UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARACTERIZAÇÃO METAMÓRFICA E GEOCRONOLÓGICA DAS
ROCHAS PROTEROZÓICAS DO MACIÇO DE GARZÓN – SUDESTE
DOS ANDES DA COLÔMBIA**

DIANA MARIA JIMÉNEZ MEJÍA

Orientador: Prof. Dr. Umberto Giuseppe Cordani

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO JULGADORA

	Nome	Assinatura
Presidente:	Prof. Dr. Umberto Giuseppe Cordani
Examinadores:	Prof. Dr. Marcos Aurélio Farias de Oliveira
	Prof. Dr. Mario da Costa Campos Neto

SÃO PAULO
2003

DEDALUS - Acervo - IGC

30900012301

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARACTERIZAÇÃO METAMÓRFICA E
GEOCRONOLÓGICA DAS ROCHAS
PROTEROZÓICAS DO MACIÇO DE
GARZÓN – SUDESTE DOS ANDES DA COLÔMBIA**

Diana Maria Jiménez Mejía

Orientador: Prof. Dr. Umberto Giuseppe Cordani

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica

SÃO PAULO
2003

DOAÇÃO
<i>Pos-graduado / BGRSP</i>
Data: <i>18/07/2003</i>

A Javier y a nuestra hija Paula Andrea

**Por el apoyo incondicional de ambos, fuerza
en los momentos difíciles, y el profundo amor recibido
que fue el motor inspirador.**

AGRADECIMENTOS

A meu orientador Prof. Dr. Umberto Cordani por brindar-me com a oportunidade de realizar estudos de pós-graduação e pelo apoio recebido ao longo deste processo de formação acadêmica.

A INGEOMINAS e a os subdiretores Georgina Guzman e Fernando Muñoz pela comissão de estudos otorgada, pelas amostras cedidas e pelas folhas geológicas que serviram de base para a realização desta pesquisa. Em especial gostaria de agradecer à geóloga Gloria Ines Rodríguez e Mayeli Gomez pelo apoio na petrografia, e aos geólogos, Jose Fernando Osorno, Jaime Alberto Fuquen, Germán Marquinez, Francisco Velandia, Eduardo Lopez e Alberto Nuñez.

Ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo pela formação acadêmica recebida e pelo apoio logístico de sua estrutura laboratorial. A seus professores pelas orientações oportunas em muitas disciplinas, especialmente aos Profs Drs: Colombo Tassinari, José Moacyr Couthinho, Kei Sato, Silvio Vlach e a Caetano Guliani.

Ao Prof. José Munhá pelas orientações práticas em petrologia e geotermobarometria.

Ao pessoal técnico do Centro de Pesquisas Geocronológicas da USP, Helen, Ivone, Liliane, Mitzi, Vasco, Vera, Veridiana, Solange, e Arthur pela colaboração na parte de preparação das amostras e nas diversas técnicas analíticas da geocronologia, e a Marcos, do Laboratório de Microsonda.

Aos colegas, especialmente Agustín pelas discussões enriquecedoras, e a Tatiana, Victor, Zibeli, Anabel, Cely, Leonardo pela amizade e ajuda no decorrer da pesquisa.

A Liu Dunyi da Academia Chinesa de Ciências Geológicas pelas análises de U/Pb SHRIMP em zircão.

A Javier pela colaboração na edição do trabalho final

SUMÁRIO

Dedicatória	
Agradecimentos	
Lista de figuras	iii
Lista de tabelas	vii
Lista de quadros	viii
Lista de pranchas	ix
Resumo	xii
Abstract	xiii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos específicos	2
1.2 Localização da área	2
2 GEOLOGIA	4
2.1 Geotectônica: generalidades e arcabouço	4
2.2 Histórico dos trabalhos geológicos no Maciço de Garzón	6
2.3 Dados geocronológicos existentes	8
2.4 Correlações regionais previas	9
2.5 Geologia local	12
2.5.1 Gnaiss de Guapotón-Mancagua	13
2.5.2 Complexo Garzón	14
2.5.2.1 Granulitos do Vergel	15
2.5.2.2 Gnaiss das Margaritas	16
3 PETROLOGIA E ASPECTOS DO METAMORFISMO	19
3.1 Gnaiss de Guapotón-Mancagua	19
3.2 Granulitos do Vergel	20
3.3 Gnaiss das Margaritas	22
4 GEOTERMOBAROMETRIA	27
4.1 Métodos geotermobarométricos	27
4.2 Granulitos do Vergel	29
4.2.1 Química mineral	29
4.2.2 Resultados geotermobarométricos	31

4.3	Gnaiss das Margaritas	33
4.3.1	Química mineral	34
4.3.2	Resultados geotermobarométricos	37
4.4	Considerações geotermobarométricas	42
5	METODOLOGIAS GEOCRONOLÓGICAS	44
5.1	Análises U-Pb em zircão	44
5.1.1	Separação mineral e procedimento analítico	45
5.2	Análises Sm-Nd	46
5.2.1	Preparação das amostras e procedimento analítico	48
5.3	Análises Rb-Sr	48
5.3.1	Preparação das amostras e procedimento analítico	50
5.4	Análises Ar-Ar	50
6	INTERPRETAÇÃO DOS DADOS GEOCRONOLÓGICOS	52
6.1	Datações U-Pb em zircão	52
6.2	Sistemática Sm-Nd	59
5.2.3	Geoquímica isotópica Rb-Sr	64
5.2.4	Datações Ar-Ar em minerais separados	71
7	CARACTERIZAÇÃO GEOTECTÔNICA DO MACIÇO DE GARZÓN	88
7.1	Evolução tectono-metamórfica	88
7.2	Correlações regionais e participação no supercontinente de Rodínia	95
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
	ANEXOS	
Anexo I	– Mapa geológico com localização das amostras estudadas	
Anexo II	– Características gerais dos minerais das rochas regionais do Maciço de Garzón	
Anexo III	– Análises de microsonda eletrônica e composição mineralógica	
Anexo IV	– Lista de abreviações para minerais formadores de rochas	
Anexo V	– Descrição petrográfica das amostras utilizadas para as análises geotermobarométricas e isotópicas	
Anexo VI	– Dados isotópicos U-Pb SHRIMP em zircão	
Anexo VII	– Dados analíticos $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Mapa de localização	3
FIGURA 2	Províncias geográficas da Colômbia	5
FIGURA 3	Diagramas ACFN de coexistência de hornblenda em rochas de transição de fácies anfibolito-granulito, tomados de SPEAR (1985) para rochas máficas ricas em Fe onde são mostradas as associações Hbl+Grt+Opx+Pl, Hbl+Grt+Cpx+Pl e Hbl+Grt+Cpx+Opx	21
FIGURA 4	Composição da granada do granulito charnockítico V-332: ▷ = núcleo e posições intermediárias, ▽ = borda em contato com biotita.	29
FIGURA 5	Perfil composicional da granada V-332: análises: 15 = contato granada-biotita, 18 e 21 = posições intermediárias, 19 = núcleo, e 20 = borda	29
FIGURA 6	Classificação do ortopiroxênio do granulito charnockítico V-332, análises 1-11 no perfil px-grt1: ▷ = núcleo e posições intermediárias, ▽ = borda em contato com granada, ◻ = alteração.	30
FIGURA 7	Composição dos feldspatos do granulito charnockítico V-332: ◻ = ortoclásio perítico, ◻ = perita, ▽ = contato plagioclásio-granada, ▷ = núcleo do plagioclásio.	30
FIGURA 8	Diagrama Ti/Al das biotitas do granulito charnockítico V-332: ◻ = inclusão em granada, ▷ = núcleo e posições intermediárias, ▽ = borda em contato com granada, ○ = formada pela quebra de granada e piroxênio.	30
FIGURA 9	Diagrama P-T do granulito charnockítico V-332 dos Granulitos do Vergel obtido com o TWQ do intercepto das reações entre plagioclásio-ortopiroxênio-granada-biotita-quartzo. Ponto triplo Al_2SiO_5 de HOLDAWAY(1971). As setas indicam a trajetória anti-horária.	31
FIGURA 10	Resultados dos cálculos TWQ da associação mineral em equilíbrio V-332-1 do granulito charnockítico, usando os núcleos da granada, biotita, ortopiroxênio e borda do plagioclásio em contato com granada, mais quartzo.	32
FIGURA 11	Composição da granada do quartzo-plagioclásio gnaiss Gr-15: ▽ = borda em contato com biotita, ▷ = núcleo e posições intermediárias.	34
FIGURA 12	Perfil composicional da granada do quartzo-plagioclásio gnaiss Gr-15: análises 3 = contato granada-biotita, 1,2 e 4 = núcleo e posições intermediárias.	34
FIGURA 13	Composição da granada do gnaiss migmatítico Z-365-1: ◻ = contato granada-plagioclásio, ▽ = contato granada-biotita, ▷ = núcleo e posições intermediárias.	35
FIGURA 14	Perfil composicional da granada do gnaiss migmatítico Z-365-1: análises 1-3 = núcleo, 4 = contato granada-biotita, 6 = borda.	35

- FIGURA 15 Diagrama Ti/Al das biotitas do quartzo-plagioclásio gnaiss Gr-15: □ = biotita verde do núcleo, ◻ = biotita verde em contato com granada, ▷ = biotita symplectítica do núcleo, ▽ = biotita symplectítica em contato com granada, ○ = biotita da matriz, ♦ = biotita cloritizada. 36
- FIGURA 16 Diagrama Ti/Al das biotitas do gnaiss migmatítico Z-365-1, ◻ = biotita associada à sillimanita, ○ = biotita da matriz, ▷ = núcleo e posições intermediárias, ▽ = contato granada-biotita. 36
- FIGURA 17 Composição da granada do granulito máfico C-32: ◻ = contato granada-ortopiroxênio, ○ = granada em contato com inclusão de biotita, ▽ = contato granada biotita, ▷ = núcleo e posições intermediárias, + = inclusão de granada em ortopiroxênio, ♦ = contato granada hornblenda. 36
- FIGURA 18 Perfil composicional da granada do granulito máfico C-32: análises 29 = contato granada-ortopiroxênio, 30,31,32 e 35 = posições intermediárias e núcleo, 33 e 34 = contato granada-inclusão de biotita. 36
- FIGURA 19 Diagrama Ti/Al de todas as biotitas C-32, * = inclusões em granada, + = contato biotita piroxênio, ▽ = contato biotita granada, ▷ = núcleo e posições intermediárias, ○ = contato biotita hornblenda, ◻ = biotita sin-deformação. 37
- FIGURA 20 Composição do anfibólio do granulito máfico C-32. ▽ = anfibólio em contato com biotita, ▷ = núcleo e posições intermediárias. 37
- FIGURA 21 Diagrama P-T do granulito máfico, gnaiss migmatítico, e quartzo-plagioclásio gnaiss pertencentes ao Gnaiss das Margaritas obtido com o TWQ. 1) reação de fusão-desidratação $bt+pl+Al_2SiO_5+qtz = grt+kfs+fundido$ de LE BRETON & THOMPSON (1988), 2) reação $ms+ab+qtz = kfs+sil+L$ de PETÖ (1976) *apud* LE BRETON & THOMPSON (1988), 3) Curva de cristalização do granito de HUANG & WYLLIE (1973) *apud* LE BRETON & THOMPSON (1988). Ponto triplo Al_2SiO_5 de HOLDAWAY (1971). A seta indica a trajetória de descompressão aproximadamente isotérmica-ITD (*near-isothermal decompression*) em sentido horário. 39
- FIGURA 22 Resultados dos cálculos TWQ da associação mineral Z-365-12 do gnaiss migmatítico, usando a paragenese granada-sillimanita-biotita-feldspato potássico-quartzo. 40
- FIGURA 23 Resultados dos cálculos TWQ da associação mineral C-32-7 do granulito máfico, usando os núcleos da granada, ortopiroxênio e plagioclásio, inclusões de biotita mais quartzo. 41
- FIGURA 24 Diagrama Concórdia do ortognaiss V-198. 55
- FIGURA 25 Imagens de catodoluminescência do ortognaiss V-198, análises de núcleo em amarelo e de bordas em vermelho; observa-se núcleo e borda do zircão 55
- FIGURA 26 Diagrama Concórdia do granulito enderbítico Gr-29. 56

