha Amostra	Traquifonolito		Traquito				Fonolito							
	Pam-52	Pam-52	Pam-04	Pam-04	Pam-34	Pam-34	Pam-17	Pam-17	Pam-45	Pam-45	Pam-45	Pam-45		
SiO ₂	65,49	64,57	66,44	64,64	66,54	66,08	66,78	66,21	63,05	64,10	63,88	64,28	63,79	64,12
Al ₂ O ₃	18,17	18,49	18,42	19,55	19,21	18,52	18,12	19,11	18,97	18,81	18,45	18,01	17,84	18,16
TiO ₂	0,05	0,12	0,01	0,01	0,03	0,02		0,07	0,03	0,08	0,03	0,03		0,03
Fe ₂ O ₃	0,54	0,43	0,62	0,34	0,66	0,56	1,09	0,50	0,30	0,18	0,66	0,68	0,75	0,73
MnO	0,01		0,01			0,02	0,04				0,03	0,04	0,03	0,01
MgO	0,03			0,01		0,03		0,01		0,02		0,01		0,02
CaO			0,17	0,48	0,40	0,48	0,09	0,45			0,01			
Na ₂ O	3,77	3,54	6,54	6,28	7,40	7,31	5,71	7,14	1,29	1,32	1,91	1,38	1,35	1,35
K ₂ O	11,89	12,23	7,59	7,06	6,27	5,87	14,33	6,37	0,01	14,96	14,00	15,16	15,22	14,89
BaO	0,15	0,04	0,12	1,23			0,02	0,12	2,51	0,82	0,45	0,46	0,60	0,58
SrO	0,11	0,61	0,10	0,88	0,15	0,16	0,05	0,06	0,21	0,29	0,39	0,22	0,09	0,16
Total	100,21	100,02	100,01	100,47	100,66	99,05	100,40	100,04	100,69	100,56	99,81	100,26	99,67	100,03

Fórmula estrutural na base de 32 Oxigênios

Si	11,960	11,869	11,969	11,729	11,861	11,942	12,009	11,873	11,763	11,851	11,857	11,921	11,917	11,903
Al	3,911	4,005	3,911	4,180	4,035	3,945	3,839	4,038	4,107	4,097	4,037	3,935	3,927	3,973
Ti	0,007	0,017	0,001	0,001	0,004	0,003		0,010	0,004	0,010	0,004	0,004		0,004
Fe ³⁺	0,075	0,059	0,083	0,046	0,089	0,076	0,148	0,067	0,043	0,025	0,092	0,094	0,106	0,101
Mn	0,001		0,002			0,003	0,006				0,004	0,006	0,004	0,001
Mg	0,009			0,002		0,008		0,003		0,004	0,001	0,003		0,007
Ca			0,032	0,094	0,076	0,094	0,017	0,086			0,003			
Na	1,136	1,080	2,285	2,210	2,558	2,562	1,991	2,484	0,467	0,471	0,687	0,496	0,489	0,485
K	2,876	2,649	1,743	1,634	1,425	1,353	1,949	1,457	3,410	3,528	3,316	3,585	3,625	3,527
Ba	0,010	0,003	0,008	0,088			0,002	0,009	0,184	0,059	0,033	0,034	0,044	0,042
Sr	0,012	0,065	0,011	0,093	0,016	0,017	0,006	0,006	0,022	0,031	0,042	0,024	0,010	0,017
Soma	20,092	20,146	20,047	20,079	20,065	20,002	19,968	20,035	20,064	20,078	20,076	20,102	20,123	20,061
Ab	32,5	30,5	56,3	56,1	63,0	63,9	50,3	61,7	12,0	11,8	17,1	12,2	11,9	12,1
An			0,8	2,4	1,9	2,3	0,4	2,1			0,1			
Or	67,5	69,5	42,9	41,5	35,1	33,8	49,3	36,2	88,0	88,2	82,8	87,8	88,1	87,9

Tabela 3 - Análises químicas de microfenocristais de feldspatóides das rochas alcalinas da Província Amambay.

Rocha Amostra	Nefelina						Cancrinita			Analcima fonolito		
	Mela-sienito		Fenito		Minette		Pam-37		Pam-10		Pam-10	
	Pam-41	Pam-41	Pam-30	Pam-30	Pam-30	Pam-30	Pam-37	Pam-37	Pam-10	Pam-10	Pam-10	Pam-10
SiO ₂	44,04	44,00	44,18	41,28	41,41	41,45	35,78	35,81	46,00	44,16	49,29	49,29
Al ₂ O ₃	33,21	32,87	32,88	33,53	33,39	33,80	30,62	30,58	29,24	29,93	27,49	27,49
TiO ₂	0,04		0,02	0,02	0,01	0,01		0,02	0,05	0,02	0,02	0,02
Fe ₂ O ₃	0,60	0,63	0,55	2,00	2,57	1,79	0,95	0,31	0,44	0,24	0,15	0,15
MnO			0,01	0,01	0,02	0,02			0,08	0,05		
MgO												0,02
CaO	0,10	0,07	0,08		0,01		0,79	0,73	2,42	5,17	1,50	1,50
Na ₂ O	16,51	16,72	16,54	16,00	16,28	16,11	17,86	17,52	12,66	10,49	11,44	11,44
K ₂ O	6,20	6,16	6,03	8,39	8,27	8,40	5,10	5,19	0,03	0,04	2,36	2,36
BaO			0,03					0,03	0,07		0,17	0,17
SrO	0,02	0,03	0,06		0,02		0,06	0,12	0,03	0,30	0,06	0,06
Total	100,73	100,47	100,36	101,22	101,97	101,57	91,16	90,32	91,01	90,39	92,49	92,49

