UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**EVOLUÇÃO GEOLÓGICA PROTEROZÓICA DA REGIÃO
ENTRE MADALENA E TAPERUABA,
DOMÍNIO TECTÔNICO CEARÁ CENTRAL
(PROVÍNCIA BORBOREMA)**

Neivaldo Araujo de Castro

Orientador: Prof. Dr. Miguel Angelo Stipp Basei

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica

SÃO PAULO
2004

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**EVOLUÇÃO GEOLÓGICA PROTEROZÓICA DA REGIÃO ENTRE
MADALENA E TAPERUABA, DOMÍNIO TECTÔNICO CEARÁ
CENTRAL (PROVÍNCIA BORBOREMA)**

NEIVALDO ARAUJO DE CASTRO

Orientador: Prof. Dr. Miguel Angelo Stipp Basei

TESE DE DOUTORAMENTO

COMISSÃO JULGADORA

	Nome	Assinatura
Presidente:	Prof. Dr. Miguel Angelo Stipp Basei
Examinadores:	Dr. Edilton José dos Santos
	Prof. Dr. Elton Luiz Dantas
	Prof. Dr. Ticiano José Saraiva dos Santos
	Prof. Dr. Umberto Giuseppe Cordani

SÃO PAULO
2005

**EVOLUÇÃO GEOLÓGICA PROTEROZÓICA DA REGIÃO ENTRE MADALENA
E TAPERUABA, DOMÍNIO TECTÔNICO CEARÁ CENTRAL
(PROVÍNCIA BORBOREMA)**

Neivaldo Araujo de Castro

DEDALUS - Acervo - IGC

30900016049

Orientador: Prof. Dr. Miguel Ângelo Stipp Basei

TESE DE DOUTORAMENTO
Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica

São Paulo 2004

Para
Sayuri,
meus pais Leda e Nivaldo (in memorian),
prof. Vanderlei Mesquita e Madrinha Loty (responsáveis pela
escolha da geologia),
tio Antônio, os primos de Casa Branca, Suely Pereira Castro,
meu irmão Leandro e família,
demais familiares de Casa Branca, Minas Gerais e Foz do Iguaçu.

Ao final desta jornada, dois sentimentos ficaram marcados. O primeiro, superior às adversidades que a vida me impôs, é de satisfação e orgulho pela conclusão deste trabalho, compensando assim, de certo modo, parte de minha curiosidade geológica, confiança e anseios de familiares, amigos e pesquisadores com quem convivi e convivo.

O segundo, desafortunadamente recheado por frustração, é decorrente do fato de não ter conseguido criar nada muito original ao longo de uma carreira acadêmica, a qual já dura mais de quinze anos. A originalidade, e até mesmo parte da genialidade que raramente é observada, são, em grande parte, adquiridas na infância e começo da adolescência. Nestas fases um papel bastante importante é desempenhado por nossos primeiros mestres. O atual descaso para com o ensino básico (principalmente) e demais níveis escolares em detrimento do intenso ritmo de trabalho e exigências de consumo e produtividade desencorajam em muito o surgimento de idéias fora de moda que sejam férteis para a evolução do conhecimento. Tudo isto tende a mascarar a situação, dando uma falsa impressão que tudo está "fluindo" e crescendo.

Para onde...?

AGRADECIMENTOS

Agradecimento especial aos professores Miguel A. S. Basei e Mário da Costa C. Neto pela orientação e grande ajuda na conclusão deste trabalho. Ao prof. Valdecir Janasi por valiosas sugestões. Ao prof. Silvio Vlach pelo apoio nas determinações U-Th-Pb. Ao prof. Benjamin Bley pelo auxílio em parte dos trabalhos de campo e lembrança de que um dia eu teria que terminar este trabalho. Mauro Geraldês e Ivo Karman (socorro em horas difíceis). Aos profs. da UFPE pela boa recepção (Ignês Guimarães e Adejardo). Não poderia esquecer Edilton Santos (CPRM) por algumas discussões valiosas.

À família Basei pelo companheirismo e ajuda: Miguel, Ivani, Pedro, Giovanni, Bruno e Felipe. Também à família de Suzano (S. Kazue, D. Reiko, Eiji, família Fukushima).

Agradecimentos especiais aos funcionários do Igc-USP. Solange (Nd-Sr), Walter (U-Pb), Liliane (Nd), Key Sato (espectrometria), Claudia R. Passarelli (U-Pb), Arthur (Ar-Ar), Marília (U-Pb). Reynaldo Cuca. Ana Paula e Magali (secretaria da Pós-graduação). Marcos (microsonda). Rosa Belo (inclusões). Vasco (separação de minerais), Samuel (Samuca). Sandra, Paulo e J. (fluorescência de Raios X), Flávio (Raio X), Zé Paulo (LTA). Feinho, Paulinho, Tadeu, Henrique (pela ajuda e grandes partidas de futebol). S. Zé Cearense (xerox). Biotita. Erikson e Pedro (informática). Pessoal noturno do mocotó (Viana, Vanderlei, Ederaldo e Francieto).

Alunos companheiros durante a jornada: Cintia e Carlos Tomba (ajuda inestimável durante os trabalhos de conclusão de tese: estou em dívida!!). Companheiros do Paraná: Osama M. Harara, Helcio Prazeres, Leonardo Cury, Gilberto K., Werner Weber, Claudio (Rochichelli). Pessoal de outros departamentos, mas sempre próximos: Carla Grasso, Lucelene, Torrinha, Nolan. Amigos Latinos: Agustin Codorna e esposa, Paul, Cesar Vinasco e esposa, Andres e esposa, Carolina, Alejandro e esposa. Glorinha pela ajuda com o *abstract* e rápidas discussões termo-barométricas. Sérgio W. (Araci), Dolly, Guano, Karni, Celi (RS), Marcia, Zé Guilherme, Milene (MT).

Não poderia esquecer de Cainho (Zé GOLD), Frankie Baars e familiares pela companhia em boa parte do percurso até aqui.

Ao Marcus L. A. Teixeira (o Marquinhos Jaibaras) pela inestimável ajuda nos trabalhos de campo e inúmeras outras coisas..... tô em dívida!!

À Indústrias Nucleares do Brasil, atualmente nas pessoas de José Roberto, Sr. Givaldo e pessoal residente nas dependências de Itataia (S. Alonso, D. Anita).

Ao pessoal do Ceará: Departamento de Geologia da UFC (professores Mariano C. Branco, Clovis V. Parente, Michel Arthaud (que me apresentou à espetacular geologia nas imediações de Meruoca), Zeca, Guttemberg Martins. Agradecimentos especiais a Luciano Cunha, David, Silvana, Mauro e Tércio Pinéo (companheiros durante o DCR). À CPRM de Fortaleza (Maurílio e Oderson principalmente).

A CAPES pela bolsa que viabilizou a conclusão deste doutoramento. A FAPESP (projeto 00/12128-1), pelo auxílio de projeto onde foram desenvolvidos os trabalhos de campo e análises laboratoriais.

RESUMO

ABSTRACT

CAPÍTULO 1 - Introdução

1.1	Prelúdio	1
1.2	Objetivos, Métodos e Área de Estudo	2
1.3	Aspectos Fisiográficos Gerais	6

CAPÍTULO 2 –Trabalhos Anteriores: geologia e regionalização

2.1	Enquadramento Regional: Província Borborema (PB)	10
2.2	Domínio Tectônico Ceará Central (DTCC)	14
2.3	DTCC: regionalização das unidades litotectônicas e estruturas	25

CAPÍTULO 3 – Registro Paleoproterozóico: Complexo Madalena – Algodões-Choró

3.1	Núcleos Gnáissico-migmatíticos	34
3.2	Associação Ortognáissica	37
3.3	Associação Meta-vulcanossedimentar	41
3.4	Associação Metassedimentar	43
3.5	Geocronologia e Geoquímica Isotópica	46
3.6	Litogeoquímica	56
3.6.1	Rochas gnáissicas da região de estudo	56
3.6.2	Rochas Anfibolíticas: área de estudo e região de Algodões-Choró	63
3.6.3	Rochas Gnáissicas dos arredores de Madalena e região de Algodões-Choró: comparação litogeoquímica e isotópica	69
3.7	Registro Paleoproterozóico: Comentários Finais	74

CAPÍTULO 4: Neoproterozóico II-III

4.1	Associação Clasto-Aluminosa (ACA)	77
4.2	Associação Clasto-alumino-carbonática (ACAC)	78
4.3	Associação Anfibolítica (Meta-basitos)	79
4.4	Associação Vulcânica Alcalina	81
4.5	Litogeoquímica	87
4.6	Geocronologia e Geoquímica Isotópica	104
4.7	Supracrustais Rio Curú-Itaia-Independência: Comentários Finais	108

CAPÍTULO 5: Neoproterozóico-III / Cambriano - Ordoviciano

5.1	Complexo Tamboril-Santa Quitéria	110
-----	----------------------------------	-----

5.1.1. Área de Ocorrência e Características	110
5.1.2 Migmatitos Lagoa Caiçara	111
5.1.3 Metatexitos das Regiões de Jacampará, Fazenda Sapucaíba e Taparuaba	112
5.1.4 Diatexitos: regiões da Serra das Matas, Fazenda Batoque e Sudeste de Taparuaba	113
5.1.5 Granitóides Pós-Orogênicos	120
5.1.6 Litogeoquímica	123
5.1.7 Geocronologia e Geoquímica Isotópica	135
5.2 Estruturas e Metamorfismo	144
5.2.1 Foliação Principal e Lineação de Estiramento Mineral Associada	144
5.2.2 Embasamento (CMACH)	146
5.2.3 Domínio das <i>Nappes</i> Neoproterozóicas	148
5.2.4 Complexo Tamboril-Santa Quitéria (domínio do arco magmático)	151
5.2.5 Zonas de Cavalgamento Tardios	152
5.2.6 Metamorfismo - Aspectos petrográficos e termobarométricos	163
5.2.7 Geocronologia	179
5.2.8 Estruturas geradas por deformações superimpostas aos principais eventos metamórficos	188
5.3 Mineralização Uranífera de Itatira (breve nota)	191
 CAPÍTULO 6: Contexto Geotectônico e Evolução Geológica	199
CAPÍTULO 7: Considerações Finais	209
CAPÍTULO 8: Referências Bibliográficas	212
 APÊNDICES	
I – Aerogeofísica, imagens Landsat, topografia SRTM e Sistemas de Informações Geo-Referenciadas	i
II – Análises Isotópicas	xv
 ANEXOS	
1 – Pontos de afloramento levantados nas Folhas 1:100 000 de Itatira, Taparuaba e porção norte da Folha Boa Viagem	
2 – Região das Folhas Itatira e Taparuaba: Mapa Litotectônico	
3 – Análises Ar-Ar, espectros de idades e informações analíticas	
4 – Análises de Química Mineral	
5 – Análises Litogeoquímicas	

RESUMO

O Domínio Tectônico Ceará Central (DTCC) compreende o segmento crustal integrante do Sistema Orogênico Borborema situado entre os lineamentos Senador Pompeu (sul) e Sobral Pedro Segundo (norte). Os dados disponíveis (lito-estruturais, petrográficos, litogeoquímicos, termo-barométricos, geocronológicos e de geofísica aérea) permitem identificar três unidades lito-tectônicas principais: um embasamento de idade paleoproterozóica (com provável envolvimento de material Arqueano), um conjunto de rochas supracrustais e rochas granito-migmatíticas representantes em sua maior parte das raízes de um arco magmático.

O Complexo Madalena – Algodões-Choró (CMACH), ocorre na porção sudeste da área região estudada, constituindo-se no embasamento paleoproterozóico (2,1 Ga) da região. É composto por ortognaisses de composição quartzo-diorítica a tonalítica, aparentemente intrusivos em uma sequência meta-vulcanossedimentar bimodal. A maioria das rochas deste embasamento é juvenil tendo ainda porções oriundas de protólitos neoarqueanos.

As rochas supracrustais neoproterozóicas, denominadas de Rio Curú-Itaia-Independência (SCRCII), são constituídas por paragnaisses aluminosos, por vezes migmatíticos, metavulcânicas máficas e félsicas, mármore, rochas calciossilicáticas e quartzitos. As informações disponíveis indicam que o vulcanismo e a sedimentação, esta cuja área fonte seria o embasamento paleoproterozóico, tiveram início em ~ 0,77 Ga.

Dados radiométricos do Complexo Tamboril-Santa Quitéria (CTSQ), formado por rochas granitóides de provável raiz de um arco magmático neoproterozóico, indicaram que a evolução desse arco teria ocorrido entre 0,62 e 0,60 Ga. Os migmatitos bandados, denominados de Lagoa Caiçara, de idade pouco mais antiga, mas ainda associados à evolução do arco, originaram-se a partir de uma associação vulcano-sedimentar.

A estruturação da região está associada à instalação de um sistema neoproterozóico de *nappes* que afetaram tanto as rochas supracrustais quanto seu embasamento com sentido de transporte inicialmente para SSW e, posteriormente, para ESSE. As idades mais antigas para o metamorfismo estão no intervalo 0,64 e 0,63 Ga, registradas também, em retro-eclogitos que indicaram pressões entre 14 e 17 Kb e temperaturas entre 700-800 °C. Idades semelhantes estão presentes nos granitóides do CTSQ, atestando a contemporaneidade entre o magmatismo e o metamorfismo/deformação. O principal agrupamento de idades, incluindo-se as monazitas, está ao redor de 0,6 Ga, interpretadas como representativas do *climax* térmico-deformacional da região, durante o qual foram gerados a foliação metamórfica principal Sn e a maior parte dos granitóides do arco.

As rochas afetadas pelas zonas de cavalgamento tardias, com provável idade ao redor de 0,56Ga, registram paragéneses minerais de mais baixa temperatura que as observadas na foliação Sn. Longe destas zonas, a foliação Sn parece ter sofrido apenas dobramentos de diferentes intensidades. Os hidrotermalitos uraníferos da região de Itaia, com idade de 0,59 Ga (Ar-Ar em anfibólio), seriam posteriores a foliação metamórfica regional Sn e pouco anteriores as zonas de cisalhamento tardias.

As idades Ar-Ar mais jovens ao redor de 0,55 Ga, indicam a época do resfriamento regional, após o qual teria ocorrido a colocação dos granitóides pós-orogênicos do tipo Serrote São Paulo e Complexo Anelar Quintas cuja idade está ao redor de 0,47 Ga (U-Pb em zircão). As características híbridas destes granitóides indicam uma provável interação entre o embasamento paleoproterozóico (rochas tipo CMACH) e porções mantélicas.

O cenário geotectônico neoproterozóico proposto envolve subducção de crosta oceânica no sentido N-NW, geração de arco magmático e colisão continental. Esse processo, representa as sucessivas etapas de um Ciclo de Wilson com intervalo de 200 Ma entre a sedimentação e os granitóides anorogênicos.

ABSTRACT

The Ceará Central Tectonic Domain (CCTD), part of Borborema Orogenic System, comprises the crustal segment between the Senador Pompeu (to the south) and Sobral-Pedro Segundo (to the north) lineaments. The available data (litho-structural, petrographic, lithogeochemistry, geochronological, termobarometric and airborne geophysics) indicate three major litho-tectonic units: a paleoproterozoic basement (with some Archean protholiths), an association of neoproterozoic supracrustal metamorphic rocks and arc-related granitoid-migmatitic association.

The Paleoproterozoic basement (2.13Ga), called Madalena-Algodões-Choró Complex (MACHC), is composed of quartz-diorite to tonalitic orthogneisses intrusives in a bimodal metavolcanosedimentary sequence. The predominance of Paleoproterozoic Nd model ages suggest a juvenile origin for these rocks with some rocks also indicating Neoarchaeon protoliths.

Rio Curú-Itaia-Independência Neoproterozoic supracrustal rocks (RCIISC), in which volcanism and sedimentation started around 0.77 Ga, is represented by an association of aluminous migmatitic paragneisses, mafic to felsic metavolcanic rocks, marbles, calc-silicate rocks and quartzites. Most of their sedimentary protoliths come from different sources located in the Paleoproterozoic basement.

Radiometric data from the Tamboril-Santa Quitéria Complex (TSQC), composed of neoproterozoic arc-related granitoids, indicate ages ranging from 0.62 to 0.6 Ga. On the eastern border these granitoids have also interacted with the metavolcanosedimentary units forming the Lagoa Caiçara migmatites.

A Neoproterozoic nappe system developed between 0.64 and 0.60 Ga involving both the supracrustal rocks and its basement is proposed for the region. The oldest metamorphic ages range from 0.64 to 0.63 Ga, to which a tectonic transport to SSW and eclogite-facies metamorphism ($P \sim 14-17\text{Kb}$ and $T \sim 750-800\text{ }^{\circ}\text{C}$) are associated. Similar ages related to the oldest arc-related granitoid, argue for the contemporaneity between magmatism and metamorphism/deformation. The magmatic, metamorphic and deformational climax registered in all units occurred around 0.6 Ga (including most U-Pb monazite ages).

The rocks associated to the main late thrust zones (around 0.56Ga) register lower-temperature mineral assemblages than those found in the S_n planes. This late foliation (S_{n+1}) is normally mylonitic and is restricted only to the shear zones. The uraniferous hydrothermal deposits from Itaia, whose best age 0.59 Ga (Ar-Ar in amphibole) was not affected by S_n and predates the late shear zones.

The youngest Ar-Ar ages, obtained in micas, indicate that 0.55Ga is the main regional cooling period, after which the region was only affected by the 0.47Ga post-orogenic granitoid rocks such as Serrote São Paulo-type and Quintas anelar Complex. The geochemical and isotopic characteristics of these rocks suggest a paleoproterozoic basement plus mantle material contribution to the genesis of these granitoids.

A geotectonic scenario involving an N-NW oceanic crust subduction, magmatic arc generation and continental collision is proposed, representing the different stages of a 200Ma Wilson Cycle.

CAPÍTULO 1

Introdução

1.1 Prelúdio

O Estado do Ceará possui ampla e variada geologia pré-cambriana constituída por litologias com idades arqueanas a neoproterozóicas. Apesar da presença de boas exposições e inúmeros estudos realizados, ainda são muitas as lacunas no conhecimento envolvendo a cartografia e interpretações das relações entre o embasamento (Arqueano e Paleoproterozóico) e as litologias mais novas (representadas pelas coberturas metassedimentares, maciços granito-gnáissico-migmatíticos e granitóides intrusivos).

Na região de estudo, situada no Domínio Tectônico Ceará Central (DTCC), os resultados obtidos permitiram uma melhor discriminação entre o embasamento paleoproterozóico (Complexo Madalena – Algodões-Choró, ~2.1 Ga) e o conjunto de supracrustais neoproterozóicas (Rio-Curú-Itaia-Independência, aparentemente depositadas em torno de 0,77 Ga). Em muitos casos tal distinção não é clara, devido ao intenso evento tectono-termal (ocorrido durante o neoproterozóico III) a que estas duas unidades lito-tectônicas foram submetidas. Este evento encontra-se melhor registrado nas rochas supracrustais, onde foram recuperadas feições metamórficas e deformacionais indicativas da atuação de processos de subducção e *nappes* tectônicas em um contexto colisional parecido com o Himalaiano. As características isotópicas presentes nas diferentes unidades lito-tectônicas estudadas e a relação espacial entre os diferentes tipos de metamorfismo registrado nas rochas supracrustais com as rochas granito-migmatíticas do arco magmático Tamboril-Santa Quitéria apontam para uma subducção para N-NW. Encerrando o processo orogenético em questão ocorre ainda um expressivo volume de granitóides pós-orogênicos (~ 0.47 Ga), situados somente no domínio do Complexo Tamboril-Santa Quitéria ou a N-NW deste.

A exposição dos tópicos abordados neste trabalho será feita tentando obedecer a ordem cronológica do registro encontrado. Contemplará inicialmente os objetivos que nortearam o desenvolvimento deste trabalho, a situação geográfica da área de estudo e os métodos de trabalho empregados. A seguir, um apanhado dos trabalhos anteriores sobre a

geologia regional e processos evolutivos maiores conhecidos até o momento para a Província Borborema, e em maior detalhe para a área de estudo e o DTCC (Capítulo 2). Nos capítulos 3, 4 e parte do Capítulo 5, a caracterização e evolução geológica das unidades lito-tectônicas identificadas é feita através da exposição das feições de campo, petrográficas, litogeoquímicas e isotópicas. Estruturas e metamorfismo são enfocados separadamente, previamente à colocação do modelo tectônico proposto, e servindo de base para o modelo de evolução geológica responsável pela geração do quadro geológico observado (Capítulo 6). Por último, são expostas algumas considerações finais e recomendações úteis para que no futuro sejam tratadas questões que permaneceram em aberto. Pormenores relacionados aos trabalhos envolvendo as informações aerogeofísicas, LANDSAT, sistema de informações geo-referenciado e preparação de amostras destinadas às análises isotópicas encontram-se nos apêndices I e II. Detalhes sobre os resultados cartográficos, litogeoquímicos, etc., podem ser encontrados nos anexos 1 a 5.

1.2 Objetivos, Métodos e Área de Estudo.

O estudo realizado teve como objetivo central possibilitar uma melhor compreensão da evolução geológica registrada nas unidades proterozóicas situadas no seio do então conhecido Domínio Tectônico Ceará Central (DTCC). Como área para o desenvolvimento dos trabalhos, foi escolhido o retângulo correspondentes às Folhas plani-altimétricas 1:100 000 de Taparuaba e Itatira (DSG/SUDENE, 1972). A figura 1.1 traz a localização, principais vias de acesso e localidades dentro e nas adjacências da área estudada.

Para atingir o objetivo central uma série de objetivos menores foi colocada, sendo estes: a) caracterização dos principais tipos rochosos integrantes de cada unidade lito-tectônica maior; b) levantamento de um acervo litogeoquímico; c) caracterização e entendimento das estruturas e metamorfismo associado; d) levantamento de informações isotópicas úteis à caracterização e balizamento temporal dos principais eventos tectono-termais; e) melhoria da cartografia geológica existente.

O método de trabalho adotado contemplou as seguintes atividades:

- 1) Levantamento inicial de informações: principais bibliografias sobre a geologia do DTCC, Estado do Ceará e evolução da Província Borborema. Compilação digital geo-referenciada envolvendo informações plani-altimétricas e geológicas, imagens LANDSAT, informações aerogeofísicas, etc.;

Figura 1.1: Localização e principais vias de acesso da área de estudo.

- 2) Montagem do acervo de informações geo-referenciadas: dada a grande e variada gama de informações a serem trabalhadas optou-se por trabalhar e analisar estas sob a forma de informações digitais espacialmente geo-referenciadas. Inicialmente, cada tipo de informação foi trabalhada em programas destinados a entrada de dados (AUTOCAD[®], Excel[®]) e em programas úteis tanto para a entrada de dados como a geração de temas específicos para serem utilizados nas interpretações futuras (OASIS MONTAJ[®], ERMAPPER[®]). Após a geração dos diferentes temas iniciais (mapas geológicos existentes, GRIDs aerogeofísicas e imagens LANDSAT), estes foram integrados no sistema de informações geográfica utilizado, no caso, preferencialmente as plataformas ARCVIEW[®] e ARCGIS[®]-ESRI. Nesta plataforma, foram gerados mapas temáticos comportando dois ou mais tipos de informações, as quais puderam ser utilizadas tanto no planejamento como na execução das atividades de campos subjacentes;
- 3) Trabalhos de campo: destinados ao levantamento de pontos de afloramento preferencialmente dispostos de forma a permitir a confecção de perfis lito-estrutural contínuos e o mais transversal possível à principal estruturação regional, previamente observada tanto na cartografia existente como nas imagens aerogeofísicas e LANDSAT. Durante os trabalhos de campo, foram levantadas para cada ponto as coordenadas UTM a partir de GPS; relações lito-estruturais, com a determinação dos tipos(s) litológico(s), estruturas – foliação(s), lineação(s), caracterização de dobramentos, etc.; coleta de amostras destinadas às análises petrográficas, litogeoquímicas e isotópicas;
- 4) Incorporação das informações de campo ao acervo de informações geo-referenciadas: incorporação feita através da montagem de tabelas de informações geo-referenciadas em Excel[®] e montagem de arquivos vetoriais em AUTOCAD[®];
- 5) Tratamento e análise das informações estruturais: envolveu primeiramente a confecção de mapas contendo as diferentes estruturas levantadas. Em seguida, fez-se a análise das estruturas em mapa com o auxílio de estereogramas confeccionados para a caracterização de estruturas específicas e domínios estruturais homogêneos;
- 6) Integração entre informações de campo e mapas temáticos pré-existentes visando o aprimoramento da cartografia geológica preliminar;
- 7) Preparação de amostras para seções delgadas: realização de cortes transversais e paralelos à lineação de estiramento mineral quando observada;

- 8) Estudos micro-petrográficos: destinados à identificação da mineralogia principal, acessórios e minerais hidrotermais e ínterpéricos. Também, caracterização de feições estruturais (foliação e lineação principais), texturais (possíveis feições indicativas de regimes termo-barométricos) e metamórficas (indicadores qualitativos dos graus metamórficos presentes);
- 9) Análises litogeoquímicas: A preparação das amostras contou com a eliminação de partes intemperizadas, venulações, bandas de composição não desejada, etc; moagem em britador de mandíbula e moinho de ágata até a total pulverização; quarteamento e envio para análise. As análises foram realizadas em dois locais diferentes: 1) Laboratório de Fluorescência de Raios X do Departamento de Mineralogia e Geotectônica do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo; 2) ACME Analytical Laboratories Ltd. no Canadá. O tratamento dos resultados foi feito nas plataformas Excel e MINPET 2.02. O anexo 5 traz os resultados litogeoquímicos utilizados neste trabalho e informações sobre os métodos de análise;
- 10) Análise das informações litogeoquímicas: feita principalmente através de diagramas de dispersão, aluminosidade e alcalinidade (ACNK, por exemplo), padrões de distribuição (ETR e elementos traços), diagramas discriminantes, etc.;
- 11) Análises isotópicas (U-Pb, U-Th-Pb, Sm-Nd e Ar-Ar): ver apêndice II;
- 12) Análise das informações isotópicas: os resultados Sm-Nd foram avaliados preferencialmente em termos do cálculo da idade $T(DM)$ e ϵ_{Nd} (DePaolo, 1981 e DePaolo, 1988). Os programas PBDAT e ISOPLOT (Ludwig, 1998) foram usados no tratamento dos resultados U-Pb, os quais foram avaliados por cálculos de regressão linear e plotados em diagramas tipo concórdia e Tera Wasserburg. Maiores detalhes no apêndice II;
- 13) Termobarometria: efetuada através da determinação de análises químicas pontuais em minerais via microsonda eletrônica (maiores detalhes do procedimento adotado podem ser encontrados no capítulo sobre estruturas e metamorfismo);
- 14) Os principais resultados obtidos e algumas informações originais da literatura foram analisados de forma integrada visando à obtenção de um quadro evolutivo para o contexto geológico trabalhado. Dadas às características da região estudada, esta análise final foi realizada tendo em mente conceitos geotectônicos presentes em trabalhos como de Coney et al. (1980), Coney (1989), Howell (1995), Windley (1995), Rogers (1996) e Unrug (1996);

- 15) A escala de tempo utilizada em toda a exposição a seguir obedece a compartimentação proposta por Fuck (1991).

1.3 Aspectos Fisiográficos Gerais

Situada a cerca de 150 km a sudoeste de Fortaleza (figura 1.1), a região de estudo comporta porções de relevo representativas de elevações residuais e porções já bem arrasadas. As mais arrasadas tendem a predominar em boa parte da área de abrangência do pré-cambriano cearense (figura 1.2 e 1.3).

Em relação à área de estudo propriamente dita (figura 1.4), os seguintes aspectos merecem ser ressaltados:

- 1) A espessura do manto de intemperismo é bastante variável, sendo encontradas regiões onde este é praticamente ausente (afloramento de extensos lajedos de rocha *in situ*). Em alguns casos, a espessura dos solos pode atingir até 10m. Esta variabilidade ocorre sob um clima com predominância de períodos de seca, alternados com escassos e curtos períodos chuvosos. As drenagens são desprovidas de água a maior parte do tempo, mas as dimensões e o considerável entalhamento, observado localmente, são sugestivos de cheias episódicas;
- 2) A erosão das porções mais elevadas se dá principalmente pelas redes de drenagem integrantes das bacias dos rios Curú (NE), Acaraú (NW) e Quixeramobim (SE);
- 3) Com exceção das regiões mais elevadas, a vegetação mais expressiva encontra-se sempre associada aos depósitos inconsolidados das maiores drenagens (figura 1.3). As demais áreas ou são desprovidas de vegetação (lajedos) ou possuem vegetação tipo caatinga;
- 4) A análise da figura 1.4 mostra que praticamente todas as feições de relevo observadas são em maior ou menor grau controladas pelo contexto lito-estrutural subjacente. Dentro deste quadro, merece ser destacado: a) várias feições de relevo descrevem o contexto lito-estrutural pré-cambriano. São facilmente observados lineamentos de relevo negativo e positivo (cristas), orientados segundo a estruturação principal (variável conforme a região); b) alguns expressivos lineamentos de relevo possuem associações com contatos e falhamentos encontrados. O falhamento Rio Groaíras, por exemplo, é caracterizado por uma associação de lineamentos de relevo negativos e positivos orientados segundo a direção geral N30W; c) presença de marcantes

lineamentos de relevo negativo orientados em torno de N70E. Próximo a esta direção podem ser encontradas várias ocorrências de diques básicos, tais como as que ocorrem próximo às localidades de Itatira e a norte de Santa Quitéria (a noroeste da região estudada); d) as maiores elevações associam-se às ocorrências de quartzitos situados na região central da área de estudo, porém, importantes elevações também ocorrem associadas a gnaisses migmatíticos e ainda a litologias situadas no domínio do Complexo Tamboril-Santa Quitéria.

Figura 1.2: Topografia SRTM considerando o Domínio Tectônico Ceará Central e adjacências.

Figura 1.3: LANDSAT-5\TM, cena 217_063 de julho de 1997.
RGB TM5-TM4-TM3.

Figura 1.4: Topografia SRTM da região compreendida pelas Folhas de Itatira (sul) e Taparuaba (norte, acima da latitude S4°30').

CAPÍTULO 2

Trabalhos Anteriores: Geologia e Regionalização

O levantamento e análise de vários trabalhos prévios mais relevantes para alcançar o objetivo central aqui considerado, contemplaram em princípio os aspectos tectono-estratigráficos da Província Borborema. Em um segundo momento, foi dada ênfase a trabalhos sobre a geologia do Domínio Tectônico Ceará Central (DTCC). Para este domínio foram levantadas as relações espaciais e temporais conhecidas envolvendo litologias do embasamento (Arqueano a Paleoproterozóico), rochas supracrustais, consideradas até o momento como de idade Neoproterozóica e a larga ocorrência do magmatismo granitóide Proterozóico. Para a porção centro-norte do DTCC, as relações espaciais e regionalização entre as diferentes unidades litotectônicas (ULTs) foram melhor discutidas, considerando conjuntamente a geologia em escala 1:500 000 presente em CPRM (2003) e ainda informações aerogeofísicas e LANDSAT.

2.1 Enquadramento Regional: Província Borborema (PB)

A proposta inicial de Almeida *et al.* (1977) e Almeida *et al.* (1981) coloca a PB como integrante da porção nordeste da Plataforma Sul-Americana, representada por uma região com marcante registro da atuação de fenômenos tectono-termais Neoproterozóicos.

Na década de 1980, inúmeros estudos originaram modelos evolutivos considerando uma evolução ocorrida entre o Arqueano e o Neoproterozóico. E uma característica marcante nestes modelos, é a presença de grande volume de crosta arqueana em contraste a regiões com rochas neoproterozóicas ou intensamente retrabalhadas neste período.

Mais recentemente, estudos sistemáticos U-Pb e Sm-Nd por toda a PB têm ajudado a configurar um quadro de evolução crustal mais realista em termos dos eventos tectono-termais e processos de geração e retrabalhamento crustal. Van Schmus *et al.* (1995 e 1998) propõem que a PB é constituída por um sistema complexo de domínios tectônicos, geralmente balizados por grandes zonas de cisalhamento, compostos por núcleos

arqueanos menores e grande volume de embasamento gnáissico paleoproterozóico. Rochas supracrustais com idades variáveis, preferencialmente entre o Meso e Neoproterozóico, e granitogênese sin a tardi-cinemática em relação ao contexto tectono-termal Neoproterozóico (Brasiliano) completam o quadro. A figura 2.1 procura ilustrar, em termos gerais, a configuração espacial e constituição dos principais domínios tectônicos reconhecidos até o momento para a PB.

Figura 2.1: Principais domínios tectônicos conhecidos para a Província Borborema. Área de estudo em retângulo. Fonte: modificada de Van Schmus *et al.* (1998) e Brito Neves *et al.* (2000).

Segundo Brito Neves *et al.* (2000), com base nas características geológicas, grandes lineamentos transcorrentes, informações isotópicas, etc., a PB pode ser subdividida nos seguintes domínios tectônicos:

a) Domínio Meridional (DTM): situado entre o Lineamento Pernambuco e a borda norte do Cráton São Francisco. É composto por vários subdomínios internos (Cinturões Rio Preto, Sergipano, Riacho do Pontal e pelo Maciço Pernambuco-Alagoas-MPA). O MPA destaca-se entre os cinturões de dobramento por possuir uma associação granito-migmatítica com idade de cristalização predominantemente Neoproterozóica, mas com diferentes graus de herança (arqueana a mesoproterozóica);

b) Domínio da Zona Transversal (DTZT): situado entre os Lineamentos Patos e Pernambuco e tem como principal característica a presença de rochas mesoproterozóicas formadas durante a orogenia Cariris Velhos (0,95 – 1,0 Ga; Brito Neves *et al.* 1995a, Van Schmus *et al.* 1995, Kozuch *et al.* 1997). Santos (1996) e Santos *et al.* (1997) sugerem que a porção central e oriental do domínio Zona Transversal é composta por três terrenos distintos, sendo estes: a) Alto Pajeú (preferencialmente composto por ortognaisses e menor volume de rochas supracrustais, ambos associados à orogenia Cariris Velhos; b) Alto Moxotó (predomínio de embasamento Paleoproterozóico com alguns vestígios de rochas arqueanas e corpos de granitóides neoproterozóicos); c) Rio Capibaribe (comportando duas grandes seqüências de rochas supracrustais meso a neoproterozóicas, em meio as quais afloram alguns núcleos de embasamento paleoproterozóico);

c) Domínio Rio Grande do Norte (DTRGN): situado entre os lineamentos de Senador Pompeu e Patos, encerra em seus limites o núcleo arqueano mais antigo da PB conhecido até o momento, inserido no Maciço Caldas Brandão (Dantas, 1997 e Dantas *et al.* 1997). Como representante de rochas de idade arqueana ainda ocorrem as litologias encerradas no Complexo Granjeiro (Fetter, 1999). O DRGN ainda é caracterizado por larga ocorrência de gnaisses paleoproterozóicos, os quais envolvem os núcleos arqueanos acima mencionados e ainda constituem o embasamento das diversas seqüências de rochas supracrustais presentes. As seqüências supracrustais podem ser agrupadas em dois tipos principais: a) Staterianas (1,8 a 1,7 Ga; Brito Neves *et al.* 1995b, 2000), representadas pelas ocorrências de Jaguaribe, Orós, Peixe Gordo, Encanto; estas algumas vezes englobadas sob a denominação genérica de Faixa Jaguaribe-Oeste Potiguar); b) Neoproterozóicas: Caipu, Lavras, Mangabeira, Iara-Quimani e Seridó. Neste domínio, também é grande a quantidade de corpos granitóides de idade neoproterozóica;

d) Domínio Ceará Central (DTCC): o domínio onde se encontra inserida a área de estudo (figura 2.1), situado entre os Lineamentos Transbrasiliano e Senador Pompeu. O DTCC, a exemplo do DTRGN, encerra importante ocorrência de rochas arqueanas, representados pelo Maciço Tróia-Pedra Branca-Mombaça (Pessoa *et al.* (1986), Brito Neves *et al.*, (2000) e Fetter, (1999). Em termos do embasamento paleoproterozóico o DTCC possui muitas semelhanças com o DRGN, mas ainda não foram encontrados no primeiro registros da sedimentação Stateriana. Outra diferença marcante entre os dois domínios é a presença de um grande e contínuo complexo granito-migmatítico no DTCC

mais recentemente interpretado como um grande arco magmático de idade neoproterozóica (Complexo Tamboril-Santa Quitéria ou Batólito Santa Quitéria). No DTCC, outros complexos granitóides importantes e de idade neoproterozóica ainda estão presentes, sendo representados pelas ocorrências de Quixadá/Quixeramobim, Serra Azul e núcleo granito-migmatítico de Maranguape. Os registros supracrustais (até o momento tidos como de idade neoproterozóica) são representados por faixas contínuas como a que ocorre englobando as localidades do Rio Curu, Itataia e Independência ou ainda ocorrências descontínuas como as que ocorrem na região de Quixeramobim, Guaramirangá, Trapiá, oeste da localidade de Nova Russas e sul de Crateús. A geologia deste domínio encontra-se detalhada mais a frente;

e) Domínio Médio Coreau (DMC): situado a norte do Lineamento Transbrasiliano e a sul da margem retrabalhada do Cráton São Luis. Neste domínio, é comum a presença de um embasamento gnáissico paleoproterozóico juvenil formado próximo a 2,35 Ga (Fetter, 1999). Ocorrem ainda supracrustais (Grupos Ubajara e Martinópolis) de idade preferencialmente neoproterozóica (Fetter, 1999; Santos, 1999). Granitóides de idade neoproterozóica situam-se preferencialmente próximo ao Lineamento Transbrasiliano (Meruoca e Mucambo), ou ainda distantes deste para NW (granitóide Chaval).

Com respeito a propostas de compartimentação da PB ainda merecem destaque os trabalhos de Van Schmus *et al.* (1995 e 1998). Estes autores consideram a PB como sendo constituída por três grandes Subprovíncias (SP), sendo estas: **a)** SP1: situada entre o Lineamento Patos e a borda norte do Cráton São Francisco, e neste caso o Lineamento Pernambuco não representaria um importante limite crustal entre os Domínios Meridional e a Zona Transversal; **b)** SP2: situada entre os Lineamentos Transbrasiliano e Patos, e neste caso também o Lineamento Senador Pompeu não representaria importante descontinuidade crustal entre os Domínios Ceará Central e Rio Grande do Norte. Na concepção de Van Schmus *et al.* (1998), Brito Neves *et al.* (2000) e Fetter *et al.* (2000), a SP2 deve ter sido um grande fragmento do Supercontinente Atlântica, conforme a proposta de Rogers (1996); **c)** SP3: situado a norte do Lineamento Transbrasiliano, e aparentemente estendendo-se até a borda retrabalhada do Cráton São Luis.

2.2 O Domínio Tectônico Ceará Central (DTCC)

Quando se deixa a escala regional para analisar em maior detalhe as unidades constituintes dos diferentes domínios tectônicos atrás mencionados, percebe-se que talvez o maior problema no entendimento da evolução, e mesmo da cartografia existente para o Pré-cambriano cearense, reside na falta de um estudo adequado ao contexto geológico. Em uma região caracterizada pelo elevado grau metamórfico e considerável aloctonia, uma cartografia com definição de unidades lito-estratigráficas locais, e a indevida extrapolação ou não destas a nível regional, pode conduzir a interpretações um pouco distantes da mais apropriada, visto a complexidade litotectônica presente. Para regiões com essas características, o estudo mais indicado é aquele que contempla a presença de terrenos tectono-estratigráficos (TTE) e a complexidade lito-estrutural decorrente da justaposição destes. Como TTE neste caso, é conveniente a definição usada por Howell (1995), a qual coloca sob esta denominação um pacote ou estrato rochoso, limitado por falhamento, alóctone e que possui uma história geológica distinta das unidades geológicas adjacentes. O mesmo autor adverte que para a definição de um TTE é necessário um conjunto conciso e coerente de vários tipos de informações (lito-estruturais, isotópicas, geoquímicas, etc.). No presente estudo, de certo modo expandiu-se a linha de pensamento que considera a PB subdividida em Domínios Tectônicos. Isto foi feito considerando as unidades maiores, constituintes dos grandes domínios, como Unidades Litotectônicas. Neste contexto, as ULTs representam um conjunto rochoso delimitado por falhamentos, com características litológicas, estruturais, metamórficas e isotópicas distintas dos outros conjuntos rochosos adjacentes. Dentro deste quadro, considerando a área de estudo e adjacências, as seguintes ULTs maiores foram definidas: Complexo Madalena – Algodões-Choró, Supracrustais Rio Curú-Itataia-Independência e o Complexo Tamboril-Santa Quitéria. A possibilidade destas unidades constituírem verdadeiros terrenos tectono-estratigráficos é discutida no capítulo 6. O termo Complexo é aqui usado no sentido de que as relações espaciais e temporais entre as diferentes litologias constituintes de uma unidade ainda são pouco conhecidas.

Considerando primeiramente a área de estudo e suas adjacências pode-se dizer que a distinção entre o embasamento, as rochas supracrustais e granitóides, é contemplada desde a primeira síntese geológica feita para o Estado do Ceará (CPRM, 1983). Nesta época, importante caracterização de uma porção das supracrustais em questão foi realizada por Mendonça *et al.* (1985), a qual foi considerada na elaboração do mapa geológico

presente no anexo 2. Atualmente, a CPRM utiliza o termo Complexo Ceará (CPRM, 2000 e 2003) para englobar as Unidades Independência e Canindé (figura 2.2). Conforme visto mais adiante, somente a Unidade Independência, composta por paragneisses, micaxistos, meta-calcareos, cálcio-silicáticas, quartzitos e anfibolitos integra as Supracrustais Rio Curu-Itataia-Independência. Muitos dos constituintes litológicos atribuídos à Unidade Canindé permitem que ela seja discriminada do embasamento paleoproterozóico subjacente ou de litologias já constituintes das SCRCII. Por isso, tal divisão deve ser revista. Abaixo se tem uma revisão considerando as principais ULTs constituintes do DTCC, e uma regionalização destas pode ser visualizada no mapa apresentado na figura 2.3.

Pelas informações atuais, no DTCC podem ser encontradas quatro Unidades Litotectônicas maiores: a) o núcleo arqueano de Tróia-Pedra-Branca-Mombaça, b) embasamento gnáissico paleoproterozóico, c) rochas supra-crustais neoproterozóica; d) complexos granito-migmatíticos e granitóides de idade neoproterozóica. Estas unidades possuem ampla distribuição por todo o DTCC, sendo melhor individualizadas na porção central deste domínio. A porção SW do DTCC que se situa a oeste da zona de cisalhamento Tauá ainda carece de melhor caracterização geológica e isotópica para confirmar a proporção entre rochas do embasamento, supracrustais e complexo granito-migmatítico que ali ocorrem. As principais relações espaciais e temporais conhecidas entre as unidades s maiores em questão podem ser visualizadas no mapa presente na figura 2.3.

Com respeito aos limites norte (Zona de Cisalhamento Sobral-Pedro Segundo - ZCSPS) e sul (Zona de Cisalhamento Senador Pompeu – ZCSP) do DTCC algumas observações merecem ser destacadas com base na síntese elaborada por Vauchez *et al.* (1995). A ZCSPS situa-se logo a S-SE da cobertura “molássica” Jaibaras. É identificada como possuindo uma zona de milonitização com mergulhos próximos de verticais, lineação de estiramento próxima da horizontal e espessura de até 1,5 km. As feições lito-estruturais associadas indicam uma movimentação preferencialmente dextral conduzida sob temperaturas relativamente baixas. A ZCSP é representada por uma faixa de deformação com cerca de 350 km de extensão por 10-15 km de espessura e a exemplo da ZCSP possui ainda um importante acúmulo de sedimentos “molássicos” associado (ocorrência de Cococi). Na ZCSP, uma movimentação dextral ocorre associada a uma paragênese de elevado grau metamórfico (migmatitos, milonitos, etc.), sendo que em

alguns locais também podem ser encontradas feições que denunciam reativações mais jovens e mais frias em fácies xisto-verde.

Núcleo Arqueano Tróia-Pedra-Branca-Mombaça (NTPBM)

Os estudos sobre este núcleo datam desde a década de 1970, podendo ser destacados: Brito Neves (1975), Pessoa e Arcanjo (1984), Pessoa *et al.* (1986), Caby *et al.* (1995) e Fetter (1999). Ocorre na região das localidades homônimas, tendo seus limites leste balizado pelo Lineamento Senador Pompeu, a oeste e a norte pelos gnaisses do embasamento paleoproterozóico. Ainda, a Zona de Cisalhamento Sabonete-Inharé secciona o NTPBM em duas porções distintas, denominada blocos Mombaça (situado a SE e composto preferencialmente por gnaisses granulíticos do tipo TTG – tonalito-tronjhemitogranodiorito) e Tróia-Pedra Branca (situado a NW, composto por uma associação tipo *greentone belt* e melhor estudado devido a seu elevado potencial econômico para Cr e platinóides). Na tabela 2.1 podem ser encontrados resultados U-Pb e Sm-Nd que melhor caracterizam a idade arqueana para o NTPBM. Ainda deve ser lembrada a presença de eventos paleoproterozóicos registrados nestas litologias, inclusive documentados por análise SHRIMP em zircões de gnaisses tonalíticos situados a cerca de 20 km a SW de Boa Viagem (Silva *et al.* 2002). Esta análise revelou a presença de um núcleo mais antigo (3270 ± 5 Ma) e uma borda de alta luminescência (baixo U) sobrecrecida de 2084 ± 14 Ma. Este retrabalhamento também se encontra registrado nas determinações Rb-Sr realizadas por Pessoa *et al.* (1986). Retrabalhamentos durante o Neoproterozóico (~ 570 Ma) foram registrados por análise Ar-Ar feitas nas litologias do bloco Mombaça (Monié *et al.* 1997) e U-Pb em monazita (Fetter, 1999).

Embasamento Gnáissico Paleoproterozóico (EGPP)

Representado por gnaisses, por vezes migmatíticos, de composição quartzo-diorítica a tonalítica. Apesar de ser estudada há muito tempo, somente com estudos mais recentes envolvendo o levantamento de informações U-Pb e Sm-Nd, esta unidade passou a ter uma caracterização distinta das litologias arqueanas e supracrustais mais jovem. Nos trabalhos de Fetter (1999), Martins (2000) e Fetter *et al.* (2003) podem ser encontradas informações isotópicas para tal distinção (tabelas 2.2 e 2.3).

Eγ4m Suíte Granitóide Meruoca: monzonitos, granodioritos e sienitos (rara fase diorítica) com predomínio da fácies equigranular, com granulação de média a grossa, incluindo fácies porfíricas; tons avermelhados a cinzentos ou esbranquiçados.

NP(PP)ts Complexo Tamboril-Santa Quitéria: associação granito-migmatítica, envolvendo granitóides neoproterozóicos, cinzentos e rosados, de granulação variável até termos porfíricos, gnaissificados ou não, em jazimentos de geometrias e dimensões diversas; para e ortognaisses migmatíticos, além de rochas calcissilicáticas, anfibolitos e, localmente, rochas ferríferas e metaultramáficas (relacionadas, no geral, ao Complexo Ceará e sendo, as primeiras, freqüentes como enclaves dos granitóides); tsγ - granitóides dominantes (corpos menores fotointerpretados); tsγ - ortognaisse facoidal milonítico. NP(PP)γc - conjunto similar ao NP(PP)ts.

PPgδ Dioritos e gabros.

PP2γ Ortognaisses granito-granodioríticos, acessoriamente tonalíticos, em parte facoidais e/ou associados a migmatitos.

PPci Unidade Independência: paragneisses e micaxistos aluminosos (em parte migmatíticos), incluindo quartzitos (iq), metacalcários (ica), rochas calcissilicáticas e, mais raramente, anfibolitos (iqx - micaxistos, paragneisses e quartzitos; ipx - paragneisses e micaxistos).

PPcc Unidade Canindé: paragneisses em níveis distintos de metamorfismo-migmatização, incluindo ortognaisses ácidos (p.ex: em cogn) e rochas metabásicas: cβ - metagabros, anfibolitos com ou sem granada, e gnaisses dioríticos, associados ou não a enderbitos; c1 - β metagabros e metaultramáficas serpentinizadas e xistificadas, lentes de quartzitos (cq), metacalcários (cca), rochas calcissilicáticas (ccs), formações ferríferas (cfe) e ferro-manganesíferas, além de metaultramáficas (cμ); cgnl - granulitos máficos, enderbitos e leptinitos; caf - anfibólito gnaisses e/ou anfibolitos; PP(NP)cc - tratos onde são comuns os jazimentos estratóides e diqueiformes de granitóides neoproterozóicos, cinzentos e rosados, gnaissificados ou não e, em parte, facoidais.

PPch Unidade Choró: quartzitos, micaxistos, metarcóseos, metarenitos conglomeráticos e metaconglomerados.

PPad Unidade Algodões: paragneisses diversos, em parte de protólito arcoseano, metabasaltos, anfibolitos, metaultramáficas e formações ferríferas, por vezes associados a *sheets* e diques de ortognaisses leucocráticos e mesotipos; adb - anfibolitos e/ou anfibólito gnaisses associados, em parte, a gnaisses dioríticos e metaultramáticos.

APczm Unidade Mombaça: ortognaisses granodioríticos, graníticos e tonalíticos, geralmente cinzentos, e migmatitos, dominando sobre anfibolitos, metagabros, metaultramáficas, charnockitos (raros), metacalcários e rochas calcissilicáticas (czm - segmento com importante participação de ortognaisses granodioríticos paleoproterozóicos).

APcz Indiferenciado: domínio de ortognaisses cinzentos (TTG), paragneisses e migmatitos, encerrando lentes de anfibolitos/metabasaltos, metagabros, metaultramáficas, metacalcários, micaxistos, gonditos, formações ferríferas/itabiritos (czit) e rochas calcissilicáticas.

Complexo Ceará

Complexo Cruzeta

	Antiforma		Foliação com mergulho indicado		Contato
	Antiforma mergulhante		Foliação com mergulho medido		Falha normal
	Antiforma reclinada		Foliação vertical		Fratura
	Sinforma		Linhação mineral ou de estratamento com caimento indicado		Zona de cisalhamento ou falha indiscriminada, tracejada onde duvidosa
	Sinforma mergulhante		Linhação mineral ou de estratamento com caimento medido		Zona de cisalhamento (ZC) contracional
	Sinforma duplamente mergulhante		Dique e Sif		Zona de cisalhamento transcorrente contracional
	Sinforma reclinada		Lineamentos estruturais		Zona de cisalhamento transcorrente a direita
					Zona de cisalhamento transcorrente a esquerda

Figura 2.2
Geologia 1:500 000
Conforme CPRM (2003).
Área de estudo no retângulo
tracejado branco.

GEOCRONOLOGIA			
RECURSOS MINERAIS			
STATUS DAS MINERALIZAÇÕES			
SUBSTÂNCIAS MINERAIS			
Ag - prata; ag - argila; am - amianto; at - ametista; Au - ouro; ba - barita; Be - berilo; ca - calcário; ci - cianita; em - casim; cr - cromo; cu - cobre; di - diatomito; f - fluor; fd - feldspato; fe - ferro; gf - grafita; gp - gipsita; gr - granada; li - lítio; mg - magnesita; mn - manganês; mu - muscovita; nb - nióbio; ni - níquel; p - fósforo; pb - chumbo; qz - quartzo; re - rocha ornamental; ru - rutílio; sm - estanho; sr - estrôncio; ta - tântalo; ti - titânio; tl - talco; ur - urânio; va - vanádio; vm - vermiculita; w - tungstênio; zn - zinco			

Unidade	Litologia	U-Pb em zircão	Sm-Nd T(DM) em Ga
Tróia-Pedra Branca	Supracrustais, rocha félsica intercalada a vulcânicas máficas.	2776 ± 65Ma	T(DM) = 2,81 ($\epsilon_t=2,1$)
Tróia-Pedra Branca	Gnaiss tonalítico intrusivo nas supracrustais	2675 ± 64Ma	T(DM) = 2,69 ($\epsilon_t=2,5$)
Tróia-Pedra Branca	Embasamento (gnaiss tonalítico)	2773 ± 60Ma	T(DM) = 2,92 ($\epsilon_t=-0,2$)
Mombaça	Gnaisses tonalíticos		T(DM) = 2,78 ($\epsilon_0=-35,4$) T(DM) = 3,04 ($\epsilon_0=-32,8$)
Mombaça	Gnaisses tonalíticos	2857 ± 42Ma	T(DM) = 3,04 ($\epsilon_t=-0,3$)
Mombaça	Gnaisses tonalíticos	2794 ± 77Ma	T(DM) = 2,96 ($\epsilon_t=0,2$)

Tabela 2.1: Informações Sm-Nd e U-Pb em zircões levantadas por Fetter (1999) no Maciço Tróia-Pedra Branca-Mombaça. Valores de ϵ_t calculados para a idade U-Pb em zircões, ϵ_0 = valor de ϵ_{Nd} hoje.

Litologia	U-Pb e Sm-Nd (Ga)
biotita migmatito-gnaiss tonalítico a granodiorítico	U-Pb zircão= 2108 ± 4Ma; T(DM)=2,3Ga $\epsilon_t = 0,7$
enderbito	T(DM)=2,24Ga, $\epsilon_0 = -19,6$
gnaiss tonalítico	T(DM)=2,43Ga, $\epsilon_0 = -25,8$
ortognaiss migmatítico	T(DM)=1,9Ga $\epsilon_0 = -25,6$
gnaiss diorítico	T(DM)=2,36Ga, $\epsilon_0 = -29,0$
gnaiss granítico	T(DM)=2,37Ga, $\epsilon_0 = -27,3$
gnaiss tonalítico	T(DM)=2,25Ga, $\epsilon_0 = -21,4$
biotita-gnaiss	T(DM)=2,31Ga, $\epsilon_0 = -28,1$
gnaiss granítico	T(DM)=2,29Ga, $\epsilon_0 = -27,9$
gnaiss granítico	T(DM)=2,17Ga, $\epsilon_0 = -25,4$
gnaiss tonalítico (leucossoma)	U-Pb zircão= 2130 ± 3Ma; T(DM)=2,44Ga $\epsilon_t = -0,6$
gnaiss tonalítico	T(DM)=2,33Ga $\epsilon_0 = -21,1$
gnaiss tonalítico a granodiorítico	T(DM)=1,98Ga $\epsilon_0 = -21,0$
gnaiss tonalítico	U-Pb zircão= 2140 ± 6Ma; T(DM)=2,27Ga $\epsilon_t = 1,9$
gnaiss tonalítico	T(DM)=2,26Ga, $\epsilon_0 = -24,2$
augen-gnaiss	T(DM)=2,30Ga, $\epsilon_0 = -29,8$
gnaiss tonalítico	T(DM)=2,4Ga, $\epsilon_0 = -30,1$
granito gnáissico com granada	T(DM)=2,35Ga, $\epsilon_0 = -25,4$
enderbito/granulito máfico	U-Pb zircão= 2110 ± 66Ma e 573 ± 35Ma (int. inf.); T(DM)=2,22Ga $\epsilon_t = 1,9$
gnaiss tonalítico a granodiorítico	U-Pb zircão= 2095 ± 11Ma; T(DM)=2,31Ga $\epsilon_t = 0,2$

Tabela 2.2: Informações U-Pb e Sm-Nd do embasamento gnáissico paleoproterozóico no Domínio Ceará Central. Fonte: Fetter (1999) e Fetter *et al.* (2003). Valores de ϵ_t calculados para 2100 Ma, ϵ_0 =valor de ϵ_{Nd} hoje.

LITOLOGIA	U-Pb	Sm-Nd
paragnaisse biotítico		TDM=2,32Ga; $\epsilon_0 = -32,78$; $\epsilon_t = 1,01$
ortognaisse máfico-intermediário com inclusões anfíbolíticas	zircão (2131 ± 11 Ma)	
ortognaisse tonalítico		TDM=2,23Ga; $\epsilon_0 = -22,5$; $\epsilon_t = 1,89$
anfibolito fino		TDM=2,265Ga; $\epsilon_0 = -7,32$; $\epsilon_t = 2,85$
dique meta-andesítico	zircão (2137 ± 34 Ma)	TDM=2,24Ga; $\epsilon_0 = -25,35$; $\epsilon_t = 0,6$
ortognaisse granítico	zircão (2146 ± 12 Ma; média de 7 zircões, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$)	
ortognaisse granítico	zircão (2107 ± 16 Ma; média de 3 zircões, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$)	TDM=2,215Ga; $\epsilon_0 = -28,4$; $\epsilon_t = 0,71$
ortognaisse granítico	2178 ± 16 Ma; 1 zircão ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$)	TDM=2,295Ga; $\epsilon_0 = -34,38$; $\epsilon_t = 0,9$
granada-anfibolito		$\epsilon_0 = -5,66$; $\epsilon_t = 2,13$
ortognaisse tonalítico		TDM=2,257Ga; $\epsilon_0 = -22,88$; $\epsilon_t = 1,53$
anfibolito fino		$\epsilon_0 = -6,63$; $\epsilon_t = 2,21$
anfibolito fino		$\epsilon_0 = -5,15$; $\epsilon_t = 2,18$
dique tonalítico		TDM=2,249Ga; $\epsilon_0 = -23,0$; $\epsilon_t = 1,63$
anfibolito fino		$\epsilon_0 = -3,46$; $\epsilon_t = 1,65$
anfibolitos		isócrona, 4 pts RT = 2240 ± 50 Ma

Tabela 2.3: Informações U-Pb e Sm-Nd do embasamento gnáissico paleoproterozóico no Domínio Ceará Central levantadas por Martins (2000). Valores de ϵ_t calculados para 2100 Ma, ϵ_0 =valor de ϵ_{Nd} hoje

Fetter (1999) e Fetter *et al.* (2003) determinaram que o EGPP consiste basicamente de uma crosta continental formada num intervalo de tempo de cerca de 50 Ma, durante a orogenia Transamazônica, através de colagens sucessivas de arcos de ilha, tendo ocorrido durante este processo muito pouca contribuição de materiais crustais mais antigos.

Em estudos de maior detalhe, Martins (2000) também constatou a existência de rochas paleoproterozóicas, e englobou estas na Suíte Metamórfica Algodões-Choró. Na região homônima, este autor constatou a existência de uma associação de para-gnaisses e anfibolitos intrudidos por ortognaisse de composição tonalítica a granodiorítica. Para a geração de tais rochas, Martins (*op cit.*) propõe que o registro supracrustal (metassedimentos e anfibolitos)

teria se formado em uma bacia do tipo retro-arco associada a um ambiente de arco insular próximo a 2,2 Ga. Para a suíte em questão, Martins e Oliveira (2003) apontam para a presença de anfibolitos com assinatura de basaltos típicos de platôs oceânicos. O conjunto intrusivo (ortognaisses) teria então intrudido estas rochas por volta de 2,1 Ga. Para Martins *op cit.*, este registro representaria então um segmento juvenil da orogênese Transamazônica/Eburneana (~2,1 Ga).

Neste trabalho, constatou-se que apenas parte do EGPP possui caráter juvenil. Em uma outra fração, as informações Sm-Nd mostraram a existência de rochas com herança crustal mais antiga, fato esse já alertado por Van Schmus *et al.* (1998) e Fetter *et al.* (2000).

Supracrustais Neoproterozóicas

O DTCC comporta uma série de ocorrências de rochas supracrustais, dispostas tanto a NW como SE do Complexo Granito-migmatítico Tamboril- Santa Quitéria. Estas supracrustais geralmente apresentam-se metamorfasadas em fácies anfibolito alto sob pressões moderadas a elevadas e portando um bandamento tectônico de transposição de baixo ângulo, sugestivo de aloctonia sobre o embasamento paleoproterozóico subjacente. Nestas supracrustais, a associação sedimentar original é caracterizada por uma predominância de rochas psamíticas e volumes menores de porções carbonáticas. Inúmeras ocorrências de anfibolitos representam provavelmente o magmatismo básico sin-sedimentar associado a estes sedimentos.

Das supracrustais em questão, a ocorrência mais expressiva e com maior continuidade espacial corresponde à faixa sinuosa que engloba as localidades do Rio Curu (São Luis do Curu), Itataia e Independência (Supracrustais Rio-Curu-Itataia-Independência – SCRCII). Preliminarmente, as SCRCII foram inseridas nos Sistemas Vestigiais (Santos e Brito Neves, 1984), dado seu caráter descontínuo em meio ao embasamento gnáissico-migmatítico. Posteriormente, seguindo a antiga denominação proposta por Small (1914; *in* Santos e Brito Neves, 1984) boa parte destas rochas foram incluídas no Grupo Ceará, nomenclatura esta também presente no mapa geológico do Estado do Ceará de 1983 (CPRM, 1983).

Em zircões de um nível meta-riolítico encontrado próximo à localidade de Independência foi obtida uma idade U-Pb de 772 ± 31 Ma (Fetter 1999), sendo esta a única idade disponível a balizar a idade de sedimentação das SCRCII. Para este autor, esta sedimentação pode possuir íntima relação genética com o então denominado Batólito Santa Quitéria e, a diferença temporal desta idade com as oriundas de determinações U-Pb mais antigas encontradas no batólito poderiam ser explicadas pelas baixas quantidades de

informações disponíveis para a época. Isto ainda levou Fetter (1999) e Fetter *et al.* (2003) a considerar os metassedimentos de Independência como depositados em uma posição de *back-arc* em relação ao Batolito de Santa Quitéria. Algumas idades T(DM) levantadas por estes autores ajudaram a elaborar tal modelo. No entanto, conforme visto mais adiante, várias idades T(DM) aqui levantadas, e também presentes em Santos *et al.* (2003), indicam que a contribuição do embasamento paleoproterozóico como área-fonte para a geração destes metassedimentos é bem mais significativa. Uma característica marcante das supracrustais em questão é a impressão nestas do evento tectono-termal neoproterozóico (Brasiliano), registrado sob a forma de intenso metamorfismo e superfície metamórfica com baixo mergulho. Estas características levaram Caby e Arthaud (1986) e Arthaud *et al.* (1988) a interpretarem a presença de extensas *nappes* tectônicas neoproterozóicas com vergência genérica para sul. Nesse contexto, a idade Neoproterozóica para tal evento tectono-termal ainda estaria de acordo com as informações Ar/Ar apresentadas por Monié *et al.* (1997).

Complexos Granitóides de Idade Neoproterozóica

São representados principalmente pela unidade anteriormente conhecida como Maciço Santa Quitéria de Santos e Brito Neves (1984) ou Complexo Tamboril-Santa Quitéria conforme Campos *et al.* (1976; in Santos e Brito Neves, 1984) e CPRM (1983).

A principal e mais volumosa exposição desta unidade ocorre no trecho Tamboril - Santa Quitéria – Itapipoca, onde foram caracterizadas rochas migmatíticas, granitóides e gnáissicas com porções anfibolíticas e cálcio-silicáticas. Sob esta denominação, ainda foi enquadrada a grande área de exposição de granitos-migmatitos que ocorrem nas imediações de Maranguape.

Modernamente, Fetter (1999) e Fetter *et al.* (2003) têm tratado o Complexo Santa Quitéria como um complexo granito-migmatítico neoproterozóico, com dimensões batolíticas e com fases de magmatismo sucessivas que também são encontradas em outros arcos magmáticos descritos na literatura. As seguintes fases são descritas por estes autores: 1) Pré-colisional: granitóides geralmente porfiríticos, dioríticos a granodioríticos, alto Ca e baixo K, sendo comum a presença de fácies exibindo foliação marcante, gnaissificação e migmatização; 2) “*pink-grayish migmatites*”: ricos em quartzo (granodioritos a granitos), presença comum de estruturas nebulítica e *schlieren*, localmente ricos enclaves de gnaisses dioríticos e anfibolitos; 3) granitóides pouco deformados: menos abundantes, representados por granodioritos e monzogranitos cinzentos, localmente com enclaves dioríticos arredondados; 4) fase final: caracterizada por fácies megaporfíricas abundantes e volumes

subordinados de fácies equigranulares com alto K e baixo K (monzogranitos e álcali feldspato granitos).

Para Fetter (1999) e Fetter *et al.* (2003) a idade dos granitóides deformados (supostamente os mais antigos do batólito) situa-se entre 637 e 623 Ma (U-Pb em zircões). Ainda, inúmeras determinações Sm-Nd mostraram a existência de uma fonte mista para os granitóides em apreço, ocorrendo tanto a participação de uma fonte juvenil neoproterozóica como do embasamento paleoproterozóico adjacente. A tabela 2.4 traz a compilação das informações Sm-Nd levantadas por estes autores.

Litologia	U-Pb, Sm-Nd
granitóide porfíritico	T(DM)=1,63Ga, $\epsilon_{(600\text{ Ma})} = -10,0$
migmatito-gnaiss granodiorítico	623 $\pm$ 1,3Ma (U-Pb zircão) T(DM)=1,57Ga, $\epsilon_t = -6,3$
migmatito-gnaiss granodiorítico	leucossoma: NdT(DM)=1,35Ga, $\epsilon_t = -4,8$
Granitóide	T(DM)=1,20Ga, $\epsilon_t = -1,6$
Granitóide	T(DM)=1,92Ga, $\epsilon_t = -12,3$
Granitóide foliado	T(DM)=1,54Ga, $\epsilon_t = -7,7$
Biotita granitóide	T(DM)=1,34Ga, $\epsilon_t = -6,5$
Granitóide	T(DM)=1,69Ga, $\epsilon_t = -10,7$
Granodiorito	T(DM)=1,18Ga, $\epsilon_t = -2,4$
granito gnáissico	T(DM)=0,86Ga, $\epsilon_t = 3,0$
granito migmatítico	T(DM)=1,02Ga, $\epsilon_t = -0,8$
granito gnáissico	T(DM)=1,86Ga, $\epsilon_t = -12,7$
granodiorito foliado	T(DM)=1,21Ga, $\epsilon_t = -2,0$
Paragneiss	T(DM)=1,35Ga, $\epsilon_t = -4,1$
granito gnáissico	T(DM)=1,61Ga, $\epsilon_t = -7,7$
Paragneiss	T(DM)=1,44Ga, $\epsilon_t = -3,7$
granito gnáissico	T(DM)=0,87Ga, $\epsilon_t = 3,6$
calcio-silicática	T(DM)=1,79Ga, $\epsilon_t = -3,3$
granito gnáissico	T(DM)=1,27Ga, $\epsilon_t = -3,1$
gnaisse tonalítico	T(DM)=2,33Ga, $\epsilon_t = -20,4$
diorito migmatizado	U-Pb zircão=637 $\pm$ 6,5Ma T(DM)=0,90Ga, $\epsilon_t = 3,4$

Tabela 2.4: Informações U-Pb em zircões e Sm-Nd em rocha total para rochas granitóides e metassedimentos presentes no Batólito Santa Quitéria de Fetter (1999) e Fetter *et al.* (2003). Valores de ϵ_t calculados para 600 Ma.

Ainda, como importante expressão plutônica presente no DTCC deve ser mencionado as manifestações graníticas de idade próxima, porém mais jovem que as porções mais primitivas do Complexo Santa Quitéria. Aparentemente, dois pulsos magmáticos distintos podem ser assinalados, sendo o mais antigo representado pelos Complexos graníticos de Quixadá-Quixeramobim (Almeida, 1995), e o granitóide Chaval, de idade próxima, mas situado a NW do Lineamento Transbrasiliano. O segundo e mais jovem pulso é representado por uma série de *stocks* pós-orogênicos, com formas semicirculares a retangulares, entre os quais, destacam-se os corpos Mucambo, Meruoca, Serra da Barriga e Serra do Pagé. Nesta categoria, e presente na área de estudo, parece enquadrar-se também o Complexo Anelar de Taparuaba de Haddad e Leonardos (1980). A tabela 2.5 traz uma síntese das informações geocronológicas disponíveis para estes granitóides.

Granitóide	Idade conhecida
Quixadá-Quixeramobim	585 ± 5 Ma (U-Pb em Zircão) ¹
Chaval	591 ± 10 aM (U-Pb em Monazita) ¹
Mucambo	531 ± 6 Ma (U-Pb em Zircão) ¹ $527 - 523$ Ma (Ar-Ar em hornblenda) ¹
Serra da Barriga	482 ± 8 Ma (Rb-Sr em rocha total) ²
Serra do Pagé	524 ± 12 Ma (Rb-Sr em rocha total) ²
Meruoca	$\cong 530$ ma (?)

Tabela 2.5: Idades conhecidas para os granitóides mais novos do domínio Ceará Central (Quixadá-Quixeramobim, Serra da Barriga e Serra do Pagé) e Médio Coreau (corpos Chaval, Meruoca e Mucambo). Fontes: 1- Fetter (1999) e 2 (Tavares Jr. 1992).

2.3 DTCC: regionalização das unidades litotectônicas e estruturas

Objetivando fornecer mais subsídios para as interpretações feitas no Capítulo 6, procurou-se, ainda dentro da análise dos trabalhos anteriores, melhor avaliar a expressão regional das ULTs identificadas na área de estudo e suas adjacências. Através da cartografia regional disponível para o Estado do Ceará e, ainda uma série de trabalhos com informações isotópicas, foi confeccionado um esboço regional, o qual é apresentado na figura 2.3. Para os três domínios tectônicos considerados, foram ressaltadas as relações espaciais e temporais entre:

- 1) o embasamento mais antigo (arqueano a paleoproterozóico para o DTCC e DRGN; Paleoproterozóico para o DMC);
- 2) rochas supracrustais geradas, deformadas e metamorfasadas no Neoproterozóico para o DTCC e DTMC; neoproterozóicas e paleoproterozóicas para o DRGN;
- 3) a diversificada granitogênese neoproterozóica, em parte associada ao metamorfismo e deformação das supracrustais próximas.

A regionalização presente na figura 2.3, contempla ainda as informações extraídas do processamento de informações aerogeofísicas, cuja descrição e processamentos podem ser encontrados no apêndice I. Para boa parte da área compreendida pelo DTCC, as figuras 2.4, 2.5, 2.6, 2.7 e 2.8 trazem informações aerogeofísicas com padrões que podem ser usados na regionalização das unidades litotectônicas maiores e identificadas na cartografia síntese presente na figura 2.3. É preciso lembrar que a análise mais localizada dos padrões aerogeofísicos identificados deve ter em conta o erro de posicionamento espacial local das informações que foram encontradas (ver apêndice I). Subtraindo tal erro, ou ainda corrigindo-o localmente quando possível vários pontos de correlação merecem destaque:

- a) **O embasamento Paleoproterozóico:** esta unidade ficou relativamente bem caracterizada por valores gamaespectrométricos muito baixos, seja considerando apenas o canal da contagem total (tonalidades azuis figura 2.4) ou a composição colorida RGB K-Th-U (tonalidades escuras na figura 2.5), tal correlação deve considerar que os grandes corpos d'água e regiões com coberturas sedimentares recentes apresentam o mesmo padrão. Como duas áreas do embasamento paleoproterozóico muito bem caracterizadas pela aerogamaespectrometria podem ser citadas as regiões de Madalena-Algodões-Choró e de Amontada, esta representando o embasamento a norte do Complexo Tamboril-Santa Quitéria. A magnetometria também forneceu informações interessantes sobre o embasamento em questão. Por

exemplo, cita-se a presença de um relevo magnético estruturado e de elevada amplitude (figura 2.6) na região onde ocorre um predomínio dos anfibolitos pertencentes à Suite Metamórfica Algodões-Choró de Martins (2000). Também, toda uma estruturação interna que deve representar planos da superfície metamórfica deformada pode ser visto na imagem com frequência mais elevada da primeira derivada vertical (figura 2.8);

- b) **Supracrustais neoproterozóicas:** a anomalia gamaespectrométrica mais expressiva encontrada ocorre associada à concentração uranífera de Itataia (item 2 nas figuras 2.4 e 2.5). De um modo geral, a região de ocorrência das SCRCII é caracterizada por maior contribuição dos canais do U e Th (figura 2.5). Ainda, anomalias negativas tendem geralmente a ocorrer associada aos maiores pacotes de quartzitos encontrados. Para a magnetometria, uma das feições mais marcantes são algumas anomalias positivas associadas a anfibolitos, sendo uma no contato das supracrustais com o Complexo TSQ (extremidade SW da região estudada) e ainda ao redor do granitóide de Quixadá. Também, na região logo a SW de Itatira, tem-se uma anomalia bem delineada, aproximadamente na forma de arco (figura 2.7), provavelmente associada a um expressivo cavalgamento para SE assinalado na região;
- c) **Granitóides:** de um modo geral as rochas granitóides e afins presentes no DTCC são caracterizadas por elevados valores gamaespectrométricos relativamente elevados, seja considerando apenas um dos canais (K, Th U e contagem total) ou ainda por contribuições simultâneas de K, Th e U. Na região compreendida pelo Complexo Tamboril-Santa Quitéria é nítida a maior contribuição do canal do K. Ocorrem ainda regiões com contribuições de K+Th (tonalidades laranja na figura 2.5) e K+Th+U (tonalidades esbranquiçadas na figura 2.5). Ainda dentro da área do CTSQ, três características devem ser ressaltadas: 1) as regiões caracterizadas por baixos valores gamaespectrométricos devem representar provavelmente rochas menos evoluídas, tais como porções anfibolíticas ou granitóides mais máficos; 2) em alguns locais são observados padrões gamaespectrométricos compatíveis com os encontrados no domínio das SCRCII, e deste modo devem estar representando restos destas rochas dentro do domínio dos granitóides; 3) na região a leste de Taperuaba pode ser observada uma boa correlação entre anomalias semicirculares a elipsóides (maior contribuição de K e U) e a presença de *stocks* granitóides mais jovens. A considerável contribuição do canal do K em relação a U e Th ainda é claramente observada na região onde ocorre o núcleo granito-migmatítico de Maranguape. As características

magnetométricas encontradas permitem ressaltar dois aspectos marcantes em termos dos granitóides no DTCC: 1) a região compreendida pelo CTSQ ficou bem caracterizada por um relevo magnético de amplitude relativamente elevada, destacado do relevo magnético mais suave associado ao domínio do embasamento e supracrustais que ocorrem ao redor. Neste contexto, a continuidade do CTSQ para SW, além do falhamento de Tauá, parece se dar de modo descontínuo, tal como colocado na síntese da figura 2.3; 2) o relevo magnético encontrado na região do núcleo granito-migmatítico de Maranguape é muito parecido ao presente no CTSQ, e isto, em acordo com as informações geológicas disponíveis, indica tratar-se de conjuntos litológicos muito parecidos; 3) os *stocks* granitóides de afinidade básica presentes no domínio do embasamento e supracrustais caracterizam-se geralmente por baixos valores magnetométricos, à exceção dos pequenos corpos situados na região de Amontada. Uma importante anomalia positiva pode ser observada entre o trecho entre São Luis do Curu e São Gonçalo do Amarante. A forma desta anomalia é discrepante das anomalias que caracterizam a estruturação do embasamento e supracrustais próximas, e deste modo tal comportamento magnetométrico pode estar indicando a presença de alguma intrusão relativamente mais jovem. A região em questão é caracterizada por relativa abundância de corpos ígneos de afinidade alcalina de idade Mesozóica ou mais jovem, e deste modo esta anomalia poderia estar representando uma intrusão deste tipo;

- d) **Estruturas:** com respeito à estruturação observada nas imagens aerogeofísicas geradas os seguintes pontos merecem destaque: 1) na gamaespectrometria, podem ser observadas várias estruturas, boa parte com correspondência nas informações geológicas disponíveis. Merecem destaque as anomalias associadas à ZCSP, aos padrões de dobramento caracterizando interferências e o acompanhamento da direção regional sinuosa definida pela principal superfície metamórfica presente em toda a região considerada. 2) em relação à magnetometria, talvez a estruturação magnética mais marcante seja a que ocorre na ZCSP, claramente delimitando uma espessura de mais de 10 km para a deformação transcorrente em questão. Outra estruturação magnética marcante é a grande quantidade de lineamentos magnéticos orientados próximo da orientação da ZCSP, os quais em muitos locais tendem a mascarar outras direções que possam estar associadas a estruturas mais antigas. Devido às características do campo magnético na região (muito próxima ao equador magnético), somente em três regiões podem ser encontradas boas correlações entre a orientação

Figura 2.3: PRINCIPAIS UNIDADES LITOTECTÔNICAS DO DOMÍNIO CEARÁ CENTRAL E ADJACÊNCIAS

das anomalias magnéticas e a estruturação geológica principal conhecida tanto para o embasamento como para as SCRCII. Tal correlação ocorre onde a orientação geral das litologias presentes se dá em torno de E-W, e isto é muito bem observado nas regiões a sul de Irauçuba, de Baturité e Algodões-Choró (figuras 2.6 e 2.8).

A junção das informações geológicas conhecidas da literatura e os resultados obtidos neste trabalho permitiram, em uma primeira instância, que três das quatro unidades litotectônicas maiores integrantes do DTCC fossem reconhecidas na área de estudo.

A seguir, são abordados os aspectos litológicos, metamórficos, deformacionais, geoquímicos e isotópicos de cada uma destas três unidades. Como cada unidade litotectônica e suas estruturas e metamorfismo parece caracterizar muito bem um específico intervalo temporal, preferiu-se abordar todo o registro encontrado de forma cronológica.

- (1) Embasamento Paleoproterozóico
 - (2) Supracrustais Rio Curú-Itataia-Independência (jazida de U de Itataia)
 - (3) Complexo Tamboril Santa Quitéria
 - (4) Migmatitos Bandados Lagoa Caiçara
 - (5) Embasamento Paleoproterozóico
 - (6) Supracrustais Guaramiranga
 - (7) Zona de cisalhamento Senador Pompeu
 - (8) Ceberturas (Terciário e Quaternário).
- Área de estudo (retângulo em branco)

Figura 2.4: Projeto Itatira, áreas B e C, aerogamaespectrometria (contagem total em taxa de exposição total aproximada)

- (1) Embasamento Paleoproterozóico
 - (2) Supracrustais Rio Curú-Itataia-Independência (jazida de U de Itataia)
 - (3) Complexo Tamboril Santa Quitéria
 - (4) Migmatitos Bandados Lagoa Caiçara
 - (5) Embasamento Paleoproterozóico
 - (6) Supracrustais Guaramiranga
 - (7) Zona de cisalhamento Senador Pompeu
 - (8) Ceberturas (Terciário e Quaternário).
- Área de estudo (retângulo em branco)

Figura 2.8: Projeto Itatira, áreas B e C, aeromagnetometria (campo total residual - primeira derivada vertical)

CAPÍTULO 3

Registro Paleoproterozóico:

Complexo Madalena – Algodões-Choró

Neste capítulo aborda-se o registro paleoproterozóico encontrado na região de estudo, que correlacionado com a Suíte Metamórfica Algodões-Choró de Martins (2000) na região homônima, permite a definição do Complexo Madalena – Algodões-Choró (CMACH). As litologias incluídas neste complexo podem ser agrupadas em quatro associações litológicas distintas, sendo estas:

- a) ortognáissica
- b) meta-vulcanossedimentar
- c) metassedimentar
- d) núcleos gnáissico-migmatíticos

Pelas informações isotópicas a maior parte das litologias integrantes do CMACH é oriunda de protólitos com vida crustal muito curta (idades T(DM) muito próximas das de cristalização primária). O restante exibe idades de residência crustal que geralmente remonta ao Neoarqueano e constitui um conjunto rochoso ainda pouco conhecido dentro do segmento paleoproterozóico do DTCC.

3.1 Núcleos Gnáissico-Migmatíticos

Em meio às litologias da associação Clasto-Alumino-Carbonática das SCRCII (abordada no capítulo seguinte) foi identificada uma ocorrência de rochas gnáissico-migmatíticas que representa o embasamento paleoproterozóico, aflorante como janelas estruturais e/ou tectonicamente imbricadas, em meio às supracrustais aqui enfocadas. Outra ocorrência desta categoria foi identificada em meio à associação metassedimentar do CMACH. Estas duas ocorrências encontradas são aqui informalmente denominadas de Núcleo Norte (situadas a cerca de 8 km a leste da localidade de Salitre) e Núcleo Sul (presente logo a leste da localidade de Guia).

O contato destas rochas com as litologias vizinhas pode ser descritos da seguinte forma: a) Núcleo Norte: apesar de não observado diretamente, o contato com as SCRCII deve ser tectônico, representado por espessa faixa de cisalhamento dúctil com transposição e produtos da atuação de processos de fusão capazes de promover localmente a mistura tectônica das litologias pertencentes a estas duas ULTs. Uma alternativa ainda a ser levada em conta é a possibilidade destas rochas ocorrerem nos flancos de uma estrutura braqui-sinforme invertida, em cujo centro ocorrem rochas supracrustais. b) Núcleo Sul: o contato entre estas rochas e a associação metassedimentar do CMACH também não foi diretamente observado, mas parece que os primeiros representam litologias que adquiriram um comportamento distinto dos metassedimentos encaixantes durante a atuação das *nappes* neoproterozóicas. Tal comportamento é também observado para os ortognaisses que ocorrem próximo a Madalena e ainda para o pequeno núcleo gnáissico-migmatítico que ocorre próximo a São José da Macaóca. A exemplo do que deve ocorrer no núcleo Norte, um retrabalhamento considerável da porção ortognaissico-migmatítica pode também ser esperado próximo e no contato destas rochas com as litologias da associação metassedimentar.

Litologicamente são encontradas preferencialmente composições quartzo dioríticas (figura 3.1) Estas composições ocorrem em rochas gnáissico-migmatíticas e migmatitos cinza a cinza-escuro (geralmente mesocráticos), de granulação média a média-fina, bandados (figura 3.2), chegando a estromáticos e dobrados irregularmente. Porções diatexiticas não são raras, e frequentemente são mais jovens em relação às porções bandadas.

Em termos de minerais ferro-magnesianos, no núcleo Norte a biotita foi o único mineral máfico identificado. No núcleo Sul foram encontrados tanto biotita quanto hornblenda, com esta chegando a atingir até cerca de 12% em volume. Como representantes dos acessórios destacam-se zircão, apatita, titanita, minerais opacos e traços de alanita. Em algumas seções delgadas examinadas foi ainda observado epidotização em cristais de hornblenda. Clorita e opacos finos completam a mineralogia tardia observada.

São ainda observadas bandas mais diferenciadas geradas por processos anatéticos de idade ainda incerta, as quais chegam a possuir composição de álcali-feldspato granitos, (figura 3.1).

Figura 3.1: Embasamento paleoproterozóico, rochas encontradas nos núcleos gnáissico-migmatítico, em meio às Supracrustais Rio Curú-Itataia-Independência (núcleo Norte) e em meio à associação meta-sedimentar do Complexo Madalena - Algodões-Choró.. Campos do diagrama de Streckeisen (1976): (7) álcali-feldspato granito, (11) quartzo-diorito.