FIGURA 27	Diagrama Tera-Wasserburg do granulito enderbítico Gr-29.	56
FIGURA 28	Diagrama Concórdia do quartzo-feldspato-biotita gnaiss (leucossoma 2de injeção, amostra Gr-15a).	57
FIGURA 29	Diagrama Tera-Wasserburg do granodiorito gnáissico A-746.	58
FIGURA 30	Imagens de catodoluminiscência do granodiorito gnáissico A-746.	58
FIGURA 31	Isócronas Sm-Nd em rocha total e granada do granulito charnockítico V-332 e do quartzo-feldspato gnaiss D- 982, pertencentes aos Granulitos do Vergel.	61
FIGURA 32	Isócronas Sm-Nd em rocha total e granada do biotita-granada gnaiss Gr-15p e do granulito máfico C-32, pertencentes ao Gnaiss das Margaritas.	61
FIGURA 33	Isócrona Sm-Nd em rocha total, plagioclásio e piroxênio do granulito enderbítico Gr-29, pertencente aos Granulitos do Vergel.	63
FIGURA 34	Gráfico T_{DM} das rochas do Maciço de Garzón. Inclui as rochas V-198, V-314, Gr-29b e d, V-332, D-982, C-32 e Gr-15a deste trabalho em azul, e as HP-3 e SnAnKr-1 de RESTREPO-PACE (1995) em verde.	63
FIGURA 35	Diagrama Isocrônico Rb-Sr em rocha total das amostras regionais do Maciço de Garzón. Inclui dados isotópicos desta pesquisa (amostras Gr-29, Gr-29a, b, d, e, f, h, i, D-806 a,b,c, V-332, D-982, V-314, V-290, Gr-15 A, Gr-15p e V-198), de ALVAREZ (1981 a) (JAA-1174,1177,1179 e 1180), e de PRIEM <i>et al.</i> (1989) (CIA-1, 3, 10, 14)	67
FIGURA 36	Gráfico E_{Nd}/E_{Sr} para as amostras do Maciço de Garzón. As rochas dos Granulitos do Vergel estão em azul, do Gnaiss das Margaritas em verde, e do Gnaiss de Guapotón-Mancagua em vermelho.	69
FIGURA 37	Diagrama isocrônico Rb-Sr para as amostras cogenéticas de rocha total Gr-29 e Gr-29a,b, d, e, f, h, i pertencentes aos Granulitos do Vergel.	69
FIGURA 38	Isócrona Rb-Sr em rocha total, plagioclásio e biotita da amostra Gr-29 pertencente ao Granulitos do Vergel.	70
FIGURA 39	Isócrona Rb-Sr em rocha total das amostras do granulito bandado D-806a,b, c pertencentes aos Granulitos do Vergel.	70
FIGURA 40	Espectro de degaseificação da hornblenda, amostra V-198.	71
FIGURA 41	Espectro de degaseificação da biotita, amostra V-198.	74
FIGURA 42	Espectro de degaseificação da biotita, amostra V-332.	74
FIGURA 43	Espectro de degaseificação da biotita, amostra Gr-29.	75
FIGURA 44	Ideogramas para os grãos das biotitas das amostras Gr-29 e V-332 .	75

FIGURA 45	Espectro de degaseificação da biotita, amostra D-982.	76
FIGURA 46	Espectro de degaseificação da hornblenda, amostra D-986.	77
FIGURA 47	Espectro de degaseificação da biotita, amostra D-986.	77
FIGURA 48	Espectro de degaseificação da hornblenda, amostra V-309.	78
FIGURA 49	Ideograma para os grãos da hornblenda, amostra V-309	78
FIGURA 50	Espectro de degaseificação da biotita, amostra V-309.	79
FIGURA 51	Ideograma para os grãos da biotita, amostra V-309.	79
FIGURA 52	Espectro de degaseificação da biotita, amostra C-302.	80
FIGURA 53	Ideograma para os grãos da biotita, amostra C-302.	80
FIGURA 54	Espectro de degaseificação da biotita, amostra C-271.	81
FIGURA 55	Ideograma para os grãos da biotita, amostra C-271.	81
FIGURA 56	Espectro de degaseificação da hornblenda, amostra C-299.	81
FIGURA 57	Espectro de degaseificação da biotita, amostra C-299.	82
FIGURA 58	Ideograma para os grãos da biotita, amostra C-299.	82
FIGURA 59	Espectro de degaseificação da hornblenda, amostra C-32.	83
FIGURA 60	Ideograma para os grãos da hornblenda, amostra C-32.	83
FIGURA 61	Espectro de degaseificação da biotita, amostra C-32.	84
FIGURA 62	Ideograma para os grãos da biotita, amostra C-32.	84
FIGURA 63	Espectro de degaseificação da biotita, amostra Gr-15p.	84
FIGURA 64	Ideograma para os grãos da biotita, amostra Gr-15p.	85
FIGURA 65	Espectro de degaseificação da hornblenda, amostra A-746.	86
FIGURA 66	Espectro de degaseificação da biotita, amostra A-746.	86
FIGURA 67	Ideograma para os grãos da biotita, amostra A-746.	87
FIGURA 68	Diagrama T-t para os Granulitos do Vergel.	94
FIGURA 69	Diagrama T-t para o Gnaiss das Margaritas.	94

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Idades U-Pb SHRIMP em zircão de amostras do Maciço de Garzón e Complexo Migmatítico da Cocha Rio Tellez.	54
TABELA 2 -	Análises Sm-Nd em rocha total e mineral de amostras do Maciço de Garzón	60
TABELA 3 -	Análises Rb-Sr em rocha total e mineral de amostras do Maciço de Garzón	65
TABELA 4 -	Idades Ar-Ar em biotita e hornblenda de amostras do Maciço de Garzón e do Complexo Migmatítico da Cocha Rio Tellez	72

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1	Geocronologia e geoquímica isotópica de rochas do Maciço de Garzón.	10
QUADRO 2	Nomenclatura estratigráfica do Maciço de Garzón.	13
QUADRO 3	Fácies e paragêneses metamórficas das rochas do Complexo Garzón.	15
QUADRO 4	Temperaturas e Pressões médias das associações núcleo e borda da Lâmina V-332 obtidas por geotermobarometria clássica.	33
QUADRO 5	Composições médias dos núcleos das granadas do Gnaisse das Margaritas, lâminas Gr-15, Z-365 e C-32.	34
QUADRO 6	Temperatura média das associações núcleo (n) da lâmina Gr-15 obtidas por geotermobarometria clássica.	38
QUADRO 7	Temperatura média das associações núcleo (n) da lâmina Z-365 obtidas por geotermobarometria clássica.	40
QUADRO 8	Temperaturas e Pressões médias das associações núcleo (n) e borda (b) da lâmina C-32, obtidas por geotermobarometria clássica.	41
QUADRO 9	Resumo dos eventos tectono-magmáticos reconhecidos no Maciço de Garzón nesta pesquisa	89

LISTA DE PRANCHAS

PRANCHA 1.

18

- FOTO 1. Gnaiss quartzo-feldspático com hornblenda e biotita. Observam-se os cristais *augen* de k-feldspato e quartzo (INGEOMINAS & GEOESTUDIOS, 2001 a).
- FOTO 2. Granulitos com bandas félsicas e máficas (INGEOMINAS & GEOESTUDIOS, 2001 a).
- FOTO 3. Seqüência migmatítica constituída por intercalações de quartzo - plagioclásio-biotita gnaisses cinza (mesossoma) e granito gnaisses rosa pálido (leucossoma 2). O mesossoma está assimilado pelo leucossoma 2. *Boudins* de anfibolitos cinza escuros intercalam-se nos migmatitos. O granito pegmatito rosa (leucossoma 3) corta o migmatito e está deslocado por uma falha dextral.
- FOTO 4. Metatextito constituído por biotita gnaisses escuros e quartzo-plagioclásio gnaisses com granada (leucossoma 1). O leucossoma 2 injeta o metatextito.
- FOTO 5. Bolsões de quartzo-plagioclásio gnaiss (leucossoma 1) em biotita gnaiss escuro. A granada está concentrada nas segregações leucocráticas.
- FOTO 6. Detalhe do quartzo-feldspato gnaiss cinza injetado pelo granito gnaiss rosa pálido (leucossoma 2).
- FOTO 7. Migmatito dobrado constituído por intercalações estromáticas de quartzo - feldspato-biotita gnaisses cinza e quartzo-feldspato gnaisses rosa. Outra geração de gnaisses rosa preenchem o eixo da dobra e desenvolvem estrutura ptigmática.
- FOTO 8. Detalhe do pegmatito com biotita de até 10 cm de comprimento (leucossoma 3).

PRANCHA 2.

25

- FOTO 1. Associação mineral ortopiroxênio-plagioclásio-biotita-hornblenda do plagioclásio-quartzo gnaiss com biotita. Hornblenda formada pela quebra do ortopiroxênio. Nícois paralelos, lâmina C-299.
- FOTO 2. K-feldspato mesopertítico do granulito charnockítico. Observa-se a deformação do k-feldspato, lâmina V-332.
- FOTO 3. Pertitas *flame* de substituição desenvolvidas na borda do k-feldspato em contato com plagioclásio, lâmina Z-365-2.

- FOTO 4. Plagioclásio mirmequítico entre cristais do k-feldspato pertítico. Observa-se os dois sets de pertitas no k-feldspato, uma muito fina regular e a outra mais grossa e elipsoidal, lâmina D-806.
- FOTO 5. Granada com inclusões arredondadas de quartzo; nas margens contatos lobados com quartzo. Feições típicas de metamorfismo prógrado. Lâmina Gr-15.
- FOTO 6. Metatextito constituído por melanossoma (Me) e leucossoma 1, (Le), lâmina Z-365. O melanossoma consiste de quartzo, ortoclásio pertítico, plagioclásio e biotita sem orientação preferencial. O leucossoma 1 fino consiste de quartzo, microclínio, granada e biotita. Níveis máficos (M) de sillimanita e biotita seguindo a segunda foliação cortam o mesossoma.

PRANCHA 3

26

- FOTO 1. Detalhe da associação sillimanita e biotita da lâmina Z-365. A sillimanita altera-se a argila e entre os interstícios dos cristais de biotita gera-se moscovita em condições retrógradas.
- FOTO 2. Detalhe do leucossoma 1 da lâmina Z-365. Granada com inclusões de sillimanita, esta última como resquício de uma fase mineral pre-migmatítica.
- FOTO 3. Detalhe do leucossoma 1 da lâmina Z-365. K-feldspato com inclusão de sillimanita, esta última como resquício de uma fase mineral pre-migmatítica. O k-feldspato inverte-se a microclínio nas bordas do cristal.
- FOTO 4. Simplectitas de biotita e plagioclásio formadas às expensas da granada e microclínio. O arranjo simplectítico está reabsorvendo a granada. Nícois paralelos, lâmina Gr-15.
- FOTO 5. Simplectitas de biotita e plagioclásio formadas às expensas da granada e microclínio. O arranjo simplectítico está reabsorvendo a granada. Nícois cruzados, lâmina Gr-15.
- FOTO 6. Detalhe da simplectita, lâmina Gr-15. Borda de plagioclásio ao redor da granada restante da reação entre k-feldspato, granada, biotita, plagioclásio e quartzo mais água.
- FOTO 7. Plagioclásio antipertítico com desenvolvimento de pertitas em duas direções refletindo processos diferentes. As pertitas sub-horizontais seguem a direção da biotita (indicada pela seta) formada durante a segunda foliação do granulito. Lâmina C-32.
- FOTO 8. Desenvolvimento de biotita (Bt2) e plagioclásio (Pl2) numa segunda foliação, bordejando o plagioclásio (Pl1). O plagioclásio (Pl1) faz parte da associação mineral granulítica (Grt-Opx-Hbl-Pl-Qtz) desta rocha máfica. Lâmina C-32

RESUMO

O Maciço de Garzón, ao sudeste dos Andes da Colômbia, contém uma zona bem exposta de rochas metamórficas de alto grau na transição anfibolito-granulito, constituída pelas seguintes unidades, de oeste para leste: Gnaiss de Guapotón-Mancagua, Granulitos do Vergel e o Gnaiss das Margaritas.