Fórmula estrutural na base de 32 Oxigênios

Si	8,407	8,428	8,457	8,005	7,989	8,005	7,725	7,783	2,024	1,964	2,134	2,134
Al	7,466	7,414	7,413	7,659	7,586	7,688	7,792	7,833	1,516	1,569	1,403	1,403
Ti	0,006		0,002	0,002	0,001	0,001		0,003	0,002	0,001	0,001	0,001
Fe ³⁺	0,086	0,090	0,079	0,292	0,372	0,259	0,154	0,051	0,016	0,009	0,006	0,006
Mn			0,001	0,002	0,003	0,003			0,003	0,002		
Mg												0,001
Ba								0,003	0,114	0,246	0,069	0,069
Ca	0,021	0,014	0,016		0,001		7,477	7,384	1,080	0,904	0,960	0,960
Na	6,112	6,211	6,140	6,017	6,090	6,033	1,405	1,438	0,002	0,002	0,130	0,130
K	1,509	1,505	1,472	2,075	2,036	2,071	0,182	0,171	0,001	0,001	0,003	0,003
Sr			0,010	24,052	24,078	24,060	0,008	0,015	0,001	0,008	0,002	0,002
Soma	23,607	23,662	23,590	24,052	24,078	24,060	24,743	24,683	4,758	4,704	4,709	4,709

Fórmula estrutural na base de 7 Oxigênios

Si	8,407	8,428	8,457	8,005	7,989	8,005	7,725	7,783	2,024	1,964	2,134	2,134
Al	7,466	7,414	7,413	7,659	7,586	7,688	7,792	7,833	1,516	1,569	1,403	1,403
Ti	0,006		0,002	0,002	0,001	0,001		0,003	0,002	0,001	0,001	0,001
Fe ²⁺	0,086	0,090	0,079	0,292	0,372	0,259	0,154	0,051	0,016	0,009	0,006	0,006
Mn			0,001	0,002	0,003	0,003			0,003	0,002		
Mg												0,001
Ba								0,003	0,114	0,246	0,069	0,069
Ca	0,021	0,014	0,016		0,001		7,477	7,384	1,080	0,904	0,960	0,960
Na	6,112	6,211	6,140	6,017	6,090	6,033	1,405	1,438	0,002	0,002	0,130	0,130
K	1,509	1,505	1,472	2,075	2,036	2,071	0,182	0,171	0,001	0,001	0,003	0,003
Sr			0,010	24,052	24,078	24,060	0,008	0,015	0,001	0,008	0,002	0,002
Soma	23,607	23,662	23,590	24,052	24,078	24,060	24,743	24,683	4,758	4,704	4,709	4,709

Ne
Ks
Qz

Tabela 4 - Análises químicas de microfenocristais de piroxênios das rochas alcalinas da Província Amambay.

Rocha Amostra	Sienodiorito			Mela-sienito			Sienito		
	Pam-49	Pam-49	Pam-49	Pam-41	Pam-41	Pam-41	Pam-46	Pam-46	Pam-46
SiO ₂	53,40	52,46	52,51	48,79	51,46	47,77	51,44	51,97	50,75
TiO ₂	0,14	0,65	0,21	1,22	0,45	1,15	0,46	0,31	0,19
Al ₂ O ₃	0,42	1,10	0,58	4,27	2,15	4,70	0,75	1,27	0,75
FeO	5,60	6,25	7,13	4,09	4,04	6,53	12,21	8,48	11,34
Fe ₂ O ₃	6,17	2,05	5,89	3,78	2,54	5,93	13,83	6,63	8,74
Cr ₂ O ₃	0,01	0,04	0,01	0,04	0,09	0,01	0,02		
MnO	0,42	0,18	0,39	0,16	0,21	0,47	0,66	0,58	0,61
MgO	11,39	13,52	10,58	12,87	14,07	9,95	1,92	8,76	5,75
CaO	20,09	23,54	19,81	23,48	23,75	22,43	8,39	18,11	15,94
Na ₂ O	2,56	0,56	2,43	0,47	0,47	1,02	7,60	3,14	3,94
K ₂ O	0,02	0,01						0,01	0,01
ZrO ₂			0,06	0,04		0,11	0,68	0,07	0,13
Total	100,22	100,36	99,60	99,21	99,23	100,07	97,96	99,33	98,15

Fórmula estrutural na base de 32 Oxigênios

TSi	1,993	1,949	1,985	1,834	1,920	1,814	2,049	1,983	1,997
TAI	0,007	0,048	0,015	0,166	0,080	0,186		0,017	0,003
TFe ³⁺		0,003							
M1Al	0,011		0,011	0,023	0,015	0,024	0,035	0,040	0,032
M1Ti	0,004	0,018	0,006	0,034	0,013	0,033	0,014	0,009	0,006
M1Fe ³⁺	0,173	0,051	0,169	0,106	0,071	0,170	0,425	0,191	0,260
M1Fe ²⁺	0,175	0,181	0,217	0,114	0,117	0,207	0,396	0,262	0,365
M1Cr		0,001		0,001	0,003		0,001		
M1Mg	0,634	0,749	0,596	0,721	0,783	0,563	0,114	0,498	0,337
M2Mg									
M2Fe ²⁺		0,017	0,007	0,015	0,010			0,008	0,006
M2Mn	0,013	0,006	0,012	0,005	0,007	0,015	0,022	0,019	0,020
M2Ca	0,803	0,937	0,803	0,946	0,949	0,913	0,358	0,740	0,672
M2Na	0,185	0,040	0,178	0,034	0,034	0,075	0,587	0,232	0,301
M2K	0,001								0,001
M2Zr									
Soma	3,999	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	3,999
Ca	49,4	49,6	49,1	52,5	50,9	53,8	40,2	48,5	48,0
Mg	39,0	39,6	36,5	40,0	42,0	33,2	12,8	32,6	24,1
Fe ²⁺ +Mn	11,6	10,7	14,5	7,4	7,1	13,1	47,0	18,9	28,0
Q	1,6	1,9	1,6	1,8	1,9	1,7	0,9	1,5	1,4
J	0,4	0,1	0,4	0,1	0,1	0,2	1,2	0,5	0,6
WO	44,7	48,2	44,5	49,6	49,0	48,9	27,2	43,1	40,5
EN	35,2	38,5	33,1	37,8	40,4	30,2	8,7	29,0	20,3
FS	20,1	13,2	22,5	12,6	10,5	21,0	64,1	27,9	39,2
WEF	81,4	95,9	82,1	96,3	96,5	91,9	43,1	76,7	70,0
JD	1,1	0,0	1,1	0,6	0,6	1,0	4,3	4,0	3,3
AE	17,4	4,1	16,8	3,0	2,9	7,1	52,5	19,3	26,8