Geocronologia e Geoquímica Isotópica

Os resultados isotópicos U-Pb e Sm-Nd obtidos para as rochas gnáissico-migmatíticas podem ser encontrados nas tabelas 3.1, 3.2 e 3.3. A tabela 3.3 traz ainda as informações Sm-Nd compiladas a partir do trabalho de Martins (2000).

Pelo método U-Pb convencional foram analisadas duas amostras, uma destas representada por um biotita diatexitó foliado do núcleo Norte (amostra NCC-19). A outra amostra (NCC-304) representa um biotita hornblenda gnaisse bastante rico em epidoto do núcleo Sul. Não foi obtido um bom resultado para a amostra do núcleo Norte, pois duas das cinco frações analisadas (grãos de zircão prismáticos biterminados, levemente alongados, limpos a levemente turvos) apresentaram elevado erro analítico. As três frações restantes posicionaram-se distantes da curva concórdia e com pouca dispersão entre si, o que impossibilitou a geração de uma boa discórdia. Apesar disso, o intervalo de idades fornecidas pelas razões $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (entre 1760 e 1830 Ma) é sugestivo de uma idade paleoproterozóica para a cristalização primária da rocha. O fato das frações analisadas situarem-se mais próximas do intercepto inferior em relação à curva concórdia, indica que a rocha em questão foi sujeita a intenso retrabalhamento em tempos neoproterozóicos

devido à tectônica que se encontra registrada nas supracrustais próximas.

Para a amostra do núcleo Sul (NCC-304) as frações de zircão analisadas forneceram um resultado mais consistente. Foram analisadas cinco frações com zircão prismático, biterminado e geralmente limpo (figura 3.3), com apenas uma das frações tendo que ser excluída devido ao erro analítico. A idade de 2175 ± 61 Ma (intercepto superior) é aqui atribuída à época de cristalização primária da rocha gnáissica em questão. O erro elevado (também caracterizado pelo considerável valor de MSWD) é expressão da baixa dispersão linear das frações analisadas e ainda devido ao posicionamento destas em relação à curva concórdia. A análise conjunta entre as frações de zircão das amostras NCC-19 e NCC-304 permitiu a obtenção de uma informação bastante interessante, constituída pelas idades de 2165 ± 10 Ma e 520 Ma (interceptos superior e inferior, respectivamente; MSWD=12). Esta informação parece atestar a relevância das idades em torno de 2150 Ma, bem como a co-geneticidade entre as rochas gnáissicas presentes nos dois núcleos gnáissico-migmatíticos considerados e ainda, a presença de importante perda de chumbo decorrente da atuação dos processos tectono-termiais neoproterozóicos.

As informações Sm-Nd disponíveis foram obtidas em uma amostra do núcleo Norte (NCC-19) e a três amostras do núcleo Sul (NCC-284, 291B e 304). As idades T(DM) encontradas indicam basicamente que os gnaisses-migmatíticos em questão possuem uma herança crustal mais antiga que remonta ao Neoarqueano (2700 e 2600 Ma). Apenas uma das determinações evidenciou uma idade T(DM) paloproterozóica (~ 2300 Ma). Isto indica considerável participação de litologias mais antigas na gênese destas rochas. A presença de valores de $\epsilon Nd_{(t=2100 \text{ Ma})}$ ligeiramente negativos associados às idades T(DM) mais antigas comprovam tal característica.

3.2 Associação Ortognáissica

Nesta associação litológica estão incluídas rochas ortognáissicas que ocorrem principalmente nos arredores da localidade de Madalena. Na extremidade leste, do perfil que engloba a localidade de Boa Viagem, em seu centro foram encontradas rochas semelhantes aos ortognaisses em apreço. Martins (2000) propôs que os ortognaisses que ocorrem na região de Algodões-Choró são produtos de uma granitogênese intrusiva no conjunto metassedimentar e anfibolítico. Na região de Madalena tal aspecto não é claro, e o fato dos meta-riolitos apresentarem uma idade ligeiramente mais jovem que a fração ortognáissica dificulta ainda mais confirmar tal interpretação.

Figura 3.2: Embasamento paleoproterozóico, núcleos gnáissico- migmatíticos. Em meio às Supracrustais Rio Curú-Itaia-Independência.
 NCC-19 (núcleo Norte, biotita migmatito bandado). Em meio à associação meta-sedimentar do CMACH;
 NCC-62 (núcleo sul, hornblenda biotita migmatito bandado).

Figura 3.3: Embasamento paleoproterozóico, análise U-Pb convencional em zircões extraídos de rocha gnáissica a biotita, epidoto e hornblenda presente no núcleo gnáissico-migmatítico Sul que ocorre em meio à associação meta-sedimentar do CMACH.

Pela petrografia realizada predominam rochas meso a leucocráticas, de composição quartzo-diorítica, com algumas das amostras adentrando o campo dos tonalitos (figura 3.4). Os minerais máficos presentes são hornblenda e biotita, predominando o último na maioria das amostras. Neste contexto, tanto a biotita como a hornblenda caracterizam muito bem uma foliação quase sempre nítida. Em todos os casos onde foi possível observar as relações de contato entre biotita e hornblenda na foliação, este último mineral é substituído parcialmente pelo primeiro. Como acessórios são encontrados zircão, apatita, minerais

opacos, titanita e mais raramente alanita. A mineralogia secundária, tardia e de menor temperatura inclui minerais opacos finos, clorita, argilo-minerais e epidoto.

Figura 3.4: Embasamento paleoproterozóico, Complexo Madalena - Algodões-Choró, rochas gnáissicas. Campos de Streckeisen, 1976: (1) granitos ricos em quartzo, (2) álcali-feldspato granito, (3) sienogranito, (4) monzogranito, (5) granodiorito, (6) tonalito, (7) álcali-feldspato granito, (8) quartzo-sienito, (9) quartzo-monzonito, (10) Quartzo-monzodiorito/monzogabro, (11) quartzo-diorito, (12) sienitos alcalinos, (13) sienito, (14) monzonito, (15) monzodiorito/monzogabro, (16) diorito/gabro/anortosito.

O modo de ocorrência dos ortognaisses se dá geralmente sob a forma de grandes lajedos, onde quase sempre podem ser encontrados blocos de dimensões métricas associados. Dois tipos litológicos distintos ocorrem na maioria dos afloramentos visitados: a) um fácies com granulação mais grossa e mais claro, foliado, localmente rico em enclaves máficos angulosos a arredondados, alguns anfíbolíticos (figura 3.5); e b) outro fácies de granulação mais fina, escuro (rico em biotita e hornblenda). Em dois afloramentos visitados foram observadas relações de contato que parecem indicar que este último fácies apresenta-se como diques tardios em relação ao primeiro. Na figura 3.5 (ponto NCC-149) pode ser observada a relação entre os dois fácies em questão, mas é importante lembrar que no ponto exemplificado a relação espacial entre eles não permitiu estabelecer com segurança uma geometria de dique para o fácies mais tardio.

3.3 Associação Meta-vulcanossedimentar

Sob esta denominação foi englobado o conjunto rochoso que ocorre envolvendo a associação ortognáissica previamente abordada. Litologicamente esta associação é composta por gnaisses a biotita, gnaisses a biotita e muscovita, anfíbolitos e rochas que podem ser interpretadas como produtos de processos vulcanossedimentares e exalativos (gonditos e meta-*cherts* ferruginosos). Para este conjunto rochoso pode ser descrito:

- 1) **Rochas gnáissicas:** Gnaisses bandados a biotita e menos comumente a biotita e muscovita, geralmente grosseiros que constituem rochas que devem corresponder às meta-grauvacas identificadas por Martins (2000) na região de Algodões-Choró. Nestas rochas o volume de biotita comumente situa-se entre 10 e 20%, ocorrendo ainda mais localmente cristais de hornblenda e granada. Em alguns locais, como a E-NE da localidade de Madalena, podem ser encontrados espessos pacotes de gnaisses leucocráticos, granoblásticos com muscovita e muito pouca biotita. Melhores estudos ainda são necessários para entender a gênese destas rochas, uma vez que estas são petrograficamente muito diferentes dos meta-riolitos e metassedimentos presentes nesta associação e na metassedimentar. Biotita gnaisses granoblásticos cinzentos (figura 3.5), levemente bandados (prováveis meta-andesitos) possuem composição geralmente quartzo diorítica, mas porções tonalíticas são comuns (figura 3.4). Nestas rochas, porções ou bandas mais ricas em feldspato potássico, algumas miloníticas, também são observadas, mas estas parecem representar remobilizações anatéticas neoproterozóicas. Composições mais ricas em feldspato potássico (com muscovita por vezes), pouco material micáceo (rochas granoblásticas) foram encontradas em vários pontos visitados (NCC-55 e 401, por exemplo). Dadas suas características (volume reduzido de minerais máficos, elevado teor de quartzo, caráter granoblástico e associação com anfíbolitos, etc.), estas rochas foram interpretadas como meta-riolitos bastante deformados. Os resultados geoquímicos, de catodo-luminescência e geocronológicos obtidos em zircão ajudaram a reforçar tal diagnóstico. A composição modal também indicou tratar-se de riolitos, mas o elevado volume de quartzo formado por remobilização durante a deformação (amostra NCC-55, figura 3.6) pode indicar que o volume deste mineral pode ter sido modificado. Nestes meta-riolitos o único mineral máfico presente é a biotita, que não ultrapassa 3% em volume. O quartzo é granular ou está remobilizado sob a forma de lentes descontínuas que macroscopicamente caracterizam muito bem a lineação de

estiramento mineral presente na rocha. Zircão e opacos são os acessórios observados. Dadas as características encontradas (inclusive geoquímicas, discutidas mais adiante), aventamos aqui a possibilidade de que as rochas gnáissicas em questão são decorrentes de protólitos ígneos (meta-riolitos e andesitos). Gnaisses de origem francamente sedimentar não foram encontrados com base na amostragem realizada;

- 2) Anfibolitos: no mapa de pontos apresentado (anexo 1) podem ser encontrados vários pontos de ocorrência de rochas anfibolíticas. É preciso lembrar que várias outras ocorrências menores, subordinadas em volume dentro dos afloramentos visitados, ainda encontram-se associadas às rochas gnáissicas da associação litológica em questão. Os anfibolitos encontrados são compostos basicamente por hornblenda e volume variável de plagioclásio com composição entre andesina e labradorita. Volumes de plagioclásio entre 5 e 10% são comuns, mas volumes de até 40% ocorrem em verdadeiros anfibolitos gnáissicos. Localmente é observada nestes anfibolitos intensa percolação de material quartzo-feldspático (figura 3.5), tal como ocorre no que parece ser um mega enclave da associação meta-vulcanossedimentar dentro do corpo ortognáissico da região de Madalena. Os teores de quartzo dos anfibolitos não ultrapassam 5% em volume. Os acessórios presentes são representados por diopsídio, granada, opacos e titanita. Tremolita/actinolita, clorita e epidoto compõem a mineralogia tardia. As texturas nematoblástica (figura 3.6) e granoblástica com contatos poligonizados são frequentemente observadas;
- 3) Rochas indicativas de processos vulcanossedimentares e exalativos: a leste e a nordeste da localidade de Madalena podem ser encontradas entre os gnaisses e anfibolitos rochas indicativas de que fenômenos vulcanossedimentares e exalativos atuaram durante a deposição da associação meta-vulcanossedimentar. Neste contexto, dois tipos rochosos podem ser destacados: a) gonditos: encontrados no ponto NCC-151 e pontos situados fora da área de estudo (mais a leste). São representados por rochas de coloração cinza-escura, de aspecto metálico, bandadas a foliadas, deformadas juntamente com os paragneisses e anfibolitos adjacentes. São compostas basicamente por quartzo, granada incolor (espessartita) e opacos (figura 3.8); b) rochas ricas em quartzo ocorrem como espessas (até métricas) lentes, sendo freqüentes nestas a presença de material ferruginoso (prováveis meta-*cherts* ferruginosos) e manganífero.

É interessante notar que nos demais pontos levantados não foram encontradas outras ocorrências deste litotipo, o que pode indicar a atuação de fenômenos vulcanossedimentares e exalativos que atuaram em uma região específica da bacia onde foi depositada a associação meta-vulcanossedimentar do CMACH.

3.4 Associação Metassedimentar

Na área de estudo essa associação litológica ocorre como uma faixa sinuosa entre as rochas da associação Meta-vulcanossedimentar e as SCRCII. Aparentemente constituem metassedimentos correlatos à unidade Choró de Martins (2000). A falta de informações geocronológicas nas duas ocorrências ainda constitui um problema para um melhor entendimento e enquadramento lito-tectônico destes metassedimentos. A partir das informações disponíveis e dos resultados apresentados por Martins (2000) parecem representar uma porção preferencialmente composta por sedimentos psamíticos (meta-grauvacas).

Nesta associação foram incluídos gnaisses migmatíticos a biotita e muscovita e ainda porções de xistos feldspáticos, quartzitos e anfibolitos. A granada distribui-se discretamente por todas as litologias presentes nesta unidade, atingindo um máximo de 10% em volume nas rochas gnáissicas e mais xistosas. Gnaisses levemente bandados a biotita e mais raramente a biotita e muscovita parecem representar rochas meta-vulcânicas, a exemplo do observado na associação meta-vulcanossedimentar. Dada a deformação e metamorfismo neoproterozóicos impressos nesta unidade, as litologias em apreço possuem algumas semelhanças com as integrantes das SCRCII, podendo ser destacada neste sentido, a presença de gnaisses migmatíticos bandados a biotita, muscovita e granada. No entanto, algumas características petrográficas e geofísicas encontradas para os metassedimentos em questão permitiram para o momento associar tal unidade ao CMACH. O comportamento assumido pelos metassedimentos em questão nas imagens aerogamaespectrométricas é caracterizado por baixas contribuições de K e U (tonalidades vermelho-acastanhadas escuras que podem ser visualizadas a leste da região de Madalena na imagem apresentada na composição RGB-KUTh presente na figura 2.5), ao contrário das maiores contribuições de U e Th frequentemente associadas às rochas das SCRCII (tonalidades mais azuladas presentes nas regiões onde estas rochas ocorrem). Este padrão ainda pode ser claramente observado para a região de Algodões-Choró-Quixeramobim.

Figura 3.5: Embasamento paleoproterozóico, Complexo Madalena - Algodões-Choró. Ortognaisses (NCC-149, 293 e 402); Anfíbolito com injeções quartzo-feldspáticas (NCC-165).

Figura 3.6

Embasamento paleoproterozóico
Complexo Madalena Algodões-Choró:
Ortogneisses a biotita e hornblenda (NCC-149b);
leucogneisse milonítico (NCC-46);
biotita gnaiss granoblástico
(NCC-147, provável meta-andesito),
anfíbolitos (NCC-154 e 165a, contato anfíbolito
material quartzo-feldspático a clinopiroxênio);
gonditos (NCC-151c);
meta-riolito (NCC-55, quartzo estirado representa a
lineação Lx marcante). Em todas as ilustrações mostradas
a foliação observada corresponde à Sn.

Com respeito a este último contexto, vale ressaltar que na área de ocorrência das litologias incluídas por Martins (2000) na Unidade Quixeramobim, apresentam um comportamento gamaespectrométrico praticamente igual ao presente nas SCRCII, indicando a provável continuidade e ao mesmo tempo descontinuidade física das supracrustais neoproterozóicas para leste.

A associação metassedimentar do CMACH parece ser desprovida dos minerais alumino-silicatos (cianita e silimanita) que ocorrem amplamente nas SCRCII. As poucas ocorrências destes minerais identificadas no domínio em questão podem estar representando porções das SCRCII tectonicamente imbricadas em meio aos metassedimentos mais antigos ou ainda porções francamente meta-pelíticas integrantes de uma seqüência predominantemente constituída por sedimentos mais imaturos.

3.5 Geocronologia e Geoquímica Isotópica

Para as litologias integrantes das associações em questão, cinco amostras foram analisadas pelo método U-Pb, quatro delas (ortognaisses) pelo método convencional. Uma amostra de meta-riolito foi analisada por SHRIMP, e forneceu uma idade bastante precisa que pode ser usada na comprovação das idades obtidas pelo método U-Pb convencional. Onze amostras foram analisadas pelo método Sm-Nd. Os resultados isotópicos oriundos destes dois métodos podem ser encontrados nas tabelas 3.1, 3.2 e 3.3.

De antemão aponta-se que as determinações isotópicas realizadas serviram para melhor definir a idade paleoproterozóica de rochas que constituem o grande volume do embasamento da região. As informações levantadas permitiram ainda caracterizar este embasamento como sendo composto por dois componentes distintos, um de caráter praticamente juvenil e outro com herança crustal que remonta ao Neoarqueano. Este último encontra-se preferencialmente associadas aos núcleos gnáissico-migmatíticos que ocorrem tanto no domínio do CMACH como das SCRCII.

Resultados U-Pb

Do ortognaisse presente no ponto NCC-160 foram extraídos zircão de dois fácies, a biotita e hornblenda (amostra NCC-160A), mais grosseiro, foliado, e outro mais fino, também foliado, mais rico em biotita e com alguma hornblenda (NCC-160B). Este último fácies ocorre como corpos aproximadamente tabulares e descontínuos em meio à porção

mais grossa, e em alguns locais lembram os corpos tabulares com aspecto de dique que são observados em outros pontos, só que neste caso a foliação metamórfica com biotita é mais marcante. A figura 3.7 mostra o resultado obtido para os grãos de zircão analisados, sendo que a análise das idades foi feita considerando duas possibilidades. Em uma primeira instância foram analisados somente zircão da amostra NCC-160A, constituído por prismas curtos, com arestas levemente arredondadas e limpos. Cinco frações foram analisadas, somente três destas fornecendo bons resultados. Considerando o intercepto superior definido por estas três frações, uma idade de $2208 \pm 98/-26$ Ma pode ser definida, com as frações analisadas posicionando-se próximas à curva concórdia, mas sem um bom espalhamento linear capaz de fornecer uma melhor definição da idade presente. Entretanto, uma idade intermediária de ~ 2170 Ma pode ser definida entre os eixos maiores das elipses de erro associadas a cada fração analisada (figura 3.7). Os grãos de zircão encontrados na amostra NCC-160B possuem forma em gota, geralmente são geminados e em forma de “dente” (figura 3.7). As frações analisadas alinharam-se com um intercepto inferior de idade próxima a Neoproterozóica (~ 450 Ma) e um superior de idade paleoproterozóica. Em vista dos elevados erros associados foi feita uma análise conjunta das amostras NCC-160A e B (figura 3.7), através da qual pôde ser obtida uma idade de 2156 ± 8 Ma (intercepto superior), bastante sugestiva da idade de cristalização primária do conjunto rochoso analisado, ainda que o valor de MSWD obtido seja elevado. Novamente um evento de perda parcial de Pb parece estar registrado nos grãos de zircão, provavelmente decorrente do intenso retrabalhamento tectono-metamórfico neoproterozóico.

Da amostra NCC-140B (um hornblenda biotita gnaiss levemente bandado) foram analisadas cinco frações de zircão prismático, geralmente biterminado com as arestas levemente arredondadas e limpas (figura 3.8). Quatro destas frações apresentaram bom resultado analítico, fornecendo uma idade de $2139 \pm 17/-12$ Ma, com as frações posicionando-se relativamente próximas à curva concórdia e com pouca dispersão linear. Esta idade pode ser considerada como representativa da época de cristalização primária do litotipo em questão.

Foram ainda analisadas cinco frações de zircão extraídos da amostra NCC-301 (um biotita hornblenda gnaiss levemente bandado), sendo que destas, quatro apresentaram bons resultados (figura 3.8). Os zircões analisados são prismáticos, alguns biterminados, e geralmente limpos. Uma das frações contemplou ainda cristais maiores, mas que geralmente apresentaram-se fragmentados. Ainda que com um valor de MSWD um pouco elevado de 4.3, a idade de 2142 ± 20 Ma obtida pode ser interpretada como a idade de

cristalização primária para a litologia analisada. Devido ao elevado erro associado não foi atribuído nenhum significado geológico para a idade encontrada no intercepto inferior.

Coerente com as determinações geocronológicas efetuadas pelo método U-Pb convencional, a realização de uma análise pelo método SHRIMP, de zircão extraído de uma amostra de meta-riolito, também forneceu uma idade paleoproterozóica para o evento de cristalização primária (magmatismo) da rocha em questão. A amostra analisada foi coletada em um espesso pacote meta-riolítico que ocorre a oeste da localidade da Boa Viagem, próximo ao contato do CMACH com as supracrustais Rio Curú-Itataia-Independência (ponto NCC-757, ver mapa de pontos no anexo 1). A análise, efetuada através de 11 determinações (tabela 3.2), forneceu uma idade bastante precisa de 2130 ± 17 Ma (figura 3.9). As imagens de catodo-luminescência revelaram que os grãos de zircão analisados são geralmente bem formados e preservam zoneamento composicional ígneo. Ainda, uma boa parte dos grãos imageados apresentou uma pequena borda pobre em U, a qual deve ser de idade neoproterozóica e ter relação com a perda de Pb evidenciada por alguns dos pontos analisados (figura 3.9). De modo complementar, imagens de catodo-luminescência foram feitas para alguns dos grãos de zircão extraídos da amostra NCC-55, um gnaiss granoblástico muito semelhante ao encontrado no ponto NCC-757 e também interpretado como um provável meta-riolito. Os grãos de zircão encontrados na amostra NCC-55 são muito parecidos com os presentes na amostra NCC-757, mostrando geralmente um marcante zoneamento ígneo, com algumas faces bem preservadas indicando cristais bem formados, além de uma fina borda empobrecida em U, provavelmente de idade mais jovem. Apesar de não terem sido efetuadas análises complementares e considerando estas duas amostras (litogeoquímica para a amostra NCC-757 e U-Pb SHRIMP ou convencional para a amostra NCC-55) elas são interpretadas como representantes do vulcanismo ácido integrante do Complexo Madalena – Algodões-Choró.

Os principais pontos a serem ressaltados das análises U-Pb convencionais e SHRIMP correspondem a: 1) a idade em torno de 2130 Ma pode ser interpretada como a principal época de cristalização primária das rochas gnáissicas do CMACH. Idades mais antigas em torno de 2150 Ma podem representar outro evento de cristalização primária mais antigo, porém melhores estudos ainda são necessários para comprovar tal evento. 2) Indicação de perda parcial de Pb durante o Neoproterozóico, muito provavelmente durante o evento tectono-termal que se encontra muito bem registrado nas SCRCII.

Resultados Sm-Nd

Os resultados Sm-Nd (tabela 3.3) permitiram caracterizar dois conjuntos de idades T(DM) para o CMACH.

O conjunto de idades mais antigas, representado por duas determinações feitas em gnaisses a biotita (prováveis meta-andesitos), é caracterizado por idades T(DM) neoarqueanas, situadas entre 2500 e 2600 Ma. Valores de ϵ_{Nd} calculados para 2100 Ma ligeiramente negativos associam-se a estas idades, situando-se entre -3.1 e -3.4. Pelas demais informações levantadas para estas rochas parecem que elas representam meta-vulcânicas que ocorrem associadas às rochas ortognáissicas adjacentes. Entretanto, as características isotópicas distintas, em termos dos isótopos de Nd das primeiras, indicam que o protólito através do quais estas rochas se originou provavelmente representa restos de uma crosta continental neoarqueana que foi retrabalhada, ao contrário dos ortognaisses que comportam uma assinatura praticamente juvenil, discutido adiante. Dado o grau de transformação deformacional e metamórfica registrado nesses gnaisses é preciso ainda considerar a possibilidade destas rochas tratarem-se de fragmentos de rochas arqueanas tectonicamente imbricados em meio ao CMACH. Futuras análises U-Pb em zircão destas rochas são de fundamental importância na resolução de tal questão.

O segundo conjunto de idades T(DM), obtidos para as rochas ortognáissicas e uma das amostras de gnaisses a biotita e muscovita (prováveis meta-riolitos), é relativamente próximo às idades obtidas pelo método U-Pb convencional em zircão. As idades obtidas caracterizam-se por um valor médio ao redor de 2300 Ma. Os valores de ϵ_{Nd} calculados para 2100 Ma são levemente negativos a positivos, situando-se entre -1.0 e +3.5. Ainda, a análise do meta-riolito presente no ponto NCC-55 (semelhante ao analisado por U-Pb SHRIMP, amostra NCC-757), forneceu uma idade T(DM) de 2230 Ma, com o ϵ_{Nd} calculado para 2100 Ma possuindo um valor de +1.8. Ao contrário do descrito anteriormente, para algumas análises nas rochas tidas como prováveis meta-vulcânicas, estes valores indicam a presença de pouca ou nenhuma participação de crosta continental mais antiga na gênese destas rochas, caracterizando assim uma porção praticamente juvenil dentro do embasamento paleoproterozóico que ocorre nos arredores da localidade de Madalena.

Interessante ainda notar é o fato de que as idades T(DM) levantadas por Martins (2000) para as rochas gnáissicas da região de Algodões-Choró situam-se entre 2.2 e 2.3 Ga, e a estas se associam invariavelmente valores de ϵ_{Nd} sempre positivos. Isto pode indicar excluindo o fato da amostragem ser reduzida, que a porção do CMACH presente na

região de Algodões-Choró representa um segmento preferencialmente juvenil quando comparada à parte da porção que ocorre nas imediações da localidade de Madalena. Por isso, cabe ressaltar aqui que, melhores e mais detalhados estudos envolvendo a sistemática Sm-Nd (e até mesmo U-Pb) ainda são necessários para uma melhor definição entre a proporção de materiais francamente juvenis e retrabalhados dentro do embasamento paleoproterozóico do domínio tectônico Ceará Central.

Figura 3.7: Registro paleoproterozóico, Complexo Madalena - Algodões-Choró, zircões de ortognaisses (ponto NCC-160), resultados isotópicos U-Pb convencionais em diagrama concórdia.

Figura 3.8: Registro paleoproterozóico, Complexo Madalena - Algodões-Choró, zircões de ortogneisses (pontos NCC-140 e 301), resultados isotópicos U-Pb convencionais em diagrama concórdia.

Figura 3.9: Registro paleoproterozóico, idade SHRIMP obtida em zircões de meta-riolito do Complexo Madalena - Algodões-Choró. Os pontos vermelhos indicam alguns locais que sofreram ionização para a determinação das razões isotópicas.

<p> EMBASAMENTO PALEOPROTEROZOICO COMPLEXO MADALENA - ALGODÕES-CHORO (ortognaisses a biotita e hornblenda) </p>																	
SPU	fração magnética	207/235#	Error (%)	206/238#	Error (%)	COEF.	238/206	Error (%)	207/206#	Error (%)	206/204*	Pb (ppm)	U (ppm)	Weight (mg)	206/238 Age (Ma)	207/235 Age (Ma)	207/206 Age (Ma)
NCC-160 A																	
2400	C	6 86768	0.57	0 37437	0.568	0.9944009	2 671154208	0.568	0.133048	0.0602	1648.0	80.4	190.2	0.032	2050	2095	2139
2401	D	8 82467	0.583	0 376851	0.58	0.9938368	2 653688652	0.58	0.133268	0.0646	979.6	85.3	198.7	0.028	2062	2102	2142
2402	E	7 08038	0.6	0 382268	0.586	0.9918467	2 615986782	0.586	0.134334	0.0764	773.9	59.8	132.5	0.039	2087	2122	2155
NCC-160 B																	
2393	B	1 69427	3.67	0 12594	3.85	0.9921931	7 940289027	3.65	0.0975763	0.458	108.3	63.9	346.2	0.004	764	1006	1578
2394	C	0 635217	3.21	0 0748888	3.15	0.995778	13 35316724	3.15	0.0615184	0.54	242.1	82.3	1931.6	0.002	465	499	657
2397	F	3 2918	2.01	0 202938	2	0.9931136	4 82751336	2	0.117637	0.235	219.8	77.5	302.5	0.006	1181	1479	1820
NCC140B																	
2435	A	5 97374	0.583	0 336205	0.58	0.9932491	2 974375753	1.724137931	0.128867	0.0671	2675.5	78.3	218.5	0.022	1868	1972	2083
2436	B	6 30992	1.98	0 363015	1.72	0.87895	2 754707106	0.581395349	0.126068	0.054	58.5	292.7	331.3	0.022	1936	2020	2044
2437	C	5 76208	1.11	0 327059	1.11	0.9952001	3 057552307	0.900900801	0.127777	0.108	564.5	65.0	179.7	0.017	1824	1941	2066
2438	D	6 20877	0.738	0 347132	0.736	0.9943643	2 880748534	1.358695652	0.129721	0.0783	1066.6	97.9	260.5	0.011	1821	2006	2084
2439	E	5 85486	0.747	0 330396	0.743	0.994268	3 026671025	1.34589502	0.128523	0.0798	935.7	121.1	339.8	0.016	1840	1955	2078
2440	F	8 55979	6.79	0 459042	5.37	0.80505	2 178449802	0.186219739	0.135241	4.03	31.5	645.8	305.3	0.012	2435	2292	2167
NCC 391																	
2454	A	6 65927	0.502	0 366856	0.5	0.9939856	2 72596519	0.5	0.131653	0.055	4150.8	190.6	479.4	0.040	2015	2067	2129
2455	B	6 80216	0.696	0 373017	0.694	0.9947826	2 680642984	0.694	0.132256	0.071	1571.5	152.8	373.8	0.043	2044	2086	2128
2456	C	8 70012	1	0 368253	1	0.995598	2 715524381	1	0.131858	0.0842	880.0	190.3	481.0	0.030	2021	2073	2124
2457	D	6 83228	0.502	0 374743	0.499	0.994074	2 688495476	0.499	0.13223	0.0546	4100.4	191.2	327.4	0.069	2052	2090	2128
2458	E	6 59554	0.507	0 363088	0.505	0.9941273	2 754077412	0.505	0.131742	0.0549	3824.9	219.7	564.2	0.046	1897	2059	2121
Núcleos gnáissico-migmatíticos (biotita hornblenda gnáisses migmatíticos)																	
SPU	fração magnética	207/235#	Error (%)	206/238#	Error (%)	COEF.	238/206	Error (%)	207/206#	Error (%)	206/204*	Pb (ppm)	U (ppm)	Weight (mg)	206/238 Age (Ma)	207/235 Age (Ma)	207/206 Age (Ma)
NCC18																	
2460	A	2 86174	0.534	0 185596	0.53	0.9928488	5 388047156	0.53	0.11183	0.0637	2238.0	102.7	541.3	0.024	1098	1372	1828
2461	B	2 51881	0.477	0 188613	0.473	0.9917344	5 895774488	0.473	0.107696	0.0612	1153.5	118.5	655.4	0.045	1010	1277	1761
2462	C	2 82478	0.488	0 185035	0.486	0.9933203	5 404382955	0.486	0.110721	0.0584	4095.3	92.4	492.8	0.054	1094	1382	1811
NCC304																	
2463	A	6 00084	0.885	0 331887	0.66	0.9911758	3 013073727	0.66	0.131131	0.088	399.2	88.1	222.19	0.018	1848	1976	2113
2464	B	6 34354	0.757	0 348079	0.755	0.9947631	2 872911035	0.755	0.132176	0.077	1083.8	59.1	153.7	0.020	1825	2025	2127
2465	C	6 32066	0.811	0 348857	0.809	0.9939173	2 882291541	0.809	0.132125	0.088	757.5	53.5	139.6	0.020	1920	2021	2126
2466	D	6 01854	0.693	0 333728	0.686	0.989226	2 996452201	0.686	0.130797	0.101	1708.5	45.5	126.3	0.021	1856	1979	2109
<p>SPU (número de laboratório)</p> <p># (Pb radiogênico corrigido para branco e Pb inicial)</p> <p>* (não corrigido para o branco laboratorial e Pb não radiogênico)</p> <p>U e Pb (concentrações corrigidas para o branco analítico)</p> <p>Constantes de decaimento conforme Steiger and Jager (1977)</p>																	

Tabela 3.1: Análises isotópicas U-Pb convencional em ortognaisses e rochas dos núcleos gnáissico-migmatíticos do Complexo Madalena – Algodões-Choró.

SHRIMP (2003). Paleoproterozóico, Complexo Madalena - Algodões-Choró														
NCC-757 (meta-riolito)														
Labels	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	Pb* (ppm)	204Pb (ppb)	207Pb/206Pb	± 207Pb/206Pb (±)	238U/206Pb	238U/206Pb (±)	235U/207Pb	235U/207Pb (±)	207Pb/206Pb idade (Ma)	207Pb/206Pb ± idade (Ma)	% CONC.
757-1.1	230.41	114.39	0.50	102	6	0.13087	0.00238	2.44952	0.08140	0.13575	0.00541	2109.7	32.3	104.6
757-2.1	270.30	143.93	0.53	110	5	0.13118	0.00131	2.69165	0.11187	0.14981	0.00654	2113.9	17.6	98.3
757-3.1	600.87	81.54	0.14	110	10	0.09950	0.00288	5.49890	0.31597	0.40064	0.02705	1614.7	54.9	66.7
757-4.1	188.06	57.51	0.31	77	8	0.13324	0.00185	2.58441	0.07803	0.14068	0.00489	2141.1	24.5	98.5
757-5.1	355.11	174.34	0.49	148	1	0.13106	0.00145	2.63121	0.07771	0.14561	0.00479	2112.2	19.5	98.3
757-6.1	467.68	170.09	0.36	145	5	0.12619	0.00109	3.46969	0.09817	0.19941	0.00610	2045.6	15.4	78.8
757-7.1	167.11	86.45	0.52	66	3	0.13392	0.00154	2.77158	0.08421	0.15010	0.00507	2150.0	20.2	92.4
757-8.1	625.25	351.79	0.56	168	0	0.12096	0.00142	4.15916	0.22114	0.24939	0.01393	1970.4	21.1	70.5
757-9.1	155.78	66.11	0.42	67	9	0.13159	0.00277	2.48683	0.08540	0.13708	0.00582	2119.3	37.4	102.8
757-10.1	180.46	83.42	0.46	74	10	0.12756	0.00257	2.59999	0.10332	0.14783	0.00691	2064.6	35.9	101.6
757-11.1	289.11	140.64	0.49	122	2	0.13439	0.00171	2.59817	0.09781	0.14021	0.00578	2156.2	22.4	97.4
correções: 204Pb e razão 207Pb/206Pb, Pb* (Pb radiogênico)														
correções: 2000 Ma model Pb (Cunning and Richards, 1975); todos os erros em 1 sigma														

Tabela 3.2: Análise U-Pb SHRIMP em meta-riolito do Complexo Madalena – Algodões-Choró.

No. Campo	Material (rocha total)	Sm (ppm)	Nd (ppm)	147Sm/144Nd	erro (2 sigmas)	143Nd/144Nd	erro (2 sigmas)	eNd(0)	fSm/Nd	TDM (Ma)	e(TDM)	Tma(1)	e(T1)
PALEOPROTEROZOICO (COMPLEXO MADALENA ALGODÕES-CHORÓ)													
NCC-055	gnaisse com biotita (meta-riolito)	7.641	36.055	0.1214	0.0004	0.511686	0.000010	-18.37	-0.36	2230	3.04	2100	1.8
NCC-139B	hornblenda biotita ortognaisse	3.596	20.898	0.1041	0.0005	0.511313	0.000010	-25.85	-0.47	2416	2.70	2100	-1.0
NCC-140B	hornblenda biotita ortognaisse	1.212	6.349	0.1155	0.0004	0.511523	0.000012	-21.75	-0.41	2368	2.78	2100	0.0
NCC-147	biotita gnaisse granoblastico bandado	5.004	28.765	0.1052	0.0003	0.511222	0.000013	-27.63	-0.47	2575	2.42	2100	-3.1
NCC-149A	biotita hornblenda ortognaisse	3.544	18.957	0.1130	0.0005	0.511473	0.000009	-22.73	-0.43	2387	2.75	2100	-0.3
NCC-153A	biotita gnaisse granoblastico foliado a bandado	0.872	4.937	0.1066	0.0004	0.511230	0.000126	-27.46	-0.46	2602	2.38	2100	-3.4
NCC-172A	muscovita biotita gnaisse bandado	7.332	34.829	0.1273	0.0004	0.511714	0.000017	-18.02	-0.35	2354	2.82	750	-11.4
NCC-160A	hornblenda biotita ortognaisse	3.455	19.033	0.1101	0.0009	0.511483	0.000011	-22.53	-0.44	2303	2.91	2100	0.7
NCC-160B	hornblenda biotita ortognaisse	6.527	36.923	0.1089	0.0004	0.511375	0.000012	-24.64	-0.46	2391	2.75	2100	-0.6
NCC-292c	hornblenda ortognaisse	3.674	20.101	0.1105	0.0004	0.511440	0.000011	-23.37	-0.44	2378	2.77	2100	-0.3
NCC-301A	hornblenda biotita ortognaisse	7.789	43.074	0.1091	0.0006	0.511614	0.000010	-19.97	-0.45	2084	3.32	2100	3.5
NCC-44E	hornblenda biotita ortognaisse	3.248	16.468	0.1063	0.0006	0.511387	0.000009	-24.40	-0.46	2360	2.80	2100	-0.2
NCC-305	biotita muscovita gnaisse incip. bandado	2.255	9.619	0.1418	0.0056	0.511626	0.000013	-19.75	-0.28	3056	1.66	2100	-5.0
(Nucleos gnaissico-migmatiticos)													
NCC-019	biotita diatexito foliado	2.637	12.647	0.1261	0.0004	0.511487	0.000012	-22.45	-0.36	2732	2.16	2100	-3.5
NCC-284	hornblenda biotita gnaisse levemente bandado	2.495	12.624	0.1188	0.0004	0.511572	0.000010	-20.79	-0.40	2373	2.78	2100	0.1
NCC-291B	tilanita hornblenda biotita diatexito foliado	8.972	36.583	0.1483	0.0005	0.511854	0.000011	-15.29	-0.25	2807	2.04	2100	-2.3
NCC-304	epidoto biotita gnaisse	3.826	17.500	0.1320	0.0005	0.511659	0.000010	-19.10	-0.33	2603	2.38	2100	-1.8
Região de Algodões-Choró (Martins.2000)													
No. Campo	Material	Sm (ppm)	Nd (ppm)	147Sm/144Nd		143Nd/144Nd		e(0)	fSm/Nd	TDM (Ma)	e(TDM)	T1 (Ma)	e(T1)
GM-17	ortognaisse tonalítico	3.82	21.46	0.10759		0.511495		-22.49	-0.45	2244	3.02	2100	1.4
GM-20A	dique meta-andesito	5.94	36.51	0.08814		0.511338		-25.35	-0.501	2255	3.00	2100	1.0
GM-21B	ortognaisse granítico			0.08615		0.511182		-28.4	-0.562	2230	3.04	2100	1.2
GM-28	ortognaisse granítico	5.01	43.08	0.07027		0.510875		-34.38	-0.6428	2311	2.89	2100	-0.5
GM-47B	ortognaisse tonalítico	6.39	35.95	0.10753		0.511465		-22.88	-0.4533	2272	2.96	2100	1.0
GM-67A	dique tonalítico			0.10671		0.511459		-23.01	-0.4575	2264	2.98	2100	1.1
GM-59I	metassedimento			0.12764		0.511658		-19.12	-0.3511	2467	2.61	2100	-0.6
GM-55D	metassedimento			0.08062		0.511101		-29.99	-0.5901	2231	3.04	2100	1.1
GM-09	metassedimento			0.07719		0.510957		-32.78	-0.6076	2337	2.64	2100	-0.6
cálculo T(DM): DePaolo (1981); CHUR (DePaolo,1981); eNd(0) assumindo 143Nd/144Nd hoje=0.512638, com norma p/ 146Nd/144Nd=0.72190 eNd(0)=[(143Nd/144Nd)am. hoje/0.512638]-1 x 10000; eNd(600 Ma)=[(143Nd/144Nd)am. 600 Ma/143Nd/144Nd (CHUR 600 Ma)-1] x 10000 cálculo T(DM) em duplo estágio (DE): De Paolo (1991)													

Tabela 3.3: Complexo Madalena – Algodões-Choró, resultados Sm-Nd.

3.6 Litogeoquímica

Em termos das características litogeoquímicas encontradas, o registro paleoproterozóico estudado será abordado sob três aspectos. Inicialmente, será realizada uma comparação entre as rochas presentes nos núcleos gnáissico-migmatíticos, ortognaisses e meta-vulcânicas ácidas a intermediárias. Em seguida, três amostras de anfibolitos da região de Madalena são avaliadas frente às características geoquímicas dos anfibolitos da região de Algodões-Choró (dados de Martins, 2000). Por último, em complemento a comparação realizada para as rochas anfíbolíticas, as rochas gnáissicas presentes na região de estudo são comparadas às encontradas na região de Algodões-Choró. Os principais resultados da avaliação realizada podem ser vistos nas figuras 3.10 a 3.16 (rochas gnáissicas da região de estudo) e 3.17 a 3.28 (rochas anfíbolíticas e gnáissicas da região de estudo e Algodões-Choró). Para análise mais detalhada das informações litogeoquímicas podem ser consultadas as tabelas presentes no Anexo 5.

3.6.1 Rochas gnáissicas da região de estudo

A variação dos teores de SiO_2 encontrados define um intervalo composicional onde os termos mais básicos (mínimo de ~ 58%) correspondem a algumas amostras de ortognaisses a biotita e hornblenda e uma amostra de gnaiss migmatítico presente no núcleo de embasamento Sul (figura 3.10). Os valores mais elevados de SiO_2 (máximo em torno de 78%) foram encontrados para os gnaisses a biotita e muscovita e meta-riolito da associação meta-vulcanossedimentar do CMACH. Com valores intermediários entre estes dois extremos podem ser encontradas as amostras dos gnaisses migmatíticos presentes nos núcleos de embasamento em meio às SCRCII. Os diagramas de variação mostram correlação negativa da SiO_2 com CaO , Fe_2O_3 , MgO , P_2O_5 e TiO_2 (figura 3.10), e ainda V, Cr e Sc (figura 3.11). Os teores de Al_2O_3 são aproximadamente constantes, à exceção das amostras de gnaisses a biotita e muscovita e meta-riolito da associação meta-vulcanossedimentar do CMACH (figura 3.10). Com o aumento da SiO_2 o enriquecimento mais expressivo observado foi de K_2O , sendo este mais acentuado para a amostra de meta-riolito. Esta mesma rocha, juntamente com uma das amostras de provável meta-riolito da mesma associação litológica, ainda apresentou valores muito baixos de Na_2O com respeito a SiO_2 e situam-se fora do *trend* composicional claramente definido pelas demais amostras

(figura 3.10). As amostras de meta-riolito e gnaisses a biotita e muscovita (prováveis meta-riolitos) são bastante parecidas em termos dos teores de Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , MgO , $\text{Mg\#}$ (aqui utilizado como $\text{MgO}/(\text{MgO}+\text{Fe}_2\text{O}_3)$), P_2O_5 , TiO_2 e ainda em termos de Nb e Y (figura 3.11). Considerando as proporções presentes no diagrama AFM (figura 3.12), um considerável enriquecimento em álcalis ainda pode ser observado para estas rochas. A avaliação da alcalinidade segundo os diagramas de Irvine e Baragar (1971), figura 3.12, revelou a presença de rochas de afinidade subalcalina segundo a relação $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O} \times \text{SiO}_2$ e ainda uma afinidade francamente cálcio-alcalina segundo o diagrama AFM. Através da relação entre os índices de Shand ($\text{ANK}=\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ e $\text{ACNK}=\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ em proporção molecular) plotados no diagrama de Maniar e Picoli (1989) pôde ser constatada a presença de rochas com composição transicional entre meta e peraluminosa. Merece destaque ainda o fato das amostras de meta-riolito, e demais candidatos a esta categoria, situarem-se numa posição compatível com composições alcalinas, numa transição entre os campos meta e peraluminoso (figura 3.13).

As relações entre Rb, Ba e Sr mostram que as rochas gnáissicas em questão são sempre muito pobres em Rb, e um *trend* composicional pode basicamente ser observado em termos de um progressivo enriquecimento em Ba em relação ao Sr (figura 3.14). Para este mesmo diagrama em termos da proposta de El Boseily e El Sokkary (1975) pode ser constatado que a maioria das amostras apresentou composições compatíveis com quartzo-dioritos, com algumas amostras ainda situando-se no campo dos granodiorito (apenas uma amostra) e diorito (três amostras). Com respeito a esta classificação, o maior enriquecimento em Ba das amostras de meta-riolitos situa estas como de composições equivalentes aos granitos normais, conforme a classificação em questão. No diagrama da figura 3.14 dois aspectos interessantes ainda podem ser observados: a) a presença de três amostras de gnaisses migmatíticos oriundas dos núcleos de embasamento das SCRCII levemente mais enriquecidas em Rb (ainda a ser explicado); b) o *trend* composicional definido pelo enriquecimento progressivo em Ba é acompanhado também por um enriquecimento em SiO_2 , K_2O e Na_2O e ainda, empobrecimento em V, Cr, Sc, TiO_2 , CaO e P_2O_5 .

Os diagramas de distribuição multi-elementos (figura 3.15) mostraram que as rochas gnáissicas analisadas são bastante parecidas em termos do conjunto de elementos considerados. Para a maioria dos elementos, o enriquecimento é acima de 10 vezes o condrito considerado na normalização, com padrão geral mostrando um empobrecimento progressivo em direção aos elementos mais compatíveis. Dentro do padrão geral, as

principais “depressões” nos padrões obtidos associam-se ao K, Ta, Nb e Ni (esta mais intensa). Os enriquecimentos mais expressivos associam-se ao Ba e U.

O padrão de distribuição dos elementos terras raras sempre apresenta um considerável fracionamento entre terras raras leves e pesados (figura 3.15). Nas amostras dos núcleos gnáissico-migmatíticos, o enriquecimento dos terras raras leves é acima de 30 vezes o condrito, sendo que em uma das amostras tal enriquecimento chega a mais de 70 vezes. O maior empobrecimento em terras raras pesados foi observado na amostra de diatexito foliado a biotita. Na maioria das amostras, a anomalia negativa de Eu é muito pequena, à exceção de uma das amostras de gnaiss migmatítico a biotita e hornblenda. Para as amostras de ortognaisses e gnaisses a biotita (prováveis meta-andesitos) da associação meta-vulcanossedimentar o padrão de distribuição dos terras raras é muito parecido, sendo sempre caracterizado por considerável fracionamento entre terras raras leves e pesados; os padrões encontrados apenas diferem pelo maior empobrecimento ou enriquecimento de todos os terras raras além de uma leve anomalia positiva de Eu encontrada para uma das amostras de ortognaiss (figura 3.15). O padrão de distribuição dos terras raras evidenciado pela amostra de metariolito e gnaisses a biotita e muscovita (prováveis meta-riolitos) da associação meta-vulcanossedimentar do CMACH é parecido em forma com os observados para os ortognaisses e gnaisses a biotita (prováveis meta-andesitos) deste complexo. Para os primeiros, a diferença mais marcante é a presença de uma expressiva anomalia de Eu, fracionamento entre terras raras leves e pesados um pouco menor, além de um maior enriquecimento considerando todo o conjunto de terras raras.

No diagrama $Rb \times Y+Nb$ de Pearce *et al.* (1984) a maioria das amostras estudadas situou-se no campo VAG-*volcanic arc granites* (figura 3.16). O posicionamento das amostras de meta-riolito e os prováveis meta-riolitos nos extremos mais enriquecidos em Rb e principalmente em $Y+Nb$, permite a definição de composições compatíveis com os WPG (*within plate granites*). Tal posicionamento pode indicar que estas rochas tiveram uma fonte com composição um pouco diferente das que originou as rochas ortognáissicas e prováveis meta-andesitos. Uma das amostras de gnaiss migmatítico também se situou em posição muito próxima às meta-vulcânicas em questão. Melhores estudos ainda são necessários para comprovar tal fato e ainda avaliar a possibilidade das rochas meta-riolíticas constituírem produtos formados por cristalização fracionada a partir do magma mais básico do qual se originaram os protólitos dos ortognaisses e prováveis meta-andesitos.

Figura 3.10:
Diagramas de dispersão de elementos maiores tendo a SiO_2 como parâmetro de diferenciação e proporção entre CaO , Na_2O e K_2O .

Embasmamento Paleoproterozóico, Complexo Madalena - Algodões-Choró

- Núcleos gnáissico-migmatíticos:
 (□) diatexito foliado a biotita
 (■) gnaisses migmatíticos a biotita e hornblenda
 (○) banda rica em feldspato potássico
 (◁) ortognaisses a biotita e hornblenda
 (▲) gnaisses a biotita (prováveis meta-andesitos)
 (Δ) gnaisses a biotita e muscovita (prováveis meta-riolitos)
 (R) meta-riolito

Figura 3.11:
Diagramas de dispersão de elementos traço tendo a
SiO₂ como parâmetro de diferenciação.
Embasamento Paleoproterozóico, Complexo Madalena -
Algodões-Choró

Figura 3.12:
Diagramas para avaliação da alcalinidade e afinidades cálcio-alcalina e toleítica segundo Irvine e Baragar (1971).

Embasamento paleoproterozóico, Complexo Madalena - Algodões-Choró

- Núcleos gnáissico-migmatíticos:
 (□) diatexito foliado a biotita
 (■) gnaisses migmatíticos a biotita e hornblenda
 (○) banda rica em feldspato potássico
 (◁) ortognaisses a biotita e hornblenda
 (▲) gnaisses a biotita (prováveis meta-andesitos)
 (△) gnaisses a biotita e muscovita (prováveis meta-riolitos)
 (R) meta-riolito

Figura 3.13:
Avaliação da aluminosidade segundo os índices de Shand no diagrama de Maniar e Picoli (1989).

Embasamento paleoproterozóico, Complexo Madalena - Algodões-Choró

- Núcleos gnáissico-migmatíticos:
 (□) diatexito foliado a biotita
 (■) gnaisses migmatíticos a biotita e hornblenda
 (○) banda rica em feldspato potássico
 (◁) ortognaisses a biotita e hornblenda
 (▲) gnaisses a biotita (prováveis meta-andesitos)
 (△) gnaisses a biotita e muscovita (prováveis meta-riolitos)
 (R) meta-riolito

Figura 3.14:
Proporção entre Rb, Ba e Sr. Campos de El Bousely e El Sakkary (1975): 1 - dioritos, 2 - granodioritos, 3 - quartzo-dioritos, 3 - granitos normais, 4 - granitos anômalos, 5 - granitos normais, 6 - granitos fortemente diferenciados.

Embasamento paleoproterozóico, Complexo Madalena - Algodões-Choró

- Núcleos gnáissico-migmatíticos:
 (□) diatexito foliado a biotita
 (■) gnaisses migmatíticos a biotita e hornblenda
 (○) banda rica em feldspato potássico
 (◁) ortognaisses a biotita e hornblenda
 (▲) gnaisses a biotita (prováveis meta-andesitos)
 (△) gnaisses a biotita e muscovita (prov. Meta-riolitos)
 (R) meta-riolito

Figura 3.15: Embasamento paleoproterozóico, Complexo Madalena - Algodões-Choró: diagramas de distribuição multi-elementos e terras raras.

A - Núcleos gnáissico-migmatíticos (□) diatexitó foliado a biotita
(■) gnaisses migmatíticos a biotita e hornblenda, (○) banda rica em feldspato potássico

B - (◁) ortognaisses a biotita e hornblenda, achura cinza
(▲) gnaisses a biotita (prováveis meta-andesitos), campo com linhas horizontais

C - meta-riolito (linha espessa); gnaisses a biotita e muscovita (prov. Meta-riolitos, campo hachurado)
Normalização diagramas multi-elementos: condrito de Sun e McDonough (1989); Sc, Ni e Cr (condrito de Taylor e McLennan (1975))

Figura 3.16:
Diagrama de Pearce et al. (1984), com os campos:
VAG (volcanic arc granites), ORG (ocean ridge granites),
WPG (within plate granites) e Syn-COLG
(syn collisional granites).
Embasamento Paleoproterozóico, Complexo Madalena -
Algodões-Choró

Núcleos gnáissico-migmatíticos:
(□) diatexito foliado a biotita
(■) gnaisses migmatíticos a biotita e hornblenda
(○) banda rica em feldspato potássico

(◁) ortognaisses a biotita e hornblenda
(▲) gnaisses a biotita (prov. meta-andesitos)
(△) gnaisses a biotita e muscovita (prov. Meta-riolitos)
(R) meta-riolito

3.6.2 Rochas Anfíbolíticas: área de estudo e região de Algodões-Choró

Da região de Madalena foram analisadas três amostras (dois anfíbolitos foliados e um anfíbolito gnáissico). As principais características litogeoquímicas destas amostras, juntamente com uma análise de gôndito e dos anfíbolitos da região de Algodões-Choró, podem ser visualizadas nas figuras 3.17 a 3.23. Os seguintes pontos merecem ser ressaltados com base nas características visualizadas nos diagramas confeccionados:

Para a maioria das amostras (duas da região de Madalena e maioria das oriundas da região de Algodões-Choró) o teor de SiO_2 observado varia entre cerca de 47 e 55%. Enriquecimentos acima deste último valor somente foram observados para o anfíbolito gnáissico da região de Madalena e duas amostras da região de Algodões-Choró. Usando o número de Mg ($\text{Mg\#} = \text{MgO}/(\text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3)$) como índice de diferenciação, observa-se associado a um aumento dos valores deste parâmetro claramente um decréscimo em Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 e Rb, além de um leve aumento em CaO e Al_2O_3 (figura 3.17).

Os teores de CaO apresentam pouca variação, podendo ser estabelecido um valor médio de 10%. Os teores de Al_2O_3 situam-se entre 13 e 18% para a grande parte das amostras, apenas com uma das amostras (oriunda da região de Algodões-Choró) apresentando um teor de 8.13%. Os teores de P_2O_5 ficam preferencialmente abaixo de 0.18%, exceto para duas amostras da região de Algodões-Choró que apresentaram teores de P_2O_5 próximo de 0.6%.

Utilizando a relação $\text{FeO}_1 \times \text{TiO}_2$ proposta por Pellogia e Figueiredo (1991) observa-se que a maioria das amostras situam-se no campo representativo dos anfíbolitos derivados de rochas vulcânicas básicas (ortoanfíbolitos) ou ainda produtos de rochas vulcanoclásticas associadas a magmatismo básico (tufos básicos).

Nos diagramas de classificação utilizando elementos maiores, a grande maioria das amostras situa-se no campo dos basaltos, com o anfíbolito gnáissico da região de Madalena apresentando composição andesítica (figura 3.19). No diagrama de classificação considerando elementos traço observa-se preferencialmente composições transicionais entre basaltos subalcalinos e andesitos basálticos, com a amostra de anfíbolito gnáissico situando-se já na transição entre os campos de andesitos basálticos e andesito.

A presença de composições subalcalinas pode ser constatada no diagrama TAS de Irvine e Baragar (1971). De modo complementar, no diagrama AFM proposto por estes mesmos autores, foram constatadas composições francamente toleíticas, apenas com a amostra de anfíbolito gnáissico situando-se na transição para o campo cálcio-alcalino devido a um maior enriquecimento em álcalis, talvez devido à gnaissificação (figura 3.20).

A análise dos diagramas de distribuição multi-elementar e de terras raras (figura 3.21) apontou alguns aspectos: a) para os dois diagramas deve ser ressaltada a presença de duas assinaturas geoquímicas distintas. A primeira está associada a teores menores de Th, Rb, Sr, La, Ce, Ta, um maior enriquecimento em Nb e a um menor fracionamento entre terras raras leves e pesados. A segunda associa-se a um maior enriquecimento nos elementos acima citados, além de um maior fracionamento entre terras raras leves e pesados e um leve empobrecimento em Nb. Ambas as assinaturas são observadas tanto na região de Madalena como Algodões-Choró, e aparentemente correspondem a anfíbolitos distintos gerados a partir de protólitos ígneos oriundos de magmas ligeiramente diferentes.

Os anfíbolitos em questão assumem comportamentos bastante interessantes quando plotados em diagramas destinados à discriminação de ambientes geotectônicos (figura 3.22 e 3.23). No diagrama proposto por Shervais (1982), a relação $V \times \text{Ti}/1000$ define claramente um *trend* composicional transicional situado entre os campos dos basaltos de fundo oceânico e de arco. Conforme a proporção entre $\text{TiO}_2 / \text{MnO} \times 10 / \text{P}_2\text{O}_5 \times 10$, proposta por Mullen (1983), pode ser constatada a presença de um franco predomínio de composições compatíveis com toleítos de arcos de ilha (IAT – *island arc tholeite*). Apenas duas amostras oriundas da região de Algodões-Choró situaram-se no campo dos basaltos de ilhas oceânicas (*ocean island basalts-OIB*). A análise dos anfíbolitos em apreço no diagrama sugerido por Kerr *et al.* (2000; in Martins e Oliveira, 2003) mostrou novamente a

presença de duas composições distintas, uma mais compatível com toleítos de arco de ilha e outra (representada por uma das amostras da região de Madalena) situada francamente na posição dos toleítos de platôs oceânicos/N-MORB (figura 3.23).

Figura 3.17: Paleoproterozóico, Complexo Madalena - Algodões-Choró, anfibolitos.
 Diagramas de variação considerando elementos maiores e tendo o número de Mg
 ($Mg\# = MgO / (MgO + Fe_2O_3)$) como parâmetro de diferenciação.
 Análises deste trabalho: (◆) na associação meta-vulcanossedimentar
 (◇) associado a meta-sedimentos
 Análises da região de Algodões-Choró, Martins, 2000 (□)

Figura 3.18: Paleoproterozóico, Complexo Madalena - Algodões-Choró, anfíbolitos.

Diagrama $\text{FeO} \times \text{TiO}_2$ de Pellogia e Figueiredo (1991).

Análises deste trabalho: (◆) na associação meta-vulcanossedimentar

(◇) na associação metassedimentar

Análises da região de Algodões-Choró, Martins, 2000 (◇)

Figura 3.19: Paleoproterozóico, Complexo Madalena - Algodões-Choró, anfíbolitos.

Diagramas de classificação,

Cox et al., 1979 (A) e Winchester e Floyd, 1977 (B e C).

Análises deste trabalho: (◆) na associação meta-vulcanossedimentar

(◇) na associação metassedimentar

Análises da região de Algodões-Choró, Martins, 2000 (◇)

Figura 3.20: Paleoproterozóico, Complexo Madalena - Algodões-Choró, anfibolitos e gondito. Diagramas para avaliação de alcalinidade e afinidades toleítica e cálcio-alcálica conforme Irvine e Baragar (1971). Análises deste trabalho: (♦) na associação meta-vulcanosedimentar, (◇) na associação metassedimentar. Análises da região de Algodões-Choró, Martins, 2000 (◇)

Figura 3.21: Embasamento Paleoproterozóico Complexo Madalena – Algodões-Choró, anfibolitos. Diagramas de distribuição dos elementos terras raras e distribuição multi-elementos (estes normalizados pelo condrito de Sun e McDonough, 1989; Ni, Sc e Cr normalizados pelo condrito de Taylor e McLennan, 1985).

Análises deste trabalho: (♦) na associação meta-vulcanosedimentar, (◇) na associação metassedimentar. Análises da região de Algodões-Choró, Martins, 2000 (◇) e Campos hachurados em negro. (▼) gondito

Figura 3.22: Embasamento Paleoproterozóico
Complexo Madalena – Algodões-Choró, anfibolito. Diagramas discriminantes de Shervais, 1982 (A) e Mullen (1983)

Análises deste trabalho: (◆) na associação vulcanossedimentar, (◆) na associação metassedimentar
Análises da região de Algodões-Choró, Martins, 2000 (◇)

Figura 3.23: Embasamento Paleoproterozóico
Complexo Madalena – Algodões-Choró, anfibolitos
Diagrama La/Yb x Zr/Th conforme a proposta de Kerr et al. (2000; In Martins e Oliveira, 2003) para a Discriminação de rochas máficas de arcos com afinidade cálcio-alcálica, toleítica e Toleitos de platôs oceânicos.

Análises deste trabalho: (◆) na associação vulcanossedimentar, (◆) associado a meta-sedimentos
Análises da região de Algodões-Choró, Martins, 2000 (◇)

Em relação ao gondito, as principais características analisadas são: a) teores de SiO_2 , Al_2O_3 e MnO de 60.7%, 12.3% e 9.8%, respectivamente; b) para a maioria dos elementos presentes no diagrama multi-elementar da figura 3.21 os teores encontrados são sempre superiores aos valores de normalização, destacando-se os enriquecimentos em Th, Ce e Sm; c) o padrão de distribuição dos terras raras é bem fracionado, com os terras raras

leves não ultrapassando 10 vezes os valores da normalização; uma anomalia negativa de Ce expressiva ainda pode ser observada.

3.6.3 Rochas Gnáissicas dos arredores de Madalena e região de Algodões-Choró: comparação litogeoquímica e isotópica

Em termos da litogeoquímica trabalhada, as figuras 3.24 a 3.29 ilustram alguns aspectos interessantes a serem comparados. Dentre estes merecem destaque:

- 1) A porção ortognáissica da região de Algodões-Choró é composta por termos mais básicos enriquecidos em CaO, empobrecidos em SiO₂ e mais metaluminosos (figura 3.24 e 3.26);
- 2) Muitas rochas tidas por Martins (2000) como paragnaisses possuem composição muito próxima dos meta-riolitos e demais meta-vulcânicas da região de Madalena;
- 3) Utilizando o diagrama de Wronkiewicz e Condie (1987) constata-se a elevada imaturidade dos metassedimentos, sendo ainda notável a correspondência composicional entre estes e as rochas de derivação ígnea associada (figura 3.24);
- 4) Alguns paragnaisses da região de Algodões-Choró mostram-se bem aluminosos, padrão este observado apenas em uma das amostras dos metassedimentos das SCRCII. Duas amostras, também da região de Algodões-Choró, mostraram-se aluminosas, mas bastante empobrecidas em álcalis;
- 5) Apesar de algumas amostras da região de Algodões-Choró consideradas como paragnaisses apresentarem um menor fracionamento entre terras raras leves e pesados e uma anomalia negativa de Eu, não foi observado nesta região nenhum padrão de distribuição que se aproxima daquele exibido pelas rochas meta-riolíticas da região de Madalena.

Considerando uma idade média de 2100 Ma para as rochas gnáissicas em questão percebe-se através os valores de ϵNd_t obtidos (aproximadamente entre -5 e +5, figura 3.30) um comportamento juvenil ou próximo deste para a grande maioria das rochas gnáissicas estudadas. As idades T(DM) mais antigas, associadas aos valores de ϵNd_t mais negativos, indicam que os gnaisses presentes nos núcleos gnáissico-migmatíticos e algumas prováveis meta-vulcânicas são produtos oriundos do retrabalhamento de uma crosta arqueana.

Figura 3.24: Embasamento paleoproterozóico, rochas orto e paragnáissicas em diagramas mostrando proporções entre elementos maiores. O diagrama SiO₂/Al₂O₃ x K₂O/Na₂O é segundo proposta de Wronkiewicz e Condie (1987).

Análises de Martins (2000), região de Algodões-Choró: (◄) ortognaisses, (▽) paragnaisses.
 Análises deste trabalho, região de Madalena e arredores: paragnaisses (●),
 (◁) ortognaisses, (R) meta-riolito, (△) gnaisses a biotita e muscovita (prováveis meta-riolitos),
 (▲) Gnaisses a biotita (prováveis meta-andesitos)

Figura 3.25: Embasamento paleoproterozóico, rochas orto e paragnáissicas no diagrama proposto por Irvine e Baragar (1971) para definição das afinidades toleítica e cálcio-alcalina.

Análises de Martins (2000), região de Algodões-Choró: (◄) ortognaisses, (▽) paragnaisses.
 Análises deste trabalho, região de Madalena e arredores: paragnaisses (●),
 (◁) ortognaisses, (R) meta-riolito, (△) gnaisses a biotita e muscovita (prováveis meta-riolitos),
 (▲) Gnaisses a biotita (prováveis meta-andesitos)

Figura 3.26: Embasamento paleoproterozóico, rochas orto e paragnáissicas no diagrama ACNK proposto por Manniar e Picolli (1989) contendo os índices de Shand.

Análises de Martins (2000), região de Algodões-Choró: (▲) ortogneisses, (▽) paragneisses.
 Análises deste trabalho, região de Madalena e arredores: paragneisses (●),
 (◁) ortogneisses, (R) meta-riolito, (△) gnaisses a biotita e muscovita (prováveis meta-riolitos),
 (▲) Gnaisses a biotita (prováveis meta-andesitos)

Figura 3.27: Embasamento paleoproterozóico, rochas orto e paragnáissicas considerando as Proporções entre Rb, Ba e Sr.

Análises de Martins (2000), região de Algodões-Choró: (▲) ortogneisses, (▽) paragneisses.
 Análises deste trabalho, região de Madalena e arredores: paragneisses (●),
 (◁) ortogneisses, (R) meta-riolito, (△) gnaisses a biotita e muscovita (prováveis meta-riolitos),
 (▲) Gnaisses a biotita (prováveis meta-andesitos)

Figura 3.28: Embasamento paleoproterozóico, área de estudo e região de Algodões-Choró. Diagramas de distribuição multi-elementos.

- A- Núcleos gnáissico-migmatíticos: diatexito foliado a biotita (linha espessa), gnaisses migmatíticos a biotita e hornblenda (campo cheio), banda rica em feldspato potássico (linha tracejada).
- B- Rochas gnáissicas da região de Madalena.
- C- Rochas gnáissicas da região de Algodões-Choró (análises de Martins, 2000): paragnáisses (campo com linhas inclinadas), ortognáisses (campo cheio).
- D - Paragnáisses, associação meta-sedimentar (círculos cheios a esquerda).
- Normalização pelos valores de Sun e McDonough (1989); Ni, Sc e Cr normalizados pelos valores do condrito de Taylor e McLennan (1985)

Figura 3.29: Diagramas de distribuição de terras raras. Rochas gnáissicas paleoproterozóicas da área de estudo e da região de Algodões - Choró (Martins,2000).

A- Núcleos de embasamento em meio as Supracrustais Rio Curú-Itaia-Independência: ($\square$) diatexito foliado a biotita, ($\blacksquare$) gnaisses migmatíticos a biotita e hornblenda, ($\circ$) banda rica em feldspato potássico.

B- Rochas gnáissicas da região de Madalena: ortogneisses a hornblenda e biotita (campo com linhas horizontais), gnaisses a biotita (prováveis meta-andesitos, linhas verticais), gnaisses a biotita e muscovita (prováveis meta-riolitos, campo cheio), meta-riolito (linha espessa).

C- Rochas gnáissicas da região de Algodões-Choró (análises de Martins,2000): paragneisses (campo quadriculado), ortogneisses (campo cheio). D - paragneisses da associação meta-sedimentar (circulo cheio a esquerda).

Normalização pelos valores do condrito de Nakamura, 1977.

Figura 3.30: Rochas gnáissicas paleoproterozóicas, Complexo Madalena - Algodões-Choró. Diagrama com a evolução temporal dos isótopos de Nd considerando os núcleos gnaisses migmatíticos e rochas gnáissicas da região de Madalena e da região de Algodões-Choró segundo Informações de Martins, 2000).

3.6.4: Registro Paleoproterozóico: Comentários Finais

Com base no exposto, o registro paleoproterozóico encontrado na região de estudo e arredores (regiões de Algodões-Choró) pode ser caracterizado da seguinte forma:

- 1) é composto principalmente por rochas gnáissico-migmatíticas a hornblenda e biotita (porção ortoderivada), biotita e muscovita (prováveis meta-vulcânicas ácidas e intermediárias) e anfibolitos. Subordinadamente, ainda podem ser encontrados gonditos e meta-*cherts* ferruginosos. Os gnaisses peraluminosos (meta-grauvacas de Martins, 2000) foram encontrados até o momento somente na região de Algodões-Choró;

- 2) a partir das informações aerogeofísicas trabalhadas, a continuidade física das litologias presentes na região de Madalena até a região de Algodões-Choró pode ser acompanhada através dos valores radiométricos muito baixos e uma série de estruturas e anomalias magnéticas positivas (estas preferencialmente associadas a corpos anfibolíticos). Estas feições, bem como informações de campo e isotópicas ainda sugerem a continuidade do registro paleoproterozóico até a região da localidade de Boa Viagem;
- 3) em termos litogeoquímicos os gnaisses e anfibolitos presentes na região de estudo são relativamente parecidos com os presentes na região de Algodões-Choró, não tendo sido encontrada nenhuma diferença marcante capaz de evidenciar dois segmentos paleoproterozóicos distintos. As informações geoquímicas indicaram ainda que estas rochas provavelmente foram formadas em um ambiente de arco de ilha. As rochas anfibolíticas parecem ser constituídas por dois tipos distintos, com um deles possuindo composição indicativa de pouca influência de crosta continental em sua gênese, tal como ocorre em um ambiente de arco de ilha pouco evoluído;
- 4) considerando as determinações U-Pb em zircão efetuadas neste trabalho e as levantadas por Fetter (1999) e Martins (2000) uma idade média de 2130 Ma é tida para o momento como representante da época de cristalização primária das rochas gnáissicas do CMACH, indicando assim tratar-se de um importante segmento crustal formado durante a orogênese Transamazônica/Eburneana. Uma idade similar também foi identificada para as rochas presentes nos núcleos gnáissico-migmatíticos portadores de herança crustal mais antiga;
- 5) as informações isotópicas de Nd revelaram ainda que as rochas gnáissicas podem ser compartimentados em duas porções distintas, sendo uma mais juvenil e outra, aparentemente em menor volume, formada às custas de uma crosta continental mais antiga onde podem ser recuperadas idades T(DM) neoarqueanas. Neste trabalho pode-se dizer que foi realizada uma pequena amostragem de zircão presentes nestas rochas portadoras de idades T(DM) mais antigas. Neste sentido, um estudo de maior detalhe pode revelar a presença de zircão arqueanos muito pouco retrabalhados no paleoproterozóico, tal como encontrado por Silva *et al.* (2002) a sudoeste da localidade de Boa Viagem.

CAPÍTULO 4

Neoproterozóico II-III

Na região entre Madalena e Taperuaba este período encontra-se registrado através de um conjunto de rochas metassedimentares com intercalações de meta-vulcânicas básicas e ácidas, que aqui foram englobados sob a denominação de **Supracrustais Rio-Curú-Itataia-Independência (SCRCII)**. Como abordado no Capítulo 2, estas supracrustais integram uma extensa unidade lito-tectônica que ocorre nas regiões das localidades homônimas. Para a região de estudo, as SCRCII são predominantemente constituídas por gnaisses migmatíticos aluminosos formados a partir de rochas pelito-psamíticas (~ 60%), psamitos (arenitos ~ 20%), rochas carbonáticas (~ 15%, incluindo mármore e cálcio-silicáticas) e vulcânicas (~ 5%, básicas em maior volume e ácidas). Determinações geocronológicas disponíveis na literatura para meta-vulcânicas ácidas, tidas como associadas ao processo distensivo através do qual teria se depositado boa parte das SCRCII, apontam para uma sedimentação em torno de 770 Ma, consistente com as determinações Sm-Nd e U-Pb e características litogeoquímicas levantadas para meta-vulcânica ácida encontrada a sudeste da localidade de Lagoa do Mato, aparentemente encaixadas em metassedimentos pertencentes ao CMACH. Uma idade muito próxima desta, também em meta-vulcânica ácida, foi documentada na região de Independência por Fetter (1999).

No domínio das SCRCII os trabalhos realizados permitiram caracterizar quatro associações litológicas distintas: a) Clasto-Aluminosa (ACA), b) Clasto-Alumino-Carbonática (ACAC), c) Anfibolítica e d) Vulcânica Ácida Alcalina. As duas primeiras apresentam-se em maior volume, comportando conforme a região, várias intercalações de meta-basitos, em sua maior parte representante do vulcanismo básico sin-sedimentar. Estas associações rochosas comportam variada gama de estruturas tectônicas associadas a metamorfismo, aspectos estes abordados no Capítulo 5.

4.1 Associação Clasto-Aluminosa (ACA)

Esta associação litológica ocorre imbricada tectonicamente entre duas escamas tectônicas compostas pelas litologias da associação clasto-alumino-carbonática. Como características marcantes da ACA, valem citar o volume muito reduzido de rochas carbonáticas e o fato de comportar a mineralogia de mais alta pressão conhecida até o momento para toda geologia do Estado do Ceará.

Genericamente a ACA é composta por gnaisses migmatíticos bandados, geralmente portando porções francamente migmatíticas e miloníticas. Seis tipos litológicos principais podem ser descritos:

- a) **Gnaisses migmatíticos bandados**, compostos por quantidades variáveis de feldspato potássico (microclina, geralmente presente em níveis e de caráter levemente tardio) e plagioclásio (oligoclásio-andesina), biotita (também em volume variável (5-30%), muscovita (5-30%) e granada (traços a 2%). Silimanita e granada são comuns, podendo cada um atingir localmente até cerca de 5% em volume. Nestes gnaisses a cianita é rara, e em algumas situações observa-se a transformação desta para fibrolita;
- b) **Gnaisses migmatíticos bandados a biotita e muscovita**: de larga ocorrência, geralmente portando também alguma granada e níveis miloníticos. O feldspato mais abundante é a microclina e os teores de quartzo atingem até cerca de 20%. Os acessórios são compostos por zircão, monazita e opacos;
- c) **Quartzitos**: ocorre sob a forma de pequenas lentes não representadas na cartografia apresentada. Geralmente comportam níveis mais meta-pelíticos onde a silimanita e alguma granada ocorrem;
- d) **Xistos feldspáticos**: relativamente comuns, compostos por quantidades variáveis de biotita, muscovita e granada. Em alguns locais, a cianita também pode ser encontrada, bem como a silimanita fibrosa. Níveis miloníticos são comuns, onde quase sempre porfiroblastos de microclina são visualizados;
- e) **Gnaisses migmatíticos com registro de alta pressão**: corresponde à porção da ACAC em cujas litologias foram encontrados registros metamórficos que atingiram o fácies eclogito (ver estudos termo-barométricos no Capítulo 5). A ocorrência de alumino-silicatos (cianita, granada e silimanita) é bastante comum e, em alguns pontos dos gnaisses desta associação (NCC-30 e 467, por exemplo), possíveis cristais de cordierita podem ocorrer. A biotita chega a atingir cerca de 20% em

volume, o quartzo cerca de 15% e o feldspato predominante é composto por oligoclásio (cerca até 65% em volume). A microclina ocorre em volume variável, geralmente concentrada em bandas juntamente com a silimanita fibrosa, denotando assim seu caráter tardio. Os acessórios são constituídos principalmente por zircão, opacos e monazita;

- f) **Meta-basito com registro de alta pressão:** na ACA, até o momento, só foi encontrada uma ocorrência deste tipo, situada a cerca de 10 km a sudoeste da localidade de Lagoa do Mato. Uma descrição melhor da litologia desta ocorrência pode ser encontrada no subcapítulo 4.3 ou ainda no Capítulo 5 durante a abordagem sobre metamorfismo e deformação;

4.2 Associação Clasto-Alumino-Carbonática (ACAC)

Corresponde à associação litológica posicionada tectonicamente entre a ACA e as rochas granito-migmatíticas do Complexo Tamboril-Santa Quitéria.

As figuras 4.2 a 4.5 trazem exemplos do modo de ocorrência e petrografia destas rochas. Em termos litológicos, cinco tipos litológicos principais integram a ACAC:

- 1) **Gnaisses migmatíticos bandados:** compostos por biotita (até cerca de 20%), quartzo (entre 10 e 25%), oligoclásio-andesina (predominante) e microclina, com esta predominando somente em níveis específicos (metamorfismo/anatexia). A muscovita ocorre localmente, e em alguns pontos (NCC-270, 384, 510 e 513), ocorrem possíveis cristais de cordierita. Cristais de granada e silimanita geralmente podem ocorrer nestes gnaisses. A cianita é rara e onde identificada geralmente está se transformando para silimanita fibrosa. Como acessórios são encontrados zircão, monazita e opacos. Níveis gnáissicos mais ricos em minerais micáceos são comuns e onde ocorrem geralmente feições miloníticas também são identificadas;
- 2) **Xistos feldspáticos:** compostos por quantidades variáveis de biotita (em maior volume), muscovita e granada. Silimanita fibrosa ocorre mais localmente, geralmente restrita a níveis específicos. Zircão, opacos e alguma turmalina são os acessórios encontrados;
- 3) **Rochas carbonáticas:** o maior volume destas rochas ocorre na região de Itataia, mas uma série de corpos menores (lentes) foram identificados em toda a área de ocorrência da ACAC. A litologia predominante são rochas cálcio-silicáticas bandadas (figura 4.4), ricas em piroxênio da série diopsídio-augita, flogopita e

escapolita. O quartzo geralmente está presente, em volume variável entre 5 e 15%. Menos comumente podem ser encontrados cristais de granada, titanita e minerais opacos. Em meio às rochas cálcio-silicáticas podem ser encontrados níveis de mármore quase puros (figura 4.5), os quais se apresentam sob a forma de bandas decimétricas a métricas e são compostos basicamente por dolomita. Pelas informações levantadas, o volume destas rochas carbonáticas mais puras (praticamente desprovidas de piroxênio, flogopita e quartzo) é reduzido em meio às rochas cálcio-silicáticas;

- 4) **Quartzitos:** esta litologia é relativamente comum na ACAC, ocorrendo como lentes ou corpos maiores, cuja maior ocorrência é representada pelos quartzitos que ocorrem na Serra do Céu, logo a norte de Itataia (figura 4.4). Os quartzitos da ACAC geralmente contêm muscovita e níveis meta-pelíticos quartzosos onde quase sempre podem ser encontradas alguma granada e silimanita. Em apenas dois locais foram encontradas composições diferentes: a) ponto NCC-221, onde ocorre um quartzito rico em feldspatos (figura 4.5), aparentemente detríticos, e indicando assim a presença de composições arcossianas localmente; b) NCC-359, onde ocorre um quartzito esbranquiçado, quase puro, e com algumas porções portando traços de magnetita/hematita;
- 5) **Meta-basitos**, abordados a seguir.

4.3 Associação Anfibolítica (Meta-basitos)

No domínio das SCRCII ocorre um volume considerável de meta-basitos originados a partir de protólitos ígneos básicos. A exemplo do que ocorreu na região do CMACH, também aqui os pontos marcados como anfibolitos no mapa apresentado representam locais onde esta litologia ocorre isoladamente ou em maior volume em relação às outras litologias. Em vários outros pontos as rochas anfibolíticas são subordinadas em volume em relação às demais litologias. Provavelmente o magmatismo responsável pela geração dos protólitos destes meta-basitos teve sua origem ligada ao processo distensivo que deu origem à deposição das SCRCII. No entanto, a falta de idades U-Pb em zircões nestas rochas impedem que elas sejam temporalmente associadas ao vulcanismo alcalino distensivo encontrado na área de estudo e região de Independência.

Na maior parte das vezes, o anfibólio presente geralmente é representado por cristais de hornblenda, mas em alguns casos (amostras NCC-24.1) a coloração presente é um verde

pálido indicando um teor de ferro mais baixo (pargasita?). O plagioclásio encontrado geralmente possui basicidade elevada (andesina/labradorita, e chega a atingir até cerca de 15% em volume). O quartzo geralmente está presente, mas em quantidade inferior a 5% em volume. Flogopita (em alguns casos), titanita (abundante), granada e diopsídio (ambos presentes em alguns casos), opacos e apatita completam a mineralogia principal encontrada. A mineralogia tardia e de mais baixa temperatura inclui clorita, opacos finos e argilo-minerais. A textura encontrada é nematoblástica, mas é freqüente a presença de textura granoblástica com contatos poligonizados.

No leito e em encostas da estrada de terra situada a sudoeste da localidade de Lagoa do Mato ocorrem afloramentos de um meta-gabro/diorito (retro-eclogito básico). A mineralogia principal é representada por plagioclásio (15-20%, andesina-labradorita), diopsídio (cerca de 20%), granada (entre 15 e 30% em volume), titanita (cerca de 5%), quartzo (~ 5%), anfibólio pálido (pargasita, em quantidade variável e definindo a fraca foliação presente). Opacos e apatita completam a mineralogia principal encontrada. Alguma clorita, opacos finos e saussurita compõem a mineralogia mais tardia. É comum encontrar a associação diopsídio+plagioclásio+granada em textura tipo simplectítica (discutida na abordagem sobre metamorfismo no Capítulo 5).

Meta-basitos a Microclina são encontrados em locais pertencentes à ACA (NCC-183) e à ACAC (NCC-04C, 131, 259, 513, etc.) como níveis centimétricos a decimétricos, relativamente contínuos e também como lentes, representando rochas ricas em minerais ferro-magnesianos (anfibólio e diopsídio) e feldspato potássico tipo microclina. A assembléia mineral é constituída principalmente por anfibólio (hornblenda e menos comumente tremolita/actinolita), microclina (20-30%), plagioclásio do tipo oligoclásio-andesina (5- 10%), diopsídio em quantidades variáveis (5-30%), quartzo (5-15%), biotita/flogopita, titanita e opacos. Epidoto/clinozoisita, clorita e opacos finos representam uma assembléia tardia e de temperatura mais fria. Material carbonático foi encontrado em apenas uma das seções delgadas, não ultrapassando cerca de 10% em volume. Geralmente uma foliação com anfibólio pode ser observada, a qual mais localmente, evolui para um bandamento gnáissico incipiente. Apesar do baixo volume de material carbonático e considerável teor de microclina e minerais ferro-magnesianos, estes meta-basitos parecem na realidade serem rochas cálcio-silicáticas que, conforme visto adiante na abordagem litogeoquímica, não apresentam afinidades composicionais com os meta-basitos de origem ígnea.

4.4: Associação Vulcânica alcalina

Gnaisses granoblásticos bandados encontrados próximos a localidade de Barro Vermelho, às margens da rodovia que liga a BR-020 à localidade de Lagoa do Mato (ponto NCC-90), são interpretados aqui como o registro de vulcanismo extensional associado à deposição da porção mais antiga das Supracrustais Rio Curú-Itataia-Independência (SCRCII).

A rocha encontrada neste local é um gnaisse granoblástico bandado (figura 4.1) onde, conforme a banda, as seguintes proporções minerais foram encontradas: a) bandas pobres em feldspato potássico: quartzo (10-20%), microclina (10-15%), plagioclásio (com teor de anortita não determinado, mas em até 60% de volume), biotita (10-15%), granada (1-2%), opacos (1-3%), zircão (traço a 1%). Desta banda, a amostra NCC-90A será discutida mais a frente em termos litogeoquímicos e isotópicos; b) bandas ricas em feldspato potássico: quartzo (10-15%), microclina (50-60%), oligoclásio-andesina (10-15%), biotita (5%), granada (traço a 1%), opacos (traço a 1%), zircão (traços). Em ambas as bandas a muscovita ocorre com volume variável (entre 1 e 3%), e em alguns casos aparentemente parece ter sido originada pela ação de fluidos tardios (muscovita secundária).