Trajetórias geotermobarométricas P-T das rochas metamórficas de alto grau integradas com dados geocronológicos U-Pb SHRIMP em zircão, Sm-Nd em rocha total e mineral, Rb-Sr em rocha total e mineral e Ar-Ar em biotita e hornblenda, permitiram caracterizar dois eventos tectonotermiais relacionados com magmatismo de arco e orogênese colisional posterior.

O Gnaiss de Guapotón-Mancagua, registra idades de 1148 ± 69 Ma e 1005 ± 26 Ma através de resultados U-Pb SHRIMP em zircão, relacionadas com a sua evolução em arco magmático e deformação tectônica posterior em condições de fácies anfibolito.

As rochas do Gnaiss das Margaritas apresentam condições máximas de metamorfismo de aproximadamente 8 kbar e 780°C e trajetória retrógrada ITD, em sentido horário. O retrometamorfismo foi acompanhado por extensa migmatização relacionada com fusão parcial insaturada em água, e geração local de leucossomas de injeção. Deformação posterior em condições de alto grau deu lugar a uma foliação milonítica. Os resultados geocronológicos indicam idade mínima do metamorfismo de 1034 ± 6 Ma (Sm-Nd em RT-granada), enquanto que o leucossoma de injeção fornece idade de 1006 ± 6.4 Ma (U-Pb SHRIMP em zircão). As idades de resfriamento Ar-Ar em hornblenda e biotita, próximas a 1000 Ma, sugerem taxas moderadas de resfriamento em torno de 3.5°C/Ma . A evolução tectônica desta unidade estaria relacionada a espessamento crustal inerente a um processo de subducção tipo B, o qual também teria formado os protolitos do Gnaiss de Guapotón-Mancagua. Posteriormente um evento colisional acarretou a trajetória retrógrada observada.

Em contraste, os Granulitos do Vergel apresentam metamorfismo de aproximadamente 6 kbar e 700°C e trajetória anti-horária relacionada ao re-equilíbrio após metamorfismo prógrado. A época do metamorfismo desta unidade encontra-se próxima a 1000 Ma, obtida da sistemática SHRIMP U-Pb em zircão metamórfico e Sm-Nd em rocha total-granada. A trajetória de resfriamento teria sido caracterizada inicialmente por taxas baixas (2.8°C/Ma) entre 1000 e 930 Ma (Sm-Nd em rocha total-granada), seguido por taxas mais rápidas de 23°C/Ma de acordo com as idades aparentes Ar-Ar em biotita de 917 ± 3 Ma. A trajetória

anti-horária pode estar relacionada ao reajuste orogênico associado com fase colisional, o que teria permitido o desencadeamento das falhas de empurrão que justapõem esta unidade contra o Gnaiss das Margaritas e causado reaquecimento posterior, responsável pela obliteração da história isotópica inicial.

As idades modelo Sm-Nd T_{DM} (1.4 e 2.0 Ga), integradas com indicadores petrogenéticos de Sr e Nd de todas as unidades, sugerem que os protolitos foram formados em domínio crustal altamente evoluído, caracterizado pela mistura de componentes mesoproterozóicos juvenís com componentes crustais mais velhos.

O registro litoestratigráfico, metamórfico e isotópico Sm-Nd das rochas do Maciço de Garzón tem semelhança com o de outros domínios proterozóicos dos Andes Setentrionais da Colômbia (Guajira, Santa Marta, Santander), sugerindo a presença de processos similares e uma evolução tectônica comum. Além disso, as rochas proterozóicas do terreno Oaxaquia, no México, apresentam tanto magmatismo de arco, como metamorfismo de alto grau com idades similares às determinadas no Maciço de Garzón, o que sugere uma estreita relação genética.

Além disso, as características metamórficas de alto grau e as idades dos domínios proterozóicos da Colômbia, México e Andes do Sul (Peru, Chile e Argentina) são também correlacionáveis com a Província Grenville da América do Norte, o que sugere que estes domínios do embasamento são peças importantes do extenso cinturão orogênico que participou da aglutinação do Supercontinente Rodínia.

ABSTRACT

The Garzón Massif in the south-eastern Colombian Andes is made up by an extensive high-grade metamorphic zone at the amphibolite-granulite facies transition, and can be divided from west to east in three main informal lithostratigraphic units (Guapotón-Mancagua Gneiss, Vergel Granulite and Las Margaritas Gneiss).

Geothermobarometric P-T paths for the high grade metamorphic rocks, integrated with zircon U-Pb SHRIMP, Sm-Nd mineral-whole rock, Rb-Sr mineral-whole rock, and Ar-Ar hornblende-biotite ages show two metamorphic events related to arc magmatism and late collision orogeny.

Zircon U-Pb SHRIMP geochronology from the Guapotón-Mancagua Gneiss records 1148 ± 69 Ma and 1005 ± 26 Ma ages related to the magmatic evolution and tectonic deformation in the amphibolite facies.

Rocks from Las Margaritas Gneiss show metamorphic peak conditions around 8 kbar and 780°C, and a retrograde ITD clockwise path associated with migmatization formed in insaturated partial fusion conditions, with generation of an injection leucosome and a later high grade milonytic foliation. Geochronological constraints indicate a minimum metamorphic age close to 1034 ± 6 Ma (Sm-Nd in RT-garnet), whereas a late metamorphic leucosome shows 1006 ± 6.4 Ma (zircon U-Pb SHRIMP). Biotite-hornblende Ar-Ar cooling ages are close to 1000 Ma, and may be related to slow cooling rates around 3.5°C/Ma. The tectonic evolution of this unit was probably related to B-type subduction and the crustal thickening that also formed the Guapotón-Mancagua protoliths, followed by a collisional event that caused the observed retrograde path.

In contrast, the Vergel Granulites present metamorphic conditions around 6 kbar e 700°C and a counter-clockwise path related to re-equilibrium after the prograde metamorphism. The age of this metamorphism is temporally constrained at 1000 Ma (zircon U-Pb SHRIMP and whole-rock Sm-Nd). Cooling path is characterized by slow initial (2.8°C/Ma) rates between 1000-930 Ma, followed by a faster 23°C/Ma rate as shown by the 917 Ma biotite-hornblende Ar-Ar apparent ages. The counter-clockwise path can be related to an orogenic re-adjustment associated to a late collisional phase that also produced internal thrust faults juxtaposing the unit against the Las Margaritas Gneiss, and causing a late re-heating obliterating the isotopic history.

Sm-Nd T_{DM} model ages (1.4 e 2.0 Ga), integrated with Sr-Nd petrogenetic data suggest that the protoliths of the regional rock units where formed in a highly evolved crustal domain, characterized by a mixture of juvenile mesoproterozoic material plus older crustal components.

The lithostratigraphic, metamorphic and Sm-Nd isotopic record of the rocks from the Garzón Massif bear similarities with other proterozoic domains within the northern Colombian Andes (Guajira, Santa Marta, Santander), suggesting the presence of similar geological processes and a common tectonic evolution. Additionally, the proterozoic rocks from the Mexican Oaxaquia terrain record both arc magmatism and high-grade metamorphic phases present in the Garzón Massif, suggesting a close correlation.

The high grade metamorphic characteristic of the proterozoic domains from Colombia, Mexico and the southern Andes (Peru, Chile e Argentina) of similar age can be correlated with the North American Grenville Province. This basement domains can be considered important pieces of the orogenic belt that took part of the agglutination of the Rodinia Supercontinent.

1. INTRODUÇÃO

Na região Andina da Colômbia estão expostos de maneira segmentada uma série de domínios crustais (maciços de Garzón, Santander, Santa Marta, e Guajira) cujas idades radiométricas disponíveis estão entre 900 e 1200 Ma. Destes, o Maciço de Garzón, o mais meridional, corresponde à maior exposição de rochas do embasamento, e é o que melhor preserva a história Mesoproterozóica. Em outras palavras, a complexa atividade tectônica superposta desde sua geração até a formação da cadeia Andina não consegue obliterar o registro mais antigo.

Nesta pesquisa são apresentados dados geotermobarométricos, geocronológicos e isotópicos (U/Pb SHRIMP, Rb-Sr, Sm-Nd e Ar-Ar) desse maciço visando caracterizar os principais eventos tectônicos, e desta forma compreender a sua evolução geológica. Além disto, pretende-se identificar o caráter geral dos processos relacionados à gênese das rochas para sua correlação temporal com os domínios mais a norte na Colômbia e com o domínio localizado ao sul da sutura Ouachita do México. O conhecimento particular dos principais eventos tectono-magmáticos do Maciço de Garzón traz novos elementos de juízo para as correlações globais com outros domínios formados durante a orogênese de idade Grenvilliana, uma vez que Garzón e os demais domínios foram sendo formados durante sucessivas fases de colisão de placas, e têm sido considerados peças importantes na reconstrução do Supercontinente Rodínia (DALZIEL, 1997; SADOWSKY & BETTENCOURT, 1996; TOSDAL, 1996, entre outros).

Terrenos metamórficos de alto grau proporcionam uma boa oportunidade para definir as trajetórias P-T devido à disponibilidade de geotermobarômetros. Porém, para uma história geológica completa, é necessário caracterizar os caminhos do metamorfismo com a informação do tempo em que os processos tectônicos aconteceram (MEZGER, 1990). Neste sentido as ferramentas geocronológicas de alta precisão, como as datações, U/Pb em zircão, permitem obter informação da cristalização magmática ou recristalização metamórfica, e desta forma sugerir o tipo de ambiente geológico que precedeu o ápice das condições metamórficas. A história do metamorfismo prógrado nem sempre fica gravada na memória dos minerais empregados nas análises geotermobarométricas, especialmente para as rochas metamórficas na fácies anfibolito superior ou granulito. O cronômetro Sm/Nd em granada pode indicar as condições próximas ao pico metamórfico (MEZGER *et al.*, 1992). Finalmente, a história da exumação e do resfriamento do orógeno é obtida pelas idades Ar-Ar em micas, de acordo com a respectiva temperatura de fechamento (DODSON, 1973; McDOUGALL & HARRISON, 1999).

A obtenção destas idades de resfriamento, além de dar informação relativa do soerguimento, permitem também determinar o possível levantamento diferencial entre os blocos de um orógeno (RIDLEY, 1989).

1.1 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- Obter dados geotermobarométricos das unidades metamórficas para caracterizar o metamorfismo e a história geológica, por meio das trajetórias P-T.
- Determinar traçadores de tempo em vários estágios do caminho P-T das rochas por meio da geocronologia:
 - por meio de dados U/Pb SHRIMP em zircão obter o tempo em que os eventos pré e sin-orogênicos aconteceram.
 - por meio de dados Sm-Nd e Rb-Sr determinar o ápice dos principais eventos tectono-metamórficos.
 - por meio de dados isotópicos de Sr e Nd caracterizar, de maneira geral, os principais processos atuantes na formação das rochas (participação do manto ou retrabalhamento crustal).
 - por meio de dados isotópicos Ar-Ar em hornblenda e biotita, obter informação da história do resfriamento e da exumação dos blocos tectônicos.
- Finalmente, o conjunto de dados geotermobarométricos, geocronológicos e isotópicos poderá permitir correlações gerais com os domínios congêneres dos Andes Setentrionais e do Cinturão de Grenville.

1.2 Localização da área

O Maciço de Garzón, localizado no setor sul da Cordilheira Oriental da Colômbia, a 300 km a Sul de Bogotá, forma um bloco alongado na direção NNE-SSW, com extensão aproximada de 10.000 km². Estende-se desde a nascente do Rio Guayabero, a norte, até quase o Rio Caquetá, a sul. A área de estudo está situada no setor centro-sul do maciço e abrange os terrenos compreendidos entre o vilarejo do Recreo, a norte, a cidade de Florencia, a sul, o vilarejo de Puerto Rico, a leste, e Guadalupe a oeste (FIGURA 1).

O principal acesso à zona é a estrada que comunica a cidade de Garzón com Guadalupe e Florencia. A porção ocidental da área é alcançada por meio de estradas que ligam a cidade de Florencia com os vilarejos de Guayabal e Guadalupe. Ao nordeste da cidade de Florencia, na porção oriental da zona, o acesso é feito pela estrada que liga este centro urbano com os vilarejos de Montañita e El Doncello.