Tabela 4 - Continuação.

Rocha Amostra	Sienito			Nefelina sienito			Fenito		
	Pam-39	Pam-39	Pam-39	Pam-68	Pam-68	Pam-68	Pam-43	Pam-43	Pam-43
SiO ₂	51,60	52,43	52,30	52,42	52,97	53,13	53,53	53,52	52,46
TiO ₂	0,52	0,57	0,39	0,53	0,71	0,83	1,14	0,80	0,22
Al ₂ O ₃	0,99	0,90	0,98	0,75	1,01	0,80	1,08	0,74	0,99
FeO	10,57	9,83	9,79	8,18	8,07	7,73	7,34	7,70	8,84
Fe ₂ O ₃	8,39	8,57	9,21	5,50	3,94	3,13	16,29	14,45	18,76
Cr ₂ O ₃	0,01	0,01						0,01	0,01
MnO	0,55	0,42	0,54	0,41	0,24	0,21	0,41	0,69	0,59
MgO	6,20	6,97	6,62	10,07	11,28	11,86	4,30	4,95	2,06
CaO	14,71	14,53	14,54	19,21	19,62	20,04	7,03	8,44	4,93
Na ₂ O	4,58	4,75	4,79	2,59	2,26	2,05	8,76	7,92	9,39
K ₂ O	0,01	0,01	0,01		0,02	0,01	0,01		
ZrO ₂	0,17	0,24	0,17	0,04	0,14		0,04	0,10	0,04
Total	98,30	99,23	99,34	99,70	100,26	99,79	99,93	99,32	98,29

Fórmula estrutural na base de 32 Oxigênios

TSi	2,010	2,014	2,010	1,985	1,983	1,989	2,033	2,045	2,050
TAI				0,015	0,017	0,011			
TFe ³⁺									
M1Al	0,045	0,041	0,044	0,018	0,027	0,025	0,048	0,033	0,046
M1Ti	0,015	0,016	0,011	0,015	0,020	0,023	0,033	0,023	0,006
M1Fe ³⁺	0,249	0,251	0,269	0,156	0,114	0,088	0,465	0,415	0,551
M1Fe ²⁺	0,330	0,292	0,296	0,242	0,209	0,202	0,211	0,246	0,277
M1Cr									
M1Mg	0,360	0,399	0,379	0,568	0,629	0,662	0,243	0,282	0,120
M2Mg									
M2Fe ²⁺	0,011	0,020	0,016	0,017	0,040	0,040	0,022		0,012
M2Mn	0,018	0,014	0,018	0,013	0,008	0,007	0,013	0,022	0,020
M2Ca	0,614	0,598	0,599	0,779	0,787	0,804	0,286	0,346	0,206
M2Na	0,346	0,354	0,357	0,190	0,164	0,149	0,645	0,587	0,712
M2K									
M2Zr									
Soma	4,000	4,000	4,000	4,000	3,999	4,000	4,000	4,000	4,000
Ca	46,0	45,2	45,8	48,1	47,0	46,9	36,9	38,6	32,5
Mg	27,0	30,2	29,0	35,1	37,6	38,6	31,4	31,5	18,9
Fe ²⁺ +Mn	26,9	24,6	25,2	16,8	15,4	14,5	31,8	29,9	48,6
Q	1,3	1,3	1,3	1,6	1,7	1,7	0,8	0,9	0,6
J	0,7	0,7	0,7	0,4	0,3	0,3	1,3	1,2	1,4
WO	38,8	38,0	38,0	43,9	44,0	44,6	23,1	26,4	17,4
EN	22,8	25,4	24,1	32,0	35,2	36,7	19,6	21,5	10,1
FS	38,4	36,7	38,0	24,1	20,8	18,7	57,3	52,1	72,5
WEF	65,8	65,1	64,7	81,0	83,6	85,2	37,6	43,3	30,9
JD	5,3	4,9	5,0	2,0	3,2	3,2	5,9	4,2	5,3
AE	28,9	30,0	30,3	17,0	13,2	11,6	56,6	52,5	63,9

Tabela 4 - Continuação.