Ocorrências de gnaisses parecidos aos que ocorrem no ponto NCC-90 foram observadas no ponto NCC-95. Melhores estudos ainda são necessários para caracterizar outras ocorrências. Vários corpos de gnaisses granoblásticos identificados no domínio metassedimentar do CMACH ainda carecem de informações litogeoquímicas e isotópicas para serem enquadrados numa ou outra unidade.

Figura 4.1: Rochas supracrustais Rio Curú-Itataia-Independência (SCRCII), associação clasto-alumino-carbonática: gnaisses granoblásticos bandados (NCC-90, meta vulcânica/vulcanoclástica) e gnaisses migmatíticos a biotita e muscovita (ponto NCC-17).

Figura 4.2: Rochas supracrustais Rio Curú-Itataia-Independência (SCRCII), associação clasto-aluminosa com registro de metamorfismo de alta pressão. Gnaisses migmatíticos do ponto NCC-467 (leito seco do Rio Quixeramobim). O comprimento do martelo e a seta indicam a lineação de estiramento mineral com cianita e silimanita.

Figura 4.3: SCRCII, associação clasto-alumino-carbonática. Granada biotita migmatitos bandados e dobrados (NCC-249) e granada silimanita gnaisses que ocorrem no sangradouro do açude das instalações da Indústrias Nucleares do Brasil (INB) em Itataia.

Sobre a mineralização de U da jazida de Itataia, elevação onde está contida a entrada para a galeria G3. Visada geral para norte mostrando pacote de quartzitos com mergulho suave para norte.

Figura 4.4: Rochas supracrustais Rio Curú-Itataia-Independência, associação clasto-alumino-carbonática.

Mármore com níveis mais cálcio-silicáticos, S-SW da Localidade de Lagoa do Mato.

Figura 4.5: Rochas SCRCII, associação clasto-alumino-carbonática, gnaiss a biotita e silimanita (NCC-101A), gnaiss migmatítico bandado a biotita, silimanita e granada (NCC-251), quartzito rico em feldspato (NCC-221), porção de mármore quase puro em meio a cálcio-silicáticas (NCC-128).

4.5 Litogeoquímica

São abordadas a seguir as principais características geoquímicas dos litotipos encontrados no domínio das SCRCII. A compartimentação utilizada na abordagem obedece a caracterização petrográfica previamente realizada. As figuras 4.6 a 4.18 ilustram a caracterização e breve discussão realizada. As informações geoquímicas utilizadas podem ainda ser analisadas na tabela presente no anexo 5.

Rochas Gnáissico-Migmatíticas e Xistos Feldspáticos (Metassedimentos)

As figuras 4.6 a 4.9 ilustram os principais resultados obtidos. Para efeito de comparação as amostras dos metassedimentos do CMACH também são consideradas. A análise conjunta das rochas gnáissico-migmatíticas (oriundas de protólitos psamo-pelíticos e vulcânicos/vulcanoclásticos) pertencentes às associações Clasto-Aluminosa (ACA) e Clasto-Alumino-Carbonática (ACAC) permite por hora a exposição dos seguintes pontos principais:

- a) em termos do teor de SiO_2 os metassedimentos das SCRCII e do CMACH são muito parecidos, com os teores variando entre 61 e 77%. Com algumas exceções, o aumento de SiO_2 é acompanhado por um empobrecimento em $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$, CaO , MgO , $\text{Mg\#}$, Al_2O_3 e TiO_2 ;
- b) para a maior parte das amostras o teor em Al_2O_3 posiciona-se entre 13 e 16%, apenas com algumas amostras (meta-vulcânica ácida alcalina e duas amostras de gnaisses paraderivados) apresentando um valor abaixo de 13%;
- c) a razão $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ é maior nos metassedimentos das SCRCII, apesar de algumas amostras apresentarem valores muito parecidos com os presentes nas amostras dos metassedimentos do CMACH (figura 4.6);
- d) em termos de elementos traços as características mais marcantes dos metassedimentos das SCRCII são um maior enriquecimento em Y, Zr, Rb e valores mais elevados para a razão Rb/Sr , Ga e U (figura 4.6);
- e) a análise da aluminosidade com base nos índices de Shand plotadas no diagrama de Maniar e Picolli (1989) evidenciou a presença de composições francamente peraluminosas, com uma das amostras (NCC-05A) apresentando um valor de ACNK próximo de 2 (figura 4.7), o que denota a presença de uma composição francamente meta-pelítica para a amostra NCC-05A (granada biotita muscovita xisto feldspático). Outro fato interessante é a presença de metassedimentos do CMACH situados francamente no campo

peraluminoso e com composições mais compatíveis com as apresentadas pelas rochas pertencentes às SCRCII;

f) a relação $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ utilizada segundo a proposta de Wronkiewicz e Condie (1987) na avaliação da maturidade de sedimentos mostrou que os metassedimentos das SCRCII possuem composições predominantemente mais maduras que os integrantes do CMACH (figura 4.8). Apenas uma das amostras das SCRCII mostrou composição distinta, dada basicamente pelo maior valor assumido pela relação $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$;

g) conforme resultados presentes em Taylor e McLennan (1985), McLennan *et al.* (1990 e 1995), as relações Cr/Th e Th/Sc podem ser usadas em estudos de proveniência e evolução composicional de sedimentos ou produtos metamórficos oriundos destes através do tempo geológico. Estas relações indicam que os metassedimentos das SCRCII possuem uma assinatura muito parecida com a das rochas metassedimentares do CMACH, o que reforça ainda mais que o embasamento paleoproterozóico é a principal área fonte das supracrustais em questão;

h) o padrão de distribuição dos elementos terras raras dos metassedimentos integrantes das SCRCII é caracterizado por um considerável fracionamento entre terras raras leves e pesados (figura 4.9). Uma pequena anomalia negativa de Eu também pode ser observada para todas as amostras analisadas. Comparativamente, as curvas de distribuição apresentadas pelos metassedimentos das SCRCII é parecida com as apresentadas pelos metassedimentos do CMACH. Para estes, basicamente as únicas diferenças sutis são uma anomalia negativa de Eu menos pronunciada e um fracionamento entre terras raras leves e pesados relativamente maior.

Gnaiss Granoblástico a biotita (NCC-90A, Meta-vulcânica/vulcanoclástica ácida alcalina)

Aborda-se a seguir as características litogeoquímicas do vulcanismo ácido alcalino que muito provavelmente associa-se à tectônica extensional que originou a deposição dos protólitos das SCRCII. Os diagramas atrás mencionados na descrição litogeoquímica das rochas gnáissico-migmatíticas trazem plotada a amostra NCC-90A, por hora a única representante deste vulcanismo, para a qual foram levantadas informações litogeoquímicas e isotópicas. Foi considerada ainda uma amostra da região de Algodões-Choró que foi interpretada por Martins (2000) como um paragneisse, mas que apresentou algumas características litogeoquímicas parecidas com as encontradas na amostra NCC-90A.

Para a amostra NCC-90A as seguintes características geoquímicas particulares devem ser ressaltadas: a) o teor de SiO_2 é relativamente elevado (74 %); b) em relação aos demais gnaisses migmatíticos paraderivados apresentou um baixo valor de Al_2O_3 (~11 %); c) teores de CaO e MgO próximos de 1; d) razão $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{MgO}$ relativamente elevada (~5); e) razão $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ de 0.85; f) caráter fracamente aluminoso no diagrama ANK x ACNK; f) elevados teores de Nb (360 ppm), Zr (1639 ppm), Y (163 ppm), Ga (41 ppm), Ta (19 ppm), Zn (259 ppm), F (2506 ppm) e terras raras; g) valores reduzidos de Ba (26 ppm) e Sr (17 ppm); h) expressivo enriquecimento em terras raras, além de um fracionamento considerável entre terras raras leves e pesados e uma pronunciada anomalia negativa de Eu (figura 4.9). As características acima apresentadas conferem à amostra NCC-90A uma grande afinidade com um magmatismo do tipo A (conforme a definição deste nos trabalhos de Loiselle e Wones, 1979 e Collins *et al.*, 1982).

A amostra GM-59L (da região de Algodões-Choró) apresentou como características semelhantes à amostra NCC-90A, um caráter levemente peraluminoso e elevados teores de Nb (150 ppm), Ta (11 ppm), Zr (914 ppm), Y (115 ppm), Zn (113 ppm) e Hf (29 ppm). Como diferenças mais marcante, ressalta-se para a primeira a presença de teores mais elevados em Sr (183 ppm), Ba (570 ppm) e razão $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ acima de 2.

Com base nas classificações propostas por Winchester e Floyd (1977) apresentam composições alcalinas compatíveis com comendito/pantaleritos e traquitos.

Rochas Meta-básicas

Para a análise dos resultados litogeoquímicos os meta-basitos encontrados foram agrupados conforme suas características petrográficas, sendo destacados aqueles portadores de microclina. Adicionalmente, as características litogeoquímicas das três amostras de anfíbolitos do CMACH também são consideradas para comparação. As figuras 4.10 a 4.15 trazem as principais características litogeoquímicas encontradas.

Para a maioria das amostras analisadas o teor de SiO_2 é pouco variável, situando-se entre 46 a 51%. Os meta-basitos a microclina são mais enriquecidos em sílica, com os teores das duas amostras analisadas sendo 52 e 53.5%. O Al_2O_3 é bastante variável, com teores entre 12 e 16% para os anfíbolitos sem microclina. Para as duas amostras com microclina o valor de Al_2O_3 encontrado foi em torno de 12 e 10%. O número de Mg calculado ($\text{Mg\#} = \text{MgO}/(\text{MgO}+\text{Fe}_2\text{O}_3)$) varia entre 0.2 e 0.5 (meta-basitos sem microclina) e acima de 0.5 (meta-basitos com microclina).

Figura 4.7: Diagrama de Manniar e Picolli (1989) para a avaliação da aluminosidade conforme os índices de Shand.

Supracrustais Rio Curú-Itataia-Independência
 paragnáisses migmatíticos: (●) associação clasto-alumino-carbonática, (◐) ass. Clasto-aluminosa com registro de alta pressão, (◑) meta-vulcânica ácida alcalina.
 CMACH
 (◐) Paragnáisses da região de Madalena
 (▽) Paragnáisses (região de Algodões-Choró).

Figura 4.8: Diagramas de variação com elementos maiores e traços, avaliação de maturidade e herança.

Supracrustais Rio Curú-Itataia-Independência
 paragnáisses migmatíticos: (●) associação clasto-alumino-carbonática, (◐) ass. Clasto-aluminosa com registro de alta pressão, (◑) meta-vulcânica ácida alcalina.
 CMACH
 (◐) Paragnáisses da região de Madalena
 (▽) Paragnáisses (região de Algodões-Choró).

Figura 4.9: Diagramas de distribuição multi-elementar e terras raras.
Supracrustais Rio Curú-Itataia-Independência: (●) meta-vulcânica ácida alcalina.
CMACH

(■) Paragnaisse da região de Algodões-Choró (prov. Meta-vulc. Neoproterozóica?)

(◆) Paragnáisses da região de Madalena

(R) Meta-riolito da região de Madalena

Diagramas multi-elementares (normalização por Sun e McDonough, 1989, exceto Sc, Ni e Cr - Taylor e McLennan, 1975)

Diagramas de distribuição dos terras raras (normalização por Nakamura, 1977)

Figura 4.9 (continuação): Diagramas de distribuição multi-elementar e terras raras.

Supracrustais Rio Curú-Itataia-Independência:

paragneisses migmatíticos: (●) associação clasto-alumino-carbonática, (⊗) ass. Clasto-aluminosa com registro de alta pressão

CMACH

ortogneisses (linhas horizontais - região de Madalena, linhas verticais - Algodões-Choró)

Paragneisses da região de Algodões-Choró (campos cheios em preto)

Paragneisses da região de Madalena (●)

Diagramas multi-elementares (normalização por Sun e McDonough, 1989, exceto Sc, Ni e Cr - Taylor e McLennan, 1975)

Diagramas de distribuição dos terras raras (normalização por Nakamura, 1977)

Os teores de P_2O_5 são geralmente baixos, menores que 0.2%. No entanto, duas amostras (NCC-101B e 108B) apresentam teores relativamente elevados deste óxido (acima de 0.5%) (figura 4.10).

Alguns elementos traços apresentam correlação positiva com os teores de TiO_2 , com o Y e Zr oferecendo os melhores exemplos. Em relação ao Zr, a separação composicional dos meta-basitos a microclina é muito bem caracterizada por um maior enriquecimento em Zr (em torno de 180 ppm) e baixos valores de TiO_2 (0.7 %). Ainda, a amostra NCC-101B (enriquecida em P_2O_5) mostrou-se a também a mais rica em TiO_2 .

Com base na relação $FeOt \times TiO_2$, definida por Pellogia e Figueiredo (1991) para a distinção entre orto e para-anfibolitos, constatou-se que a grande maioria das amostras analisadas podem ser classificadas como orto-anfibolitos (figura 4.11). As duas amostras de meta-basitos a microclina posicionaram-se francamente no campo dos para-anfibolitos, o que indica que estas rochas muito provavelmente representam rochas cálcio-silicáticas associada a eventos de sedimentação carbonática impura mais localizada.

Em diagramas de classificação utilizando elementos maiores e traços (figura 4.12) foram observadas as seguintes características: a) considerando a relação $Na_2O+K_2O \times SiO_2$ os anfibolitos a microclina apresentaram composições mais compatíveis com basaltos andesíticos, com uma das amostras transicionando para basalto. Os anfibolitos restantes apresentaram composições basálticas, com duas das amostras analisadas sendo mais empobrecidas em álcalis que o limite estipulado para o campo em questão; b) no diagrama considerando $SiO_2 \times Zr/TiO_2 \times 0.0001$ pode ser observado que os meta-basitos a microclina representam composições andesíticas e traqui-andesíticas. Para os demais anfibolitos, uma composição de basaltos subalcalinos pode ser constatada neste mesmo diagrama; c) de modo complementar, as variações composicionais observadas no diagrama discutido no item anterior, podem ainda ser, de certo modo, observadas em relação ao comportamento com respeito à relação multi-elementar $Zr/TiO_2 \times 0.0001 \times Nb/Y$.

Com exceção dos anfibolitos a microclina, as demais amostras analisadas apresentaram um *trend* composicional posicionado francamente no campo definido pela série toleítica (figura 4.13), aparentemente sem enriquecimento em álcalis nos termos mais evoluídos. As duas amostras de meta-basitos a microclina situam-se francamente no campo da série alcalina, mostrando mais uma vez a composição distinta destas amostras em relação às demais. O caráter toleítico ainda pode ser observado pelo *trend* gerado pela relação $TiO_2 \times FeOt/MgO$ (figura 4.13) no diagrama proposto por Miyashiro (1974). Com base nesta relação têm-se as duas amostras de meta-basitos a microclina alinhadas com os

demais anfíbolitos, mas situadas em uma posição definida tanto por um empobrecimento em TiO_2 como pela razão FeO/MgO .

Procurando identificar alguns indicativos de possível(s) ambiente(s) tectônico(s) foram confeccionados alguns diagramas destinados a tal caracterização (figura 4.14). No diagrama de Shervais (1982) as amostras analisadas mostraram composições mais compatíveis com basaltos de fundo oceânico (OFB - *ocean flood basalts*). No diagrama proposto por Mullen (1983) as rochas em questão posicionaram-se de modo a definir um *trend* composicional que se inicia no campo dos OIA (*ocean island andesites*) e termina no campo dos IAT (*island arc tholeiites*).

Em diagrama de distribuição multi-elementos o padrão das curvas obtidas são parecidas considerando todo o conjunto de amostras analisadas (figura 4.15). No entanto, dois padrões distintos podem ser observados, sendo um caracterizado por valores normalizados de Ta menores que Nb, uma considerável “depressão” em Sr e um maior enriquecimento em U. O outro padrão possui características levemente contrárias as atrás mencionadas. Conforme Wilson (1991) a geração de rochas magmáticas com expressivo empobrecimento em Nb e Ta frequentemente está associada a ambientes onde atuam processos de subducção. O fato dos meta-basitos em estudo não apresentarem tal assinatura sugere que estes podem ter se formado em ambiente diferente, sendo o mais provável tipo ambiente de margem passiva.

O padrão de distribuição dos elementos terras raras encontrado (figura 4.15) apresenta sempre um considerável fracionamento entre terras raras leves e pesados. Neste contexto, são observados valores de terras raras leves (La) de até 20 vezes aos valores apresentados pelo padrão N-MORB. É interessante ainda notar que, mesmo quando a normalização é feita pelos valores do E-MORB, tem-se enriquecimento nos terras raras leves da ordem de até 10 vezes para as amostras que também comportam razões Ta/Nb menores. Isto indica a presença de dois tipos distintos de anfíbolitos nas SCRCII, sendo que um apresenta um padrão muito parecido com o E-MORB e outro é caracterizado por valores de terras raras mais elevados e considerável fracionamento entre terras raras leves e pesados. São ainda necessários melhores estudos para uma melhor caracterização do significado destes dois padrões composicionais distintos. Não foram realizadas análises completas de terras raras para os anfíbolitos a microclina, mas os teores de La, Ce e Pr parecem indicar que o fracionamento entre terras raras leves e pesados é mais acentuado nestas rochas.

Figura 4.11: Diagrama de Pellogia e Figueiredo (1991) para a discriminação entre para, ortoanfibolitos e anfibolitos derivados de tufos básicos.

CMACH região de Madalena (◆◆)

SCRCII (◆)

Anfibolitos a microclina (■)

Figura 4.12: Diagramas de classificação litológica. A - segundo Cox et al. (1979); B e C segundo Winchester e Floyd (1977).

Anfibolitos

CMACH região de Madalena (◆◆)

SCRCII (◇)

Anfibolitos a microclina (■)

Anfibolitos
CMACH região de Madalena (◆◆); SCRCII (◆), Anfibolitos a microclina (■)

Figura 4.15: A - Diagramas de distribuição de terras raras e multi-elementares.

Anfibolitos
CMACH região de Madalena (◆◆); SCRCII (◆), Anfibolitos a microclina (■)

Normalização diagramas multi-elementares: Condrito de Sun e McDonough (1989), exceto Sc, Cr, Ni (Taylor e McLennan, 1975). Diagramas terras raras: N e E-MORB (Sun e McDonough, 1989)

Rochas Carbonáticas:

Cinco amostras de rochas carbonáticas pertencentes à ACAC foram analisadas, e suas principais características podem ser observadas nas figuras 4.16, 4.17 e 4.18. Nesses diagramas as amostras foram agrupadas em cálcio-silicáticas e mármore quase puros.

Para os mármore praticamente puros observaram-se as seguintes feições geoquímicas:

- 1) teores de MgO e CaO entre 21 a 23% e próximo de 31%, respectivamente;
- 2) razão MgO/CaO em torno de 0,7;
- 3) empobrecimento em Sr (84 a 91 ppm), Ba (próximo de 25 ppm), Al_2O_3 e TiO_2 ;
- 4) teores de SiO_2 não ultrapassando 3%;
- 5) elevado conteúdo de voláteis com base nos teores de LOI (*loss on ignition*), com um valor médio próximo de 45%, provavelmente correspondente em quase sua totalidade a CO_2 ;
- 6) os mármore caracterizam-se ainda por baixos teores de U (entre 3 e 5 ppm), mas sempre acima dos apresentados pelas rochas cálcio-silicáticas (figura 4.17). Baixos teores de Zr também foram observados (entre 10 e 12 ppm);
- 7) os teores de Rb são sempre muito baixos, sempre inferiores a 8 ppm;
- 8) o padrão de distribuição em diagrama multi-elementos caracteriza-se pela presença de um considerável enriquecimento em U e empobrecimentos em Rb, K, Sr, Zr, Ti e Ni (figura 4.18);
- 9) não foram obtidos padrões de terras raras completos para os mármore. As determinações de alguns terras raras leves sugerem dois padrões distintos, sendo um caracterizado por um maior enriquecimento em terras raras leves, uma anomalia negativa de Ce e a indicação de algum fracionamento dos terras raras mais leves (figura 4.18). O outro padrão caracteriza-se por um empobrecimento em La e enriquecimento nos terras raras mais pesados adjacentes (Ce e Nd).

As cálcio-silicáticas apresentaram as seguintes características: a) teor de SiO_2 entre 20 e 30%; b) valores de LOI entre 30 e 20%; c) baixos teores de TiO_2 , P_2O_5 , MgO, Al_2O_3 , U e Zr; d) elevado conteúdo em Sr e CaO, Fe_2O_3 , Al_2O_3 , Zn e Pb; e) razão MgO/CaO abaixo de 1,5. O padrão de distribuição dos terras raras, mesmo que incompleto, assemelha-se ao identificado para as amostras dos mármore mais puros, caracterizado por um enriquecimento em terras raras leves (principalmente La) e uma pequena anomalia negativa de Ce.

Figura 4.16: Supracrustais Rio Curú-Itaia-Independência, rochas carbonáticas. Diagramas de variação de elementos maiores balizados pela SiO_2 . (■) Mármore quase puros; (▲) rochas cálcio-silicáticas.

Figura 4.17: Supracrustais Rio Curú-Itataia-Independência, rochas carbonáticas. Diagramas de variação de elementos traço balizados pela SiO₂. (■) Mármore quase puros; (▲) rochas cálcio-silicáticas.

Figura 4.18: Supracrustais Rio Curú-Itataia-Independência, rochas carbonáticas. Diagramas de distribuição multi-elementos normalizado pelos valores de Sun e McDonough (1989), exceto Sc, Ni e Cr (Taylor e McLennan, 1975). Mármore quase puros ; (campo hachurado em cinza), rochas cálcio-silicáticas (campo com linhas horizontais).

4.6 Geocronologia e Geoquímica Isotópica

Os resultados isotópicos levantados para as associações litológicas integrantes das SCRCII são predominantemente oriundos do método Sm-Nd, correspondendo a idades T(DM) e valores de ϵ_{Nd} . Para o momento apenas uma análise U-Pb convencional foi realizada em zircões oriundos da rocha interpretada como o registro de vulcanismo ácido alcalino associado ao evento tectônico extensional que teria dado origem à deposição das SCRCII. Esta análise foi realizada com a colaboração do pesquisador Allen H. Fetter, na época da análise associado à Universidade Estadual Paulista-UNESP de Rio Claro. Os resultados discutidos a seguir podem ainda ser contemplados nas tabelas 4.1 e 4.2.

A figura 4.19 traz os resultados obtidos a partir de quatro frações de zircões extraídos da amostra NCC-90A, bem como imagens de catodo-luminescência e luz transmitida mostrando alguns dos grãos analisados. Com base no diagrama concórdia apresentado, dois conjuntos de idades podem ser discutidos:

a) Intercepto superior: considerando as duas frações Rio Claro 1 e 2 obtém-se uma idade de $841 \pm 65/-37$ Ma. Os zircões que definiram tal idade geralmente possuem aspecto turvo e arestas semi-arredondadas a bem preservadas, sendo que cristais biterminados não são comuns (figuras 4.19 A e B). Como observado nas imagens de catodo-luminescência parece ser freqüente a presença de núcleos com composição distinta na maioria dos cristais

imageados. Entretanto, a relativa concordância e bom alinhamento das duas frações consideradas indicam que parece tratar-se de um padrão complexo de zonamento composicional, possivelmente associado a eventos de dissolução (talvez propiciada pelo elevado teor de F presente, 2506 ppm) seguidos de cristalização atuantes durante a formação da maioria dos cristais observados. Ainda que estatisticamente, a união das duas frações utilizadas no cálculo da idade em questão possa ser geradora de dúvidas substanciais, os resultados Sm-Nd obtidos para a amostra em questão parecem validar a idade Neoproterozóica obtida, com uma idade T(DM) de 1154 Ma e valor de $\epsilon\text{Ndt}_{(750 \text{ Ma})}$ igual a 1.3. Uma repetição da análise efetuada forneceu uma idade T(DM) de 1119 Ma, com um valor de $\epsilon\text{Ndt}_{(750 \text{ Ma})}$ igual a 1.9. Interessante é a constatação que a porção central do envelope traçado, considerando os dois eixos maiores das elipses de erro associadas a cada fração, cruza a curva concórdia próximo de 770 Ma. Esta idade é considerada como a mais provável para o protólito vulcânico, através do qual o gnaiss granoblástico em questão foi gerado. A idade de 770 Ma é muito próxima da obtida por Fetter (1999) em meta-vulcânicas félsicas na região de Independência (U-Pb em zircões, 772 ± 31 Ma), indicando que tal época deve ser representativa do período de sedimentação dos sedimentos mais antigos integrantes das SCRCII;

b) Intercepto inferior: considerando as frações de zircões 2718, 2720 e Rio Claro 1 obtêm-se uma idade de intercepto inferior de 617 ± 3.5 Ma. Os zircões presentes nas duas primeiras frações mencionadas são geralmente menores, limpos e biterminados (figura 4.19C), bastante distintos dos responsáveis pela geração da idade mais antiga discutida no item acima. Esta idade é considerada como representante fiel do período em que atuou o intenso metamorfismo registrado no protólito considerado. Esta idade é mais bem discutida no Capítulo 5 quando da abordagem de estruturas e metamorfismo.

Os resultados Sm-Nd sob a forma de idades T(DM) forneceram dois grupos de idades aos quais se encontram associados valores específicos de ϵNdt . O grupo de idades T(DM) mais antigas (Paleoproterozóicas) foi definido pela maioria das amostras analisadas. O intervalo de idades obtido situa-se entre 1900 e 2400 Ma, com um valor médio em torno de 2200 Ma. Para estas idades os valores $\epsilon\text{Ndt}_{(750 \text{ Ma})}$ situam-se entre -7.9 e -15.8. O grupo de idades T(DM) mais jovens encontradas corresponde ao Neoproterozóico, e encontram-se registradas na amostra NCC-90A (abordada atrás) e ainda em um granada biotita gnaiss com silimanita bandado situado a leste da localidade de Tapuruaba. Para esta rocha obteve-se uma idade T(DM) de 1300 Ma, com um $\epsilon\text{Ndt}_{(750 \text{ Ma})}$ de -0.4.

Figura 4.19: Supracrustais Rio Curú-Itaia-Independência, imagens de catodo luminescência (A e B) e diagrama concórdia contendo frações de zircões oriundos do gnaiss granobástico bandado a biotita presente no ponto NCC-90 (meta-vulcânica/vulcanoclástica). Imagem de luz transmitida de alguns zircões representativos das frações 2718 e 2720 responsáveis, juntamente com a fração Rio Claro 1, pela idade de metamorfismo Neoproterozóica obtida (~ 617 Ma).

SPU	Magnetic fraction	207/235#	Error (%)	206/238#	Error (%)	COEF.	238/206	Error (%)	207/206#	Error (%)	206/204*	Pb (ppm)	U (ppm)	Weight (mg)	206/238 Age (Ma)	207/235 Age (Ma)	207/206 Age (Ma)
SCRCII (Assoc. Glasto-aluminosa): NCC 90A - biotita gnaiss granoblástico bandado (vulcanoclástica)																	
R. Claro (1)	NCC 90 A (8)	0.879707	3.29	0.101594	2.25	0.885817	8.843100971	2.35	0.0628011	0.387	348.8	28.6	223.1	0.008	634	641	702
R. Claro (2)	NCC 90 A (9)	1.09747	3.01	0.121668	2.96	0.989124	8.21909801	2.96	0.0654201	0.443	296.2	24.1	143.5	0.008	740	752	788
2720	NM-2 C	0.85737	0.585	0.10058	0.543	0.918332	9.941348058	0.543	0.0618538	0.236	793.8943	7.7596	72.725	0.02238	617.86	628.98	689.06
2718	NM-2 A	1.02327	0.737	0.101229	0.572	0.80098	8.878592103	0.572	0.0733134	0.441	228.9	9.2	69.7	0.021	622	716	1023
SPU (numero de laboratório)																	
# (Pb radiogênico corrigido para branco e Pb inicial)																	
* (não corrigido para o branco laboratorial e Pb não radiogênico)																	
U e Pb (concentrações corrigidas para o branco analítico)																	
Constantes de decaimento conforme Steiger and Jager (1977)																	

Tabela 4.1: Resultados analíticos U-Pb convencional para frações de zircões da amostra NCC-90A (meta-vulcânica/vulcanoclástica)..

No. Campo	Material (rocha total)	Sm (ppm)	Nd (ppm)	147Sm/144Nd	erro (2 sigmas)	143Nd/144Nd	erro (2 sigmas)	eNd(0)	fSm/Nd	TDM (Ma)	Tma(1)	e(T1)
NEPROTEROZOICO												
(SUPRACRUSTAIS RIO CURÚ-ITATAIA-INDEPENDÊNCIA)												
NCC-05A	granada biotita muscovita xisto feldspático	7.937	39.051	0.1229	0.0004	0.511869	0.000008	-15.00	-0.38	1971	750	-7.9
NCC-017	muscovita biotita gnaiss incip. bandado	7.405	40.032	0.1119	0.0004	0.511414	0.000012	-23.87	-0.43	2450	750	-15.8
NCC-249	granada biotita migmatito bandado	6.470	30.518	0.1282	0.0004	0.511828	0.000011	-15.80	-0.35	2170	750	-9.3
NCC-090A	biotita gnaiss granoblástico bandado (vulcanocl.?)	30.762	158.908	0.1171	0.0004	0.512312	0.000010	-6.36	-0.40	1154	750	1.3
NCC-090A	biotita gnaiss granoblástico bandado (vulcanocl.?)	32.008	161.162	0.1201	0.0004	0.512357	0.000011	-5.48	-0.39	1119	750	1.9
NCC-213	granada biotita gnaiss bandado	3.928	19.832	0.1198	0.0005	0.511651	0.000008	-19.25	-0.39	2266	750	-11.9
NCC-310	muscovita biotita gnaiss incip. bandado	8.191	43.066	0.1150	0.0005	0.511667	0.000010	-18.94	-0.42	2128	750	-11.1
NCC-358A	granada biotita gnaiss bandado com silimanita	6.485	29.562	0.1327	0.0005	0.512302	0.000009	-6.55	-0.33	1390	750	-0.4
cálculo T(DM): DePaolo (1981); CHUR (DePaolo,1991); eNd(0) assumindo 143Nd/144Nd hoje=0.512638, com norm. p/ 146Nd/144Nd=0.72190												
eNd(0)=[(143Nd/144Nd)am. hoje/0.512638]-1 x 10000, eNd(750 Ma)=[(143Nd/144Nd)am. 750 Ma/143Nd/144Nd (CHUR 750 Ma)-1] x 10000												
cálculo T(DM) em duplo estágio (DE): De Paolo (1991)												

Tabela 4.2: Resultados Sm-Nd para as rochas paraderivadas (gnaisses migmatíticos e xisto feldspáticos) e meta-vulcânica ácida alcalina das Supracrustais Rio Curú-Itataia-Independência.

4.7: Supracrustais Rio Curú-Itataia-Independência: Comentários Finais

Litologicamente as SCRCII caracterizam o registro de metamorfitos oriundos de protólitos sedimentares (gnaisses migmatíticos, xistos feldspáticos) e ígneos (gnaisses granoblásticos formados a partir de vulcânicas ácidas alcalinas e meta-basitos). Intensa deformação encontra-se registrada nestas rochas e tais aspectos são mais bem discutidos no Capítulo 5.

Até o momento, as informações isotópicas disponíveis indicam que pelo menos a porção mais antiga desta sedimentação com vulcanismo associado teria se formado por volta de 770 Ma.

O comportamento dos isótopos de Nd indica que a maior parte dos meta-sedimentos das SCRCII se originou a partir de produtos da erosão das litologias paleoproterozóicas tipo CMACH ou semelhantes às presentes nos núcleos gnáissico-migmatíticos que também ocorrem em meio às supracrustais em questão. A existência de idades T(DM) de 2,4 Ga sugere ainda que litologias mais antigas devam ter contribuído como área fonte para parte das rochas psamo-pelíticas das SCRCII. Em complemento, a identificação de um considerável número de idades T(DM) mais jovens e interpretadas como mistas (também presentes no trabalho de Fetter, 1999), indica que certo volume das SCRCII pode ter sido originado a partir de detritos já oriundos do desmonte das litologias integrantes do arco magmático neoproterozóico (Complexo granito-migmatítico Tamboril-Santa Quitéria), o qual teve seu desenvolvimento concomitante à deformação e metamorfismo registrados nas supracrustais em questão. Neste contexto, a presença de um registro de elevada pressão (fácies eclogito) dentro das SCRCII em posição próxima ao limite das SCRCII e seu embasamento, permite considerar um contexto onde boa parte das SCRCII teria se depositado em um ambiente de margem passiva para posteriormente serem envolvidas por processos deformacionais e metamórficos em um contexto tectônico de *fore-arc*.

No próximo capítulo são abordadas as principais feições que caracterizam o arco magmático mencionado. Adicionalmente, as principais feições deformacionais e metamórficas, que se encontram registradas nas litologias estudadas até o momento, são discutidas visando melhor caracterizar o quadro tectônico vigente durante o Neoproterozóico III, o qual foi responsável pelo quadro geológico hoje observado para a região de estudo.

CAPÍTULO 5

Neoproterozóico-III / Cambriano - Ordoviciano

Neste capítulo é abordado o registro Neoproterozóico III e também registros que remontam ao Cambriano e base do Ordoviciano Médio. Estes registros mais jovens foram gerados ao final e após a orogenia iniciada no Proterozóico e por este motivo também são abordados. Na fração de tempo em questão, foi gerada a maior parte da deformação e metamorfismo presentes nas rochas do embasamento paleoproterozóico (Complexo Madalena – Algodões-Choró) e supracrustais Rio Curú-Itataia-Independência (SCRCII). Data desta época também a migmatização e maior parte da granitogênese presente no Complexo Tamboril-Santa Quitéria (CTSQ). A justaposição tectônica final das rochas deste complexo por sobre as litologias integrantes das SCRCII e embasamento teria sido concomitante ao desenvolvimento do último episódio metamórfico/deformacional (*nappes* tardias) já durante o Cambriano. Este último episódio foi associado a valores relativamente reduzidos de pressão e temperatura, e encontra-se melhor registrado nas SCRCII. As informações geocronológicas e petrográficas disponíveis indicam que o evento gerador da mineralização uranífera de Itataia se deu entre o pico metamórfico e deformacional e a instalação das *nappes* tardias, anteriormente ao evento responsável pela geração dos granitóides pós-orogênicos conhecidos no interior e a norte-noroeste do CTSQ.

A exposição a seguir contempla inicialmente as principais características da associação granito-migmatítica do CTSQ. Em seguida, são abordados os aspectos ligados a deformação e metamorfismo encontrados, com ênfase maior dada ao registro presente nas SCRCII. Por último, são discutidas brevemente algumas informações interessantes levantadas sobre a mineralização uranífera de Itataia.

5.1 Complexo Tamboril-Santa Quitéria

5.1.1 Área de Ocorrência e Características

Presente na extremidade oeste da região de estudo, as litologias constituintes deste complexo compreendem quatro conjuntos litológicos distintos (migmatitos bandados Lagoa Caiçara, metatexitos, diatexitos e granitóides pós-orogênicos).

O conjunto de migmatitos bandados localizado a S-SE da localidade de Taperuaba, foi denominado de Migmatitos Lagoa Caiçara e provavelmente é derivado de uma sequência vulcano-sedimentar neoproterozóica, em boa parte composta por litologias mais juvenis. A presença de idades T(DM) mais jovens e assinatura gamaespectrométrica distinta (baixos valores para K, U e Th) permitem considerar distintamente estes migmatitos dentro do CTSQ.

Um outro conjunto litológico integrante deste complexo inclui rochas metatexiticas que ocorrem em duas regiões distintas, uma a norte englobando a localidade de Taperuaba e, outra a sul, esta como uma faixa tectonicamente imbricada entre as SCRCII e o conjunto predominantemente diatexitico descrito a seguir. Muitos pontos de afloramento englobados sob esta unidade metatexitica comportam também considerável volume de material diatexitico. Entretanto, o predomínio de porções bandadas associadas à presença de valores gamaespectrométricos mais baixos dos que ocorrem associados às porções diatexiticas permitiu a individualização desta unidade.

O conjunto migmatítico predominantemente diatexitico (porções metatexiticas subordinadas) foi individualizado como uma faixa contínua que aparentemente compõe o maior volume do CTSQ na região. Neste conjunto, frequentemente podem ser encontrados enclaves metatexiticos, e deste modo, o caráter mais jovem da porção não bandada pôde ser determinado.

Adicionalmente, no domínio do CTSQ ocorrem ainda granitóides representados por pequenos *stocks*, tendendo a homogêneos não deformados (granito Serrote São Paulo, por exemplo) ou ainda formando complexos anelares com faciologia diversificada (Complexo Anelar Quintas). Até o momento, estes granitóides são conhecidos apenas intrudindo as rochas migmatíticas do CTSQ ou situam-se a N-NW deste, devendo então representar uma granitogênese pós-orogênica vinculada às últimas manifestações térmicas da orogênese em apreço.

Toda a associação granito-migmatítica descrita acima compõe a borda leste da vasta área abrangida pelo que Fetter (1999) denominou de Batólito Santa Quitéria. A

extensão em área coberta pelas rochas integrantes desta grande unidade lito-tectônica pode ser acompanhada pela cartografia regional disponível (ver figura 2.3) ou ainda por sua expressão identificada nas imagens aerogamaespectrométricas e magnetométricas (figuras 2.4 a 2.8). Neste trabalho, dado que a cartografia das diferentes litologias integrantes desta grande unidade lito-tectônica ainda encontra-se em estágio inicial, optou-se por usar a denominação Complexo Tamboril-Santa Quitéria. Os contatos externos do CTSQ na região de estudo são tectônicos, e interpretados como representados por falhas de cavalgamento tardias com sentido de transporte para E-SE (ver discussão adiante). Na região a noroeste de Itataia, o contato se dá pelo falhamento transcorrente Rio Groaíras, o qual comporta uma evolução policíclica sob temperaturas decrescentes.

No decorrer da maior parte da descrição e discussão efetuada a seguir, serão usados os termos *meta* e *diatexitos*. Estes termos são usados na designação de migmatitos bandados e não bandados, onde *metatexitos* representam rochas portadoras de um bandamento composicional caracterizado por níveis centimétricos ricos em material quartzo-feldspático e níveis mais ricos em minerais máficos (biotita e anfibólio). *Diatexitos* caracterizam rochas com um bandamento composicional incipiente, possuindo apenas uma tênue foliação (quando presente) caracterizada principalmente pela orientação dos minerais máficos presentes. Ambos os termos são empregados conforme Brown (1983).

5.1.2 Migmatitos Lagoa Caiçara

Foi incluído nesta unidade um conjunto de rochas migmatíticas com orientação geral N30-40E, predominantemente *metatexiticas*, que ocorrem a S-SE da localidade de Tapuruaba. Pela cartografia de CPRM (2003) e informações levantadas neste trabalho, esta faixa migmatítica ocorre entre as rochas mais características do CTSQ (*diatexitos* e *granitóides*) e os *meta-sedimentos* pertencentes às SCRCII, e aparentemente bordeja praticamente toda a extensão sul do CTSQ (ou Batólito de Santa Quitéria) até este desaparecer sob os sedimentos fanerozóicos já próximo ao litoral do Estado do Ceará.

As proporções modais entre quartzo e feldspatos encontradas evidenciaram um *trend* composicional não muito enriquecido em quartzo e com enriquecimento progressivo em microclina para as porções *diatexiticas* (figura 5.1). Neste *trend*, o quartzo apresentou enriquecimento em duas amostras de *diatexitos* e permaneceu constante ou até mesmo diminuiu em duas amostras onde foram analisadas bandas composicionalmente mais e menos evoluídas. A biotita é o mineral máfico presente em praticamente todos os pontos

visitados, ocorrendo tanto de maneira mais dispersa nos diatexitos como definindo muito bem o bandamento composicional presente (figura 5.2). Cristais de hornblenda são observados somente nos níveis anfibolíticos ou quando estes ocorrem já “diluídos” em meio a porções de biotita gnaisses diatexiticos. Os minerais acessórios incluem titanita, zircão, apatita, opacos e alguma alanita. Minerais tardios e de mais baixa temperatura tais como epidoto, clorita, sericita e opacos finos ocorrem quase sempre na maioria das amostras analisadas.

No diagrama QAP apresentado pode ser encontrada ainda a análise da porção diatexitica presente no ponto NCC-36 (amostra NCC-36A, também analisada isotopicamente). Para comparação, no diagrama QAP apresentado, tem-se a análise de uma rocha anfibolítica com granada (ponto NCC-41), a qual se posicionou na porção menos evoluída (enriquecida em plagioclásio) do *trend* composicional inicialmente mencionado.

Dos afloramentos visitados, muitos se encontram bastante alterados intempericamente, e onde isto foi identificado, uma associação de migmatitos, gnaisses bandados a biotita e hornblenda e finas lentes de anfibolitos podem ser encontrados. As porções anfibolíticas encontradas foram estudadas petrograficamente nos pontos NCC-41 e 342, e em ambos os casos são anfibolitos gnáissicos a hornblenda, com a granada identificada apenas no ponto NCC-41.

Já nos lajedos mais preservados (figura 5.2), a presença de material anfibolítico ou gnaisses com alguma hornblenda é bastante reduzida, predominando migmatitos a biotita bandados e quase sempre com porções diatexiticas e pegmatóides.

Na porção centro-noroeste desta unidade ainda foram observadas ocorrências de rochas quartzíticas, cálcio-silicáticas e biotita gnaisses bandados com granada. Ainda é incerto se estas rochas representam uma porção meta-sedimentar integrante dos migmatitos Lagoa Caiçara ou se já representam restos das SCRCII, sobrepostas e/ou preservadas da erosão.

5.1.3 Metatexitos das Regiões de Jacuparí, Fazenda Sapucaíba e Taparuaba

Estas rochas ocorrem na porção norte da região de estudo a oeste dos migmatitos Lagoa Caiçara e na porção sul, em contato com os gnaisses migmatíticos a silimanita e granada das SCRCII. Nestes dois casos foram discriminadas associações litológicas distintas caracterizadas pelo predomínio das porções meta ou diatexiticas.

Os metatexitos (ou porções gnáissico-migmatíticas bandadas) afloram geralmente sob a forma de extensos lajedos muito poucos intemperizados. Exemplos do modo de

ocorrência dos metatexitos em apreço podem ser contemplados nas exposições mostradas na figura 5.4. A variada gama de tipos rochosos encontrados com base nas proporções modais entre quartzo, feldspato alcalino (microclina) e plagioclásio cálcico (oligoclásio/andesina) pode ser visualizada no diagrama QAP da figura 5.3, onde pouca diferença composicional pode ser observada entre os metatexitos em questão e as composições definidas pelos migmatitos Lagoa Caiçara. Biotita é o máfico predominante com a hornblenda ocorrendo em menor quantidade (localmente ausente). Zircão, titanita, apatita e opacos são os acessórios predominantes. A mineralogia tardia (geralmente em quantidade muito pequena) inclui clorita, epidoto, argilo-minerais e opacos finos. Foram encontradas ainda porções anfibolíticas em meio aos metatexitos em questão. São anfíbolitos a hornblenda e diopsídio (até 10% em volume modal), com titanita e opacos sendo os principais acessórios, tal como encontrado no ponto NCC-80 (figura 5.4).

5.1.4 Diatexitos: regiões da Serra das Matas, Fazenda Batoque e Sudeste de Taperuaba

Os diatexitos também afloram sob a forma de extensos lajedos, elevações no relevo (serras) e mega-blocos muito pouco intemperizados (figura 5.5). São comuns feições tipo *schlieren*, nebulítica e subordinadamente *shollen* (figura 5.5), identificadas com base no trabalho de Mehnert (1971). Geralmente apresentam coloração cinza a rósea, com uma tênue e descontínua foliação dada principalmente pela biotita (figura 5.6) que se apresenta em quantidade não muito elevada. Porções mais ricas em biotita chegam a portar alguma hornblenda. Zircão, apatita, titanita e opacos são os acessórios presentes. Clorita, opacos finos e alguma argilização tardia também são observados. Em termos gerais, em relação às porções metatexiticas, os diatexitos em questão, mostram-se mais ricos em feldspato alcalino e quartzo. Neste contexto, o quartzo geralmente fica abaixo de 25 % e a maior percentagem de feldspato alcalino (microclina) foi observada para uma banda quartzo-feldspática (leucossoma) da amostra NCC-190. O diagrama QAP apresentado (figura 5.3) traz ainda a título comparativo uma amostra do ortogneisse porfiróide (localmente augen e milonítico) que encaixa o granito pós-orogênico Serrote São Paulo. Nesta rocha, excluindo os cristais maiores de microclina, uma composição quartzo monzodiorítica/monzogabro foi encontrada para a matriz foliada presente. Em uma única seção delgada analisada desta rocha, a biotita foi o único máfico encontrado. Traços de zircão, titanita, opacos, clorita e epidoto completam a mineralogia principal.

Em alguns pontos visitados foram observados alguns restos de rochas cálcio-silicáticas em meio aos diatexitos. Em uma das situações, o ferro presente nestas cálcio-silicáticas parece ter sido remobilizado, originando importante fase de cristalização de ametista em zonas pegmatóides. Isto pode ser observado na região da Fazenda Batoque, e não existem motivos para crer que outras ocorrências semelhantes não possam ser encontradas.

Figura 5.1: Complexo Tamboril-Santa Quitéria, análises modais dos principais litotipos constituintes dos migmatitos Lagoa Caiçara plotadas no diagrama de Streckeisen (1976). Campos iguais aos presentes na figura 3.4.

Figura 5.2: Migmatitos bandados Lagoa Caiçara. Ponto NCC-679 (biotita migmatito com hornblenda. Geralmente as bandas máficas são *boudinadas* ou ocorrem como enclaves em meio ao material mais félsico. Foliação/bandamento: N70W/40SW.

Figura 5.3: Complexo Tamboril-Santa Quitéria, análises modais de metatexitos e diatexitos no diagrama de Streckeisen (1976). Campos iguais aos presentes na figura 3.4.

Figura 5.4: Complexo Tamboril-Santa Quitéria, metatexitos a biotita e pouca hornblenda, pontos NCC-598 (próximo a localidade de Taperuaba), NCC-120 e 192 (a oeste da região de Itataia). Canto inferior esquerdo (microfotografia de anfibolito a diopsídio e titanita, ponto NCC-80).

Figura 5.5: Porções diatexiticas do Complexo Tamboril-Santa Quitéria. Pontos NCC-337 (extremo sudoeste da região de estudo), NCC-193 e 200 (a oeste da região de Itataia).
Pontos NCC-347 (próximo a localidade de Taperuaba).
Serra do Feijão (visada para norte com o mergulho geral da foliação sendo para oeste).

Serra do Feijão

Figura 5.6: Aspectos micro-petrográficos das rochas quartzo-feldspáticas do Complexo Tamboril-Santa Quitéria. NCC-36A (biotita diatexito foliado dos migmatitos bandados Lagoa Caiçara). NCC-83 (biotita metatexito, banda pobre em máficos). NCC-122, 199 e 200 (diatexitos foliados a biotita). NCC-191 (metatexito a biotita e hornblenda).

5.1.5 Granitóides Pós-orogênicos

Dentro da região estudada estes granitóides são representados pelo Complexo Anelar Quintas, antigamente denominado por Haddad e Leonardos (1980) como granito Taperuaba. Fora da região de estudo coletou-se ainda algumas amostras do granitóide Serrote São Paulo, situada a NW da localidade de Santa Quitéria. Apesar de não ter sido levantada informação geocronológica para esta última, as características petrográficas e litogeoquímicas permitiram, pelo menos para o momento, considerar esta duas manifestações graníticas como pós-orogênicas em relação ao evento metamórfico e deformacional, observado nas supracrustais Rio Curú-Itataia-Independência.

O Complexo Anelar Quintas (CAQ) compreende um *stock* granitóide composto por diversos fácies, dispostos de forma concêntrica de modo geral. Comparativamente, as informações levantadas neste trabalho apresentaram grande coerência com a cartografia proposta por Haddad e Leonardos (1980), a qual pode ser observada na figura 5.7. Nos granitóides do CAQ, a única estrutura presente, além de um quebramento heterogêneo ocorrido sob baixa temperatura, é uma incipiente foliação de fluxo magmático, identificada localmente e definida principalmente pela biotita e alguns fenocristais de feldspato alcalino (microclina).

No CAQ predomina um fácies grosseiro (figura 5.8), porfirítico, róseo, onde a biotita é o principal mineral máfico encontrado. Hornblenda foi encontrada somente como traço. Os acessórios incluem titanita, apatita, zircão, alanita e opacos. A mineralogia tardia de mais baixa temperatura inclui epidoto, clorita e argilo-minerais (pouca quantidade). Um outro fácies, bastante comum no CAQ, é o de coloração cinzenta ou cinza-rósea, geralmente rico em biotita, quase sempre com hornblenda e com composições tendendo a monzodioríticas/monzogabróicas e dioríticas. Nas porções mais máficas deste fácies, inclusive, foi encontrado em uma das seções delgadas examinadas, traços de clinopiroxênio alterando-se para hornblenda e opacos finos em uma rocha de composição diorítica. Neste segundo fácies ocorrem também porções ricas em enclaves microgranulares, monzodioríticos/ monzogábricos, arredondados a semi-arredondados, alguns ricos em máficos (biotita e hornblenda) e frequentemente exibindo textura granular poligonizada dada principalmente pelos cristais de plagioclásio.

O granito Serrote São Paulo corresponde a um pequeno *stock* de forma aproximadamente circular intrudido em meio à migmatitos e ortognaisses integrantes do CTSQ. Juntamente com o corpo intrusivo da fazenda Memória (localizada próxima a N-NW) representa importante e localizado pulso de atividade de granitóides leucocráticos

não deformados no contexto do CTSQ. No Serrote São Paulo, a rocha predominante é um álcali-feldspato granito esbranquiçado (figura 5.8) composto basicamente por albita, microclina, quartzo, topázio e mica branca em menor quantidade. Traços de cassiterita, apatita e algum opaco também são observados. A tentativa de obtenção de zircões malogrou com o concentrado, resultante da separação por iodeto de metileno, sendo constituído basicamente por topázio e apatita. O baixo teor de Zr (~ 45 ppm), elevado teor de F (7500 ppm) e o nível estrutural da intrusão devem ser os responsáveis pela ausência deste mineral no granitóide em questão. O reduzido teor de P_2O_5 explica em grande parte a ausência de monazita, deixando como opções para trabalhos geocronológicos futuros somente albita, mica branca e cassiterita. Em cortes efetuados para a exploração de material ornamental podem ser encontradas ocorrências de feldspato tipo amazonita em pequenos bolsões (centimétricos) pegmatóides ou não.

Figura 5.7: Complexo Tamboril-Santa Quitéria, granitóides pós-orogênicos. Mapa do Complexo Anelar Quintas segundo Haddad e Leonardos (1980). O retângulo tracejado no centro da intrusão indica a posição da principal anomalia uranífera. O centro da intrusão dista cerca de 10 Km E-NE da localidade de Taperuaba.

A

B

Figura 5.8: Complexo Tamboril-Santa Quitéria, granitóides pós-orogênicos.
A - Complexo anelar Quintas: fácies porfíroide róseo a biotita (NCC-353); quartzo diorito a biotita, hornblenda e clino-piroxênio (superior) e fácies róseo rico em enclaves micro-granulares a biotita e alguma hornblenda (inferior), ponto NCC-608. B - Topázio albita granito com cassiterita do Serrote São Paulo (NCC-392), localizado a norte-noroeste da localidade de Santa Quitéria.

(figuras 5.10 e 11). Um leve empobrecimento em Al_2O_3 e teores aproximadamente constantes de N_2O ainda caracterizam tal *trend* evolutivo;

b) um caráter francamente cálcio-alcálico ou sub-alcálico pode ser constatado em diagramas destinados a avaliar tal característica (figura 5.12). Ainda, nestes mesmos diagramas o *trend* composicional evolutivo, considerando todas as amostras analisadas e mencionadas no item anterior, é perfeitamente observável em termos de enriquecimento progressivo em álcalis;

c) no diagrama de Maniar e Picoli (1989) contendo os índices de Shand pode ser constatado um caráter transicional entre meta e peraluminoso para a maioria das amostras analisadas. Somente três amostras de metatexitos apresentaram composições francamente metaluminosas (figura 5.12);

d) considerando as proporções entre Rb, Ba e Sr (figura 5.13), a maioria dos diatexitos e metatexitos analisados posicionaram-se na transição entre os campos dos quartzo dioritos, granodioritos e granitos anômalos de El Bouseily e El Sokkary (1978). Apenas duas amostras, uma diatexítica (NCC-36A) e outra metatexítica (NCC-346A) apresentaram considerável enriquecimento de Sr em relação ao Rb e Ba, caracterizando assim verdadeiros dioritos. Duas amostras, uma de diatexito e outra metatexítica, apresentaram um enriquecimento “precoce” em Rb, possivelmente indicando que porções isoladas destes migmatitos podem ter sua origem também ligada a processos anômalos de fusão parcial e/ou fracionamento.

e) o padrão de distribuição em diagrama multi-elemento apresentado pelos meta e diatexitos é caracterizado por curvas muito parecidas e ainda por valores acima dos apresentados pelo condrito C1 (figura 5.14). Neste diagrama ainda são observadas anomalias positivas para K_2O , Ba, Th, Ce e Cr e anomalias negativas para Rb, Ta, Nb, Cr, Ni e Sc. A “depressão” considerável de Ta e Nb atesta a importância do processo de subducção envolvido na gênese destas rochas;

f) o padrão de distribuição dos elementos terras raras (figura 5.14) é bem fracionado, com o enriquecimento em terras raras leves estando entre 10 e 300 vezes o condrito de Nakamura (1977). As curvas são muito parecidas em termos do fracionamento entre terras leves e pesados diferindo apenas pela característica da anomalia de Eu encontrada. Uma pequena anomalia negativa de Eu é observada para a maioria das amostras, a exceção de duas amostras de diatexitos que apresentaram uma pequena anomalia positiva para este elemento. A única amostra de anfíbolito com informações litogeoquímicas apresentou um considerável fracionamento entre terras raras leves e

pesados, sendo o padrão de distribuição presente muito parecido ao identificado em parte dos anfíbolitos presente nas SCRCII (aos que se associam baixa relação Ta/Nb).

Para os granitóides pós-orogênicos as figuras 5.15 a 5.20 ilustram as principais características litogeoquímicas encontradas. Dentre estas deve ser ressaltado:

- a) para a grande maioria dos diagramas confeccionados foi observado um *trend* composicional evolutivo, cujo extremo menos evoluído é representado pelo fácies diorítico a hornblenda, biotita e restos de clino-piroxênio do Complexo Quintas. Curiosamente, no extremo mais evoluído deste *trend* posicionou-se a única amostra analisada do granito Serrote São Paulo (figuras 5.15 e 5.17);
- b) Em termos dos diagramas de variação considerando elementos maiores e traços, o *trend* acima mencionado é caracterizado principalmente por um empobrecimento em P_2O_5 , CaO, Al_2O_3 , Fe_2O_3+MgO e Sr. Com algumas variações em relação ao granito Serrote São Paulo, este *trend* ainda é caracterizado por um enriquecimento em K_2O , Na_2O , razão Fe_2O_3/MgO , Zr e Nb. Uma diminuição dos valores da razão N_2O/K_2O ainda é observada neste contexto. Estes diagramas ainda ilustram a característica distinta do granito Serrote São Paulo em termos dos elevados valores de SiO_2 (73.9%), Rb (1463 ppm), Ga (55.5%), Sn (66 ppm) e Nb (43 ppm). Contrariamente ocorrem baixos valores de CaO (0.22%), MgO (0%, abaixo do limite de detecção), Fe_2O_3 (0.38%) e Sr (2.2 ppm);
- c) o CAQ comporta importante anomalia de U, a qual encontra-se posicionada na porção central do complexo, encaixada no fácies quartzo-monzodiorítico a biotita e hornblenda, e rico em enclaves. Os teores de U encontrados nas amostras analisadas não são elevados, situando-se entre 0,7 e 3,7 ppm, compatíveis com os teores encontrados por Haddad e Leonardos (1980) nas rochas consideradas por estes autores como não mineralizadas. Em rochas mineralizadas estes autores reportam teores entre 700 e 800 ppm de U.
- d) nos diagramas destinados a avaliar a alcalinidade presente observa-se uma afinidade cálcio-alcalina com base na relação presente no diagrama AFM da figura 5.17. Analisando a relação entre SiO_2 e álcalis uma afinidade

ligeiramente alcalina é estabelecida para as porções menos evoluída do Complexo Quintas. As litologias deste complexo ainda caracterizam-se como metaluminosas no diagrama ACNK presente na figura 5.17. Neste mesmo diagrama, a amostra do Serrote São Paulo mostra afinidade peraluminosa, mas relativamente próxima ao limite com o campo peralcalino;

- e) com base na relação entre Rb, Ba e Sr as litologias do Complexo Quintas mais uma vez aparecem com composições bastante distintas da apresentada pela única amostra do granito Serrote São Paulo (figura 5.18). Fora o posicionamento extremo, dado o alto enriquecimento em Rb deste último, as amostras do Complexo Quintas posicionaram-se segundo um *trend* evolutivo normal, inicialmente empobrecido em Sr e posteriormente enriquecido em Ba e pouco em Rb;
- f) no diagrama multi-elemento da figura 5.19 ainda pode ser observado para o granito Serrote São Paulo maiores enriquecimentos em Cs, Rb, Th, Ta, Y e Yb, e empobrecimentos em Sr, Ba, Zr, e Sc;
- g) o padrão de distribuição dos elementos terras raras é contrastante entre o granito Serrote São Paulo e os integrantes do Complexo Quintas (figura 5.19). Estes últimos invariavelmente apresentaram valores de terras raras leves sempre 100 vezes maiores que o condrito utilizado na normalização e padrões de distribuição com considerável fracionamento entre terras raras leves e pesados, juntamente com uma fraca anomalia negativa de Eu. O granito Serrote São Paulo possui um maior enriquecimento em terras raras pesados e uma pronunciada anomalia negativa de Eu, caracterizando um padrão em “asa de gaivota” típico;
- h) a relação entre Rb x Y+Nb estabelecida por Pearce (1984) evidencia para as amostras do CAQ composições compatíveis com o campo dos granitóides pós-colisionais, conforme a proposta de Pearce (1996). Para o granito Serrote São Paulo, em decorrência principalmente de seu conteúdo em Rb, constata-se uma composição distinta, situada dentro do campo sin-colisional (figura 5.20).

Figura 5.10: Complexo Tamboril-Santa Quitéria, migmatitos em diagramas de variação de elementos maiores tendo a SiO₂ como parâmetro de diferenciação e diagrama triangular considerando a relação CaO x Na₂O x K₂O.

Migmatitos Lagoa Caiçara: diatexitos foliados a biotita (+) e metatexito a biotita e hornblenda (■)

Metatexitos a biotita e hornblenda (×)
Diatexitos foliados a biotita (+)
Anfibolito (◆)

Figura 5.11: Complexo Tamboril-Santa Quitéria, migmatitos em diagramas de variação considerando elementos traço em relação a SiO₂ como parâmetro de diferenciação.

Migmatitos Lagoa Caiçara: diatexitos foliados a biotita (+),
metatexitos a biotita e hornblenda (■)

Metatexitos a biotita e hornblenda (x)
Diatexitos foliados a biotita (⊕)
Anfibolito (◆)

Figura 5.12: Complexo Tamboril-Santa Quitéria, migmatitos em diagramas avaliando alcalinidade (Irvine e Baragar, 1971) e aluminosidade (índices de Shand no diagrama de Maniar e Picoli, 1989).

Migmatitos Lagoa Caiçara: diatexitos foliados a biotita (+) e metatexitos a biotita e hornblenda (■)

Metatexitos a biotita e hornblenda (x)
Diatexitos foliados a biotita (+)
Anfibólito (◆)

Figura 5.13: Complexo Tamboril-Santa Quitéria, migmatitos, proporção entre Rb-Ba-Sr com campos de El Bousely e El Sokkary (1975): (1) granodioritos, (2) quartzo dioritos, (3) granitos normais, (4) granitos anômalos, (5) granitos normais, (6) fortemente diferenciados.

Migmatitos Lagoa Caiçara: diatexitos foliados a biotita (+) e metatexito a biotita e hornblenda (■)

Metatexitos a biotita e hornblenda (x)
Diatexitos foliados a biotita (+)
Anfibolito (◆)

Figura 5.14: Complexo Tamboril-Santa Quitéria, migmatitos em diagramas de distribuição Multi-elemento e terras raras.

Migmatitos Lagoa Caiçara: diatexitos foliados a biotita (+) e metatexito a biotita e hornblenda (■)
Metatexitos a biotita e hornblenda (x) e campo com linhas inclinadas
Diatexitos foliados a biotita (+) e campo achurado
Anfibolito (◆) e linha espessa.

Normalização: terras raras (Nakamura, 1977); distribuição multi-elemento (Sun e McDonough, 1989; Exceto Sc, Cr e Ni por Taylor e McLennan, 1975)

Figura 5.15: Complexo Tamboril-Santa Quitéria, granitóides pós-orogênicos em diagramas de variação com elementos maiores tendo a SiO_2 como parâmetro de diferenciação.

Complexo Anelar Quintas:

(+) biotita granitóide porfiróide róseo

(x) hornblenda biotita granitóide cinza

(■) hornblenda biotita granitóide cinza com clino-piroxênio

Topázio albita granito com cassiterita (Serrote São Paulo) (▲)

Figura 5.16: Complexo Tamboril-Santa Quitéria, granitóides pós-orogênicos em diagramas de variação com elementos traço tendo a SiO₂ como parâmetro de diferenciação.

Complexo Anelar Quintas:

(+) biotita granitóide porfíroide róseo

(x) hornblenda biotita granitóide cinza

(■) hornblenda biotita granitóide cinza com clino-piróxênio

Ttopázio albita granito com cassiterita (Serrote São Paulo) (▲)

Figura 5.17: Complexo Tamboril-Santa Quitéria, granitóides pós-orogênicos, diagramas avaliando a alcalinidade (Irvine e Baragar, 1971) e aluminosidade (índices de Shand no diagrama de Maniar e Picoli, 1989).

Complexo Anelar Quintas:

- (+) biotita granitóide porfíróide róseo
- (×) hornblenda biotita granitóide cinza
- (■) hornblenda biotita granitóide cinza com clino-piroxênio

Topázio albita granito com cassiterita (Serrote São Paulo) (▲)

Figura 5.18: Complexo Tamboril-Santa Quitéria, granitóides pós-orogênicos proporção entre Rb, Ba e Sr. Campos de El Bouseily e El Sokkary, 1979), ver figura 5.13.

Complexo Anelar Quintas:

- (+) biotita granitóide porfiróide róseo
- (x) hornblenda biotita granitóide cinza
- (■) hornblenda biotita granitóide cinza com clino-piroxênio
- Topázio albíta granito com cassiterita Serrote São Paulo (▲)

Figura 5.19: Complexo Tamboril-Santa Quitéria, granitóides pós-orogênicos, diagrama de distribuição multi-elemento e distribuição dos elementos terras raras.

Complexo Anelar Quintas:

- (+) biotita granitóide porfiróide róseo
- (x) hornblenda biotita granitóide cinza
- (■) hornblenda biotita granitóide cinza com clino-piroxênio
- Topázio albíta granito com cassiterita (Serrote São Paulo) (▲)

Normalização: terras raras (Nakamura, 1977); diagrama multi-elementos (Sun e McDonough, 1989; Cr, Ni e Sc pelos valores de Taylor e McLennan, 1975)

Figura 5.20: Complexo Tamboril-Santa Quitéria, granitóides pós-orogênicos, diagrama de Pearce (1984), campos dos granitos: COLG (sin-colisionais), VAG (arco vulcânico), ORG (ocean ridge granites) e WPG (within plate granites). A elipse tracejada representa o campo dos granitóides pós-colisionais conforme proposta de Pearce (1996).

Complexo Anelar Quintas:

- (+) biotita granitóide porfiróide róseo
- (x) hornblenda biotita granitóide cinza
- (■) hornblenda biotita granitóide cinza com clino-piroxênio

Topázio albíta granito com cassiterita Serrote São Paulo (▲)

5.1.7 Geocronologia e Geoquímica Isotópica

Foram realizadas análises U-Pb convencional em zircões extraídos de meta e diatexitos e de um dos fácies do Complexo Quintas. Análises Sm-Nd em rocha total oriundas destes litotipos e ainda do granito Serrote São Paulo também são apresentadas. Os resultados analíticos podem ser contemplados nas tabelas 5.1 e 5.2. Adicionalmente, estes resultados e as respectivas idades obtidas podem ser contemplados nos diagramas presentes nas figuras 5.21 a 5.26.

Em termos dos resultados U-Pb convencional obtidos em zircões os seguintes pontos merecem ser destacados:

- a) o alinhamento em diagrama concórdia de quatro frações de zircões limpos, prismáticos e tendendo a biterminados, extraídos de um diatexitos a biotita dos migmatitos Lagoa Caiçara (amostra NCC-36A) permite a obtenção de uma idade de intercepto superior de 629 ± 22 Ma (figura 5.21). Apesar do erro envolvido ser relativamente elevado, esta idade pode ser considerada como muito próxima da idade de cristalização do diatexitos analisado. Por outro lado, quatro frações bem alinhadas foram capazes de fornecer uma idade de intercepto inferior de 603 ± 3 Ma (MSWD = 0.38). Duas das frações utilizadas no cálculo desta idade são compostas de zircões biterminados com forma ovalada (geração 2592, figura 5.21) cujo posicionamento em relação à curva concórdia parece indicar a presença de núcleos herdados nestes grãos. Admitindo que uma perda de Pb foi responsável pelo posicionamento observado para as frações 2591, 2557 e 2555, uma idade de 606 ± 6 Ma pode ser obtida através do cálculo da média ponderada das idades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$, considerando-se as demais frações situadas mais próximas da curva concórdia. Esta idade é muito próxima da obtida pelo alinhamento entre a fração mais concordante, utilizada na obtenção da idade mais antiga acima, e duas outras frações compostas por zircões típicos de terem herança (tendendo a ovalados e biterminados). Considerando o erro associado à idade mais antiga encontrada, que em sua variação para menos se sobrepõe de certo modo às idades mais jovens obtidas, prefere-se aqui considerar que a idade de cristalização da rocha em questão deve situar-se no intervalo entre 600 e 630 Ma;
- b) em uma amostra de metatexitos (NCC-193C) foram analisadas cinco frações de zircão, com três destas fornecendo um bom alinhamento e duas apresentando uma incipiente indicação de herança (figura 5.22). As três frações alinhadas e utilizadas para o cálculo da idade são compostas por zircões límpidos, geralmente

- biterminados e relativamente achatados. A idade de 619 ± 8 Ma obtida é interpretada como de cristalização da rocha em questão;
- c) frações de zircão relativamente limpo, prismático e biterminado extraídos de um diatexito a biotita situado próximo à localidade de Taperuaba (amostra NCC-346B) forneceram uma idade de intercepto inferior de 618 ± 11 Ma (figuras 5.23). O posicionamento no intercepto inferior pode representar uma intensa re-homogeneização isotópica sofrida por zircões mais antigos;
 - d) as frações de zircão extraídas do diatexito a biotita e titanita, presente no ponto NCC-337, posicionaram-se relativamente próximas da curva concórdia, mas sem proporcionarem um bom alinhamento para o cálculo de uma idade precisa (figura 5.24). O valor médio ponderado das idades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (611 ± 2.5 Ma) é considerado para o momento como um bom indicativo da época de cristalização deste diatexito;
 - e) do fácies porfiróide róseo do Complexo Quintas foram analisadas seis frações de zircão, sendo que destas apenas uma (fração 2391) apresentou um valor muito baixo para a razão $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ e deste modo não foi utilizada no cálculo da idade obtida. Uma das frações analisadas (2404, com zircões semelhantes aos apresentados para a fração 2391) apresentou uma idade concordante de 467 ± 8 Ma (figura 5.25). Ainda, uma idade um pouco mais antiga foi encontrada para a média ponderada das idades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (477 ± 3 Ma). Uma vez que os erros envolvidos praticamente sobrepõem as duas idades obtidas prefere-se considerar o valor de 470 Ma como representativo da provável idade do fácies analisado. Análises de zircão oriundo dos demais fácies, devem propiciar um melhor refinamento no resultado apresentado.

Os resultados Sm-Nd, apresentados em termos das idades T(DM) e valores de $\epsilon\text{Nd}(t)$ permitiram constatar que somente as duas amostras oriundas dos granitóides pós-orogênicos representam produtos de uma fusão preferencialmente instalada sobre rochas paleoproterozóicas ou talvez até mais antigas. Adicionalmente, as amostras de diatexitos e metatexitos, principalmente as provenientes dos migmatitos Lagoa Caiçara, apresentaram idades T(DM) mais jovens e deste modo, já que não foram encontrados indícios de litologias mesoproterozóicas na região, parece mais provável que grande contribuição de material juvenil neoproterozóico deve ter ocorrido durante a formação destas rochas.

Muitas das amostras de diatexitos e metatexitos analisadas fora do domínio dos migmatitos Lagoa Caiçara apresentaram idades T(DM) em torno de 1600 e 1700 Ma,

sendo os valores de $\epsilon\text{Nd}(t=600\text{Ma})$ sempre negativos, entre -9 e -2.6. Estes valores sugerem que durante a gênese do protólito envolvido na migmatização em questão, houve uma mistura entre materiais neoproterozóicos (provavelmente oriundos do desmonte das primeiras manifestações magmáticas do arco magmático em questão) e materiais provenientes provavelmente de rochas do embasamento paleoproterozóico próximo.

Amostras de diatexitos situadas a oeste de Itataia forneceram idades $T(\text{DM})$ relativamente jovens (1380 e 1246 Ma) associadas a valores de $\epsilon\text{Nd}(t)$ pouco negativos. No contexto de mistura de materiais juvenis neoproterozóicos e materiais oriundos do embasamento paleoproterozóico discutido acima, parece que na geração do protólito dos diatexitos em questão houve uma contribuição maior dos primeiros;

Duas amostras de diatexitos dos migmatitos Lagoa Caiçara forneceram as idades $T(\text{DM})$ mais jovens encontradas para este domínio. As idades situaram-se em torno de 1100 Ma, com valores de $\epsilon\text{Nd}(t)$ ligeiramente negativos, em torno de -3. Isto indica que os migmatitos Lagoa Caiçara provavelmente representam o registro metamórfico e anatético que ocorreu sobre uma sequência de rochas de afinidade vulcano-sedimentar, composta em sua maior parte por material neoproterozóico juvenil, ao contrário dos protólitos das SCRCII, caracterizadas por um largo predomínio de idades $T(\text{DM})$ paleoproterozóicas e compatíveis com as apresentadas por rochas tipo CMACH. É provável que a deposição, metamorfismo e deformação dos protólitos dos migmatitos Lagoa Caiçara tenha ocorrido juntamente com a evolução da associação granito-migmatítica que integra o Complexo ou Arco Mágmatco Tamboril-Santa Quitéria. A título comparativo e para discussões posteriores, a figura 5.26 traz as curvas evolutivas, segundo as características isotópicas de Nd, apresentadas pelas SCRCII e CTSQ.

As idades $T(\text{DM})$ paleoproterozóicas encontradas nos granitóides pós-orogênicos situam-se em torno de 2000 Ma, com valores de $\epsilon\text{Nd}(t)$ variando entre -10 e -13. Tais características atestam o caráter crustal destes granitóides. A idade $T(\text{DM})$ de 2000 Ma pode representar uma idade mista, decorrente de uma maior participação de rochas do embasamento paleoproterozóico na gênese destas rochas. Entretanto, não foram analisadas amostras dos fácies mais máficos do CAQ, e pode ser que nestes estejam presentes características isotópicas que indiquem a participação de materiais mantélicos na gênese destas rochas.

Figura 5.21: Complexo Tamboril-Santa Quitéria, migmatitos Lagoa Caiçara (sudeste da localidade de Salitre), diagrama concórdia com frações de zircões de diatexito foliado a biotita.

Figura 5.22: Complexo Tamboril-Santa Quitéria, diagrama concórdia com frações de zircões extraídos de hornblenda biotita metatexito situado a oeste da localidade de Itaitia.

Figura 5.23: Complexo Tamboril-Santa Quitéria, diagrama concórdia com frações de zircões extraídos de diatexitos foliado a biotita situado próximo a localidade de Taperuaba.

Figura 5.24: Complexo Tamboril-Santa Quitéria, diagrama Tera-Wasserburg contendo frações de zircões de diatexito foliado a biotita rico em titanita situado no extremo sudoeste da região de estudo, a E-NE da localidade de Nossa Senhora do Livramento.

Figura 5.25: Complexo Tamboril-Santa Quitéria, diagrama Tera-Wasserburg com frações de zircões oriundas do granitóide pós-orogênico Quintas, fácies porfiróide róseo a biotita. Situado a leste da localidade de Taperuaba.

Figura 5.26: Complexo Tamboril-Santa Quitéria (metatexitos, diatexitos e granitóide pós-orogênico) e Supracrustais Rio Curú-Itataia-Independência (meta-sedimentos e vulcânica/vulcanoclástica ácida) e, diagrama considerando a evolução temporal dos valores de ϵ_{Nd} .

COMPLEXO TAMBORIL-SANTA QUITÉRIA																		
SPU	Magnetic fraction	Mineral Typology	207/235#	Error (%)	206/238#	Error (%)	COEF.	238/206	Error (%)	207/206#	Error (%)	206/204*	Pb (ppm)	U (ppm)	Weight (mg)	206/238 Age (Ma)	207/235 Age (Ma)	207/206 Age (Ma)
NCC - 353 - biotita granitoide porfirítico pos-orogénico (Granito Quintas)																		
2403	B		0.621635	1.29	0.0772676	1.23	0.95917	12.942035	1.23	0.0583494	0.365	277.7	68.3	748.4	0.011	480	491	543
2404	C		0.580076	2.31	0.074361	2.24	0.978858	13.44781	2.24	0.0565768	0.483	262.6	13.3	163.1	0.027	462	465	475
2405	D		0.600906	0.837	0.0742282	0.65	0.98042	13.471993	0.65	0.0587132	0.502	288.0	106.6	1207.1	0.017	462	478	556
2406	E		0.610645	1.04	0.0767881	1.01	0.969223	13.022651	1.01	0.0576758	0.257	962.0	55.7	727.4	0.015	477	484	517
2407	F		0.613961	0.929	0.0766175	0.899	0.971219	13.051848	0.899	0.0581181	0.221	738.4	49.7	831.1	0.020	476	486	534
NCC - 36A - biotita diatexitó foliado (Migmatitos Lagoa Caiçara)																		
2552	A		0.827185	0.465	0.0985309	0.461	0.9915659	10.1491	0.461	0.0608983	0.0602	9268.2	88.0	952.4	0.039	606	612	835
2554	B		0.8282	0.487	0.0987667	0.462	0.989717	10.12467	0.462	0.0608168	0.0668	7969.2	105.3	1139.2	0.019	607	613	833
2592	G		0.860489	0.486	0.0997458	0.463	0.9932817	10.025485	0.463	0.0625676	0.0539	7735.8	114.1	1213.3	0.029	613	630	894
2553	E		0.938646	0.461	0.0990241	0.458	0.9929465	10.088552	0.458	0.0614238	0.0547	7994.1	130.8	1411.9	0.021	609	618	854
2555	C		0.821819	0.477	0.09724	0.471	0.998895	10.28934	0.471	0.0612807	0.077	12121.2	99.7	1096.2	0.047	598	609	849
2591	F		0.81433	0.46	0.0971236	0.457	0.9935127	10.296159	0.457	0.0608099	0.0523	12508.5	177.3	1957.7	0.043	598	605	833
2557	D		0.808674	0.46	0.0961782	0.457	0.9933191	10.397583	0.457	0.0608824	0.0531	11109.4	192.4	2142.7	0.050	592	602	839
NCC-346B biotita diatexitó foliado																		
2587	A		1.01929	0.489	0.114114	0.475	0.973682	8.7631867	0.475	0.0647826	0.111	7586.9	88.0	795.5	0.027	697	714	767
2588	B		0.951199	0.465	0.109102	0.461	0.9911395	9.1657348	0.461	0.0632311	0.0618	14183.1	134.2	1283.6	0.034	668	679	716
2590	D		0.93061	0.47	0.107486	0.468	0.9919255	9.3035372	0.468	0.0627935	0.0596	8271.7	132.3	1288.7	0.016	658	668	701
2589	C		0.938394	0.463	0.107558	0.459	0.9930057	9.2973094	0.459	0.0632764	0.0546	12992.8	161.8	1553.8	0.039	658	672	718
NCC 337 - biotita diatexitó foliado																		
2499	A		0.845439	0.909	0.09937611	0.895	0.987525	10.023947	0.895	0.0614639	0.143	1007.0	75.2	758.8	0.026	613	622	856
2500	B		0.830661	0.796	0.0990232	0.788	0.989407	10.098644	0.788	0.0608395	0.118	1248.6	94.2	958.5	0.049	609	614	834
2501	C		0.832832	0.744	0.099193	0.735	0.988925	10.081357	0.735	0.0608941	0.111	1431.9	129.0	1321.9	0.027	610	615	836
2502	D		0.843729	0.906	0.099304	0.895	0.989861	10.006965	0.895	0.0612356	0.129	1011.0	130.8	1350.5	0.017	614	621	848
NCC 193C - hornblenda -biotita metatexitó																		
2468	A		0.803427	0.548	0.0962926	0.536	0.990235	10.385014	0.536	0.0605135	0.108	1825.1	76.3	691.0	0.035	593	599	822
2470	C		0.809142	0.55	0.0970705	0.538	0.990886	10.381791	0.538	0.0604555	0.107	730.7	82.4	715.2	0.031	597	602	820
2471	D		0.814135	0.504	0.0976949	0.495	0.98224	10.246437	0.495	0.0605017	0.0946	2522.8	81.1	724.1	0.024	600	605	822
2473	F		0.831505	0.727	0.0991095	0.716	0.997111	10.09985	0.716	0.0608483	0.116	1513.1	55.5	548.8	0.021	609	614	834
2469	B		0.772048	0.875	0.0920192	0.848	0.970027	10.867297	0.848	0.0608506	0.213	1228.8	72.0	879.6	0.032	567	581	834
SPU (número de laboratório)																		
# (Pb radiogênico corrigido para branco e Pb inicial)																		
* (não corrigido para o branco laboratorial e Pb não radiogênico)																		
U e Pb (concentrações corrigidas para o branco analítico)																		
Constantes de decaimento conforme Steiger and Jäger (1977)																		

Tabela 5.1: Complexo Tamboril-Santa Quitéria, informações analíticas U-Pb convencional.

NEOPROTEROZOICO (COMPLEXO TAMBORIL-SANTA QUITÉRIA)													
No. Campo	Material (rocha total)	Sm (ppm)	Nd (ppm)	147Sm/144Nd	erro (2 sigmas)	143Nd/144Nd	erro (2 sigmas)	eNd(0)	fSm/Nd	TDM (Ma)	TDM-DE (600Ma)	Tma(1)	e(T1)
Granitóides pós-orogênicos													
NCC-353	biotita granitóide, fácies porfir. róseo (hornblenda rara)	7.538	43.350	0.1058	0.0003	0.511646	0.000009	-19.35	-0.46	1975		460	-13.8
NCC-392	topázio albita álcali-feldspato granito com cassiterita	21.916	43.260	0.3062	0.0012	0.512430	0.000007	-4.05	0.56		2200	460	-10.8
Migmatitos e diatexitos													
NCC-083	RT/Bi-metatexito	4.781	26.253	0.1023	0.0004	0.511808	0.000014	-16.19	-0.48	1689		600	-9.0
NCC-200B	biotita diatexito foliado	1.060	7.635	0.0839	0.0003	0.511864	0.000037	-15.09	-0.57	1384		600	-6.5
NCC-197	biotita diatexito foliado	3.219	21.367	0.0911	0.0003	0.512042	0.000008	-11.63	-0.54	1246		600	-3.6
NCC-193C	hornblenda biotita metatexito	10.617	55.165	0.1164	0.0005	0.511925	0.000014	-13.90	-0.41	1748		600	-7.8
NCC-337	titanita biotita diatexito foliado	10.436	56.311	0.1121	0.0004	0.511906	0.000011	-14.27	-0.43	1703		600	-7.8
NCC-346A	anfibolito gnaissico	5.172	20.847	0.1500	0.0005	0.512323	0.000012	-6.15	-0.24	1718	1689	600	-2.6
NCC-346B	biotita diatexito foliado	0.996	4.315	0.1381	0.0008	0.512188	0.000013	-8.77	-0.30	1720	1800	600	-4.3
Migmatitos Lagoa Caiçara													
NCC-039B	biotita diatexito foliado c/ granada	2.731	10.435	0.1582	0.0006	0.512642	0.000018	0.08	-0.20	1104	1240	600	3.0
NCC-036A	biotita diatexito foliado	10.232	74.580	0.0830	0.0003	0.512029	0.000012	-11.89	-0.58	1164		600	-3.2
cálculo T(DM): DePaolo (1981); CHUR (DePaolo,1981); eNd(0) assumindo 143Nd/144Nd hoje=0.512638, com norm. p/ 146Nd/144Nd=0.72190													
eNd(0)=[(143Nd/144Nd)am. hoje/0.512638]-1 x 10000; eNd(600 Ma)=[(143Nd/144Nd)am. 600 Ma/143Nd/144Nd (CHUR 600 Ma)-1] x 10000													
cálculo T(DM) em duplo estágio (DE): De Paolo (1991)													

Tabela 5.2: Complexo Tamboril-Santa Quitéria, informações analíticas Sm-Nd de metatexitos, diatexitos e granitóides pós-orogênicos.

5.2 Estruturas e Metamorfismo

São expostos a seguir aspectos que envolvem a caracterização estrutural e metamórfica encontrados nas três unidades litotectônicas presentes na região trabalhada: 1) embasamento Paleoproterozóico (CMACH e núcleos gnáissico-migmatíticos), 2) cobertura metassedimentar Neoproterozóica (SCRCII) e 3) Complexo Tamboril-Santa Quitéria (CTSQ). O estudo realizado objetivou fornecer informações sobre a estruturação dessas unidades em termos do comportamento do par foliação principal e lineação de estiramento mineral, bem como sobre as características termo-barométricas e geocronológicas do metamorfismo presente.

Considerando o fato que a região em questão foi protegida da deformação imposta pelas grandes zonas transcorrentes limítrofes do Domínio Tectônico Ceará Central (Lineamento Transbrasiliano a norte e Senador Pompeu a sul), foi possível elaborar um modelo tectônico com ênfase no sistema de *nappes* que atuou durante o Neoproterozóico. A tectônica que ocorreu seria, sob alguns aspectos, semelhante à observada para o contexto colisional Himalaiano. Esta modelagem é discutida no Capítulo 6.