2. GEOLOGIA

Neste capítulo são compiladas as principais generalidades da geologia da Colômbia, bem como os estudos geológicos e geocronológicos já realizados no Maciço de Garzón. Além disso, apresentam-se as características geológicas locais do Complexo Garzón.

2.1 Geotectônica: generalidades e arcabouço

Colômbia localiza-se no extremo noroeste da América do Sul e seu território divide-se em duas províncias geográficas: (i) Província Oriental (PO), que corresponde aos *Llanos Orientais*, e caracteriza-se por grandes planícies irrigadas por importantes rios, e, (ii) Província Ocidental (PW), conhecida como a região andina da Colômbia, onde emergem as cordilheiras Ocidental (CW), Central (CC) e Oriental (CO) (FIGURA 2).

Atualmente, a deformação intracontinental nos Andes da Colômbia resulta de uma complexa interação entre a placa da América do Sul com as placas oceânicas de Nazca e do Caribe (Kellog & Vega *apud* TABOADA *et al.*, 2000). O limite ao longo do qual acontece a atual transpressão nos Andes do Norte, no sentido NE, com relação à placa Sul-Americana, corresponde ao sistema de falhas de Algeciras, o qual conecta-se para NE com o sistema de falhas de Guaicaramo. Esta megaestrutura transcorrente deslizante, com importante componente vertical que afeta tanto rochas de embasamento (Maciço de Garzón) como da cobertura sedimentar (VELANDIA *et al.*, 2001), formou-se numa tectônica de convergência predominantemente oblíqua (FREYMUELLER *et al.*, 1993).

As províncias geográficas, além de possuir uma marcante diferença fisiográfica, apresentam também características geológicas diferentes. Por isto os investigadores pioneiros, e recentemente Ordoñez (1997), propõem um modelo alóctone para explicar a configuração da região dentro da teoria de tectônica de placas. Neste modelo, para o Proterozóico tardio, a PO considera-se autóctone e parte integrante da Plataforma da América do Sul. Esta comporta-se como uma porção cratônica, tectonicamente estável, para os episódios tectono-magmáticos ocorridos no Fanerozóico dentro do cinturão andino (CORDANI & SATO, 1999). Contrariamente, a PW (constituída por vários terrenos de origem diversa), considerada alóctone com respeito ao cráton, tem como característica principal o retrabalhamento do seu embasamento Proterozóico e a interação da margem continental da plataforma da América do Sul com uma série de domínios de afinidade oceânica, acrescidos durante o Meso-Cenozóico.

A PO, cujas rochas cristalinas estão expostas a aproximadamente 300 km da frente de deformação dos Andes da Colômbia, é formada por rochas Proterozóicas, incluídas

PO: Província Oriental; Província ocidental da Colômbia conformada por CC: Cordilheira Central, CO: Cordilheira Oriental, CW: Cordilheira Ocidental.
☐ Zona de amostragem

FIGURA 2. Províncias geográficas da Colômbia

temporalmente na província geocronológica Rio Negro-Juruena do Craton Amazônico (TASSINARI, 1996), com coberturas sedimentares proterozóicas a meso-cenozóicas. Litologicamente as rochas do embasamento correspondem a uma associação de paragneisses e migmatitos na fácies anfibolito superior, com granitóides associados de caráter sin e postectônico (GALVIS, 1979). PRIEM *et al.* (1989) identificaram: um evento tectono-magmático de 1560-1450 Ma que retrabalhou material mais antigo (de 1850 – 1750 Ma), e um evento termal entre 1350 e 1250 Ma, com base em datações Rb-Sr, U-Pb e K-Ar.

Na zona andina, a CO e o flanco Oriental da CC fazem parte do assim denominado terreno Chibcha, de origem continental, constituído por rochas ígneo-metamórficas pré-mesozóicas, as quais atingiram sua posição atual no Paleozóico Superior (RESTREPO & TOUSSAINT, 1988). O embasamento está sobreposto por rochas sedimentares paleozóicas e por uma sequência de rift mesozóica. Este embasamento pré-mesozóico está exposto desde o segmento sul oriental da cadeia Andina no Maciço de Garzón (Complexo Garzón), até as regiões mais setentrionais no Maciço de Santander (Gnaiss de Bucaramanga), Serra Nevada de Santa Marta (Granulito dos Mangos) e a Península da Guajira (Gnaiss de Jojoncito) (TSCHANZ *et al.*, 1974; ALVAREZ, 1967; CARDONA, 2003). Esporadicamente aparece também, no flanco oriental da CC (Anfibolitos do Vapor, Anfibolitos de Tierradentro) (ORDOÑEZ, 1997; VESGA & BARRERO, 1978), onde estes domínios aparecem segmentados. Numerosos corpos batolíticos e plutões graníticos jurássicos intrudem o embasamento. O magmatismo Jurássico está claramente identificado na região de Santander e Guajira, e afeta parcialmente o embasamento de Santa Marta (CARDONA, 2003). Os limites tectônicos do terreno Chibcha são falhas regionais que o limitam a leste com a PO, e a oeste com a região setentrional da CC (terreno Tahamí).

A região setentrional da CC (Terreno Tahamí) constitui-se por complexos metamórficos pré-mesozóicos, cuja natureza e idade são ainda desconhecidas (TOUSSAINT, 1993), com coberturas de rochas sedimentares marinhas do Cretáceo Inferior e granitóides associados do Cretáceo Superior. Neste terreno foram identificados dois eventos tectono-magmáticos, um deles no Devoniano-Carbonífero (TOUSSAINT, 1993), e o outro no Triássico (ORDOÑEZ, 2001; VINASCO *et al.*, 2001). O terreno Tahamí está limitado a leste com o Terreno Chibcha, e a oeste com terrenos de afinidade oceânica, por meio de importantes falhas regionais.

2.2 Histórico dos trabalhos geológicos no Maciço de Garzón

Diversos trabalhos foram realizados sobre a geologia do Maciço de Garzón, dos quais apresenta-se uma breve resenha, em ordem cronológico:

GROSSE (1935) reporta pela primeira vez a existência de rochas metamórficas precambrianas a nordeste de Garzón e a leste-sudeste de Santa Librada, formando uma faixa estreita na borda oeste da Cordilheira Oriental. As rochas são anfibolitos e gnaisses anfibolíticos com intrusões de granitos e pegmatitos.

RADELLI (1962) descreve as feições petrográficas das rochas expostas na estrada Altamira-Florencia e destaca seu caráter anatóctico numa expedição geológica realizada no Maciço de Garzón. As rochas do maciço, entre Guadalupe e Resinas, são descritas como *augen* gnaisses e epibolitos (migmatitos com porções graníticas concordantes), migmatitos heterogêneos e menores intercalações de granitos de anatexia. Entre Resinas e o Km 118 da rodovia são caracterizados *augen* gnaisses com alguns elementos melanocráticos, gradando a granitos de anatexia com textura xistosa ainda reconhecível. Nesse setor desaparecem os anfibolitos, e aplitos-pegmatitos intrudem a seqüência sem direção preferencial. Estes últimos são considerados como produto das últimas etapas de anatexia, pelo fato de conterem os mesmos minerais dos granitos encaixantes.

KROONENBERG (1982) descreve a litologia e as paragêneses minerais das rochas precambrianas encontradas na região entre Algeciras e Acevedo (Huila) e as divide em: Grupo Garzón e Granitos de Guapotón e Mancagua. Este autor, além de discutir as prováveis condições de metamorfismo, apresenta também um modelo de colisão continental para explicar a origem dos granulitos da Faixa Garzón – Santa Marta. Neste modelo, os protolitos foram gerados num ambiente cálcio-alcálico do tipo arco andino a oeste do Craton Amazônico, e metamorfizados durante um evento orogênico próximo a 1.2 – 1.4 Ga, possivelmente relacionado com a orogenia de Grenville.

RODRIGUEZ (1985) diferenciou cartograficamente no Maciço de Garzón o granito de anatexia de El Recreo, a leste de Garzón. O autor interpreta esta rocha como o núcleo do maciço com transição de rochas bandadas para monzogranitos, feldspato alcalino granito, sienogranito e localmente granulitos charnockíticos. Além disso, descreve a petrografia e microtexturas do Grupo Garzón e considera que algumas das pertitas e antipertitas têm origem metassomática, onde o k-feldspato (neossoma) infiltra-se no plagioclásio (paleossoma).

RESTREPO-PACE (1995) concorda com o caráter supracrustal das rochas do Maciço de Garzón, as quais incluem metavulcânicas e paragneisses, bem como rochas plutônicas ricas em k-feldspato e cumulos, com base em dados geoquímicos. O espectro das REE varia desde padrões planos a enriquecidos com LREE; as anomalias de Eu variam desde altamente

negativas, para os gnaisses félsicos e paragneisses, até a altamente positivas para os ortogneisses máficos.

INGEOMINAS & GEOESTUDIOS LTDA, (2001 a,b) dividem informalmente o Grupo Garzón nos Granulitos do Vergel, Gnaiss das Margaritas, Gnaiss do Toro e Gnaiss do Recreo. As três primeiras unidades são definidas pela primeira vez, de acordo com o predomínio da litologia e sua extensão cartografável. O Gnaiss do Toro corresponde a hornblenda gnaisses de composição monzonítica a diorítica, e pode ter relação litológica com as rochas do Gnaiss de Guapotón-Mancagua.

KROONENBERG (2001) apresenta a geoquímica de elementos maiores e menores para os granulitos félsicos, intermediários, máficos e ultramáficos. Seus resultados indicam uma tendência cálcio-alcálica, com origem de rochas ígneas em parte supracrustais. Cr e Ni tem sido fortemente enriquecidos nos granulitos ultramáficos e decrescem com o aumento da razão FeO/MgO. Os elementos compatíveis (Sc, V, Co) decrescem com o aumento da diferenciação. Os granulitos máficos pertencem ao campo cálcio-alcálico o toleítico com baixo K. O comportamento das REE confirma os resultados de Restrepo-Pace (1995).

RODRIGUEZ, *et al.* (2002) realizam uma análise do trabalho de Ingeominas & Geoestudios Ltda (2001 a,b) e incluem novas análises petrográficas. Propõem substituir o nome de Grupo Garzón por Complexo Garzón, e o subdividem com base no grau de conhecimento geológico das unidades propostas, em Migmatitos de Florencia e Granito-Granofels de Recreo. Os Migmatitos de Florencia agrupam os Granulitos do Vergel e o Gnaiss das Margaritas de INGEOMINAS & GEOESTUDIOS Ltda. (2001 a,b).

2.3 Dados geocronológicos existentes

ALVAREZ & CORDANI (1980); ALVAREZ (1981 a,b); ALVAREZ & LINARES (1985) sugerem que as rochas precambrianas do embasamento do Maciço de Garzón, com idades em torno de 1100 Ma, expostas nos Andes da Colômbia, constituem remanescentes do cinturão metamórfico grenvilliano.

Com base nos dados geocronológicos surgem duas hipóteses: a primeira, de ALVAREZ (1981 a) e em parte apoiada por PRIEM *et al.* (1989), diz que pelo menos uma porção do embasamento do Maciço de Garzón correlaciona-se litológica e geocronologicamente com a parte adjacente do Craton de Guiana; a segunda trazida por KROONENBERG (1982), considera que a faixa granulítica Garzón-Santa Marta é diferente petrográfica e geocronologicamente da parte adjacente do Craton de Guiana, e formou-se na borda ocidental desse craton durante o evento orogênico de ~ 1200-1400 Ma.

PRIEM *et al.* (1989) caracterizam dois eventos metamórficos com base em dados Rb-Sr rocha total e mineral, e K-Ar em micas. O primeiro, no Gnaiss de Guapotón-Mancagua, é sugerido por idades em torno de 1600 Ma e se relaciona temporalmente com a parte adjacente do Escudo de Guiana. O segundo, evento metamórfico de alto grau, afeta o Grupo Garzón, com idade em torno de 1170 Ma e resfriamento por volta de 975 e 915 Ma. O último evento é determinado por intrusão de veios pegmatíticos a 850 Ma.