Rocha Amostra	Fenito					Minette		
	Pam-30	Pam-30	Pam-30	Pam-28	Pam-28	Pam-37	Pam-37	Pam-37
SiO ₂	51,13	51,22	51,38	52,44	52,22	52,37	52,81	53,87
TiO ₂	1,77	1,43	0,77	0,23	0,11	0,38	0,69	0,69
Al ₂ O ₃	0,60	0,52	0,52	0,44	0,39	1,06	1,13	0,85
FeO	11,49	11,69	10,96	9,93	8,81	7,92	2,73	3,35
Fe ₂ O ₃	16,41	16,77	17,23	13,84	14,67	4,92	1,80	0,68
Cr ₂ O ₃					0,03	0,04	0,10	0,02
MnO	0,39	0,34	0,35	0,62	0,81	0,30	0,08	0,09
MgO	1,21	1,15	1,39	3,98	4,30	10,29	15,75	16,45
CaO	5,86	5,86	5,79	9,79	10,64	19,57	25,06	24,29
Na ₂ O	8,89	8,85	8,84	7,07	6,84	2,44	0,18	0,24
K ₂ O	0,02	0,01	0,02	0,01		0,02		0,01
ZrO ₂	0,14	0,18	0,21	0,18	0,19	0,11	0,07	
Total	97,91	98,02	97,46	98,53	99,01	99,42	100,40	100,54

Fórmula estrutural na base de 32 Oxigênios

TSi	2,029	2,034	2,046	2,046	2,029	1,984	1,936	1,962
TAI						0,016	0,049	0,036
TFe ³⁺							0,015	0,001
M1Al	0,028	0,024	0,024	0,020	0,018	0,031		
M1Ti	0,053	0,043	0,023	0,007	0,003	0,011	0,019	0,019
M1Fe ³⁺	0,491	0,503	0,519	0,408	0,431	0,141	0,020	0,015
M1Fe ²⁺	0,356	0,362	0,351	0,322	0,284	0,234	0,097	0,072
M1Cr						0,001	0,003	0,001
M1Mg	0,072	0,068	0,083	0,232	0,249	0,581	0,861	0,893
M2Mg								
M2Fe ²⁺	0,023	0,024	0,011			0,016	0,001	0,032
M2Mn	0,013	0,011	0,012	0,020	0,027	0,010	0,002	0,003
M2Ca	0,249	0,249	0,247	0,409	0,443	0,794	0,984	0,948
M2Na	0,684	0,681	0,683	0,535	0,515	0,179	0,013	0,017
M2K	0,001	0,001	0,001			0,001		
M2Zr								
Soma	3,999	3,999	3,999	4,000	4,000	3,999	4,000	4,000
Ca	34,9	34,9	35,1	41,6	44,2	48,6	50,6	48,7
Mg	10,0	9,5	11,7	23,5	24,8	35,5	44,3	45,9
Fe ²⁺ +Mn	55,0	55,6	53,2	34,8	31,0	15,9	5,1	5,5
Q	0,7	0,7	0,7	1,0	1,0	1,6	1,9	1,9
J	1,4	1,4	1,4	1,1	1,0	0,4	0,0	0,0
WO	20,7	20,5	20,2	29,4	30,9	44,7	49,7	48,3
EN	5,9	5,6	6,8	16,6	17,4	32,7	43,5	45,5
FS	73,4	73,9	73,0	53,9	51,7	22,6	6,9	6,3
WEF	34,3	34,4	34,0	47,9	49,3	82,0	98,7	98,3
JD	3,5	3,0	3,0	2,5	2,0	3,3	0,0	0,0
AE	62,2	62,6	63,0	49,6	48,7	14,7	1,3	1,7

Tabela 4 - Continuação.

Rocha Amostra	Analcima fonolito			Fonotefrito			Tefrifonolito		
	Pam-10	Pam-10	Pam-10	Pam-56	Pam-56	Pam-56	Pam-61	Pam-61	Pam-61
SiO ₂	51,52	51,49	48,40	50,99	49,88	50,36	51,94	52,31	51,72
TiO ₂	0,44	0,54	0,57	1,07	0,98	1,42	2,84	3,18	2,66
Al ₂ O ₃	1,26	1,31	4,00	1,85	2,64	3,01	0,80	1,53	0,82
FeO	12,46	12,21	11,10	5,90	6,49	4,75	8,24	10,94	12,51
Fe ₂ O ₃	3,07	3,82	6,88	2,50	3,34	1,87	22,49	16,68	15,58
Cr ₂ O ₃		0,03	0,01	0,03		0,03		0,05	
MnO	0,55	0,55	0,57	0,20	0,30	0,17	0,17	0,18	0,39
MgO	8,54	8,49	6,72	13,09	11,67	13,81	0,08	0,63	0,21
CaO	21,20	21,26	20,77	23,86	23,53	23,75	0,32	2,37	2,97
Na ₂ O	1,42	1,50	1,77	0,41	0,61	0,34	11,98	10,83	10,28
K ₂ O				0,02		0,01	0,05	0,03	0,01
ZrO ₂		0,03	0,11	0,02	0,07	0,10	0,01	0,32	0,90
Total	100,46	101,23	100,90	99,94	99,51	99,62	98,92	99,05	98,05