5.2.1 Foliação Principal (FP) e Lineação de Estiramento Mineral (Lx) Associada

Como foliação principal (FP) de cada unidade litotectônica, entende-se aqui, como a superfície planar portadora de minerais neoformados (mica, quartzo, feldspato, aluminossilicatos, etc.), contínua a descontínua, a qual se manifesta de diferentes formas conforme o tipo litológico e deformação vigente. Deste modo, esta superfície pode ser caracterizada da seguinte forma: a) como uma simples foliação descontínua com esparsos cristais de biotita, na maioria dos casos onde ocorrem os diatexitos do CTSQ ou como um bandamento gnáissico-migmatítico em diversas escalas nas porções metatexíticas e migmatitos bandados Lagoa Caiçara; b) uma xistosidade nas porções mais micáceas e um bandamento deformacional/metamórfico (ambos por vezes com feições miloníticas) na associação Clasto-Aluminosa Inferior e SCRCII; c) ou ainda como uma tênue foliação contendo basicamente biotita a um bandamento deformacional/metamórfico nas litologias do CMACH e núcleos do embasamento.

Como lineação de estiramento foi considerada toda estrutura linear, constituída por minerais isolados ou agregados, contida no plano da FP. A orientação desta estrutura linear é indicadora do eixo X do elipsóide de deformação (direção de estiramento) e, deste modo, indica a direção do transporte tectônico vigente durante a deformação geradora do par FP/Lx.

O padrão estrutural (e metamórfico) encontrado sugere a presença de um sistema de *nappes*, onde as escamas tectônicas mais antigas situam-se mais a leste (em contato ou próximas ao embasamento) e com aparente vergência para sul. As escamas mais jovens situam-se mais a oeste, em posições superiores e com vergência para sudeste – leste. Neste contexto a compartimentação lito-estrutural presente nos mapas geológico e de pontos (anexos 1 e 2) e perfis esquemáticos (figura 5.28) representam blocos tectônicos onde podem ser encontrados distintos padrões de orientação da associação FP/ Lx. Balizando estes blocos, encontram-se as principais zonas de cisalhamento de baixo a médio ângulo, tardias em relação à FP e onde foram desenvolvidos preferencialmente xistos feldspáticos miloníticos e, mais localmente, filonitos. Conforme a compartimentação de blocos tectônicos adotada, aborda-se a seguir a estruturação das unidades litotectônicas estudadas: embasamento (CMACH), supracrustais (SCRCII) e CTSQ.

A hierarquização das superfícies metamórficas identificadas em cada unidade litotectônica obedeceu a seguinte ordem: a) Sn: denominação usada para designar a foliação principal identificada em cada afloramento e presente em cada uma das unidades litotectônicas consideradas; b) Sn-1: foliação pretérita preservada internamente à Sn; c) Sn+1: foliação preferencialmente milonítica associada à derradeira fase de cavalgamentos, posterior à Sn. A lineação Lx foi sempre medida no plano da superfície Sn. A observação dos mapas de pontos e geológico não indica uma discriminação entre Sn e Sn+1 devido ao fato destas estruturas possuírem um comportamento espacial parecido. Deste modo, a caracterização da Sn+1 é feita basicamente em termos de características petrográficas que indicam a presença de feições miloníticas desenvolvidas sob temperaturas mais baixas.

O acompanhamento da exposição a seguir é melhor efetuado com o auxílio das figuras 5.27 e 5.28, que contém algumas seções geológicas esquemáticas confeccionadas sobre o mapa geológico do Anexo 2, e os estereogramas que descrevem o comportamento espacial das estruturas consideradas.

Figura 5.27: Perfis Esquemáticos

PERFIS ESQUEMÁTICOS NAS FOLHAS TAPERUABA (C-D), ITATIRA (A-B) E BOA VIAGEM (E-F, porção norte)

UNIDADES LITO-TECTÔNICAS

NEOPROTEROZOICO III COMPLEXO TAMBORIL-SANTA QUITÉRIA

- biotita-diatexitos foliados, localmente com hornblenda (porções metatexiticas, shollens ricos em biotita e hornblenda localizadas)
- Hb-Bi-metatexitos (litologias subordinadas: Bi-diatexitos foliados, anfibolitos e calcio-silicáticas)
- Migmatitos Lagoa Caiçara
- hornblenda-biotita-migmatitos bandados (clacio-silicáticas, quartzitos e anfibolitos subordinados) (sequência vulcano-sedimentar metamorfisada)
- anfibolitos, diopsídio-anfibolitos e anfibolitos gnáissicos

NEOPROTEROZOICO II-III SUPRA CRUSTAIS RIO CURŪ-ITATAIA-INDEPENDÊNCIA

- Associação Clasto-alumino-carbonática
- anfibolitos, granada-anfibolitos, granada-diopsídio-anfibolitos e anfibolitos gnáissicos
- cálcio-silicáticas bandadas (ricas em diopsídio, flogopita e escapolita) e mármore
- quartzitos impuros bandados com muscovita (mais raramente quartzitos puros e feldspáticos)
- xistos feldspáticos ricos em granada e cianita
- gnaisses paraderivados ricos em silimanita, granada e localmente cianita (xistos feldspáticos e augen-gnaisses bandados subordinados)
- Associação clasto-aluminosa
- gnaisses e migmatitos paraderivados ricos em cianita e granada (eclogitos/retro-eclogitos) (subordinadamente porções com silimanita, migmatitos bandados e xistos feldspáticos)

PALEOPROTEROZOICO COMPLEXO MADALENA - ALGODÕES-CHORÔ

- orto-gnaisse quartzo diorítico a hornblenda e biotita, foliado e mais raramente bandado
- orto-gnaisses leucocráticos miloníticos ricos em granada
- associação meta-vulcanossedimentar
- anfibolitos e Bi-gnaisses bandados c/ Hb, localmente migmatíticos (menor volume: gonditos, quartzitos e Bi-gnaisses bandados com muscovita granada-Bi-xistos feldspáticos, cherts ferruginosos)
- níveis meta-riolíticos (gnaisse granoblasticos róseos com biotita)
- gnaisses migmatíticos paraderivados ricos em biotita, muscovita (localmente porções granatíferas, migmatitos bandados, anfibolitos, gnaisses granoblasticos a biotita e muscovita)
- NÚCLEOS GNÁISSICO-MIGMATÍTICOS
- gnaisses migmatíticos a hornblenda e biotita com porções schlieren a nebulíticas, porções anfibolíticas localizadas

CTSQ

SCRCII

Nappe superior

Nappe inferior.

Núcleo Emb. Sul e arredores

EMBASAMENTO

CMACH

Figura 5.28: Estereogramas (igual área, parte inferior), considerando as medidas da superfície Sn, lineação de estiramento mineral (Lx) e eixos b de dobras.

A compartimentação usada no tratamento obedece domínios geralmente balizados pelos falhamentos maiores estabelecidos.

5.2.2 Embasamento (CMACH)

O comportamento estrutural encontrado no CMACH pode ser descrito conforme a estruturação observada nos Blocos 10 (que inclui a porção ortognáissica e parte da porção meta-vulcanossedimentar) e 11 (que inclui a porção meta-vulcanossedimentar situada mais a norte). Com alguma variação o padrão espacial das três estruturas consideradas (Sn, Lx e eixo de dobras) é parecido nos dois blocos estudados. Para efeito ilustrativo, as ilustrações de afloramentos presentes nas figuras 5.29 e 5.30 trazem exemplos sobre o modo de ocorrência da superfície Sn presente no CMACH.

A superfície Sn nos ortognaisses pode ser identificada nos afloramentos através da orientação dos minerais máficos presentes. Ao microscópio, é clara a presença de hornblenda e biotita orientados, sendo que em muitos casos observou-se também um caráter mais tardio para a biotita (figura 5.30). A análise das medidas de afloramento em estereogramas mostra que nos ortognaisses em questão a superfície Sn apresenta-se com mergulhos moderados, localmente mais elevados, e com orientação variável configurando grosso modo um dobramento com eixo orientado em torno de E-NE (ver estereogramas do Bloco 10 na figura 5.28). Esta direção de eixo ainda pode ser identificada em afloramentos, tal como ocorre em uma dobra aberta presente no ponto NCC-44. No ponto NCC-295 foram observados dois conjuntos de foliação de direções muito próximas, um com mergulho mais suave e outro, caracterizado por mergulhos mais fortes (entre 45° e 50°). Para o conjunto ortognáissico em apreço suspeita-se que a foliação com mergulho mais forte possa representar uma estrutura primária que seria uma foliação ígnea desenvolvida no Paleoproterozóico e anteriormente à foliação de baixo ângulo imposta pelas *nappes* neoproterozóicas. A lineação de estiramento mineral é relativamente sutil nos ortognaisses, frequentemente identificada através da orientação de cristais isolados ou agregados de biotita. Localmente cristais de hornblenda também podem ser observados.

Na associação meta-vulcanossedimentar as feições estruturais encontradas são basicamente representadas pelo franco desenvolvimento da superfície Sn, frequentemente portando uma lineação Lx que, em alguns pontos, é bastante expressiva (figura 5.29). Nas rochas gnáissico-migmatíticas e mais raramente anfibolíticas, a superfície Sn é representada pela alternância de bandas quartzo-feldspáticas e bandas mais ricas em minerais máficos. Nos níveis meta-riolíticos predomina largamente a presença de tectonitos tipo L, enquanto nas rochas anfibolíticas é bastante fácil a identificação de planos contínuos a descontínuos contendo teores variáveis de hornblenda e algum

plagioclásio. Em alguns pontos visitados pôde ser observada a existência de uma superfície Sn-1, presente como pequenas dobras intrafoliais em meio à Sn. Esta superfície Sn-1 pode representar planos gerados no Paleoproterozóico que foram retrabalhados durante o Neoproterozóico, mas como uma superfície pré-Sn também é encontrada nas SCRCII, esta questão ainda está em aberto. A lineação Lx presente na associação meta-vulcanossedimentar do CMACH comporta cristais isolados de biotita, hornblenda e agregados destes minerais, além de agregados quartzo-feldspáticos. Nas rochas meta-riolíticas e meta-vulcânicas afins é marcante a presença de uma lineação de estiramento onde é intensa a recristalização de quartzo (amostra NCC-172A, figura 5.29).

A distribuição espacial da lineação Lx considerando os Blocos 10 e 11 (figura 5.28) pode ser descrita em termos dos seguintes fatores: 1) para ambos os blocos os mergulhos são baixos, em torno de 15°; 2) para o bloco 10 a direção encontrada é bastante variável, com o máximo das medidas ocorrendo em torno de N30E – S30W. Ainda, uma forte dispersão direcional é observada, a qual manifesta-se através de importantes concentrações de medidas em torno de N50E e S80E. Esta dispersão pode significar a ação de dobramentos ou ainda uma maior influência localizada das *nappes* mais tardias e melhor registrada nas SCRCII; 3) para o Bloco 11 a lineação Lx apresenta-se com menor dispersão, com o máximo das medidas orientando-se em torno de S60E/20° e em menor grau para N60W (dobramento ou dispersão de medidas de muito baixo ângulo - ?). Ainda, a dispersão concentrada no quadrante SE e em menor grau no quadrante NE, sugere a presença de um dobramento com eixo médio de direção NW e baixo ângulo de mergulho (~15°).

As estruturas mais marcantes observadas no CMACH muito provavelmente foram geradas pela atuação das *nappes* neoproterozóicas ao passarem sobre o embasamento. Em meio aos gnaisses migmatíticos da associação meta-vulcanossedimentar podem ser encontrados inúmeros níveis pouco espessos de leuco-gnaisses miloníticos diferenciados durante o metamorfismo e deformação provavelmente relacionados ao metamorfismo neoproterozóico superimposto. Neste contexto, a disposição geral de parte da lineação Lx permite inferir que parte das litologias do CMACH foi afetada por uma tectônica com direção de transporte próxima de N30E. Para o momento interpreta-se o outro grupo de orientações dispostas entre S60E – E-W como resultantes da provável ação das *nappes* mais tardias que são registradas nas SCRCII e que devem ter modificado o padrão N30E original.

5.2.3 Domínio das Nappes Neoproterozóicas

O comportamento espacial da foliação Sn e lineação Lx e as características metamórficas, presente nas SCRCII e porção metassedimentar do CMACH, permitiram enquadrar este domínio no contexto da tectônica de *nappes* neoproterozóicas registrada na região. O desenvolvimento sob temperaturas elevadas propiciou o aparecimento de gnaisses migmatíticos nos quais localmente foram recuperados restos de rochas eclogíticas. Três subdomínios ou *nappes* maiores podem ser analisados (*Nappes* Inferior, Intermediária e Superior), os quais guardam ainda características metamórficas distintas (ver exposição adiante) e limitados pelas principais zonas de cavalgamento tardias à geração da superfície Sn e ao metamorfismo principal a esta associado. Neste contexto, o caráter tardio destas zonas de cisalhamento é assinalado pela presença de xistos feldspáticos miloníticos indicativos de regimes termais mais tênues. Nos estereogramas confeccionados, as medidas desta foliação milonítica tardia encontram-se “diluídas” em meio ao maior número de medidas da superfície Sn propriamente dita. As figuras 5.31 a 5.36 têm exemplos da superfície Sn quanto ao modo de ocorrência desta em campo e em termos de feições micro-petrográficas.

Nappe inferior (NI)

Domínio onde se encontram associadas tectonicamente rochas das SCRCII (ACAC) e rochas do CMACH, estas representadas por metassedimentos e núcleos gnáissico-migmatíticos.

Nas rochas presentes nos núcleos gnáissico-migmatíticos, que ocorrem em meio aos metassedimentos do CMACH e SCRCII (núcleos Norte), tanto a Sn como Lx possuem uma orientação espacial muito próxima da identificada nas supracrustais sobrepostas (ver estereograma do Bloco 9, que considera as medidas estruturais obtidas nos gnaisses migmatíticos do núcleo sul e supracrustais próximas). Nas porções metatexiticas, a superfície Sn é representada por um bandamento gnáissico-migmatítico geralmente estromático. Uma tênue foliação com biotita geralmente é a única superfície observada nas porções diatexiticas. Na lineação Lx podem ser encontrados tanto minerais félsicos como máficos, isolados ou em agregados. Apesar das idades U-Pb em zircão indicarem tratar-se da idade de cristalização (paleoproterozóica), a recrystalização que hoje é observada (com orientação muito próxima da estruturação presente nas SCRCII sobrepostas) pode ter sido gerada no Neoproterozóico.

A *nappe* inferior comporta a estruturação presente nos Blocos 6, 7, 8. Na região englobada por estes blocos, a característica estrutural marcante é a orientação sinuosa da lineação Lx entre N15W – NS (Blocos 6 e 7) e em torno de N15E (Bloco 8), associada a baixos ângulos de mergulho (ver estereogramas na figura 5.28). Petrograficamente, esta lineação é caracterizada pela presença de agregados quartzo-feldspáticos, micas (biotita e muscovita), quartzo e anfibólio nos corpos anfibolíticos. A foliação Sn presente neste domínio é caracterizada nas rochas gnáissico-migmatíticas por um bandamento tectônico presente em diversas escalas, onde ocorre uma alternância de porções quartzo-feldspáticas e níveis mais ricos em biotita e granada. Internamente a este bandamento são comuns bandas métricas de verdadeiros augen-gnaisses a microclina (tal como exemplificado na figura 5.36). Nos corpos quartzíticos a superfície Sn caracteriza-se pela presença de bandas mais ricas em material micáceo (muscovita principalmente), frequentemente cristalizado segundo a lineação Lx. Nos xistos feldspáticos é frequente uma xistosidade, por vezes milonítica, presente nas bandas mais ricas em minerais micáceos. O comportamento espacial da foliação Sn na *Nappe* Inferior apresenta dois padrões distintos. No Bloco 6 a dispersão das medidas define um dobramento cilíndrico assimétrico com eixo em torno de N-S – N15W e mergulho próximo da horizontal. Considerando o largo predomínio de planos com mergulho geral para W a assimetria encontrada define um dobramento com vergência para E. Outro fato interessante a notar, é o paralelismo entre o eixo desse dobramento e a concentração das medidas da lineação Lx e também eixos de dobras abertas a apertadas identificadas em afloramentos (figura 5.31). Para os Blocos 7 e 8 as seguintes características podem ser colocadas: a) o comportamento espacial da foliação Sn apresenta-se com mergulhos moderados a baixos definindo um dobramento de forma cônica com um eixo de baixo mergulho com direção próxima de N-S para o Bloco 7 e de N15E para o Bloco 8; b) apesar de alguma dispersão a lineação Lx acompanha as orientações atrás mencionadas, sendo praticamente paralela aos eixos anteriormente definidos; c) ainda, uma boa concordância com tais orientações pode ser identificada para alguns dos eixos de dobras identificados em escala de afloramento.

Nappe Intermediária (NIn)

A *nappe* intermediária (Blocos 4 e 5) engloba a associação Clasto-Aluminosa com registro de alta pressão e porção basal da associação Clasto-Alumino-Carbonática. Como característica estrutural marcante apresenta, devido à colocação da *nappe* superior, o encurvamento regional tanto da foliação Sn como da lineação Lx. A caracterização da

superfície Sn e da lineação Lx na *nappe* em questão deve ser feita em duas situações, uma vez que esta se encontra seccionada por importante descontinuidade de cavalgamento que separa as associações litológicas Clasto-Aluminosa (ACA) da Clasto-Alumino-Carbonática (ACAC). A porção da ACA presente na *Nappe* Intermediária comporta um registro de alta pressão e onde se tem para a Sn e Lx a seguinte caracterização: a) Sn: caracterizada nas rochas gnáissico-migmatíticas por bandas alternadas de material quartzo-feldspático e mais ricas em biotita, cianita e silimanita; nos quartzitos por bandas mais ricas em quartzo e bandas mais meta-pelíticas; nos xistos feldspáticos pela orientação da biotita e ainda alguma alternância de bandas biotíticas com algum material quartzo-feldspático; e nas rochas meta-básicas por uma incipiente a marcante orientação de anfibólio e menos comumente plagioclásio. b) a lineação Lx nas rochas gnáissico-migmatíticas é preferencialmente representada por material quartzo-feldspático, biotita, cianita e mais localmente silimanita (geralmente fibrolita). Esta lineação é representada por agregados de muscovita nas rochas quartzíticas e anfibólitos e plagioclásio (isolados ou agregados) nos anfibolitos. Na ACAC, Lx e foliação Sn são caracterizados como: Sn: mais comumente como um bandamento tectono-metamórfico presente como:

- alternância de bandas quartzo-feldspáticas e bandas máficas ricas em biotita e/ou biotita+granada nas rochas gnáissico-migmatíticas (diferentes graus de gnaissificação e migmatização);
- bandas quartzosas e meta-pelíticas com e sem silimanita nos quartzitos;
- orientação de plagioclásio e anfibólio em bandas com proporções variadas destes minerais em anfibolitos;
- alternância de bandas cálcio-silicáticas e de mármore quase puros nas rochas carbonáticas;

Lineação Lx: no domínio da ACAC a lineação em questão é principalmente caracterizada por agregados quartzo-feldspáticos e silimanita nas rochas gnáissico-migmatíticas, biotita e muscovita nas porções mais xistosas, muscovita e silimanita nos quartzitos, anfibólio e plagioclásio nos anfibolitos e material carbonático, flogopita e anfibólio nas rochas carbonáticas.

Na região do Bloco 4N (4 norte) a lineação Lx apresenta-se com baixo ângulo de mergulho e orientação entre N-S e N20W, padrão espacial este, que é muito próximo do que é encontrado na *Nappe* Inferior. Neste contexto, a superfície Sn apresenta-se com mergulhos baixos a moderados para W, mas a considerável dispersão presente no diagrama

considerado sugere a presença de ondulações ou suaves dobramentos posteriores. Os blocos 4S e 5 definem claramente a deformação tanto da Sn como da Lx, onde o comportamento espacial de tais estruturas muda espacialmente e começa a ter uma maior dispersão. A lineação Lx orienta-se com mergulhos baixos próxima de E-W no Bloco 4S e em torno de N60E – S60W também com baixos ângulos de mergulho no Bloco 5. Na região considerada por estes blocos a rotação da Sn e Lx deve ter se dado pela deformação imposta durante a colocação da *Nappe Superior* de NW para SE. Para ambos os blocos, observam-se certo paralelismo entre a lineação Lx e alguns eixos de dobras identificados em escala de afloramento.

Nappe Superior (NS)

A *Nappe Superior* engloba os Blocos 3 e 12, com estes apresentando uma estruturação levemente distinta. Representa a escama superior da grande estruturação identificada e aparentemente dada suas características de colocação (elevada temperatura e deformação) conseguiu imprimir nas escamas mais inferiores tanto feições de dobramentos como localmente fenômenos de transporte de massa com Lx associado. As características petrográficas das estruturas Sn e Lx presente nestes dois blocos é muito parecida com a identificada na porção da ACAC que foi enquadrada na *Nappe Intermediária*.

Estruturalmente destaca-se: a) Bloco 3: o comportamento espacial encontrado e sintetizado nos estereogramas confeccionados (figura 5.28) indica que a superfície Sn apresenta-se preferencialmente com mergulhos suaves e em menor quantidade moderados para NW. A lineação Lx mergulha preferencialmente para o mesmo quadrante com mergulho relativamente suave em torno de 15°; b) Bloco 12: neste bloco, a orientação da superfície Sn situa-se próximo de N70-80W mergulhando cerca de 20° (figura 5.28), com a posição espacial média da lineação Lx situando-se em torno de N70W mergulhando entre 15 e 20°.

5.2.4 CTSQ (domínio do arco magmático)

Os Blocos 1, 2 e 13 descrevem o padrão estrutural encontrado para o domínio das rochas do CTSQ. Basicamente existe certa semelhança entre os padrões estruturais observados nestes blocos, e as seguintes características podem ser ressaltadas:

- a) a superfície Sn é caracterizada pela presença de um bandamento tectono-metamórfico com alternância de bandas quartzo-feldspáticas e bandas ricas em máficos, tanto nos migmatitos Lagoa Caiçara como nas demais porções metatexíticas. Nas porções diatexíticas o que se encontra é uma foliação, geralmente descontínua e localmente incipiente, denotada pela orientação da biotita e algum feldspato. Nestes diatexitos ainda é freqüente a presença de porções *shollen*, e mais raramente brechóides, portando gnaisses migmatíticos bandados que caracterizam deste modo a presença de uma foliação Sn-1 presente nos enclaves considerados. A disposição espacial geral da superfície Sn apresenta-se bem definida no Bloco 2 (migmatitos Lagoa Caiçara), onde se observa a presença de um plano Sn geral mergulhando cerca de 30° para ~ N60-70W (ver estereograma na figura 5.28). Uma certa dispersão é observada em torno deste padrão geral, a qual pode estar correspondendo ao dobramento isoclinal sugerido para esta região. O padrão estrutural encontrado no Bloco 1 é parecido com o do Bloco 2, com a maior dispersão das atitudes naquele podendo ser explicada pelo fato das estruturas medidas ocorrerem associadas a porções preferencialmente diatexíticas. Apesar do número reduzido de medidas, o padrão estrutural da superfície Sn encontrado no Bloco 13 parece ser semelhante ao encontrado nos outros dois blocos que foram individualizados neste domínio;
- b) no domínio do CTSQ a lineação Lx é denotada por agregados quartzo-feldspáticos e minerais máficos nas porções metatexíticas. Nas porções diatexíticas a lineação em questão apresenta-se geralmente de forma incipiente, sendo denotada pela presença isolada ou de agregados de cristais de biotita. Quanto ao comportamento espacial, as causas da dispersão espacial sugeridas para a superfície Sn são aqui válidas, com o espalhamento das atitudes levantadas sendo maior para a região onde predominam os diatexitos (Bloco 1). A direção preferencial situa-se entre N50-80W, com os mergulhos encontrados sendo geralmente suaves ($\leq 20^\circ$).

5.2.5 Zonas de Cavalgamentos Tardios (Sn+1)

As principais zonas de cavalgamento presentes na cartografia proposta foram alocadas em regiões que marcam o limite entre conjuntos rochosos que apresentaram diferentes padrões estruturais exibidos pelo par Sn/Lx e ainda contrastes litológicos e

metamórficos. Para estas zonas de cisalhamento, as seguintes características principais podem ser apontadas:

- a) Na maioria dos casos não foi possível observar a litologia formada (milonitos) nos planos de cisalhamento em questão. No entanto, em várias situações internamente às SCRCII e ACAI foi observada a presença de xistos feldspáticos miloníticos (figura 5.33 e 5.37) diretamente associados ou muito próximos aos planos definidos. A temperatura associada a tal deformação é inferior à que vigorou durante a geração da superfície Sn nestes dois domínios, como exemplificado no ponto NCC-17 onde ocorrem verdadeiros xistos finos a filonitos;
- b) Nos planos de cisalhamento em apreço a transposição da superfície Sn é total, sendo possível identificar em alguns pontos restos de micro-dobras intrafoliais que provavelmente representam restos da superfície Sn ainda preservados. Internamente, nas porções protegidas do cisalhamento, a deformação parece ter sido acomodada sob a forma de dobramentos que frequentemente apresentam flancos invertidos (figuras 5.29 e 5.31) ou ainda, mais localmente, o desenvolvimento de uma proeminente clivagem de dissolução plano axial (figura 5.31);
- c) Melhores estudos ainda são necessários para elucidar totalmente o transporte tectônico presente nas zonas de cisalhamento em questão. Pelas informações disponíveis, a interpretação para tal questão foi a de que estes planos de ângulo baixo a moderado tenham sido gerados pela continuidade dos esforços responsáveis pela principal fase de cavalgamentos que originou a superfície Sn. Estudos de maior detalhe envolvendo a aquisição sistemática de indicadores cinemáticos, principalmente nos xistos feldspáticos miloníticos, podem ajudar a elucidar esta dúvida, inclusive, talvez fornecendo indicadores que sejam mais compatíveis com uma fase extensional contrária ao sentido colocado nas grandes falhas apresentadas;

Figura 5.29: Aspectos deformacionais registrados em rochas do embasamento Paleoproterozóico, Complexo Madalena - Algodões-Choró.

Lineação de estiramento mineral quartzo-feldspática marcante em biotita gnaiss granoblástico do ponto NCC-172 (Sn orientada N03E/20SE). Dobramentos com flanco invertido presentes na associação meta-vulcanosedimentar, gnaiss granoblástico a biotita, ponto NCC-146, orientações: Sn (N55W/28NE); Lx (S75E/7) e eixos (entre N60-70W/5). Gnaisses a biotita e hornblenda com porções anfibolíticas no ponto NCC-86, orientações: Sn (geral N45E/45SE), Lx (N55E/10) e eixos (em torno de S20W/24).

Figura 5.30: Aspectos deformacionais (superfície Sn) e metamórficos registrados nas litologias do embasamento Paleoproterozóico, Complexo Madalena - Algodões-Choró.
 Amostras NCC-140A e 160A (foliação Sn com biotitas tardias seccionando cristais de hornblenda-Hb).
 Amostra NCC-169 (foliação Sn e textura nematoblástica em gnádada anfibolito).
 Amostra NCC-139A (veio de cloritito férrico tardio em meio a rocha gnáissica)

Figura 5.31: Dobramentos recumbentes sobre a superfície Sn (linha tracejada) presentes na Associação Clasto-aluminosa inferior (NCC-97, com as linhas cheias finas mostrando a orientação de uma clivagem de dissolução associada ao dobramento) e *nappe* intermediária nas Supracrustais Rio Curú-Itataia-Independência (NCC-04). Ponto NCC-97 (eixo com orientação próxima dada lineação de estiramento mineral presente, próxima de N-S).
Ponto NCC-04 (gnaisses a biotita e xistos feldspáticos a granada com níveis de meta-basitos a microclina; eixo também próximo da orientação da lineação de estiramento mineral presente, Em torno de N-S).

Sn-1

Sn

qzo + feldsp. + fibrolita

1 cm

Sn

NCC-233

Grn

Figura 5.32: *Nappe* inferior, superfície Sn-1 preservada em dobra intrafolial presente em provável meta-vulcânica/vulcanoclástica de provável idade neoproterozóica (ponto NCC-95). *Nappe* intermediária, aspectos deformacionais associados à superfície Sn. Dobramentos intrafoliais em rochas cálcio-silicáticas da ACAC NCC-242). Foliação Sn com cianita e granada sendo retomada por planos com material quartzo-feldspático e alguma silimanita (retro-eclogito do ponto NCC-233).

Figura 5.33: *Nappe* inferior, foliação principal S_n em Gnaisses bandados a biotita e microclina (NCC-72), augen (NCC-21A) e banda gnáissica a microclina em meio a biotita xisto feldspático (NCC-186). Foliação S_{n+1} em xistos feldspáticos miloníticos situados próximos a zonas de cavalgamentos, com predominância de biotita ((NCC-181) e muscovita (NCC-68 e173).

Figura 5.34: SCRCII, nappe intermediária, aspectos deformacionais e metamórficos em retro-eclogitos. Superfície Sn em meta-pelitos/psamitos (amostras NCC-233, NCC-30 e NCC-260). Meta-básica com textura simplectítica de clino-piroxênio + plagioclásio exemplificada nas elipses (amostra NCC-535). Cianita (Ci), granda (Grn), biotita (Bi), anfibólio (Af).

Figura 5.35: Aspectos texturais considerando granadas, cianita e principal foliação metamórfica em meta-pelitos/psamitos das Supracrustais Rio Curú-Itataia-Independência, nappe intermediária. Material claro (quartzo e feldspatos), castanho-avermelhado (biotita). De alto relevo e alongado na foliação (Ci-cianita, Grn-granada). Nappe inferior (amostra NCC-05A), Nappe intermediária (amostras NCC-261A e 233).

Figura 5.36: Supracruatais Rio Curú-Itataia-Independência, nappe superior. Feições da foliação principal Sn: bandamento gnáissico em granada silimanita biotita plagioclásio gnaiss (NCC-358A) e granada silimanita biotita gnaiss (NCC-126). Lineação Lx com material quartzo-feldspático (ponto NCC-208).

NCC-68

NCC-242

Figura 5.37: Aspectos micro-petrográficos da foliação milonítica Sn+1 associada às zonas de cavalgamento tardias (NCC-68). Fases de dobramentos pós Sn impostos provavelmente pela deformação vigente durante a instalação dos cavalgamentos tardios (NCC-242).

5.2.6 Metamorfismo: Aspectos petrográficos e termobarométricos

Estudos termobarométricos foram efetuados em três amostras das SCRCII, sendo duas oriundas da escama tectônica que comporta o registro de alta pressão (preservação de retro-eclogitos). A terceira amostra encontra-se encaixada na *Nappe* Superior onde foram encontrados registros de elevada temperatura e valores reduzidos de pressão. As análises e interpretação foram realizadas em conjunto com o Prof. Dr. Mário da C. Campos Neto. Os cálculos e modelagem destinada à obtenção dos valores termobarométricos foram efetuados no programa THERMOCALC 3.1 (Powell & Holland, 1998 e 2001). Nos resultados apresentados as elipses de erro presentes são oriundas dos erros da pressão e temperatura médias e ainda devido aos índices de correlação. O ponto tríplice para os alumino-silicatos Andalusita-Silimanita-Cianita presente nos diagramas apresentados foi extraído de Berman (1988). Os campos dos fácies metamórficos utilizados no diagrama comparativo contendo as trajetórias das três amostras estudadas são segundo Spear (1993). Abreviações utilizadas: Pl (plagioclásio), Qtz (quartzo), Grs (grossulária), Prp (piropo), Alm (almandina), Sps (espeartita), An (anortita), Alb (albita).

Registro da Nappe Intermediária (registro de Alta Pressão, Retro-eclogitos)

A) Granada-clinopiroxênio-anfibólio meta-basito (retro-eclogito amostra NCC-535):

Quartzo e plagioclásio (andesina) ocorrem em arranjo poligonizado e de granulação fina (entre 0.1 e 1 mm). O clinopiroxênio xenoblástico e incolor é simplectítico (Pl e Qtz), lamelar a alongado, corroído (cristais longos de até 2mm) e substituído por anfibólio marrom-esverdeado, xenoblástico a subidiomórfico. As granadas (1.5 a 2mm) são poiquiloblástica, xenoblásticas e corroídas. Possuem composições que variam linearmente de núcleos ricos na molécula grossulária (Grs40.4-Prp32.2-Alm26.9) para bordas de almandina (Alm54-Grs27-Prp17). Rutilo, apatita, ilmenita, titanita, carbonato e opacos são acessórios freqüentes. Tremolita, biotita e mica branca são raras e ocorrem como fases minerais secundárias. As massas xenoblásticas e alongadas de clino-piroxênio cálcico (diopsídio/pigeonita) ocorrem em paragênese com apatita e em mosaico simplectítico equidimensional com quartzo e finas lamelas de plagioclásio. Encontram-se envoltos por anfibólio com inclusões de rutilo, ou de rutilo parcialmente substituído por ilmenita em corona de quartzo, ou de titanita. A granada no geral possui uma corona incompleta de quartzo e plagioclásio e são freqüentes inclusões de quartzo em gotas, rutilo, ilmenita,

clinopiroxênio e plagioclásio e mais raramente de anfibólio verde-azulado. Para os cálculos termobarométricos foram utilizados:

1. composições de núcleo de granada, andesina mais rica em moléculas de albita, clinopiroxênio mais rico em Al IV e anfibólio incluso em granada;
2. composições intermediárias de granada (borda interna), plagioclásio andesina com moléculas de albita variando entre 52.4-55.8, clinopiroxênio com baixo a médio Al IV e composições de anfibólio da matriz com Al IV e Na mais altas;
3. composições de borda de granada (almandina), clinopiroxênio e anfibólio de mais baixos teores de Al IV e Na e andesina mais rica no conteúdo albitico;

Apesar dos erros de temperatura chegar à ordem de 60°C e de pressão não ultrapassando 1.5 Kb, os resultados obtidos são capazes de fornecer uma trajetória metamórfica de sentido horário para o retro-eclogito (meta-basito) em questão (figura 5.40). O registro de mais alta pressão (~14 Kb) situa-se no campo do fácies eclogito, mas muito próximo do limite com dos fácies granulito e anfíbolito alto (figura 5.49). Após intensa descompressão isobárica em torno de 870°C, ambas, temperatura e pressão decrescem conjuntamente até o último registro inferior estimado (~ 8Kb e 650°C).

B) Rutilo-cianita-granada-biotita-plagioclásio gnaiss a silimanita (retro-eclogito, amostra NCC233): de textura granolepidoblástica média, protomilonítica. O quartzo ocorre em *ribbons* policristalinos (grãos em continuidade ótica de 2.5x0.6mm) ou em grãos equidimensionais (0.5mm) com contornos suturados e com extinção ondulante. Subgrãos ocorrem subordinados. O plagioclásio geminado é xenoblástico, poligonizado (0.3mm) com o quartzo e, mais raramente como porfiroblastos de até 1.2 mm. Possui composição de oligoclásio com alto conteúdo na molécula de anortita (An entre 25 e 28). A biotita é fortemente pleocróica e define bandas lepidoblásticas espessas de até 0.6mm. Envolve parcialmente granada e cianita e delinea as zonas de sombras de pressão. São ricas em Fe⁺² e Ti (até 0.55) e no geral de baixo Mg. O alumino-silicato dominante é a cianita, em porfiroblastos alongados, com contornos retilíneos, mas no geral corroídos e engolfados por quartzo+plagioclásio e por biotita. Ocorrem em cristais límpidos ou com inclusões de quartzo em gotas ou vermiforme. Biotita euédrica, rutilo, apatita, monazita e zircão são inclusões freqüentes. A silimanita prismática ocorre na foliação protomilonítica com uma alteração de borda a fibrolita e quartzo simplectítico e pode estar invadida, ao longo dos planos de partição, por biotita. A granada ocorre em porfiroblastos poiquiloblásticos e xenoblásticos (de até 4 mm), sin-cinemáticos, com zoneamento textural e composicional,

variando, linearmente, de núcleos mais ricos em grossulária e esserssatita (Alm55-Grs26-Prp13.4-Sps5.4) a bordas de almandina (Alm72-Grs5.7-Prp18.7-Sps -3.3). O conteúdo em piropo é mais alto na borda interna. Possui foliação interna delineada por inclusões alongadas de rutilo e quartzo e por agulhas de rutilo e apatita. A borda interna dos porfiroblastos é delineada por inclusões de quartzo em gotas (sugerindo reações de quebra de granada e associadas ao pico térmico). Inclusões de plagioclásio geminado possuem composições de oligoclásio rico em molécula de albita. Inclusões de biotita são, caracteristicamente, mais magnesianas e de mais baixo titânio. Trilhas de antiga matriz a quartzo-plagioclásio-biotita possuem uma granulação mais reduzida que a matriz externa. Para os cálculos termobarométricos foi utilizado:

1. composições de núcleo de granada e das inclusões de plagioclásio e biotita + rutilo-cianita;
2. composições da borda interna de granadas, biotitas da matriz e biotitas inclusas na borda de granadas, plagioclásio incluso nas bordas ou da matriz de maior conteúdo em An. Cianita e cianita+silimanita;
3. composições de borda de granada, com biotitas do contato externo da granada e plagioclásio de composição intermediária entre alto e baixo conteúdo em An. Cianita+silimanita.

Apesar dos elevados erros observados tanto para temperatura como pressão, os resultados termobarométricos obtidos nesta amostra mostraram pelo menos três resultados sistemáticos, cujos valores P-T indicam tratar-se de um retro-eclogito. Nesta amostra encontra-se preservado o registro de mais alta pressão identificado neste estudo, em torno de 17-18 Kb (figura 5.44). A descompressão isobárica parece ter ocorrido por volta dos 780°C, donde então a trajetória assume um claro sentido horário e termina por volta dos 10Kb e 800°C. A trajetória que foi encontrada representa então a transição de uma rocha originalmente eclogítica que transicionou para as fácies granulito e anfíbolito (figura 5.49). O processo de descompressão observado para os retro-eclogitos das amostras NCC-233 e 535 podem ainda serem acompanhados por algumas feições texturais caracterizadas pela transformação de cristais de cianita em fibrolita ou ainda por coroas de reação em granadas, tal como exemplificado na figura 5.48.

Nappe Superior (zona da silimanita)

Sillimanita microclina granada plagioclásio biotita gnaiss (amostra NCC-126): Gnaiss bandado, inequigranular médio. O bandamento é conferido por lentes granoblásticas,

espessas de 2,5 mm, de quartzo (1.5mm), plagioclásio (0.7mm) e secundariamente biotita e granada; separadas por faixas lepidonematoblásticas espessas de 1 mm de silimanita, biotita e quartzo alongado, onde granada e plagioclásio são raros. O quartzo possui extinção ondulante e contornos suturados a arredondados e predomina sobre o plagioclásio. Este ocorre em grãos porfiroblásticos e xenoblásticos, engolfados e substituídos por quartzo, fraturados e sujos de alteração de hidróxido de ferro e sericita. Mimerquitas ocorre localmente. Os porfiroblastos chegam a 1.2 mm e possuem inclusões de quartzo em gotas. Possuem composição de andesina, com variações no teor de anortita do núcleo (An 33) para a borda (An 30), onde pode chegar a composições de oligoclásio (An27.5). A microclina, quando presente nas bandas félsicas, possui um intercrescimento com biotita e borda de feldspato potássico não geminado no contato com plagioclásio. Os plagioclásios associados ao feldspato potássico no geral, não são geminados e encontram-se mais alterados (ação de fluídos?).

A biotita intercrescida com microclina é mais pobre em ferro e magnésio e possui teores em titânio que variam entre 0.4 e 0.46. As biotitas da matriz chegam a teores de titânio de 0.48. A silimanita prismática precede a biotita e altera-se a fibrolita. Define dobras intrafoliais. A granada possui tamanho médio de 1,2 mm, é subidioblástica e arredondada e apresenta, nas associações com feldspato potássico as faces bem definidas. No geral são límpidas com raras inclusões de quartzo. Ocorrem cristais sin e pós-biotita. É homogênea composicionalmente, com teores de almandina variando dentre 68.6 (núcleo) para 69.8 (borda). Granadas nas associações com biotita e feldspato potássico possuem composição intermediária (Alm69.2-Grs6.3-Prp14.5-Sps9.8). No geral o conteúdo em esperessatita aumenta do núcleo para a borda. Os cálculos termobarométricos utilizaram de:

1. composições de núcleo de granada + núcleo de plagioclásio geminado+biotita matriz;
2. composição da paragênese granada+feldspato potássico+plagioclásio+biotita
3. composição de borda de granada+borda de plagioclásio+biotita de baixo Ti da matriz.

Ao contrário do registro encontrado nas outras duas amostras, a amostra NCC-126 evidenciou apenas uma trajetória metamórfica com uma diminuição conjunta da pressão e temperatura, iniciada próximo a transição entre os fácies granulito e anfíbolito e terminada francamente no domínio do fácies anfíbolito por volta de ~ 8 Kb e 700°C (figuras 5.45 e 5.47).

Figura 5.38: Nappe intermediária, cianita granada biotita plagioclásio gnaiss com silimanita (retro-eclogito, amostra NCC-233), análises de microsonda iônica em cristais de granada e biotita.

Para o porfiroblasto de granada em destaque, os perfis composicionais mostrado na posição inferior direita da figura mostram para cada ponto de análise a proporção das moléculas de almandina, espessartita, pirope e grossulária.

Figura 5.39: Nappe intermediária, cianita granada biotita plagioclásio gnaiss com silimanita (retro-eclogito, amostra NCC-233). A esquerda, diagramas mostrando variações composicionais para granadas, biotitas e plagioclásio. A direita, montagem de microfotografias indicando análises de microsonda iônica em cristais de plagioclásio,

Figura 5.40: Nappe intermediária, cianita granada biotita plagioclásio gnaiss com silimanita (retro-eclogito, amostra NCC-233). Diagramas P-T considerando o erro envolvido em cada determinação (A) e a trajetória P-T caracterizando inicialmente apenas uma diminuição da pressão (B).

Figura 5.41: Supracrustais Rio Curú-Itataia-Independência, granada clino-piroxênio retro-eclogito presente na *nappe* de alta pressão (ponto NCC-535). Aspecto geral e textura simplectítica envolvendo clino-piroxênio+plagioclásio.

Figura 5.42: Supracrustais Rio Curú-Itataia-Independência, granada clino-piroxênio retro-eclogito presente na *nappe* de alta pressão (ponto NCC-535). Composição de granada conforme perfilagem com microsonda iônica.

Figura 5.43: Supracrustais Rio Curú-Itaia-Independência, granada clino-piroxênio retro-eclogito presente na nappe de alta pressão (ponto NCC-535). Variações composicionais de granada, clino-piroxênio e plagioclásio conforme análises de microsonada iônica.

Figura 5.44: Supracrustais Rio Curú-Itataia-Independência, granada clino-piroxênio retro-eclogito presente na nappe de alta pressão (ponto NCC-535). Erro associado aos resultados termo-barométricos (a esquerda) E a trajetória P-T-t sugerida (direita).

Figura 5.45: Supracrustais Rio Curú-Itataia-Independência, granada silimanita (fibrolita) gnaiss, nappe intermediária (Amostra NCC-126).

Figura 5.46: Supracrustais Rio Curú-Itataia-Independência, granada silimanita gnaiss, nappe intermediária (ponto NCC-126). Análises de microsonada iônica, diagramas composicionais para granada (A), biotita e plagioclásio (B). Localização de alguns pontos de análise em granada e plagioclásio (C).

Figura 5.47: Supracrustais Rio Curú-Itataia-Independência, granada silimanita gnaiss, nappe superior (ponto NCC-126). Erros associados aos resultados barométricos e a trajetória P-T-t sugerida.

Figura 5.48: Feições petrográficas indicativas de processos de descompressão registrados nas Supracrustais Rio Curú-Itataia-Independência.

Nappe Intermediária: Meta-pelitos/psamitos
(NCC-236, cianita $\Rightarrow$ fibrolita)
Meta-basitos
(Granada $\Rightarrow$ plagioclásio+anfibólio+opacos)

Nappe Inferior: meta-basito
(NCC-178, granada $\Rightarrow$ plagioclásio+opacos)

Figura 5.49: Síntese dos resultados termo-barométricos. A- Trajetórias PT-T identificadas para as amostras NCC-233 (azul), NCC-535 (verde) e NCC-126 (vermelha) considerando também o campo dos fácies metamórficos anfibolito, granulito e eclogito (campos segundo Spear, 1995).

B- Resultados termo-barométricos registrados nas nappes Neoproterozóicas presentes na região entre Madalena e Taparuaba, Domínio Tectônico Ceará Central (Província Borborema).

5.2.7 Metamorfismo: Geocronologia

As figuras 5.50 a 5.54 e tabelas 5.3 e 5.4 trazem os principais resultados geocronológicos associados ao metamorfismo e deformação das unidades litotectônicas presentes na região de estudo. A caracterização das idades foi feita através de determinações em cristais de monazita (U-Pb convencional e U-Th-Pb) e ainda em micas e anfíbólios (Ar-Ar). Algumas indicações de idades de metamorfismo são ainda colocadas com base em algumas idades em zircões (convencional e SHRIMP).

Para o presente estudo foram consideradas as seguintes temperaturas para o fechamento do sistema isotópico dos minerais analisados (segundo Hanes, 1991 e Harris, 1996):

Zircão: > 800 °C

Monazita: 720 – 750 °C

Hornblenda: 450 – 550 °C (Ar-Ar)

Muscovita: 300 – 400 °C (Ar-Ar)

Biotita: 250 – 350 °C (Ar-Ar)

Basicamente, pelos resultados obtidos, quatro conjuntos de idades principais podem ser considerados:

- a) ~ **640 – 630 Ma**: a partir das determinações U-Pb convencional e U-Th-Pb e monazitas foi encontrado um intervalo de idades entre 640 e 630 Ma (figuras 5.50 e 5.52), que em conjunto com as informações estruturais e termobarométricas, é indicativo da época do evento metamórfico mais antigo encontrado.

Adicionalmente, o fato deste intervalo temporal estar relativamente bem marcado em análises de monazitas presentes no retro-eclogito paraderivado, inclusive em cristal incluso em cianita, leva a crer que neste período provavelmente desenvolveu-se o metamorfismo em fácies eclogito que foi recuperado em algumas determinações termobarométricas. Neste contexto salienta-se a possibilidade da superfície Sn-1 ter sido gerada nesta época. Este intervalo de idades ainda encontra-se registrado no embasamento (CMACH), sendo evidenciado por uma série de determinações Ar-Ar em micas e anfíbólio (figura 5.54). No entanto, é preciso salientar que mais informações geológicas e determinações radiométricas (SHRIMP principalmente) são necessárias para confirmar este período como representativo da época em que atuou o metamorfismo em questão;

- b) **614 – 620 Ma:** Intervalo de idades registrado em alguns cristais de monazita através de determinações U-Pb convencional (figura 5.50) e, em zircões límpidos, bem formados e menores encontrados na meta-vulcânica/vulcanoclástica encontrada na Associação Clasto-Aluminosa Inferior (figura 4.19). Uma determinação Ar-Ar em anfibólio no domínio do CMACH também apresentou idade dentro deste intervalo (figura 5.54). Inicialmente estas idades podem ser interpretadas como possíveis produtos da superposição de eventos térmicos ocorridos após o evento responsável pela geração do metamorfismo em fácies eclogítico e antes do pico térmico registrado próximo de 600 Ma. Adicionalmente, não pode ser descartada a possibilidade destas idades representarem idades mistas entre 640 e 600 Ma;
- c) **~ 600 Ma:** inúmeras determinações U-Pb convencional e U-Th-Pb em monazitas e Ar-Ar em anfibólios e micas presentes nas três unidades lito-tectônicas encontradas forneceram idades situadas no intervalo em questão (figura 5.54). Nesta época deve ter se desenvolvido a principal superfície metamórfica presente nas SCRCII, também impressa nas rochas do embasamento através da cristalização de micas e anfibólios e, no domínio do CTSQ (Migmatitos Lagoa Caiçara) pela cristalização também de micas e anfibólios (Figura 5.54). Muito provavelmente nesta época as rochas em questão devem ter experimentado temperaturas representantes do pico térmico que ocorreu associado ao grande evento orogenético Neoproterozóico vigente na época;
- d) **~ 560 Ma:** as idades encontradas são oriundas de determinações Ar-Ar em biotitas do CTSQ e SCRCII e muscovitas presentes somente nesta última unidade litotectônica (figura 5.54). Os valores em torno de 560 Ma podem ser interpretados como representantes da época da instalação das principais zonas de cavalgamentos mapeadas, as quais provavelmente são causadoras dos dobramentos (abertos a fechados, por vezes recumbentes) que afetaram claramente a foliação Sn presente nas SCRCII.

Figura 5.50: Supracrustais Rio Curú-Itaia-Independência, gnaisses migmatíticos aluminosos, diagramas Tera-Wasserburg contendo análises isotópicas U-Pb convencional de monazitas. Cada fração corresponde a um grão analisado.

Figura 5.51: Supracrustais Rio Curú-Itaia-Independência, gnaisses migmatíticos aluminosos, diagramas Tera-Wasserburg contendo análises isotópicas U-Pb convencional de monazitas. Cada fração corresponde a um grão analisado.

SPU	Magnetic fraction	Mineral Typology	207/235#	Error (%)	206/238#	Error (%)	COEF.	238/206	Error (%)	207/206#	Error (%)	206/204*	Pb (ppm)	U (ppm)	Weight (mg)	206/238 (Ma)	207/235 (Ma)	207/206 (Ma)
NCC-126 - biotita granada sillimanita gnaiss com restos de cianita																		
2341	A (M0,3/0,7A)	MONAZITA	0.8803	1.11	0.105109	0.475	0.4281	9.51393	0.475	0.080742	1	1111.5	13019.0	28827.0	0.001	644	641	630
2342	B (M0,3/0,7A)	MONAZITA	0.836499	0.512	0.10048	4.78	0.9343	9.95223	4.78	0.060378	0.182	1727.4	1706.5	3622.4	0.005	617	617	617
2343	C (M0,3/0,7A)	MONAZITA	0.837754	0.466	0.100445	0.46	0.9877	9.9557	0.46	0.060481	0.0729	1872.3	1977.4	4333.5	0.007	617	617	621
2476	D	MONAZITA	0.842956	0.947	0.10045	0.924	0.97826	9.9552	0.924	0.060863	0.196	1065.5	245.7	543.7	0.028	617	621	634
2477	E	MONAZITA	0.839808	0.572	0.100534	0.582	0.98328	9.94888	0.582	0.060585	0.104	2438.8	338.1	582.8	0.040	618	619	625
2478	F	MONAZITA	0.838364	0.573	0.10051	0.566	0.98985	9.94926	0.566	0.060495	0.0814	2454.4	263.3	617.2	0.036	617	618	621
NCC-358 - granada biotita gnaiss bandado com sillimanita																		
2335	A (M0,4/0,6A)	MONAZITA	0.830944	0.459	0.100049	0.456	0.9926	9.9951	0.456	0.060238	0.0557	8052.5	2670.0	12031.0	0.007	614	614	612
2337	C (M0,4/0,6A)	MONAZITA	0.833308	0.483	0.100118	0.478	0.9897	9.99821	0.478	0.060368	0.692	3619.7	4323.1	17893.0	0.001	615	615	616
2336	B (M0,4/0,6A)	MONAZITA	0.818396	0.479	0.098317	0.472	0.9848	10.1712	0.472	0.060372	0.0831	2820.4	2567.7	9284.2	0.002	604	607	616
NCC-05 - muscovita biotita gnaiss com granada																		
2338	A (M0,4/0,8A)	MONAZITA	0.839181	0.478	0.09844	0.472	0.9915	10.1584	0.472	0.081385	0.0619	3843.8	4427.9	16378.0	0.012	605	615	652
2339	B (M0,4/0,8A)	MONAZITA	0.81185	0.464	0.0981	0.461	0.9933	10.1937	0.461	0.060002	0.0535	7595.3	6035.5	23172.0	0.006	603	603	604
2340	C (M0,4/0,8A)	MONAZITA	0.818125	0.461	0.098639	0.458	0.9908	10.138	0.456	0.060155	0.0623	4760.3	2894.2	10811.0	0.007	606	607	609
NCC-310 - muscovita biotita gnaiss levemente bandado																		
2369	A	MONAZITA	0.815855	0.479	0.098109	0.475	0.99067	10.1828	0.475	0.06032	0.0646	2278.8	2925.6	9945.8	0.001	603	606	615
2370	B	MONAZITA	0.812513	0.483	0.098145	0.459	0.99255	10.1891	0.459	0.060043	0.0584	10172.5	1700.5	5128.8	0.00473	604	604	605
2474	C	MONAZITA	0.818631	0.925	0.09822	0.904	0.97948	10.1812	0.904	0.060448	0.187	1047.3	1688.0	5438.5	0.00855	604	607	620
2475	D	MONAZITA	0.810259	0.489	0.098056	0.485	0.99203	10.1982	0.485	0.05993	0.0617	5072.0	1896.1	6873.1	0.00735	603	603	601
SPU (número de laboratório)																		
# (Pb radiogênico corrigido para branco e Pb inicial)																		
* (não corrigido para o branco laboratorial e Pb não radiogênico)																		
U e Pb (concentrações corrigidas para o branco analítico)																		
Constantes de decaimento conforme Steiger and Jäger (1977)																		

Tabela 5.3: Resultados analíticos U-Pb convencional em monazitas das Supracrustais Rio Curú-Itaia-Independência.

Figura 5.52: Supracrustais Rio Curú-Itataia-Independência, gnaisses migmatíticos aluminosos, resultados geocronológicos obtidos pelo método U-Th-Pb, amostra NCC-233 (granada cinita biotita gnaiss com silimanita - retro-eclogito). Curvas da densidade de distribuição de probabilidade gaussiana e diagramas considerando o cálculo da idade média ponderada conforme as duas populações previamente definidas (A). Imagens BSE de alguns dos grãos analisados onde são indicados pontos que foram ionizados (B). Padrão distribuição dos principais elementos terras raras encontrados e Y (C); as duas curvas realçadas com círculos negros cheios correspondem às análises obtidas de grão incluído em cianita; normalização segundo os valores de Nakamura (1977), exceto Y (Taylor e McLennan, 1975).

Figura 5.53: Supracrustais Rio Curú-Itaia-Independência, gnaisses migmatíticos aluminosos, resultados geocronológicos obtidos pelo método U-Th-Pb, amostra NCC-358A (granada silimanita biotita gnaisses). Curvas da densidade de distribuição de probabilidade gaussiana e diagramas considerando o cálculo da idade média ponderada conforme as duas populações previamente definidas (A). Imagens BSE de alguns dos grãos analisados onde são indicados pontos que foram ionizados (B). Padrão distribuição dos principais elementos terras raras encontrados e Y (C); as duas curvas realçadas com círculos negros cheios correspondem às análises obtidas de grão incluído em cianita; normalização segundo os valores de Nakamura (1977), exceto Y (Taylor e McLennan, 1975).

	MATERIAL	Ar-Ar (micas e anfíbios)	U-Pb e U-Th-Pbt (mzta)	U-Pb (zircões)
Complexo Tamboril-Santa Quitéria	Migmatitos Lagoa Caiçara (biotita hornblenda metatexito)	NCC-36B Hornblenda: 611 ± 3 Ma, 594 ± 1.4 , 595 ± 1.6 Ma (platôs forçados) Biotita: 574 ± 0.7 , 569 ± 0.8 e 547 ± 0.8 Ma (quase platôs)	-----	-----
Supracrustais Rio Curú-Itaia-Independência	<i>Nappe superior</i>	NCC-05A (gnaisse a biotita, muscovita e granada) Biotita (597 ± 0.8 , 576 ± 0.8 , quase platôs; 556 ± 1.1 Ma, platô forçado) muscovita (582 ± 0.8 , 578 ± 0.9 e 573 ± 1.1 Ma, quase platô) NCC-101B (anfíbolito) Hornblenda: 599 ± 1.9 Ma, 598 ± 1.6 Ma e 601 ± 1.5 Ma (platôs forçados) Biotita/flogopita: 583 ± 0.9 Ma, 583 ± 0.9 Ma e 582 ± 0.8 Ma (quase platôs)	NCC-05: 604 ± 4 Ma NCC-126: 1) 617 ± 2 Ma e sugestão de 644 ± 3 Ma 2) 600 Ma e sugestão para 630 Ma (U-Th-Pbt) NCC-358: 614 ± 2 Ma	-----
	<i>Nappe Intermediária</i> - registro de Alta Pressão	-----	NCC-233 (retro eclogito) 630 e 600 Ma (U-Th-Pbt)	-----
	<i>Nappe inferior</i>	NCC-17 Biotita (592 ± 0.7 e 584 ± 0.9 Ma, quase platôs; 588 ± 1 Ma, platô forçado), muscovita (573 ± 1.6 , platô forçado; 562 ± 0.6 e 557 ± 0.8 Ma, idades integradas)	NCC-310: 603 ± 2 Ma	NCC-90A: 617 ± 3.5 Ma (grãos menores, limpos e euclóricos)
Complexo Madalena – Algodões-Choró	Ortognaisses	NCC-160A: hornblenda (744 a 766 Ma, herança/excesso Ar?), biotita (657 ± 1.5 Ma a 672 ± 1.2 Ma, platô) NCC-140B: hornblenda (704 Ma, excesso de Ar; 645 ± 1.6 Ma, quase platô; 604 ± 1 Ma, duas idades integradas); biotita (599 ± 8 Ma, fusão total), 594 ± 1.4 Ma e 595 ± 1.1 Ma (platô) NCC-139B: biotita (641 ± 1.2 Ma, quase platô; 649 ± 1.2 e 647 ± 9 Ma, quase platô)	-----	-----
	Associação meta-vulcanossedimentar	NCC-154 (hornblenda, anfíbolito) 649 ± 1.4 Ma e 640 Ma (idade integrada, excesso Ar, herança?), 617 ± 1.5 Ma (idade integrada)	-----	NCC-757: bordas delgadas de alta luminescência

Tabela 5.4: Resultados geocronológicos U-Pb convencional (zircão e monazita) e Ar-Ar (micas e anfíbios) utilizados na definição das idades de metamorfismo Neoproterozóico III registrado nas diferentes unidades lito-tectônicas no trecho entre as localidades de Madalena e Taperuaba. Idades U-Pb em monazitas (convencional onde não indicado).

Figura 5.54: Metamorfismo registrado nas rochas do Complexo Tamboril-Santa Quitéria (CTSQ), Supracrustais Rio Curú-Itaia-Independência (SCRCII) e embasamento Paleoproterozóico (Complexo Madalena - Algodões-Choró, CMACH). Informações geocronológicas Ar-Ar em micas e anfibólios e U-Pb, U-Th-Pbt em monazitas conforme disposição espacial das unidades segundo W-NW / E-SE.

5.2.8 Estruturas Geradas por Deformações posteriores aos Principais Eventos Metamórficos

Foram incluídas na categoria em questão somente as estruturas geradas por eventos deformacionais que afetaram as estruturas que ocorrem associadas aos principais eventos metamórficos identificados. São estruturas representadas por falhamentos transcorrentes (dos quais a falha do Rio Groaíras é a mais importante), injeções quartzo-feldspáticas (miloníticas ou não), fraturamento e clivagens de fratura e instalação de diques básicos Mesozóicos.

O evento de caráter transcorrente identificado no domínio do falhamento Rio Groaíras, há muito é conhecido na literatura, principalmente pelo fato da região do falhamento sempre aparecer muito bem marcada em imagens tipo LANDSAT e aerogeofísicas. Na porção centro-oeste da região de estudo, o falhamento em questão coloca em contato direto as rochas das SCRCII com as porções meta e diatexiticas do CTSQ (figura 5.55). Nesta região, o levantamento de vários pontos de afloramento ao longo do trecho cisalhado evidenciou a presença de dois conjuntos litológicos distintos: a) milonitos quartzo-feldspáticos com lineação de estiramento mineral marcante e de baixo ângulo; b) filonitos cinza-esverdeados frequentemente exibindo crenulações tardias. Alguns dobramentos evidenciados nesta região provavelmente têm sua origem ligada à movimentação transcorrente presente, como é o caso do grande encurvamento da principal superfície metamórfica e zona de cavalgamento presentes logo a leste no domínio das SCRCII. Em vários pontos visitados observou-se ainda a presença de clivagens de fratura e fraturamento com direções variadas, os quais precisam de estudos mais detalhados para serem associados ao evento transcorrente em questão ou a reativações posteriores.

Deve ser mencionada ainda a presença de fraturamento e colocação de diques mesozóicos associados, fato este identificado praticamente em quase toda a região estudada. A direção dos diques é em torno de N70-80E, sendo esta a direção apresentada pela maior intrusão que ocorre a norte da localidade de Santa Quitéria. Na área de estudo podem ser ressaltadas três regiões caracterizadas por uma maior ocorrência do magmatismo em questão: a) a sudeste de Taperuaba, onde podem ser encontrados diques máficos subvulcânicos e porfíricos (ponto NCC-602); b) nas imediações de Itatira, onde ocorrem diabásios (pontos NCC-243, 245A, 255 e 256A, figura 5.56) e c) a NE de Salitre (ponto NCC-717), onde ocorre uma rocha de granulação mais grossa, coloração cinza-rósea, com anfibólio e piroxênio visíveis.

Figura 5.55: Geologia e pontos de afloramento levantados nas imediações do falhamento Rio Groaíras, a Nw da localidade de Itataia. Os asteriscos representam pontos onde foram encontrados milonitos e filonitos. Demais símbolos presentes no mapa de pontos. SCRCII (Supracrustais Rio Curú-Itataia-Independência), CTSQ (MLC, Migmatitos Lagoa Caiçara), (D) diatexitos.

Figura 5.56: Geologia e pontos de afloramento levantados a sudoeste da localidade de Itaitira.. Os hexágonos representam pontos onde foram encontradas intrusivas básicas provavelmente de idade Mesozóica.. Demais símbolos presentes no mapa de pontos. SCRCII (Supracrustais Rio Curú-Itaia-Independência).

5.3 Mineralização Uranífera de Itataia (breve nota)

A mineralização uranífera de Itataia foi estudada primeiramente pela antiga NUCLEBRAS, e as principais informações levantadas nesta época podem ser encontradas no mapa geológico publicado por essa empresa em 1983 (utilizado na confecção do mapa apresentado no anexo 2) e publicações efetuadas por Mendonça *et al.* (1980 e 1985). A figura 5.57 traz uma síntese em termos de cartografia e cortes geológicos oriunda dos trabalhos realizados nesta época. Destes trabalhos, destaca-se a seguir as principais feições conhecidas para a mineralização:

a) encontra-se preferencialmente encaixada em rochas cálcio-silicáticas, aqui consideradas como pertencentes à associação Clasto-Alumino-Carbonática das SCRCII;

b) o minério apresenta-se preferencialmente concordante com a estruturação principal apresentada pelas encaixantes (superfície Sn), aparentemente apresentando caráter secante em relação à Sn em regiões de concentrações do tipo *stockwork*;

c) ocorre como colofanito maciço em corpos espessos (até dezenas de metros), *stockworks* com colofanito, disseminação de colofanito e apatita em episienitos, cálcio-silicáticas e gnaisses, e subordinadamente, como brecha carbonosa rica em material tido como zirconífero;

d) principal “mineral” de minério é a colofana (apatita fina principalmente);

e) teores: colofanito ($U_3O_8 = 0.19\%$ e $P_2O_5 = 26.35\%$), brecha carbonosa ($U_3O_8 = 0.63\%$ e $P_2O_5 = 11.23\%$); reservas: 142 500 toneladas de U_3O_8 , com 64% de reserva medida;

e) gênese: incerta, onde se aventa à possibilidade da ação de fluidos hidrotermais e metassomáticos oriundos de intrusões alcalinas ou granitóides não aflorantes. É aventada também a possibilidade de reconcentração a partir de concentrações singenéticas devido ao metamorfismo e deformação presentes. Análises de inclusões fluidas ainda apontam para a existência de apatitas cristalizadas a baixas temperaturas (em torno de $100^\circ C$), e deste modo, a possibilidade de enriquecimento supergênico também é considerada.

Em termos aerogeofísicos, a anomalia radiométrica associada à jazida de Itataia é marcante, caracterizada em termos de valores bastante elevados para os canais da contagem total, urânio e tório. Valores estes situados bem acima dos presentes em todo o Domínio Ceará Central, principalmente considerando os dois primeiros canais mencionados. A figura 5.58 mostra a situação da elevada anomalia do canal de urânio sobre a área da jazida.

Neste trabalho, durante o levantamento de afloramentos das SCRCII (gnaisses migmatíticos e cálcio-silicáticas que afloram nas imediações da jazida uranífera de Itataia), foram encontrados dois corpos rochosos bastante parecidos com a rocha que constitui o minério uranífero da região. Devido a suas características mineralógicas e texturais, estas rochas são aqui denominadas genericamente como hidrotermalitos. A primeira das ocorrências é um corpo pegmatóide, aproximadamente concordante com a estruturação principal, presente nas cálcio-silicáticas que afloram na entrada da galeria G3 (figura 5.59). A rocha em questão tem granulação grossa, coloração rósea tênue e constituída basicamente por feldspato alcalino rico em potássio e sódio (geralmente com argilização), apatita e vacúolos preenchidos em seu centro por material carbonático. Nestes vacúolos é interessante observar um zoneamento composicional do centro para as bordas caracterizado por: calcita espática no centro, ocorrência de pequenos grãos de apatita “suja” e pequenos grãos de feldspatos limpos (albita/adulária?) no contato do vacúolo com os feldspatos maiores e ligeiramente argilizados, os quais representam o maior volume da rocha.

A outra ocorrência estudada corresponde a um pequeno corpo tabular que aflora no barranco da estrada que dá acesso à galeria G3 (figura 5.59). O corpo é concordante com a foliação principal (S_n) presente nas rochas cálcio-silicáticas encaixante e como descrito para a outra ocorrência, não foi observada no hidrotermalito a foliação/bandamento composicional tectônico presente nas encaixantes. Ao microscópio, no hidrotermalito em apreço, pode ser observada uma matriz fina provavelmente constituída por apatita e material “argiloso” que envolve cristais maiores de anfibólios incolores a castanhos com bordas mais ricas em sódio e ferro (figura 5.59). Ocorrem ainda em menor volume, alguns cristais de albita, mica branca e apatita, relativamente limpos. Como acessórios ocorre titanita e zircão (?).

Em termos das características litogeoquímicas encontradas no hidrotermalito do ponto NCC-99, os seguintes pontos merecem destaque:

- a) reduzidos teores de SiO_2 (11.2%), K_2O (0.02%), Rb (0.5 ppm) e Ta (0.1 ppm);
- b) enriquecimento expressivo em CaO (44.1%), P_2O_5 (31.4%), F (16.167 ppm), Sr (2371 ppm), U (1429 ppm) e Y (87 ppm);
- c) o padrão de distribuição em diagrama multi-elementos é caracterizado por marcantes anomalias negativas de Cs, Rb e Cr. Anomalias positivas de Sr, Th e Yb completam o quadro (figura 5.60). Os demais elementos presentes neste diagrama

apresentaram um enriquecimento um pouco acima de 10 vezes o valor do condrito utilizado na normalização;

d) o padrão de distribuição dos terras raras é representado por considerável enriquecimento em terras raras pesados, onde o Lu chega a atingir mais de 300 vezes o valor do condrito utilizado (figura 5.60). Os terras raras leves (La e Ce) apresentam-se enriquecidos em relação ao condrito entre 20 e 40 vezes, sendo observado um nítido fracionamento entre La e Sm. Uma tênue anomalia negativa de Eu se faz presente, mas com o valor do Eu não sendo inferior a 10 vezes o condrito. O padrão de distribuição dos terras raras encontrado (convexo para cima e com enriquecimento considerável em terras raras pesados) não é compatível com o padrão apresentado por apatitas magmáticas e metamórficas, e deste modo melhores estudos ainda são necessários para caracterizar a distribuição dos elementos terras raras nas fases minerais presentes nesta rocha.

Do hidrotermalito que aflora no barranco da estrada que liga à sede das instalações da atual Indústrias Nucleares do Brasil (INB) a entrada da galeria G3, foram extraídos anfibólios que foram analisados pelo método Ar/Ar, atualmente em operação no CPGeo-IGC/USP. Foram separados inúmeros grãos para análise e muito provavelmente durante o processo de separação praticamente toda a borda mais rica em ferro e sódio dos anfibólios em questão deve ter sido removida, o que favoreceu a obtenção de idades mais consistentes. A análise de dois conjuntos de grãos (um com quatro grãos e outro com seis) destes anfibólios por *step heating* forneceu as idades de 592 ± 6 Ma e 587 ± 5 Ma (figura 5.61). A análise dos resultados obtidos no ideograma, considerando somente as etapas de platô, forneceu uma idade média de 590 Ma. Esta idade deve refletir a época de quando se formou o anfibólio analisado. Esta época deve ser próxima do evento hidrotermal responsável pela geração da mineralização uranífera em questão. No entanto, uma idade ligeiramente mais jovem pode ser esperada se tal evento estiver francamente associado ao hidrotermalismo rico em Na que gerou a borda mais sódica do anfibólio analisado. Se for realmente confirmada uma idade de 590 Ma (ou muito próxima) para o evento hidrotermal, este teria ocorrido em um sítio extensional instalado logo após o clímax metamórfico/deformacional registrado nas SCRCII (~ 600 Ma) e anterior à instalação das *nappes* tardias (~ 560 Ma). Neste contexto, a mineralização teria sido protegida do cisalhamento associado a este evento (concentrado apenas nas zonas de cavalgamento) e teria, como boa parte das rochas afastadas do cisalhamento, apenas sofrido diferentes intensidades de dobramento.

Figura 5.57: Mapa geológico da área da jazida uranífera de Itataia. Localização da amostra NCC-99 (★).

As seções A-A', B-B' e C-C' são apresentadas em conjunto a seguir. Fonte: Mendonça et al. (1980)

Figura 5.57: continuação

Figura 5.58: Relevo SRTM da região da jazida de urânio de Itataia. As isolinhas representam valores com um mínimo de 10 e máximo de cerca de 69 equivalente ppm de urânio. Seta vermelha (norte). Valores topográficos: baixos (violeta, ~ 350 metros), altos (branco, ~ 1000 metros). Eixo maior da anomalia: ~3 km.

Figura 5.59: Aspectos de campo e microscópico da mineralização uranífera de Itataia. As fotos de afloramento mostram veio pegmatóide com apatita (ponto NCC-100) e veio pouco espesso a apatita e anfibólio (ponto NCC-99) em meio a rochas cálcio-silicáticas. A microfotografia mostra matriz de apatita fina (colofana) envolvendo anfibólio cálcico-alcalino com borda mais rica em sódio e ferro (amostra NCC-99).

Figura 5.60: Mineralização uranífera de Itataia, hidrotermalito a apatita e anfibólio cálcico-alcálico. Padrão de distribuição em diagrama multi-elemento normalizado pelos valores do manto primordial de Taylor e McLennan (1975) e terras raras normalizados pelos valores do condrito de Nakamura (1977).

Figura 5.61: Resultados Ar/Ar mostrando idade próxima de 590 Ma para anfibólio alcalino associado à mineralização uranífera de Itataia. Os grãos analisados são semelhantes aos presentes na microfotografia da figura 5.53, mas provavelmente desprovidos da borda mais rica em Na e Fe (removida durante o processo de trituração da amostra).

CAPÍTULO 6: CONTEXTO GEOTECTÔNICO E EVOLUÇÃO GEOLÓGICA

É relevante o fato que em torno de 2.0 Ga cerca de 80% ou mais do volume da crosta continental conhecido atualmente no Planeta Terra já estaria formado (conforme informações presentes em Taylor e McLennan, 1985; Windley, 1995; Rogers, 1996; Unrug, 1996 e Condie, 1997). Este volume crustal, disposto na forma de grandes massas continentais flutuantes sobre o manto astenosférico mais denso e quente, tem sua estabilidade física comprometida, por exemplo, pela atuação de pontos quentes (*hot spots*) e/ou esforços trativos atuantes internamente à massa continental considerada. Esta instabilidade pode dar início a um ciclo tectônico, o qual envolve quebraamento de massas continentais (tafrogênese, tal como utilizado por Sengör, 1990 e Brito Neves *et al.*, 1995b), oceanização e criação de ambientes de margem passiva, deriva e processos convergentes que tendem a culminar com a geração de uma nova massa continental, conforme concepção de Clowes *et al.* (1999 in Campos Neto *et al.*, 2004). Segundo estes autores, um ciclo tectônico pode compreender um longo intervalo de tempo e ainda certo sincronismo entre episódios tafrogênicos e breves períodos orogenéticos. Dentro deste quadro e considerando a região de estudo, é adequada a utilização do termo Colagem Orogênica Brasileira (Campos Neto *et al.* 2004), a qual se refere às múltiplas orogêneses que somadas resultaram na construção do Gondwana Ocidental (supercontinente). Dentro deste conceito, estes autores utilizam o termo sistema orogênico para designar uma assembléia de orógenos que podem envolver diferentes placas ou terrenos tectono-estratigráficos que culminaram com a formação de proto-continentes mais antigos antecessores ao Supercontinente. No caso está se considerando o conceito de terrenos tectono-estratigráficos conforme Coney *et al.*, 1980, Coney, 1989 e Howel, 1995). Embasamento, rochas supracrustais e granitogênese são importantes elementos que participam e podem ser gerados durante o desenvolvimento de um orógeno ou um sistema orogênico. Rochas como eclogitos de alta e ultra-alta pressão e máfica-ultramáficas

(representantes de restos de crosta oceânica obductados) são as principais deladoras da atuação de processos de subducção que atuaram no passado. A identificação de uma ou mais zonas de subducção, preservada internamente a um orógeno em um sistema orogênico, abre um considerável leque de interpretações e possibilidades de estudos em diversas áreas (paleogeografia/geotectônica, evolução crustal, metalogênese, etc).

Com base em vários trabalhos (Almeida *et al.*, 1981; Caby, 1989; Caby *et al.*, 1991; Trompete, 1994; Van Schmus *et al.*, 1998; Brito Neves *et al.*, 2000; Brito Neves *et al.*, 2001 e outros) a PB pode ser considerada como parte integrante do grande sistema orogênico neoproterozóico Brasileiro/Pan-Africano. Neste contexto a região englobada pela PB foi, durante o Neoproterozóico, palco do processo de convergência que envolveu os crátons Oeste-Africa/São Luís, Amazônico e São Francisco/Congo (figura 6.1). Com respeito a esta deformação, em estudos no Pré-cambriano cearense Caby & Arthaud (1986) determinaram na porção central do DTCC o registro de uma tectônica tipo Himalaiana, caracterizada principalmente pela presença de *nappes* e regiões com metamorfismo inverso. A caracterização deste estilo tectônico encontra respaldo nas informações levantadas neste trabalho. Adicionalmente, associamos a tal modelo a presença de uma subducção (inicialmente oceânica) e nos estágios finais já provavelmente envolvendo considerável volume de crosta continental (CMACH). Em ambos os casos o processo de subducção seria para N-NW, compatível com a posição da faixa de ocorrências de rochas eclogíticas, posição do arco magmático e dos granitóides pós-orogênicos mais evoluídos.

Considerando a PB e sua continuidade do lado africano, o conhecimento atual mostra que as principais zonas de sutura associadas a processos de subducção são registradas principalmente pela ocorrência de rochas representantes de restos ofiolíticos situados nas bordas das grandes massas cratônicas neoproterozóicas atrás citadas (ver figura 6.2). O trabalho de Lesquer *et al.* (1984) fornece uma boa síntese e discute o controle geofísico para estas ocorrências. A continuidade das feições geológicas regionais da PB pode ser seguida no lado africano na Província Policíclica Camarões-Nigéria e de certo modo nas Faixas Dahomeyides e Pharusian (figura 6.3), indicando que estas duas regiões corresponderam, em uma situação anterior à instalação do oceano Atlântico, a uma vasta região intensamente afetada pela tectônica resultante da aproximação das referidas massas cratônicas durante o Neoproterozóico III e Cambriano Inferior. Dada a extensão da PB, pode-se dizer que a caracterização dos diferentes orógenos, integrantes do sistema orogênico responsável pela formação de boa parte do Gondwana Ocidental, encontra-se

ainda em um estágio inicial. Este trabalho contemplou basicamente a caracterização de um destes orógenos, o qual foi relativamente bem caracterizado em termos dos processos de subducção e colisão que atuaram sobre uma associação vulcanossedimentar de idade neoproterozóica depositada sobre um embasamento paleoproterozóico. Durante a orogênese em questão, este embasamento foi retrabalhado em diferentes graus tectono-termais ou ainda servindo como importante componente crustal mais antigo envolvido na gênese dos granitóides sin a pós-orogênicos encontrados no domínio do arco magmático.

Em relação aos elementos tectônicos acima considerados, o registro encontrado na região de estudo mostra a presença de uma importante zona de sutura, outrora ativa entre 640-630 Ma, marcada basicamente pela presença de restos de retro-eclogitos derivados tanto de protólitos sedimentares como ígneos básicos. Esta zona se apresenta hoje seccionando o DTCC em quase toda sua extensão NE-SW, sendo que o ciclo tectônico em que tal estrutura se desenvolveu teria tido uma duração de cerca de 210 Ma. Dentro deste ciclo, os seguintes estágios evolutivos principais podem ser cronologicamente colocados. O esquema evolutivo apresentado na figura 6.4 ajuda ilustrar tal evolução.

- **2.1 Ga:** formação do embasamento Paleoproterozóico (CMACH), juvenil em maior parte, mas com importantes indícios (idades U-Pb em zircões e T(DM)) da presença de rochas arqueanas retrabalhadas;

- **0.77 Ga:** tafrogênese responsável pelo início da deposição das SCRCII, evento este balizado pela presença de vulcanismo ácido alcalino conhecido em pelo menos duas situações dentro do domínio das referidas rochas supracrustais. Estas rochas foram formadas predominantemente por detritos oriundos do desmonte das rochas do embasamento tipo CMACH, com tal característica estando relativamente bem impressa tanto na assinatura geoquímica como isotópica dos metassedimentos em apreço (figuras 6.5 e 6.6);

- **0.64 – 0.63 Ga:** processo de subducção atuante (geração de metamorfismo até o fácies eclogito registrado localmente nas SCRCII e nos granitóides mais antigos presentes no Arco Magmático de de Santa Quitéria);

- **0.6 Ga:** principal fase de *nappes*, onde teria sido gerada a principal superfície metamórfica observada nas SCRCII (Sn), em fácies granulito a anfibolito ainda sob alta pressão. A vergência tectônica vigente nesta época preferencialmente se deu para E-SE. Nesta época, grande volume de granitóides e diatexitos teria sido gerado no interior do CTSQ;

- ~ **0.59 Ga**: provável época de formação e *emplacement* da mineralização uranífera de Itataia;

- ~ **0.56 Ga**: atuação das principais zonas de cavalgamento assinaladas nos mapas apresentados. Estas zonas deformam a superfície Sn, seja sob a forma de dobramentos nas mais diversas escalas, geralmente com flancos invertidos e com clivagem de dissolução plano-axial associada, ou, através do desenvolvimento de uma foliação milonítica restrita praticamete aos planos de cisalhamento assinalados. Nestes geralmente podem ser encontrados xistos feldspáticos miloníticos a muscovita e até mesmo filonitos indicando desenvolvimento já sob temperaturas mais baixas. Nesta época provavelmente as litologias do Arco Magmático de Santa Quitéria foram, ainda quentes, tectonicamente colocadas por sobre as SCRCII sob uma vergência para E-SE. Ainda não está claro, mas aparentemente nesta época as rochas do referido Arco Magmático foram sujeitas a uma extrusão tectônica que foi capaz de colocá-las sobre as SCRCII (vergência tectônica para E-SE). Aparentemente, através de uma vergência contrária o mesmo conjunto granito-migmatítico integrante do arco magmático em foco parece ter sido colocado sobre o conjunto de supracrustais ainda pouco conhecido e hoje situado a N-NW. Este é um aspecto ainda a ser confirmado;

- ~ **0.54 Ga**: final do resfriamento metamórfico da região (idades Ar-Ar mais jovens);

- **0.47 Ga**: granitogênese pós-orogênica, principalmente representada pelo Complexo Anelar Quintas, granitos Serra da Barriga, Serra do Pagé, Serrote São Paulo. Estas rochas granitóides situam-se no interior e a N-NW do domínio granito-migmatítico do arco magmático Tamboril-Santa Quitéria e possuem características que indicam a presença de uma importante componente crustal com cerca de 2.0 Ga em sua gênese. Isto pode indicar que os processos de fusão parcial responsáveis pela geração dos granitóides em questão devem ter envolvido rochas do embasamento parecidas com as integrantes do CMACH e/ou representantes do embasamento já situado a N-NW do referido batólito. Como indicado pelas fácies mais máficas presentes no Complexo Anelar Quintas, uma parcela de participação de materiais mantélicos ainda encontra-se associada à gênese desses magmas.

Figura 6.1: Mapa esquemático mostrando os principais elementos tectônicos do Gondwana. CRÁTONS PALEOPROTEROZOÍCOS OU DE IDADE EQUIVALENTE: 1) Antártica, onde A-Shakleton Range, B-Sub-Ice, C-Queen Maudland, D-Enderby e Prince Charles Ranges, E-Costas dos mares Davis e McKenzie. 2) Índia e Madagascar, onde F-Dharwar, G-Bodal el Dhabí, H-Rajasthan, I-Umra e Dariba, J-Fort Dauphin. 3) Austrália, onde K-Ilgar, L-Gawler, M-Arunta, N-Arnhem Land, O-Pilbara. CINTURÕES DE DOBRAMENTOS MESOPROTEROZOÍCOS: Tipo Namaqua: 1-Rio Negro-Juruena, 2-Namaqua. 3-Irumide, 4-Ophthalman, 5-Halls Creek, 6-Mount Isa. Tipo Kibariano: 7-Rondônia-San Ignácio e Sunsás-Aguapeí, 9-Kibara, 10-Narbakia Son (em parte), 11-Albany-Fraser, 12-Musgrave. CINTURÕES DE DOBRAMENTO BRASILIANOS-PAN-AFRICANOS E EQUIVALENTES: 13-Araguaia, 14-Paraguay, 15-Brasília, 16-Gurupi, 17-Sergipano, 18-Ribeira e Oeste-Congo, 19-Dom Feliciano, 20-Sierras Pampeanas, 21-Patagonia, 22-Mauritanides (em parte), 23-Rokelides, 24-Hoggar, 25-Dahomeyides, 26-Oubanguides, 27-Damara, 28-Katanga, 29-Gariép-Saldanian, 30-Zambese, 31-Mozambique, 32-Ross. 33-Ghats. 34-Narbakia Son (em parte), 35-Aravelli-Delli, 36-Adelaide, 8-Espinhaço.

Fonte: adaptada de Trompette (1994).

Figura 6.2: Contexto colisional responsável pela formação da porção ocidental do Gondwana. A idade aproximada das orogenias, regiões de sutura e principais zonas de cisalhamento tardias são assinaladas. Fonte: adaptada de Trompette (1994).