RESTREPO-PACE (1995) & RESTREPO-PACE *et al.* (1997) confirmam que as rochas do embasamento de Garzón foram metamorfoseadas durante o episódio tectonotermal regional de ~ 1100 Ma, denominado de Orinoquiense na América do Sul, com base em dados U-Pb convencional, Ar-Ar e Sm-Nd. As rochas formadas neste evento aparecem expostas esporadicamente ao longo dos Andes da Colômbia, e continuam no Peru, no Maciço de Arequipa, e no Sul do Craton Amazônico na Bolívia e no Brasil, até o nordeste da Precordilheira da Argentina.

Os dados geocronológicos citados acima foram compilados e estão apresentados no QUADRO 1.

2.4 Correlações regionais prévias

KROONENBERG (1982) considera o Maciço de Garzón como um fragmento do cinturão de alto grau que formou-se durante a aglutinação do Supercontinente de Rodínia. Devido a este fato, e pela sua posição estratégica nos Andes de Colômbia, os geólogos mexicanos estabelecem uma possível conexão do maciço com o terreno Oaxaquia do México, com base nos dados isotópicos de Pb e U-Pb obtidos por RESTREPO-PACE (1995). Dados isotópicos de Pb, obtidos por RUIZ *et al.* (1999), permitem fazer correlações dos maciços colombianos de Santa Marta e Garzón com os complexos mesoproterozóicos Oaxaca e Guichicovi (Terreno Oaxaquia) ao sul do México. Os autores sugerem que os blocos do embasamento de idade Grenville compartilham uma história comum para o Proterozóico tardio, e que foram parte de Gondwana durante o Paleozóico. Particularmente, as composições isotópicas de Pb do Maciço de Garzón são semelhantes às de Complexo Guichicovi, e além disso também são similares às das províncias Rio Negro Juruena e Rondônia-San Ignacio do Craton Amazônico.

A semelhança litológica, petrográfica, geocronológica e da trajetória P-T-t dos terrenos orogênicos de Oaxaquia do México, Adirondack Highlands da América do Norte, a parte interna do orógeno Grenville no Canadá, permite a KEPPIE & ORTEGA-GUTIERREZ (1999) e KEPPIE *et al.* (2001) correlacioná-los entre si e com o Maciço de Garzón, ainda que, para este último, não houvessem dados da sua evolução P-T-t. Nesta correlação, os autores sugeriram

QUADRO 1 - Geocronologia e geoquímica isotópica do Maciço de Garzón.

Localização	Unidade	Litologia	Material e Método	Idade em Ma. Características isotópicas	Autor
Estrada Florencia-Guadalupe e San Antonio	Granulitos do Vergel	granulitos charnockíticos, n=4	rocha total, Isócrona Rb/Sr	1180 ± 310 Ma RI = 0.704	Alvarez (1981)
Estrada Florencia-Guadalupe	Granulitos do Vergel	granulito básico, n=1	hornblenda, K/Ar mineral	925 ± 50	Alvarez & Linares (1985)
Rio Suaza	Gnaiss de Guapotón	augen gnaiss, n=6	rocha total, Isócrona Rb/Sr	1596 ± 300 RI= 0.702 ± 0.005	Priem <i>et al.</i> (1989)
Córrego Aguacaliente e Rio suaza	Granulitos do Vergel	gnaisses, n=3 + 5 Alvarez, (1981)	rocha total, Isócrona Rb/Sr	1172 ± 90 RI= 0.704 ± 0.002	
Rio Suaza	Granulitos do Vergel	granitoide pegmatítico, n=2	rocha total, Isócrona Rb/Sr	847, RI = 0.709	
Rio Suaza	Granulitos do Vergel	granitoide pegmatítico, n=1	k-feldspato, Isócrona Convencional Rb/Sr	895 ± 16 (convencional)	
Córrego Aguacaliente	Granulitos do Vergel	anfibolito-cpx, n=1	hornblenda, K/Ar mineral	971 ± 19	
Rio Suaza	Granulitos do Vergel	anfibolito, n=1	hornblenda, K/Ar mineral	955 ± 19	
Rio Suaza	Granulitos do Vergel	anfibolito, n=1	hornblenda, K/Ar mineral	1000 ± 25	
Córrego Aguacaliente	Granulitos do Vergel	mármore, n=1	rocha total e mineral, Isócrona Rb/Sr	918 ± 27	
			flogopita, K/Ar mineral	912 ± 35	
Rio Suaza	Gnaiss de Guapotón	augen gnaiss, n=1	rocha total e mineral, Isócrona Rb/Sr	390 ± 19	
			biotita, K/Ar mineral	216 ± 5	
Rio Paez	embasamento*	gnaiss trondhjemitico, n=1	rocha total e mineral, Isócrona Rb/Sr	136 ± 4	

continua

n = No. de amostras

* Maciço da Plata

** Precambriano do ocidente da Cordilheira Central da Colômbia

QUADRO 1 - Geocronologia e geoquímica isotópica de rochas do Maciço de Garzón.

conclusão

Localização	Unidade	Litologia	Material e Método	Idade em Ma. Características isotópicas	Autor
Não indicada	Gnaiss de Guapotón	<i>augen</i> gnaiss, n=1	6 zircões, U/Pb convencional e Sm/Nd	1088 ± 6 (concordia-2 zrn)	Restrepo-Pace (1995)
Estrada Florencia-Guadalupe	Gnaiss de Guapotón	<i>augen</i> gnaiss, n=1	hornblenda, Ar/Ar <i>steps</i> rocha total, Nd	890 máxima $T_{DM} = 1500$ 180 mínima $\epsilon_{Nd} = -0.7_{(1100)}$	
Córrego El Higado	embasamento**	anfibolito gnáissico, n=1	hornblenda e rocha total, Ar/Ar <i>steps</i> e Sm/Nd	$T_{DM} = 1970$ 911 ± 2 $\epsilon_{Nd} = +0.2_{(1100)}$	
Estrada Florencia-Guadalupe	Granulitos do Vergel	hornblendito opx, n=1	hornblenda, Ar/Ar <i>steps</i> espectro Ar excesso	1074	
Estrada Florencia-Guadalupe	Granulitos do Vergel		rocha total, Sm/Nd	$T_{DM} = 1460$ $\epsilon_{Nd} = +0.91_{(1100)}$	
Estrada Florencia-Guadalupe	Granulitos do Vergel	gnaiss charnockítico, n=1	rocha total, Sm/Nd	$T_{DM} = 1460$ $\epsilon_{Nd} = +0.92_{(1100)}$	
Não indicada	Granulitos do Vergel		rocha total, Sm/Nd	$T_{DM} = 1460$ $\epsilon_{Nd} = +0.93_{(1100)}$	
Estrada Florencia-Guadalupe	Granulitos do Vergel	anfibolito, n=1	rocha total, Sm/Nd	$T_{DM} = 1460$ $\epsilon_{Nd} = +0.94_{(1100)}$	
Não indicada	Gn. Guapotón e G. Vergel	<i>augen</i> gn, gnaiss m. e f., granulitos n=11	rocha total, Pb/Pb	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 17.8 - 24.4$ $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.5 - 16.1$ $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 36.8 - 41.1$	Ruiz <i>et al.</i> (1999)
Estrada Florencia-Guadalupe	Granulitos do Vergel	n=1	hornblenda, K/Ar mineral	902 ± 20	Van der Wiel (1991)

n = No. de amostras

* Maciço da Plata

** Precambriano do ocidente da Cordilheira Central da Colômbia

que os mesmos terrenos foram partes de arcos vulcânicos, formados no Oceano Grenville entre Laurêntia, Báltica e Amazônia, os quais foram circundados pelas maiores massas continentais. De acordo com os dados existentes para Oaxaquia, este terreno estaria situado na margem noroeste da Amazônia a 990 Ma, de modo que KEPPIE *et al.* (2001) sugeriram que o metamorfismo na fácies granulito de Oaxaquia não teria sido gerado pela colisão continente-continente, mas pela colisão do arco de Oaxaquia com o Craton Amazônico.

2.5 Geologia local

O Maciço de Garzón forma um bloco tectônico alongado na direção NE, o qual está cortado por falhas de empurrão concomitantes com o levantamento da Cordilheira Oriental da Colômbia, e resultantes da deformação compressional na borda noroeste da América do Sul (DENG & COVEY, 1993). Encontra-se limitado a oeste pela falha de Altamira do sistema de Falhas de Algeciras, que serve de contato tectônico com rochas sedimentares do Vale Superior do Magdalena. Entretanto, a leste, embora algumas falhas menores o coloquem em contato com rochas sedimentares cretáceas ou sedimentos terciários das bacias de Caquetá e Putumayo, seu limite não está determinado por uma megaestrutura. Uma possível prolongação para nordeste deste maciço são as rochas metamórficas da Serrania da Macarena, consideradas proterozóicas pelas suas relações estratigráficas.

Uma seqüência sedimentar cambro-ordovícica de 1.500 m de espessura, com trilobitas *Ehmania* e *Paraxides*, sobrepõe-se discordantemente às rochas do Maciço de Garzón na Serrania da Macarena (BRIDGER, 1982). No extremo sudeste, o embasamento está coberto por rochas vulcano-sedimentares jurássicas da Formação Saldaña. Associado a este magmatismo têm-se os equivalentes plutônicos cálcio-alcalinos do Batólito de Mocoa, com desenvolvimento de importantes jazidas minerais. O magmatismo tardio estende-se ao norte do maciço, ao longo da Falha de Altamira, onde *stocks* graníticos pós-orogênicos do Granito de Altamira intrudem as rochas metamórficas.

VAN DER WIEL (1991) obteve taxas do levantamento e erosão por médio de traços de fissão em apatitas, em amostras da porção oeste do maciço e da adjacente bacia de Neiva. No tempo transcorrido entre 12 Ma até o presente, o maciço foi soerguido 6.5 km em pelo menos dois pulsos. O episódio mais antigo ocorreu a ~ 12 Ma e se caracterizou por um rápido levantamento, e o mais jovem começou a ~ 6.4 Ma e terminou possivelmente há 3.3 Ma.

Compila-se no QUADRO 2 a nomenclatura estratigráfica do Maciço de Garzón segundo vários autores. Para a área amostrada nesta pesquisa, adota-se a denominação de Rodriguez *et al.* (2002) de Gnaisse de Guapotón-Mancagua e Complexo Garzón. Porém este último foi

subdividido informalmente nos Granulitos do Vergel e Gnaiss das Margaritas, como aparece nas cartas geológicas em escala 1:100.000, que servem de base para o desenvolvimento desta pesquisa. Esta calcificação baseia-se no predomínio de uma determinada litologia e sua extensão cartografável, conforme INGEOMINAS & GEOESTUDIOS Ltda. (2001 a,b).

As folhas empregadas (367, 368, 389, 390, 414, 448) foram elaboradas pelo *Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero-Ambiental y Nuclear* (INGEOMINAS) e seguem a nomenclatura do IGAC. A resultante carta está compilada no ANEXO I. Com base nesta cartografia revisaram-se duas seções geológicas, uma na folha 389, na estrada Florencia - Guayabal, e a outra na folha 414, no córrego das Margaritas, onde as boas exposições das rochas permitiram um melhor detalhe geológico e petrológico para este setor.

QUADRO 2. NOMENCLATURA ESTRATIGRÁFICA DO MACIÇO DE GARZÓN

Autor	Grosse (1935)	Radelli (1962)	Kroonenberg (1982)	Van der Wiel (1991)	Rodríguez (1985)	Ingeominas & Geoestudios (2001a,b)	Rodríguez et al. (2002)
Nomen- clatura	anfibolitos gnaisses e granitos	Augen gnaisses	Granitos de Guapotón e Mancagua	Gnaiss de augen Mancagua e Guapotón	Gnaiss de Mancagua e Guapotón	Gnaiss de Guapotón	Gnaiss de Guapotón- Mancagua
		epibolitos, migmatitos, granitos de anatexia, pegmatitos	Grupo Garzón	Grupo Garzón	Granito de anatexia do Recreo	Gnaiss do Toro	Complexo Garzón
					Grupo Garzón	Gnaiss do Recreo	
						Granulitos do Vergel	
						Gnaiss das Margaritas	Granito- Granofels do Recreo Migmatitos de Florencia

2.5.1 Gnaiss de Guapotón-Mancagua

Esta unidade é formada por duas faixas de gnaisses, localizadas ao longo do Vale do Rio Suaza, uma ao norte de Guadalupe, e outra ao norte de Guayabal. Além destas, outra faixa localiza-se perto dos córregos de Santa Helena e das Doradas.