Fórmula estrutural na base de 32 Oxigênios

TSi	1,968	1,955	1,858	1,908	1,887	1,879	2,023	2,033	2,056
TAI	0,032	0,045	0,142	0,082	0,113	0,121			
TFe ³⁺				0,010					
M1Al	0,024	0,013	0,039		0,005	0,011	0,037	0,070	0,038
M1Ti	0,013	0,015	0,016	0,030	0,028	0,040	0,083	0,093	0,080
M1Fe ³⁺	0,087	0,110	0,200	0,051	0,096	0,054	0,657	0,492	0,482
M1Fe ²⁺	0,389	0,380	0,355	0,188	0,205	0,126	0,219	0,307	0,387
M1Cr		0,001	0,000	0,001		0,001		0,002	
M1Mg	0,486	0,481	0,385	0,730	0,658	0,768	0,005	0,037	0,012
M2Mg									
M2Fe ²⁺	0,009	0,007		0,006		0,020	0,051	0,044	0,012
M2Mn	0,018	0,018	0,019	0,006	0,010	0,005	0,006	0,006	0,013
M2Ca	0,868	0,865	0,854	0,957	0,954	0,949	0,013	0,099	0,126
M2Na	0,105	0,110	0,132	0,030	0,045	0,025	0,905	0,816	0,792
M2K				0,001			0,002	0,001	0,001
M2Zr									
Soma	4,000	4,000	4,000	3,999	4,000	4,000	3,998	3,999	3,999
Ca	49,0	49,4	53,0	50,7	52,2	50,8	4,5	20,0	22,9
Mg	27,5	27,5	23,9	38,7	36,0	41,1	1,6	7,4	2,3
Fe ²⁺ +Mn	23,5	23,1	23,2	10,6	11,7	8,1	93,9	72,5	74,8
Q	1,8	1,7	1,6	1,9	1,8	1,9	0,3	0,5	0,5
J	0,2	0,2	0,3	0,1	0,1	0,0	1,8	1,6	1,6
WO	46,7	46,5	47,1	49,1	49,6	49,4	1,4	10,0	12,2
EN	26,2	25,8	21,2	37,5	34,2	39,9	0,5	3,7	1,2
FS	27,1	27,7	31,6	13,4	16,1	10,7	98,1	86,3	86,6
WEF	89,4	88,8	86,0	96,9	95,3	97,4	14,0	23,2	25,8
JD	2,3	1,2	2,3	0,0	0,2	0,4	4,6	9,6	5,5
AE	8,3	10,0	11,8	3,1	4,4	2,1	81,5	67,2	68,7

Tabela 4 - Continuação.

Rocha Amostra	Traquifonolito			Traquito					
	Pam-52	Pam-52	Pam-52	Pam-04	Pam-04	Pam-04	Pam-34	Pam-34	Pam-34
SiO ₂	51,73	52,36	51,65	50,56	50,17	52,13	51,04	52,03	51,47
TiO ₂	0,71	0,65	0,71	0,44	0,55	0,41	0,63	0,49	0,45
Al ₂ O ₃	1,27	1,21	1,49	2,70	1,77	2,06	1,56	1,45	1,52
FeO	4,67	6,07	6,25	8,38	6,59	7,97	8,00	7,41	7,54
Fe ₂ O ₃	3,32	2,13	2,08	3,17	4,53	1,64	2,03	1,65	2,58
Cr ₂ O ₃			0,02	0,01	0,01		0,06		
MnO	0,31	0,29	0,27	0,45	0,49	0,40	0,30	0,24	0,21
MgO	13,78	13,80	13,31	10,58	11,42	12,82	11,73	12,70	12,10
CaO	23,62	23,26	22,98	21,25	22,43	21,22	22,19	22,20	22,17
Na ₂ O	0,59	0,52	0,59	1,27	0,93	0,93	0,86	0,85	0,91
K ₂ O		0,02		0,02	0,01				
ZrO ₂	0,05	0,06	0,04	0,01			0,07	0,02	0,02
Total	100,05	100,37	99,39	98,84	98,90	99,58	98,47	99,04	98,97

Fórmula estrutural na base de 32 Oxigênios

TSi	1,926	1,944	1,938	1,928	1,913	1,953	1,948	1,961	1,950
TAI	0,056	0,053	0,062	0,072	0,079	0,047	0,052	0,039	0,050
TFe ³⁺	0,018	0,003			0,007				
M1Al			0,004	0,050		0,044	0,018	0,026	0,018
M1Ti	0,020	0,018	0,020	0,013	0,016	0,012	0,018	0,014	0,013
M1Fe ³⁺	0,058	0,055	0,059	0,091	0,116	0,047	0,059	0,047	0,073
M1Fe ²⁺	0,157	0,163	0,171	0,245	0,217	0,182	0,236	0,200	0,213
M1Cr			0,001				0,002		
M1Mg	0,765	0,764	0,745	0,602	0,649	0,716	0,667	0,714	0,683
M2Mg									
M2Fe ²⁺	0,005	0,027	0,024	0,022		0,068	0,019	0,034	0,026
M2Mn	0,010	0,009	0,009	0,015	0,016	0,013	0,010	0,008	0,007
M2Ca	0,942	0,925	0,924	0,868	0,917	0,852	0,907	0,897	0,900
M2Na	0,043	0,037	0,043	0,094	0,069	0,068	0,064	0,062	0,067
M2K		0,001		0,001					
M2Zr									
Soma	4,000	3,999	4,000	3,999	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
Ca	50,1	49,0	49,3	49,6	51,0	46,5	49,3	48,4	49,2
Mg	40,7	40,4	39,8	34,3	36,1	39,1	36,3	38,6	37,4
Fe ²⁺ +Mn	9,2	10,6	10,9	16,1	12,9	14,3	14,4	13,0	13,5
Q	1,9	1,9	1,9	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
J	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
WO	48,2	47,5	47,8	47,1	47,7	45,4	47,8	47,2	47,3
EN	39,1	39,2	38,5	32,6	33,8	38,2	35,2	37,6	35,9
FS	12,7	13,2	13,6	20,2	18,5	16,4	17,0	15,2	16,8
WEF	95,7	96,2	95,6	90,3	92,9	93,1	93,5	93,7	93,2
JD	0,0	0,0	0,3	3,4	0,0	3,4	1,5	2,2	1,3
AE	4,3	3,8	4,1	6,3	7,1	3,5	4,9	4,1	5,5

Tabela 4 - Continuação.