Figura 6.3: Esquema mostrando a correlação entre as maiores feições estruturais da Província Borborema e seus equivalentes no lado Africano.
Fonte: adaptada de Trompette (1994)

Figura 6.4: Modelo geológico evolutivo, Proterozóico Inferior a Ordoviciano Médio. CMACH (Complexo Madalena-Algodões-Choró), SCRCII (supracrustais Rio Curú-Itatiaia-Independência).

Figura 6.5: Distribuição dos valores de ϵ_{Nd} e idades T(DM) levantadas nas diferentes unidades lito-tectônicas presentes na região entre as localidades de Madalena e Taparuba, Domínio Tectônico Ceará Central. Os limites dados pelas zonas de cisalhamento assinaladas são idênticos aos presentes nos mapas de pontos e geológico.

Figura 6.6: Variações dos isótopos de Nd como valores de ΣNd no tempo considerando as unidades litotectônicas encontradas na região entre Madalena e Taparuaba.

CAPÍTULO 7

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As principais conclusões oriundas dos resultados levantados podem ser encontradas segmentadas nos capítulos 2, 3, 4, 5 e ainda no capítulo 6 9 (modelo evolutivo). Deste modo, julgou-se importante colocar neste capítulo algumas sugestões que podem futuramente ser úteis no aprimoramento dos resultados e conclusões apresentados.

- 1) o embasamento paleoproterozóico, aqui tratado como CMACH, mostrou-se praticamente juvenil em sua maioria. Entretanto, porções oriundas de materiais mais antigos (neoarqueanos) retrabalhados também foram observadas. Ainda resta melhor avaliar as proporções entre estes dois componentes. Informações isotópicas disponíveis para os gnaisses migmatíticos situados a norte do CTSQ indicam que estes e o conjunto aqui tratado como CMACH provavelmente constituíam um segmento crustal contínuo que foi fragmentado durante a tafrogênese ocorrida em 0,77 Ga. Novas determinações U-Pb em zircões e Sm-Nd em rocha total serão de grande valia para aprimorar tal correlação;
- 2) melhores estudos são ainda necessários para definir a compartimentação interna da unidade metassedimentar com vulcânicas associadas situada a oeste da localidade de Madalena (aqui enquadrada no CMACH). Pelas informações litogeoquímicas e aerogeofísicas este conjunto rochoso possuem mais afinidade com o CMACH, mas rochas tipo SCRCII ocorrem embricadas tectonicamente ou em posição de *klippe* tectônica;
- 3) os protólitos dos metamorfitos integrantes das SCRCII iniciaram sua deposição próximo de 0,77 Ga, fato este atestado pela presença de vulcanismo ácido alcalino extensional presente no embasamento. Este vulcanismo também é documentado na região de Independência e parece ocorrer a leste na região de Algodões-Choró (?). Novas ocorrências devem ser procuradas, as quais devem estar registradas sob a forma de gnaisses granoblásticos com biotita e granada (localizada), bastante enriquecidos em Nb, Y, Zr e Ga. Adicionalmente, estudos U-Pb em zircões dos meta-basitos e zircões detríticos irão ajudar melhor balizar a importância da idade de 0,77 Ga na gênese inicial dos metamorfitos em questão. Este evento inicial de abertura parece ter evoluído inicialmente sob a forma de *rifts* localizados e passado para um ambiente de margem passiva e formação de crosta oceânica. Neste contexto, os metassedimentos que são encontrados a norte do arco magmático (CTSQ) devem representar o registro depositado

na margem passiva oposta em que as SCRCII foram depositadas. Informações isotópicas e mesmo petrográficas dos metassedimentos situados a N-NW do CTSQ ainda são necessárias para melhor verificar tal hipótese;

- 4) o evento tectono-metamórfico ocorrido do Neoproterozóico III retrabalhou o embasamento sob variadas intensidades, restando ainda melhor reconhecer os os dois extremos de tal retrabalhamento. Estudos adicionais Ar-Ar em micas e anfibólios e Pb-Pb em feldspatos podem ajudar a esclarecer tal questão;
- 5) estudos isotópicos adicionais são recomendáveis para uma melhor avaliação das idades de metamorfismo mais antigas encontradas e que foram associadas ao evento que registrou as mais elevadas pressões nas SCRCII (fácies eclogito). Novas análises U-Th-Pb e SHRIMP em monazitas e zircões presentes em rochas para e ortoderivados com porções retro-eclogíticas devem propiciar tal avanço. São recomendáveis ainda análises novas termo-barométricas para refinar os resultados apresentados;
- 6) estudos geocronológicos Sm-Nd e U-Pb SHRIMP em zircões presentes nas rochas granito-migmatíticas do CTSQ permitirão um refinamento melhor sobre as idades de magmatismo e protólitos destas rochas, permitindo assim propor uma melhor estimativa da proporção de material juvenil presente;
- 7) o climax do metamorfismo térmico ocorreu em 0,6 Ga, concomitante ao desenvolvimento da principal superfície metamórfica (Sn) na região. Seria interessante verificar se esta mesma idade de clímax metamórfico persiste a norte e a sul dos limites do DTCC;
- 8) conforme o comportamento das lineações de estiramento levantadas nas rochas supracrustais situadas mais próximas do embasamento e também na porção onde foram encontrados restos de retro-eclogitos preservados, determinou-se que o transporte tectônico associado ao metamorfismo mais antigo e de mais alta pressão teve sentido S-SW. Para as *nappes* mais jovens uma rotação de esforços resultou em um transporte genérico para E-SE. Ainda resta ser melhor avaliado o real significado de tal migração de esforços dentro da evolução do orógeno em questão;
- 9) as zonas de cavalgamento tardias, caracterizadas como ativas em torno de 0,56 Ga, necessitam ainda ser melhor avaliadas quanto à cinemática e caracterização geocronológica (Ar-Ar em micas principalmente);
- 10) informações levantadas na região da jazida uranífera de Itataia permitiram colocar as seguintes questões: a) a mineralização encontra-se associada a intenso e localizado evento hidrotermal caracterizado pela presença de fluídos ricos em P_2O_5 , CaO, Na_2O e U. Estudos de microsonda e inclusões fluídas podem melhor avaliar as diferentes fases de

mineralização, visto que aparentemente existem tipos distintos de minério formados sob variáveis proporções de fluidos endógenos e exógenos; b) nas proximidades da galeria G3, as rochas mineralizadas não são afetadas pela deformação geradora da superfície metamórfica principal (Sn) observada nas encaixantes. No entanto parecem possuir ondulações e quebraimento resultantes do amarrotamento imposto pela deformação que gerou os planos de cisalhamento que comportam a superfície Sn+1 (cavalgamentos tardios); c) a idade Ar-Ar em anfibólio de 0,59 Ga encontrada em anfibólio cálcico-alcalino com bordas ricas em Na e Fe que ocorre imerso na massa de colofanito é uma sugestão muito boa para a época da mineralização, a qual estaria ainda de acordo com as relações estruturais atrás mencionadas. São ainda necessárias dados adicionais para comprovar tal afirmação e um outro material talvez útil em tal determinação seja o material zirconífero que a literatura cita como associado a parte do minério;

- 11) idades Ar-Ar registradas em micas das SCRCII indicam que o resfriamento regional ocorreu próximo de 0,547 Ga. Outras determinações deste tipo no DTCC serão úteis para uma comprovação definitiva da época deste fenômeno;
- 12) conforme determinações U-Pb em zircões de fácies porfíritico róseo do Complexo Anelar Quintas, a época da granitogênese pós-orogênica é aqui colocada como próxima de 0,477 Ga. Esta afirmação ainda carece de outras determinações geocronológicas, U-Pb em zircão principalmente, tanto para os demais fácies do Complexo Anelar Quintas como para as intrusões da Serra da Barriga, Serra do Pagé e Morrinho. A idade dos leucogranitóides a topázio e cassiterita do Serrote São Paulo e Fazenda Memória deve ser balizada por análise Ar-Ar em albita e estudos isotópicos em cristais de cassiterita;

O cenário geotectônico e a evolução geológica da região investigada teriam se desenvolvido durante a formação do Gondwana Oeste no Neoproterozóico, onde o DTCC teria sido palco de ambiente de subducção com sentido N-NW, seguida de colisão continental, cenário este fruto da tectônica resultante da aproximação e colisão dos crátons São Luís-Oeste Africano, São Francisco-Congo e Amazônico. Dentro desta evolução, o DTCC registra a presença de um ciclo orogênico que durou cerca de 0,21 Ga (desenvolvido entre o Neoproterozóico eo Ordoviciano Médio). Verificar a continuidade e sincronia ou diacronismo destas feições no lado africano constitui exercício importante no entendimento de um segmento crustal que aparentemente possui grande continuidade em termos de um embasamento paleoproterozóico, rochas supracrustais e eventos tectono-metamórficos ocorridos no Neoproterozóico III. Determinar a continuidade dos elementos arco magmático e faixa com registros de alta pressão constitui o grande desafio a ser enfrentado para determinar real extensão lateral do orógeno estudado.

CAPÍTULO 8

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHRENS, L.H. 1955. Implications of the Rhodesia age pattern. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 8: 1-15.
- ALMEIDA, A.R. 1995. Petrologia e aspectos tectônicos do complexo granítico Quixadá-Quixeramobim, CE. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. 279p
- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R. 1977. Províncias estruturais brasileiras. In: VIII Simp. Geol. Nordeste, Campina Grande, Atas, p. 363-391.
- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R. 1981. Brazilian structural province. *Earth Sci. Rev.*, 7: 1-29.
- ARNDT, N.T. & GOLDSTEIN, S.L. 1987. Use and abuse of crust-formation ages. *Geology*, 15: 893-895.
- ARTHAUD, M.H.; HARTMANN, M.B.; TAGLIANI, T.R.M. 1988. Metamorfismo inverso na porção centro-leste da Folha de Independência- CE. Suas implicações estruturais e estratigráficas. *Rev. de Geologia*, 1 (1): 41-44
- ARTHUR, J.D. AND POLLOCK, W.H. 1998. *Use of ArcView GIS for geologic surface modeling - preliminary results from sub-surface mapping in southwest Florida*. In: Soller, D. (Ed.) Proceedings of the second annual workshop on digital mapping techniques: Methods for geologic map data capture, management and publication. U.S. Geological Survey Open File Report 98-487, p.73-78
- BASEI, M.A.S.; SIGA JR., O.; SATO, K.; SPROESSER, W.M. 1995. A metodologia U-Pb na Universidade de São Paulo. Princípios metodológicos, aplicações e resultados obtidos. *An. Acad. Bras. Ci.*, 67(2): 221-237.
- BERMAN, R.G. 1988. Internally-consistent thermodynamic data for stoichiometric minerals in the system Na₂O-K₂O-CaO-MgO-FeO-Fe₂O₃-Al₂O₃-SiO₂-TiO₂-H₂O-CO₂. *Journal of Petrology*, 29: 445-552
- BONHAM-CARTER, G.F. 1994. *Geographic information systems for geoscientists – Modeling with GIS*. 1st Edition.. Ontario, Canada, Pergamon Press (Computer Methods in the Geosciences, 13). 398p.
- BRITO NEVES, B.B. 1975. *Regionalização geotectônica do Pré-Cambriano nordestino*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 198p.
- BRITO NEVES, B.B.; VAN SCHMUS, W.R.; SANTOS, E.J.; CAMPOS NETO, M.C.; KOZUCH, M. 1995a. O evento Cariris Velhos na Província Borborema. Integração de dados, implicações e perspectivas. *Rev. Bras. Geoc.*, 25(4):279-296.
- BRITO NEVES, B.B.; SÁ, J.M.; NILSON, A.A. E BOTELHO, N.F. 1995b. A tafrogênese estateriana nos blocos paleoproterozóicos da América do Sul e processos subsequentes. *Geonomos*, 3 (2): 1-21.
- BRITO NEVES, B.B.; SANTOS, E.J.; VAN SCHMUS, W.R. 2000. *Tectonic history of the Borborema Province, northeast Brazil*. In: CORDANI, U. G.; MILANI, E.J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D.A. (Eds). Tectonic evolution of South America. 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro, p. 151-182.

- BRITO NEVES, B.B.; VAN SCHMUS, W.R.; FETTER, A. 2001. Noroeste da África – Nordeste do Brasil (Província Borborema: ensaio comparativo e problemas de correlação). *Revista do Instituto Geociências da USP (Série Científica, 1)*: 59-78.
- BROWN, M. 1983. *The petrogenesis of some migmatites from the Presqu'île de Rhuys, southern Brittany, France*. In: ATHERTON, M.P. & GRIBBLE, C.D. (Eds.). *Migmatites, melting and metamorphism. Proceedings of the Geochemical Group of the Mineralogical Society (Shiva Geology Series)*. p. 174-200
- CABY, R. 1989. Precambrian terranes of Benin-Nigeria and northeast Brazil and the Late Proterozoic south Atlantic fit. *Geological Society of America (Special Paper, 230)*: 145-157.
- CABY, R. 1998. *Tectonic history and geodynamic evolution of northern Africa during Neoproterozoic*. In: International Conference on Precambrian and Craton Tectonics/14th International Basement Tectonics, Ouro Preto-MG, p.72-75.
- CABY, R. & ARTHAUD, M.H. 1986. Major Precambrian nappes of the Brazilian belt, Ceará, northeast Brazil. *Geology*, 14: 871-874.
- CABY, R.; ARTHAUD, M.H.; ARCHANJO, C.J. 1995. Lithostratigraphy and petrostructural characterization of supracrustal units in the Brasiliano Belt of Northeast Brazil: geodynamic implications. *Journ. of South Am. Earth Sci.*, 8 (3/4): 235-246.
- CAMPOS NETO, M.C.; BASEI, M.A.S.; VLACH, S.R.F.; CABY, R.; SZABO, G.A.J.; VASCONCELOS, P. 2004. Migração de orógenos e superposição de orogêneses: um esboço da colagem brasileira no sul do Craton do São Francisco, SE – Brasil. *rev. Inst. Geoc. USP, Geol. USP Sér. Cient.*, São Paulo, v.4, n.1, p.13-40.
- CARSON, C.J.; AGUE, J.J.; GROVE, M.; COATH, C.D.; HARISON, T.M. 2002. U-Pb isotopic behavior of zircon during upper-amphibolite facies fluid infiltration in the Napier Complex, East Antarctica. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 199: 287-310.
- CASTRO, N.A. 1997. Contribuição ao conhecimento geológico-metalogenético associado aos granitóides intrusivos no Grupo Brusque (SC) com base em informações geológicas, aerogamaespectrométricas e Landsat/TM-5. Dissertação de mestrado, IG-UNICAMP, 139p.
- CASTRO, N.A.; PINÉO, T.R.G. E TEIXEIRA, M.L.A. 1999. A lito-estrutural do Projeto Jaibaras somada a recentes informações LANDSAT/TM-5 obtidas na região de Sobral (porção NW do Ceará). In: VII Simp. Nac. Estudos Tectônicos, Lençóis-BA, *Anais*, p. 125-128.
- CASTRO, N.A. ; CRÓSTA, A.P.; FERREIRA, F.J.F.; PASCHOLATI, M.E. 2003. Análise do quadro geológico regional da porção central do embasamento Pré-ordoviciano de Santa Catarina com base em imagens LANDSAT-5/TM e aerogeofísicas. *Rev. Bras. Geoc.*, vol espec. Geotecnológicas, 23:161-172
- CHAVES, P. 1975. Atmospheric, solar and MTF corrections for ERTS digital imagery. *Proc. Am. Soc. of Photogrametry*, Fall Convention.
- CLARCK, D.A. 1997. Magnetic petrophysics and magnetic petrology: aids to geological interpretation of magnetic surveys. *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, 17(2): 83-104
- COLLINS W.J., BEAMS S.D., WHITE A.J.R., CHAPELL B.W. 1982. Nature and origin of A-types granites with particular reference to Southeastern Austrália. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 80:184-200.
- COMPSTON W., WILLIAMS I.M., MYER C. 1984. U-Pb. geochronology of zircons from lunar breccia 73217 using a sensitive high mass-resolution ion microprobe. *J. Geophysical Res.*, 89B: 525-534
- CONDIE K.C. 1997. *Plate tectonics and crustal evolution*. Butterworth-Heinemann, Linacre House, Jordan Hill, Oxford, 282 p.
- CONELLY, J.N. 2000. Degree of preservation of igneous zonation in zircon as a signpost for concordance in U/Pb geochronology. *Chemical Geology*, 172: 25-39.

- CONEY, J. 1989. Structural aspect of suspected terranes and accretionary tectonics in western North America. *J. Structural Geol.*, 11: 107-125.
- CONEY, J.; JONES, D.L.; MONGER, J.W.H. 1980. Cordilleran suspected terranes. *Nature*, 239: 329-333.
- COX, K.G.; BELL, J.D. & PANKHURST, R.J. 1979. *The interpretation of igneous rocks*. Unwin Hyman Ltd., London. 450p.
- CPRM. 1983. *Mapa geológico do Estado do Ceará*. CPRM-DNPM.
- CPRM. 2000. *Mapa Geológico do Brasil 1:2.500.000, em formato digital shapefile (ESRI)*.
- CPRM. 2003. *Mapa Geológico do Estado do Ceará em escala 1:500.000, formato digital shapefile (ESRI)*.
- CRÓSTA, A. P. 1990. Discriminação de principais componentes em imagens de satélite com base em relações quantitativas e espectrais In: Simposio de Quantificacao em Geociencias, II, Rio Claro, SP.
- CRÓSTA, A. P. 1992. *Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto*. Campinas, IG-UNICAMP, v.1. 170 p.
- CRÓSTA, A.P. 1993. Caracterização espectral de minerais de interesse à prospecção mineral e sua utilização em Processamento Digital de Imagens. In: VII Simp. Bras. Sensoriamento Remoto, *Anais*, p. 202-210.
- DANTAS, E.L. 1997. *Geocronologia U-Pb e Sm-Nd de terrenos arqueanos e paleoproterozóicos do Maciço Caldas Brandão, NE do Brasil*. Tese de Doutorado, IGCE-UNESP, 207p.
- DANTAS, E.L.; HACKSPACHER, P.C.; VAN SCHMUS, W.R.; BRITO NEVES, B.B. 1997. Arcabouço crono-estratigráfico do Maciço Caldas Brandão-RN, Província Borborema, NE do Brasil. In: XVII Simp. Geol. Nordeste, Fortaleza, *Resumos Expandidos, Boletim*, 15. p.20-23.
- DEPAOLO, D.J. 1981a. A neodymium and strontium isotopic study of the Mesozoic calc-alkaline granitic batholiths of the Sierra Nevada and Peninsular Ranges, California. *J. Geophys. Res.*, 86: 10470-10488.
- DEPAOLO, D.J. 1981b. Neodymium isotopes in the Colorado Front Range and implications for crust formation and mantle evolution in the Proterozoic. *Nature*, 291: 193-197.
- DEPAOLO, D.J. 1988. *Neodymium Isotope Geochemistry*. Springer Verlag, Berlin. 187p.
- DEPAOLO, D.J. & WASSERBURG, G.J. 1976. Inferences about magma sources and mantle structure from variations of $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$. *Geophys. Res. Lett.*, 3: 743-746.
- DICKIN, A.P. 1997. *Radiogenic Isotope Geology*. Cambridge University Press, 489p.
- DRURY, S.A. 2001. *Image interpretation in geology*. 3rd ed., Blackwell, 290p.
- DSG/SUDENE. 1972. Folhas plani-altimétricas de Itatira e Taperuaba, 1:100 000.
- EL BOSCILY, A.M. & ELSOKKARY, A.A. 1975. The relation between Rb, Ba and Sr in granitic rocks. *Chemical Geology* 16(3):207-219.
- ESRI INC. 1999a. *Getting to know ARC VIEW GIS (Manual)*. Environmental Systems Research Institute, Inc (ESRI).
- ESRI INC. 1999b. *Sistema de informação geográfica. ArcView GIS ® v.3.2. Manual de operação on line*.
- FERREIRA, F.J.F. 1982. *Integração de dados aeromagnéticos e geológicos : configuração e evolução do Arco de Ponta Grossa*. Dissertação de Mestrado, IGC-USP, São Paulo, 169p.
- FERREIRA, F.J.F. 1991. *Aerogamaespectrometria e aeromagnetometreia de um trato ocidental do Pré-Cambriano paulista*. Tese de Doutorado, IGC-USP, São Paulo, 150p.

- FETTER, A.H. 1999. U-Pb and Sm-Nd geochronological constraints on the crustal framework and geologic history of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the assembly of Gondwana. Ph.D. Thesis, Departament of Geology, Kansas University, Lawrence, USA, 164p.
- FETTER, A.H.; VAN SCHMUS, W.R.; SANTOS, T.J.S.; NOGUEIRA NETO, J.A.; ARTHAUD, M.H. 2000. U-Pb and Sm/Nd geochronological constraints on the crustal evolution and basement architecture of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the existence of the Paleoproterozoic supercontinent "Atlantica". *Rev. Bras. Geoc.*, 30 (1,2,3). Versão CD.
- FETTER, A. H.; SANTOS, T. J. S.; VAN SCHMUS, W. R.; HACKSPACHER, P. C.; BRITO NEVES, B. B.; ARTHAUD, M. H.; NOGUEIRA NETO, J. A.; WERNICK, E. 2003. Evidence for Neoproterozoic continental arc magmatism in the Santa Quitéria Batholith of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the assembly of west Gondwana. *Gondwana Research*, 6 (2): 265-273.
- FUCK, R.A. 1991. Aprovada nova escala de tempo para o Pré-cambriano. *Rev. Bras. Geoc.*, 21(2): 182-183.
- GEBAUER, D. E GRÜNFELDER, M. 1979. *U-Th-Pb dating of minerals*. In: E. JÄGER AND J.C. HUNZIKER (eds.), *Lectures in Isotope Geology*. Springer Verlag, New York, 329p.
- GILLULY, J. 1976. Lineaments – Ineffective guides to ore deposits. *Econ. Geol.*, 21: 1507-1514.
- GIOIA, S.M.C.L. & PIMENTEL, M.M. 2000. The Sm-Nd isotopic method in the Geochronology Laboratory of the University of Brasília. *An. Acad. Bras. Cienc.*, 72: 219-245.
- GOETZ, A. F.H.; ROCK, B.N. E ROWAN, L. 1983. Remote sensing for mineral exploration: an overview. *Econ. Geol.*, 78 (4): 573-674.
- GUNN, P.J. 1997. Quantitative methods for interpretation aeromagnetic data: a subjective review. *AGSO Journal Australian Geology Geophysics*, 17(2): 105-114.
- GUNN, P.J. & DENTITH, M.C. 1997. Magnetic responses associated with mineral deposits. *AGSO Journal Australian Geology Geophysics*, 17(2): 145-158.
- GUNN, P.J.; MAIDMENT, D.; MILLIGAN, P.R. 1997. Interpreting aeromagnetic data in areas of limited outcrop. *AGSO Journal Australian Geology Geophysics*, 17(2): 175-186.
- HADDAD, R.C. & LEONARDOS, O. H. 1980. Granitos anelares de Taparuaba (CE) e processos metassomáticos associados. In: XXXI Congr. Bras. Geol, Camboriú, *Anais*, vol.5, p.2626-2633.
- HANCHAR, J.M. & MILLER, C.F. 1993. Zircon zonation patterns as revealed by cathodoluminescence and backscattered electron images: implications for interpretation of complex crustal histories. *Chemical Geology*, 110:1-13.
- HANES, J.A. 1991. *K-Ar and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology: methods and applications*. In: HEAMAN, L. E LUDDEN, J.N. (eds.). *Short Course handbook on applications of radiogenic isotope systems to problems in geology*. Mineralogical Association of Canada, Toronto, p.27-57.
- HEAMAN, L. E PARRISH, R. 1991. *U-Pb geochronology of accessory minerals*. In: HEAMAN, L. E LUDDEN, J.N. (eds.). *Short Course handbook on applications of radiogenic isotope systems to problems in geology*. Mineralogical Association of Canada, Toronto, p.59-100.
- HORSFALL, K.R. 1997. Airbone magnetic and gamma-ray data acquisition. *AGSO Journal Australian Geology Geophysics*, 17(2): 23-30
- HOSKIN, P.W.O & BLACK, L.P. 2000. Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircon. *J. Metamorphic Geol.*, 18 (4): 423-439
- HOWELL, D.G. 1995. *Principles of Terrane Analysis: New applications for global tectonics*. 2nd edition. Chapman & Hall, Topics in the Earth Sciences, 8., 245 p.
- HUNT, G.R. 1977. Spectral signatures of particulate minerals in the visible and near infrared. *Geophysics*, 42: 501-513.

- IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. 1991 - Airborne Gamma Ray Spectrometer Surveying. *International Atomic Energy Agency Technical Reports Series Number 323*, IAEA Vienna.
- IMPLANCE -1997- *Atlas e mapa político-rodoviário do Estado do Ceará (1: 500 000)*. 40p.
- IRVINE, T.N. & BARAGAR, W.R.A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian J. Earth Sci.*, 8: 523-548
- JANASI, V. A. 1999. *Petrogênese de granitos crustais na Nappe de empurrão Socorro-Guaxupé (SP-MG): uma contribuição da geoquímica elemental e isotópica*. Tese de Livre Docência, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 233 p.
- JQUES, A.L.; WELLMAN, P.; WHITAKER, A.; WYBORN, D. 1997. High-resolution geophysics in modern geological mapping. *AGSO Journal Australian Geology Geophysics*, 17(2): 159-174
- KOZUCH, M.; VAN SCHMUS, W.R. E BRITO NEVES, B.B. 1997. Ages and isotope geochemistry of two pre-Brasiliano magmatic events in the Borborema Province of NE Brasil. In: South American Symposium on Isotope Geology, Brazil, *Actas*, p.157-160
- KROGH, T.E. 1982. Improved accuracy of U-Pb zircon ages by the creation of more concordant systems using an air abrasion technique. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 46: 637-649.
- KROGH, T.E. 1993. High precision U-Pb ages for granulite metamorphism and deformation in the Achaean Kapuskasing structural zone, Ontario: implications for structure and development of the lower crust. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 119: 1-18.
- KRÖNER, A.; WILLIAMS, I.S.; COMPSTON, W.; BAUER, N.; VITANAGE, P.W.; PERERA, R.K. 1987. Zircon ion microprobe dating of high-grade rocks in Sri Lanka. *Journal of Geology*, 95: 775-791
- LASA 1977. *Projeto Itatita, Levantamento Aerogeofísico*. Relatório final das áreas B e C. Rio de Janeiro, 300 p.
- LESQUER, A.; BELTRÃO, J.F.; DE ABREU, F.A.M. 1984. Proterozoic links between northeastern Brazil and West Africa: a plate tectonic model based on gravity data. *Tectonophysics*, 110: 9-26
- LILLESAND, T.M. & KIEFER, R.W. 1994. *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Sons, New York, 750p.
- LIU, C.C. 1984. *Análise estrutural de lineamentos em imagens de sensoriamento remoto: aplicação ao Estado do Rio de Janeiro*. Tese de Doutorado, IGc-USP, 157p.
- LOISELLE, M. C. & WONES, D. R. 1979. *Characteristics and models for the origin of A-type granites*. (Unpublished).
- LUDWIG, K.R. 1998. Users Manual for ISOPLOT/EX rev. 2.49 – A geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronological Center, Special Publication, 1a, 55p.
- LUYENDYK, A.P.J. 1997. Processing of airborne magnetic data. *AGSO Journal Australian Geology Geophysics*, 17(2): 31-38
- MC LENNAN S.M.; TAYLOR S.R.; MCCULLOCH M.T.; MAYNARD J.B. 1990. Geochemical and Nd-Sr isotopic composition of deep-sea turbidites: Crustal evolution and plate tectonic associations. *Geoch. Cosmoch. Acta* 54:2015-2050.
- MC LENNAN S.M.; HEMMING S.R.; TAYLOR S.R.; ERIKSSON K.A. 1995. Early Proterozoic crustal evolution: Geochemical and Nd-Pb isotopic evidence from metasedimentary rocks, southwestern North America. *Geoch. Cosmoch. Acta*, 59:1153-1177.
- MCDUGALL, I. & HARRISON, T.M. 1999. *Geochronology and Thermochronology by the $^{40}\text{Ar} / ^{39}\text{Ar}$ Method*. 2nd ed., Oxford: Oxford University Press, 269 p.

- MACLOUD, I.N. & DOBUSH, T.M. 2000. *Geophysics – More than numbers, process and presentation of geophysical data. Oasis Montaj v. 5.0*. Technical Notes, 15p.
- MACLOUD, I.N.; JONES, K.; DAI, T.F. 2000. *3D analytic signal in the interpretation of total magnetic field data at low latitudes. Oasis Montaj v. 5.5*. Technical Notes, 12p.
- MACLOUD, I.N.; VIEIRA, S.; CHAVES, A.C. 1993. Analytic signal and reduction-to-pole in the interpretation of total magnetic field data at low magnetic latitudes. In: Congr. Soc. Bras. Geofísica, 3, Rio de Janeiro, *Resumos Expandidos*, p. 830-835.
- MANIAR P.D. & PICCOLI P.M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 101:635-643.
- MARTINS, G. 2000. *Litogeoquímica e controles geocronológicos da Suíte Metamórfica Algodões-Choró*. Tese de Mestrado, Instituto de Geociências. Universidade Estadual de Campinas. 218 p.
- MARTINS, G. & OLIVEIRA, E.P. 2003. The Algodões amphibolites, Central Ceará Domain: geochronological and trace element evidence for accretion of paleoproterozoic oceanic plateau basalts in the Borborema Province, Brazil. In: South American Symposium on Isotope Geology, 4, Salvador. *Short Papers*, p. 211-214.
- MEHNERT, K.R. 1971. Migmatites and the origin of granitic rocks. Amsterdam, New York: Elsevier Pub. Co. 405p
- MENDONÇA, J.C.G.S.; BRAGA, A.P.G.; CAMPOS, M. 1980. Considerações sobre a mineralização fósforo-uranífera da jazida de Itaitaia-CE. *Anais do XXXI Congr. Bras. Geol.*, Santa Catarina, vol. 4, p.2472-2486.
- MENDONÇA, J.C.G.S.; BRAGA, A.P.G.; NETTO, R.N.; SILVA, J.R.A. 1983. Mapa geológico da região de Itaitaia. NUCLEBRAS, inédito.
- MENDONÇA, J.C.G.S.; CAMPOS, M.; BRAGA, A.P.; SOUZA, E.M.; FAVALI, J.C.; LEAL, J.R.L.V. 1985. Jazida de Urânio de Itaitaia- Ceará. In: DNPM. Principais depósitos minerais do Brasil (Recursos Minerais Energéticos v. 1), p.121-131.
- MEZGER, K. & KROGSTAD, E.J. 1977. Interpretation of discordant U-Pb zircon ages: An evaluation. *J. Metamorphic Geology*, 15:127-140.
- MILLIGAN, P.R. & GUNN, P.J. 1997. Enhancement and presentation of airborne geophysical data. *AGSO Journal Australian Geology Geophysics*, 17(2): 63-76
- MINTY, B. R. S. 1991. Simple micro-levelling for aeromagnetic data. *Exploration Geophysics*, 22: 591-592.
- MINTY, B.R.S. 1997. Fundamentals of airborne gamma-ray spectrometry. *AGSO Journal Australian Geology Geophysics*, 17(2): 39-50
- MINTY, B.R.S.; LUYENDYK, A.P.J.; BRODIE, R.C. 1997. Calibration and data processing for airborne gamma-ray spectrometry. *AGSO Journal Australian Geology Geophysics*, 17(2): 51-62
- MONIÉ, P.; CABY, R.; ARTHAUD, M.H. 1997. The Neoproterozoic Brasiliano orogeny in northeast Brazil: $^{40}\text{Ar} / ^{39}\text{Ar}$ and petrostructural data from Ceará. *Precambrian Research*, 81: 241-264.
- MONTEL, J.M.; FORET, S.; VESCHABRE, M.; NICOLLET, C.H.; PROVEST, A. 1996. Electron microprobe dating of monazite. *Chemical Geology*, 131: 37-53.
- MONTEL, J.M.; KORNPROBST, J.; VIELZEUF, D. 2000. Preservation of old U-Th-Pb ages in shielded monazite: example from the Beni Bousera Hercynian kinzigites (Morocco). *J. Metamorphic Geol.*, 18: 335-342.
- MULLEN, E.D. 1983. MnO/TiO₂/P₂O₅: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 274:53-62.

- MYIASHIRO, A. 1975. Classification, characteristics and origin of ophiolites. *J. Geol.*, 83 (2): 249-281.
- NAKAMURA N. 1977. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geoch. Cosmoch. Acta*, 38:757-775.
- NELSON, B.K. & DEPAOLO, D.J. 1985. Rapid production of continental crust 1.7-1.9 b.y. ago: Nd and Sr isotopic evidence from the basement of the North American mid-continent. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 96: 746-754.
- PARRISH R. R. 1990. U-Pb dating of monazite and its application to geological problems. *Can. J. Earth Sci.*, 27: 1431-1450.
- PATCHETT, P.J. & RUIZ, J. 1987. Nd isotopic ages of crust formation and metamorphism in the Precambrian of eastern and southern Mexico. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 96: 523-528.
- PEARCE, J.A. 1996. Sources and settings of granitic rocks. *Episodes*, 19: 120-125.
- PEARCE, J.A.; HARRIS, N.B.W.; TINDLE, A.W. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petr.*, 25 (4): 956-983.
- PELOGGIA, A.U.G. & FIGUEIREDO, M.C.H. 1991. Utilização de diagrama ferro-titanio na distinção química entre orto-e para-anfibolitos. Boletim IG-USP (Serie Científica, 22), p.51-60
- PESSOA, R.R. & ARCANJO, C.J. 1984. Tectônica de empurrão na região de Tróia- CE. In: Congr. Bras. Geol., 33. Rio de Janeiro. *Anais*, v.4, p.1721-1728.
- PESSOA, R.R.; BRITO NEVES, B.B.; KAWASHITA, K.; PESSOA, D.R.; FUCK, R.A. 1986. Contribuição ao estudo da evolução geocronológica do Maciço de Tróia- CE. In: Simp. Geol. Nordeste, 9, João Pessoa, *Anais*, p. 75-83.
- PIDGEON, R.T.; NEMCHIN, A.A.; HITCHEN, G.J. 1996. Internal structures of zircons from Archaean granites from the Darling Range batholith: implications for zircon stability and the interpretation of zircon U-Pb ages. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 132: 288-299.
- PIMENTEL, M.M. E CHARNLEY, N. 1991. Intracrustal REE fractionation and implications for Sm-Nd model age calculations in late-stage granitic rocks: an example from central Brazil. *Chemical Geology (Isotope Geoscience Section)*, 86: 123-138
- POWELL, R. 1998. Calculating phase diagrams involving solid solutions via non-linear equations, with examples using THERMOCALC. *J. Metamorphic Geol.*, 16: 577-588
- POWELL, R. & HOLLAND, T.J.B. 1990. Calculated mineral equilibria in the pelite system, KFMASH (K_2O -FeO-MgO- Al_2O_3 -H $_2$ O). *Am. Mineral.*, 75: 367-380
- REYNOLDS, J. M. 1997. An Introduction to applied and environmental geophysics. New York : John Wiley and Sons, 796p.
- ROGERS, J.J.W. 1996. A history of continents in the past three billion years. *Journal of Geology*, 104: 91-107.
- RUBATTO, D. & GEBAUER, D. 2000. Use of cathodoluminescence for U-Pb zircon dating by ion microprobe: some examples from the Western Alps. In: PAGEL, M.; BARBIN, V.; BLANC, P.; OHNENSTETTER, D. (Eds.). Cathodoluminescence in Geosciences. Springer Verlag, Berlin, Heiderberg New York.
- SANTOS, E. J. & BRITO NEVES, B.B. 1984. *A Província Borborema*. In: ALMEIDA, F.F.M. E HASUY, Y. (coord.). O Pré-Cambriano do Brasil. Ed. Edgard Blucher LTDA, São Paulo, p. 123-186.
- SANTOS, E.J. 1996. Ensaio preliminar sobre terrenos e tectônica acrescionária na Província Borborema. In: XXXIX Congr. Bras. Geol., Salvador, *Anais*, v.6, p.47-50.

- SANTOS, E.J.; GUSMÃO, R.G; PAIVA, I.P. 1997. Terrenos no Domínio Transversal da Província Borborema, controles sobre acreção e retrabalhamento crustal ao sul do Lineamento Patos. In: Simpósio de Geologia do Nordeste, 17, Fortaleza, *Resumos expandidos*, Boletim 15, p. 140-144.
- SANTOS, T.J.S. 1999. *Evolução tectônica e geocronológica do extremo noroeste da Província Borborema*. Tese de Doutorado, UNESP-Rio Claro, 295p.
- SANTOS, T.J.S.; SANTOS, A.A. DANTAS, E.L.; FUCK, R.A; PARENTE, C.V. 2003. Nd isotopes and the provenance of metasediments of the Itataia Group, northwest Borborema Province, NE Brazil. In: South American Symposium on Isotope Geology, 4, Salvador. *Short Papers*, p.307-310.
- SATO, K. 1998. *Evolução crustal da Plataforma Sul-Americana com base em geoquímica isotópica Sm-Nd*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. 300 p.
- SATO, K.; TASSINARI, C.C.G.; KAWASHITA, K.; PETRONILHO, L. 1995. O método geocronológico Sm-Nd no IG/USP e suas aplicações. *An. Acad.Bras.Ci.*, 67 (3): 313-36.
- SENGÖR, A.M.C. 1990. Plate tectonics and orogenic research after 25 years: A Tethyan perspective. *Earth Science Reviews*, v.27, p. 1-201.
- SHARMA, P.S. 1997. *Environmental and engineering geophysics*. Cambridge Univ. Press.
- SHERVAIS, J.W. 1982. T-V plots and the petrogenesis of modern ophiolitic lavas. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 59:101-118.
- SILVA FILHO, A.F.; GUIMARÃES, I.P.; VAN SCHMUS, W.R. 1999. The crustal evolution of the PE-AL terrane, Borborema Province, NE Brazil, based on the Sm-Nd data of their Proterozoic granitic batholites. In: II South American Symposium on Isotope Geology, Cordoba, Argentina, *Actas*, p.300-301.
- SILVA, L.C.; ARMSTRONG, R.; PIMENTEL, M.M.; SCANDOLARA, J.; RAMGRAB, G.; WILDNER, W.; ANGELIM, L.A.A.; VASCONCELOS, A. M.; RIZZOTO, G.; QUADROS, M.L.E.S.; SANDER, A.; ROSA, A.L.Z. 2002. Reavaliação da evolução geológica em terrenos pré-cambrianos brasileiros com base em novos dados U-Pb SHRIMP, Parte III: Províncias Borborema, Mantiqueira Meridional e Rio Negro-Jurena. *Rev. Bras. Geoc.*, 32(4): 529-544
- SIRCOMBE, K.N. E STERN, R.A. 2002. An investigation of artificial biasing in detrital zircon U-Pb geochronology due to magnetic separation in sample preparation. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 66(13): 2379-2397.
- SOARES, P.C. & FIORI, A.P. 1976. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. *Notícia Geomorfológica*, 16(32): 71-104.
- SOUSA FILHO, C.R.; DENNISS, A. M. & CASTRO, N.A. 1997. *Practical methods for periodic noise suppression of remote sensing digital imagery*. Proceedings of twelfth International Conference in Applied Geologic Remote Sensing. Denver, Colorado. (expanded abstract), V.I, p.174-181.
- SOWDER, K. H.; HILL, R.T.; KERSEY, R.W.; IRWIN, P.N. 1998. A Process for Utilizing Database Information to Produce High-Quality Direct-to-Printer Digital Map Files. In: Digital Mapping Techniques, Workshop Proceedings, U.S. Geological Survey, Open File Report nº 487, 4p.
- SPEAR, F.S. 1993. *Metamorphic phase equilibria and pressure- temperature-time paths*. Monograph 1. Washington, Mineralogical Society of America.
- STACEY J.S. & KRAMERS J.D. 1975. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 26:207-221.
- STANFORD, L.R. & MACKUBBIN, V.T. 2000. Application of a Digital Geologic Map Data Model in ArcView GIS. In: SOLLER, D.R. (Ed.). Digital Mapping Techniques 2000. Workshop Proceedings, U.S. Geological Survey Open-File Report 00-325
- STEIGER, R.H. E JÄGER, E. 1977. Subcomission on Geochronology: Convention on the use of decay constants in geo and cosmochronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 36: 359-362.

- STRECKEISEN, A. 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth Sci. Reviews*, 12:1-33.
- SUN, S.-S. & MCDONOUGH, W.F. 1989. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: *Magmatism in the Ocean Basins. Geol. Soc. Special Public.*, 42: 313-345.
- TAVARES JR., S.S. 1992. Caracterização litogeoquímica e geocronológica Rb-Sr das rochas granitóides e ortogneisses da região de Santa Quitéria – Sobral, NW do Ceará. Dissertação de Mestrado. UFPA, Belém, 145 p.
- TAYLOR S.R. & MCLENNAN S.M. 1985. *The continental crust: its composition and evolution*. Blackwell, Oxford.
- TROMPETTE, R. 1994. *Geology of western Gondwana, Pan-African – Brasileiro aggregation of south America and Africa*. A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, 350p.
- UNRUG, R. 1996. The assembly of Gondwanaland. *Episodes*, 19(1-2): 11-20.
- VAN SCHMUS, W.R., BRITO NEVES, B.B.; HACKSPACHER, P.; BABINSKI, M. 1995. U-Pb and Sm-Nd geochronological studies of eastern Borborema Province, northeastern Brazil: initial conclusions. *Journ. South Am. Earth Sci.*, 8(3-4): 267-288.
- VAN SCHMUS, W.R.; BRITO NEVES, B.B.; HACKSPACHER, P.C.; FETTER, A.H.; KOZUCH, M.; DANTAS, E.L.; BABINSKI, M. 1998. The Borborema Province: A collage of polycyclic domains in northeast Brazil. In: International Conference on Precambrian craton tectonics, Ouro Preto- MG, *Abstracts*, p. 80-83.
- VASCONCELOS, P.M.; ONOE, A.T.; KAWASHITA, K.; SOARES, A.J.; TEIXEIRA, W. 2002. ⁴⁰Ar-³⁹Ar geochronology at the Instituto de Geociências, USP: instrumentation, analytical procedures and calibration. *An. Acad. Bras. Ci.*, 74(2): 297-342.
- VAUCHEZ, A.; NEVES, S.; CABY, R.; CORSINI, M.; EGIDIO DA SILVA, M.; ARTHAUD, M.H.; AMARO, V. 1995. The Borborema shear zone system, NE Brazil. *Journ. South Am. Earth Sci.*, 8(3-4): 247-266.
- VAVRA, G. & SCHALTEGGER, U. 1999. Post-granulite facies monazite growth and rejuvenation during Permian to Lower Jurassic thermal and fluid events in the Ivrea Zone (Southern Alps). *Contrib. Mineral. Petrol.*, 134: 405-414.
- VAVRA, G.; SCHMID, R.; GEBUR, D. 1999. Internal morphology, habit and U-Th-Pb microanalysis of amphibolite-to-granulite facies zircons: geochronology of the Ivrea Zone (Southern Alps). *Contrib. Mineral. Petrol.*, 134: 380-404.
- VLACH, S.R.F. E DEL LAMA, E.A. 2002. Idades Th-U-Pb, de monazita e geotermobarometria de rochas metapelíticas de alto grau do Sistema Orogênico Salvador-Curaçá, BA, Brasil: um estudo em microsonda eletrônica. *Rev. Instituto de Geociências-USP (Série Científica, 2)*: 9-22.
- VLACH, S.R.F. E GUALDA, G.A.R. 2000. Microprobe monazite dating and the ages of some granitic and metamorphic rocks from southeastern Brazil. *Rev. Bras. Geoc.*, 30: 214-218.
- VLACH, S.R.F.; CAMPOS NETO, M.C.; CABY, R.; BASEI, M.A.S. 2003. Contact metamorphism in metapelites from the Nova Lima Group, Rio das Velhas Supergroup, Quadrilátero Ferrífero: a monazite Th-U-Pb dating by the electron-probe microanalyser. In: South American Symposium on Isotope Geology, 4, Salvador. *Short Papers*, p.307-310.
- WATSON, E.B. E HARRISON, T.M. 1983. Zircon saturation revisited: temperature and composition effects in a variety of crustal magma types. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 64: 295-304.
- WETHERILL, G.W. 1956. Discordant uranium-lead ages. *Am. Geoph. Union Transactions*, 37: 320-326.
- WILLIAMS, I.S. 1998. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe. In: McKIBBEN, M.A.; SHANKS III, W.C.; RIDLEY, W.I (eds.): *Applications of microanalytical techniques to understanding mineralizing process. Reviews in Economic Geology*, 7.

- WILSON, M. 1991. *Igneous Petrogenesis*. Harper Collins Acad., 466 p.
- WINCHESTER, J.A. & FLOYD, P.A. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chem. Geol.*, 20:325-343.
- WINDLEY, B.F. 1995. *The evolving continents*. John Wiley & Sons, 3rd ed., 525p.
- WORBOYS, M.F. 1997. *GIS – A computing perspective*. Taylor & Francis, London, 376p.
- WRONKIEWICZ, D.J. & CONDIE, K.C. 1987. Geochemistry of sediments from the Pongola Supergroup, South Africa: evidence for a 3 Ga-old evolved continental craton. *Geoch. Cosmoch. Acta*, 53: 1537-1549
- YEATES, A.N.; WYATT, B.W.; TUCKER, D.H. 1982. Application of gamma-ray spectrometry to prospecting for tin and tungsten granites, particularly within the Laclan Fold Belt-New South Wales. *Econ. Geol.*, 77: 1725-1738.

APÊNDICES

I) AEROGEOFÍSICA. IMAGENS LANDSAT, TOPOGRAFIA SRTM e SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEO-REFERENCIADAS

Nesta seção expõe-se inicialmente as características e processamentos sobre o conjunto de informações geo-referenciadas (aerogeofísica, LANDSAT e SRTM) que tiveram grande utilidade no planejamento e implementação dos trabalhos de campo e nas interpretações realizadas. Posteriormente são abordadas as principais técnicas utilizadas na integração e análise dos produtos gerados a partir destes dados e demais informações levantadas (estruturas, petrografia, geologia isotópica, etc). Os principais resultados obtidos podem ser contemplados nos mapas apresentados e nas exposições presentes nos capítulos 2, 3, 4, 5 e 6.

I a) AEROGEOFÍSICA

Devido principalmente ao interesse das indústrias de mineração e petróleo, informações aerogeofísicas tem sido utilizadas no reconhecimento geológico regional e até mesmo de relativo detalhe já há um certo tempo. Através de levantamentos aerogeofísicos (métodos magnetométrico, gamaespectrométrico, eletro-magnético, gravimétrico, etc) têm se obtido bons resultados no planejamento de atividades de pesquisas exploratórias futuras (geologia de campo, geoquímica de solos, geofísica terrestre, etc) e em regiões a ser explorada.

Neste trabalho, foram utilizadas informações gamaespectrométricas e magnetométricas. Abaixo expõe-se as principais características destas e alguns comentários sobre os produtos gerados neste trabalho. Detalhes sobre as informações abaixo fornecidas podem ser encontradas em Ferreira (1982 e 1991), IAEA (1991), Gunn (1997), Gunn e Dentith (1997), Gunn *et al.* (1997), Horsfall (1997), Jaques *et al.* (1997), Luyendyk (1997), Milligan e Gunn (1997), MacLoud & Dobush (2000), MacLoud *et al.* (1993,2000), Clark (1997), Castro *et al.* (1999, 2003), Minty (1997), Minty *et al.* (1997), Sharma (1997), Reynolds (1997), Yeates *et al.* (1982) e outros.

Aerogamaespectrometria

Este método baseia-se na medida, através de linhas de vôo aproximadamente paralelas, da radiação gama natural emitida pelos elementos K, U e Th, sendo esta bastante dependente da geologia (rochas e coberturas superficiais). Os parâmetros medidos dependem da altura de vôo do levantamento e do volume de medições efetuadas, quanto maior o valor desta menor a resolução e o discernimento espacial das anomalias e/ou padrões locais a serem detectados. Devido o sinal gamaespectrométrico ser extremamente atenuado em presença de água ou umidade intensa os levantamentos são feitos imperativamente em períodos de seca, e interpretações também devem atentar para tal fator. As medidas gamaespectrométricas propriamente ditas são efetuadas através de detectores cintilométricos que medem a fluorescência resultante da excitação de elétrons no material detector decorrente da interação deste com os raios gama emitidos pelo alvo. Este tipo de detector geralmente é feito com cristais de NaI tratado com Tl, onde um único cristal possui até 4 litros em volume. Detectores típicos utilizados em levantamentos aerogeofísicos possuem entre 16 e 50 litros em volume, e um sistema de controle de temperatura para suprimir o efeito de deriva nas medidas. Todo o sistema deve ser calibrado com padrões (*pad calibration*) para possibilitar a posterior conversão das medidas, originalmente em contagens por segundo (CPS) para concentrações equivalente e taxa de exposição total.

Detalhes sobre a instrumentação eletrônica e discriminação entre as diferentes janelas de energia associadas a cada canal podem ser encontradas em IAEA (1991).

Após a realização do levantamento, uma série de processamentos são necessários previamente à geração das diferentes imagens (ou GRIDs a serem utilizados). Em ordem de realização são efetuados: a) filtragens não lineares para eliminação de valores espúrios; b) filtragem de suavização; c) eliminação de valores de *background*, tais como radiação cósmica, da aeronave e fontes de Ra; d) correção da superposição espectral entre canais; e) correção da altura de vôo; e) nivelamento entre linhas de vôo; f) conversão de CPS para K (em %), Th (ppm), e U (ppm) e CT (taxa de exposição total). Após estas etapas de correção, os diferentes canais podem ser utilizados no cálculo de razões e demais parâmetros desejados. A transformação das informações, então ainda sob a foma de linhas de vôo em GRIDs regulares, se dá através da implementação de rotinas de interpolação disponíveis em várias plataformas de processamento. A figura ap.1 ilustra o aspecto de uma imagem gamaespectrométrica (no caso uma composição colorida RGB dos canais K, Th e U, respectivamente), onde de pronto pode ser observada uma excelente correlação entre a resposta gamaespectrométrica e as características geológicas presentes. Este exemplo constitui praticamente um caso ideal resultante de um bom levantamento e características geológicas e fisiográficas favoráveis para a utilização do método em questão. O exemplo mostrado na figura ap.1 deve ser utilizado como um guia geral para a interpretação de padrões radiométricos que podem ocorrer associados a diferentes tipos rochosos.

Reeves, C.V., Reford, S.W., and Milligan, P.R.

AIRBORNE GEOPHYSICS: OLD METHODS, NEW IMAGES 19

Figura ap.1: Composição colorida RGB-K/Th/U com pixel original de 80 metros, em uma Folha 1:250 000 na região de Pilbara (Austrália). Fonte: Reeves *et al.* (1997).
Para a legenda consultar canto superior direito da imagem.

Aeromagnetometria

O princípio do método magnetométrico reside nos diferentes comportamentos magnéticos assumido pelos minerais (e consequentemente os corpos rochosos) sob a ação de um campo externo (no caso o campo geomagnético). Previamente à abordagem dos aspectos inerentes ao que se pode extrair de informações aeromagnetométricas cabem ser ressaltados alguns aspectos teóricos. As características magnéticas intrínsecas dos diferentes elementos químicos têm origem na interação e movimento distinto dos elétrons em volta do núcleo atômico. Sob este foco, a maioria dos elementos ou substâncias, não apresentam magnetismo sem a ação de um campo externo, e dessa forma, diferentes comportamentos magnéticos (magnetização induzida) surgem. Deste modo, as substâncias podem ser classificadas como: a) diamagnéticas: quando o campo induzido é oposto ao campo externo e ocorre uma suscetibilidade fraca a negativa – halita por exemplo); b) paramagnéticas: sob a ação de um campo externo a magnetização induzida é paralela ao campo, resultando em uma suscetibilidade fraca, porém positiva, anfíbolos, piroxênios, granadas, por exemplo; c) ferromagnéticas: substâncias em que a suscetibilidade é elevada, mas dependente da temperatura e intensidade do campo externo. Possuem forte magnetismo espontâneo, que pode existir mesmo sem a ação de um campo externo. Substâncias verdadeiramente ferromagnéticas são raras na natureza (ouro, níquel, cobalto, etc). É importante ainda ressaltar que o comportamento ferromagnético de uma substância desaparece quando esta ultrapassa sua temperatura de Curie (temperatura acima da qual adquire um comportamento preferencialmente paramagnético). De acordo com o comportamento apresentado sob a ação de um campo externo, as substâncias ferromagnéticas ainda podem ser classificadas como: a) anti-ferromagnéticas: quando os momentos de magnetização são alinhados de uma maneira anti-paralela, o que origina uma susceptibilidade residual muito fraca originada quase que somente devido a defeitos na rede cristalina do mineral, como a hematita; b) ferrimagnéticas: substâncias que são capazes de apresentar uma magnetização por setor, pois possuem setores com momentos magnéticos distintos e antiparalelos. Magnetização espontânea e valores expressivos de susceptibilidade são típicos destas substâncias, podendo ser destacado a magnetita, ilmenita, pirrotita, etc.

Conforme a teoria que considera o campo magnético como linhas de fluxo resultantes da interação entre dois polos magnéticos, a medida realizada considera basicamente o dimensionamento do fluxo (densidade de fluxo) por unidade de área ($B = \text{weber/m}^2 = \text{teslas}$). Para efeitos práticos trabalha-se com nano Teslas ($nT = 10^{-9} T$). Um importante fator determinante da magnitude de B das diferentes substâncias é a susceptibilidade magnética (k). A intensidade de um campo magnético (H) decorrente de uma corrente elétrica (I) fluindo por uma espiral de raio r , demonstrada pela lei de Biot-Savart, é: $H=I/2r$ (com a unidade do campo magnético gerado dando-se em ampère/m). A razão $B/H=\mu$ é conhecida como a permeabilidade magnética absoluta. A permeabilidade magnética da água e do ar pode ser considerada como a permeabilidade do vácuo (μ_0). Para quaisquer outros meios, a razão da permeabilidade em relação à permeabilidade μ_0 fornece a permeabilidade relativa μ_r ($\mu_r = \mu / \mu_0$). A susceptibilidade magnética (k) pode ser descrita como a facilidade que um material tem de ser magnetizado. Neste contexto, para o vácuo, $\mu_r = 1$ e $k = 1$. As informações presentes na figura ap.2 fornecem uma idéia comparativa da susceptibilidade magnética apresentada pelos principais tipos rochosos.

Figura ap.2: Guia genérico mostrando a susceptibilidade magnética para os principais tipos rochosos conhecidos. Fonte: Reynolds (1997).

A relação entre $\mathbf{B}$, $\mathbf{H}$, μ e $\mathbf{k}$ permite a geração das seguintes expressões: $\mathbf{B} = \mu\mathbf{H}$ e $\mathbf{J} = \mathbf{kH}$. Completando o conjunto de parâmetros úteis ao entendimento do comportamento magnético de substâncias, $\mathbf{J}_i$ representa a intensidade de magnetização induzida, dada por $\mathbf{J}_i = \mathbf{k} / \mu_0$, onde μ_0 é a permeabilidade do vácuo, $\mathbf{F} = \mu_0\mathbf{H}$ e $\mathbf{H}$ a força de magnetização.

Observa-se em muitos casos, que na ausência de um campo $\mathbf{H}$ ainda existe magnetização sustentada por partículas ou porções do material analisado que podem gerar um campo capaz de ser medido. Este fenômeno é conhecido por magnetização permanente ou remanescente, cuja intensidade é denotada por $\mathbf{J}_r$. Um corpo rochoso geralmente possui tanto magnetização induzida ($\mathbf{J}_i$) como remanescente ($\mathbf{J}_r$) e estas podem ter diferentes direções e intensidades. A combinação desses dois tipos de magnetização pode ser modelada por balanços vetoriais, onde a magnitude e orientação da resultante $\mathbf{J}$ é capaz de indicar respectivamente a amplitude e forma das anomalias magnéticas encontradas. Levantamentos magnetométricos medem pontualmente a intensidade total do campo magnético, e neste contexto, a medida contempla o valor de $\mathbf{J}$.

De posse das informações acima, a compreensão dos padrões assumidos pelas anomalias magnéticas em uma região ainda deve levar em conta o comportamento do campo geomagnético e o efeito que este tem na geração de anomalias bipolares. Atualmente acredita-se que o campo magnético terrestre tem sua origem

através de correntes elétricas decorrentes de movimentos de convecção situadas no núcleo externo terrestre. Neste contexto, uma aproximação de primeira ordem para a componente principal do campo geomagnético descreve-o como sendo bipolar, algo como se hipoteticamente a terra possuísse um grande eletroímã em seu centro e inclinado cerca de $11,5^\circ$ em relação ao eixo de rotação do planeta (figuras ap.3a e b). Com base nestas propriedades, o campo geomagnético pode ser descrito em termos de sua declinação (D), inclinação (I) e sua intensidade (F), figura ap. 3b. A intensidade e inclinação são de fundamental importância na compreensão das anomalias geradas e por isso merecem ser avaliadas em maior detalhe. A inclinação é máxima próximo aos polos magnéticos, sendo $+90^\circ$ próximo ao polo magnético norte, 0° no denominado equador magnético e -90° próximo ao polo sul magnético (figura ap. 3d). A intensidade do campo possui relação direta com a inclinação, variando desde 30 000 nT próximo ao equador magnético até cerca de 60 000 nT próximo aos polos magnéticos. Dado que a magnetização bipolar de um corpo se dá grandemente em função do campo externo, ter em mente as características locais do campo geomagnético em uma área estudada constitui importante requisito na interpretação das anomalias observadas. A figura ap.3 procura ilustrar estes fatores de forma sintética.

Durante um levantamento aeromagnetométrico, uma série de fatores são levados em conta: a) magnetômetro base: fixado de preferência no interior da área a ser pesquisada, cujas medições (geralmente a cada 5 segundos) serão utilizadas na remoção da variação magnética diurna. Variações diurnas da ordem de algumas dezenas de nT são esperadas em um dia de tranquilidade magnética. Contrariamente, em um dia, ou período de dias, sob ação de “tempestades magnéticas”, as variações podem chegar a várias centenas de nT, e nestes períodos os levantamentos devem ser interrompidos; b) testes para a determinação dos coeficientes de compensação a serem utilizados nas correções de variações nas medidas induzidas pela aeronave (movimentos, corrente elétrica interna, etc); c) posicionamento: atualmente trabalha-se com sistema GPS diferencial, com um ou mais sistemas operantes tanto na aeronave como em uma base fixa. Erros de posicionamento entre 5 e 1 metros são obtidos por um sistema deste tipo.

Previamente à era GPS a navegação era visual e com o auxílio de câmeras de rastreamento e mosaicos fotográficos controlados. Com base na cartografia existente se introduzia o conjunto de coordenadas às medidas obtidas. No passado, este procedimento propiciou a geração de bons resultados em alguns casos, mas geralmente erros de posicionamento da ordem de centenas de metros e até quilômetros sempre eram esperados. Infelizmente este último caso aplica-se às informações utilizadas neste trabalho.

Após o levantamento, uma série de correções são aplicadas sobre o dado coletado, devendo ser destacadas: a) remoção da variação diurna: onde os valores do magnetômetro de base são (após corrigidos, interpolados e temporalmente ajustados) subtraídos dos dados do levantamento; b) correção do erro paralaxe (LAG): correção feita para corrigir a defasagem nos tempos de medição do magnetômetro e altímetro em relação ao sistema de posicionamento; c) nivelamento das linhas de voo em relação às linhas de controle; d) remoção do IGRF: o IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*) é representado por um modelo matemático do campo geomagnético terrestre desprovido de qualquer interferência de anomalias locais. Este campo é função da data, localização e elevação, e é atualizado a cada 5 anos a partir de medições espalhadas pelo planeta. Após o cálculo do IGRF para toda a área do levantamento, estes valores são então subtraídos dos valores oriundos do nivelamento das diferentes linhas de voo. Ao valor do campo anômalo resultante

(campo anômalo residual = -200, +200, por exemplo) pode ou não ser adicionado o valor correspondente ao valor IGRF médio calculado para a área do levantamento (campo anômalo = 25700, 24500, por exemplo).

Figura ap.3: Principais características a serem consideradas em interpretações de anomalias geomagnéticas. Fonte: Reynolds (1997).

Após os processamentos acima mencionados a interpolação dos valores ainda sob a forma de linhas de vôo permite a geração do GRID contendo o valor do campo magnético total anômalo residual ou não. A análise deste GRID inicial pode evidenciar ainda algum ruído residual paralelo às linhas de vôo e a geração de GRIDS preliminares, tais como, sinal analítico e segunda derivada vertical que ajudam na identificação de tais feições. A constatação de porções ruidosas implica que ainda devem ser implementados processos de micronivelamento (Minty, 1991) e filtragens direcionais (Souza Filho *et. al.*, 1997). Um certo cuidado nesta fase é requerido, pois a atenuação de ruídos na direção das linhas de vôo, também implicam em atenuações de anomalias que apresentem a mesma direção.

Magnetic anomaly image of Archean granite-greenstone terrane in Western Australia's Yilgarn Block. Granitic and gneissic areas, such as A, appear as high magnetic values (red) with a brittle fracture pattern. Greenstone areas such as B appear with curvilinear and folded narrow anomalies that tend to fall in relatively low (blue) magnetic areas. Post-tectonic (but still Archean) granites and their aureoles (such as C) are clearly discordant. Amongst the E-W striking Proterozoic dykes (D), examples of both positive and negative anomalies are evident. The area covers a northern part of the Eastern Goldfields (see Figure 3 for location—Edjudina, Laverton, Duketon, Leonora, Sir Samuel and Wiluna map sheets), four degrees of latitude by three degrees of longitude, that is very poorly exposed. The approximately 250 000 line-km of data in this image were acquired 1984-1994 on E-W lines, 400 m apart at between 60 and 100 m above terrain by AGSO, Aerodata Holdings Ltd. and World Geoscience Ltd. for AGSO and the Geological Survey of Western Australia (Mackey *et al.*, 1995).

Figura ap.4: Imagem aeromagnetométrica da associação granito-greenstone do bloco Yilgarn (Austrália). Legenda na porção inferior esquerda da figura. Fonte: Reeves *et al.* (1997).

A obtenção do GRID contendo o campo anômalo desprovido de ruído pode então ser submetido a uma série de processamento úteis ao realce das anomalias magnéticas. Basicamente estes processamento são destinados a dois objetivos principais: a) diminuir o efeito bipolar e melhor centralizar as anomalias sobre suas fontes através da geração de GRIDs como sinal analítico e reduções ao polo e ao equador; b) realce de estruturas, através do cálculos das derivadas verticais, horizontais, sinal analítico, etc. Maiores detalhes sobre estes diferentes produtos obtidos a partir dos valores do campo total devidamente corrigidos e com menos ruído possível podem ser obtidos nas bibliografias citadas no início desta seção. A figura ap.4 traz um exemplo de caso ideal.

AEROGEOFÍSICA UTILIZADA

As informações aerogeofísicas utilizadas foram levantadas na década de 70, durante a realização do Projeto Aerogeofísico Itatira, realizado pela antiga LASA Engenharia e Prospecções S.A., entre setembro e novembro de 1977, através de contrato feito com a NUCLEBRÁS. Neste projeto foram levantados cerca de 80 000 km lineares de linhas de vôo, que cobriram aproximadamente 38 000 km² sobre os terrenos pré-cambrianos do Estado do Ceará. Por razões adversas, a área total do projeto foi subdividida em três sub-áreas (A, B e C), cada uma levantada por uma aeronave diferente (LASA, 1977).

O Projeto Itatira foi levantado segundo linhas de vôo com direção próxima a N-S e com altura de vôo de 150 metros ($\pm$ 15 metros) controlada por radar-altímetro. O espaçamento entre linhas gira em torno de 500 metros e a amostragem ao longo das linha espaçada em torno de 60 metros. Para garantir uma melhor qualidade das informações foram ainda realizadas linhas de controle E-W espaçadas entre 10 e 20 Km (figura ap.5). A navegação foi visualmente controlada por mapas de vôo oriundos de aerofoto-mosaicos semi-controlados em escala 1:50 000. As verificações após o vôo foram feitas através da análise dos produtos da câmera de rastreamento. Como produto final, a empresa responsável pelo levantamento forneceu à NUCLEBRAS uma fita digital com 23 canais, dentre os quais: i) coordenadas UTM da amostragem; ii) magnetometria em nT (coletada por um magnetômetro de precessão nuclear da Geometrics (modelo G-803) montado em configuração *stinger*, precisão de 1 nT/segundo, corrigido da variação diurna, nivelamento entre linhas e remoção do IGRF; iii) gamaespectrometria em CPS, coletada por uma gamaespectrômetro Exploranium DIGRS-3001, equipado com sistema de cristais NaI-1000(Tl) portando um volume total de cristais de 16680 cm³, corrigida do *background* cósmico, efeito Compton e variações na altura de vôo (LASA, 1977). As informações aqui utilizadas foram adquiridas junto a CPRM – REFOR, via o Laboratório de Geofísica de Prospecção e Sensoriamento Remoto (LGPSR) da Universidade Federal do Ceará. As informações foram fornecidas em um arquivo digital XYZ final (onde X e Y são coordenadas UTM e Z as variáveis da magnetometria e gamaespectrometria (contagem total, Th, U e K). Os processamentos implementados sobre estas informações já corrigidas podem ser enumerados da seguinte forma:

1) Gamaespectrometria: a) análise das diferentes linhas de vôo através de inspeção visual e cálculo da quarta diferença para detecção e eliminação de valores espúrios; b) aplicação de filtro *lowpass*; c) conversão de CPS para equivalentes de Th, U, K e taxa de exposição para o canal da contagem total (CT); d) geração dos GRIDs regulares com células de 125 metros de lado ($\sim$ ¼ do espaçamento entre as linhas de vôo); e) análise dos GRIDs gerados; f) eliminação de ruídos paralelos às linhas de vôo através de

micronivelamento e filtragem direcional; g) cálculo das razões U/Th, K/Th, K/U e parâmetro F; h) análise dos GRIDs como canais isolados, composição colorida RGB e integração destes com as demais informações disponíveis;

2) Magnetometria: a) como para a gamaespectrometria, foi realizada uma análise inicial das diferentes linhas de voo para eliminação de valores espúrios. Esta análise implicou na eliminação de algumas linhas e trechos de linhas de voo portando valores errôneos e sem significado para o levantamento; b) geração e análise dos GRIDs, onde constatou-se forte componente de ruído paralela às linhas de voo; c) supressão do ruído, através de filtragem direcional (co-seno direcional) e processos de micro-nivelamento; d) sobre o GRID do campo anômalo, cálculo do sinal analítico, derivadas, etc; e) análise e integração dos diferentes produtos gerados, seja como canais isolados (imagens sombreadas ou não) e integrações com a gamaespectrometria e outras informações disponíveis.

Tanto o trabalho realizado como os resultados apresentados foram desenvolvidos com o uso das plataformas OASIS MONTAJ[®] e ERMAPPER[®].

Figura ap.5: Localização e características da amostragem do Projeto Aerogeofísico Itaitira.

O processamento das informações aerogeofísicas em questão possibilitou a obtenção de inúmeros resultados, com os principais sendo expostos no capítulo 2. Cabe ressaltar que devido a amostragem, o levantamento em questão pode ser considerado como de alta resolução, e permite a identificação de uma série de feições gamaespectrométricas e magnéticas, capazes de serem correlacionáveis em diversos graus aos aspectos lito-estruturais da região em questão. No entanto, dois pontos negativos prejudicam sobremaneira tal correlação: 1) posicionamento espacial: com base principalmente em padrões de drenagem muito bem marcados na gamaespectrometria e em menor grau à feições lito-estruturais conhecidas, estimou-se erros de posicionamento espacial das anomalias entre 0 e 3,5 km. Tais erros não possuem um padrão regular e a análise local das anomalias procuraram sempre que possível ter tais deslocamentos em mente; 2) ruído: é preciso salientar que devido aos processos de filtragem destinados à supressão do ruído paralelo às linhas de voo (direção próxima de N-S), as anomalias orientadas próximas a esta direção encontram-se de certo modo atenuadas. Isto ocorreu com maior intensidade para a magnetometria, sendo esta a informação com maior ruído do levantamento em questão.

I b) IMAGENS LANDSAT

A utilização de sensores remotos multi-espectrais no auxílio do mapeamento lito-estrutural e identificação de regiões propícias a mineralizações (portadoras de alteração hidrotermal) tem sido efetuada com certa utilidade desde o início da década de 1980. No caso da identificação de feições estruturais, sejam estas de caráter rúptil-dúctil (foliação regional, por exemplo) ou preferencialmente rúptil (fraturamento), sempre há o que se extrair das imagens em questão. Logicamente, o grau de aproveitamento de tal extração é extremamente variável conforme a região, e ainda a escolha das imagens a serem trabalhadas devem ainda contemplar questões de iluminação solar (ver Liu, 1984 para maiores detalhes). Para o caso das imagens LANDSAT-5\TM um outro fator a se considerar é que sua resolução espacial não permite grande detalhamento, uma vez que o pixel de amostragem cobre 30 metros de lado no terreno. Uma certa melhora na resolução espacial pode ser obtida com a banda com pixel de 15 metros de lado disponibilizada nas imagens LANDSAT-7\ETM. Extrair informações espectrais passíveis de serem correlacionadas à litologias específicas ou ainda à regiões portadoras de alteração hidrotermal têm sido um grande desafio, que ainda deve ter longo tempo de vida. No caso das imagens LANDSAT-5\TM esta dificuldade é acentuada devido a sua relativa baixa resolução espectral (e de certo modo espacial). No entanto, observa-se que tal dificuldade ainda existe mesmo quando são usadas imagens devidamente corrigidas oriundas de sensores com maior resolução espectral (ASTER por exemplo). Neste contexto, é importante ser colocado que existe uma correlação positiva marcante entre o grau de informação espectral aproveitada para identificação litológica e as características fisiográficas e antrópicas de uma região. Intemperismo, vegetação e padrões de uso e ocupação do solo constituem os principais problemas que praticamente inviabilizam o aproveitamento de informações espectrais oriundas de sensores remotos para serem utilizadas no mapeamento litológico de uma região.

Neste trabalho, as imagens LANDSAT\TM-5 disponíveis foram processadas e analisadas conforme técnicas descritas em Crósta (1990, 1992 e 1993), Drury (2001), Castro (1997), Lilessand e Kiefer (1997), Liu (1984), Soares e Fiori (1976), Hunt (1977), Goetz *et al.* (1983), Gilluly (1976). As informações registradas nas seis regiões do espectro eletromagnético (bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7) passaram inicialmente pelos processos de correção atmosférica (método do pixel escuro de Chaves, 1975) e geo-referenciamento (implementado através de 90 pontos de controle também identificados tanto nas imagens como nas Folhas plani-altimétricas 1:100 000 abrangidas por toda a cena 217_063 utilizada).

Tentativas de realce litológico foram implementadas visando principalmente a identificação de feições espectrais que possam ser associada à maior concentração dos íons férrico e hidroxila (análise das relações de absorção e reflexão observadas nos pares TM1_TM3 e TM5_TM7, respectivamente). As técnicas de processamento digital de imagens utilizadas incluíram a implementação de composições coloridas RGB, operações aritméticas, análise por principais componentes e sistema IHS.

Em Soares e Fiori (1976), Gilluly (1976) Liu (1984), etc, podem ser encontrados exemplos sobre a extração de feições estruturais a partir de produtos de sensores remoto (fotografias aéreas, imagens de radar, LANDSAT, etc). Objetivando promover o realce de estruturas presentes nas imagens utilizadas estas foram avaliadas em termos de bandas isoladas em tons de cinza com aumento de contraste apropriado (bandas TM-4 e TM-5) e através da imagem oriunda do cálculo da primeira principal componente calculada sobre as seis bandas utilizadas. Adicionalmente, a identificação de feições estruturais foi feita em imagens compostas

(composições coloridas RGB simples e também contendo, por exemplo, a imagem da primeira principal componente alocada no canal intensidade do sistema IHS). O traçado vetorial das feições estruturais identificadas foi implementado através da identificação e traçado manual dos assim chamados elementos de relevo (menor superfície contínua passível de repetição). Para o caso do LANDSAT\TM-5 estes podem ser identificados e traçados em um intervalo de escala de observação entre 1: 50 000 e 1: 250 000). Os lineamentos de relevo (mais regionais) podem ser observados em escalas entre 1: 100 000 e 1: 250 000).

Os principais resultados obtidos a partir das informações acima discutidas podem ser contemplados durante a caracterização das unidades lito-tectônicas identificadas e ainda durante a abordagem da estruturação encontrada. O processamento e geração dos produtos LANDSAT utilizados foram realizados na plataforma ERMAPPER®.

I c) TOPOGRAFIA SRTM

Recentemente disponibilizadas pela NASA, as imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission, Elevation Dataset*) constitui ferramenta importante a ser utilizada tanto em trabalhos de planejamento de atividades de campo como nas interpretações subsequentes a estas. A aquisição de dados foi efetuado com um sistema de radar acoplado em veículo espacial (*Spaceborne Imaging Radar-C/X-Band Synthetic Aperture Radar - SIR-C/X-SAR*) e através deste sistema foram geradas imagens da topografia de todo o planeta. Maiores detalhes podem ser encontradas nos endereços: <http://seamless.usgs.gov> e <http://www.jpl.nasa.gov/srtm/index.html>.

As imagens disponibilizadas para a América do Sul possuem pixel em torno de 90 metros de lado, sendo que os seguintes erros são atribuídos às medidas de cada pixel: a) posição horizontal igual ou menor que 20 metros (*absolute horizontal circular accuracy*); b) topografia com erros igual ou menor que 16 metros (*absolute vertical height accuracy*) e igual ou menor que 10 metros (*relative vertical height accuracy*). As precisões foram calculadas com nível de confiança de 90% segundo *National Map Accuracy Standards*.

No capítulo 1 podem ser encontrados alguns exemplos da topografia SRTM utilizada nesse estudo.

I d) SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEO-REFERENCIADAS

Técnicas básicas aplicadas em um sistema de informações geográficas foram aqui usadas com o objetivo de facilitar a organização e análise da grande e variada gama de informações já existentes e aqui geradas. Não foram realizados trabalhos visando o devido aproveitamento que este tipo de ferramenta oferece e isto deverá ser realizado em trabalhos futuros.

Informações encontradas em Bonham-Carter (1994), Worboys (1997), Stanford e MacKubbin (2000), Sowder *et al.* (1998), Arthur e Pollock (1998), ESRI (1999a e b) dentre outros, serviram de apoio aos trabalhos necessários a montagem e manuseio do acervo de informações geo-referenciadas utilizado.

Como plataforma de trabalho foram utilizados ARCVIEW 3.2 e ARCGIS 8.1, ambas desenvolvidas pela ESRI. A estrutura geral do armazenamento das informações a serem trabalhadas obedeceu o sistema de coordenadas Córrego Alegre – Sul UTM-24, sob o qual foram consideradas: 1) Informações Vetoriais: compostas por mapas geológicos, plani-altimétricos, pontos de informação e vetores diversos extraídos das informações aerogeofísicas e LANDSAT\TM. Durante o decorrer do trabalho, algumas informações originalmente em formato raster ou dispostas em tabelas foram transformadas para o formato vetorial; 2)

Informações Raster: representadas preferencialmente pelos produtos do processamento realizado sobre as imagens LANDSAT\TM, aerogeofísicas, plani-altimetria e topografia SRTM; 3) Tabelas de informações geo-referenciadas: tabelas geo-referenciadas contendo a descrição dos pontos de afloramento, petrografia (macro e micro), litogeoquímica, geocronologia e geoquímica isotópica.

Abaixo são colocados dois exemplos da utilização da ferramenta em questão, sendo que este tipo de produto foi bastante utilizado nas etapas iniciais de planejamento dos trabalhos de campo e análise posterior das inúmeras informações levantadas e já existentes.

Figura ap.6: Exemplo de utilização do banco de informações georreferenciadas utilizado. Interação entre informações de campo (descrição de afloramentos, fotos) com a plani-altimetria disponível. Complexo Tamboril-Santa Quitéria, Ponto NCC-193.

Figura ap.7: Exemplo de utilização do banco de informações georreferenciadas utilizado. Interação entre informações de campo (descrição de afloramentos, fotos) micro-fotografias e a plani-altimetria disponível. Complexo Algodões-Choró, Ponto NCC-149, amostra 149.

II) ANÁLISES ISOTÓPICAS

II a) U-Pb Convencional (zircões e monazitas)

A base da metodologia U-Pb é o decaimento dos isótopos $^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb}$ e $^{235}\text{U} \rightarrow ^{207}\text{Pb}$. O método U-Pb convencional refere-se ao método geocronológico através do qual U e Pb são isolados de um mineral acessório (principalmente zircão, monazita, titanita) e analisados quanto a sua composição isotópica através de um espectrômetro de massa com ionização de fonte sólida (Heaman e Parrish, 1991). Em relação ao zircão, o fato deste mineral possuir elevada resistência sob processos metamórficos, de fusão parcial e intemperismo torna o método U-Pb a partir deste mineral um dos mais precisos. A seguir são fornecidos pormenores sobre a preparação de amostras, tratamento e análise dos resultados.

Preparação de Amostras e Análise Isotópica

As etapas de preparação de amostras para as análises U-Pb convencional em zircão e monazita seguiu, em linhas gerais, os procedimentos atualmente em vigor na linha U-Pb do CPGeo-USP. Informações complementares podem ser encontradas em Basei *et al.* (1995), Fetter (1999) e Janasi (1999).

A passagem do material resultante do moinho de mandíbulas em moinho de disco a diferentes regulagens foi efetuada concomitante ao peneiramento para a redução total da amostra a uma granulometria menor que 0,150mm (100 mesh). O material resultante foi então submetido aos seguintes procedimentos:

- 1) mesa vibratória com água para a separação dos minerais pesados;
- 2) secagem com álcool e separação com imã de mão para eliminação dos minerais mais magnéticos e fragmentos metálicos provenientes dos moinhos;
- 3) amostras com quantidade considerável de minerais máficos (biotita, anfibólio, granada) foram submetidas ao separador magnético FRANZ[®] (amperagem de 0,3 para amostras com monazita e 0,5 para amostras sem monazita; inclinação longitudinal de 10° e transversal de 15°);
- 4) passagem nos líquidos densos (Bromofórmio e Iodeto de Metileno);
- 5) nova passagem no FRANZ[®] do concentrado oriundo dos líquidos densos. Nesta etapa, uma amperagem de 0,7 nas amostras com monazita coloca este mineral na fração mais magnética, sendo esta diretamente encaminhada para a separação em lupa binocular de alguns grãos para serem analisados. A fração densa destinada a separação do concentrado de zircão foi então submetida a uma amperagem de 1,5, o que possibilitou a obtenção de um concentrado rico em zircão, a ser encaminhado para a separação em diferentes frações magnéticas. Ainda, concentrados de zircões com quantidade considerável de sulfetos e apatitas foram submetidos ao tratamento com HNO₃ e HCl;
- 6) separação em diferentes frações magnéticas: a uma amperagem constante de 1,5 e uma inclinação longitudinal constante de 10° e transversal em torno de 15°, se deu a divisão do concentrado em diferentes frações magnéticas. Conforme as características de cada concentrado submetido a este processo, diferentes frações magnéticas são geradas. Os melhores zircões destinados a separação final encontram-se nas frações menos magnéticas, geralmente situadas nas inclinações transversais de -3°, -4°, -5°, etc. Logicamente, dependendo da característica do concentrado de zircão analisado, a amostra pode, em alguns casos, não atingir nem mesmo a separação com inclinação transversal de -2°;
- 7) as melhores frações obtidas (menos magnéticas) foram então encaminhadas para a separação final em lupa binocular. Foram escolhidos somente os melhores grãos, preferencialmente limpos, sem fraturas e

indícios de núcleos herdados. Após a separação destes grãos, estes foram subdivididos nas frações finais a serem dissolvidas conforme sua tipologia e grau de pureza. De preferência trabalhou-se com zircões da fração menos magnética, mas quando o volume de material era reduzido recorreu-se às frações mais magnéticas;

8) lavagem das frações finais: tanto zircões como monazitas foram sujeitos a sucessivas lavagem com HNO_3 e H_2O -Milli Q e fazendo uso do ultra-som para a remoção de porções externas contendo impurezas e materiais de alteração;

9) dissolução e coleta de U e Pb: com algumas modificações esta etapa seguiu o procedimento determinado por Krogh (1973). Entre 50 e 20 μg de zircões para cada fração foram colocadas em microbombas de teflon juntamente com HF, HNO_3 e *Spike* ($^{205}\text{Pb}/^{235}\text{U}$), com estas sendo acondicionadas em estruturas de aço Parr® e levadas a estufa onde permaneceram por 4 a 7 dias a uma temperatura de 200°C. As frações de monazita, por serem de mais fácil dissolução, foram acondicionadas em recipientes Savillex com H_2SO_4 e *Spike* ($^{205}\text{Pb}/^{235}\text{U}$). Estes recipientes, após fechados, foram colocados em chapa quente (~ 125°C) entre 2 e 3 dias, até a completa dissolução. O resíduo deste processo de dissolução com *Spike* (tanto para zircão como para monazita) foi então seco e convertido para cloreto com a adição de HCl. Então, a separação e purificação entre U e Pb foi realizada através de micro-colunas de troca iônica feitas de teflon, carregadas com resina de troca aniônica AG1X-8 (200-400mesh), com o Pb sendo coletado através da passagem de HCl e o U com H_2O ;

10) espectrometria de massa: a amostra com spike coletada na coluna de troca catiônica foi depositada em um filamento de Re usando sílica-gel/ H_3PO_4 . As medidas das razões isotópicas de U e Pb foram feitas no espectrômetro de massa atualmente utilizado pelo CPGeo (marca MAT-262 termo-iônico com 8 coletores (taças Faraday) e um multiplicador de elétrons com contador de íons. Ainda, correções de fracionamento isotópico foram feitas com base nos padrões NBS-981 e NBS-982. A correção de Pb comum inicial foi feita através do modelo de Stacey e Kramers (1975);

11) “branco” laboratorial: durante o procedimento das análises isotópicas (dissolução, lavagem e espectrometria de massa) a contaminação de Pb oscilou entre 10 e 60 picogramas. Após as correções no programa PBDAT, este fator foi principalmente monitorado pela razão $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}^*$ (* = não corrigido para o branco laboratorial e Pb não radiogênico. Para valores acima de 1000 para esta razão a contaminação laboratorial torna-se insignificante. Abaixo de 1000, fatores como a contaminação laboratorial e presença de Pb inicial nos cristais devem ser averiguadas. A utilização deste parâmetro para a exclusão de frações no cálculo de idades contemplou as características de cada análise e proporções isotópicas considerando todas as frações para uma dada amostra. Detalhes sobre a aplicação deste procedimento podem ser encontrado na discussão das diferentes idades obtidas.