Constitui-se de quartzo-feldspato ortognaisses, cinza claro esverdeado e rosa, com megacristais *augen* de k-feldspato e quartzo (PRANCHA 1 - Foto 1) que atingem dimensões entre 1-3 cm (KROONENBERG, 1982). Em nível de afloramento estas rochas não têm bandamento composicional nem evidências de processos migmatíticos; ao contrário, os minerais máficos estão concentrados em agregados glomeroporfiríticos (INGEOMINAS & GEOESTUDIOS, 2001 a). O contato desta unidade com os Granulitos do Vergel é concordante e localmente falhado.

Perto do vilarejo de Guayabal, o gnaiss granítico, intensamente alterado, é atravessado por diques anfibolíticos, dioríticos e graníticos-pegmatíticos, com magnetita e biotita de até 5 cm de comprimento.

Pelo fato desta unidade ser extensa e de composição homogênea, considera-se a sua provável origem magmática.

2.5.2 Complexo Garzón

Corresponde a uma seqüência metamórfica bandada de rochas de alto grau de metamorfismo (fácies granulito e anfibolito), que ocupa a maior extensão do Maciço de Garzón. Sua composição predominante é quartzo-feldspática, com intercalações pelíticas, máficas, ultramáficas e calcio-silicáticas, cortada por diques de granito pegmatítico e lamprófiros (KROONENBERG, 1982).

As rochas quartzo-feldspáticas consistem de granulitos charnockíticos a enderbíticos e gnaisses, nos quais intercalam-se bandas decimétricas de anfibolitos. Os gnaisses pelíticos estão intercalados nos granulitos em varias localidades como em San Antonio, córrego Aguacaliente, bacia do Rio Neiva e córrego das Margaritas. As rochas calcio-silicáticas e ultramáficas são mais restritas e afloram na porção ocidental do maciço e as calcio-silicáticas localizam-se no córrego Aguacaliente ao sudeste da Jagua (KROONENBERG, 1982). O mesmo autor observou, em seixos roeados do Rio Neiva, coroas de reação de cordierita, ortopiroxênio, magnetita e às vezes espinélio verde ao redor de granada e quartzo, indicando metamorfismo de contato sobreposto aos granulitos já formados.

De modo geral observou-se uma mudança no grau metamórfico de oeste para o leste. A oeste, quartzo-feldspato gnaisses e gnaisses charnockíticos atingiram o fácies granulito; na porção média, os gnaisses possuem minerais típicos do facies anfibolito e granulito (zona de transição). A leste encontram-se somente gnaisses com paragênese representativa do facies anfibolito (QUADRO 3). Relações semelhantes foram descritas por COLLERSON (1976) para rochas metamórficas de alto grau da Austrália central.

Na porção mais a leste, as rochas sofreram retrometamorfismo na fácies xisto verde, com desenvolvimento de clorita (a partir de biotita e granada), arfvedsonita (a partir de hornblenda), actinolita (a partir de clinopiroxênio) e moscovita.

A transição no grau metamórfico (anfibolito a granulito) é de particular importância pois as condições de pressão e temperatura prevaescentes coincidem com as condições para gerar

QUADRO 3. FACIES E PARAGÊNESES METAMÓRFICAS DAS ROCHAS DO COMPLEXO GARZÓN

FACIES METAMÓRFICA	PARAGÊNESES
Granulito	quartzo + plagioclásio + ortopiroxênio + k-feldspato mesopertítico + biotita ± hornblenda
Transição granulito-anfibolito	quartzo + plagioclásio + ortopiroxênio ± k-feldspato ± granada ± biotita e plagioclásio com microclínio antipertítico; ou quartzo + plagioclásio + microclínio + biotita ± granada ± sillimanita e k-feldspato com plagioclásio mesopertítico
Anfibolito	biotita + granada + microclínio (com geminação em grade proeminente) ± sillimanita

fusão parcial (anatexia) e formação de migmatitos. As texturas migmatíticas são comuns e encontram-se desde a estromática, onde bandas centimétricas a métricas de leucossoma e mesossoma alternam-se monotonamente, até texturas dobrada, ptigmática, agmatítica e boudinada com arranjos mais complexos que envolvem paleossoma, melanossoma, leucossoma e pegmatitos.

2.5.2.1 Granulitos do Vergel

As melhores exposições dessa unidade estão no perfil aflorante na estrada que liga Guayabal com Florencia. Correspondem principalmente a uma seqüência bandada de alto grau de bandas félsicas (aproximadamente 80%) e máficas cujos contatos são muito claros (PRANCHA 1 - Foto 2). Em alguns lugares encontram-se níveis onde os componentes máficos e félsicos estão misturados. Esta seqüência está cortada por lentes e diques pegmatíticos quartzo-feldspáticos de espessura variável, com texturas mirmequítica, gráfica e pertítica, e ocasionalmente, por lamprófiros de até 1m de espessura.

As bandas félsicas consistem principalmente de charnockito gnaisses (granulitos) e quartzo-feldspato gnaisses, bandados centimétrica a decimetricamente, e com porções menores de granito e quartzo-sienito gnaisses de possível origem anatética. Paralelamente ao bandamento e à foliação, intercalam-se bandas máficas de até 5m de espessura, constituídas por hornblenda-piroxênio granulito e anfibolito. Esporádicos níveis de granulito ultramáfico estão presentes.

Os granulitos são granoblásticos, de granulação média a grossa, de verde cinzento a negro esverdeado, dando à rocha uma falsa aparência de rocha máfica. Consistem de plagioclásio, piroxênio, k-feldspato, quartzo, biotita marrom, hornblenda, granada e em menor quantidade ilmenita. A composição mineralógica do granulito varia localmente pelo conteúdo dos minerais máficos e félsicos, encontrando-se setores em que a rocha é biotita e/ou piroxênio granulito

pela concentração destes minerais, dispostos em lâminas centimétricas.

Os gnaisses têm foliação marcada por minerais máficos. São granoblásticos, de granulação fina a grossa e localmente faneríticos, rosa e cinza claro, e consistem principalmente de k-feldspato, plagioclásio e quartzo em proporções variáveis, e em menor quantidade de clinopiroxênio, hornblenda, biotita e granada.

2.5.2.2 Gnaiss das Margaritas

As melhores exposições dessa unidade encontram-se no córrego das Margaritas, localizado 20 km a leste de Florencia. A nível de afloramento a rocha corresponde a um migmatito com alternância de bandas estromáticas de mesossomas (60%) e leucossomas (35%) centimétricas, com menores intercalações de pacotes de anfibolitos (5%). Localmente, pela mistura das bandas claras e escuras, é difícil a distinção entre mesossoma e leucossoma, resultando um gnaiss cinza claro com menores remanescentes das porções mais claras. Toda a seqüência está cortada por diques pegmatíticos que atravessam a rocha em diferentes direções, com espessuras desde centimétricas até métricas (PRANCHA 1 – Foto 3).

Em escala de afloramento, apresentam estrutura estromática em 80% dos casos. Estruturas em dobras que afetam o leucossoma e mesossoma; agmatítica e ptigmática nos leucossomas rosa, e boudinada nos anfibolitos (PRANCHA 1 – Foto 3) constituem os 20% restantes. Pela presença de dobras e *boudins* pode-se concluir que uma fase de deformação dútil afetou toda a seqüência migmatítica.

Os mesossomas consistem principalmente de gnaisses granoblásticos cinza constituídos por quartzo – plagioclásio – microclínio – biotita, às vezes com granada, e de gnaisses lepidoblásticos biotíticos escuros com sillimanita. Esta associação sugere protolitos psamíticos (grauváquicos), que se alternam com níveis menores pelíticos. Outro tipo de mesossoma mais restrito, em esporádicas intercalações na seqüência, corresponde a anfibolitos granoblásticos cinza escuro constituídos de hornblenda, plagioclásio e biotita; particularmente estes níveis não foram afetados pela migmatização.

Distinguem-se três tipos diferentes de leucossomas em relação a composição, posição estrutural e gênese:

(1) quartzo-feldspato gnaisses brancos, associados aos biotita-gnaisses, que correspondem a segregações leucossomáticas concentradas, em lâminas milimétricas ou em bolsões (PRANCHA 1 – Fotos 4,5). Estes leucossomas, cristalizados *in situ*, de grão fina a média,

consistem principalmente de quartzo, k-feldspato e granada, e foram formados por fusão parcial dos biotita-gnaisses, dando lugar a metatexitos onde o mesossoma restítico alterna-se com o leucossoma.

Provavelmente, este leucossoma migmatítico formou-se por fusão parcial em condições anidras (fundido silicático insaturado em água), onde a biotita foi uma fase importante na sua produção. A presença de uma fase incongruente como granada concentrada nos leucosomas (PRANCHA 1 – Fotos 4 e 5) aponta para uma fusão insaturada de água (KRIEGSMAN, 2001).

(2) granito-gnaisses rosa de grão fina a muito grossa, constituídos por microclínio, plagioclásio, quartzo, biotita e localmente granada. Estes leucosomas dão origem a bandas graníticas desde milimétricas a centimétricas que injetam os gnaisses cinza (PRANCHA 1 - Foto 6). Possivelmente correspondem aos produtos de fundidos graníticos remobilizados, pois aparecem frequentemente preenchendo lugares de dilatação das rochas deformadas em estado plástico (PRANCHA 1 – Foto 7).

(3) leucosomas pegmatíticos rosa consistentes de k-feldspato, plagioclásio, quartzo, e biotita com até 10 cm de comprimento (PRANCHA 1 – Foto 3,8). Estes granitos pegmatíticos podem refletir a cristalização final de um fundido granítico rico em água, formado quando o sistema atravessa o *solidus* saturado em água a pressões mais baixas (THOMPSON, 2001).

Nos Gnaisses das Margaritas desenvolve-se uma foliação (S_1) N50°E/80SE, e localmente uma foliação milonítica sobreposta (S_2), N5°E/34°W, possivelmente associada com o crescimento de biotita e sillimanita nos gnaisses (PRANCHA 2 - Foto 6), e de biotita e plagioclásio nos granulitos (PRANCHA 3 – Fotos 7 e 8). Posterior ao cisalhamento em condições de alto *strain* dúctil desenvolveu-se uma tectônica rúptil de falhamentos que deslocam os pegmatitos, estes interpretados como as últimas fases geradas no metamorfismo de alto grau (PRANCHA 1 – Foto 3). Estas falhas podem estar associadas ao Falhamento do Rio San Pedro que corresponde ao empurrão mais oriental responsável pelo soerguimento do maciço durante a tectônica transcorrente andina.

PRANCHA 1

- FOTO 1. Gnaiss quartzo-feldspato com hornblenda e biotita. Observam-se os cristais *augen* de k-feldspato e quartzo (INGEOMINAS & GEOESTUDIOS, 2001).
- FOTO 2. Granulitos com bandas félsicas e máficas (INGEOMINAS & GEOESTUDIOS, 2001).
- FOTO 3. Seqüência migmatítica constituída por intercalações de quartzo-plagioclásio-biotita gnaisses cinza (mesossoma) e granito gnaisses rosa pálido (leucossoma 2). O mesossoma está assimilado pelo leucossoma 2. *Boudins* de anfibolitos cinza escuros intercalam-se nos migmatitos. O granito pegmatito rosa (leucossoma 3) corta o migmatito e está deslocado por uma falha dextral.
- FOTO 4. Metatextito constituído por biotita gnaisses escuros e quartzo-plagioclásio gnaisses com granada (leucossoma 1). O leucossoma 2 injeta o metatextito.
- FOTO 5. Bolsões de quartzo-plagioclásio gnaiss (leucossoma 1) em biotita gnaiss escuro. A granada está concentrada nas segregações leucocráticas.
- FOTO 6. Detalhe do quartzo-feldspato gnaiss cinza injetado pelo granito gnaiss rosa pálido (leucossoma 2).
- FOTO 7. Migmatito dobrado constituído por intercalações estromáticas de quartzo-feldspato-biotita gnaisses cinza e quartzo-feldspato gnaisses rosa. Outra geração de gnaisses rosa preenchem o eixo da dobra e desenvolvem estrutura ptigmática.
- FOTO 8. Detalhe do pegmatito com biotita de até 10 cm de comprimento (leucossoma 3).