Rocha Amostra	Fonolito					
	Pam-17	Pam-17	Pam-17	Pam-45	Pam-45	Pam-45
SiO ₂	50,58	50,58	50,41	51,94	52,67	51,78
TiO ₂	0,39	0,31	0,39	0,31	0,31	0,27
Al ₂ O ₃	1,50	1,66	1,54	0,90	1,27	0,82
FeO	11,52	11,57	11,53	8,84	11,02	9,07
Fe ₂ O ₃	5,32	3,50	3,77	10,61	7,04	10,72
Cr ₂ O ₃				0,03	0,01	
MnO	0,70	0,48	0,70	0,35	0,36	0,42
MgO	7,70	8,60	8,24	6,69	6,93	6,38
CaO	19,71	20,83	20,55	13,59	14,76	13,34
Na ₂ O	2,08	1,44	1,59	5,15	4,31	5,20
K ₂ O	0,01			0,04	0,23	0,04
ZrO ₂	0,01		0,03	0,23	0,12	0,08
Total	99,52	98,97	98,75	98,68	99,03	98,12

Fórmula estrutural na base de 32 Oxigênios

TSi	1,955	1,956	1,958	2,007	2,025	2,013
TAI	0,045	0,044	0,042			
TFe ³⁺						
M1Al	0,023	0,032	0,029	0,041	0,058	0,038
M1Ti	0,011	0,009	0,011	0,009	0,009	0,008
M1Fe ³⁺	0,156	0,101	0,110	0,312	0,205	0,313
M1Fe ²⁺	0,367	0,362	0,373	0,252	0,331	0,271
M1Cr						
M1Mg	0,444	0,496	0,477	0,385	0,397	0,370
M2Mg						
M2Fe ²⁺	0,005	0,013	0,002	0,030	0,022	0,023
M2Mn	0,023	0,016	0,023	0,011	0,012	0,014
M2Ca	0,816	0,863	0,855	0,563	0,608	0,556
M2Na	0,156	0,108	0,120	0,386	0,321	0,392
M2K				0,002	0,011	0,002
M2Zr						
Soma	4,000	4,000	4,000	3,998	3,989	3,998
Ca	49,3	49,3	49,4	45,3	44,4	45,0
Mg	26,8	28,3	27,6	31,0	29,0	30,0
Fe ²⁺ +Mn	23,8	22,3	23,0	23,6	26,6	25,0
Q	1,6	1,7	1,7	1,2	1,4	1,2
J	0,3	0,2	0,2	0,8	0,6	0,8
WO	45,1	46,6	46,5	36,2	38,6	35,9
EN	24,5	26,8	25,9	24,8	25,2	23,9
FS	30,4	26,6	27,6	39,0	36,2	40,2
WEF	84,1	89,0	87,8	61,7	68,1	61,2
JD	2,0	2,6	2,5	4,4	7,0	4,2
AE	13,8	8,3	9,6	33,9	24,9	34,7

Tabela 5 - Análises químicas de micro e fenocristais de biotitas das rochas alcalinas da Província Amambay.

Rocha Amostra	Sienodiorito		Sienito		Minette		Fonotefrito		Tefrifonolito		Traquifonolito	
	Pam-49	Pam-49	Pam-39	Pam-39	Pam-37	Pam-37	Pam-56	Pam-56	Pam-61	Pam-61	Pam-52	Pam-52
SiO ₂	38,89	39,36	37,35	37,23	37,07	36,73	36,41	36,76	37,23	36,75	36,68	37,89
TiO ₂	2,77	2,70	2,79	3,04	3,19	3,94	4,12	3,90	4,84	5,20	5,13	2,45
Al ₂ O ₃	10,96	11,30	11,25	11,17	10,46	12,24	14,09	14,05	12,86	12,93	12,76	11,05
FeO	15,32	15,00	20,16	19,71	19,84	18,49	11,72	11,42	14,52	14,43	14,58	18,03
Fe ₂ O ₃												
MnO	0,38	0,45	0,67	0,89	0,58	0,22	0,14	0,15	0,14	0,10	0,13	0,67
MgO	16,26	16,12	17,94	11,75	12,28	12,85	17,30	17,38	16,20	15,54	15,49	13,96
BaO	0,09	0,18	0,07	0,03	0,01	0,65	1,08	1,11	0,92	0,85	1,00	0,13
CaO	0,03	0,03	0,08	0,07	0,07	0,36	0,03	0,01	0,05	0,04	0,01	0,02
Na ₂ O	0,30	0,28	0,20	0,37	0,38	0,45	0,32	0,33	0,31	0,29	0,27	0,36
K ₂ O	9,89	10,02	8,98	8,96	9,37	9,69	9,44	9,51	9,37	9,48	9,60	9,80
NiO	0,01	0,01	0,02	0,02	0,04	0,02	0,05	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01
F	1,50	1,22	0,61	0,79	1,26	0,82	0,33	0,37	0,01	0,14	0,25	2,10
Cl	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,02
Total	96,43	96,63	93,36	94,02	94,45	96,09	95,04	94,99	96,48	95,76	95,90	96,49
O-F-Cl	0,63	0,51	0,26	0,34	0,53	0,35	0,14	0,16	0,01	0,06	0,11	0,89
CTotal	95,80	96,12	93,10	93,68	93,92	95,74	94,90	94,83	96,47	95,70	95,79	95,60
Fórmula estrutural na base de 22 Oxigênios												
Si	5,885	5,913	5,912	5,863	5,860	5,662	5,407	5,469	5,549	5,530	5,534	5,864
Al ^{IV}	1,953	1,999	2,088	2,072	1,948	2,222	2,438	2,491	2,258	2,291	2,268	2,014
Al ^{VI}												
Ti	0,316	0,305	0,332	0,360	0,380	0,457	0,590	0,466	0,543	0,589	0,582	0,285
Fe ³⁺												
Fe ²⁺	1,939	1,884	2,668	2,595	2,622	2,384	1,986	1,472	1,809	1,816	1,839	2,334
Mn	0,048	0,057	0,044	0,119	0,078	0,029	0,019	0,018	0,017	0,013	0,016	0,088
Mg	3,668	3,610	4,002	2,758	2,893	2,953	3,277	3,874	3,599	3,486	3,483	3,222
Ba	0,005	0,010	0,004	0,002	0,001	0,039	0,154	0,063	0,053	0,050	0,059	0,008
Ca	0,005	0,004	0,014	0,012	0,016	0,039	0,007	0,005	0,008	0,006	0,002	0,003
Na	0,088	0,082	0,065	0,113	0,116	0,134	0,093	0,094	0,090	0,083	0,079	0,108
K	1,909	1,921	1,813	1,800	1,889	1,906	1,702	1,809	1,781	1,821	1,848	1,935
Ni							0,010	0,010				
Soma	15,816	15,781	15,640	15,694	15,787	15,786	15,673	15,771	15,707	15,685	15,708	15,861
CF	1,431	1,157	0,614	0,787	1,261	0,800	0,055	0,316	0,007	0,136	0,242	2,059
CCI	0,008	0,014	0,006	0,006	0,005	0,004	0,004	0,001	0,009	0,001	0,003	0,010
Fe/(Fe+Mg)	0,350	0,340	0,500	0,480	0,480	0,450	0,380	0,280	0,330	0,340	0,350	0,420
Mg/(Fe+Mg)	0,650	0,660	0,500	0,520	0,520	0,550	0,620	0,720	0,670	0,660	0,650	0,580