Tratamento e Interpretação dos Resultados

Para o cálculo das idades foram usadas as constantes de decaimento

$\lambda(^{235}\text{U}) = 9,8485 \times 10^{-9} \text{ ano}^{-1}$ e $\lambda(^{238}\text{U}) = 1,55125 \times 10^{-9} \text{ ano}^{-1}$, sendo a razão $^{238}\text{U}/^{235}\text{U} = 137,88$ (segundo Steiger e Jäger, 1977).

Para cada fração analisada, a redução das inúmeras razões isotópicas medidas e o cálculo da idade com base nos diversos erros acumulados associados a cada uma das frações foi realizado no programa

PBDAT (de Berkeley Geochronology Center). Na plataforma ISOPLOT (Ludwig, 1998) as diferentes frações de cada amostra foram analisadas quanto a sua concordância e por processos de correlação linear no diagrama concórdia (figura ap.8), originalmente consagrado nos trabalhos de Ahrens (1955) e Wetherill (1956). Neste diagrama, o caso ideal de análise é quando a fração analisada situa-se sobre a curva concórdia definido assim, com base em idades iguais para as razões $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$, $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ e $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, uma idade concordante e bastante precisa. Na grande maioria dos casos, o que se tem é a dispersão das frações analisadas segundo o padrão exemplificado na figura ap.8. Neste caso o estabelecimento do grau de correlação entre as diferentes frações utilizadas e a proximidade destas com a curva concórdia são utilizados para o cálculo da provável idade de cristalização. O parâmetro MSWD (*mean square weighted deviates*) mede o grau de dispersão entre diferentes frações analisadas, considerando a soma dos desvios ao quadrado de cada fração em relação a melhor reta ajustada para todas as frações e dividindo este somatório pelo número de frações menos dois. Valores de MSWD em torno de 1 descrevem uma dispersão praticamente decorrente de erros analíticos. Padrões de dispersão em que as frações tendem a se distanciar muito do alinhamento mostrado na figura ap.8 (distanciamento da curva concórdia) sugerem grandes perdas de Pb ou mais provavelmente presença de cristais com grande componente de herança. Nestes casos de dispersão, todos os aspectos envolvidos na análise efetuada devem ser levados em conta na tentativa de explicar o resultado obtido em termos de idades, processos de perda de Pb e presença de cristais portadores de duas ou mais regiões com comportamento isotópico distinto. Tendo como base os trabalhos de Mezger e Krogstad (1977), Gebauer e Grünenfelder (1979), Krogh (1982), Watson e Harrison (1983), Kröner et al. (1987), Heaman e Parrish (1991), Hancher e Miller (1993), Krogh (1993), Pidgeon et al. (1996), Dickin (1997), Pidgeon et al. (1998), Vavra et al. (1999), Vavra & Schaltegger (1999), Connelly (2000), Rubatto & Gebauer (2000), Sircombe e Stern (2002) e Carson et al. (2002) são expostos a seguir os principais aspectos úteis na interpretação de idades U-Pb convencionais:

Figura ap.8: Diagrama concórdia exibindo a distribuição de quatro frações de zircões (elipses negras). O intercepto superior entre as curvas discórdia e concórdia é interpretado como a idade de cristalização dos zircões analisados. Fonte: adaptada de Dickin (1997) e Fetter (1999).

- a) perda de Pb: presente geralmente quando ocorre metamictização, processo através do qual os zircões podem perder Pb através da destruição de seu retículo cristalino pela ação de partículas α resultantes do decaimento radioativo do U e Th. Tal processo é favorecido em cristais, ou regiões de cristais, onde ocorre enriquecimento considerável de U. Cristais mais enriquecidos em U são mais magnéticos, e deste modo podem ser previamente excluídos da análise durante a separação das diferentes frações magnéticas. Ainda, o processo de metamictização é mínimo ou ausente no intervalo de temperatura entre 650 e 1000 °C. Fora deste intervalo, seja por difusão na rede cristalina, alteração química ou lixiviamento, as perdas de Pb são consideráveis, geralmente dando origem a razões isotópicas incapazes de fornecer boas idades. Imagens de catodo-luminescência (CL) podem ser utilizadas na identificação de regiões com baixo conteúdo em U (porções com alta luminescência), porções metamícticas (alta concentração de U, baixa luminescência) ou ainda na detecção da presença de zonamentos composicionais (feição não destruída em cristais não metamícticos);
- b) herança: ao se medir as razões isotópicas para a determinação da idade em uma fração de zircões, ou mesmo um grão isolado, é importante garantir a ausência de cristais portadores de herança, ou seja, zircões com núcleos antigos envoltos por bordas mais jovens. A prevenção de tal “mistura” pode ser conseguida através da utilização de imagens CL e *back-scattering*. Em casos onde tal feição é detectada, a obtenção de idades U-Pb por diluição isotópica não é recomendável.

II b) U-Pb SHRIMP em zircões

Preparação de Amostras e Análise Isotópica

As informações expostas a seguir foram extraídas principalmente de Compston *et al.* (1984), Heaman e Parrish (1991) e Willians (1998). Maiores detalhes inerente aos aspectos da análise e devidas correções previamente à utilização dos dados podem ser encontrados nesses trabalhos.

Inicialmente o concentrado final de zircão, o mais puro possível, e separado em diferentes frações magnéticas conforme o objetivo, é montado em um disco de *epoxy* e polido com pasta de diamante até os diferentes cristais incrustados serem seccionados aproximadamente pela metade. Após limpeza, é depositada sobre a superfície polida uma fina camada de ouro condutivo. Previamente a implementação das análises propriamente dita, os inúmeros grãos montados no disco de *epoxy* devem ser submetido a imageamento, seja por catodo-luminescência (CL) como por *back-scattering*. Para o imageamento visando o realce da estrutura interna dos cristais, ainda é bastante usado, após o polimento, um ataque rápido com HF levemente aquecido.

Uma vez realizado o imageamento dos cristais e determinados os locais de análise, esta propriamente dita é realizada nas seguintes etapas principais: 1) um feixe de íons de oxigênio de alta energia atinge a superfície do material a ser analisado, causando ionização dos átomos presentes no volume atingido pelo *spot de análise* (cerca de 25-35 μm de diâmetro e uma profundidade de até 5 μm); 2) os íons removidos pela ação do campo elétrico são encaminhados para a separação dos diferentes isótopos sob a ação de campo eletro-magnético intenso; 3) uma vez separados, a quantidade dos diferentes isótopos de interesse pode ser medida nos coletores utilizados.

Tratamento e Interpretação dos Resultados

Após implementadas as devidas correções (fracionamento isotópico, Pb comum, etc), a análise dos resultados obtidos é comumente feita nos diagramas tipo concórdia e Tera-Wasserburg (figura ap.9). Este tipo de diagrama é mais indicado para casos em que as amostras são relativamente jovens e portadoras de pouco Pb radiogênico. Adicionalmente, em casos onde o número de *spots* analisados é relativamente grande (análise de zircões detriticos por exemplo), opta-se ainda pelo tratamento das idades na forma de histogramas.

Figura ap.9: Diagrama Tera-Wasserburg. Quatro frações de zircões (elipses negras)

II c) Th-U-Pb, em monazitas

Devido principalmente ao fato do mineral monazita ser extremamente rico em U e Th e consequentemente Pb radiogênico, estes elementos atingem concentrações capazes de serem detectadas em uma análise de microsonda eletrônica (EPMA – *electron probe microanalysis*). Neste caso, a presença de Pb não radiogênico é assumida como desprezível para amostras com mais de 70-100 Ma, sendo a temperatura de fechamento do sistema entre 700-750 °C (Parrich,1990).

Em linhas gerais, a preparação da amostra segue a mesma linha da utilizada para uma análise de microsonda multi-elementar. A seção delgada é preparada, devidamente polida com pasta de diamante, limpa e então coberta com fina película de carbono condutor.

As análises efetuadas neste trabalho foram realizadas no laboratório de microsonda eletrônica da Universidade de São Paulo utilizando um espectrômetro 5-WDS JEOL JXA-8600 e um sistema de automação NORAN/Voyager EDS/WDS. O imageamento dos grãos foi efetuado por BSE (*backscattering*

electrons). Maiores detalhes sobre os procedimentos de análise, correções e cálculo das idades apresentadas podem ser encontrados em Vlach e Gualda (2000), Montel *et al.* (1996 e 2000), Vlach e Del Lama (2002) e Vlach *et al.* (2003).

O tratamento e exposição dos resultados geocronológicos obtidos pode ser efetuado em tabelas organizadas, diagramas de distribuição de idades e isocronicos. O último caso é utilizado quando as proporções entre Pb, Th e U define um espalhamento considerável que pode ser utilizado para o cálculo de isócronas. Quando tal espalhamento não ocorre, ou de modo complementar a um diagrama isocronico, a visualização e análise de um conjunto de idades pode ser efetuada em diagramas de distribuição gaussiana. Nestes diagramas, a idade obtida para cada análise (*spot*) e a idade média de todo o conjunto (todo o grão ou grãos de uma amostra) podem ser analisados conjuntamente através de curvas de distribuição gaussiana calculadas com base em cada idade e o erro (em desvio padrão) a esta idade associado. A figura ap.10 exemplifica os dois tratamentos mais comumente empregados na análise de idades U-Th-Pb em monazitas.

Figura ap.10: Diagrama isocronico catiônico para monazitas registrando metamorfismo de contato (~2,06 Ga) no Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais). Na figura menor interna encontra-se a distribuição da idade aparente de cada *spot* de análise e a curva gaussiana resultante considerando todos os *spots*. Fonte: Vlach *et al.* (2003).

II d) Sm-Nd em rocha total

A base desta metodologia é o decaimento $^{147}\text{Sm} \rightarrow ^{143}\text{Nd}$. Este sistema isotópico é ferramenta importante em estudos regionais e de evolução crustal. Atualmente existe um número considerável de trabalhos com base nesta metodologia, praticamente originados com os trabalhos realizados por DePaolo e colaboradores na década de 1980. Com base nos trabalhos de DePaolo (1981 e 1988), Dickin, 1997), Nelson e

DePaolo (1985) e Sato (1998) os seguintes pontos principais podem ser colocados sobre a aplicabilidade do sistema em questão em estudos geológicos:

1) Sm e Nd são elementos terras raras leves (LREE) e apresentam comportamento geoquímico bastante parecido devido ao fato de possuírem mesma valência e raios iônicos muito próximos. Esta característica é responsável principalmente pelo reduzido intervalo da razão Sm/Nd conhecido tanto para rochas como minerais (0,1 a 0,54). Ainda, devido a sua forte densidade de carga (3+) e o número atômico elevado, tanto Sm como Nd praticamente não apresentam difusão no estado sólido, o que resulta numa mobilidade bastante reduzida em escala de rocha total;

2) Devido principalmente aos seus comportamentos geoquímicos similares apresentadas no item anterior, postula-se que processos que ocorrem dentro da crosta continental (diagênese, metamorfismo, deformação, intemperismo, fusão parcial, etc) causam pouco ou nenhum fracionamento entre Sm e Nd. Deste modo, a premissa maior na interpretação, seja de idades modelo como o parâmetro ϵ_{Nd} , é que somente a diferenciação manto → crosta é capaz de fracionar os terras raras em questão, e ocasionar significativa mudança na razão Sm/Nd;

3) Os parâmetros ϵ_{Nd} e idades modelo:

A definição do parâmetro ϵ_{Nd} foi inicialmente proposta no trabalho de DePaolo e Wasserburg (1976), e mede o enriquecimento ou empobrecimento do isótopo radiogênico ^{143}Nd de uma amostra qualquer em relação ao CHUR (*Chondritic Uniform Reservoir*), sendo:

$$\epsilon_{Nd(t)} = \left[\frac{\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right)_{\text{am}(t)} - 1}{\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right)_{\text{CHUR}(t)} - 1} \right] \times 10^4$$

am (amostra)
(t) idade de cristalização
CHUR
(*Chondritic Uniform Reservoir*)

Para um dado tempo, valores positivos de $\epsilon_{Nd}(t)$ decorrem de elevadas razões Sm/Nd, indicando uma fonte empobrecida em terras raras leves (LREE) em relação ao CHUR (manto depletado). Ao contrário, os valores de $\epsilon_{Nd}(t)$ negativos indicam uma fonte enriquecida em LREE (baixa razão Sm/Nd) com relação ao CHUR (crosta continental).

Idades modelo correspondem ao tempo em que uma determinada amostra ou unidade geológica possuía um valor de ϵ_{Nd} igual a de sua fonte assumida (manto depletado ou CHUR). Preferencialmente trabalha-se com idades modelo em relação ao manto depletado (TDM), uma vez que estas parecem ser de mais fácil associação com eventos de acreção crustal. Graficamente, a definição de uma idade modelo pode ser visualizada na figura ap.11.

Figura ap.11: Diagrama ilustrando a evolução isotópica do Nd. O distanciamento entre as curvas do manto depletado (DM) e CHUR (*chondritic uniform reservoir*) foi exagerado para efeito de representação. T_c representa a idade de cristalização de uma amostra ou unidade geológica. $T(CHUR)$ e $T(DM)$ representam idades modelo Sm-Nd. $T(DM)^*$ são idades modelo errôneas originadas por fracionamento ocorrido em T_c .

Fonte: adaptada de Pimentel e Charnley (1991).

Ainda, o cálculo das idades modelo em relação ao manto depletado *Depleted Mantle – DM*), pode ser efetuado com base na equação abaixo:

$$\epsilon_{Nd}t = 0,25 T^2 - 3T + 8,5$$

segundo DePaolo (1981)

onde T = idade modelo

Os principais fatores a serem levados em conta na interpretação dos valores de ϵ_{Nd} e idades (TDM) são:

- 1) Mistura de fontes: a problemática de se ter misturas de materiais juvenis e de crosta continental mais antigas foi primeiramente abordado por Arndt e Goldstein (1987). Conforme sugestão destes autores, uma idade modelo só é verdadeira se coincidir com idades de cristalização determinadas para a amostra considerada (U-Pb em zircões por exemplo). Por outro lado, se as idades modelo determinadas posicionarem-se entre os valores obtidos para as idades U-Pb, é mais provável que aquelas representem uma idade média decorrente da mistura de diferentes fontes (mais antigas e mais jovens);

- 2) Fracionamentos e estágio duplo: outro aspecto a se levar em conta é o possível fracionamento isotópico entre Sm e Nd após a diferenciação inicial do manto para a crosta continental. Como já abordado por Pimentel e Charnley (1991) e Sato (1998), fracionamento considerável entre Sm e Nd pode ocorrer através de processos metamórficos (enriquecimento em Sm pela cristalização de granada) e ígneos (enriquecimento em Nd pela cristalização de alanita). Neste contexto, o cálculo de valores de ϵ_{Nd} e (TDM) são incorretos, e uma alternativa é o cálculo em estágio duplo para quando se conhece aproximadamente a idade em que ocorreu o evento ígneo ou metamórfico responsável pelo fracionamento. Sato (1998), através do cálculo da idade modelo em estágio duplo, apresenta uma alternativa quando tal fenômeno é observado. Para este autor, a identificação da necessidade do cálculo em estágio duplo pode ser feita através da razão $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ (valores fora do intervalo de 0,08 e 0,14) ou ainda pela análise do parâmetro $f_{\text{Sm}/\text{Nd}}$ (-0,24 a -0,60). Para isto, o parâmetro $f_{\text{Sm}/\text{Nd}}$ fica definido como:

$$f_{\text{Sm}/\text{Nd}} = \frac{\left(^{147}\text{Nd} / ^{144}\text{Nd} \right)_{\text{am}} - \left(^{147}\text{Nd} / ^{144}\text{Nd} \right)_{\text{CHUR}}}{\left(^{147}\text{Nd} / ^{144}\text{Nd} \right)_{\text{CHUR}}}$$

am (amostra)
CHUR
(Chondritic Uniform Reservoir)

Preparação de Amostras e Análise Isotópica

O material pulverizado em moinhos de ágata destinado às análises litogeoquímicas foi quarteado e parte resultante foi destinado às análises isotópicas Sm-Nd. Pormenores dos inúmeros passos utilizados podem ser encontrados em Patchett e Ruiz (1987), Sato *et al.* (1995) e Gioia e Pimentel (2000).

Sumariamente, três principais etapas podem ser colocadas:

- a dissolução da amostra com HNO_3 e HF em recipiente Savillex, acondicionados em estruturas de aço Parr® e submetidas a temperaturas de 180°C por cerca de 5 a 7 dias;
- separação Sm-Nd: utilizando dois conjuntos de colunas de separação (primária e secundária). Na coluna primária os terras raras são separados dos demais elementos através de troca iônica realizada em resina AG50W-X8 (100-200mesh) e HCl a diversas concentrações. A separação entre Sm e Nd na coluna secundária se dá em meio a pó de teflon, também utilizando HCl a diversas concentrações;
- espectrometria de massa: etapa iniciada com a deposição do concentrado de Sm juntamente com H_3PO_4 em filamentos de Ta e deposição do concentrado de Nd juntamente com H_3PO_4 e resina catiônica AG50W-X8 em filamentos de Re. Correções, testes de precisão e reprodutibilidade foram feitos com os padrões La Jolla e BCR-1;
- “branco” laboratorial: desprezível para a concentrações de Sm e Nd em questão.

II e) Ar-Ar (micas e anfibólios)

O método Ar-Ar é relativamente recente no CPGeo-USP. É uma variante do consagrado método K-Ar e uma das diferenças entre estes é a necessidade da amostra ter que ser submetida a ação de neutrons em reator nuclear. Uma síntese de informações presentes em Dickin (1997), Hanes (1991) e Vasconcelos *et al.* (2002) permite expor abaixo as principais características do método em questão.

O método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ baseia-se na medida do ^{40}K na amostra por análise de ativação neutrônica. Inicialmente, para a conversão de pequenas proporções de átomos ^{39}K em ^{39}Ar , a amostra a ser analisada é irradiada em um reator nuclear sob fluxo de neutrons de alta energia. Após a radiação induzida decair a níveis aceitáveis para o manuseio, a amostra é então aquecida pela ação de laser em condições de ultra-alto vácuo. A fração de gás extraída é então encaminhada ao espectrômetro para a determinação das razões isotópicas desejadas. Uma vez que o ^{39}Ar produzido é proporcional ao conteúdo em ^{39}K da amostra e ainda a existência de uma razão fixa de ^{39}K para ^{40}K , então a medida de ^{39}Ar na amostra conduz a determinação da quantidade de ^{40}K . Deste modo, a razão $^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$ é proporcional a razão $^{40}\text{Ar}^*/^{40}\text{K}$, possibilitando assim o cálculo da idade da amostra através da equação abaixo.

$$t = 1 / \lambda \ln \left[\left(^{40}\text{Ar}^* / ^{39}\text{Ar} \right) (J) + 1 \right]$$

J = parâmetro de
irradiação relacionado a
eficiência da conversão
 ^{39}K para ^{39}Ar

$^{40}\text{Ar}^* = ^{40}\text{Ar}$
radiogênico

Ainda, durante o processo de irradiação, a interação de alguns elementos químicos (Ca e K principalmente) com os neutrons pode gerar interferências na análise $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$. Estas interações acabam por produzir isótopos de Ar fora do esquema de decaimento natural. Por isso, fatores de correção são determinados para cada condição de irradiação para posteriormente serem aplicados e propiciar maior exatidão nos resultados obtidos.

Uma das grandes vantagens do método em questão é a possibilidade de se realizar a liberação de gás para análise em etapas distintas (*step heating*), desde a liberação sob algumas centenas de graus °C até a fusão total da amostra. Esta liberação em etapas possibilita que sub-sistemas anômalos dentro de uma amostra sejam analisados e se for o caso excluídos na determinação da idade desta amostra. Deste modo, a técnica de *step heating* possui grande utilidade na identificação de amostras que apresentam perda ou herança de Ar, ou ainda, a possível presença de mais de uma geração ou fase mineral identificada por variações na relação K/Ca.

A apresentação dos resultados Ar/Ar normalmente é feita sob a forma de espectro de idades (figura ap.12). Mais recentemente tem-se utilizado ideogramas (densidade de probabilidade de idades) para casos em que dados de mais de uma análise da mesma amostra estão disponíveis. Outras formas de apresentação, como diagrama isocrônico, podem ser utilizadas desde que os dados propiciem a obtenção de bons parâmetros estatísticos (espalhamento) para o cálculo de idades.

Figura ap.12: Espectro de idades gerado por *step heating*. Biotita extraída da amostra NCC-05A analisada no CPGeo-USP.

Muitas vezes o padrão do espectro de idades foge do mostrado na figura ap.12 e as possíveis explicações podem ser atribuídas a perda de Ar, excesso de Ar, resfriamentos lentos e ao fenômeno de *recoil*. A perda de Ar é geralmente devida a ação de um ou mais eventos térmicos após a cristalização da amostra em análise (metamorfismo de contato por exemplo). No primeiro caso, o espectro de idades obtido mostra as idades mais jovens associadas às temperaturas de extração mais baixas, com ambas aumentando gradativamente. No segundo caso o espectro de idades deve ser mais complexo. Espectros de idade complexos ainda podem ser explicados por mistura de fases com distintos comportamentos isotópicos, característica comum quando são analisados minerais com lamelas de exsolução, rochas muito finas com diferentes fases minerais, etc. Análises em minerais que experimentaram resfriamento lento ainda podem resultar em espectros parecidos com os que associam-se aos casos de perda de Ar. No entanto, dada a relativa continuidade temporal associada ao resfriamento lento, o espectro de idades é mais contínuo e a idade obtida durante a liberação de gás associada à mais baixa temperatura deve ser próxima à correspondente ao fechamento do sistema em questão.

O excesso de Ar é resultante do Ar que foi aprisionado pela amostra durante sua formação, Ar este não resultante do decaimento do ^{40}K . Com relação à muscovita e hornblenda, cristais de biotita são mais propensos a adquirir excesso de Ar e deste modo idades *plateau* mais antigas associadas a biotitas em relação a estes outros dois minerais é um bom indicador do fenômeno em questão.

Em materiais muito finos com baixa retentividade de Ar o fenômeno de *recoil* (“recuo”) pode ocorrer durante a irradiação devido a baixa retentividade do Ar na estrutura analisada. Em alguns casos a

perda de Ar pode ser total, mas comumente ocorre perda parcial de ^{39}Ar , o que tende a originar idades bme mais antigas que as verdadeiras.

Preparação de Amostras e Análise Isotópica

Durante o peneiramento das amostras destinadas às análises U-Pb extraiu-se pequena quantidade de material no intervalo granulométrico entre 60 e 100mesh, a qual foi então encaminhada para a separação de grãos minerais destinados às análises Ar-Ar.

Conforme a amostra, dentro do mencionado intervalo granulométrico foram obtidos grãos de biotita, muscovita e anfibólio praticamente desprovidos de outros minerais incrustados. Cerca de 50-100 grãos então foram lavados com álcool e deixados secar rapidamente sob lâmpadas de aquecimento e a uma certa distância para não promover super-aquecimento dos grãos.

A montagem em recipientes apropriados (discos de alumínio) permite então que os grãos selecionados possam ser enviados para o processo de irradiação em reator nuclear. Posteriormente, após uma segura diminuição da radiatividade induzida, os grãos são analisados em condições de ultra-alto vácuo, onde o Ar é extraído do(s) mineral(is) através de aquecimento com laser focado.

Detalhes desta metodologia podem ser encontrados em McDougall e Harrinson (1999) e Vasconcelos et al.(2002).

Anexo 3: Análises Ar-Ar (laboratório CPGeo-Igc-USP), espectros de idades e informações analíticas.

2003 / NCC-160A / Biotita

Idiograma-análises 2003-01+02 / NCC-160A / Biotita
(somente etapas de platTMs)

2004 / NCC-160A / Hornblenda

1536 / NCC-140B / Biotite

1536-01 - Total Fusion

Age: 599.4 ± 8 Ma

Ideogram for Grains 1536-01+02+03 / NCC-140B / Biotite / 2σ
(Plateau steps + Total Fusion)

1537 / NCC-140B / Hornblende

1541 / NCC-139B / Biotite

Ideogram for Grains 1541-01+02+03 / NCC-139B / Biotite / 2σ (Plateau steps only)

1540 / NCC-154 / Hornblende

Ideogram for Sample 1540 / NCC-1154 / Hornblende (NA)

1530 / NCC-17 / Biotite

Ideogram for Grains 1530-01+02+03 / NCC-17 / Biotite / 2σ (Plateau steps only)

1531 / NCC-17 / Muscovite

Ideogram for Grains 1531-01+02+03 / NCC-17 / Muscovite / 2σ (All steps)

1528 / NCC-05A / Muscovite

Ideogram for Grains 1528-01+02+03 / NCC-05A / Muscovite / 2σ (Plateau steps only)

1527 / NCC-05A / Biotite

Ideogram for Grains 1527-01+02+03 / NCC-05A / Biotite / 2σ (All Steps)

1538 / NCC-101B / Biotite

Ideogram for Grains 1538-01+02+03 / NCC-101B / Biotite / 2σ (Plateau steps only)

1539 / NCC-101B / Hornblende

Ideogram for Grains 1539-01+02+03 / NCC-101B / Hornblende / 2σ (Plateau steps only)

1533 / NCC-36B / Biotite

Ideogram for Grains 1533-01+02&03 / NCC-36B / Biotite / 2σ (Plateau steps only)

1534 / NCC-36B / Hornblende

Ideogram for Grains 1534-01&02+03 / NCC-36B / Hornblende / 2σ
(Plateau steps only)

2002 / NCC-99 / Anfib—IIo

CPGeo-IGc/USP Ar/Ar Analytical Data

Sample	Material	Age(Ma)	±(Ma)	40/39	38/39	37/39	36/39	40*/39	% Rad	J	±	Discr.	±	Ar40(nA)	Ar40(mols)	Laser(W)
NCC-05A	biotita	411,78	13,59	44,60505	0,02330	0,00000	0,02683	36,67789	82,2	0,0069906	3,80E-06	1,0061	0,0013	0,0662	1,26E-15	0,3
NCC-05A	biotita	573,07	1,77	54,48779	0,01494	0,00000	0,00339	53,48634	98,2	0,0069906	3,80E-06	1,0061	0,0013	3,3731	6,41E-14	0,6
NCC-05A	biotita	596,77	1,30	58,11692	0,01376	0,00000	0,00011	56,08461	99,9	0,0069906	3,80E-06	1,0061	0,0013	6,0473	1,16E-13	0,9
NCC-05A	biotita	597,87	1,31	56,44933	0,01584	0,07057	0,00085	56,20619	99,6	0,0069906	3,80E-06	1,0061	0,0013	2,7274	5,19E-14	1,2
NCC-05A	biotita	597,45	3,34	56,17954	0,01343	0,00000	0,00006	56,16019	100,0	0,0069906	3,80E-06	1,0061	0,0013	2,2131	4,21E-14	1,6
NCC-05A	biotita	596,86	1,52	56,20446	0,01269	0,00000	0,00037	56,09443	99,8	0,0069906	3,80E-06	1,0061	0,0013	2,9829	5,62E-14	2,0
NCC-05A	biotita	597,58	6,69	56,40294	0,01321	0,06007	0,00080	56,17387	99,6	0,0069906	3,80E-06	1,0061	0,0013	3,4265	6,76E-14	2,5
NCC-05A	biotita	599,11	1,47	56,53379	0,01484	0,03634	0,00066	56,34367	99,7	0,0069906	3,80E-06	1,0061	0,0013	2,3947	4,55E-14	3,2
NCC-05A	biotita	569,23	7,72	55,50022	0,02096	2,61489	0,00924	53,06847	95,5	0,0069906	3,80E-06	1,0061	0,0013	0,1857	3,55E-15	4,2
NCC-05A	biotita	595,16	2,58	56,66607	0,01366	0,39857	0,00272	55,90715	98,6	0,0069906	3,80E-06	1,0061	0,0013	1,0260	1,96E-14	5,2
NCC-05A	biotita	549,27	2,87	54,37344	0,01535	0,00000	0,01172	50,91055	93,6	0,0069906	3,80E-06	1,0049	0,0013	0,6664	1,26E-14	0,5
NCC-05A	biotita	563,45	1,52	52,90237	0,01384	0,00000	0,00156	52,44119	99,1	0,0069906	3,80E-06	1,0049	0,0013	3,0805	5,83E-14	0,8
NCC-05A	biotita	577,46	1,14	53,90472	0,01315	0,00000	-0,00021	53,96532	100,1	0,0069906	3,80E-06	1,0049	0,0013	3,5188	6,70E-14	1,2
NCC-05A	biotita	576,30	1,15	53,78777	0,01242	0,00000	-0,00017	53,83777	100,1	0,0069906	3,80E-06	1,0049	0,0013	5,2827	1,00E-13	1,8
NCC-05A	biotita	575,95	1,78	53,92289	0,01365	0,00000	0,00042	53,79958	99,8	0,0069906	3,80E-06	1,0049	0,0013	4,2985	8,20E-14	2,5
NCC-05A	biotita	576,73	1,32	54,00407	0,01311	0,00000	0,00040	53,88554	99,8	0,0069906	3,80E-06	1,0049	0,0013	1,6719	3,18E-14	3,2
NCC-05A	biotita	569,03	1,94	53,55816	0,01429	0,09554	0,00177	53,04583	99,0	0,0069906	3,80E-06	1,0049	0,0013	1,1257	2,15E-14	5,2
NCC-05A	biotita	476,70	4,46	46,38427	0,01302	0,00000	0,01056	43,26249	93,3	0,0069906	3,80E-06	1,0049	0,0013	0,3112	5,91E-15	0,4
NCC-05A	biotita	545,26	1,95	51,42701	0,01516	0,00000	0,00320	50,48000	98,2	0,0069906	3,80E-06	1,0049	0,0013	2,5853	4,92E-14	0,7
NCC-05A	biotita	550,11	1,46	51,02436	0,01221	0,00000	0,00008	51,00050	100,0	0,0069906	3,80E-06	1,0049	0,0013	4,1208	7,84E-14	1,0
NCC-05A	biotita	554,47	1,83	51,56192	0,01288	0,00000	0,00031	51,47015	99,8	0,0069906	3,80E-06	1,0049	0,0013	4,4357	8,45E-14	1,5
NCC-05A	biotita	556,50	1,49	51,80355	0,01351	0,00000	0,00039	51,68897	99,8	0,0069906	3,80E-06	1,0049	0,0013	4,7125	8,96E-14	2,2
NCC-05A	biotita	556,11	1,41	51,76141	0,01359	0,00000	0,00039	51,64668	99,8	0,0069906	3,80E-06	1,0049	0,0013	4,8482	9,23E-14	3,2
NCC-05A	biotita	558,11	1,45	51,83039	0,01376	0,00000	-0,00011	51,86343	100,1	0,0069906	3,80E-06	1,0049	0,0013	5,3943	1,03E-13	5,2
NCC-05A	muscovita	540,11	32,67	63,06877	-0,00531	0,00000	0,04446	49,92757	79,2	0,0069906	3,80E-06	1,0061	0,0013	0,0340	6,52E-16	0,4
NCC-05A	muscovita	577,40	5,29	56,07638	0,00974	0,00000	0,00716	53,95871	96,2	0,0069906	3,80E-06	1,0061	0,0013	0,3256	6,17E-15	0,8
NCC-05A	muscovita	578,83	2,14	56,41156	0,01341	0,00000	0,00777	54,11444	95,9	0,0069906	3,80E-06	1,0061	0,0013	1,5874	3,02E-14	1,2
NCC-05A	muscovita	578,87	1,39	54,95097	0,01175	0,00000	0,00281	54,11897	98,5	0,0069906	3,80E-06	1,0061	0,0013	3,5041	6,65E-14	1,6
NCC-05A	muscovita	578,38	1,62	54,46307	0,01242	0,00000	0,00134	54,06574	99,3	0,0069906	3,80E-06	1,0061	0,0013	4,3764	8,35E-14	2,0
NCC-05A	muscovita	576,49	1,35	54,79746	0,01282	0,13482	0,00323	53,85915	98,3	0,0069906	3,80E-06	1,0061	0,0013	3,9420	7,50E-14	2,5
NCC-05A	muscovita	579,95	2,50	54,37468	0,01092	0,00000	0,00046	54,23697	99,7	0,0069906	3,80E-06	1,0061	0,0013	0,8182	1,55E-14	3,0
NCC-05A	muscovita	577,45	3,38	54,10738	0,00926	0,00000	0,00048	53,96355	99,7	0,0069906	3,80E-06	1,0061	0,0013	0,4669	8,90E-15	3,7
NCC-05A	muscovita	574,46	7,58	53,42072	0,01359	0,00000	-0,00073	53,63721	100,4	0,0069906	3,80E-06	1,0061	0,0013	0,1948	3,78E-15	4,4
NCC-05A	muscovita	584,64	1,66	54,95295	0,01129	0,01388	0,00069	54,75043	99,6	0,0069906	3,80E-06	1,0061	0,0013	1,6595	3,16E-14	5,2
NCC-05A	muscovita	499,06	55,85	69,89978	0,09318	0,00000	0,08231	45,58613	65,2	0,0069906	3,80E-06	1,0049	0,0013	0,0283	5,39E-16	0,6
NCC-05A	muscovita	409,34	33,24	55,26916	0,06925	10,45658	0,06740	36,43505	65,5	0,0069906	3,80E-06	1,0049	0,0013	0,0452	8,64E-16	1,0
NCC-05A	muscovita	576,71	9,53	56,26885	0,01255	0,00000	0,00807	53,88318	95,8	0,0069906	3,80E-06	1,0049	0,0013	0,1748	3,34E-15	1,5
NCC-05A	muscovita	584,48	4,43	64,34352	0,01986	0,30720	0,03264	54,73311	85,0	0,0069906	3,80E-06	1,0049	0,0013	0,5550	1,06E-14	1,9
NCC-05A	muscovita	582,47	1,57	57,72536	0,01299	0,04572	0,01089	54,51254	94,4	0,0069906	3,80E-06	1,0049	0,0013	2,6419	5,02E-14	2,3
NCC-05A	muscovita	582,97	1,18	54,95232	0,01135	0,00000	0,00130	54,56699	99,3	0,0069906	3,80E-06	1,0049	0,0013	5,4888	1,04E-13	2,8
NCC-05A	muscovita	581,87	1,31	54,77152	0,01315	0,00938	0,00110	54,44657	99,4	0,0069906	3,80E-06	1,0049	0,0013	16,3605	3,11E-13	4,3
NCC-05A	muscovita	583,73	1,59	54,90025	0,01161	0,00000	0,00084	54,65062	99,5	0,0069906	3,80E-06	1,0049	0,0013	16,3356	3,09E-13	5,2
NCC-05A	muscovita	666,42	15,98	64,83673	-0,01702	0,00000	0,00307	63,92316	98,6	0,0069906	3,80E-06	1,0049	0,0013	0,0871	1,65E-15	0,8
NCC-05A	muscovita	599,24	6,30	59,52697	0,00846	0,00000	0,01072	56,35822	94,7	0,0069906	3,80E-06	1,0049	0,0013	0,3591	6,81E-15	1,3
NCC-05A	muscovita	578,44	2,98	59,14098	0,01446	0,00000	0,01715	54,07142	91,4	0,0069906	3,80E-06	1,0049	0,0013	0,8490	1,61E-14	1,6
NCC-05A	muscovita	584,80	1,68	55,63055	0,01180	0,00000	0,00292	54,76799	98,4	0,0069906	3,80E-06	1,0049	0,0013	1,9885	3,79E-14	1,9
NCC-05A	muscovita	581,57	1,64	54,33444	0,01002	0,00000	-0,00027	54,41372	100,1	0,0069906	3,80E-06	1,0049	0,0013	2,0146	3,83E-14	2,3
NCC-05A	muscovita	573,01	1,14	53,74794	0,01179	0,00000	0,00091	53,47906	99,5	0,0069906	3,80E-06	1,0049	0,0013	17,7557	3,37E-13	3,7
NCC-05A	muscovita	574,53	1,03	53,85488	0,01121	0,00000	0,00071	53,64523	99,6	0,0069906	3,80E-06	1,0049	0,0013	21,2192	4,04E-13	5,2

CPGeo-IGc/USP Ar/Ar Analytical Data

Sample	Material	Age(Ma)	±(Ma)	40/39	38/39	37/39	36/39	40*/39	% Rad	J	±	Discr.	±	Ar40(nA)	Ar40(mois)	Laser(W)
NCC-17	biotita	446,08	19,06	52,70761	0,01593	2,83727	0,04358	40,12788	76,0	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	0,0531	1,00E-15	0,3
NCC-17	biotita	590,94	1,36	56,06006	0,01452	0,00000	0,00209	55,44211	98,9	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	5,3175	1,01E-13	0,7
NCC-17	biotita	593,84	1,38	55,83946	0,01385	0,00000	0,00026	55,76194	99,9	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	7,1646	1,37E-13	1,1
NCC-17	biotita	592,20	1,14	55,60233	0,01366	0,00000	0,00007	55,58090	100,0	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	3,3045	6,29E-14	1,5
NCC-17	biotita	592,70	1,35	55,73898	0,01335	0,00000	0,00035	55,63667	99,8	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	4,2192	8,02E-14	2,0
NCC-17	biotita	594,43	1,37	56,00211	0,01388	0,00000	0,00059	55,82692	99,7	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	5,4401	1,03E-13	2,6
NCC-17	biotita	591,84	1,32	55,73158	0,01462	0,02759	0,00065	55,54124	99,7	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	3,7619	7,15E-14	3,3
NCC-17	biotita	593,88	1,29	55,81093	0,01483	0,00635	0,00015	55,76662	99,9	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	2,2975	4,36E-14	4,2
NCC-17	biotita	600,31	2,05	56,92591	0,01546	0,10885	0,00156	56,47619	99,2	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	1,0943	2,08E-14	5,2
NCC-17	biotita	540,67	2,41	53,65232	0,01627	0,00000	0,01240	49,98751	93,2	0,0069906	3,80E-06	1,0049	0,0013	0,8004	1,52E-14	0,5
NCC-17	biotita	583,60	1,23	54,86335	0,01235	0,00000	0,00077	54,63641	99,6	0,0069906	3,80E-06	1,0049	0,0013	5,6295	1,07E-13	0,8
NCC-17	biotita	585,01	1,21	54,88081	0,01409	0,00000	0,00030	54,79053	99,8	0,0069906	3,80E-06	1,0049	0,0013	5,9594	1,13E-13	1,2
NCC-17	biotita	587,48	1,73	55,13219	0,01399	0,00000	0,00024	55,06232	99,9	0,0069906	3,80E-06	1,0049	0,0013	3,4705	6,60E-14	1,6
NCC-17	biotita	584,31	1,20	54,80952	0,01347	0,00000	0,00032	54,71378	99,8	0,0069906	3,80E-06	1,0049	0,0013	6,2161	1,18E-13	2,2
NCC-17	biotita	585,91	1,08	54,98909	0,01369	0,00000	0,00033	54,89012	99,8	0,0069906	3,80E-06	1,0049	0,0013	5,4134	1,03E-13	2,8
NCC-17	biotita	581,97	1,15	54,68278	0,01273	0,06941	0,00078	54,45838	99,6	0,0069906	3,80E-06	1,0049	0,0013	4,0263	7,66E-14	3,5
NCC-17	biotita	588,24	1,78	55,16578	0,01336	0,00000	0,00007	55,14596	100,0	0,0069906	3,80E-06	1,0049	0,0013	2,2268	4,23E-14	5,2
NCC-17	biotita	549,74	1,32	53,79741	0,01594	0,00000	0,00960	50,96128	94,7	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	2,0571	3,90E-14	0,5
NCC-17	biotita	581,14	1,28	54,67097	0,01337	0,00000	0,00103	54,36755	99,4	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	4,5949	8,75E-14	0,8
NCC-17	biotita	578,51	1,44	54,01815	0,01390	0,00000	-0,00021	54,07937	100,1	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	2,1294	4,04E-14	1,2
NCC-17	biotita	570,50	1,17	53,60377	0,01481	0,12794	0,00139	53,20640	99,3	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	2,1202	4,03E-14	1,6
NCC-17	biotita	587,03	1,12	55,18694	0,01351	0,03213	0,00060	55,01284	99,7	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	3,7644	7,20E-14	2,2
NCC-17	biotita	589,55	1,78	55,51783	0,01361	0,01307	0,00078	55,28975	99,6	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	2,0680	3,92E-14	2,8
NCC-17	biotita	588,92	1,81	55,21551	0,01412	0,00000	-0,00002	55,21996	100,0	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	0,7916	1,50E-14	3,5
NCC-17	biotita	588,46	2,91	55,42047	0,01350	0,00000	0,00085	55,16991	99,5	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	0,5022	9,59E-15	5,2
NCC-17	muscovita	364,63	72,35	53,60386	-0,00008	12,16258	0,07707	32,04113	59,3	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	0,0147	2,80E-16	0,4
NCC-17	muscovita	581,34	15,95	71,96695	0,00956	1,30939	0,05998	54,38946	75,5	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	0,1275	2,43E-15	0,8
NCC-17	muscovita	560,88	6,86	66,39043	0,02225	1,71918	0,04880	52,16278	78,5	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	0,2577	4,92E-15	1,2
NCC-17	muscovita	577,39	1,87	54,69152	0,01177	0,08961	0,00252	53,95696	98,7	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	2,7920	5,32E-14	1,7
NCC-17	muscovita	572,81	0,95	53,53642	0,01187	0,00000	0,00026	53,45795	99,9	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	6,4682	1,23E-13	2,2
NCC-17	muscovita	566,01	1,57	52,83659	0,01173	0,00000	0,00040	52,71835	99,8	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	2,4866	4,73E-14	2,8
NCC-17	muscovita	547,04	3,27	51,02324	0,00931	0,00000	0,00119	50,67015	99,3	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	0,4282	8,13E-15	3,5
NCC-17	muscovita	569,73	2,93	53,24483	0,00635	0,00000	0,00041	53,12273	99,8	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	0,4143	7,90E-15	4,4
NCC-17	muscovita	572,88	1,49	53,50634	0,01130	0,00000	0,00014	53,46576	99,9	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	2,4748	4,71E-14	5,2
NCC-17	muscovita	547,13	9,04	55,47609	0,01242	1,25934	0,01670	50,67991	91,3	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	0,1526	2,91E-15	0,8
NCC-17	muscovita	560,43	2,07	55,81368	0,01394	0,03749	0,01253	52,11332	93,4	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	1,2051	2,29E-14	1,3
NCC-17	muscovita	561,13	1,35	52,85894	0,01218	0,03927	0,00228	52,19003	98,7	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	4,5115	8,57E-14	1,7
NCC-17	muscovita	553,20	1,36	51,80917	0,01234	0,05749	0,00163	51,33322	99,1	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	3,8013	7,14E-14	2,1
NCC-17	muscovita	537,70	2,82	49,83932	0,01261	0,11002	0,00061	49,67063	99,7	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	0,6105	1,16E-14	2,5
NCC-17	muscovita	561,78	5,30	51,69558	0,00973	0,25243	-0,00182	52,26026	101,1	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	0,2738	5,21E-15	2,9
NCC-17	muscovita	551,87	3,20	52,22683	0,01225	0,34511	0,00364	51,18949	98,0	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	0,5043	9,70E-15	4,4
NCC-17	muscovita	561,72	1,98	52,26077	0,01144	0,00000	0,00002	52,25309	100,0	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	1,8745	3,56E-14	5,2
NCC-17	muscovita	516,34	5,92	53,16331	0,01914	0,34662	0,01963	47,40190	89,1	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	0,2419	4,59E-15	0,8
NCC-17	muscovita	572,72	1,82	58,24623	0,01426	0,00000	0,01624	53,44771	91,8	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	1,3165	2,49E-14	1,3
NCC-17	muscovita	567,49	1,04	53,77401	0,01178	0,00000	0,00303	52,87880	98,3	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	4,6430	8,84E-14	1,7
NCC-17	muscovita	559,48	1,18	52,35872	0,01128	0,00000	0,00118	52,01059	99,3	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	6,5248	1,24E-13	2,1
NCC-17	muscovita	559,72	1,45	52,43018	0,01171	0,00302	0,00133	52,03727	99,3	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	5,5324	1,05E-13	2,5
NCC-17	muscovita	562,58	1,08	52,30239	0,01124	0,00000	-0,00015	52,34670	100,1	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	4,8845	9,30E-14	2,9
NCC-17	muscovita	556,92	1,25	51,76924	0,01103	0,00000	0,00011	51,73499	99,9	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	4,3033	8,17E-14	4,4
NCC-17	muscovita	566,44	1,59	52,78401	0,01152	0,00000	0,00006	52,76543	100,0	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	6,7128	1,29E-13	5,2

CPGeo-IGc/USP Ar/Ar Analytical Data

Sample	Material	Age(Ma)	±(Ma)	40/39	38/39	37/39	36/39	40*/39	% Rad	J	±	Discr.	±	Ar40(nA)	Ar40(mols)	Laser(W)
NCC-36B	biotita	568,40	16,67	57,48254	0,01261	0,78917	0,01554	52,97816	92,1	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	0,0784	1,49E-15	0,3
NCC-36B	biotita	575,41	1,24	54,81392	0,01263	0,00000	0,00363	53,74122	98,0	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	4,3255	8,23E-14	0,7
NCC-36B	biotita	574,79	1,20	53,76525	0,01168	0,00000	0,00031	53,67375	99,8	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	6,7022	1,28E-13	1,1
NCC-36B	biotita	573,93	1,24	53,67731	0,01251	0,00000	0,00033	53,57995	99,8	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	3,5286	6,69E-14	1,5
NCC-36B	biotita	574,84	1,46	53,76256	0,01214	0,00000	0,00028	53,67879	99,8	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	2,7629	5,26E-14	1,9
NCC-36B	biotita	574,28	1,18	53,69891	0,01250	0,00000	0,00027	53,61817	99,8	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	4,7534	9,06E-14	2,5
NCC-36B	biotita	574,60	1,25	53,80487	0,01219	0,03343	0,00052	53,65313	99,7	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	6,2471	1,19E-13	3,2
NCC-36B	biotita	575,78	1,09	53,89959	0,01205	0,00000	0,00040	53,78151	99,8	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	5,9459	1,13E-13	4,0
NCC-36B	biotita	571,37	1,38	53,30891	0,01074	0,00000	0,00002	53,30106	100,0	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	2,9203	5,56E-14	5,2
NCC-36B	biotita	568,77	2,08	54,15253	0,00933	0,00000	0,00384	53,01759	97,9	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	1,2514	2,38E-14	0,5
NCC-36B	biotita	568,58	1,00	53,42834	0,01299	0,01547	0,00146	52,99792	99,2	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	3,8454	7,31E-14	0,9
NCC-36B	biotita	570,50	1,06	53,21333	0,01099	0,00000	0,00002	53,20638	100,0	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	3,0217	5,48E-14	1,4
NCC-36B	biotita	571,57	1,58	53,29683	0,01076	0,00000	-0,00009	53,32262	100,0	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	2,5493	4,86E-14	2,0
NCC-36B	biotita	568,78	1,73	53,19374	0,01216	0,00000	0,00059	53,01934	99,7	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	2,6855	5,10E-14	2,6
NCC-36B	biotita	572,84	3,83	53,36523	0,01167	0,00000	-0,00033	53,46088	100,2	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	3,0223	5,76E-14	3,2
NCC-36B	biotita	569,81	1,92	53,18713	0,01173	0,00495	0,00019	53,13081	99,9	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	2,4070	4,56E-14	3,9
NCC-36B	biotita	566,25	3,20	52,46212	0,01240	0,00000	-0,00096	52,74398	100,5	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	0,3701	7,02E-15	5,2
NCC-36B	biotita	528,21	2,59	50,38861	0,01264	0,00000	0,00585	48,65939	96,6	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	0,6334	1,21E-14	0,5
NCC-36B	biotita	546,63	1,63	50,62845	0,01162	0,00000	0,00001	50,62624	100,0	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	5,6452	1,20E-13	0,9
NCC-36B	biotita	544,91	1,66	50,36243	0,01280	0,00000	-0,00027	50,44206	100,2	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	5,4788	1,04E-13	1,4
NCC-36B	biotita	548,49	1,44	50,86268	0,01307	0,00000	0,00012	50,82674	99,9	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	7,1575	1,36E-13	2,2
NCC-36B	biotita	547,55	1,04	50,75794	0,01181	0,00000	0,00011	50,72503	99,9	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	5,7519	1,09E-13	2,9
NCC-36B	biotita	549,06	1,04	50,89848	0,01176	0,00000	0,00003	50,88795	100,0	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	5,4167	1,03E-13	4,2
NCC-36B	biotita	546,68	3,29	51,03818	0,01435	0,56287	0,00159	50,63235	99,2	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	0,7330	1,39E-14	5,2
NCC-36B	biotita	522,43	4,84	50,12340	0,01907	1,84511	0,00772	48,04618	95,7	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	0,2798	5,31E-15	2,8
NCC-36B	homblenda	2619,13	134,50	487,87760	0,06927	25,17518	0,10003	467,87520	94,4	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	0,1093	2,08E-15	0,4
NCC-36B	homblenda	1343,59	33,44	162,78080	0,00578	0,00000	0,01549	158,20110	97,2	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	0,1433	2,71E-15	0,8
NCC-36B	homblenda	657,19	6,62	66,00975	0,01696	0,78336	0,01095	62,86647	95,2	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	0,2202	4,15E-15	1,2
NCC-36B	homblenda	615,53	2,27	59,15741	0,01431	2,26762	0,00425	58,16633	98,2	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	1,4287	2,70E-14	1,7
NCC-36B	homblenda	609,68	1,44	57,71034	0,01415	2,53417	0,00166	57,51546	99,5	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	4,1189	7,83E-14	2,2
NCC-36B	homblenda	595,70	1,75	56,05969	0,01379	2,20171	0,00117	55,96680	99,7	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	2,6114	4,93E-14	2,8
NCC-36B	homblenda	562,27	4,45	54,13126	0,01661	2,84146	0,00716	52,31296	96,5	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	0,2811	5,38E-15	3,6
NCC-36B	homblenda	575,17	11,39	54,11640	0,00558	0,00000	0,00135	53,71456	99,3	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	0,1270	2,44E-15	4,4
NCC-36B	homblenda	588,61	3,17	55,48479	0,01294	3,03635	0,00219	55,18602	99,3	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	0,6855	1,31E-14	5,2
NCC-36B	homblenda	1157,55	17,55	145,75890	0,04422	5,57542	0,06085	128,68270	88,0	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	0,1377	2,61E-15	0,8
NCC-36B	homblenda	759,31	16,51	78,27537	0,02023	3,29050	0,01298	74,85936	95,4	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	0,1093	2,12E-15	1,2
NCC-36B	homblenda	664,10	3,08	64,71283	0,01475	2,91473	0,00476	63,65774	98,2	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	0,7899	1,50E-14	1,7
NCC-36B	homblenda	599,81	1,31	56,48516	0,01370	2,64768	0,00125	56,42109	99,7	0,0069906	3,80E-06	1,0052	0,0013	2,7525	5,23E-14	2,0
NCC-36B	homblenda	597,81	1,90	56,11787	0,01383	2,86797	0,00084	56,19941	100,0	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	2,7764	5,32E-14	2,3
NCC-36B	homblenda	596,15	1,36	56,01838	0,01413	2,31349	0,00091	56,01646	99,8	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	3,3580	6,38E-14	2,8
NCC-36B	homblenda	594,04	1,45	55,98440	0,01503	2,64534	0,00171	55,78372	99,5	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	2,4119	4,59E-14	4,4
NCC-36B	homblenda	591,90	1,65	55,53077	0,01370	3,51894	0,00131	55,54804	99,8	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	1,3960	2,65E-14	5,2
NCC-36B	homblenda	557,81	7,77	50,89966	0,00234	0,00000	-0,00316	51,83042	101,8	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	0,1397	2,65E-15	0,8
NCC-36B	homblenda	612,41	7,03	54,52739	-0,00688	0,00000	-0,01115	57,81881	106,0	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	0,1536	2,92E-15	1,2
NCC-36B	homblenda	600,40	3,71	56,16497	0,01013	3,14030	0,00014	56,48587	100,4	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	0,5033	9,52E-15	1,7
NCC-36B	homblenda	596,63	1,47	55,95912	0,01237	2,45335	0,00058	56,06913	100,0	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	2,5201	4,79E-14	2,1
NCC-36B	homblenda	593,84	1,29	55,70429	0,01409	2,79229	0,00089	55,76189	99,9	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	5,4622	1,04E-13	2,8
NCC-36B	homblenda	558,35	2,54	52,42539	0,01336	1,45711	0,00237	51,88902	98,9	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	0,4919	9,35E-15	4,4
NCC-36B	homblenda	578,06	2,97	53,79649	0,01229	2,78495	0,00028	54,03004	100,3	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	0,6704	1,27E-14	5,2

CPGeo-IGc/USP Ar/Ar Analytical Data

Sample	Material	Age(Ma)	±(Ma)	40/39	38/39	37/39	36/39	40*/39	% Rad	J	±	Discr.	±	Ar40(nA)	Ar40(mols)	Laser(W)
NCC-140B	biotita	599,42	8,02	55,56372	0,00866	0,00000	-0,00276	56,37732	101,5	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	0,4517	8,83E-15	5,2
NCC-140B	biotita	556,98	3,04	55,57191	0,01569	0,73155	0,01324	51,74068	93,1	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	0,5364	1,02E-14	0,4
NCC-140B	biotita	595,69	1,45	56,78834	0,01223	0,00000	0,00278	55,96525	98,6	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	3,2181	6,09E-14	0,7
NCC-140B	biotita	592,68	1,75	55,76646	0,01226	0,03040	0,00046	55,63441	99,8	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	3,3702	6,49E-14	1,1
NCC-140B	biotita	597,10	1,51	56,10234	0,01107	0,00000	-0,00007	56,12176	100,0	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	1,9670	3,74E-14	1,5
NCC-140B	biotita	594,24	1,59	55,81745	0,01185	0,00000	0,00004	55,80545	100,0	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	1,8475	3,52E-14	1,9
NCC-140B	biotita	594,20	1,24	55,79498	0,01274	0,00000	-0,00002	55,80175	100,0	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	3,7628	7,16E-14	2,6
NCC-140B	biotita	598,30	1,73	55,94055	0,01042	0,00000	-0,00106	56,25426	100,6	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	1,3970	2,67E-14	3,2
NCC-140B	biotita	610,60	7,64	54,17803	0,00308	0,00000	-0,01164	57,61726	106,3	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	0,1928	3,67E-15	4,2
NCC-140B	biotita	626,71	9,35	54,19825	-0,00105	0,00000	-0,01767	59,41694	109,6	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	0,1404	2,73E-15	5,2
NCC-140B	biotita	584,80	2,49	55,18482	0,00963	0,00000	0,00141	54,76788	99,2	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	1,1338	2,16E-14	0,4
NCC-140B	biotita	593,15	1,85	55,69734	0,01146	0,00000	0,00004	55,68517	100,0	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	3,1680	6,03E-14	0,7
NCC-140B	biotita	596,58	1,95	55,83254	0,01075	0,00000	-0,00079	56,06406	100,4	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	2,3298	4,44E-14	1,1
NCC-140B	biotita	596,80	2,14	55,84212	0,01094	0,00000	-0,00084	56,08829	100,4	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	1,3655	2,60E-14	1,5
NCC-140B	biotita	590,35	1,85	55,37452	0,01107	0,00000	-0,00001	55,37735	100,0	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	1,6885	3,21E-14	1,9
NCC-140B	biotita	596,35	1,44	55,76059	0,00912	0,00000	-0,00094	56,03848	100,5	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	2,6757	5,09E-14	2,6
NCC-140B	biotita	598,29	6,18	55,18313	0,00634	0,00000	-0,00362	56,25227	101,9	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	0,5166	1,00E-14	3,2
NCC-140B	biotita	634,70	19,73	56,22598	-0,00425	0,00000	-0,01385	60,31548	107,3	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	0,0436	8,30E-16	4,2
NCC-140B	biotita	676,92	12,38	58,15237	-0,03175	0,00000	-0,02364	65,13076	112,0	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	0,0750	1,42E-15	5,2
NCC-140B	homblenda	4154,92	234,38	1324,03000	0,00775	0,00000	0,12144	1288,14100	97,3	0,0069906	3,80E-06	1,0061	0,0013	0,2111	4,01E-15	0,4
NCC-140B	homblenda	1752,71	73,66	205,48570	-0,15463	0,00000	-0,09956	234,88250	114,3	0,0069906	3,80E-06	1,0061	0,0013	0,0599	1,14E-15	0,8
NCC-140B	homblenda	824,40	18,83	74,37154	-0,00361	0,00000	-0,02875	82,86456	111,4	0,0069906	3,80E-06	1,0061	0,0013	0,0760	1,44E-15	1,2
NCC-140B	homblenda	645,93	3,18	61,10069	0,01009	2,89610	-0,00048	61,58521	100,6	0,0069906	3,80E-06	1,0061	0,0013	0,7430	1,41E-14	1,7
NCC-140B	homblenda	635,31	1,29	60,25110	0,01314	3,11131	0,00079	60,38519	100,0	0,0069906	3,80E-06	1,0061	0,0013	3,9124	7,44E-14	2,3
NCC-140B	homblenda	615,07	3,57	57,66605	0,01316	3,60029	-0,00010	58,11485	100,5	0,0069906	3,80E-06	1,0061	0,0013	3,8525	7,27E-14	3,0
NCC-140B	homblenda	681,48	6,54	63,01798	0,00494	1,59644	-0,00828	65,65770	104,1	0,0069906	3,80E-06	1,0061	0,0013	0,3754	7,15E-15	3,8
NCC-140B	homblenda	713,28	11,55	60,04993	-0,01485	0,00000	-0,03155	69,36951	115,5	0,0069906	3,80E-06	1,0061	0,0013	0,0870	1,65E-15	4,7
NCC-140B	homblenda	648,13	3,03	61,84680	0,01310	3,26202	0,00135	61,83554	99,8	0,0069906	3,80E-06	1,0061	0,0013	0,8056	1,54E-14	5,2
NCC-140B	homblenda	4102,40	47,17	1271,51600	0,06391	4,51374	0,09615	1247,07700	97,8	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	1,4959	2,85E-14	1,2
NCC-140B	homblenda	755,29	8,54	73,36317	0,01236	1,74535	-0,00267	74,37457	101,3	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	0,2336	4,46E-15	1,5
NCC-140B	homblenda	719,90	3,91	71,41355	0,01535	3,73302	0,00585	70,15006	98,0	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	0,9656	1,84E-14	1,9
NCC-140B	homblenda	699,96	2,21	68,20145	0,01541	3,09409	0,00262	67,80716	99,2	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	1,9333	3,68E-14	2,2
NCC-140B	homblenda	671,91	1,55	64,51464	0,01397	3,67463	0,00137	64,55424	99,8	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	3,9865	7,55E-14	2,6
NCC-140B	homblenda	653,63	1,67	62,54087	0,01538	3,13886	0,00154	62,46152	99,7	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	2,6001	4,95E-14	3,0
NCC-140B	homblenda	609,71	1,85	57,49049	0,01322	3,37285	0,00123	57,51779	99,8	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	5,2258	9,93E-14	4,6
NCC-140B	homblenda	725,27	2,18	71,11838	0,01408	3,59903	0,00264	70,78644	99,3	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	1,7796	3,41E-14	5,2
NCC-140B	homblenda	608,54	1,41	58,35904	0,01237	0,01149	0,00329	57,38783	98,3	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	9,4274	1,80E-13	1,4
NCC-140B	homblenda	598,68	1,64	56,30330	0,01163	0,19619	0,00010	56,29559	100,0	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	5,9614	1,14E-13	1,8
NCC-140B	homblenda	605,15	3,17	57,08377	0,01235	1,60533	0,00087	57,01252	99,8	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	4,8530	9,22E-14	2,2
NCC-140B	homblenda	606,90	1,13	57,17881	0,01248	1,48539	0,00049	57,20617	100,0	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	5,1940	9,87E-14	2,6
NCC-140B	homblenda	594,34	1,51	55,83014	0,01143	0,04909	0,00006	55,81724	100,0	0,0069906	3,80E-06	1,0049	0,0013	3,9225	7,44E-14	3,0
NCC-140B	homblenda	600,18	2,24	56,38505	0,01095	0,22590	-0,00017	56,46212	100,1	0,0069906	3,80E-06	1,0049	0,0013	4,6040	8,85E-14	4,6
NCC-140B	homblenda	628,20	2,78	59,61774	0,01249	2,81152	0,00123	59,58462	99,8	0,0069906	3,80E-06	1,0049	0,0013	1,2578	2,40E-14	5,2

CPGeo-IGc/USP Ar/Ar Analytical Data

Sample	Material	Age(Ma)	±(Ma)	40/39	38/39	37/39	36/39	40*/39	% Rad	J	±	Discr.	±	Ar40(nA)	Ar40(mols)	Laser(W)
NCC-101B	biotita	477,14	17,37	44,11169	-0,01724	0,00000	0,00270	43,30832	98,2	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	0,0491	9,38E-16	0,4
NCC-101B	biotita	583,58	2,07	55,19828	0,01066	0,00000	0,00191	54,63437	99,0	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	1,3825	2,64E-14	0,7
NCC-101B	biotita	586,06	1,58	54,85497	0,01151	0,00000	-0,00018	54,90667	100,1	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	3,6841	7,00E-14	1,1
NCC-101B	biotita	584,35	2,12	54,67587	0,01171	0,00000	-0,00015	54,71832	100,1	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	3,1727	6,02E-14	1,5
NCC-101B	biotita	584,86	1,79	54,62338*	0,01019	0,00000	-0,00051	54,77457	100,3	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	2,7629	5,22E-14	2,0
NCC-101B	biotita	582,59	1,37	54,51997	0,01157	0,00000	-0,00002	54,52615	100,0	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	2,8541	5,40E-14	2,5
NCC-101B	biotita	581,26	1,28	54,39965	0,01137	0,00000	0,00007	54,37970	100,0	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	4,3033	8,18E-14	3,2
NCC-101B	biotita	582,02	1,24	54,26237	0,01129	0,00000	-0,00068	54,46318	100,4	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	3,5581	6,78E-14	4,2
NCC-101B	biotita	589,67	1,47	54,93186	0,00954	0,00000	-0,00126	55,30324	100,7	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	1,8048	3,42E-14	5,2
NCC-101B	biotita	494,07	4,23	50,45572	0,01838	1,75112	0,01888	45,06559	89,2	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	0,2973	5,69E-15	0,6
NCC-101B	biotita	581,48	1,46	55,01261	0,01218	0,00000	0,00206	54,40461	98,9	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	3,6394	6,93E-14	1,0
NCC-101B	biotita	582,30	1,30	54,53329	0,01165	0,00000	0,00013	54,49427	99,9	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	4,6823	8,93E-14	1,4
NCC-101B	biotita	583,49	1,36	54,81609	0,01185	0,01508	0,00065	54,62402	99,6	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	5,0734	9,64E-14	2,0
NCC-101B	biotita	580,38	1,15	54,27785	0,01102	0,00000	-0,00002	54,28365	100,0	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	5,0657	9,81E-14	2,6
NCC-101B	biotita	581,88	1,13	54,55585	0,01157	0,00000	0,00036	54,44769	99,8	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	6,0175	1,15E-13	3,2
NCC-101B	biotita	584,11	1,02	54,72339	0,01187	0,02535	0,00011	54,69235	99,9	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	10,2716	1,95E-13	4,2
NCC-101B	biotita	580,21	1,98	54,36725	0,01237	0,16413	0,00041	54,26568	99,8	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	10,2994	1,96E-13	5,2
NCC-101B	biotita	582,51	2,27	54,90004	0,01167	0,00000	0,00129	54,51743	99,3	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	1,0171	1,93E-14	0,6
NCC-101B	biotita	581,74	1,74	54,48758	0,01208	0,03333	0,00020	54,43255	99,9	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	3,2686	6,29E-14	1,0
NCC-101B	biotita	582,08	1,52	54,42522	0,01183	0,00000	-0,00015	54,46969	100,1	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	2,7418	5,21E-14	1,5
NCC-101B	biotita	582,95	1,65	54,68152	0,01127	0,01718	0,00040	54,56477	99,8	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	2,6058	4,94E-14	2,0
NCC-101B	biotita	584,98	1,31	54,68264	0,01233	0,00000	-0,00036	54,78818	100,2	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	3,5111	6,68E-14	2,6
NCC-101B	biotita	582,49	1,46	54,43708	0,01092	0,00000	-0,00027	54,51532	100,1	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	4,0481	8,29E-14	3,2
NCC-101B	biotita	590,47	1,60	55,19273	0,01099	0,00000	-0,00067	55,39025	100,4	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	1,7192	3,26E-14	4,2
NCC-101B	biotita	574,33	3,70	54,02265	0,01282	0,00000	0,00135	53,62307	99,3	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	0,3710	7,04E-15	5,2
NCC-101B	homblenda	647,19	75,69	93,00286	0,06482	35,10508	0,11999	61,72910	64,9	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	0,0259	4,89E-16	0,4
NCC-101B	homblenda	1037,36	36,59	114,80000	0,00549	55,93979	0,04081	111,16940	93,4	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	0,0664	1,26E-15	0,8
NCC-101B	homblenda	810,11	16,99	76,18822	-0,00858	8,72019	-0,01269	81,08214	105,8	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	0,0803	1,52E-15	1,2
NCC-101B	homblenda	635,66	7,03	58,70537	0,00433	1,03537	-0,00541	60,42470	102,9	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	0,2101	4,00E-15	1,7
NCC-101B	homblenda	599,69	2,09	56,40865	0,01150	2,61623	0,00103	56,40705	99,8	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	1,4900	2,83E-14	2,5
NCC-101B	homblenda	596,52	1,96	55,89273	0,01331	3,83945	0,00094	56,05758	100,0	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	4,1340	7,84E-14	3,4
NCC-101B	homblenda	602,77	1,74	56,03098	0,01050	2,93842	-0,00128	56,74829	101,1	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	0,8340	1,59E-14	4,3
NCC-101B	homblenda	596,83	3,73	55,67914	0,00682	3,00768	-0,00023	56,09187	100,5	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	0,5688	1,08E-14	5,2
NCC-101B	homblenda	806,55	33,73	102,17360	0,06115	50,15246	0,09515	80,64014	76,4	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	0,1027	1,95E-15	1,0
NCC-101B	homblenda	599,36	15,24	66,58101	0,03942	15,83388	0,04075	56,37128	83,8	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	0,1050	2,00E-15	1,4
NCC-101B	homblenda	602,39	4,13	58,09219	0,01341	2,20446	0,00555	56,70659	97,5	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	0,2580	4,92E-15	1,8
NCC-101B	homblenda	602,09	1,97	56,69319	0,01232	3,19553	0,00132	56,67240	99,8	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	1,8001	3,42E-14	2,5
NCC-101B	homblenda	599,93	2,29	56,50369	0,01361	3,24064	0,00150	56,43429	99,7	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	3,9112	7,45E-14	3,2
NCC-101B	homblenda	587,30	3,04	55,62386	0,01483	2,39333	0,00290	55,04268	98,8	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	0,5805	1,10E-14	4,3
NCC-101B	homblenda	591,12	4,12	55,19685	0,01034	1,52640	-0,00031	55,46212	100,4	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	0,5252	9,98E-15	5,2
NCC-101B	homblenda	811,41	11,91	79,12831	0,00862	9,12580	-0,00310	81,24359	102,1	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	0,1650	3,13E-15	1,0
NCC-101B	homblenda	601,26	8,84	54,67342	0,00194	0,00000	-0,00646	56,58121	103,5	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	0,1829	3,48E-15	1,3
NCC-101B	homblenda	604,45	3,65	55,95916	0,01044	1,37970	-0,00276	56,93478	101,7	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	0,4620	8,84E-15	1,7
NCC-101B	homblenda	597,91	1,33	56,19102	0,01279	3,64955	0,00136	56,21081	99,8	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	3,8567	7,30E-14	2,5
NCC-101B	homblenda	596,46	1,93	56,02885	0,01283	2,79862	0,00102	56,05028	99,9	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	3,1444	5,98E-14	3,3
NCC-101B	homblenda	562,49	4,21	53,98316	0,01520	2,29161	0,00645	52,33645	96,8	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	0,3562	6,76E-15	4,3
NCC-101B	homblenda	572,74	2,93	54,37760	0,01484	2,09993	0,00395	53,44975	98,2	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	0,7240	1,37E-14	5,2

CPGeo-IGc/USP Ar/Ar Analytical Data

Sample	Material	Age(Ma)	±(Ma)	40/39	38/39	37/39	36/39	40*/39	% Rad	J	±	Discr.	±	Ar40(nA)	Ar40(mols)	Laser(W)
NCC-154	homblenda	3843,65	363,73	1016,57100	-0,41928	0,00000	-0,15169	1061,33300	104,4	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	0,0778	1,48E-15	0,4
NCC-154	homblenda	582,60	73,00	76,43874	0,06119	12,78461	0,07912	54,52721	70,8	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	0,0202	3,79E-16	0,8
NCC-154	homblenda	663,73	15,63	61,55266	0,01931	8,59775	-0,00348	63,61479	102,8	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	0,0811	1,57E-15	1,2
NCC-154	homblenda	658,58	4,02	64,65632	0,01208	6,37440	0,00810	63,02590	97,1	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	0,4559	8,65E-15	1,7
NCC-154	homblenda	600,61	1,86	56,44730	0,01398	7,10113	0,00257	56,50905	99,7	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	2,3061	4,38E-14	2,5
NCC-154	homblenda	588,76	2,41	55,55269	0,01636	6,97009	0,00389	55,20255	98,9	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	0,9800	1,86E-14	3,3
NCC-154	homblenda	737,20	32,09	63,48344	-0,00409	12,41834	-0,02424	72,20517	112,8	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	0,0343	6,50E-16	4,3
NCC-154	homblenda	637,24	6,48	61,73937	0,02182	9,74538	0,00775	60,60253	97,5	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	0,2561	4,82E-15	5,2
NCC-154	homblenda	3224,08	101,83	718,65700	-0,04019	0,00000	0,02499	711,26290	99,0	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	0,2530	4,81E-15	0,8
NCC-154	homblenda	739,82	11,10	75,18919	0,01710	5,52379	0,01140	72,51704	96,1	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	0,1566	2,95E-15	1,2
NCC-154	homblenda	666,10	3,62	64,28172	0,01440	6,74688	0,00409	63,88650	99,0	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	1,5179	2,88E-14	1,7
NCC-154	homblenda	641,70	2,29	60,70422	0,01423	6,28420	0,00116	61,10700	100,3	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	1,8347	3,49E-14	2,2
NCC-154	homblenda	668,61	8,67	60,88741	-0,00065	3,85714	-0,00956	64,17417	105,1	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	0,1518	2,87E-15	2,5
NCC-154	homblenda	758,65	20,52	70,24557	-0,00896	0,00000	-0,01535	74,77950	106,5	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	0,0553	1,05E-15	3,3
NCC-154	homblenda	716,07	6,18	70,43277	0,01867	8,20452	0,00593	69,69833	98,4	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	0,3563	6,74E-15	5,2
NCC-154	homblenda	2167,65	76,06	414,02310	0,15899	40,61938	0,31576	332,61650	78,2	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	0,2047	3,90E-15	1,0
NCC-154	homblenda	702,89	9,93	74,58611	0,03204	9,27120	0,02565	68,14986	90,8	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	0,1905	3,61E-15	1,3
NCC-154	homblenda	689,58	5,88	68,97834	0,01700	8,19516	0,01144	66,59769	96,0	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	0,4242	8,05E-15	1,7
NCC-154	homblenda	621,98	1,59	59,02376	0,01304	7,04003	0,00325	58,88675	99,3	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	2,8205	5,43E-14	2,3
NCC-154	homblenda	602,30	2,82	57,34299	0,01530	6,62526	0,00479	56,69573	98,5	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	0,6263	1,19E-14	2,6
NCC-154	homblenda	653,47	13,40	66,09194	0,01220	6,72699	0,01507	62,44272	94,1	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	0,1087	2,06E-15	3,4
NCC-154	homblenda	690,75	3,96	67,67653	0,01544	8,65217	0,00677	66,73333	98,1	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	0,4761	8,88E-15	5,2

CPGeo-IGc/USP Ar/Ar Analytical Data

Sample	Material	Age(Ma)	±(Ma)	40/39	38/39	37/39	36/39	40*/39	% Rad	J	±	Discr.	±	Ar40(nA)	Ar40(mols)	Laser(W)
NCC-139B	biotita	381,25	19,90	28,63926	0,00902	0,00000	-0,01700	33,66218	117,5	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	0,0285	5,41E-16	0,3
NCC-139B	biotita	632,16	2,09	60,98451	0,01266	0,00000	0,00323	60,03000	98,4	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	1,5856	3,02E-14	0,7
NCC-139B	biotita	642,30	1,59	61,06370	0,01100	0,00000	-0,00038	61,17458	100,2	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	2,3688	4,50E-14	1,1
NCC-139B	biotita	643,96	2,14	61,13440	0,01045	0,00000	-0,00077	61,36205	100,4	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	2,3428	4,48E-14	1,5
NCC-139B	biotita	639,84	1,59	60,90975	0,01223	0,00000	0,00005	60,89578	100,0	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	2,8238	5,38E-14	1,9
NCC-139B	biotita	644,19	1,97	61,44286	0,01096	0,00000	0,00018	61,38817	99,9	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	2,8278	5,43E-14	2,6
NCC-139B	biotita	639,13	1,60	60,89754	0,01206	0,00000	0,00027	60,81630	99,9	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	2,3244	4,42E-14	3,4
NCC-139B	biotita	644,92	2,56	61,13812	0,01072	0,00000	-0,00113	61,47137	100,5	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	0,8674	1,65E-14	4,2
NCC-139B	biotita	617,92	7,45	59,59033	0,01565	1,16514	0,00438	58,43287	98,0	0,0069906	3,80E-06	1,0051	0,0013	0,2463	4,68E-15	5,2
NCC-139B	biotita	604,98	4,27	56,79313	0,00451	0,00000	-0,00068	56,99287	100,4	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	0,2781	5,27E-15	0,5
NCC-139B	biotita	646,77	1,93	62,37688	0,01167	0,00000	0,00235	61,68123	98,9	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	1,4431	2,74E-14	0,8
NCC-139B	biotita	644,89	1,74	61,37435	0,01090	0,00000	-0,00032	61,46773	100,2	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	3,0994	5,93E-14	1,2
NCC-139B	biotita	646,95	1,48	61,82989	0,01222	0,00000	0,00043	61,70169	99,8	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	3,2045	6,10E-14	1,6
NCC-139B	biotita	650,02	1,95	61,94055	0,01164	0,00000	-0,00037	62,04997	100,2	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	3,0473	5,79E-14	2,0
NCC-139B	biotita	647,96	1,29	61,77147	0,01161	0,00000	-0,00015	61,81663	100,1	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	3,6106	6,85E-14	2,6
NCC-139B	biotita	646,10	1,58	61,59628	0,01078	0,02797	-0,00002	61,60475	100,0	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	2,6970	5,14E-14	3,4
NCC-139B	biotita	650,43	2,86	61,98710	0,00952	0,00000	-0,00037	62,09659	100,2	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	3,2960	6,33E-14	5,2
NCC-139B	biotita	566,40	7,42	54,40029	0,01377	0,00000	0,00555	52,76036	97,0	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	0,2150	4,09E-15	0,5
NCC-139B	biotita	642,43	2,21	61,54972	0,01166	0,00000	0,00122	61,18925	99,4	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	1,5797	3,00E-14	0,8
NCC-139B	biotita	649,11	1,70	61,66510	0,01357	0,00000	-0,00095	61,94632	100,5	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	2,3909	4,54E-14	1,2
NCC-139B	biotita	650,46	1,67	61,91670	0,01222	0,00000	-0,00062	62,10026	100,3	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	2,6652	5,07E-14	1,6
NCC-139B	biotita	653,21	2,15	62,16933	0,01174	0,00000	-0,00083	62,41293	100,4	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	2,6810	5,08E-14	2,0
NCC-139B	biotita	645,66	1,89	61,57268	0,01184	0,00000	0,00006	61,55522	100,0	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	1,9607	3,73E-14	2,6
NCC-139B	biotita	650,82	1,97	61,80303	0,01081	0,00000	-0,00115	62,14124	100,5	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	1,6568	3,15E-14	3,4
NCC-139B	biotita	648,94	1,87	61,91318	0,01261	0,18695	0,00002	61,92797	100,0	0,0069906	3,80E-06	1,0069	0,0015	1,6961	3,22E-14	5,2

CPGeo-IGc/USP Ar/Ar Analytical Data

Sample	Material	Age(Ma)	±(Ma)	40/39	38/39	37/39	36/39	40*/39	% Rad	J	±	Discr.	±	Ar40(nA)	Ar40(mols)	Laser(W)
NCC-99	anfibolio	1271,10	44,38	305,7993	0,10205	3,31575	0,42271	181,5439	59,2	0,0056300	4,32E-06	1,0081	0,0023	0,2743	5,23E-15	0,3
NCC-99	anfibolio	440,08	11,51	57,04645	0,01582	15,75382	0,03299	49,02717	85,0	0,0056300	4,32E-06	1,0081	0,0023	0,0797	1,44E-15	0,5
NCC-99	anfibolio	592,35	4,66	71,14581	0,01581	22,68646	0,01680	68,97438	95,5	0,0056300	4,32E-06	1,0081	0,0023	0,4154	7,91E-15	0,7
NCC-99	anfibolio	595,36	6,92	68,28581	0,01316	26,61067	0,00739	69,38501	99,8	0,0056300	4,32E-06	1,0081	0,0023	0,2395	4,55E-15	1,1
NCC-99	anfibolio	561,18	21,49	72,86349	0,02314	32,28850	0,04059	64,75259	87,0	0,0056300	4,32E-06	1,0081	0,0023	0,0730	1,40E-15	3,5
NCC-99	anfibolio	980,24	33,23	174,5246	0,07555	3,64175	0,15916	128,0874	73,2	0,0056300	4,32E-06	1,0081	0,0023	0,1511	2,88E-15	0,3
NCC-99	anfibolio	527,43	9,99	63,11786	0,00997	19,45405	0,01738	60,26386	94,2	0,0056300	4,32E-06	1,0081	0,0023	0,1411	2,69E-15	0,5
NCC-99	anfibolio	588,10	3,86	68,15347	0,01737	17,63970	0,00651	68,39342	99,2	0,0056300	4,32E-06	1,0081	0,0023	0,4677	8,86E-15	0,6
NCC-99	anfibolio	593,58	5,59	67,77221	0,01886	15,59122	0,00186	69,14256	101,0	0,0056300	4,32E-06	1,0081	0,0023	0,2974	5,63E-15	0,7
NCC-99	anfibolio	566,84	8,70	67,02499	0,02120	19,62865	0,01314	65,51347	96,5	0,0056300	4,32E-06	1,0081	0,0023	0,1651	3,11E-15	1,1
NCC-99	anfibolio	590,46	12,22	67,35420	0,01958	20,68503	0,00400	68,71626	100,6	0,0056300	4,32E-06	1,0081	0,0023	0,0865	1,64E-15	3,2
NCC-160A	biotita	496,78	5,11	61,90626	0,01828	0,14929	0,01917	56,25844	90,9	0,0056300	4,32E-06	1,0081	0,0023	0,2583	4,90E-15	0,2
NCC-160A	biotita	653,07	1,92	77,76202	0,01300	0,00000	0,00119	77,40906	99,5	0,0056300	4,32E-06	1,0081	0,0023	3,6006	6,84E-14	0,3
NCC-160A	biotita	659,32	1,65	78,42392	0,01260	0,00000	0,00044	78,29440	99,8	0,0056300	4,32E-06	1,0081	0,0023	5,4706	1,04E-13	0,4
NCC-160A	biotita	659,74	1,84	78,47021	0,01271	0,00000	0,00040	78,35300	99,9	0,0056300	4,32E-06	1,0081	0,0023	5,1302	9,77E-14	0,6
NCC-160A	biotita	656,24	1,78	77,90600	0,01252	0,00827	0,00016	77,85811	99,9	0,0056300	4,32E-06	1,0081	0,0023	5,3264	1,02E-13	0,8
NCC-160A	biotita	655,78	2,06	77,94225	0,01145	0,01588	0,00051	77,79258	99,8	0,0056300	4,32E-06	1,0081	0,0023	3,2890	6,23E-14	3,3
NCC-160A	biotita	596,88	2,18	72,76254	0,01484	0,03968	0,01074	69,59357	95,6	0,0056300	4,32E-06	1,0081	0,0023	1,4800	2,81E-14	0,2
NCC-160A	biotita	669,40	2,25	80,35565	0,01295	0,00000	0,00213	79,72685	99,2	0,0056300	4,32E-06	1,0081	0,0023	4,1847	7,94E-14	0,3
NCC-160A	biotita	672,55	1,72	80,43738	0,01339	0,00000	0,00088	80,17685	99,7	0,0056300	4,32E-06	1,0081	0,0023	4,7994	9,14E-14	0,4
NCC-160A	biotita	673,72	2,24	80,44525	0,01302	0,00000	0,00034	80,34307	99,9	0,0056300	4,32E-06	1,0081	0,0023	6,8963	1,31E-13	0,6
NCC-160A	biotita	674,10	1,63	80,62059	0,01225	0,02507	0,00076	80,39850	99,7	0,0056300	4,32E-06	1,0081	0,0023	7,2014	1,37E-13	0,8
NCC-160A	biotita	673,62	1,77	80,42471	0,01317	0,03767	0,00034	80,32904	99,9	0,0056300	4,32E-06	1,0081	0,0023	10,9937	2,10E-13	3,0
NCC-160A	homblenda	2288,75	16,89	460,0601	0,02054	0,66226	0,02266	453,6129	98,6	0,0056300	4,32E-06	1,0081	0,0023	1,0389	2,00E-14	0,3
NCC-160A	homblenda	803,92	4,43	101,20060	0,01761	3,87028	0,00717	99,63715	98,2	0,0056300	4,32E-06	1,0081	0,0023	0,6807	1,29E-14	0,5
NCC-160A	homblenda	804,55	3,90	99,56332	0,02119	6,18469	0,00243	99,73436	99,8	0,0056300	4,32E-06	1,0081	0,0023	3,1216	5,91E-14	0,7
NCC-160A	homblenda	766,03	1,88	93,56941	0,02132	6,17130	0,00187	93,87852	99,9	0,0056300	4,32E-06	1,0081	0,0023	6,4199	1,22E-13	0,9
NCC-160A	homblenda	777,59	8,90	97,59111	0,02361	7,37024	0,01018	95,62228	97,5	0,0056300	4,32E-06	1,0081	0,0023	0,3295	6,26E-15	1,1
NCC-160A	homblenda	613,41	54,89	79,97878	0,03046	10,42653	0,03186	71,86729	89,2	0,0056300	4,32E-06	1,0081	0,0023	0,0208	3,83E-16	3,5
NCC-160A	homblenda	924,06	4,81	118,3205	0,02084	8,72456	0,00326	118,7193	99,8	0,0056300	4,32E-06	1,0081	0,0023	0,7567	1,43E-14	3,3
NCC-160A	homblenda	2650,14	18,02	598,3196	0,02538	3,45493	0,02155	593,5788	99,0	0,0056300	4,32E-06	1,0081	0,0023	2,0170	3,82E-14	0,4
NCC-160A	homblenda	762,18	3,14	93,93821	0,02192	4,21949	0,00415	93,29967	99,0	0,0056300	4,32E-06	1,0081	0,0023	1,1816	2,24E-14	0,6
NCC-160A	homblenda	743,72	2,20	90,41431	0,02135	4,44585	0,00163	90,54340	99,8	0,0056300	4,32E-06	1,0081	0,0023	2,4897	4,72E-14	0,7
NCC-160A	homblenda	744,89	1,72	90,54602	0,02121	5,11823	0,00180	90,71703	99,8	0,0056300	4,32E-06	1,0081	0,0023	5,0040	9,52E-14	0,8
NCC-160A	homblenda	809,74	2,33	100,6620	0,02161	5,26343	0,00300	100,5332	99,5	0,0056300	4,32E-06	1,0081	0,0023	3,1189	5,93E-14	1,1
NCC-160A	homblenda	942,89	3,18	121,3761	0,02503	8,60794	0,00308	121,8267	99,8	0,0056300	4,32E-06	1,0081	0,0023	1,8078	3,43E-14	3,3