FOTO 1.

FOTO 2

FOTO 3.

FOTO 4.

FOTO 5

FOTO 6.

FOTO 7.

FOTO 8.

3. PETROLOGIA E ASPECTOS DO METAMORFISMO

O estudo petrológico das unidades do Maciço de Garzón tem como objetivo fundamental conhecer as principais paragêneses, reações e condições do metamorfismo. Por meio desta ferramenta, ainda que as feições iniciais das rochas sejam pouco preservadas durante o metamorfismo de alto grau, pretende-se determinar os seus protolitos.

As rochas do maciço foram metamorfoseadas nas fácies anfibolito superior e granulito. Apesar de que a fácies granulito predomina na porção oeste e a fácies anfibolito na borda leste do maciço, existem intercalações de gnaisses e anfibolitos nos granulitos. Isto ocorre possivelmente devido à alternância de leitos com diferentes composições químicas mineralógicas.

Foram estudadas 23 lâminas delgadas neste trabalho e foram revisadas as descrições petrográficas de 28 lâminas delgadas de ANNICCHIARICO (2000) e 20 de GOMEZ (2002) para as diversas unidades do maciço. No total, 38 lâminas pertencem aos Granulitos do Vergel, 25 lâminas ao Gnaisse das Margaritas, e 8 lâminas ao Gnaisse de Guapotón-Mancagua.

3.1. Gnaisse de Guapotón-Mancagua

Correspondem a hornblenda – biotita e hornblenda - piroxênio gnaisses de composição granítica e gabro-norítica, respectivamente. Os gnaisses compõem-se de quartzo, plagioclásio (An_{20-35}), k-feldspato, microclínio, hornblenda, biotita, magnetita, apatita e zircão (ANEXO II). O feldspato está caulinizado e sericitizado, e o epidoto e moscovita preenchem micro-veios como resultado de alteração hidrotermal.

Entre os megacristais de quartzo, k-feldspato pertítico e plagioclásio desenvolve-se uma fase cristalina mais fina constituída por quartzo, plagioclásio, microclínio e k-feldspato e cristais glomeroporfíricos de biotita e hornblenda, junto com magnetita, apatita e zircão. Os intercrescimentos principais são mirmequíticos, formados entre os megacristais de k-feldspato, vermiformes entre quartzo e biotita, pertíticos *bead* com 1 a 50% da fase sódica inserida em microclínio e k-feldspato, e antipertíticos. Os cristais grandes de plagioclásio e k-feldspato contêm inclusões de quartzo anedral (lâmina V-198).

A associação mineral típica é quartzo + plagioclásio + microclínio + hornblenda $\pm$ biotita da fácies anfibolito de alta temperatura. Não se descarta que estas rochas atingiram a fácies

granulito, uma vez que k-feldspato mesopertítico foi identificado. O protolito do ortogneisse corresponde a um biotita-hornblenda granulito.

3.2. Granulitos do Vergel

Os granulitos com textura granoblástica são máficos (lâminas D-986, V-309, D-806 banda máfica) e félsicos (lâminas V-332, Gr-29, D-806 banda felsica), com níveis onde predomina k-feldspato, plagioclásio e quartzo em relação a piroxênio e hornblenda, e níveis onde concentram-se em maior quantidade os minerais máficos. Os minerais essenciais são: plagioclásio (An_{23-41}), quartzo, k-feldspato, ortopiroxênio, e às vezes egirina, hornblenda, biotita e granada. Como acessórios aparecem titanita, magnetita, zircão, apatita e monazita (ANEXO II).

O metamorfismo das rochas máficas atingiu a fácies granulito e apresenta as seguintes associações, plagioclásio + augita + granada (de alta pressão) e plagioclásio + augita + ortopiroxênio (de mais baixa pressão). Estas associações localizam-se numa faixa, onde ocorre a reação (1) que separa o piroxênio- granulito entre 5-7 Kbar, dos granada - granulito de pressão superiores a 5-7 Kbar (BUCHER & FREY, 1994).

Nem todas as rochas máficas contêm associações minerais da fácies granulito, algumas outras apresentam associação plagioclásio + hornblenda + clinopiroxênio $\pm$ biotita da fácies anfibolito superior. Nestas rochas geralmente a hornblenda forma-se por rehidratação a partir do piroxênio (PRANCHA 2 – Foto 1). A formação de hornblenda se dá pelas reações (2) e (3) para rochas granulíticas com ou sem granada, respectivamente, de acordo com os diagramas da FIGURA 3, os quais exibem as possíveis associações encontradas em rochas ricas em Fe na zona de transição anfibolito-granulito.

Os protolitos dos granulitos máficos são possivelmente rochas magmáticas básicas. Entretanto, não se descartam protolitos vulcânicos básicos ou subvulcânicos. As rochas félsicas, com composições mais ácidas, são principalmente de afinidade charnockítica,

mangerítica e enderbítica.

Os gnaisses félsicos (lâminas D-982, V-290) estão constituídos principalmente por: plagioclásio, quartzo, k-feldspato e menores quantidades de biotita, hornblenda, granada, clinopiroxênio e microclínio (ANEXO II); localmente observa-se ortoclásio transformando-se em microclínio na borda. Esta transformação sugere que o feldspato potássico formado a maior temperatura possivelmente inverteu-se para microclínio durante o resfriamento. Os gnaisses félsicos que contêm hornblenda e biotita (lâmina V-314) sugerem uma origem ígnea, mas não pode ser descartada uma origem sedimentar. A associação quartzo + plagioclásio + clinopiroxênio + hornblenda $\pm$ biotita, dos gnaisses com maior conteúdo de máficos é típica da transição entre a fácies anfibolito superior e granulito (BUCHER & FREY, 1994).

FIGURA 3. Diagrama ACFN de coexistência de hornblenda em rochas de transição de fácies anfibolito-granulito, tomado de SPEAR (1985), para rochas máficas ricas em Fe onde são mostradas as associações Hbl+Grt+Opx+Pl, Hbl+Grt+Cpx+Pl e Hbl+Grt+Cpx+Opx.

Os anfibolitos, granoblásticos e de granulação média a grossa, estão compostos por hornblenda verde, plagioclásio com geminação da Lei da Albita, biotita castanha e em menor quantidade quartzo. Adicionalmente o quartzo forma intercrescimentos simplectíticos com biotita e hornblenda, além de se apresentar como inclusões arredondadas em hornblenda. O protolito corresponde a hornblendito.

Em geral, uma feição característica das rochas desta unidade é o feldspato potássico pertítico (com 20 a 45% de fase sódica) e ocasionalmente mesopertítico com pertitas *stringlets* e *strings*, originadas por exsolução durante o metamorfismo na fácies granulito (PRANCHA 2 – Foto 2). Às vezes, os cristais de feldspato pertítico apresentam dois sistemas de pertitas de diferentes tamanhos, um muito fino com distribuição regular, e outro, mais grosso, elipsoidal e

irregular (pertita *flame*, PRANCHAS 2 – Foto 3). As duas fases pertíticas refletem estados de dissolução a diferentes temperaturas, o primeiro gerado a temperatura mais elevada, e o outro formado substituição em estado sub-sólido, conforme observado por RODRIGUEZ (1985). Outros intercrescimentos típicos são os antipertíticos *bead* com < 1% ortoclásio em plagioclásio, mirmequíticos (PRANCHAS 2 – Foto 4) nas bordas de plagioclásio, simplectíticos entre hornblenda-quartzo e biotita-quartzo, e arranjos que incluem inclusões de quartzo em feldspatos, e granada poikiloblástica com quartzo e biotita.

3.3. Gnaiss das Margaritas

Os paragneisses desta unidade são principalmente quartzo-feldspáticos com biotita, granada ± sillimanita e clinopiroxênio, cujos protolitos são semi-pelíticos (lâminas Z-365, Gr-15, e amostra Gr-15p). Os principais minerais são: quartzo, plagioclásio, k-feldspato, biotita vermelha e granada, em menor quantidade microclínio com geminação em grade, clinopiroxênio (augita-egirina), sillimanita e magnetita, e como acessórios zircão, apatita e monazita (ANEXO II). A granada contém grandes inclusões ovais de quartzo e nas margens possui contatos lobados com este mesmo mineral (PRANCHAS 2 – Foto 5). A forma irregular do quartzo e a continuidade óptica das duas fases sugerem que a granada e o quartzo cresceram juntos num arranjo microestrutural típico do metamorfismo prógrado (WATERS, 2001).

Os granulitos enderbíticos (lâminas C-32, C-271) são similares aos encontrados nos Granulitos do Vergel; constituem-se de ortopiroxênio, plagioclásio, granada e ocasionalmente hornblenda e biotita.

Os gnaisses são meta-máficos (meta-hornblenditos e meta-gabro-noritos) e meta-félsicos (lâminas C-299, C-302). Atingiram o metamorfismo de fácies anfibolito de alta temperatura com paragêneses de hornblenda + plagioclásio + ortopiroxênio ± biotita para os máficos, e de quartzo + plagioclásio + microclínio para os gnaisses de composição félsica. Os anfibolitos apresentam textura gnáissica com remanescentes de textura hipidiomórfica, e constituem-se de hornblenda pardo-esverdeada, plagioclásio, clinopiroxênio e biotita verde. Seu protolito é hornblenda gabro e sua paragênese plagioclásio + hornblenda + clinopiroxênio indica que esta rocha atingiu a fácies anfibolito de alta temperatura.

Os fundidos anatéticos (leucossomas 1, níveis félsicos do gnaiss migmatítico, Lâmina Z-365) podem ser produzidos durante a descompressão por meio da reação (4) que involucrou fases hidratadas (biotita) em pelitos. Sillimanita, biotita, quartzo e k-feldspato aparecem do lado esquerdo desta reação, na qual a biotita quebra em ausência de fluidos, e por fusão parcial

gera o leucossoma constituído por granada, microclínio e fundido (PRANCHAS 2 – Foto 6, PRANCHAS 3 – Foto 1).

As paragêneses minerais de melanossoma e leucossoma constituem um forte argumento indicativo da fusão parcial, complementadas com as evidências seguintes observadas em afloramento e lâmina:

- A granada geralmente está concentrada nos gnaisses leucossomáticos, formando um nível enriquecido (PRANCHAS 1 – Fotos 4 e 5, PRANCHAS 2 – Foto 6).
- Inclusões de sillimanita residual ocorrem dentro de granada e k-feldspato (PRANCHAS 3 – Fotos 2 e 3).

Segundo Powell; Ashworth & Brown (*apud* KRIEGSMAN & HENSEN, 1998) a proximidade entre o leucossoma e o mesossoma restítico indica que pelo menos parte do fundido cristalizou *in situ*, em consequência os minerais e o fundido puderam reagir em determinado grau. A associação biotita sillimanita e moscovita que corta os gnaisses (PRANCHAS 2 – Foto 6, PRANCHAS 3 – Foto 1) pode formar-se por reação retrograda de fundido cristalizado *in situ* (KRIEGSMAN, 2001). Este mecanismo faz com que o leucossoma, produto de fusão, libere a água responsável pela hidratação das associações minerais nas encaixantes. Num segundo estágio a água reage com as fases sólidas (microclínio e granada) para formar simplectitas laminares de biotita verde e plagioclásio nos quartzo-plagioclásio gnaisses (Lâmina Gr-15) (PRANCHAS 3 – Fotos 4 e 5) segundo a reação (5). Conforme Brown & Raith; Stevens; Raith & Harley (*apud* SAWYER, 1999) as texturas produzidas por estas reações têm sido utilizadas para deduzir a trajetória P-T durante o resfriamento metamórfico.

Estreitos filmes de plagioclásio e plagioclásio mirmequítico, produtos da reação (5), localizam-se ao redor da granada e ao longo dos interstícios dos cristais, e são evidências texturais do resfriamento acompanhado por perda de pressão (PRANCHAS 3 – Foto 6).