Tabela 6 - Análises químicas de microfenocristais de óxidos Fe-Ti das rochas alcalinas da Província Amambay.

Rocha Amostra	Sienodiorito		Mela-sienito		Sienito		Nefelina sienito		Minette		Analcima fonolito	
	Pam-49	Pam-49	Pam-41	Pam-41	Pam-39	Pam-39	Pam-68	Pam-68	Pam-37	Pam-37	Pam-10	Pam-10
SiO ₂	0,05	0,02	0,02	0,04	0,05	0,03	0,04	0,08	0,02	0,03	0,15	0,39
TiO ₂	1,69	0,27	0,86	1,25	0,77	1,24	10,56	9,86	0,91	0,65	2,77	3,41
Al ₂ O ₃	0,16	0,06	0,23	0,16	0,07	0,11	0,96	1,72	0,20	0,18	0,39	0,39
Cr ₂ O ₃	0,02	0,04	0,03	0,03		0,04	0,04	0,02	0,07	0,08		0,04
FeOT	91,62	92,00	91,89	91,11	90,65	90,06	81,31	79,18	90,69	90,44	84,11	79,88
FeO	32,17	30,53	31,69	31,43	31,10	31,37	40,11	36,78	31,24	30,79	30,06	27,95
Fe ₂ O ₃	66,06	68,30	65,64	66,06	66,17	65,21	45,78	47,11	66,06	66,28	60,05	57,70
MnO	0,63	0,54	0,47	0,55	0,24	0,38	0,17	1,19	0,25	0,25	1,33	3,75
MgO	0,11	0,09	0,10	0,04	0,04		0,05	1,23	0,01	0,09	0,72	0,44
NiO		0,04	0,01		0,01		0,01		0,03	0,02	0,02	0,04
CaO	0,09	0,03	0,08	0,03	0,04	0,01	0,03	0,09	0,08	0,18	0,22	0,50
Nb ₂ O ₅		0,02		0,02	0,06	0,01				0,10	0,01	0,04
Total	100,98	99,94	99,68	99,83	98,54	98,36	97,75	98,08	98,87	98,65	95,72	94,57
				100,01	98,78	98,78	98,93					96,49

Fórmula estrutural na base de 32 Oxigênios	
Si	0,015
Al	0,056
Ti	0,387
Cr	0,004
Fe ²⁺	8,183
Fe ³⁺	15,105
Mn	0,162
Mg	0,051
Ni	
Ca	0,031
Nb	
Soma	23,994
XFe	0,994
XMg	0,006

0,020	0,007	0,014	0,013	0,014	0,008	0,008	0,008	0,004	0,007	0,009	0,049	0,124
0,063	0,083	0,027	0,068	0,027	0,041	0,059	0,059	0,351	0,074	0,065	0,145	0,149
0,338	0,199	0,181	0,257	0,181	0,292	0,142	0,142	2,462	0,214	0,151	0,663	0,825
	0,006		0,008		0,009	0,009	0,009	0,010	0,018	0,021		0,009
8,166	8,059	8,123	8,077	8,123	8,206	8,089	8,089	10,402	8,126	8,025	8,001	7,517
15,204	15,489	15,537	15,348	15,537	15,333	15,621	15,621	10,673	15,446	15,529	14,368	13,949
0,123	0,101	0,062	0,148	0,062	0,101	0,052	0,052	0,045	0,065	0,065	0,359	1,021
0,047	0,033	0,018	0,043	0,018	0,002			0,023	0,003	0,039	0,340	0,209
	0,001	0,003		0,003				0,003	0,007	0,006	0,005	0,009
0,025	0,002	0,013	0,032	0,013	0,004			0,011	0,027	0,061	0,075	0,171
	0,002	0,008	0,005	0,008	0,001				0,001	0,014	0,002	0,006
23,980	23,980	23,986	23,991	23,986	23,987	23,981	23,986	23,992	23,988	23,985	24,007	23,971
0,995	0,996	0,998	0,995	0,998	1,000	1,000	0,998	0,998	1,000	0,995	0,959	0,973
0,005	0,004	0,002	0,005	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,005	0,041	0,027

Tabela 6 - Continuação.