Anexo 4: ANÁLISES DE QUÍMICA MINERAL
Resultados analíticos U-Th-Pbt (microsonda)
Granada, biotita, plagioclásio, alumino-silicatos, etc

NCC-535 (biotita)

Análise	41-77	41-78	41-79	41-80	41-81
SiO2	34,152	29,489	31,602	43,782	47,46
TiO2	3,645	2,723	2,985	0,005	0
Al2O3	15,867	15,912	16,122	25,41	34,749
FeO	17,24	20,606	19,08	0,293	1,164
MnO	0,078	0,028	0,038	0,025	0,018
MgO	13,522	14,694	14,816	0,051	0,254
CaO	0,101	0,23	0,176	23,997	0,317
Na2O	0,052	0,081	0,039	0,015	0,515
K2O	6,289	1,732	3,145	1,171	10,761
F	0,09	0,04	0,049	0,241	0
Cl	0,073	0,027	0,032	0,006	0,005
BaO	0,254	0,077	0,123	0	0,403
Total	91,36	85,64	88,21	95	95,65
O_F_Cl	0,05	0,02	0,03	0,1	0
CTotal	91,31	85,62	88,18	94,9	95,65
Si	5,581	5,145	5,323	6,321	6,592
AlIV	2,419	2,855	2,677	1,679	1,408
AlVI	0,634	0,414	0,521	2,641	4,276
Ti	0,448	0,357	0,378	0,001	0
Fe2	2,356	3,006	2,687	0,035	0,135
Mn	0,011	0,004	0,005	0,003	0,002
Mg	3,294	3,822	3,72	0,011	0,053
Ba	0,02	0,01	0,01	0	0,02
Ca	0,018	0,043	0,032	3,712	0,047
Na	0,016	0,027	0,013	0,004	0,139
K	1,311	0,385	0,676	0,216	1,907
Cations	16,108	16,068	16,042	14,623	14,579
CF	0,093	0,044	0,052	0,22	0
CCl	0,04	0,016	0,018	0,003	0,002
Fe_FeMg	0,42	0,44	0,42	0,76	0,72
Mg_FeMg	0,58	0,56	0,58	0,24	0,28

NCC-535 (granada)

Análise	13-21 borda	13-22 borda	13-23 nucleo	13-24 nucleo	13-25 nucleo	13-26 nucleo	13-27 nucleo	13-28 nucleo	13-29 borda	18-30 borda	18-31 nucleo	18-32 nucleo	18-33 nucleo	18-34 nucleo
SiO2	38,042	38,058	45,133	38,089	38,507	37,847	38,287	37,83	38,39	38,955	38,558	38,321	37,643	38,61
Al2O3	21,828	21,796	12,996	22,147	21,973	21,946	22,035	22,188	21,393	21,959	22,036	21,904	22,025	22,055
TiO2	0,081	0,014	0,127	0,115	0,351	0,417	0,086	0,048	0,138	0,072	0,086	0,378	0,052	0,321
FeO	23,704	24,686	14,546	20,97	20,378	20,97	21,053	23,46	23,408	22,164	22,326	21,745	23,849	20,923
MnO	0,579	0,726	0,255	0,394	0,365	0,409	0,303	0,494	0,534	0,475	0,408	0,375	0,531	0,391
MgO	4,65	4,302	9,758	5,803	6,052	6,606	6,149	5,235	4,847	5,584	5,467	6,069	5,007	6,055
CaO	10,355	9,322	17,039	11,142	11,434	11,201	11,086	10,091	11,234	11,071	11,183	10,722	10,317	11,594
Total	99,24	98,9	99,85	98,66	99,06	99,4	99	99,35	99,94	100,28	100,06	99,51	99,42	99,95
TSi	5,959	6,005	6,831	5,933	5,966	5,837	5,935	5,897	5,965	5,993	5,948	5,928	5,874	5,934
TAI	0,041	0	0	0,067	0,034	0,163	0,065	0,103	0,035	0,007	0,052	0,072	0,126	0,066
Sum_T	6	6,005	6,831	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
AlVI	3,985	4,05	2,316	3,996	3,975	3,823	3,958	3,969	3,879	3,972	3,951	3,918	3,922	3,926
Ti	0,01	0,002	0,014	0,013	0,041	0,048	0,01	0,006	0,016	0,008	0,01	0,044	0,006	0,037
Sum_A	3,995	4,052	2,331	4,009	4,016	3,872	3,968	3,975	3,895	3,981	3,961	3,962	3,928	3,963
Fe2	3,105	3,258	1,841	2,732	2,64	2,705	2,729	3,058	3,042	2,852	2,88	2,813	3,112	2,689
Mg	1,086	1,012	2,202	1,348	1,398	1,519	1,421	1,216	1,123	1,281	1,257	1,399	1,165	1,387
Mn	0,077	0,097	0,033	0,052	0,048	0,053	0,04	0,065	0,07	0,062	0,053	0,049	0,07	0,051
Ca	1,738	1,576	2,763	1,86	1,898	1,851	1,841	1,685	1,87	1,825	1,848	1,777	1,725	1,909
Sum_B	6,005	5,943	6,838	5,991	5,984	6,128	6,032	6,025	6,105	6,019	6,039	6,038	6,072	6,037
Sum_cat	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Alm	51,704	54,818	26,923	45,599	44,123	44,138	45,252	50,757	49,824	47,377	47,693	46,583	51,255	44,549
Gross	28,937	26,52	40,404	31,04	31,718	30,204	30,528	27,971	30,634	30,318	30,606	29,427	28,407	31,626
Pyrope	18,08	17,029	32,195	22,494	23,359	24,786	23,56	20,19	18,391	21,277	20,818	23,176	19,182	22,981
Spess	1,279	1,633	0,478	0,868	0,8	0,872	0,66	1,082	1,151	1,028	0,883	0,814	1,156	0,843
XCagnt	0,289	0,265	0,404	0,31	0,317	0,302	0,305	0,28	0,306	0,303	0,306	0,294	0,284	0,316
XFegnt	0,517	0,548	0,269	0,456	0,441	0,441	0,452	0,508	0,498	0,474	0,477	0,466	0,513	0,445
XMggnt	0,181	0,17	0,322	0,225	0,234	0,248	0,236	0,202	0,184	0,213	0,208	0,232	0,192	0,23
XMngnt	0,01	0,02	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Fe_Mggnt	2,859	3,219	0,836	2,027	1,888	1,781	1,92	2,515	2,709	2,226	2,291	2,011	2,671	1,939

NCC-535 (granada)

Análise	18-35	18-36	18-37	18-38	18-39	18-40	18-41	18-42	30-43	30-44	30-45	30-46	30-47	30-48
	nucleo	nucleo	nucleo	nucleo	nucleo	borda	nucleo	nucleo	borda	nucleo	nucleo	nucleo	nucleo	nucleo
SiO2	38,687	38,485	38,151	38,817	38,163	37,974	38,712	38,005	38,452	38,313	38,186	38,076	38,552	38,249
Al2O3	22,202	21,95	22,155	21,832	21,933	22,192	21,966	21,936	21,84	21,873	21,87	22,102	22,238	21,933
TiO2	0,158	0,235	0,081	0,22	0,066	0,005	0,101	0,183	0,205	0,12	0,101	0,11	0,188	0,226
FeO	20,249	20,513	22,36	21,523	24,921	22,147	21,864	20,617	23,9	21,87	21,714	21,071	20,067	20,915
MnO	0,347	0,426	0,475	0,362	0,618	0,486	0,29	0,371	0,585	0,374	0,409	0,437	0,368	0,385
MgO	6,423	6,385	5,473	6,065	4,52	5,651	5,638	6,025	5,037	5,588	5,563	6,001	6,414	6,047
CaO	11,586	11,459	10,575	10,987	9,832	10,488	11,452	11,899	10,391	10,605	11,555	11,063	11,68	11,556
Total	99,65	99,45	99,27	99,81	100,05	98,94	100,02	99,04	100,41	98,74	99,4	98,86	99,51	99,31
TSi	5,942	5,931	5,932	5,983	5,947	5,916	5,964	5,889	5,947	5,983	5,92	5,916	5,928	5,915
TAI	0,058	0,069	0,068	0,017	0,053	0,084	0,036	0,111	0,053	0,017	0,08	0,084	0,072	0,085
Sum_T	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
AlVI	3,958	3,914	3,99	3,945	3,972	3,987	3,949	3,891	3,925	4,005	3,914	3,96	3,955	3,91
Ti	0,018	0,027	0,009	0,026	0,008	0,001	0,012	0,021	0,024	0,014	0,012	0,013	0,022	0,026
Sum_A	3,976	3,942	3,999	3,971	3,979	3,988	3,96	3,913	3,949	4,019	3,926	3,973	3,977	3,936
Fe2	2,601	2,644	2,908	2,774	3,248	2,885	2,817	2,672	3,091	2,856	2,815	2,738	2,581	2,705
Mg	1,471	1,467	1,269	1,394	1,05	1,312	1,295	1,392	1,161	1,301	1,286	1,39	1,47	1,394
Mn	0,045	0,056	0,063	0,047	0,082	0,064	0,038	0,049	0,077	0,049	0,054	0,058	0,048	0,05
Ca	1,907	1,892	1,762	1,814	1,641	1,751	1,89	1,975	1,722	1,774	1,919	1,842	1,924	1,915
Sum_B	6,024	6,058	6,001	6,029	6,021	6,012	6,04	6,087	6,051	5,981	6,074	6,027	6,023	6,064
Sum_cat	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Alm	43,181	43,638	48,456	46,012	53,941	47,99	46,639	43,887	51,086	47,755	46,349	45,427	42,844	44,605
Gross	31,654	31,231	29,36	30,092	27,264	29,116	31,297	32,451	28,455	29,667	31,599	30,556	31,949	31,574
Pyrope	24,416	24,213	21,142	23,113	17,44	21,828	21,438	22,862	19,192	21,751	21,167	23,062	24,411	22,989
Spess	0,749	0,918	1,043	0,784	1,355	1,067	0,627	0,8	1,266	0,827	0,884	0,954	0,796	0,832
XCagnt	0,317	0,312	0,294	0,301	0,273	0,291	0,313	0,324	0,285	0,297	0,316	0,306	0,319	0,316
XFegnt	0,432	0,436	0,485	0,46	0,539	0,48	0,466	0,439	0,511	0,478	0,463	0,454	0,429	0,446
XMggnt	0,244	0,242	0,211	0,231	0,174	0,218	0,214	0,229	0,192	0,218	0,212	0,231	0,244	0,23
XMngnt	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Fe_Mggnt	1,768	1,802	2,292	1,99	3,093	2,199	2,175	1,92	2,662	2,195	2,189	1,97	1,756	1,94

NCC-535 (granada)

Análise	30-49 nucleo	30-50 borda	p1-51 borda	p1-52 nucleo	p1-53 borda	p1-54 borda	p1-55 nucleo	p1-56 nucleo	p1-57 nucleo	p1-58 nucleo	p1-59 nucleo	p1-60 nucleo	p1-61 borda
SiO2	38,661	38,2	38,409	38,357	38,418	38,777	37,978	37,939	39,273	39,062	37,495	38,306	38,176
Al2O3	21,92	21,491	21,984	22,308	22,152	22,204	22,155	22,28	22,14	22,021	22,299	22,132	22,266
TiO2	0,144	0,043	0	0,005	0,067	0,096	0,148	0,005	0	0,058	0,033	0,359	0,144
FeO	21,807	22,223	21,912	21,88	21,932	19,576	21,174	19,634	19,797	19,582	21,574	21,271	19,944
MnO	0,399	0,353	0,516	0,426	0,387	0,336	0,441	0,358	0,303	0,392	0,473	0,512	0,35
MgO	5,718	5,365	5,057	6,131	5,76	6,181	5,75	6,358	6,262	6,071	6,008	6,583	6,293
CaO	11,373	10,744	11,437	10,963	11,18	12,469	11,907	12,178	12,775	12,561	10,761	10,906	11,875
Total	100,02	98,42	99,32	100,07	99,9	99,64	99,55	98,75	100,55	99,75	98,64	100,07	99,05
TSi	5,955	5,996	5,975	5,891	5,922	5,953	5,866	5,869	5,974	5,995	5,841	5,873	5,897
TAI	0,045	0,004	0,025	0,109	0,078	0,047	0,134	0,131	0,026	0,005	0,159	0,127	0,103
Sum_T	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
AlVI	3,932	3,969	4,002	3,926	3,944	3,967	3,896	3,928	3,94	3,975	3,932	3,869	3,947
Ti	0,017	0,005	0	0,001	0,008	0,011	0,017	0,001	0	0,007	0,004	0,041	0,017
Sum_A	3,949	3,974	4,002	3,926	3,952	3,978	3,913	3,928	3,94	3,981	3,936	3,91	3,964
Fe2	2,809	2,917	2,851	2,81	2,827	2,513	2,735	2,54	2,518	2,513	2,811	2,727	2,576
Mg	1,313	1,255	1,173	1,404	1,324	1,415	1,324	1,466	1,42	1,389	1,395	1,505	1,449
Mn	0,052	0,047	0,068	0,055	0,051	0,044	0,058	0,047	0,039	0,051	0,062	0,066	0,046
Ca	1,877	1,807	1,906	1,804	1,847	2,051	1,97	2,018	2,082	2,065	1,796	1,791	1,965
Sum_B	6,051	6,026	5,998	6,074	6,048	6,022	6,087	6,072	6,06	6,019	6,064	6,09	6,036
Sum_cat	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Alm	46,423	48,407	47,53	46,272	46,748	41,732	44,931	41,835	41,561	41,758	46,347	44,784	42,679
Gross	31,018	29,983	31,783	29,703	30,53	34,055	32,371	33,243	34,36	34,317	29,617	29,417	32,557
Pyrope	21,699	20,832	19,554	23,113	21,886	23,488	21,75	24,149	23,434	23,078	23,007	24,707	24,006
Spess	0,86	0,779	1,134	0,912	0,835	0,725	0,948	0,773	0,644	0,847	1,029	1,092	0,759
XCagnt	0,31	0,3	0,318	0,297	0,305	0,341	0,324	0,332	0,344	0,343	0,296	0,294	0,326
XFegnt	0,464	0,484	0,475	0,463	0,467	0,417	0,449	0,418	0,416	0,418	0,464	0,448	0,427
XMggnt	0,217	0,208	0,196	0,231	0,219	0,235	0,218	0,241	0,234	0,231	0,23	0,247	0,24
XMngnt	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Fe_Mggnt	2,139	2,324	2,431	2,001	2,135	1,776	2,066	1,733	1,773	1,809	2,015	1,812	1,778

NCC-535 (feldspato)

Análise	1-164	1-165	1-166	1-167	1-168	1-169
SiO ₂	57,288	55,669	55,838	55,947	57,029	57,02
Al ₂ O ₃	26,433	27,672	27,45	27,713	26,881	27,156
TiO ₂	0,04	0,005	0	0	0	0,03
Fe ₂ O ₃	0,192	0,254	0,165	0,131	0,199	0,25
MnO	0	0,017	0,003	0,002	0,037	0
MgO	0	0	0,003	0	0,013	0,001
CaO	8,693	10,074	10,067	10,033	9,084	9,378
Na ₂ O	6,623	6,243	6,165	6,129	6,496	6,512
K ₂ O	0,246	0,17	0,18	0,217	0,195	0,223
Total	99,51	100,1	99,87	100,17	99,93	100,57
Si	10,329	10,034	10,079	10,065	10,251	10,2
Al	5,612	5,874	5,835	5,871	5,69	5,721
Ti	0,005	0,001	0	0	0	0,004
Fe ₃	0,026	0,034	0,022	0,018	0,027	0,034
Mn	0	0,003	0	0	0,006	0
Mg	0	0	0,001	0	0,003	0
Ca	1,679	1,946	1,947	1,934	1,75	1,797
Na	2,315	2,182	2,158	2,138	2,264	2,259
K	0,057	0,039	0,041	0,05	0,045	0,051
Cations	20,023	20,113	20,083	20,076	20,036	20,066
Ab	57,1	52,4	52,1	51,9	55,8	55
An	41,4	46,7	47	46,9	43,1	43,8
Or	1,4	0,9	1	1,2	1,1	1,2

feldspato (matriz)

NCC 535 (anfibólio)

Análise	18-68 in_gt	18-69 in_gt	18-70 in_gt	18-71 in_gt	18-72	18-73	18-74	18-75	18-76	41-62	41-63	p1-64	p1-65	p1-66	p3-13
SiO2	44,332	50,448	45,744	47,859	44,943	44,286	43,604	43,44	43,866	44,122	44,499	43,346	44,026	44,129	46,764
TiO2	1,393	0,089	0,171	0,142	0,763	0,728	0,585	0,971	0,743	1,05	0,961	0,737	0,688	0,728	0,751
Al2O3	12,234	5,408	12,042	9,532	12,793	13,609	13,734	14,465	13,768	13,037	12,455	13,86	12,786	13,464	9,829
FeO	11,225	11,357	13,714	13,275	12,968	13,548	13,529	13,245	13,403	13,302	12,993	13,522	13,392	13,724	12,302
MnO	0,001	0,087	0,055	0,118	0,043	0,036	0,049	0,068	0,048	0,06	0,053	0,055	0,075	0,104	0,062
MgO	13,185	13,654	11,974	13,17	11,665	11,376	11,035	11,199	11,356	11,627	11,889	11,122	11,505	11,313	12,766
CaO	11,999	16,193	11,85	11,727	11,735	11,867	11,717	11,717	11,847	11,703	11,88	11,718	11,943	11,847	12,554
Na2O	1,169	0,54	1,095	0,847	1,225	1,253	1,296	1,364	1,247	1,276	1,275	1,294	1,285	1,294	0,991
K2O	0,907	0,261	0,78	0,499	0,924	1,008	1	1,158	1,021	0,959	0,895	0,978	0,941	1,021	0,777
F	0,201	0	0,071	0,117	0	0	0,144	0	0,127	0,081	0	0,071	0,128	0	0
Cl	0,033	0,014	0,026	0,006	0,046	0,07	0,042	0,066	0,052	0,033	0,041	0,049	0,06	0,027	0
Total	96,68	98,05	97,52	97,29	97,11	97,78	96,74	97,69	97,48	97,25	96,94	96,75	96,83	97,65	96,8
O_F_Cl	0,09	0	0,04	0,05	0,01	0,02	0,07	0,01	0,07	0,04	0,01	0,04	0,07	0,01	0
TSi	6,488	7,555	6,65	6,911	6,575	6,456	6,44	6,343	6,421	6,461	6,535	6,392	6,503	6,448	6,887
TAI	1,512	0,445	1,35	1,089	1,425	1,544	1,56	1,657	1,579	1,539	1,465	1,608	1,497	1,552	1,113
Sum_T	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
CAI	0,596	0,508	0,712	0,532	0,78	0,792	0,828	0,83	0,794	0,71	0,689	0,799	0,727	0,765	0,591
CFe3	0,345	0	0,455	0,569	0,278	0,344	0,334	0,346	0,362	0,384	0,295	0,389	0,292	0,359	0
CTi	0,153	0,01	0,019	0,015	0,084	0,08	0,065	0,107	0,082	0,116	0,106	0,082	0,076	0,08	0,083
CMg	2,877	3,048	2,595	2,835	2,544	2,472	2,43	2,438	2,478	2,538	2,603	2,445	2,533	2,464	2,803
CFe2	1,028	1,422	1,212	1,035	1,309	1,307	1,337	1,271	1,279	1,245	1,301	1,279	1,362	1,318	1,515
CMn	0	0,011	0,007	0,014	0,005	0,004	0,006	0,008	0,006	0,007	0,007	0,007	0,009	0,013	0,008
Sum_C	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
BCa	1,881	2	1,846	1,814	1,84	1,853	1,854	1,833	1,858	1,836	1,869	1,851	1,89	1,855	1,981
BNa	0,119	0	0,154	0,186	0,16	0,147	0,146	0,167	0,142	0,164	0,131	0,149	0,11	0,145	0,019
Sum_B	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
ACa	0	0,598	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ANa	0,213	0,157	0,154	0,052	0,187	0,208	0,225	0,219	0,212	0,199	0,232	0,221	0,258	0,221	0,264
AK	0,169	0,05	0,145	0,092	0,172	0,187	0,188	0,216	0,191	0,179	0,168	0,184	0,177	0,19	0,146
Sum_A	0,382	0,805	0,299	0,143	0,36	0,395	0,414	0,435	0,402	0,378	0,4	0,405	0,435	0,412	0,41
Sum_cat	15,382	15,805	15,299	15,143	15,36	15,395	15,414	15,435	15,402	15,378	15,4	15,405	15,435	15,412	15,41
CCl	0,008	0,004	0,006	0,001	0,011	0,017	0,011	0,016	0,013	0,008	0,01	0,012	0,015	0,007	0
CF	0,093	0	0,033	0,053	0	0	0,067	0	0,059	0,038	0	0,033	0,06	0	0
Sum_oxy	23	23,743	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23,018

NCC-535 (piroxênio)

Análise	p12-19	p12-20	p3-1	p3-10	p3-11	p3-14	p3-15	p3-16	p3-18	p3-2	p3-3	p3-4
SiO2	52,76	52,882	53,731	51,686	49,247	52,911	50,867	52,953	52,925	52,613	53,153	53,316
TiO2	0,099	0,07	0,02	0,025	0,109	0,065	0,035	0,03	0,015	0,095	0,02	0,07
Al2O3	1,633	1,45	1,15	1,832	1,579	1,276	5,451	1,284	1,331	1,35	1,198	1,333
FeO	8,145	8,02	7,872	8,039	8,323	7,928	7,442	7,793	7,84	7,845	7,792	8,069
MnO	0,079	0,094	0,092	0,075	0,036	0,083	0,12	0,078	0,057	0,091	0,073	0,113
MgO	13,278	13,326	13,582	13,254	12,581	13,435	12,516	13,339	13,365	13,269	13,363	13,303
CaO	23,833	23,598	23,821	21,017	21,062	24,018	22,706	23,861	23,678	23,286	23,63	23,746
Na2O	0,37	0,38	0,333	0,301	0,285	0,309	0,398	0,343	0,396	0,73	0,35	0,4
K2O	0	0,003	0,003	0,089	0,035	0,011	0,014	0	0	0,011	0,002	0
Total	100,2	99,82	100,6	96,32	93,26	100,04	99,55	99,68	99,61	99,29	99,58	100,35
TSi	1,96	1,971	1,987	1,995	1,968	1,968	1,894	1,976	1,975	1,966	1,986	1,978
TAI	0,04	0,029	0,013	0,005	0,032	0,032	0,106	0,024	0,025	0,034	0,014	0,022
M1Al	0,031	0,035	0,037	0,078	0,042	0,024	0,133	0,033	0,034	0,025	0,038	0,036
M1Ti	0,003	0,002	0,001	0,001	0,003	0,002	0,001	0,001	0	0,003	0,001	0,002
M1Fe2	0,231	0,223	0,214	0,158	0,205	0,229	0,171	0,225	0,222	0,233	0,217	0,226
M1Mg	0,735	0,74	0,749	0,763	0,749	0,745	0,695	0,742	0,744	0,739	0,744	0,736
M2Fe2	0,022	0,027	0,029	0,101	0,073	0,017	0,061	0,019	0,023	0,012	0,026	0,024
M2Mn	0,002	0,003	0,003	0,002	0,001	0,003	0,004	0,002	0,002	0,003	0,002	0,004
M2Ca	0,949	0,942	0,944	0,869	0,902	0,957	0,906	0,954	0,947	0,932	0,946	0,944
M2Na	0,027	0,027	0,024	0,023	0,022	0,022	0,029	0,025	0,029	0,053	0,025	0,029
M2K	0	0	0	0,004	0,002	0,001	0,001	0	0	0,001	0	0
Sum_cat	4	4	4	3,996	3,998	3,999	3,999	4	4	3,999	4	4
Ca	48,91	48,682	48,678	45,896	46,709	49,051	49,335	49,132	48,883	48,569	48,86	48,817
Mg	37,914	38,251	38,617	40,272	38,821	38,177	37,838	38,216	38,391	38,508	38,445	38,052
Fe2_Mn	13,175	13,067	12,705	13,832	14,47	12,772	12,827	12,652	12,727	12,922	12,695	13,131
JD1	1,357	1,408	1,225	1,403	1,222	1,157	1,579	1,264	1,459	1,265	1,299	1,469
AE1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,447	0	0
CTTS1	0,141	0,1	0,028	0,038	0,168	0,092	0,053	0,043	0,021	0,136	0,029	0,1
CATS1	0,235	0,36	0,65	0,214	0,941	0,059	5,58	0,393	0,266	0	0,656	0,368
WO1	47,933	47,61	47,474	45,059	45,058	48,397	43,024	48,137	47,927	47,188	47,598	47,72
EN1	37,448	37,77	38,201	39,758	38,371	37,786	37,317	37,781	37,866	37,521	37,991	37,562
FS1	12,886	12,752	12,421	13,528	14,24	12,508	12,448	12,382	12,461	12,444	12,427	12,781
Q	1,937	1,933	1,936	1,891	1,929	1,949	1,833	1,939	1,935	1,916	1,933	1,93
J	0,053	0,055	0,048	0,045	0,044	0,045	0,057	0,05	0,057	0,106	0,051	0,058
WO	48,91	48,682	48,678	45,896	46,709	49,051	49,335	49,132	48,883	48,569	48,86	48,817
EN	37,914	38,251	38,617	40,272	38,821	38,177	37,838	38,216	38,391	38,508	38,445	38,052
FS	13,175	13,067	12,705	13,832	14,47	12,772	12,827	12,652	12,727	12,922	12,695	13,131
WEF	97,325	97,241	97,596	97,676	97,763	97,767	96,965	97,507	97,126	94,777	97,447	97,11
JD	2,675	2,759	2,404	2,324	2,237	2,233	3,035	2,493	2,874	5,223	2,553	2,89

NCC-535 (plagioclásio)

Análise	p3-12	p3-17	p3-5	p3-6	p3-7	p3-9
SiO ₂	56,963	57,204	57,402	57,579	57,477	56,78
TiO ₂	0	0	0,01	0	0	0,02
Al ₂ O ₃	26,942	26,99	27,083	26,741	27,24	26,962
FeO	0,2	0,169	0,169	0,158	0,207	0,182
MnO	0,011	0	0,017	0	0,022	0,011
MgO	0,011	0	0,014	0	0	0,003
CaO	9,198	9,344	9,233	8,997	9,052	9,277
Na ₂ O	6,452	6,591	6,595	6,653	6,588	6,521
K ₂ O	0,182	0,198	0,189	0,202	0,222	0,193
Total	99,96	100,5	100,71	100,33	100,81	99,95
Si	10,241	10,238	10,245	10,305	10,244	10,218
Al	5,704	5,689	5,693	5,636	5,718	5,714
Ti	0	0	0,001	0	0	0,003
Fe ₂	0,03	0,025	0,025	0,024	0,031	0,027
Mn	0,002	0	0,003	0	0,003	0,002
Mg	0,003	0	0,004	0	0	0,001
Ca	1,772	1,792	1,766	1,725	1,729	1,789
Na	2,249	2,287	2,282	2,309	2,277	2,275
K	0,042	0,045	0,043	0,046	0,05	0,044
Cations	20,043	20,076	20,062	20,045	20,052	20,073
Ab	55,4	55,5	55,8	56,6	56,1	55,4
An	43,6	43,5	43,2	42,3	42,6	43,5
Or	1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,1

plagioclásio no simplectito

Análise	1-164	1-165	1-166	1-167	1-168	1-169
SiO ₂	57,288	55,669	55,838	55,947	57,029	57,02
TiO ₂	0,04	0,005	0	0	0	0,03
Al ₂ O ₃	26,433	27,672	27,45	27,713	26,881	27,156
Fe ₂ O ₃	0,192	0,254	0,165	0,131	0,199	0,25
MnO	0	0,017	0,003	0,002	0,037	0
MgO	0	0	0,003	0	0,013	0,001
CaO	8,693	10,074	10,067	10,033	9,084	9,378
Na ₂ O	6,623	6,243	6,165	6,129	6,496	6,512
K ₂ O	0,246	0,17	0,18	0,217	0,195	0,223
Total	99,51	100,1	99,87	100,17	99,93	100,57
Si	10,329	10,034	10,079	10,065	10,251	10,2
Al	5,612	5,874	5,835	5,871	5,69	5,721
Ti	0,005	0,001	0	0	0	0,004
Fe ₃	0,026	0,034	0,022	0,018	0,027	0,034
Mn	0	0,003	0	0	0,006	0
Mg	0	0	0,001	0	0,003	0
Ca	1,679	1,946	1,947	1,934	1,75	1,797
Na	2,315	2,182	2,158	2,138	2,264	2,259
K	0,057	0,039	0,041	0,05	0,045	0,051
Cations	20,023	20,113	20,083	20,076	20,036	20,066
Ab	57,1	52,4	52,1	51,9	55,8	55
An	41,4	46,7	47	46,9	43,1	43,8
Or	1,4	0,9	1	1,2	1,1	1,2

plagioclásio na matriz

NCC-233 (biotita)

Análise	102-100 inc/grt	102-101	102-96 inc/grt	102-97 inc/grt	102-98 inc/grt	102-99 inc/grt	50-82 inc/plg	51-83	51-84	51-85	51-86	64-102	64-103
SiO2	35,706	35,926	35,367	35,578	35,698	36,003	35,617	35,587	35,388	35,763	35,231	35,109	35,346
TiO2	4,119	3,667	3,775	4,033	4,074	2,385	4,07	4,092	4,331	4,117	3,909	4,43	4,126
Al2O3	18,506	18,544	18,477	18,651	18,502	19,749	18,462	18,747	18,444	18,468	18,445	17,86	18,17
FeO	15,348	16,775	16,214	16,19	15,769	11,881	15,887	16,297	16,776	16,868	16,521	16,936	16,904
MnO	0,009	0,051	0,008	0,014	0,015	0,019	0,06	0,048	0,097	0	0,044	0,025	0,003
MgO	10,099	9,937	9,643	9,692	9,912	13,717	9,937	9,776	9,701	9,587	9,637	9,786	9,519
CaO	0,026	0	0	0,01	0,011	0,008	0,01	0,024	0,004	0	0,007	0	0
Na2O	0,136	0,113	0,129	0,138	0,111	0,181	0,083	0,111	0,092	0,104	0,102	0,123	0,111
K2O	9,417	9,768	9,618	9,481	9,65	9,825	9,832	9,924	9,903	9,84	9,783	9,705	9,698
F	0,138	0,381	0,097	0,501	0,137	0,399	0,073	0,43	0,313	0,404	0,24	0,185	0,352
Cl	0	0,03	0,01	0,013	0,009	0,003	0	0	0,02	0,012	0	0	0,004
BaO	0,076	0,154	0,052	0,123	0,186	0	0,219	0,084	0,172	0,261	0,004	0,133	0,219
Total	93,58	95,35	93,39	94,42	94,07	94,17	94,25	95,12	95,24	95,42	93,92	94,29	94,45
O_F_Cl	0,06	0,17	0,04	0,21	0,06	0,17	0,03	0,18	0,14	0,17	0,1	0,08	0,15
CTotal	93,52	95,18	93,35	94,21	94,01	94	94,22	94,94	95,1	95,25	93,82	94,21	94,3
Si	5,686	5,681	5,676	5,665	5,679	5,619	5,665	5,636	5,615	5,663	5,646	5,623	5,656
AlIV	2,314	2,319	2,324	2,335	2,321	2,381	2,335	2,364	2,385	2,337	2,354	2,377	2,344
AlVI	1,157	1,134	1,168	1,162	1,146	1,249	1,123	1,133	1,061	1,107	1,127	0,992	1,08
Ti	0,493	0,436	0,456	0,483	0,488	0,28	0,487	0,487	0,517	0,49	0,471	0,534	0,497
Fe2	2,044	2,218	2,176	2,156	2,098	1,551	2,113	2,159	2,226	2,234	2,214	2,269	2,262
Mn	0,001	0,007	0,001	0,002	0,002	0,003	0,008	0,006	0,013	0	0,006	0,003	0
Mg	2,398	2,343	2,307	2,301	2,351	3,192	2,356	2,308	2,295	2,263	2,302	2,337	2,271
Ba	0	0,01	0	0,01	0,01	0	0,01	0,01	0,01	0,02	0	0,01	0,01
Ca	0,004	0	0	0,002	0,002	0,001	0,002	0,004	0,001	0	0,001	0	0
Na	0,042	0,035	0,04	0,043	0,034	0,055	0,026	0,034	0,028	0,032	0,032	0,038	0,034
K	1,913	1,971	1,969	1,926	1,959	1,956	1,995	2,005	2,005	1,988	2	1,983	1,98
Cations	16,052	16,154	16,117	16,085	16,09	16,287	16,12	16,146	16,156	16,134	16,153	16,166	16,134
CF	0,139	0,381	0,098	0,505	0,138	0,394	0,073	0,431	0,314	0,405	0,243	0,187	0,356
CCI	0	0,016	0,005	0,007	0,005	0,002	0	0	0,011	0,006	0	0	0,002
Fe_FeMg	0,46	0,49	0,49	0,48	0,47	0,33	0,47	0,48	0,49	0,5	0,49	0,49	0,5
Mg_FeMg	0,54	0,51	0,51	0,52	0,53	0,67	0,53	0,52	0,51	0,5	0,51	0,51	0,5

NCC-233 (biotita)

Análise	64-104	64-105	76-86	76-87	76-88	76-89	76-90	76-91	76-92	76-93	76-94	76-95
		zpress				inc/grt	inc/grt	inc/grt	inc/grt	inc/grt	inc/grt	inc/grt
SiO2	35,53	35,277	35,655	35,559	35,502	35,669	35,446	35,626	35,438	35,205	35,276	36,635
TiO2	4,13	4,45	3,991	3,726	3,98	3,711	3,821	3,928	4,172	3,698	3,864	3,692
Al2O3	18,232	18,297	18,402	18,15	18,248	18,744	18,257	18,259	18,345	18,985	18,64	17,629
FeO	17,063	16,875	17,039	17,109	16,919	15,289	16,375	16,797	16,288	15,719	15,295	14,591
MnO	0,037	0,017	0,049	0,043	0,026	0	0	0	0,023	0	0,03	0
MgO	9,431	9,44	9,802	9,838	9,571	10,837	10,018	10,229	10,152	11,1	11,252	12,607
CaO	0	0	0,012	0,003	0,003	0	0	0	0	0,013	0,01	0
Na2O	0,129	0,104	0,095	0,099	0,113	0,187	0,131	0,13	0,154	0,138	0,168	0,148
K2O	9,789	9,771	9,814	9,766	9,7	9,578	9,605	9,645	9,621	9,815	9,873	9,745
F	0,207	0,139	0,263	0,184	0,47	0,388	0,226	0,19	0,299	0,397	0,206	0,211
Cl	0	0,011	0,012	0,004	0,009	0	0	0,002	0,016	0,002	0	0,01
BaO	0,148	0,15	0,202	0,091	0,25	0,276	0,169	0,11	0,088	0,194	0,079	0,13
Total	94,7	94,53	95,34	94,57	94,79	94,68	94,05	94,92	94,6	95,27	94,69	95,4
O_F_Cl	0,09	0,06	0,11	0,08	0,2	0,16	0,1	0,08	0,13	0,17	0,09	0,09
CTotal	94,61	94,47	95,23	94,49	94,59	94,52	93,95	94,84	94,47	95,1	94,6	95,31
Si	5,663	5,627	5,648	5,672	5,667	5,642	5,667	5,648	5,633	5,557	5,579	5,716
AlIV	2,337	2,373	2,352	2,328	2,333	2,358	2,333	2,352	2,367	2,443	2,421	2,284
AlVI	1,085	1,064	1,081	1,081	1,097	1,134	1,104	1,057	1,067	1,086	1,051	0,955
Ti	0,495	0,534	0,476	0,447	0,478	0,442	0,459	0,468	0,499	0,439	0,46	0,433
Fe2	2,274	2,251	2,257	2,282	2,258	2,022	2,189	2,227	2,165	2,075	2,023	1,904
Mn	0,005	0,002	0,007	0,006	0,004	0	0	0	0,003	0	0,004	0
Mg	2,241	2,245	2,315	2,339	2,277	2,555	2,387	2,418	2,406	2,612	2,653	2,933
Ba	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0,01
Ca	0	0	0,002	0,001	0,001	0	0	0	0	0,002	0,002	0
Na	0,04	0,032	0,029	0,031	0,035	0,057	0,041	0,04	0,047	0,042	0,052	0,045
K	1,991	1,988	1,983	1,987	1,975	1,933	1,959	1,951	1,951	1,976	1,992	1,94
Cations	16,141	16,126	16,16	16,184	16,145	16,163	16,149	16,171	16,148	16,242	16,237	16,22
CF	0,209	0,14	0,263	0,186	0,474	0,388	0,229	0,191	0,301	0,396	0,206	0,208
CCI	0	0,006	0,006	0,002	0,005	0	0	0,001	0,009	0,001	0	0,005
Fe_FeMg	0,5	0,5	0,49	0,49	0,5	0,44	0,48	0,48	0,47	0,44	0,43	0,39
Mg_FeMg	0,5	0,5	0,51	0,51	0,5	0,56	0,52	0,52	0,53	0,56	0,57	0,61

NCC-233 (feldspato)

Análise	102-163 inc/gran	102-164	102-165	102-166	51-143 borda	51-144 borda	51-145 nucleo	51-146 nucleo	51-147 nucleo	51-148 nucleo	51-149 borda	51-150 nucleo
SiO ₂	63,011	60,534	60,616	59,716	57,548	61,038	61,02	61,063	61,173	61,034	60,386	60,947
Al ₂ O ₃	22,601	22,966	23,659	23,879	22,205	24,02	23,731	23,709	23,819	23,804	23,905	23,834
TiO ₂	0,015	0	0	0,025	0	0	0,035	0,07	0	0,015	0,045	0,035
Fe ₂ O ₃	0,134	0,231	0,31	0,206	0,324	0,024	0,051	0	0,017	0,059	0,02	0,028
MnO	0	0,007	0	0	0,012	0,03	0,053	0,003	0,003	0,021	0	0
MgO	0,005	0,012	0	0,003	0,02	0	0	0	0	0	0	0
CaO	3,66	4,607	5,449	5,992	5,18	5,748	5,496	5,402	5,558	5,416	5,72	5,486
Na ₂ O	9,405	8,6	8,402	8,4	7,893	8,273	8,443	8,517	8,374	8,532	8,436	8,64
K ₂ O	0,285	0,374	0,379	0,423	0,085	0,226	0,39	0,472	0,4	0,399	0,345	0,39
Total	99,12	97,33	98,82	98,64	93,27	99,36	99,22	99,24	99,34	99,28	98,86	99,36
Si	11,24	11,039	10,919	10,81	10,96	10,916	10,94	10,947	10,947	10,936	10,877	10,918
Al	4,748	4,932	5,019	5,091	4,98	5,059	5,011	5,005	5,02	5,023	5,071	5,028
Ti	0,002	0	0	0,003	0	0	0,005	0,009	0	0,002	0,006	0,005
Fe ₃	0,018	0,032	0,042	0,028	0,046	0,003	0,007	0	0,002	0,008	0,003	0,004
Mn	0	0,001	0	0	0,002	0,005	0,008	0	0	0,003	0	0
Mg	0,001	0,003	0	0,001	0,006	0	0	0	0	0	0	0
Ca	0,7	0,9	1,052	1,162	1,057	1,101	1,056	1,038	1,066	1,04	1,104	1,053
Na	3,253	3,041	2,935	2,949	2,915	2,869	2,935	2,961	2,906	2,964	2,946	3,001
K	0,065	0,087	0,087	0,098	0,021	0,052	0,089	0,108	0,091	0,091	0,079	0,089
Cations	20,027	20,035	20,054	20,142	19,987	20,005	20,051	20,068	20,032	20,067	20,086	20,098
Ab	81	75,5	72	70,1	73	71,3	71,9	72,1	71,5	72,4	71,3	72,4
An	17,4	22,3	25,8	27,6	26,5	27,4	25,9	25,3	26,2	25,4	26,7	25,4
Or	1,6	2,2	2,1	2,3	0,5	1,3	2,2	2,6	2,2	2,2	1,9	2,1

NCC-233 (feldspato)

Análise	51-151 borda	51-152 nucleo	51-153 borda	57-154 borda	57-155 nucleo	57-156 borda	57-157 borda	57-158 nucleo	57-159 borda	57-160 nucleo	76-161 inc/gran	76-162 inc/gran
SiO ₂	60,505	61,071	60,91	60,432	60,327	60,284	60,35	60,447	61,082	61,077	65,928	65,263
Al ₂ O ₃	24,041	23,891	24,08	24,121	23,73	24,082	24,168	23,897	23,926	23,775	21,334	22,098
TiO ₂	0,015	0	0	0	0	0,01	0,01	0	0	0	0	0
Fe ₂ O ₃	0,09	0,064	0,015	0,038	0	0,008	0	0	0	0,03	0,042	0,194
MnO	0,041	0,033	0	0	0,01	0,018	0	0	0	0,02	0,016	0,016
MgO	0	0	0,003	0,003	0	0,005	0,014	0,014	0,004	0,002	0,004	0
CaO	5,869	5,761	5,789	5,868	5,7	5,941	5,921	5,686	5,535	5,477	2,244	3,073
Na ₂ O	8,388	8,427	8,451	8,245	8,348	8,299	8,396	8,313	8,549	8,4	10,456	10,148
K ₂ O	0,198	0,216	0,312	0,232	0,313	0,287	0,298	0,409	0,347	0,426	0,148	0,131
Total	99,15	99,46	99,56	98,94	98,43	98,93	99,16	98,77	99,44	99,21	100,17	100,92
Si	10,863	10,92	10,888	10,865	10,905	10,85	10,841	10,892	10,925	10,947	11,574	11,409
Al	5,083	5,031	5,069	5,107	5,052	5,104	5,113	5,071	5,04	5,019	4,411	4,549
Ti	0,002	0	0	0	0	0,001	0,001	0	0	0	0	0
Fe ₃	0,012	0,009	0,002	0,005	0	0,001	0	0	0	0,004	0,006	0,025
Mn	0,006	0,005	0	0	0,002	0,003	0	0	0	0,003	0,002	0,002
Mg	0	0	0,001	0,001	0	0,001	0,004	0,004	0,001	0,001	0,001	0
Ca	1,129	1,104	1,109	1,13	1,104	1,146	1,14	1,098	1,061	1,052	0,422	0,576
Na	2,92	2,922	2,929	2,874	2,926	2,896	2,924	2,905	2,965	2,919	3,559	3,44
K	0,045	0,049	0,071	0,053	0,072	0,066	0,068	0,094	0,079	0,097	0,033	0,029
Cations	20,06	20,04	20,069	20,035	20,061	20,068	20,091	20,064	20,071	20,042	20,008	20,03
Ab	71,3	71,7	71,3	70,8	71,3	70,5	70,8	70,9	72,2	71,8	88,7	85
An	27,6	27,1	27	27,9	26,9	27,9	27,6	26,8	25,8	25,9	10,5	14,2
Or	1,1	1,2	1,7	1,3	1,8	1,6	1,6	2,3	1,9	2,4	0,8	0,7

NCC-233 (granada)

Análise	102-192 borda	102-193 borda	102-194 nucleo	102-195 nucleo	102-196 nucleo	102-197 nucleo	102-198 nucleo	102-199 nuc/bio	102-200 nucleo	102-201 nucleo	102-202 nucleo	102-203 nucleo	102-204 nucleo
SiO2	36,842	37,034	37,514	37,522	37,464	38,053	37,75	36,889	36,969	37,693	37,593	37,503	37,423
Al2O3	21,615	21,688	21,575	21,683	21,703	21,516	21,424	21,756	21,549	21,594	21,675	21,724	21,603
TiO2	0,069	0	0,032	0,037	0,042	0,009	0,051	0,042	0,023	0	0,009	0,005	0,005
FeO	31,054	30,811	30,856	31,162	31,168	31,004	30,643	30,965	30,783	31,06	30,913	31,315	30,962
MnO	1,341	1,237	1,093	1,19	1,085	1,19	1,093	1,339	1,123	1,219	1,188	1,112	1,12
MgO	4,491	4,982	5,217	5,279	5,298	5,193	4,822	4,765	5,029	5,15	5,564	5,641	5,253
CaO	2,339	2,879	2,692	2,446	2,302	2,137	2,804	2,021	2,029	2,073	2,082	2,112	2,032
Total	97,75	98,63	98,98	99,32	99,06	99,1	98,59	97,78	97,51	98,79	99,02	99,41	98,4
TSi	5,975	5,931	5,982	5,965	5,97	6,066	6,054	5,971	5,991	6,029	5,984	5,947	6,005
TAI	0,025	0,069	0,018	0,035	0,03	0	0	0,029	0,009	0	0,016	0,053	0
Sum_T	6	6	6	6	6	6,066	6,054	6	6	6,029	6	6	6,005
AlVI	4,103	4,022	4,034	4,025	4,043	4,039	4,046	4,119	4,104	4,068	4,048	4,004	4,082
Ti	0,008	0	0,004	0,004	0,005	0,001	0,006	0,005	0,003	0	0,001	0,001	0,001
Sum_A	4,112	4,022	4,037	4,029	4,048	4,04	4,053	4,124	4,107	4,068	4,049	4,005	4,083
Fe2	4,212	4,127	4,115	4,143	4,154	4,133	4,11	4,192	4,172	4,155	4,115	4,153	4,155
Mg	1,086	1,189	1,24	1,251	1,259	1,234	1,153	1,15	1,215	1,228	1,32	1,334	1,257
Mn	0,184	0,168	0,148	0,16	0,146	0,161	0,148	0,184	0,154	0,165	0,16	0,149	0,152
Ca	0,406	0,494	0,46	0,417	0,393	0,365	0,482	0,351	0,352	0,355	0,355	0,359	0,349
Sum_B	5,888	5,978	5,963	5,971	5,952	5,893	5,893	5,876	5,893	5,903	5,951	5,995	5,913
Sum_cat	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Alm	71,529	69,032	69,011	69,386	69,789	70,138	69,742	71,341	70,791	70,382	69,154	69,277	70,267
Gross	6,902	8,264	7,714	6,978	6,604	6,194	8,176	5,965	5,978	6,018	5,967	5,986	5,908
Pyrope	18,44	19,897	20,799	20,953	21,147	20,941	19,563	19,569	20,616	20,803	22,188	22,246	21,251
Spess	3,128	2,807	2,476	2,684	2,461	2,727	2,519	3,124	2,616	2,798	2,692	2,492	2,574
XCagnt	0,069	0,083	0,077	0,07	0,066	0,062	0,082	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,059
XFegnt	0,715	0,69	0,69	0,694	0,698	0,701	0,697	0,713	0,708	0,704	0,692	0,693	0,703
XMggnt	0,184	0,199	0,208	0,21	0,212	0,209	0,196	0,196	0,206	0,208	0,222	0,223	0,213
XMngnt	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03
Fe_Mggnt	3,878	3,471	3,319	3,312	3,299	3,349	3,565	3,645	3,434	3,384	3,117	3,113	3,305

NCC-233 (granada)

Análise	102-205 nuc/bio	102-206 borda	102-207 nucleo	102-208 borda	102-209 borda	102-210 nucleo	102-211 borda	102-212 borda	64-213 borda	64-214 nucleo	64-215 nucleo	64-216 nucleo	64-217 nucleo
SiO2	37,312	37,082	38,305	37,248	36,995	37,978	37,345	37,878	37,544	38,087	37,721	38,018	38,043
Al2O3	21,529	21,537	21,092	21,584	21,827	21,913	21,653	21,713	21,482	21,45	21,763	21,71	21,476
TiO2	0,028	0	0,019	0,056	0,019	0	0	0,028	0,088	0	0,042	0,051	0,071
FeO	31,242	30,853	29,477	30,509	31,154	30,106	31,428	31,265	31,374	24,77	30,211	29,435	24,118
MnO	1,164	1,27	1,109	1,144	1,481	1,108	1,447	1,414	1,42	2,428	1,439	1,41	3,236
MgO	5,077	4,927	5,25	4,966	4,573	5,526	4,588	4,714	4,685	3,395	4,758	4,585	3,059
CaO	2,054	2,42	3,833	2,887	2,208	2,346	1,954	2,039	2,23	9,154	3,569	4,429	8,997
Total	98,41	98,09	99,08	98,39	98,26	98,98	98,41	99,05	98,82	99,28	99,5	99,64	99
TSi	5,996	5,977	6,087	5,978	5,967	6,037	6,018	6,059	6,024	6,034	5,988	6,022	6,057
TAI	0,004	0,023	0	0,022	0,033	0	0	0	0	0	0,012	0	0
Sum_T	6	6	6,087	6	6	6,037	6,018	6,059	6,024	6,034	6	6,022	6,057
AlVI	4,07	4,066	3,947	4,058	4,112	4,102	4,109	4,09	4,059	4,002	4,057	4,05	4,027
Ti	0,003	0	0,002	0,007	0,002	0	0	0,003	0,011	0	0,005	0,006	0,009
Sum_A	4,073	4,066	3,95	4,065	4,115	4,102	4,109	4,094	4,07	4,002	4,062	4,056	4,035
Fe2	4,198	4,159	3,918	4,095	4,202	4,002	4,236	4,182	4,21	3,282	4,011	3,899	3,211
Mg	1,216	1,184	1,244	1,188	1,1	1,31	1,102	1,124	1,121	0,802	1,126	1,083	0,726
Mn	0,158	0,173	0,149	0,156	0,202	0,149	0,198	0,192	0,193	0,326	0,194	0,189	0,436
Ca	0,354	0,418	0,653	0,496	0,382	0,4	0,337	0,349	0,383	1,554	0,607	0,752	1,535
Sum_B	5,927	5,934	5,963	5,935	5,885	5,861	5,873	5,848	5,907	5,964	5,938	5,923	5,908
Sum_cat	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Alm	70,839	70,085	65,695	68,996	71,398	68,292	72,123	71,524	71,271	55,034	67,552	65,835	54,351
Gross	5,967	7,043	10,944	8,365	6,483	6,818	5,745	5,976	6,49	26,056	10,224	12,691	25,975
Pyrope	20,521	19,951	20,857	20,019	18,682	22,345	18,769	19,224	18,972	13,446	18,965	18,28	12,288
Spess	2,673	2,922	2,503	2,62	3,438	2,546	3,363	3,276	3,267	5,464	3,259	3,194	7,386
XCagnt	0,06	0,07	0,109	0,084	0,065	0,068	0,057	0,06	0,065	0,261	0,102	0,127	0,26
XFegnt	0,708	0,701	0,657	0,69	0,714	0,683	0,721	0,715	0,713	0,55	0,675	0,658	0,544
XMggnt	0,205	0,2	0,209	0,2	0,187	0,224	0,188	0,192	0,19	0,134	0,19	0,183	0,123
XMngnt	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05	0,03	0,03	0,07
Fe_Mggnt	3,452	3,513	3,15	3,447	3,82	3,055	3,844	3,721	3,756	4,092	3,562	3,6	4,423

NCC-233 (granada)

Análise	64-218 nucleo	64-219 nucleo	64-220 nucleo	64-221 nucleo	64-222 nucleo	64-223 nucleo	64-224 nucleo	64-225 nucleo	64-226 nucleo	64-227 nucleo	64-228 nucleo	64-229 borda	64-230 borda
SiO2	38,057	38,295	38,076	37,995	37,8	37,99	37,91	38,106	37,87	37,791	38,454	37,979	37,665
Al2O3	21,456	21,58	21,598	21,781	21,59	21,5	21,52	21,548	21,493	21,619	21,798	21,745	21,584
TiO2	0,146	0,071	0,047	0	0,037	0,066	0	0,056	0	0	0,037	0	0,014
FeO	24,667	26,047	24,364	27,526	27,734	26,054	26,373	28,64	29,533	30,09	31,277	32,299	31,442
MnO	2,232	1,901	3,213	2,17	2,342	2,317	2,477	1,719	1,408	1,34	1,405	1,482	1,357
MgO	3,496	3,63	3,074	4,542	4,441	4,111	4,195	4,927	5,007	5,219	5,152	4,385	4,715
CaO	8,615	8,433	8,744	5,436	5,174	6,54	6,588	4,083	3,734	2,602	2,056	1,898	2,064
Total	98,67	99,96	99,12	99,45	99,12	98,58	99,06	99,08	99,05	98,66	100,18	99,79	98,84
TSi	6,065	6,031	6,056	6,013	6,012	6,063	6,022	6,057	6,027	6,039	6,069	6,051	6,04
TAI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum_T	6,065	6,031	6,056	6,013	6,012	6,063	6,022	6,057	6,027	6,039	6,069	6,051	6,04
AlVI	4,027	4,002	4,046	4,059	4,044	4,041	4,026	4,034	4,028	4,069	4,051	4,08	4,076
Ti	0,018	0,008	0,006	0	0,004	0,008	0	0,007	0	0	0,004	0	0,002
Sum_A	4,044	4,011	4,051	4,059	4,048	4,049	4,026	4,041	4,028	4,069	4,056	4,08	4,078
Fe2	3,288	3,43	3,241	3,643	3,689	3,478	3,504	3,807	3,931	4,022	4,128	4,304	4,217
Mg	0,831	0,852	0,729	1,072	1,053	0,978	0,993	1,168	1,188	1,243	1,212	1,042	1,127
Mn	0,301	0,254	0,433	0,291	0,316	0,313	0,333	0,231	0,19	0,181	0,188	0,2	0,184
Ca	1,471	1,423	1,49	0,922	0,882	1,118	1,121	0,695	0,637	0,446	0,348	0,324	0,355
Sum_B	5,891	5,959	5,893	5,927	5,939	5,887	5,952	5,902	5,945	5,892	5,876	5,869	5,883
Sum_cat	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Alm	55,812	57,566	54,997	61,463	62,113	59,069	58,868	64,512	66,116	68,256	70,257	73,326	71,678
Gross	24,973	23,878	25,287	15,551	14,845	18,996	18,84	11,783	10,71	7,562	5,917	5,52	6,028
Pyrope	14,1	14,301	12,369	18,079	17,73	16,614	16,692	19,783	19,982	21,104	20,63	17,746	19,161
Spess	5,115	4,255	7,346	4,908	5,312	5,32	5,6	3,922	3,193	3,079	3,196	3,408	3,133
XCagnt	0,25	0,239	0,253	0,156	0,148	0,19	0,188	0,118	0,107	0,076	0,059	0,055	0,06
XFegnt	0,558	0,576	0,55	0,615	0,621	0,591	0,589	0,645	0,661	0,683	0,703	0,733	0,717
XMggnt	0,141	0,143	0,124	0,181	0,177	0,166	0,167	0,198	0,2	0,211	0,206	0,178	0,192
XMngnt	0,05	0,04	0,07	0,05	0,05	0,05	0,06	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Fe_Mggnt	3,957	4,026	4,446	3,398	3,503	3,556	3,529	3,259	3,309	3,236	3,406	4,131	3,742

NCC-233 (granada)

Análise	64-231 borda	76-170 borda	76-171 nucleo	76-172 nucleo	76-173 nucleo	76-174 nuc/bio	76-175 nuc/bio	76-176 nucleo	76-177 nucleo	76-178 nucleo	76-179 nucleo	76-180 nucleo	76-181 nucleo
SiO2	37,844	37,358	37,426	37,86	37,279	37,417	37,392	38,044	36,899	37,191	37,533	37,414	37,263
Al2O3	21,555	21,657	21,658	21,546	21,454	21,494	21,586	21,303	21,729	21,808	21,717	21,775	21,597
TiO2	0,009	0	0,056	0	0	0,032	0,079	0,014	0,097	0,042	0,028	0,005	0
FeO	31,821	31,763	30,089	29,191	30,55	32,308	31,419	31,338	30,184	29,837	30,315	30,031	29,768
MnO	1,556	1,526	0,95	1,078	1,253	1,392	1,244	1,048	1,278	1,196	1,178	1,101	1,097
MgO	4,476	4,567	5,015	4,807	4,635	4,192	4,803	5,071	5,187	5,271	5,264	5,184	5,084
CaO	2,147	2,067	3,554	4,611	3,048	2,419	2,212	2,348	2,588	2,89	2,837	2,924	2,991
Total	99,41	98,94	98,75	99,09	98,22	99,25	98,74	99,17	97,96	98,24	98,87	98,43	97,8
TSi	6,047	5,993	5,975	6,018	6,005	5,999	5,999	6,068	5,94	5,961	5,983	5,988	6,004
TAI	0	0,007	0,025	0	0	0,001	0,001	0	0,06	0,039	0,017	0,012	0
Sum_T	6,047	6	6	6,018	6,005	6	6	6,068	6	6	6	6	6,004
AlVI	4,056	4,084	4,046	4,033	4,07	4,058	4,077	4,002	4,059	4,077	4,06	4,092	4,098
Ti	0,001	0	0,007	0	0	0,004	0,01	0,002	0,012	0,005	0,003	0,001	0
Sum_A	4,057	4,084	4,053	4,033	4,07	4,061	4,087	4,003	4,071	4,082	4,064	4,093	4,098
Fe2	4,252	4,261	4,017	3,88	4,115	4,332	4,215	4,18	4,064	3,999	4,042	4,02	4,011
Mg	1,066	1,092	1,193	1,139	1,113	1,002	1,149	1,206	1,245	1,259	1,251	1,237	1,221
Mn	0,211	0,207	0,128	0,145	0,171	0,189	0,169	0,142	0,174	0,162	0,159	0,149	0,15
Ca	0,368	0,355	0,608	0,785	0,526	0,416	0,38	0,401	0,446	0,496	0,485	0,501	0,516
Sum_B	5,896	5,916	5,947	5,949	5,925	5,939	5,913	5,929	5,929	5,918	5,936	5,907	5,898
Sum_cat	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Alm	72,113	72,029	67,549	65,218	69,453	72,947	71,286	70,506	68,537	67,586	68,083	68,046	68,004
Gross	6,234	6,005	10,222	13,198	8,878	6,997	6,43	6,768	7,529	8,387	8,163	8,488	8,754
Pyrope	18,082	18,461	20,069	19,144	18,784	16,872	19,426	20,338	20,995	21,283	21,074	20,939	20,703
Spess	3,571	3,505	2,16	2,439	2,885	3,183	2,859	2,388	2,939	2,744	2,68	2,527	2,538
XCagnt	0,062	0,06	0,102	0,132	0,089	0,07	0,064	0,068	0,075	0,084	0,082	0,085	0,087
XFegnt	0,721	0,72	0,676	0,652	0,695	0,729	0,713	0,705	0,685	0,676	0,681	0,681	0,68
XMggnt	0,181	0,185	0,201	0,191	0,188	0,169	0,194	0,203	0,21	0,213	0,211	0,209	0,207
XMngnt	0,04	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Fe_Mggnt	3,989	3,902	3,367	3,406	3,697	4,323	3,668	3,466	3,264	3,176	3,231	3,25	3,285

NCC-233 (granada)

Análise	76-182 nucleo	76-183 nucleo	76-184 borda	76-186 nucleo	76-187 nucleo	76-188 nucleo	76-189 nuc/bio	76-190 borda	76-191 prox/bor
SiO2	37,884	37,993	37,211	37,55	38,012	38,093	37,273	37,278	38,03
Al2O3	21,486	21,641	21,861	21,57	21,738	21,552	21,653	21,32	21,312
TiO2	0,009	0	0,06	0	0	0	0,078	0,042	0
FeO	29,749	30,13	32,217	29,745	29,473	30,289	32,228	30,957	30,663
MnO	1,159	1,162	1,409	1,016	1,04	1,185	1,461	1,322	1,094
MgO	5,311	4,931	4,765	5,055	5,156	5,3	4,339	4,686	5,07
CaO	2,848	3,528	1,836	3,768	3,855	2,924	2,087	2,672	2,993
Total	98,45	99,39	99,36	98,7	99,27	99,34	99,12	98,28	99,16
TSi	6,06	6,031	5,941	5,992	6,024	6,044	5,98	6,008	6,057
TAI	0	0	0,059	0,008	0	0	0,02	0	0
Sum_T	6,06	6,031	6	6	6,024	6,044	6	6,008	6,057
AlVI	4,048	4,046	4,052	4,046	4,057	4,027	4,071	4,047	3,997
Ti	0,001	0	0,007	0	0	0	0,009	0,005	0
Sum_A	4,049	4,046	4,059	4,046	4,057	4,027	4,081	4,052	3,997
Fe2	3,98	4	4,302	3,97	3,906	4,019	4,324	4,173	4,084
Mg	1,266	1,167	1,134	1,203	1,218	1,254	1,038	1,126	1,204
Mn	0,157	0,156	0,191	0,137	0,14	0,159	0,199	0,18	0,148
Ca	0,488	0,6	0,314	0,644	0,655	0,497	0,359	0,461	0,511
Sum_B	5,891	5,923	5,941	5,954	5,919	5,929	5,919	5,94	5,946
Sum_cat	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Alm	67,552	67,531	72,414	66,674	66	67,786	73,053	70,241	68,685
Gross	8,285	10,131	5,287	10,821	11,06	8,384	6,061	7,767	8,589
Pyrope	21,498	19,701	19,092	20,198	20,582	21,144	17,532	18,953	20,244
Spess	2,665	2,638	3,208	2,307	2,359	2,686	3,354	3,038	2,482
XCagnt	0,083	0,101	0,053	0,108	0,111	0,084	0,061	0,078	0,086
XFegnt	0,676	0,675	0,724	0,667	0,66	0,678	0,73	0,703	0,687
XMggnt	0,215	0,197	0,191	0,202	0,206	0,212	0,175	0,19	0,202
XMngnt	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02
Fe_Mggnt	3,144	3,428	3,794	3,3	3,207	3,205	4,166	3,706	3,392

NCC-126 (biotita)

Análise	115-106	115-107	115-108	115-109 inc/grt	118-110 inc/grt	118-111 inc/grt	118-112	118-113	118-114	124-115	125-116	125-117
SiO ₂	35,149	35,56	35,673	35,095	35,571	35,686	35,106	35,263	34,931	35,397	35,288	35,237
TiO ₂	3,52	3,798	3,912	3,661	3,386	4,088	3,444	3,797	3,778	3,384	3,412	3,578
Al ₂ O ₃	18,286	18,337	18,488	18,235	18,416	18,411	18,319	17,863	18,11	18,585	18,036	18,217
FeO	19,386	19,29	19,892	19,932	19,146	18,734	19,758	20,163	20,102	19,774	19,776	19,648
MnO	0,144	0,056	0,142	0,139	0,064	0,084	0,14	0,184	0,109	0,102	0,079	0,083
MgO	8,254	8,211	8,059	8,377	8,829	8,641	8,446	8,178	8,423	8,163	8,649	8,55
CaO	0	0,011	0,01	0,015	0,012	0,022	0,024	0	0,043	0,014	0	0,009
Na ₂ O	0,096	0,091	0,089	0,092	0,104	0,109	0,106	0,032	0,103	0,102	0,09	0,112
K ₂ O	9,77	9,905	9,875	9,728	9,879	9,888	9,598	9,804	9,714	9,972	9,867	9,894
F	0,442	0,127	0,408	0,355	0,487	0,495	0,387	0,397	0,088	0,354	0,138	0,331
Cl	0,082	0,049	0,11	0,109	0,099	0,084	0,083	0,07	0,076	0,105	0,088	0,072
BaO	0,14	0,18	0,188	0,123	0,332	0,212	0,137	0,326	0,126	0,146	0,177	0,16
Total	95,27	95,62	96,85	95,86	96,33	96,45	95,55	96,08	95,6	96,1	95,6	95,89
O_F_Cl	0,2	0,06	0,2	0,17	0,23	0,23	0,18	0,18	0,05	0,17	0,08	0,16
CTotal	95,07	95,56	96,65	95,69	96,1	96,22	95,37	95,9	95,55	95,93	95,52	95,73
Si	5,655	5,673	5,652	5,622	5,659	5,652	5,634	5,654	5,602	5,651	5,654	5,636
Al ^{IV}	2,345	2,327	2,348	2,378	2,341	2,348	2,366	2,346	2,398	2,349	2,346	2,364
Al ^{VI}	1,12	1,118	1,102	1,062	1,109	1,086	1,096	1,027	1,022	1,145	1,057	1,067
Ti	0,426	0,456	0,466	0,441	0,405	0,487	0,416	0,458	0,456	0,406	0,411	0,43
Fe ²	2,609	2,574	2,636	2,67	2,547	2,481	2,652	2,704	2,696	2,64	2,65	2,628
Mn	0,02	0,008	0,019	0,019	0,009	0,011	0,019	0,025	0,015	0,014	0,011	0,011
Mg	1,98	1,953	1,904	2,001	2,094	2,04	2,021	1,955	2,014	1,943	2,066	2,039
Ba	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
Ca	0	0,002	0,002	0,003	0,002	0,004	0,004	0	0,007	0,002	0	0,002
Na	0,03	0,028	0,027	0,029	0,032	0,033	0,033	0,01	0,032	0,032	0,028	0,035
K	2,005	2,016	1,996	1,988	2,005	1,998	1,965	2,005	1,987	2,031	2,017	2,019
Cations	16,2	16,165	16,162	16,223	16,223	16,15	16,216	16,204	16,239	16,223	16,25	16,241
CF	0,45	0,128	0,409	0,36	0,49	0,496	0,393	0,403	0,089	0,357	0,14	0,335
CCl	0,045	0,027	0,059	0,059	0,053	0,045	0,045	0,038	0,041	0,057	0,048	0,039
Fe_FeMg	0,57	0,57	0,58	0,57	0,55	0,55	0,57	0,58	0,57	0,58	0,56	0,56
Mg_FeMg	0,43	0,43	0,42	0,43	0,45	0,45	0,43	0,42	0,43	0,42	0,44	0,44

NCC-126 (feldspato)

Análise	115-137 borda	115-138 nucleo	115-139 borda	115-140 FK	115-141 FK	118-118 borda	118-119 nucleo	118-120 nucleo	118-121 nucleo	118-122 nucleo	118-123 nucleo	118-124 nucleo	118-125 nucleo
SiO ₂	60,415	60,218	60,218	63,095	63,44	60,478	59,595	59,553	60,458	60,034	59,777	59,967	59,919
Al ₂ O ₃	25,324	25,017	24,916	18,288	18,556	25,189	25,155	25,2	25,24	25,255	24,998	24,907	24,928
TiO ₂	0,025	0	0	0	0,015	0,03	0	0	0	0,06	0	0,005	0,02
Fe ₂ O ₃	0,029	0,043	0,034	0	0	0	0	0,027	0,059	0,037	0,036	0,069	0,114
MnO	0,004	0	0	0	0,049	0	0,011	0,012	0,009	0,003	0,012	0,018	0
MgO	0,005	0	0	0,003	0,015	0	0,004	0	0,008	0,007	0,002	0	0
CaO	6,809	6,753	6,61	0,027	0,057	6,643	6,976	6,903	6,622	6,895	6,951	6,748	6,581
Na ₂ O	7,863	7,951	8,103	1,069	1,565	8,222	7,771	7,923	7,822	7,815	7,862	7,973	8,306
K ₂ O	0,204	0,308	0,224	15,383	14,508	0,154	0,287	0,345	0,262	0,319	0,277	0,184	0,137
Total	100,68	100,29	100,11	97,86	98,21	100,72	99,8	99,96	100,48	100,43	99,91	99,87	100,01
Si	10,697	10,714	10,728	11,918	11,899	10,708	10,661	10,646	10,72	10,67	10,683	10,711	10,696
Al	5,28	5,242	5,228	4,068	4,099	5,252	5,3	5,305	5,27	5,286	5,261	5,239	5,24
Ti	0,003	0	0	0	0,002	0,004	0	0	0	0,008	0	0,001	0,003
Fe ₃	0,004	0,006	0,005	0	0	0	0	0,004	0,008	0,005	0,005	0,009	0,015
Mn	0,001	0	0	0	0,008	0	0,002	0,002	0,001	0	0,002	0,003	0
Mg	0,001	0	0	0,001	0,004	0	0,001	0	0,002	0,002	0,001	0	0
Ca	1,292	1,287	1,262	0,005	0,011	1,26	1,337	1,322	1,258	1,313	1,331	1,291	1,259
Na	2,699	2,743	2,799	0,392	0,569	2,823	2,696	2,746	2,689	2,693	2,724	2,761	2,875
K	0,046	0,07	0,051	3,707	3,471	0,035	0,065	0,079	0,059	0,072	0,063	0,042	0,031
Cations	20,023	20,062	20,073	20,091	20,063	20,082	20,062	20,104	20,007	20,049	20,07	20,057	20,119
Ab	66,9	66,9	68,1	9,6	14	68,6	65,8	66,2	67,1	66	66,1	67,4	69
An	32	31,4	30,7	0,1	0,3	30,6	32,6	31,9	31,4	32,2	32,3	31,5	30,2
Or	1,1	1,7	1,2	90,3	85,7	0,8	1,6	1,9	1,5	1,8	1,5	1	0,7

NCC-126 (feldspato)

Análise	118-126 borda	118-127 borda	118-128 nucleo	118-129 borda	118-130 borda	120-131 nucleo	120-132 borda	120-133 borda	120-134 nucleo	120-135 nucleo	120-136 borda
SiO ₂	59,941	59,864	60,419	61,495	59,592	60,597	60,14	59,457	59,503	59,785	60,266
Al ₂ O ₃	24,906	25,037	24,874	24,391	24,657	24,857	25,602	25,289	25,292	25,404	24,914
TiO ₂	0	0	0	0	0	0,05	0,01	0,07	0,015	0,045	0,025
Fe ₂ O ₃	0,255	0,15	0,046	0,18	0,047	0,048	0,054	0,395	0,118	0,125	0,062
MnO	0,034	0	0,002	0,012	0	0	0,036	0,017	0	0	0
MgO	0	0,002	0	0	0	0	0,015	0,01	0	0,006	0
CaO	6,754	6,802	6,701	5,873	6,638	6,491	5,821	6,849	6,972	7,005	6,513
Na ₂ O	7,912	8,261	8,099	8,442	8,378	7,988	7,988	8,158	7,848	7,777	8,272
K ₂ O	0,141	0,112	0,161	0,14	0,158	0,203	0,734	0,2	0,308	0,293	0,175
Total	99,94	100,23	100,3	100,53	99,47	100,23	100,4	100,45	100,06	100,44	100,23
Si	10,702	10,67	10,741	10,878	10,703	10,766	10,684	10,594	10,628	10,632	10,726
Al	5,237	5,255	5,207	5,081	5,215	5,201	5,356	5,307	5,32	5,32	5,222
Ti	0	0	0	0	0	0,007	0,001	0,009	0,002	0,006	0,003
Fe ₃	0,034	0,02	0,006	0,024	0,006	0,006	0,007	0,053	0,016	0,017	0,008
Mn	0,005	0	0	0,002	0	0	0,005	0,003	0	0	0
Mg	0	0,001	0	0	0	0	0,004	0,003	0	0,002	0
Ca	1,292	1,299	1,276	1,113	1,277	1,236	1,108	1,308	1,334	1,335	1,242
Na	2,739	2,855	2,792	2,896	2,918	2,752	2,752	2,819	2,718	2,682	2,855
K	0,032	0,025	0,037	0,032	0,036	0,046	0,166	0,045	0,07	0,066	0,04
Cations	20,041	20,125	20,059	20,026	20,155	20,014	20,083	20,141	20,088	20,06	20,096
Ab	67,4	68,3	68	71,7	69	68,2	68,4	67,6	65,9	65,7	69
An	31,8	31,1	31,1	27,5	30,2	30,6	27,5	31,4	32,4	32,7	30
Or	0,8	0,6	0,9	0,8	0,9	1,1	4,1	1,1	1,7	1,6	1

NCC-126 (granada)

Análise	118-234	120-233	120-32	124-237	124-238	125-235	125-236
SiO2	37,643	37,616	37,904	37,995	37,744	37,47	37,747
Al2O3	21,49	21,683	21,534	21,676	21,577	21,484	21,579
TiO2	0,014	0	0,028	0,051	0,028	0,018	0
FeO	31,176	30,659	30,473	30,926	30,668	30,33	30,367
MnO	4,373	4,339	4,421	4,245	5,205	4,569	3,859
MgO	3,67	3,54	3,468	3,631	3,025	3,193	3,875
CaO	2,235	2,332	2,373	2,296	2,322	2,195	2,391
Total	100,6	100,17	100,2	100,82	100,57	99,26	99,82
TSi	5,987	6,004	6,051	6,025	6,025	6,048	6,03
TAI	0,013	0	0	0	0	0	0
Sum_T	6	6,004	6,051	6,025	6,025	6,048	6,03
AlVI	4,012	4,076	4,048	4,048	4,056	4,084	4,059
Ti	0,002	0	0,003	0,006	0,003	0,002	0
Sum_A	4,013	4,076	4,052	4,054	4,06	4,086	4,059
Fe2	4,147	4,092	4,068	4,102	4,094	4,094	4,057
Mg	0,87	0,842	0,825	0,858	0,72	0,768	0,923
Mn	0,589	0,587	0,598	0,57	0,704	0,625	0,522
Ca	0,381	0,399	0,406	0,39	0,397	0,38	0,409
Sum_B	5,987	5,92	5,897	5,92	5,915	5,866	5,911
Sum_cat	16	16	16	16	16	16	16
Alm	69,264	69,127	68,986	69,279	69,217	69,786	68,632
Gross	6,362	6,736	6,882	6,59	6,714	6,47	6,923
Pyrope	14,535	14,228	13,995	14,5	12,17	13,096	15,612
Spess	9,84	9,909	10,137	9,631	11,898	10,647	8,833
XCagnt	0,064	0,067	0,069	0,066	0,067	0,065	0,069
XFegnt	0,693	0,691	0,69	0,693	0,692	0,698	0,686
XMggnt	0,145	0,142	0,14	0,145	0,122	0,131	0,156
XMngnt	0,1	0,1	0,1	0,1	0,12	0,11	0,09
Fe_Mggnt	4,767	4,86	4,931	4,781	5,686	5,331	4,395

NCC-358A (monazitas)

Grain	1												2
Point	1,12	2,12	3,12	4,12	5,12	6,12	7,12	8,12	9,12	10,12	11,12	12,12	1,10
SiO2	0,21	0,17	0,18	0,13	0,15	0,20	0,21	0,25	0,15	0,18	0,16	0,22	0,21
ThO2	4,44	3,51	3,50	3,99	4,13	4,30	4,21	3,15	3,85	4,19	3,66	4,66	4,96
UO2	0,766	0,626	0,632	0,779	0,639	0,753	0,687	0,830	0,621	0,599	0,628	0,977	0,837
Al2O3	0,01	0,01	0,02	0,02	0,22	0,01	0,01	0,14	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02
La2O3	14,13	13,95	14,39	13,78	13,85	13,97	14,15	13,30	14,11	14,18	13,99	13,72	13,85
Ce2O3	29,53	30,34	30,23	29,25	29,67	29,59	29,65	28,76	29,84	30,15	29,77	28,86	28,28
Pr2O3	3,41	3,42	3,45	3,41	3,51	3,46	3,42	3,49	3,49	3,31	3,37	3,28	3,28
Nd2O3	12,80	12,90	12,87	12,75	12,99	12,60	12,32	12,86	12,73	12,65	12,89	12,57	12,15
Sm2O3	2,27	2,28	2,31	2,35	2,15	2,28	2,26	2,54	2,19	2,27	2,34	2,29	2,17
Gd2O3	1,47	1,30	1,31	1,44	1,42	1,41	1,33	1,74	1,37	1,37	1,41	1,47	1,39
Dy2O3	0,36	0,39	0,33	0,25	0,26	0,34	0,35	0,48	0,34	0,37	0,29	0,41	0,46
Yb2O3	0,04	0,10	0,03	0,11	0,07	0,06	0,04	0,01	0,08	0,09	0,02	0,11	0,08
Y2O3	0,68	0,67	0,66	0,52	0,48	0,70	0,62	0,90	0,60	0,54	0,67	0,77	0,78
Fe2O3	0,02	0,04	0,09	0,27	0,15	0,03	0,08	0,44	0,16	0,18	0,07	0,07	0,38
CaO	0,88	0,69	0,64	0,78	0,83	0,76	0,74	0,66	0,78	0,88	0,76	1,02	0,81
PbO	0,183	0,143	0,147	0,162	0,159	0,175	0,163	0,136	0,154	0,149	0,154	0,200	0,198
P2O5	30,03	30,14	30,22	30,02	30,28	30,33	30,20	30,14	30,72	30,68	30,41	30,31	29,98
Sum	101,22	100,67	100,98	100,02	100,96	100,97	100,46	99,82	101,19	101,78	100,59	100,93	99,84
Element (ppm) and deviations													
Th	39050	30800	30730	35070	36270	37830	36970	27680	33820	36830	32150	40960	43620
2Sig	852	685	684	771	797	825	810	620	744	807	714	891	944
U	6754	5518	5569	6869	5635	6637	6057	7314	5473	5279	5532	8612	7381
2Sig	187	163	164	189	165	186	171	196	162	160	163	216	197
Pb	1702	1331	1362	1505	1476	1622	1517	1262	1432	1382	1430	1855	1842
2Sig	96	94	94	95	95	96	95	93	94	94	94	97	97
Age (Ma)	617	604	616	580	598	604	592	544	613	567	630	595	602
2Sig	35	43	42	37	39	36	37	40	41	39	42	32	32

NCC-358A (monazitas)

Grain Point	2,10	3,10	4,10	5,10	6,10	7,10	8,10	9,10	10,10	1,12	2,12	3,12	4,12
SiO2	0,17	0,19	0,17	0,18	0,13	0,18	0,20	0,18	0,18	0,11	0,11	0,12	0,30
ThO2	4,66	4,72	4,37	4,49	3,58	4,71	5,08	4,65	4,37	3,64	4,38	4,71	6,63
UO2	0,747	0,827	0,730	0,805	0,680	0,753	0,812	0,793	0,725	0,942	0,813	0,692	1,087
Al2O3	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02
La2O3	14,09	13,39	14,02	13,67	14,39	13,56	13,86	13,70	14,04	12,91	13,89	13,65	13,49
Ce2O3	28,87	28,40	28,75	28,74	29,85	29,02	28,36	28,65	29,47	29,16	29,04	29,69	27,78
Pr2O3	3,33	3,28	3,36	3,33	3,18	3,38	3,45	3,37	3,48	3,53	3,47	3,29	3,13
Nd2O3	11,90	12,29	12,37	12,47	12,14	12,55	12,34	12,28	12,47	13,40	12,62	12,61	11,79
Sm2O3	2,16	2,23	2,23	2,35	2,19	2,26	2,13	2,30	2,22	2,37	2,21	2,05	2,09
Gd2O3	1,35	1,41	1,43	1,56	1,34	1,46	1,43	1,56	1,46	1,69	1,33	1,35	1,26
Dy2O3	0,45	0,46	0,35	0,43	0,34	0,30	0,44	0,28	0,41	0,33	0,29	0,31	0,34
Yb2O3	0,04	0,01	0,00	0,00	0,01	0,06	0,07	0,09	0,02	0,01	0,12	0,00	0,07
Y2O3	0,72	0,86	0,75	0,80	0,76	0,76	0,80	0,81	0,75	0,68	0,48	0,48	0,73
Fe2O3	0,06	0,06	0,04	0,02	0,08	0,05	0,07	0,04	0,09	0,25	0,03	0,07	0,08
CaO	0,79	0,90	0,81	0,79	0,75	0,82	0,89	0,86	0,82	0,82	0,88	0,90	1,27
PbO	0,180	0,191	0,179	0,182	0,157	0,189	0,206	0,186	0,173	0,168	0,176	0,177	0,258
P2O5	30,05	30,03	30,14	30,33	30,34	30,45	30,49	29,99	30,32	29,54	29,95	30,43	29,74
Sum	99,57	99,26	99,69	100,15	99,91	100,51	100,64	99,72	101,00	99,57	99,80	100,53	100,06
Element (ppm) and deviations													
Th	40920	41470	38400	39480	31500	41390	44640	40860	38380	32000	38510	41340	58290
2Sig	890	900	840	860	698	899	966	889	840	707	842	898	1246
U	6582	7286	6431	7099	5990	6637	7160	6993	6391	8304	7170	6097	9584
2Sig	185	195	176	193	170	186	193	191	175	211	194	171	232
Pb	1668	1770	1659	1685	1456	1756	1910	1723	1609	1560	1633	1641	2399
2Sig	96	97	96	96	95	97	98	96	96	95	96	96	111
Age (Ma)	592	601	618	596	631	616	621	599	602	585	585	594	593
2Sig	35	33	36	34	41	34	32	34	36	36	35	35	28

NCC-358A (monazitas)

Grain Point	5,12	6,12	7,12	8,12	9,12	10,12	7 11,12	12,12	1(núcleo)	2(borda)
SiO2	0,29	0,27	0,10	0,09	0,18	0,10	0,13	0,10	0,22	0,26
ThO2	6,72	6,40	3,63	2,99	4,19	4,32	4,69	3,75	4,30	4,60
UO2	1,134	1,157	0,952	1,006	0,687	0,807	0,639	0,923	0,955	1,015
Al2O3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
La2O3	13,34	13,13	13,32	12,99	14,01	13,99	13,85	13,27	13,78	13,83
Ce2O3	27,46	27,66	28,73	29,19	29,72	29,56	29,36	29,04	29,90	29,72
Pr2O3	3,03	3,22	3,50	3,59	3,30	3,42	3,33	3,49	3,43	3,44
Nd2O3	11,41	11,48	13,43	13,27	13,06	12,63	12,65	12,87	12,90	12,49
Sm2O3	2,10	2,09	2,49	2,73	2,28	2,23	2,14	2,39	2,18	2,16
Gd2O3	1,40	1,40	1,78	1,84	1,50	1,33	1,33	1,47	1,31	1,28
Dy2O3	0,35	0,44	0,57	0,46	0,35	0,23	0,26	0,30	0,30	0,26
Yb2O3	0,12	0,09	0,07	0,04	0,03	0,07	0,14	0,05	0,10	0,08
Y2O3	0,74	0,74	0,94	1,05	0,75	0,46	0,47	0,65	0,47	0,46
Fe2O3	0,03	0,01	0,12	0,14	0,10	0,12	0,03	0,19	0,15	0,26
CaO	1,19	1,22	0,72	0,66	0,79	0,90	0,89	0,73	0,80	0,88
PbO	0,268	0,264	0,168	0,159	0,166	0,175	0,179	0,158	0,183	0,207
P2O5	29,88	30,17	30,71	30,53	29,96	29,69	30,15	30,17	29,90	30,00
Sum	99,46	99,75	101,23	100,73	101,07	100,04	100,24	99,59	100,89	100,95
Element (ppm) and deviations										
Th	59050	56230	31890	23240	36800	37950	41210	32920	37790	40450
2Sig	1260	1200	705	543	807	828	895	728	825	881
U	9995	10197	8395	8870	6059	7116	5629	8134	8418	8948
2Sig	238	242	212	220	171	193	165	208	213	221
Pb	2488	2451	1555	1475	1541	1626	1661	1470	1695	1923
2Sig	112	111	95	95	95	96	96	95	96	98
Age (Ma)	601	606	581	624	603	589	617	549	576	611
2Sig	28	28	36	40	37	35	36	35	33	32

NCC-233 (monazitas)

Grain Point	1		2							3		
	1(borda)	2(inclus.)	1(núcleo)	2(borda)	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	1,4	2,4	3,4
SiO2	0,14	0,28	0,34	0,15	0,24	0,22	0,22	0,21	0,15	0,25	0,23	0,23
ThO2	4,43	6,05	5,37	4,18	4,49	4,65	4,92	4,88	4,37	4,13	3,79	3,75
UO2	0,493	0,931	0,756	0,467	0,643	0,555	0,250	0,256	0,542	0,648	0,620	0,632
Al2O3	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01
La2O3	13,71	13,77	14,58	13,89	14,63	14,95	14,67	15,07	14,04	15,04	14,76	14,80
Ce2O3	29,09	28,60	29,78	29,46	30,52	30,25	30,66	30,33	29,97	30,26	30,79	30,84
Pr2O3	3,17	3,17	3,27	3,31	3,24	3,25	3,23	3,11	3,21	3,24	3,46	3,33
Nd2O3	12,58	11,79	11,65	12,30	11,93	11,44	11,49	11,52	12,12	11,99	12,08	12,33
Sm2O3	2,24	2,27	1,96	2,20	1,86	1,78	1,77	1,72	2,05	1,89	2,01	1,98
Gd2O3	1,56	1,22	0,94	1,41	0,89	0,94	0,86	0,81	1,39	0,87	0,90	0,87
Dy2O3	0,26	0,14	0,06	0,18	0,07	0,10	0,18	0,14	0,21	0,05	0,02	0,00
Yb2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Y2O3	0,66	0,36	0,09	0,42	0,09	0,11	0,16	0,14	0,41	0,07	0,06	0,11
Fe2O3	0,07	0,10	0,03	0,13	0,02	0,01	0,03	0,07	0,14	0,07	0,10	0,13
CaO	0,88	1,01	0,91	0,85	0,74	0,86	0,86	0,87	0,95	0,81	0,73	0,71
PbO	0,164	0,244	0,212	0,158	0,179	0,174	0,153	0,150	0,159	0,171	0,149	0,143
P2O5	29,88	29,41	29,18	30,01	29,55	29,56	29,45	29,46	29,55	29,56	29,56	29,59
Sum	99,34	99,35	99,12	99,13	99,11	98,83	98,91	98,73	99,30	99,06	99,29	99,45

Element (ppm) and deviations

Th	38900	53200	47170	36740	39430	40840	43230	42920	38440	36290	33320	32990
2Sig	849	1140	1017	806	859	889	937	931	837	793	735	729
U	4345	8211	6660	4120	5669	4893	2205	2259	4781	5715	5469	5573
2Sig	148	209	179	146	165	155	119	119	153	166	162	164
Pb	1524	2265	1966	1469	1664	1612	1416	1388	1478	1589	1382	1330
2Sig	95	101	98	95	96	96	94	94	95	95	94	94
Age (Ma)	635	626	631	647	635	628	623	612	606	639	598	576
2Sig	40	29	32	42	37	38	42	42	39	39	41	41
U/Th	0,11	0,15	0,14	0,11	0,14	0,12	0,05	0,05	0,12	0,16	0,16	0,17
La2O3/Y2O3	20,81	38,77	169,48	33,06	160,71	139,67	92,87	106,86	34,25	224,48	230,69	140,94

NCC-233 (monazitas)

Grain Point	5												
	4,4	5(núcleo)	5(inclus.)	5(borda)	1,12	2,12	3,12	4,12	5,12	6,12	7,12	8,12	9,12
SiO2	0,14	0,25	0,25	0,21	0,29	0,20	0,25	0,22	0,22	0,22	0,26	0,25	0,24
ThO2	4,01	4,70	4,08	4,85	5,21	3,59	4,44	4,60	4,37	3,64	4,46	4,12	3,78
UO2	0,643	0,862	0,696	0,392	1,127	0,698	0,888	0,581	0,622	0,647	0,671	0,659	0,637
Al2O3	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
La2O3	14,40	14,73	14,98	15,31	14,66	15,21	14,95	14,79	14,82	14,92	14,70	14,83	14,97
Ce2O3	29,95	29,82	30,40	30,04	29,46	30,81	29,99	29,82	30,80	30,97	30,39	30,65	31,08
Pr2O3	3,36	3,30	3,35	3,13	3,25	3,30	3,32	3,27	3,24	3,25	3,23	3,22	3,41
Nd2O3	12,28	11,72	11,96	11,08	11,70	11,94	11,78	11,50	12,06	12,29	11,96	11,87	12,27
Sm2O3	2,24	1,83	2,01	1,69	1,90	1,89	1,91	1,86	1,90	1,98	2,01	2,00	1,95
Gd2O3	1,15	0,79	0,89	0,79	0,81	0,76	0,88	0,83	0,87	0,88	0,99	0,95	0,87
Dy2O3	0,18	0,10	0,14	0,15	0,00	0,00	0,06	0,15	0,00	0,05	0,12	0,12	0,07
Yb2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,01	0,00	0,00
Y2O3	0,31	0,06	0,07	0,13	0,09	0,07	0,09	0,11	0,09	0,07	0,05	0,07	0,04
Fe2O3	0,30	0,02	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
CaO	0,82	0,81	0,79	0,91	0,96	0,69	0,86	0,86	0,87	0,69	0,84	0,74	0,68
PbO	0,163	0,194	0,174	0,156	0,229	0,148	0,185	0,165	0,164	0,148	0,181	0,164	0,153
P2O5	29,62	29,86	29,55	29,69	29,71	29,64	29,68	29,80	29,77	29,95	29,54	29,79	29,74
Sum	99,58	99,06	99,38	98,56	99,43	98,96	99,29	98,57	99,83	99,75	99,45	99,46	99,91

Element (ppm) and deviations

Th	35200	41310	35890	42640	45770	31540	39000	40140	38430	32030	39180	36230	33260
2Sig	773	897	786	926	987	699	851	872	840	707	854	792	734
U	5667	7597	6139	3452	9936	6149	7824	5118	5480	5704	5912	5805	5619
2Sig	165	200	172	138	237	172	203	158	163	166	168	167	164
Pb	1516	1804	1619	1448	2128	1373	1715	1532	1525	1373	1676	1519	1423
2Sig	95	97	96	95	100	94	96	95	95	94	96	95	94
Age (Ma)	625	604	640	596	602	589	589	597	600	600	634	610	611
2Sig	39	33	38	40	29	40	33	37	38	41	37	38	41
U/Th	0,16	0,18	0,17	0,08	0,22	0,19	0,20	0,13	0,14	0,18	0,15	0,16	0,17
La2O3/Y2O3	46,14	254,02	211,03	115,14	168,45	217,24	166,16	135,71	157,68	229,48	288,27	203,11	383,90

NCC-233 (monazitas)

Grain

Point	10,12	11,12	12,12	6 1(núcleo)	2(inclus.)
SiO2	0,21	0,20	0,22	0,19	0,16
ThO2	3,64	4,38	4,98	5,11	4,79
UO2	0,614	0,592	0,524	0,457	0,522
Al2O3	0,02	0,01	0,03	0,01	0,02
La2O3	15,02	15,07	14,95	15,16	14,03
Ce2O3	31,08	30,34	30,32	30,14	29,42
Pr2O3	3,31	3,25	3,18	3,10	3,33
Nd2O3	12,13	11,84	11,63	11,30	12,29
Sm2O3	1,90	1,85	1,84	1,82	2,15
Gd2O3	0,90	0,80	0,81	0,77	1,28
Dy2O3	0,12	0,09	0,05	0,11	0,20
Yb2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Y2O3	0,08	0,11	0,17	0,13	0,30
Fe2O3	0,01	0,02	0,03	0,00	0,04
CaO	0,64	0,81	0,94	0,99	0,90
PbO	0,145	0,166	0,176	0,175	0,159
P2O5	29,85	29,68	29,85	29,98	29,96
Sum	99,65	99,21	99,70	99,44	99,54

Element (ppm) and deviations

Th	31970	38460	43780	44880	42050
2Sig	706	841	947	971	911
U	5414	5220	4619	4026	4599
2Sig	162	159	151	145	151
Pb	1343	1544	1635	1626	1480
2Sig	94	95	96	96	95
Age (Ma)	599	616	615	621	576
2Sig	42	38	37	37	37
U/Th	0,17	0,14	0,11	0,09	0,11
La2O3/Y2O3	200,20	139,54	86,92	121,26	46,61

Anexo 5: Análises litogeoquímicas

Laboratório canadense ACME: métodos de análise

ICP-ES Ba, Ni, Sc

ICP-MS : Co, Cr, Cs, Ga, Hf, Nb, Rb, Sn, Sr, Ta, Th, U, V, W, Zr, Y e

ETR (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, com abertura química por fusão com metaborato de lítio (LiBO₂).

Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, As, Cd, Sb, Bi, Ag, Au, Hg, Tl e Se foram analisados por **ICP-MS** com abertura ácida usando HCl-HNO₃-H₂O

Leco : C, S;

Laboratório IGc-USP (fluorescência de Raio X): SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, MnO, Na₂O, K₂O, P₂O₅; Rb, Sr, Ni, Cr, Zr, Nb, Y, V e Zn

Análises de Martins (2000)

Fluorescência de Raios X : SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, MnO, Na₂O, K₂O, P₂O₅; Rb, Sr, Ni, Cr, Zr, Nb, Y, V e Zn

Ativação Neutrônica: Co, Th, Hf, U, Ta, Ba, Sc, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu

Elementos maiores (% em peso), Elementos traços (ppm)

ortognaisses a biotita e hornblenda

Sample	NCC-139B	NCC-140B	NCC-149A	NCC-160A	NCC-160B	NCC-301A	NCC-044E	NCC-292C
<i>SiO₂</i>	65,87	67,99	61,25	61,65	58,98	58,61	59,39	61,19
<i>Al₂O₃</i>	15,43	16,27	16,54	15,78	15,86	15,28	16,67	15,53
<i>MnO</i>	0,07	0,051	0,081	0,082	0,101	0,101	0,089	0,078
<i>MgO</i>	2,83	1,1	2,68	3,18	2,85	3,03	3,33	3,62
<i>CaO</i>	3,39	4,21	5,29	5,66	5,93	5,96	6,27	5,55
<i>Na₂O</i>	4,48	4,86	4,39	4,3	4,15	4,05	4,22	4,24
<i>K₂O</i>	1,55	1,02	1,35	1,26	1,55	1,25	1,31	1,39
<i>TiO₂</i>	0,473	0,309	0,809	0,628	1,048	1,517	0,622	0,617
<i>P₂O₅</i>	0,222	0,108	0,287	0,201	0,395	0,821	0,155	0,195
<i>Fe₂O₃</i>	4,15	2,83	6	5,56	7,36	7,94	6,19	5,54
<i>LOI</i>	0,63	0,21	0,31	0,61	0,62	0,68	0,99	0,92
<i>Total</i>	99,1	98,96	98,99	98,91	98,84	99,24	99,24	98,87
<i>Cl</i>	<15	273	235	119	266	168	<15	15
<i>Cr</i>	76	20	66	83	42	70	58	138
<i>F</i>	752	227	466	315	766	1253	547	421
<i>S</i>	<32	<32	<32	<32	<32	<32	<32	< 32
<i>Ba</i>	764,2	506	636,8	617,8	734,5	821,3	636,9	569,2
<i>Sc</i>	8	3	10	11	17	16	14	13
<i>Co</i>	12,3	7	19,4	22,2	22,2	24,4	22,2	20,6
<i>Cs</i>	2,4	1,1	0,8	0,8	0,8	0,6	0,4	0,8
<i>Ga</i>	20,3	18,1	21,1	20	21,2	22,5	18,7	20,3
<i>Hf</i>	2,4	2	3	2,7	5,2	2,6	3	3,2
<i>Nb</i>	3,5	1,6	4,1	4,1	8,3	12,7	4,4	3,6
<i>Rb</i>	45,7	25,5	32,3	26,3	40	32,7	30,1	29,6
<i>Sn</i>	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
<i>Sr</i>	856,8	815,2	737,7	697,2	593,5	720,9	620,1	653,3
<i>Ta</i>	0,2	0,1	0,3	0,2	0,5	0,6	0,3	0,2
<i>Th</i>	2,1	0,3	3	2	3	2,9	3,7	0,8
<i>U</i>	0,8	0,7	0,9	0,5	1	0,4	0,7	0,4
<i>V</i>	57	32	87	96	123	117	105	93
<i>W</i>	0,2	<0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
<i>Zr</i>	93,2	79,5	102,1	99,8	192	97,8	124,1	113,6
<i>Y</i>	8,9	3,4	10,2	9,9	21,7	21,9	11,2	10,1
<i>Mo</i>	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
<i>Cu</i>	13	7,9	46	23,9	158,9	56,4	24,2	30,5
<i>Pb</i>	1,2	0,9	0,7	0,9	1	0,8	1,4	0,9
<i>Zn</i>	50	36	53	42	60	72	33	42
<i>Ni</i>	15,8	9,3	22,4	25,4	15,8	24,3	20,7	37,1
<i>As</i>	0,5	<0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
<i>Tl</i>	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
<i>Se</i>	0,5	<0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
<i>La</i>	23,1	6,9	19,8	20,6	41,6	48	25,6	20,6
<i>Ce</i>	49,5	11,9	43,5	41,4	80,9	94,7	48,8	44,1
<i>Pr</i>	5,42	1,35	4,91	4,97	9,37	11,39	5,21	5,08
<i>Nd</i>	21,7	6,9	19,5	20,3	35,6	47,6	19,5	21,8
<i>Sm</i>	3,5	1,1	3,7	3,6	6,5	8,1	3,1	3,9
<i>Eu</i>	1,19	0,58	1,19	1,02	1,61	1,86	0,89	0,91
<i>Gd</i>	2,92	0,82	2,68	2,75	5,16	6,11	1,94	2,69
<i>Tb</i>	0,3	0,13	0,35	0,31	0,79	0,85	0,36	0,33
<i>Dy</i>	1,68	0,65	1,94	1,73	3,46	4,42	1,84	1,78
<i>Ho</i>	0,32	0,16	0,31	0,33	0,69	0,76	0,38	0,35
<i>Er</i>	0,8	0,33	0,96	0,98	1,9	1,72	1,04	0,88
<i>Tm</i>	0,12	0,06	0,12	0,14	0,27	0,25	0,14	0,14
<i>Yb</i>	0,71	0,4	0,75	0,91	1,82	1,28	0,89	0,83
<i>Lu</i>	0,11	0,06	0,11	0,13	0,3	0,19	0,14	0,13

XRF (Igc-USP)

ACME

	prováveis meta-andesitos		prováveis meta-riolitos		Meta-riolito
Sample	NCC-147	NCC-153A	NCC-172A	NCC-410A	NCC-055
SiO ₂	64,91	73,32	76,55	75,81	77,65
Al ₂ O ₃	15,72	15,13	12,15	11,38	11,83
MnO	0,056	0,027	0,05	0,043	0,007
MgO	1,67	0,26	0,06	<0,01	0,03
CaO	3,69	2,54	1,03	0,64	0,3
Na ₂ O	4,54	5,25	6,08	4,21	3,89
K ₂ O	2,58	1,48	1,03	3,11	4,01
TiO ₂	0,529	0,118	0,157	0,171	0,107
P ₂ O ₅	0,25	0,032	0,03	0,022	0,013
Fe ₂ O ₃	3,73	1,06	2,03	2,23	1,27
LOI	1,7	0,7	1	1,02	0,46
Total	99,38	99,92	100,17	98,65	99,57
Cl	120	158	236	223	<15
Cr	33	11	3	4	<2
F	802	231	<223	204	717
S	<32	<32	<32	<32	<32
Ba	1436,2	654,9	1234	933,7	970,6
Sc	8	<4	<4	<4	<4
Co	10,9	1	1	0,5	0,7
Cs	3,9	0,8	0,4	0,8	0,6
Ga	21,1	16,8	21,9	21,3	19
Hf	4,3	2,1	8,2	9,1	6,1
Nb	4,1	3,2	13,1	12,1	12,6
Rb	79,5	37,1	55,7	78,6	107,7
Sn	<1	<1	2	5	3
Sr	862,7	653,6	125,8	53,2	34,5
Ta	0,3	0,4	0,8	0,8	0,9
Th	8,5	1,2	6	5,6	7,9
U	1,6	0,2	1,9	1,7	1,5
V	49	5	5	5	5
W	2,4	0,1	0,4	0,6	0,3
Zr	141,6	78,8	260,7	306,6	139,7
Y	8,3	4,1	58,3	53,1	57,7
Mo	0,1	0,1	0,4	0,5	0,3
Cu	12,7	2	6,8	1,9	7,4
Pb	2,6	1,1	4,9	4	2
Zn	67	28	62	83	16
Ni	9,3	0,1	0,6	0,2	1,5
As	0,6	0,6	3,9	0,5	0,5
Tl	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1
Se	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
La	34,3	7,5	41,9	36,8	50,8
Ce	69,9	13,6	85,7	75	91,8
Pr	7,62	1,46	9,74	8,92	10,55
Nd	32,4	4,9	39,8	36,8	38,5
Sm	4,8	0,9	7,9	8	7,5
Eu	1,2	0,29	0,97	1,46	0,84
Gd	3,08	0,67	7,6	8,15	7,21
Tb	0,32	0,13	1,37	1,45	1,44
Dy	1,64	0,57	9,53	9,18	8,41
Ho	0,3	0,1	1,9	1,92	1,7
Er	0,73	0,3	5,74	5,77	4,7
Tm	0,11	0,05	0,89	0,84	0,77
Yb	0,66	0,35	5,78	5,42	5,02
Lu	0,09	0,06	0,84	0,78	0,8

XRF (Igc-USP)

ACME

Complexo Madaíena - Algodões-Choró

	paragneisses		anfibolitos			gondito
Sample	NCC-306	NCC-096A	NCC-150	NCC-154	NCC-178	NCC-151B
SiO ₂	75,31	72,56	56,89	48,8	50,28	60,74
Al ₂ O ₃	14,33	13,27	15,81	13,35	13,92	12,33
MnO	0,016	0,043	0,131	0,231	0,196	9,781
MgO	0,26	1,08	3,4	6,65	6,39	1,79
CaO	0,74	1,67	8,58	10,89	9,58	5,08
Na ₂ O	3,36	2,3	3,51	2,07	2,32	0,1
K ₂ O	4,06	4,67	0,48	0,54	0,26	0,05
TiO ₂	0,127	0,346	0,782	1,138	1,362	0,464
P ₂ O ₅	0,15	0,138	0,11	0,094	0,132	0,087
Fe ₂ O ₃	0,87	2,85	9,36	15,15	14,02	6,33
LOI	0,84	0,79	0,34	0,51	0,6	2,85
Total	100,06	99,72	99,39	99,42	99,06	99,6
Cl	<15	<15	281	254	34	337
Cr	<2	<13	43	117	142	81
F	427	794	446	<223	<223	<223
S	<32	<32	<32	<32	<150	<32
Ba	152,3	518,2	272,2	52,9	61,3	20
Sc	<4	5	26	40	42	11
Co	1,9	4	34,2	58,2	48,4	24,7
Cs	0,7	6,2	0,1	0,2	0,1	<0,1
Ga	21,4	17,8	17,3	17,1	19,2	12,6
Hf	1,5	4,4	2,6	1,8	2	2,4
Nb	5,1	9,1	3,9	2,5	3,1	4,7
Rb	176,8	209,7	4,1	9,6	4	0,8
Sn	2	6	<1	<1	<1	<1
Sr	64	87,8	399,4	200,9	138,1	17,5
Ta	0,3	0,8	0,3	0,1	0,1	0,3
Th	3,9	17,4	1,1	0,1	0,5	1,6
U	1,7	2,4	0,4	0,1	0,1	1
V	5	25	149	290	330	105
W	0,3	1,2	0,6	0,2	0,2	0,8
Zr	43,7	134,2	92,4	55,3	67,6	88,4
Y	2,6	36,7	21,3	26,2	32,1	24,1
Mo	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Cu	1,2	3,4	7	62,7	169,8	2,4
Pb	4,4	2,5	0,2	0,3	0,2	0,8
Zn	32	43	19	22	31	17
Ni	2,1	5,9	16,7	16,8	29,2	18,1
As	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	5,3
Tl	0,2	0,5	0,1	0,1	0,1	<0,1
Se	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	<0,5
La	12,3	34,4	9,5	3,5	4,5	26,2
Ce	24,8	70,7	18	9,6	11,4	29,1
Pr	2,69	7,63	2,71	1,48	1,85	7,07
Nd	9,8	31,1	11,5	7,8	9,5	33,3
Sm	2,4	6,8	2,6	2,4	3,2	5,9
Eu	0,36	0,76	0,9	0,87	1,06	1,39
Gd	1,72	5,27	3,04	3,23	3,93	4,58
Tb	0,18	1,05	0,55	0,74	0,79	0,72
Dy	0,68	6,16	3,55	4,65	5,34	3,83
Ho	0,06	1,19	0,73	0,85	1,08	0,71
Er	0,16	3,31	2,42	2,66	3,43	1,74
Tm	0,05	0,41	0,34	0,37	0,53	0,3
Yb	0,14	2,54	2,09	2,43	3,09	1,9
Lu	0,03	0,36	0,29	0,32	0,47	0,26

XRF (Igc-USP)

ACME

Martins, 2000 (ortognaisses)

Sample	AG-22	AG-24	AG-24A	GM-16	GM-17	GM-17A	GM-19	GM-20A	GM-32	GM-47B
SiO ₂	56,12	52,57	51,88	62,82	63,94	71,21	51,84	61,26	69,25	53,44
Al ₂ O ₃	9,52	12,6	18,02	15,81	15,24	16,3	8,95	16,64	15,1	18,7
MnO	0,129	0,185	0,099	0,075	0,077	0,02	0,187	0,091	0,029	0,128
MgO	10,923	8,254	5,704	3,245	3,425	0,528	12,703	3,392	0,907	4,732
CaO	10,72	10,94	7,37	5,59	5,28	2,12	12,66	5,68	2,45	8
Na ₂ O	1,98	1,53	4,68	4,36	4,06	5,35	1,1	4,27	3,6	4,64
K ₂ O	0,47	0,64	1,66	1,17	1,48	3,22	0,26	1,76	4,58	0,72
TiO ₂	0,741	0,797	1,067	0,643	0,654	0,266	0,586	0,914	0,837	1,119
P ₂ O ₅	0,316	0,176	0,629	0,222	0,192	0,131	0,093	0,428	0,22	0,353
Fe ₂ O ₃	8,11	11,68	8,07	5,55	5,63	1,88	10,43	6,42	3,26	8,23
LOI	0,52	0,67	0,63	0,47	0,43	0,3	0,68	0,54	0,29	0,58
Total	99,55	100,04	99,81	99,96	100,41	101,33	99,49	101,4	100,52	100,64
Cl										
Cr	1173	421	152	110	127	27	1141	79	31	45
F										
S										
Ba				482	538	1711		892	1913	
Sc				13,2	13,3	1,22		12,7	2,9	
Co				19	19,8	2,7		19,3	5,8	
Cs										
Ga										
Hf				3,15	4,74	3,86		3,95	6,7	
Nb	7	4		4	4			6	6	9
Rb	4	11	34	30	40	46	4	47	148	6
Sn										
Sr	513	241	1510	765	605	1151	304	922	550	1357
Ta				0,11	0,34	0,27		0,41	0,57	
Th				0,3	1,77	1,55		4,88	16,5	
U								1,4	1,5	
V	143	293	134	96	99	34	271	109	38	143
W										
Zr	118	65	261	141	176	151	41	174	485	210
Y	14	21	16	13	13	3	14	12	9	18
Mo										
Cu										
Pb										
Zn	90	93	115	82	74	71	82	93	87	114
Ni	210	64	92	75	63		109	24		33
As										
Tl										
Se										
La				19,9	21,5	17,1		39,5	79	
Ce				40	44	35		81	173	
Pr										
Nd				23	23	13		35	64	
Sm				4,3	4,3	2,79		6,2	8,3	
Eu				1,26	1,26	0,87		2,01	1,69	
Gd										
Tb				0,55	0,55	0,18		0,51	0,58	
Dy										
Ho										
Er										
Tm										
Yb				1,28	1,28	0,18		0,7	0,48	
Lu				0,13	0,13			0,09		

Complexo Madalena - Algodões-Choró

Martins, 2000 (ortognaisses)

Sample	GM-48	GM-51	GM-67A	GM-67B	GM-74A	GM-74B	GM-79	GM-88A	GM-88B
SiO ₂	57,74	59,36	74,65	61,96	72,73	63,53	66,78	63,99	51,46
Al ₂ O ₃	16,36	15,75	14,41	15,38	15,31	17,24	14,62	14,99	16,8
MnO	0,106	0,098	0,033	0,094	0,022	0,077	0,068	0,081	0,152
MgO	4,854	4,098	0,549	4,722	0,618	2,176	2,93	4,374	7,05
CaO	6,64	5,66	2,34	5,64	2,35	4,81	4,65	5,52	8,44
Na ₂ O	3,96	3,86	4,65	3,66	4,71	4,66	4,11	3,81	3,98
K ₂ O	1,83	2,49	2,22	1,66	2,6	1,42	1,4	1,67	1,22
TiO ₂	0,118	0,99	0,281	0,651	0,289	0,748	0,622	0,633	0,841
P ₂ O ₅	0,591	0,49	0,09	0,213	0,101	0,264	0,17	0,186	0,285
Fe ₂ O ₃	7,63	6,88	1,84	6,32	1,83	5,5	5,15	5,77	9,78
LOI	0,54	0,53	0,25	0,58	0,27	0,63	0,69	0,36	0,71
Total	100,37	100,21	101,31	100,88	100,83	101,06	101,19	101,38	100,72
Cl									
Cr	191	143	51	228	38	20	112	210	52
F									
S									
Ba			1191		1627	596		523	
Sc			2,18		2,17	11,7		14,4	27,2
Co			3,4		4,4	15,1		22,5	40
Cs									
Ga									
Hf			4,12		3,15	2,8		3,92	2,12
Nb	8	8	13	7		4	4	5	5
Rb	48	111	50	58	45	36	32	48	26
Sn									
Sr	950	834	508	530	637	778	635	534	712
Ta			1,76			0,26		0,34	
Th			1,18		0,89	1,99		1,4	
U									
V	128	127		105		84	92	116	200
W									
Zr	163	205	132	135	111	112	177	141	99
Y	17	18	11	15		11	15	11	15
Mo									
Cu									
Pb									
Zn	96	90	42	83	50	71	73	81	101
Ni	75	55		81			38	80	50
As									
Tl									
Se									
La			20,3	15,7	11,7	15,8		20	23,1
Ce			46	38	22,3	35,4		45	56
Pr									
Nd			15	20	6,5	18		20	32
Sm			3,06	3,9	1,35	3,31		3,6	6,06
Eu			0,88	1,16	0,68	1,27		0,99	2,01
Gd									
Tb			0,28	0,86	0,06	0,46		0,4	0,75
Dy									
Ho									
Er									
Tm									
Yb			1,1	1,5		1,1		1,29	1,3
Lu			0,11	0,19		0,12		0,16	0,16

Complexo Madalena - Algodões-Choró

Martins, 2000 (paragnaises)

Sample	155-X	324-X	347-X	GM-02	GM-03	GM-09	GM-13	GM-174	GM-35	GM-42
SiO ₂	74,75	71,36	76,08	65,37	71,21	67,62	74,33	66,43	77,01	71,57
Al ₂ O ₃	13,84	13,96	14,22	16,14	11,43	14,84	14,4	15,46	12,88	15,23
MnO	0,01	0,05	0,01	0,07	0,05	0,04	0,02	0,02	0,05	0,02
MgO	0,21	0,57	0,23	1,69	0,79	0,86	0,14	1,11	0,04	0,41
CaO	0,55	2,06	0,3	5,2	1,01	2,07	1,28	4,24	0,33	1,45
Na ₂ O	1,69	3,48	2,21	4,34	2,2	3,66	5,1	3,72	4,75	4,48
K ₂ O	4,23	2,29	3,46	0,84	2,27	4,51	2,43	0,43	2,2	3,77
TiO ₂	0,29	0,44	0,03	0,51	0,38	0,91	0,06	0,48	0,04	0,31
P ₂ O ₅	0,09	0,12	0,13	0,15	0,13	0,23	0,04	0,14	0,02	0,08
Fe ₂ O ₃	2,49	3,77	1,17	4,89	3,79	3,71	0,76	6,46	1,44	1,34
PF										
Total	98,15	98,1	97,84	99,2	93,26	98,45	98,56	98,49	98,76	98,66
Cr	33,4	11	10,2	23,5	65,6	5,7	13,5	75,9	190,2	3,5
Ba	1688	548	724	100	735	2382	877	251	625	1498
Sc	4,7		1,84	11,3	9,6	4,4		11,7		
Co	5,85		0,77	12,7	14,6	6,5		13,3		
Hf	3,7		3,5	2,4	3,3	14,28		2,7		
Nb	9,4	11,6	14	3,6	5,5	11,5	6,3	4,8	12,7	3,4
Rb	113	62	125	16	53	139	64	5	85	83
Sr	181	229	58	263	165	453	250	272	203	791
Ta	0,78		2,78	0,26	0,43	0,7		0,42		
Th	8,78	4	6,22	0,83	3,87	24,4		1,89	8,7	8,1
U	0,53		2,8	2		2,1	0,1	2,2	5,6	
V	28,7	37,9	3,8	70	57,4	35,6	6,5	55,9	169,7	11,9
Zr	135	175	75,1	86,2	119,6	536,1	42,9	95,8	201,5	148,3
Y	9,7	15,6	33,4	12,1	11,9	13	5,6	9,7	28,4	6,7
	6,3	8,5	7,6	29,7	15,2	9	6,9	14,1	17,5	6,8
	15,5	6,3	8,3	3,1	7,2	24,4	6,7	2,5	15,9	26,7
Zn	48,3	42	38,7	62	46,9	103,3	11,5	75	117,2	28
Ni	4,9	4,7		12,2	26,1	3,5		46,1	59,5	3,3
La	32,7		13,7	7,36	16,4	136		17,4		
Ce	61		30	14,5	42,4	270		32		
Nd	24		13,2	9	15,8	94		14,3		
Sm	3,7		4	2,2	2,9	11,7		2,7		
Eu	0,77		0,39	0,88	0,8	2		0,88		
Tb	0,36		0,84	0,44	0,27	0,69		0,3		
Yb	0,9		2,99	1,07	1,3	0,97		0,88		
Lu	0,15		0,42	0,14	0,19	0,09		0,13		

Complexo Madalena - Algodões-Choró

Martins, 2000 (paragneisses)

Sample	GM-53	GM-54	GM-55D	GM-58F	GM-59E	GM-59I	GM-91	GM-92	GM-93	GM-95
SiO ₂	77,48	61,96	70,44	66,98	70,29	65,35	74,4	72,42	63,83	74,35
Al ₂ O ₃	12,73	15,83	15,1	15,21	13,46	17,9	13,64	14,4	14,77	11,62
MnO	0,03	0,1	0,03	0,07	0,02	0,03	0,02	0,04	0,11	0,1
MgO	0,05	3,38	0,37	1,46	0,15	0,77	0,38	0,51	3,29	0,67
CaO	0,32	5,57	1,65	4,72	0,96	2,51	1,37	1,83	3,22	1,12
Na ₂ O	4,26	4,5	5,08	5	4,68	5,68	4,33	4,89	2,38	3,64
K ₂ O	2,61	0,54	2,62	0,14	2,38	2,68	3,29	2,7	2,46	2,78
TiO ₂	0,05	0,49	0,25	0,45	0,04	0,4	0,22	0,27	1,01	0,55
P ₂ O ₅	0,02	0,19	0,09	0,13	0,04	0,09	0,06	0,08	0,19	0,11
Fe ₂ O ₃	1,31	6,08	2,02	4,57	0,76	2,62	1,61	1,85	7,32	4,08
PF										
Total	98,86	98,64	97,65	98,73	92,78	98,03	99,32	98,99	98,58	99,02
Cr	2,5	170,8	7,4	32,5	5,8	8,8	13,2	9,3	1,7	17,6
Ba	682	227	1123	110	696	570	819	614	688	854
Sc	4,4		2			4,3	2,46			
Co	3,1		1,05			1,25	4,31			
Hf	14,28		6,68			29,07	3,1			
Nb	12,1	3,7	14,3	5,7	5,9	150,2	11	12,4	11,9	11,3
Rb	37	14	71	9	61	59	84	90	72	69
Sr	117	651	292	369	190	183	398	401	116	617
Ta	0,26		1,04			11,2	1,11			
Th	24,4	0,9	11,3	0,9	1,3	15	6,8	5,8	22,6	5,6
U	2,1		3,4			3,2	2	0,4	5,7	0,5
V	5,3	106,2	3,6	54,6	4,2	5,5	19	18,9	5,3	32,3
Zr	87,5	115,4	248,4	156,2	47,3	914,3	113,7	123,8		137,7
Y	22	11,5	12,2	10,6	4,8	115,6		10,4	87,1	9,8
	6,6	49,6	6	56,6	6,9		8,7	5,1	9,2	10,3
	8,8	3,3	2,1	1,6	4,4	6,6	13,1	12,7	9,1	9,5
Zn	26,5	67	43,4	39,3	7,1	100,7	34,9	52,6	29,6	63,7
Ni		78,3		9,4		1,3	0,8	0,4	3,9	4,6
La	14,5		63,2			134	26,1			
Ce	27		121			308	53			
Nd	9,9		41,6			142	17,7			
Sm	1,94		5,7			29	2,8			
Eu	0,723		1,63			6,5	0,78			
Tb	0,08		0,46			4,3	0,3			
Yb	0,34		1,33			11	0,53			
Lu	0,05		0,21			1,32	0,08			

Complexo Madalena - Algodões-Choró

Martins, 2000 (anfíbolitos)

Sample	AG-10	GM-04	GM-05	GM-06	GM-11	GM-24B	GM-25B	GM-26A	GM-26B	GM-29
SiO ₂	47,57	51,41	51,47	50,62	50,6	51,88	60,54	52,13	54,34	52,78
Al ₂ O ₃	14,26	12,78	12,27	13,22	13,26	18,02	16,19	14,07	13,67	12,13
MnO	0,223	0,259	0,197	0,189	0,227	0,099	0,233	0,218	0,199	0,241
MgO	7,518	5,881	5,939	8,036	6,239	5,704	7,009	6,763	6,337	5,109
CaO	11,98	8,72	9,47	11,36	9,65	7,37	15,73	9,08	10,85	9,22
Na ₂ O	1,2	2,13	2,21	2,25	2,84	4,68	1,15	2,8	0,95	1,96
K ₂ O	0,33	0,27	0,44	0,4	0,24	1,66	0,45	0,29	0,47	0,79
TiO ₂	1,096	1,513	1,339	0,766	1,454	1,067	1,175	1,148	0,782	1,273
P ₂ O ₅	0,095	0,159	0,139	0,07	0,149	0,629	0,1	0,106	0,126	0,127
Fe ₂ O ₃	14,24	16,45	14,98	12,39	15,85	8,07	15,3	13,77	10,53	16,56
LOI	0,95	0,49	0,52	0,55	0,49	0,63	1,14	0,54	1,14	0,79
Total	99,46	100,06	98,97	99,85	101	99,81	119,02	100,92	99,39	100,98
Cl										
Cr	220	93	152	158	83	152	208	293	401	62
F										
S										
Ba				143						
Sc				46						
Co				54,6						
Cs										
Ga										
Hf				1,04						
Nb		5	4		4				4	
Rb	5	7	7	12	8	34	7	6	5	10
Sn										
Sr	140	174	189	184	185	1510	178	164	342	142
Ta										
Th										
U										
V	328	392	368	252	365	134	281	33	258	358
W										
Zr	59	91	71	42	79	261	53	65	75	71
Y	22	29	26	15	28	16	19	25	21	30
Mo										
Cu										
Pb										
Zn	102	131	108	85	123	115	95	99	104	134
Ni	120	51	76	81	80	92	114	87	69	47
As										
Tl										
Se										
La				2,7						
Ce				7,1						
Pr										
Nd				4,64						
Sm				1,73						
Eu				0,64						
Gd										
Tb										
Dy										
Ho										
Er										
Tm										
Yb				1,7						
Lu				0,22						

Martins, 2000 (anfíbolitos)

Sample	GM-31A	GM-31C	GM-45	GM-47A	GM-52A	GM-56	GM-58A	GM-58B	GM-58C	GM-58G
SiO ₂	48,99	50,38	49,92	48,8	50,2	50,27	50,42	51,23	50,9	51,88
Al ₂ O ₃	15,21	14,01	13,08	13,15	13,14	15,77	13,36	12,8	13,02	12,74
MnO	0,189	0,209	0,211	0,255	0,202	0,179	0,211	0,245	0,247	0,219
MgO	7,547	6,473	6,673	6,5	6,833	5,652	6,949	6,495	6,468	6,165
CaO	10,79	10,12	10,79	10,77	10,39	10,12	10,55	10,07	10,09	10,38
Na ₂ O	2,15	1,96	2,12	1,75	1,64	3,09	2,37	2,4	2,59	1,62
K ₂ O	0,24	0,29	0,68	0,57	0,27	0,42	0,32	0,3	0,35	0,21
TiO ₂	0,894	0,984	1,038	1,3	0,979	1,274	0,994	1,365	1,372	1,243
P ₂ O ₅	0,089	0,089	0,094	0,151	0,091	0,607	0,095	0,136	0,143	0,119
Fe ₂ O ₃	13,75	14,01	14,29	15,66	13,71	12,53	14,03	15,23	15,23	14,51
LOI	0,7	0,57	0,99	0,76	1,69	0,49	0,73	0,53	0,5	0,57
Total	100,55	99,1	99,89	99,67	99,14	100,4	100,03	100,8	100,91	99,66
Cl										
Cr	233	241	169	124	150	63	153	87	94	126
F										
S										
Ba				353					198	
Sc	41			45			48		45	45
Co	54			54,9			54,3		56	53
Cs										
Ga										
Hf	1,39			1,79			1,51		2,31	1,72
Nb				4	4	7	4	7	6	4
Rb	8	7	10	11	7		13	10	12	7
Sn										
Sr	145	139	153	320	193	912	176	188	267	187
Ta				0,2					0,16	
Th				0,29					0,47	4,89
U										
V	308	331	314	380	301	253	321	360	351	357
W										
Zr	44	54	55	66	54	127	49	77	82	70
Y	16	23	21	28	24	28	21	22	22	25
Mo										
Cu										
Pb										
Zn	108	101	101	116	98	121	103	113	117	102
Ni	120	72	82	70	94	83	83	62	67	62
As										
Tl										
Se										
La	2,1			5,5			2,62		6,3	3,45
Ce	5,9			13,3			7,4		16,1	10,5
Pr										
Nd	4,7			7			4,4		8,7	7
Sm	1,72			3			10,1		3,2	2,6
Eu	0,81			1,2			0,85		1,3	1,1
Gd										
Tb	0,43			0,5			0,91		0,7	0,3
Dy										
Ho										
Er										
Tm										
Yb	2,03			3,2			3		2,8	2,7
Lu	0,23			0,34			0,37		0,3	0,29

Martins, 2000 (anfíbolitos)

Sample	GM-59A	GM-59C	GM-59D	GM-72	GM-73D	GM-80A	GM-80B	GM-82	GM-86
SiO ₂	50,74	49,68	51,31	57,9	48,15	54,01	52,5	50,94	50,27
Al ₂ O ₃	12,97	12,85	13,07	12,93	13,96	8,13	13,5	12,82	13,02
MnO	0,219	0,246	0,228	0,138	0,174	0,188	0,189	0,218	0,238
MgO	6,844	6,395	6,388	6,58	9,522	11,867	5,66	6,371	6,637
CaO	9,51	9,74	9,67	9,62	10,98	10,76	10,69	9,48	10,29
Na ₂ O	1,93	2,82	2,76	2,12	2,21	1,14	2,84	2,39	2,16
K ₂ O	0,22	0,3	0,33	0,3	0,37	0,43	0,71	0,99	0,33
TiO ₂	1,182	1,388	1,202	0,651	0,938	0,476	0,716	1,052	1,162
P ₂ O ₅	0,119	0,142	0,129	0,128	0,09	0,04	0,06	0,109	0,109
Fe ₂ O ₃	14,95	15,3	14,62	8,24	12,09	12,11	11,94	13,94	14,68
LOI	0,67	0,54	0,66	1,35	0,61	0,86	0,52	0,77	0,65
Total	99,35	99,4	100,37	99,96	99,09	100,01	99,32	99,08	99,55
Cl									
Cr	145	85	95	556	584	498	301	164	156
F									
S									
Ba							58	142	
Sc	44		45				43	42	
Co	53,1		49,7				49,5	50,7	
Cs									
Ga									
Hf	2,13		2,08				1,04	1,72	
Nb	6	7	4	4	5			4	4
Rb	10	11	15		9	8	6	7	7
Sn									
Sr	172	200	188	401	189	90	121	182	208
Ta									
Th	0,42		0,32					0,46	
U									
V	380	352	336	184	273	253	253	300	344
W									
Zr	81	84	71	88	80	41	39	59	61
Y	23	23	24	15	26	7	16	22	21
Mo									
Cu									
Pb									
Zn	108	119	107	79	85	104	97	115	106
Ni	53	68	51	158	151	314	116	74	94
As									
Tl									
Se									
La	5,6		5,8				3,6	5,5	
Ce	17,1		14,1				7,5	12,3	
Pr									
Nd	9,7		9				5	9,1	
Sm	3,2		2,8				1,71	2,51	
Eu	1,2		1,1				0,65	0,95	
Gd									
Tb	0,8		0,5				0,26	0,72	
Dy									
Ho									
Er									
Tm									
Yb	2,7		3,1				1,81	2,5	
Lu	0,28		0,32				0,21	0,3	

Associação clasto-aluminosa**paragneisse migmatítico**

Sample	NCC-310
SiO ₂	69,62
Al ₂ O ₃	13,57
MnO	0,087
MgO	1,66
CaO	1,73
Na ₂ O	2,16
K ₂ O	4,21
TiO ₂	0,644
P ₂ O ₅	0,109
Fe ₂ O ₃	4,72
LOI	0,8
Total	99,31
Cl	364
Cr	56
F	1048
S	<32
Ba	888,3
Sc	10
Co	10,6
Cs	4,5
Ga	17,1
Hf	5,8
Nb	12,2
Rb	131,3
Sn	2
Sr	153,9
Ta	0,8
Th	15,5
U	2,8
V	68
W	1
Zr	174,3
Y	26,6
Mo	0,1
Cu	9,3
Pb	2,7
Zn	76
Ni	16,6
As	0,5
Tl	0,6
Se	0,5
La	53,9
Ce	106,1
Pr	11,39
Nd	44,9
Sm	8,5
Eu	1,18
Gd	7,08
Tb	0,86
Dy	4,86
Ho	0,84
Er	2,59
Tm	0,38
Yb	2,54
Lu	0,4

meta-vulc./vulcanocl. Ácida alcalina

Sample	NCC-090A
SiO ₂	74,17
Al ₂ O ₃	10,96
MnO	0,131
MgO	0,94
CaO	1,01
Na ₂ O	2,85
K ₂ O	3,36
TiO ₂	0,308
P ₂ O ₅	0,013
Fe ₂ O ₃	4,54
LOI	0,81
Total	99,09
Cl	<15
Cr	<2
F	2506
S	<32
Ba	26
Sc	<1
Co	<0,5
Cs	1,9
Ga	41,5
Hf	38,8
Nb	360,2
Rb	177,7
Sn	15
Sr	16,9
Ta	19,1
Th	40,8
U	5,2
V	<5
W	0,4
Zr	1639,5
Y	163,1
Mo	0,8
Cu	4,6
Pb	4,8
Zn	269
Ni	0,1
As	<0,5
Tl	0,3
Se	<0,5
La	225,2
Ce	443,6
Pr	47,5
Nd	174,2
Sm	30,8
Eu	1,21
Gd	31,33
Tb	4,97
Dy	29,68
Ho	6,08
Er	15,71
Tm	2,43
Yb	15,43
Lu	2,17

XRF (Igc-USP)

ACME

Associação clasto-alumino-carbonática**gnaisses migmatíticos e xistos feldspáticos**

Sample	NCC-213	NCC-249	NCC-358A	NCC-513A	NCC-02	NCC-05A	NCC-011	NCC-421	NCC-017
SiO ₂	76,52	66,53	65,91	63,92	71,68	63,53	64,31	66,36	67,58
Al ₂ O ₃	10,85	14,91	14,47	15,7	14,53	16,32	16,06	14,39	15,6
MnO	0,04	0,076	0,131	0,058	0,02	0,124	0,044	0,109	0,055
MgO	1,29	1,26	2,94	4,37	0,69	2,13	2,18	2,88	1,33
CaO	1,55	1,89	2,49	0,43	0,6	0,69	3,16	2,44	2,68
Na ₂ O	2,96	2,48	2,7	0,67	1,41	1,28	2,99	2,98	3,95
K ₂ O	1,67	4,65	2,41	3,91	6,98	4,48	3,46	2,10	2,63
TiO ₂	0,533	0,778	0,881	0,959	0,336	1,032	0,973	0,884	0,559
P ₂ O ₅	0,07	0,176	0,198	0,137	0,429	0,167	0,306	0,205	0,303
Fe ₂ O ₃	3,48	5,79	6,4	8,26	1,93	7,64	5	6,32	4,07
LOI	0,53	0	0,75	0,79	1,04	1,93	0,92	0,60	0,68
Total	99,49	98,54	99,28	99,2	99,65	99,32	99,4	99,27	99,44
Cl	362	204	<15	195	181	374	58	< 15	352
Cr	35	49	107	85	<2	95	34	139	20
F	671	929	691	1703	624	890	1385	659	925
S	<32	<32	<32	<32	<32	<32	<32	< 32	<32
Ba	316,6	979,7	500	538,2	484,5	519	1055,5	495	624,8
Sc	6	12	17	15	4	19	8	13	8
Co	8,6	11,3	16,6	20,6	3,1	22	9,4	16,7	10
Cs	3,1	2,9	5,2	5,8	1	9,2	4,2	4	2,1
Ga	18,3	24,5	19,2	24,7	27,3	25	25,7	20,2	23,9
Hf	8,6	8,5	5,7	5	6,2	5,6	6,4	5,4	7
Nb	10,1	16,2	10	14,8	19,9	18,4	10,8	8,9	11,2
Rb	94,7	160,1	88,5	159,7	240,7	213,7	153,3	67	125,9
Sn	3	4	2	8	4	4	3	2	<1
Sr	175,7	141,2	191,4	53,2	114,2	93,5	563,4	176,7	595,3
Ta	0,8	0,8	0,6	1	1,3	1,3	0,7	0,6	0,7
Th	9,7	22,9	11	16,9	72,9	14,8	19,4	5,9	28,1
U	1,5	1	2,8	3,8	8,7	3,1	2,1	2,1	5,3
V	45	82	127	120	7	127	69	131	39
W	0,3	0,2	1	1,7	0,7	3,3	0,3	1,3	0,1
Zr	312	277,7	219,7	151	194,5	215,6	227,5	175	244,3
Y	25,5	44,4	36,9	44,3	13	37,7	17	31,4	25,7
Mo	0,1	0,1	<0,1	0,5	0,4	0,1	0,1	0,1	0,2
Cu	7,3	2,6	15,4	38	9,9	5,2	16,3	25,1	5,3
Pb	2	1,3	2,1	4,4	2,7	3,7	6,1	1,6	7,7
Zn	59	78	98	113	49	95	101	82	77
Ni	16	15	51,1	32,2	2,4	40,3	12,8	47,1	9,2
As	0,6	0,5	<0,5	0,5	0,5	0,8	1	0,5	0,5
Tl	0,4	0,7	0,5	0,6	0,3	0,7	0,7	0,3	0,5
Se	0,5	0,5	<0,5	0,5	<0,5	<0,5	0,5	0,5	0,5
La	29,6	56,7	33,7	54,2	75,1	47,4	61,3	23,9	100,9
Ce	58,1	114,7	61,5	107,5	183,7	91,5	129,5	50,1	205,1
Pr	6,88	12,51	7,51	12,23	20,98	10,32	13,95	5,94	21,82
Nd	25,9	49,1	32,1	48,5	79,1	42,8	50,4	24,5	74,9
Sm	4,8	9,4	6,2	9,5	14,4	7,9	9	5,6	12,8
Eu	0,8	1,37	1,49	1,68	0,88	1,53	1,87	1,28	2,26
Gd	4,44	8,32	6,7	7,66	5,63	7,74	4,8	4,79	7,88
Tb	0,7	1,28	1,04	1,34	0,82	1,14	0,79	0,88	1,17
Dy	4,17	7,99	5,99	7,66	2,66	6,64	3,38	5,49	4,77
Ho	0,8	1,56	1,22	1,47	0,38	1,26	0,57	0,97	0,81
Er	2,21	4,46	3,3	4,38	0,78	3,29	1,25	2,95	1,84
Tm	0,36	0,71	0,51	0,67	0,15	0,55	0,22	0,42	0,28
Yb	2,3	4,48	3,66	4,13	0,9	3,82	1,23	2,74	1,61
Lu	0,4	0,69	0,49	0,61	0,11	0,55	0,16	0,45	0,2

XRF (Igc-USP)

ACME

Associação clasto-alumino-carbonática

Sample	NCC-100B	NCC-109	NCC-128	NCC-132B	NCC-067
SiO ₂	20,09	0,69	1,86	26,83	2,77
Al ₂ O ₃	4,94	0,36	0,34	2,78	0,36
MnO	0,023	0,022	0,029	0,064	0,042
MgO	1,42	21,97	21,81	4,61	21,09
CaO	39,36	30,59	30,72	37,61	30,81
Na ₂ O	0,49	0,03	0	0,25	0,01
K ₂ O	1,37	0,16	0,14	0,19	0,02
TiO ₂	0,272	0,018	0,015	0,245	0,029
P ₂ O ₅	0,041	0,05	0,035	0,058	0,037
Fe ₂ O ₃	1,98	0,38	0,48	1,79	0,7
LOI	29,78	45,75	44,72	25,2	44,45
Total	99,77	100,02	100,15	99,63	100,32
Cl	<15	115	<15	<15	105
Cr	20	4	2	19	<2
F	851	<223	<223	455	371
S	512	<32	<32	<32	<32
Ba	263	<17	<17	137	<17
Sc	37	28	25	34	28
Co	3	<3	<3	<3	<3
Cs					
Ga	8	2	3	5	2
Hf					
Nb	7	3	3	6	3
Rb	55	5	5	7	1
Sn					
Sr	1372	84	90	1576	91
Ta					
Th	5	<3	<3	<3	<3
U	<3	4	5	<3	3
V	29	8	7	25	12
W					
Zr	51	10	12	25	12
Y	12	7	6	9	4
Mo					
Cu	8	3	4	8	4
Pb	9	16	8	23	16
Zn	34	7	5	21	14
Ni	7	<2	<2	9	<2
As					
Tl					
Se					
La	16	13	18	12	5
Ce	32	20	23	28	21
Pr					
Nd	22	<22	<22	<22	<22
Sm					
Eu					
Gd					
Tb					
Dy					
Ho					
Er					
Tm					
Yb					
Lu					

XRF (Igc-USP)

ACME

Associação clasto-alumino-carbonática**anfibolitos**

Sample	NCC-101B	NCC-105B	NCC-268A	NCC-331	NCC-108B	NCC-077A
SiO ₂	48,68	45,89	47,89	48,12	50,25	50,12
Al ₂ O ₃	12,18	15,58	13,27	15,67	15,35	14,55
MnO	0,219	0,167	0,261	0,189	0,162	0,17
MgO	5,37	5,49	4,98	7,34	3,44	9,61
CaO	9,43	17,11	9,29	14,09	16,22	10,23
Na ₂ O	0,53	1,96	1,18	2,32	1,63	2,44
K ₂ O	0,96	0,55	0,4	0,22	0,58	0,8
TiO ₂	3,339	1,73	2,225	0,967	1,708	0,931
P ₂ O ₅	0,627	0,21	0,134	0,128	0,695	0,113
Fe ₂ O ₃	16,07	10,27	18,64	10,46	8,72	8,88
LOI	2,4	0,54	1,12	0,58	0,92	1,32
Total	99,8	99,5	99,39	100,08	99,67	99,16
Cl	44	148	37	<15	109	<15
Cr	127	336	36	467	163	970
F	1189	444	<223	<223	455	967
S	11593	136	632	<32	2060	<32
Ba	97,8	170,3	56,3	127,1	410,7	155
Sc	36	38	41	36	26	42
Co	48,1	43,5	58,5	52,8	34,6	43
Cs	3,1	0,3	0,1	2,1	0,9	
Ga	26	22,1	24,4	18,2	20,7	16
Hf	6,2	3	3	1,5	4,7	
Nb	19,2	12,6	3,5	2,6	26,7	6
Rb	41,8	7	5,3	6,2	6,2	20
Sn	5	2	<1	<1	<1	
Sr	399,4	441,5	123,7	290,1	278	265
Ta	1,2	0,9	0,3	0,1	1,5	
Th	2,1	0,5	0,4	0,4	4,2	<3
U	0,8	0,7	0,2	0,1	0,9	4
V	416	265	686	274	189	282
W	4,8	0,9	0,5	1,3	1,1	
Zr	206,3	111,2	91,7	50,8	191,4	62
Y	52,4	22,3	40,9	24,3	27,8	20
Mo	1,5	0,1	0,2	0,1	0,1	
Cu	149,7	34,2	147,2	32,3	7,7	6
Pb	4,1	2,4	2,8	0,4	3	18
Zn	83	16	49	10	25	80
Ni	54,8	24,4	25,6	26,6	19,2	110
As	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	
Tl	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	
Se	0,8	<0,5	0,5	0,5	<0,5	
La	30,7	12,1	5,7	5,3	53,1	7
Ce	70,6	28,8	13,4	13,2	109,6	<18
Pr	8,88	3,86	2,09	2,01	13,12	
Nd	40,5	18,8	10,6	9,2	55,2	<22
Sm	9,2	4,4	3,9	2,9	9,3	
Eu	2,93	1,47	1,26	0,89	2,64	
Gd	9,96	3,65	5,94	3,43	7,01	
Tb	1,78	0,71	1,04	0,61	1,05	
Dy	9,44	4,09	6,83	4,21	4,91	
Ho	1,94	0,77	1,44	0,83	0,97	
Er	4,66	2,18	3,5	2,52	2	
Tm	0,68	0,29	0,54	0,36	0,32	
Yb	4,62	1,73	3,82	2,35	2,14	
Lu	0,75	0,24	0,58	0,35	0,29	

XRF (Igc-USP)

ACME

Associação clasto-alumino-carbonática

meta-basitos a microclina		leuco-gnaiss milonítico		hidrotermalito uranífero (Itataia)
Sample	NCC-131	NCC-513B	NCC-229	NCC-099
SiO ₂	52,08	53,58	71,99	11,22
Al ₂ O ₃	11,6	10,51	15,31	1,85
MnO	0,035	0,119	0,003	0,034
MgO	5,41	6,8	0,08	2,2
CaO	16,86	16,55	0,72	44,19
Na ₂ O	1,39	1,16	3,62	1,36
K ₂ O	2,8	2,95	5,96	0,02
TiO ₂	0,625	0,704	0,136	0,156
P ₂ O ₅	0,138	0,132	0,115	31,451
Fe ₂ O ₃	4,22	4,78	0,5	2,28
LOI	4,64	2,4	0,43	0,95
Total	99,8	99,69	98,86	95,71
Cl	342	637	<15	<15
Cr	46	47	<2	13
F	514	369	<223	16167
S	<32	<32	<32	466
Ba	749	528	651	37
Sc	20	23	<4	85
Co	7	10	0,8	3,7
Cs			1,5	<0.1
Ga	17	14	22	2,3
Hf			3,6	1
Nb	16	12	4,4	2,2
Rb	126	95	174,9	<0.5
Sn			<1	<1
Sr	520	448	310,2	2371,1
Ta			0,3	0,1
Th	9	7	7	23,6
U	3	3	1,8	1429,9
V	58	70	5	156
W			0,8	0,9
Zr	176	187	93,7	74,6
Y	16	32	4,5	87,1
Mo			0,2	0,1
Cu	7	8	7,1	3,1
Pb	25	32	13,9	9,8
Zn	82	82	16	9
Ni	22	22	0,6	1,6
As			0,5	5,3
Tl			0,1	<0.1
Se			0,5	<0.5
La	26	29	16,3	8,8
Ce	49	62	31,4	15,5
Pr			3,47	2,05
Nd	<22	28	13,4	10,2
Sm			2,8	3,1
Eu			0,77	0,84
Gd			2,04	3,36
Tb			0,27	0,76
Dy			1,06	7,03
Ho			0,11	2,49
Er			0,27	12,28
Tm			0,05	3,18
Yb			0,22	27,89
Lu			0,04	5,51

XRF (lgc-USP)

ACME

	Diatexito	banda K	Gn-Migt. Bandados		
Sample	NCC-019	NCC-19A	NCC-284	NCC-291B	NCC-304
SiO ₂	68,22	70,39	62,98	58,17	67,92
Al ₂ O ₃	16,1	16,53	17,05	16,88	14,94
MnO	0,036	0,006	0,063	0,145	0,062
MgO	0,74	0,01	2,23	3,09	1,53
CaO	2,97	3,12	5,27	5,93	3,68
Na ₂ O	5,08	5,49	4,46	3,84	3,88
K ₂ O	1,59	2,26	1,19	2	1,74
TiO ₂	0,352	0,028	0,552	0,79	0,44
P ₂ O ₅	0,127	0,269	0,151	0,246	0,138
Fe ₂ O ₃	3,22	0,50	4,87	7,01	4,17
LOI	0,48	0,54	0,43	0,96	0,48
Total	98,91	99,14	99,25	99,06	98,98
Cl	372	159	<15	<15	<15
Cr	5	< 2	39	48	17
F	567	< 223	404	1532	572
S	226	319	<32	80	<32
Ba	245,8	769	499	355	397,6
Sc	5	<4	8	16	9
Co	5,7	1,7	17	19,2	11,7
Cs	2,1	0,2	1,4	7,3	1,6
Ga	25,3	20,1	20,8	27,8	21,1
Hf	4	0,9	2,5	6,3	3,5
Nb	9	0,5	2,6	12,1	4,7
Rb	72,5	39	28,8	99,6	99
Sn	2	<1	<1	9	3
Sr	398,8	449,3	750,2	519,3	463,7
Ta	0,7	0,1	0,2	0,9	0,2
Th	2,9	1,5	1,5	4,8	1
U	0,9	0,4	0,7	1,8	0,3
V	33	5	70	125	62
W	0,1	0,1	0,2	0,5	0,1
Zr	133,4	21,7	88,4	211,3	111,6
Y	5,9	10,9	8,7	43,9	14,5
Mo	0,1	0,2	0,1	0,3	0,1
Cu	19,9	29,5	27,8	18,5	2,1
Pb	1,5	2,8	0,5	2,1	0,8
Zn	59	5	47	75	76
Ni	4,5	2,2	17,1	15,8	19,3
As	0,5	0,7	0,5	0,5	0,5
Tl	0,3	0,1	0,1	0,4	0,4
Se	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
La	16,5	15,9	13,3	25,1	14,6
Ce	31,8	27,2	27,1	61,7	30,3
Pr	3,34	3,02	3,19	8,5	3,89
Nd	11,8	12,5	12,1	38,3	17,9
Sm	2,2	2,7	2,6	9	3,7
Eu	0,65	0,72	0,94	1,46	0,84
Gd	1,84	2,29	2,22	8,21	3,07
Tb	0,35	0,41	0,29	1,2	0,5
Dy	1,24	2,27	1,43	7,51	2,76
Ho	0,2	0,37	0,3	1,47	0,49
Er	0,39	0,84	0,74	4,22	1,26
Tm	0,05	0,12	0,12	0,6	0,2
Yb	0,28	0,61	0,82	4,05	1,09
Lu	0,06	0,07	0,1	0,65	0,18

XRF (Igc-USP)

ACME

1 (diatexito a biotita)

2 (metatexito a biotita)

3(metatexito a biotita e hornblenda)

metatexitos a biotita e hornblenda**diatexitos a biotita**

Sample	NCC-193C	NCC-083	NCC-078	NCC-197	NCC-200B	NCC-337	NCC-346B	NCC-590A
SiO ₂	61,81	66,81	68,3	70,89	74,06	68,23	72,72	68,8
Al ₂ O ₃	14,38	16,52	15,55	14,48	13,97	14,47	14,56	14,77
MnO	0,098	0,061	0,057	0,024	0,034	0,071	0,026	0,05
MgO	3,96	1,01	0,82	0,4	0,2	0,98	0,28	0,59
CaO	4,02	3,19	1,97	1,6	1,43	2,47	2,11	1,59
Na ₂ O	2	4,76	3,83	2,87	3,58	3,71	4,40	3,71
K ₂ O	4,71	2,39	4,55	6,16	4,72	3,88	3,13	5,56
TiO ₂	0,979	0,467	0,455	0,285	0,119	0,706	0,143	0,461
P ₂ O ₅	0,39	0,183	0,193	0,081	0,045	0,211	0,056	0,165
Fe ₂ O ₃	5,71	3,53	2,86	1,49	1,04	3,76	1,13	2,3
LOI	0,89	0,42	0,37	0,85	0,34	0,3	0,74	0,7
Total	98,95	99,34	98,95	99,13	99,54	98,79	99,30	98,7
Cl	18	391	<15	257	<15	171	<15	<15
Cr	189	7	2	3	8	6	18	12
F	1668	807	452	<223	285	1188	355	640
S	<32	<32	<32	<32	<32	<32	<32	<32
Ba	1312,6	398,5	1097,2	1270,9	391	917,7	720,6	1229,1
Sc	13	8	4	<4	<1	7	<4	<4
Co	21,9	5,8	6,1	3	1,6	8,3	2	4,1
Cs	7,7	7,2	2,7	2,5	2,4	5,2	2,1	3,2
Ga	23,5	25,6	22,6	16,7	19,9	21	19,2	25,4
Hf	7,6	5,5	5,9	5,5	3,9	9,8	2,4	7,4
Nb	19,1	18,3	7,2	3,7	1,9	27,8	2,8	22
Rb	244,5	128,8	119,6	176,8	186,2	170,2	77,5	147,1
Sn	4	3	2	<1	<1	3	<1	2
Sr	494,5	343,9	432,3	651,9	227,5	230,1	360,6	502,2
Ta	1,2	1,4	0,3	0,2	0,1	2,8	0,2	2,4
Th	24,4	17,6	17,1	20,3	12,4	27,4	0,8	16,9
U	3,4	1,7	1,1	1,3	2,6	3,6	0,4	2,8
V	113	44	38	27	14	60	18	30
W	0,8	0,4	0,1	0,1	<0,1	0,4	0,2	0,9
Zr	269,3	187,7	202,7	181,4	108,3	359,6	64	236,5
Y	30,4	17,6	10,5	4,2	2,3	48,8	5,2	47,1
Mo	0,1	0,2	0,1	0,1	0,6	0,3	0,2	0,2
Cu	4,2	28,7	4,1	78,2	30,2	16,1	26,1	1,6
Pb	4,1	2,8	4,6	2,7	4,6	3,5	4,2	1,8
Zn	69	63	52	21	26	60	25	56
Ni	68	2,4	4,2	1,9	3,2	5,8	1	3,7
As	1,1	0,5	0,5	0,5	<0,5	0,5	0,5	0,5
Tl	0,8	0,4	0,3	0,1	0,2	0,4	0,1	0,2
Se	0,5	0,5	0,5	0,5	<0,5	0,5	0,5	0,5
La	65	57	60,4	38,7	15,2	72	6,6	74,2
Ce	134,1	99,5	107,9	69,5	23	141,5	10,9	155
Pr	15,61	9,55	10,59	6,87	2,42	15,32	1,18	16,78
Nd	56,2	33,7	33,8	21	9,8	55,8	4	66,2
Sm	11,5	5,4	4,8	3,5	1,2	10,5	0,9	13,9
Eu	1,82	0,96	0,94	0,97	0,48	1,37	0,57	1,79
Gd	8,28	3,36	2,75	1,46	0,53	7,41	0,78	10,28
Tb	1,28	0,62	0,44	0,24	0,09	1,25	0,13	1,7
Dy	5,99	2,95	1,93	0,79	0,42	7,13	0,99	9,84
Ho	0,95	0,56	0,29	0,12	0,08	1,32	0,17	1,73
Er	2,74	1,34	0,81	0,27	0,26	4,28	0,46	4,58
Tm	0,38	0,2	0,09	0,05	<0,05	0,63	0,07	0,71
Yb	2,36	1,17	0,65	0,29	0,24	3,38	0,44	3,77
Lu	0,35	0,19	0,09	0,05	0,03	0,53	0,08	0,46

XRF (Igc-USP)

ACME

	anfibolito	Complexo anelar Quintas				gran. Serr. S. Paulo
Sample	NCC-346A	NCC-353	NCC-606	NCC-623	NCC-608	NCC-392
SiO ₂	52,04	69,94	63,83	59,31	52,14	73,94
Al ₂ O ₃	16,58	14,37	14,67	16,3	16,31	14,76
MnO	0,238	0,045	0,084	0,102	0,12	0,106
MgO	3,96	0,37	1,25	1,21	4,05	0
CaO	7,93	1,57	3,32	3,59	6,68	0,22
Na ₂ O	4,23	3,52	3,38	3,91	3,46	4,96
K ₂ O	0,85	5,53	4,21	4,53	2,22	4,27
TiO ₂	1,272	0,359	1,103	1,102	2,586	0,008
P ₂ O ₅	0,396	0,112	0,355	0,38	1,213	0,006
Fe ₂ O ₃	11,02	2,72	5,81	7,42	9,25	0,38
LOI	0,21	0,38	0,87	0,89	1,16	0,44
Total	98,73	98,92	98,88	98,74	99,19	99,09
Cl	194	264	267	343	63	258
Cr	13	<2	12	4	69	2
F	1357	1531	2169	1172	1087	7511
S	<32	<32	<32	<32	< 32	<32
Ba	259,1	1016	1524,4	1610,4	1029	<5
Sc	27	4	11	12	16	2
Co	28,3	3,6	11,6	12,5	33,2	<0,5
Cs	0,8	3,7	1,7	4,9	1,1	31,1
Ga	19,8	25,1	24,4	25,3	22	55,5
Hf	3,1	7,4	13,4	9	5,3	9,5
Nb	4,4	19,4	23,5	29,7	20,2	43,5
Rb	16,6	238,6	131,7	146,4	66,5	1463,2
Sn	<1	4	2	4	2	66
Sr	911,9	210,3	385,9	491,9	1084,7	2,2
Ta	0,2	1,4	1,1	1,7	1,3	16,9
Th	5	14,4	10,7	5,3	3,9	19
U	1,1	3,7	1,9	1,3	0,7	5,3
V	290	13	47	36	102	<5
W	0,4	0,1	0,5	0,3	0,4	0,7
Zr	92,1	251,8	510,4	354,5	191	45,3
Y	24,9	28,1	38,3	38	24,5	66,3
Mo	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	<0,1
Cu	77	4,8	14,4	21,5	26,5	1
Pb	1,5	6,5	5,4	4,2	2	2,1
Zn	48	56	81	94	59	85
Ni	0,4	1,3	4,4	2	27,8	<0,1
As	0,5	<0,5	0,5	0,5	0,5	<0,5
Tl	0,1	0,4	0,3	0,3	0,1	0,9
Se	0,5	<0,5	0,5	0,5	0,5	<0,5
La	17,6	55,7	97,4	50,5	43,2	18,4
Ce	38,1	103,1	194,3	109,4	89,9	59,9
Pr	4,7	11,09	20,83	13,13	10,91	10,49
Nd	21,1	44,1	78,3	55,2	49,1	49
Sm	5	7,3	13,2	10,3	9,1	23
Eu	1,55	1,18	1,92	2,15	2,48	0,05
Gd	5,09	7,27	9,61	8,14	7,14	19,98
Tb	0,77	0,89	1,32	1,36	0,99	4,86
Dy	4,32	4,89	6,82	7,39	4,89	29,99
Ho	0,91	0,91	1,28	1,24	0,78	5,55
Er	2,56	2,41	3,27	3,3	2,11	16,1
Tm	0,37	0,34	0,46	0,49	0,27	3,27
Yb	2,43	2,28	2,86	2,91	1,36	23,75
Lu	0,34	0,34	0,43	0,44	0,24	3,13

XRF (Igc-USP)

ACME

Migm. Lagoa C.			diatexitos	metatexitos
Sample	NCC-036A	NCC-574	NCC-039B	NCC-036B
SiO ₂	58,36	72,3	68,35	58,25
Al ₂ O ₃	24,19	14,48	13,97	16,68
MnO	0,021	0,017	0,121	0,13
MgO	0,43	0,28	2,05	3,75
CaO	6,43	1,18	3,07	6,03
Na ₂ O	6,91	3,69	3,15	3,34
K ₂ O	0,98	4,94	2,06	2,01
TiO ₂	0,131	0,223	0,415	0,833
P ₂ O ₅	0,019	0,061	0,105	0,188
Fe ₂ O ₃	1,11	1,22	5,06	7,66
LOI	0,58	0,71	0,74	0,59
Total	99,16	99,1	99,09	99,46
Cl	<15	211	<15	263
Cr	<2	13	43	66
F	<223	236	1225	864
S	<32	<32	<32	<32
Ba	261,9	668,4	480,9	558,8
Sc	<4	<4	14	17
Co	3	1,8	11,6	26,1
Cs	0,9	1,2	4,4	2,7
Ga	24	20	15,2	19,9
Hf	8,5	5,6	3	5,3
Nb	2	3,4	2,5	8,2
Rb	21,8	148,6	91,3	72,6
Sn	<1	2	<1	3
Sr	748,8	228,8	203,5	323,8
Ta	0,2	0,1	0,1	0,5
Th	30,2	43,2	1,7	4,9
U	3,7	1,9	0,5	0,7
V	16	13	94	165
W	0,1	0,2	0,3	0,2
Zr	280,9	152	72,9	215,8
Y	8,8	5,4	22,9	25,7
Mo	0,1	0,1	0,2	0,2
Cu	4,3	8,7	12	48,1
Pb	2,9	3,3	2,2	1,2
Zn	17	24	73	55
Ni	2,9	1,2	7,1	24,5
As	0,9	0,5	0,5	0,5
Tl	0,1	0,1	0,5	0,3
Se	0,5	0,5	0,5	0,5
La	105,5	46,2	9,8	21,6
Ce	218	80,6	19,6	49,9
Pr	21,35	7,98	2,51	5,57
Nd	68,8	29,4	11,6	20,6
Sm	9,6	4,2	2,7	4,6
Eu	1,92	0,61	0,73	1,08
Gd	4,12	2,99	2,61	4,42
Tb	0,6	0,31	0,58	0,77
Dy	2,01	1,31	3,47	4,09
Ho	0,23	0,19	0,76	0,79
Er	0,65	0,41	2,38	2,13
Tm	0,1	0,05	0,37	0,33
Yb	0,81	0,22	2,34	2,01
Lu	0,12	0,05	0,36	0,33

XRF (Igc-USP)

ACME

ANEXO 1: Pontos de afloramento levantados nas Folhas 1: 100 000 de Itatira, Taparuaba e porção norte da Folha Boa Viagem

Parte integrante da tese de doutoramento "EVOLUÇÃO GEOLOGICA PROTEROZOICA DA REGIAO ENTRE MADALENA E TAPERUABA, DOMINIO TECTONICO CEARA CENTRAL (PROVINCIA BORBOREMA)"
Autor: Neivaldo Araújo de Castro
USP-IGc-GMG, 2004

CEARÁ, DOMÍNIOS TECTÔNICOS

LITOLOGIAS INTEGRANTES DAS PRINCIPAIS UNIDADES LITOTECTÔNICAS PRESENTES NAS FOLHAS TAPERUABA, ITATIRA E NORTE DA FOLHA BOA VIAGEM

LITOLOGIAS SUBORDINADAS

- ◆ diques básicos Mesozóicos
- * milonitos e filonitos tardios

COMPLEXO TAMBORIL-SANTA QUITÉRIA

- + granitóides pós-orogênicos: Complexo Anelar Quintas (granitóides a biotita, hornblenda, fácies rico em enclaves e com restos de clino-piroxênio)
- + biotita diatexitos foliados (hornblenda rara)
- × hornblenda biotita metatexitos (diatexitos foliados subordinados)
- Migmatitos Lagoa Caiçara (migmatitos bandados a biotita e hornblenda com porções diatexiticas e anfibolíticas)

SUPRACRUSTAIS RIO CURÚ-ITATAIA-INDEPENDÊNCIA e COMPLEXO MADALENA - ALGODÕES-CHORÓ

- cálcio-silicáticas bandadas a diopsídio, flogopita e escapolita com frequente níveis de mármore
- ⊕ gnaisses bandados granoblásticos a Bi e Ms
- ⊖ gnaisses bandados granoblásticos a Bi (prováveis meta-vulcânicas)
- gnaisses bandados granoblásticos a Bi (meta-vulcânicas ácidas alcalinas)
- leuco-gnaisses granoblásticos
- leuco-gnaisses miloníticos
- pegmatóides foliados
- ⊕ augen-gnaisses bandados a Bi
- ⊕ augen-gnaisses bandados a Bi e Ms
- gnaisses bandados a Ci e Bi
- gnaisses bandados a Ci, Bi e Ms
- gnaisses bandados a Ci, Sil e Bi
- gnaisses bandados a Ci, Sil, Bi e Ms
- gnaisses bandados a Sil e Bi
- gnaisses bandados a Sil, Bi e Ms
- gnaisses bandados a Sil, Bi e Ms
- gnaisses bandados a Bi
- gnaisses bandados a Bi e Ms
- gnaisses bandados a Ms
- migmatitos bandados a Ci e Bi
- migmatitos bandados a Sil e Bi
- migmatitos bandados a Sil, Bi e Ms
- migmatitos bandados a Sil, Ms e Bi
- migmatitos bandados a Bi
- migmatitos bandados a Ms e Bi
- migmatitos bandados a Bi e Ms
- quartzitos bandados a Ms (silimanita frequente)
- ▲ xistos feldspáticos a Ci, Ms e Bi
- ▲ xistos feldspáticos a Ci, Sil e Bi
- ▲ xistos feldspáticos a Ci, Sil, Ms e Bi
- ▲ xistos feldspáticos a Sil e Bi
- ▲ xistos feldspáticos a Sil, Ms e Bi
- ▲ xistos feldspáticos a Sil e Ms
- ▲ xistos feldspáticos a Bi (localmente esparsos níveis ricos em Ms)
- ▲ xistos feldspáticos a Ms e Bi
- △ xistos feldspáticos a Ms
- leuco-gnaisses miloníticos com granada
- ☆ meta-riolitos (gnaisse granoblásticos com biotita)
- △ orto-gnaisses foliados a biotita e hornblenda
- ▲ orto-gnaisses a biotita e hornblenda associados a gnaisses-migmatíticos bandados
- ▲ associação meta-vulcanosedimentar indiferenciada: gnaisses granoblásticos a biotita e muscovita (prováveis meta-andesitos e riolitos), porções anfibolíticas, gonditos e meta-cherts ferruginosos
- Migmatitos bandados a biotita hornblenda com porções diatexiticas frequentes (em meio ao CMACH)
- Migmatitos bandados a biotita (em meio as SCRCII)

ANFIBOLITOS

- ◆ anfibolitos
- ◆ anfibolitos a diopsídio
- ◆ anfibolitos a granada e diopsídio
- ◆ anfibolitos a granada
- ◆ anfibolitos a microclina (cálcio-silicáticas)

Estruturas

- Falhas
- Contato geológico
- Principais cavalgamentos
- Antiforme
- Sinforme
- Sinforme invertido
- Foliação S₀ (principal superfície metamórfica)
- Lineação de estiramento mineral (minerais isolados e em agregados)
- Landsat-5TM (lineamentos de relevo negativo; estrutura dúctil-rúptil e rúptil)

Sistema de coordenadas: Córrego Alegre SUTM24

74218

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - USP
BIBLIOTECA

ANEXO 2: Região das Folhas Itatira e Taperuaba: Mapa Litotectônico

Parte integrante da tese de doutoramento
"EVOLUÇÃO GEOLÓGICA PROTEROZÓICA
DA REGIÃO ENTRE MADALENA E TAPERUABA,
DOMÍNIO TECTÔNICO CEARÁ CENTRAL
(PROVÍNCIA BORBOREMA)"
Autor: Neivaldo Araújo de Castro
USP-IGc-GMG, 2004

1: 150 000

0 5 10 15 Km

Córrego Alegre SUTM24

CEARÁ (DOMÍNIOS TECTÔNICOS)

Referências Cartográficas

ESTRUTURAÇÃO NEOPROTEROZÓICA

Estruturas

- Falhas
- Contato geológico
- Principais zonas de cavilamento (nas SCRCII preferencialmente associadas a xistos feldspáticos miloníticos)
- Antiforme
- Sinforme
- Sinforme invertido
- Foliação metamórfica principal (Sn)

Estereogramas

- Sn - Superfície metamórfica principal
- Lx - Lineação de estiramento mineral (minerais isolados e agregados)
- eixos de dobras pós-Sn

UNIDADES LITOTECTÔNICAS

NEOPROTEROZÓICO III

COMPLEXO TAMBORIL-SANTA QUITÉRIA (CTSQ)

- Complexo Granitóide Anelar Quintas (hornblenda-biotita-granitóides, localmente com restos de clinopiroxênio; pós-orogênico)
- Quartzitos ímpuros bandados, geralmente com muscovita, silimanita e níveis meta-pelíticos
- Cálcio-silicáticas bandadas

- Bi-diatexitos foliados (hornblenda esparsa; localmente porções metatexiticas, schlieren, nebulíticas e shollens ricos em biotita e hornblenda)
- Hb-Bi-metatexitos (porções mais localizadas de Bi-diatexitos foliados)

- Meta-basitos (anfíbolitos, diopsídio-anfíbolitos e anfíbolitos gnáissicos)

- Migmatitos Lagoa Calçara (migmatitos bandados com porções diatexiticas, localmente anfíbolíticas)
- Quartzitos e cálcio-silicáticas (?). Provável Sequência vulcano-sedimentar metamorfizada

NEOPROTEROZÓICO II-III

SUPRACRUSTAIS RIO CURÚ-ITATAIA-INDEPENDÊNCIA (SCRCII)

Associação clasto-alumino-carbonática (ACAC)

- Cálcio-silicáticas bandadas a diopsídio, flogopita e escapolita (níveis de mármore mais localizados)
- Gnaisses migmatíticos paraderivados ricos em biotita, silimanita, granada. Mais localmente xistos feldspáticos, níveis migmatíticos, augen-gnaisses bandados e xistos miloníticos
- Meta-basitos (anfíbolitos, granada-anfíbolitos, granada-diopsídio-anfíbolitos e anfíbolitos gnáissicos)
- Quartzitos ímpuros bandados com muscovita (localmente com porções a muscovita e níveis meta-pelíticos)

Associação clasto-aluminosa (ACA)

- Augen-gnaisses migmatíticos bandados
- Gnaisses migmatíticos paraderivados ricos em clinita e granada e quantidades variáveis de silimanita. Localmente preservam restos de retro-eclogitos básicos e meta-pelíticos. Também níveis migmatíticos, de augen-gnaisses bandado e xistos feldspáticos miloníticos
- Meta-basitos (anfíbolitos, granada-anfíbolitos, granada-diopsídio-anfíbolitos e anfíbolitos gnáissicos)
- Quartzitos ímpuros bandados com muscovita (localmente com porções a muscovita e níveis meta-pelíticos)

PALEOPROTEROZÓICO

COMPLEXO MADALENA (CMACH, associações litológicas)

- Orto-gnaisses quartzo dioríticos a biotita e hornblenda, foliado e mais raramente bandado
- Meta-vulcanossedimentar (gnaisses bandados a hornblenda e biotita, anfíbolitos com e sem granada, níveis meta-litolíticos, meta-andesíticos, gontitos, meta-cherts ferruginosos)
- Anfíbolitos, granada-anfíbolitos, granada-diopsídio-anfíbolitos e anfíbolitos gnáissicos
- Gnaisses migmatíticos bandados a biotita, granada e muscovita. Subordinadamente xistos feldspáticos a biotita, muscovita e granada (alguns miloníticos).
- Gnaisses granoblásticos a biotita e muscovita (prováveis meta-vulcanitas/vulcanoclast. ácidas a interm.

NÚCLEOS GNÁISSICO-MIGMATÍTICOS

- Hornblenda biotita gnaisses migmatíticos bandados com porções diatexiticas

Vulcanismo ácido alcalino extensional

Localidade

Perfis esquemáticos (figura 5.27)

Jazida Fósforo-Uranífera de Itaitaia