Rocha Amostra	Fonolito		
	Pam-45	Pam-45	Pam-45
SiO ₂	0,25	0,04	0,05
TiO ₂	0,84	1,54	1,19
Al ₂ O ₃	0,29	0,13	0,10
Cr ₂ O ₃	0,01		
FeOT	88,76	87,55	89,53
FeO	30,31	30,53	30,79
Fe ₂ O ₃	64,94	63,35	65,26
MnO	0,97	0,84	0,88
MgO	0,08	0,02	0,03
NiO			0,03
CaO	0,07		0,05
Nb ₂ O ₅		0,01	
Total	97,74	96,46	98,38

Fórmula estrutural na base de 32 Oxigênios

Si	0,079	0,014	0,014
Al	0,106	0,047	0,038
Ti	0,197	0,369	0,280
Cr	0,002	0,001	
Fe ²⁺	7,958	8,136	8,051
Fe ³⁺	15,326	15,176	15,340
Mn	0,257	0,226	0,234
Mg	0,037	0,010	0,014
Ni	0,001		0,008
Ca	0,022		0,015
Nb		0,001	
Soma	23,985	23,980	23,994
XFe	0,995	0,999	0,998
XMg	0,005	0,001	0,002

Tabela 7 - Análises químicas de microfenocristais de granadas das rochas alcalinas da Província Amambay.

Rocha Amostra	Sienito			Fenito			
	Pam-46	Pam-46	Pam-46	Pam-28	Pam-28	Pam-28	Pam-28
SiO ₂	34,11	33,09	34,39	31,99	32,25	32,47	33,82
TiO ₂	3,05	2,95	1,86	8,01	7,03	6,18	4,08
Al ₂ O ₃	0,81	0,61	0,96	0,39	0,39	0,29	0,27
Cr ₂ O ₃	0,01			0,03			0,01
FeO	25,40	24,40	24,45	23,18	23,88	24,15	24,45
MnO	0,41	0,41	0,35	0,37	0,29	0,36	0,78
MgO	0,17	0,22	0,15	0,25	0,23	0,21	0,09
NiO	0,02				0,02	0,01	
CaO	31,85	32,03	32,58	32,21	32,00	32,01	31,99
Na ₂ O	0,16	0,31	0,13	0,37	0,31	0,29	0,28
Total	0,10	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10
FeOcalc	1,259			1,66	1,761	1,3	0,87
Fe ₂ O ₃ calc	26,83	27,12	27,17	23,92	24,58	25,40	26,21
Totalcalc	98,67	96,74	97,58	99,20	98,84	98,51	98,39

Fórmula estrutural na base de 24 Oxigênios

TSi	5,828	5,753	5,914	5,457	5,523	5,579	5,801
TAI	0,162	0,125	0,086	0,079	0,078	0,058	0,055
Soma T	5,990	5,878	6,000	5,536	5,601	5,637	5,856
Al ^{VI}			0,107				
Fe ³⁺	3,450	3,548	3,517	3,071	3,168	3,283	3,383
Ti	0,391	0,386	0,240	1027,000	0,905	0,799	0,526
Cr	0,001			0,004			0,001
Soma A	3,843	3,934	3,865	4,101	4,073	4,082	3,911
Fe ²⁺	0,180			0,237	0,252	0,187	0,125
Mg	0,042	0,057	0,038	0,065	0,058	0,053	0,022
Mn	0,059	0,060	0,051	0,053	0,042	0,053	0,113
Ca	5,832	5,966	6,003	5,887	5,873	5,892	5,880
Ni	0,003	0,001			0,003	0,001	
Na	0,054	0,105	0,044	0,121	0,102	0,097	0,094
Soma B	6,166	6,188	6,135	6,363	6,327	6,281	6,233
Total cat	16,000	16,000	16,000	16,000	16,000	16,000	16,000
Alm							
And	95,5	96,6	94,8	97,4	97,6	98,3	98,4
Gros	2,6	1,3	3,6		0,3		
Pir	0,8	1,0	0,7	1,4	1,2	1,1	0,4
Esp	1,1	1,1	0,9	1,1	0,9	0,7	1,2
Uva				0,1			

Tabela 7 - Continuação.

Rocha Amostra	Analcima fonolito		Fonolito	
	Pam-10	Pam-10	Pam-45	Pam-45
SiO ₂	31,41	31,88	32,96	32,20
TiO ₂	8,43	7,72	5,97	5,53
Al ₂ O ₃	1,57	1,55	1,14	0,28
Cr ₂ O ₃				
FeO	21,83	21,97	23,09	23,74
MnO	0,39	0,41	0,44	0,38
MgO	0,37	0,33	0,23	0,22
NiO		0,03		0,02
CaO	32,19	32,40	30,72	32,09
Na ₂ O	0,16	0,14	0,34	0,26
Total	0,10	0,10	0,09	0,09
FeOcalc	2,10	1,94	3,00	0,40
Fe ₂ O ₃ calc	21,93	22,26	22,32	25,94
Totalcalc	98,55	98,65	97,12	97,31

Fórmula estrutural na base de 24 Oxigênios

TSi	5,372	5,444	5,708	5,596
TAI	0,317	0,312	0,233	0,058
Soma T	5,689	5,756	5,941	0,006
Al ^{VI}				
Fe ³⁺	2,822	2,860	2,909	3,392
Ti	1,084	0,992	0,778	0,722
Cr				
Soma A	3,908	3,852	3,687	4,114
Fe ²⁺	0,300	0,277	0,435	0,059
Mg	0,093	0,083	0,059	0,056
Mn	0,057	0,059	0,064	0,055
Ca	5,899	5,928	5,699	5,975
Ni		0,004		0,003
Na	0,054	0,045	0,115	0,086
Soma B	6,404	6,391	6,372	6,232
Total cat	16,000	16,000	16,000	16,000
Alm				
And	89,9	90,1	92,6	98,3
Gros	6,9	6,9	4,8	
Pir	2,0	1,7	1,3	1,1
Esp	1,2	1,2	1,4	0,6
Uva				