Os granito-gnaisses (leucossoma 2, Lâmina Gr-15a) constituídos de quartzo, feldspatos e biotita foram formados durante as condições da fácies anfibolito pela associação plagioclásio + quartzo + biotita + microclínio peritítico.

Os principais intercrescimentos nas rochas desta unidade são antipertíticos *bead* de plagioclásio com 1 a 10% de microclínio (PRANCHA 3 – Foto 7). Na mesma amostra, localmente observam-se, pertitas a mesopertitas tipo *stringlets*, *strings* e *bead*, e antipertitas com conteúdos de microclínio na fase sódica até 1%. Outros intercrescimentos são mirmequíticos formados nas bordas do plagioclásio, e menos freqüentes, micrográficos, symplectíticos de quartzo-biotita, e arranjos poikiloblásticos de hornblenda - quartzo e granada - quartzo.

PRANCHA 2

- FOTO 1. Associação mineral ortopiroxênio-plagioclásio-biotita-hornblenda do plagioclásio-quartzo gnaisse com biotita. Hornblenda formada pela quebra do ortopiroxênio. Nícois paralelos, lâmina C-299.
- FOTO 2. K-feldspato mesopertítico do granulito charnockítico. Observa-se a deformação do k-feldspato, lâmina V-332.
- FOTO 3. Pertitas *flame* de substituição desenvolvidas na borda do k-feldspato em contato com plagioclásio, lâmina Z-365-2.
- FOTO 4. Plagioclásio mirmequítico entre cristais do k-feldspato pertítico. Observa-se os dois *sets* de pertitas no k-feldspato, uma muito fina regular e a outra mais grossa e elipsoidal, lâmina D-806.
- FOTO 5. Granada com inclusões arredondadas de quartzo; nas margens contatos lobados com quartzo. Feições típicas de metamorfismo prógrado. Lâmina Gr-15.
- FOTO 6. Metatexito constituído por melanossoma (Me) e leucossoma 1 (Le), lâmina Z-365. O leucossoma consiste de quartzo, ortoclásio pertítico, plagioclásio e biotita sem orientação preferencial. O leucossoma 1 fino consiste de quartzo, microclínio, granada e biotita. Níveis máficos (M) de sillimanita e biotita seguindo a segunda foliação cortam o mesossoma

FOTO 1

FOTO 5

FOTO 2

FOTO 3

FOTO 4

FOTO 6

PRANCHA 3

- FOTO 1. Detalhe da associação sillimanita e biotita da lâmina Z-365. A sillimanita altera-se a argila e entre os interstícios dos cristais de biotita gera-se moscovita.
- FOTO 2. Detalhe do leucossoma 1 da lâmina Z-365. Granada com inclusões de sillimanita, esta última como resquício de uma fase mineral pre-migmatítica.
- FOTO 3. Detalhe do leucossoma 1 da lâmina Z-365. K-feldspato com inclusão de sillimanita, esta última como resquício de uma fase mineral pre-migmatítica. O k-feldspato inverte-se a microclínio nas bordas do cristal.
- FOTO 4. Simplectitas de biotita e plagioclásio formadas às expensas da granada e microclínio. O arranjo simplectítico está reabsorvendo a granada. Nícois paralelos, lâmina Gr-15.
- FOTO 5. Simplectitas de biotita e plagioclásio formadas às expensas da granada e microclínio. O arranjo simplectítico está reabsorvendo a granada. Nícois cruzados, lâmina Gr-15.
- FOTO 6. Detalhe da simplectita, lâmina Gr-15. Borda de plagioclásio ao redor da granada restante da reação mineral entre k-feldspato, granada, biotita, plagioclásio e quartzo mais água.
- FOTO 7. Plagioclásio antipertítico com desenvolvimento de pertitas em duas direções refletindo processos diferentes. As pertitas sub-horizontais seguem a direção da biotita (indicada pela seta) formada durante a segunda foliação do granulito. Lâmina C-32.
- FOTO 8. Desenvolvimento de biotita (Bt2) e plagioclásio (Pl2) numa segunda foliação, bordejando o plagioclásio (Pl1). O plagioclásio (Pl1) faz parte da associação mineral granulítica (Grt-Opx-Hbl-Pl-Qtz) desta rocha máfica. Lâmina C-32

FOTO 1

FOTO 2

FOTO 3

FOTO 4

FOTO 5

FOTO 6

FOTO 7

FOTO 8

4. GEOTERMobarOMETRIA

Os estudos geotermobarométricos provêm dados quantitativos no campo P-T (pontos específicos) que refletem as condições locais de equilíbrio do sistema químico em algum ponto da sua história, através das fases minerais participantes de reações sensíveis à pressão ou temperatura. Além disso, revelam as mudanças nas condições P-T (ΔP , ΔT) da rocha por meio das variações químicas deduzidas de estudos de zonação ou inclusões minerais.

A informação geotermobarométrica permite obter trajetórias Pressão-Temperatura de paragêneses minerais em equilíbrio, re-equilíbrio e desequilíbrio em rochas metamórficas de fácies anfibolito e granulito, e derivar o modelo de evolução metamórfica para um orógeno específico (BROWN, 1993). Nesta pesquisa o conceito do metamorfismo progressivo como a mudança seqüencial do grau de metamorfismo deixado pelas associações ao longo do gradiente metamórfico foi substituído pela visão dinâmica, na qual as rochas individuais (ex. THOMPSON & ENGLAND, 1984) e minerais (ex. SPEAR & SELVERSTONE, 1983) podem ser usados para obter trajetórias no campo P-T. Estes caminhos podem ser relacionados ao ambiente tectônico responsável pela orogênese (ENGLAND & THOMPSON, 1984).

Apesar das rochas da transição anfibolito-granulito terem minerais geotermobarômetros, a interpretação da trajetória P-T nem sempre é simples, uma vez que as altas taxas de difusão catiônica impedem geralmente a preservação dos segmentos prévios da trajetória do metamorfismo progressivo. Levando em consideração esta limitação na interpretação da evolução tectono-metamórfica, compararam-se os segmentos da trajetória retrógrada de metamorfismo obtidos para as rochas pertencentes ao Granulitos do Vergel e Gnaiss das Margaritas. Na escolha das amostras para as análises, selecionaram-se as que melhor preservaram o equilíbrio característico das fácies granulito e anfibolito, e as que exibiram alguma feição textural de desequilíbrio, indicada por substituição dos minerais metamórficos de alta P-T pelas fases minerais retrógradadas.

4.1 Métodos geotermobarométricos

Realizaram-se 291 análises químicas pontuais por microsonda eletrônica em 5 lâminas delgadas (V-332, Gr-15, C-32, Z-365-1, Z-365-2). As análises estão distribuídas nos seguintes minerais: 107 em granada, 84 em biotita, 47 em piroxênio, 32 em plagioclásio, 13 em anfibólio, 4 em ilmenita, 2 em k-feldspato e 2 em moscovita (ANEXO III). Com o propósito de determinar

as variações dos seus componentes, os estudos foram efetuados em seções transversais centro-borda

As composições químicas foram obtidas por meio de equipamento JEOL JXA 8600, no Laboratório de Microsonda Eletrônica do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. Utilizou-se corrente de aceleração de feixe de elétrons de $20 \pm 0,1$ nA, tensão de 15 kV e diâmetro do feixe de elétrons de 10 μ m para análises de feldspatos e 5 μ m para os demais minerais.

As fórmulas estruturais de granada, ortopiroxênio, biotita e plagioclásio foram obtidas com o programa Minpet 2.02, assumindo Fe^{2+} como Fe_{total} . No caso da biotita, a classificação foi feita com base em 22 cargas positivas assumindo um grupo anion idealizado, de acordo com as recomendações de RIEDER *et al.* (1998) para análises de microsonda sem determinação de H_2O . As composições de anfibólios foram recalculadas a 23 átomos de oxigênio, com a base estequiométrica da média de todos os cátions, exceto Na e K, normalizados a 15 e de todos os cátions, exceto Ca, Na e K, normalizados a 13. Este procedimento foi testado com o programa NEWAMPHCAL para calcular as fórmulas estruturais de análises de anfibólios de microsonda segundo a classificação proposta pela *International Mineralogical Association* (IMA) de LEAKE *et al.* (1997).

Neste trabalho, Os dados geotermobarométricos foram obtidos com o programa TWQ (v. 2.02) de BERMAN (1991), que calcula multi-equilíbrios com uma base de dados termodinâmica, internamente consistente, e incorpora modelos de atividade-composição não ideal para granada (BERMAN, 1990), biotita (McMULLIN *et al.*, 1991), ortopiroxênio – *ideal mixing* (NEWTON, 1983), plagioclásio (FUHRMAN & LINDSLEY, 1988), e inclui propriedades dos *end-members* (BERMAN, 1988; 1990). O programa fornece pontos invariantes no campo P-T, nos interceptos de linhas bivariantes de equilíbrio.

Os valores de P-T obtidos por meio do programa TWQ foram testados com o programa GPT de RECHÉ & MARTINEZ (1996), que compila diversos termômetros e barômetros calibrados por diferentes autores. A comparação foi feita para litotipos de rocha de condições de metamorfismo anfibolito-granulito, levando em conta os limites químicos dos minerais empregados nos experimentos ou testes naturais.

Nas abreviações dos minerais empregados na apresentação dos dados geotermobarométricos, nas reações citadas no texto, nas descrições mineralógicas e petrológicas, e no tratamento dos

dados isotópicos em tabelas e anexos adotou-se a simbologia de KRETZ (1983) complementada com a de SPEAR (1985) (ANEXO IV).

4.2. Granulitos do Vergel

4.2.1 Química Mineral

O granulito chamockítico (Lâmina V-332, ANEXO V) apresenta paragênese típica de metamorfismo de alto grau, dentro da transição fácies anfibolito superior a granulito.

A composição química média do núcleo da granada é almandina 72,8%, piropo 17,4%, grossularia 7,3%, espessartita 2,1% e uvarovita 0,3%. Este padrão composicional é resultado da homogeneização por difusão intracristalina atingida em altas temperaturas, a qual tende a apagar qualquer zoneamento composicional inicial (HODGES, 1991), e mantém-se constante até nos lugares vizinhos das inclusões de biotita. A composição na borda da granada em contato com biotita varia para almandina 71,6 %, piropo 14%, grossularia 11,9%, espessartita 2,1% e uvarovita 0,2% (FIGURA 4), evidenciando uma reação retrógrada por um sutil decrescimento da razão Fe/Fe+Mg. A granada tem perfil composicional caracterizado por ter núcleos homogêneos mais ricos em Fe e Mg e bordas ricas em Ca e pobres em Mg, sem mudança no teor de Mn, como mostra a FIGURA 5.

FIGURA 4 – Composição da granada do granulito chamockítico V-332: ▷ = núcleo e posições intermediárias, ▽ = borda em contato com biotita.

FIGURA 5 – Perfil composicional bt-grt2 da granada V-332: análises: 15 = contato granada-biotita, 18 e 21 = posições intermediárias, 19 = núcleo, e 20 = borda.

A ferrosilita não apresenta zoneamento químico nítido, mas quando está em contato com granada observa-se um leve enriquecimento de Fe em suas bordas (FIGURA 6). Já o feldspato da lâmina consiste de plagioclásio e ortoclásio. O plagioclásio da matriz (andesina sódica), do mesmo modo que o piroxênio, não varia em sua composição. O ortoclásio é

perítico, e suas exsoluções finas apresentam composição entre a fase hospedeira e exsolvida (FIGURA 7).

FIGURA 6 – Classificação do ortopiroxênio do granulito charnockítico V-332, análises 1-11 no perfil px-grt1: $\blacktriangleright$ = núcleo e posições intermediárias, ∇ = borda em contato com granada, $\circ$ = alteração.

Os valores de Ti variam substancialmente nos diversos tipos de biotita como mostra o diagrama Ti/Al da FIGURA 8. Os teores mais altos de Ti, aproximadamente 0,70, são da biotita inserida na granada com 6,11 % TiO_2 e valores de X_{Mg} de 2,52; esta biotita não foi re-equilibrada e representa as condições mais altas do metamorfismo de acordo com GUIDOTTI (1984) e SPEAR *et al.* (1990). Concentrações intermediárias de Ti, entre 0,54-0,64, observam-se nos núcleos da biotita que estão em equilíbrio com granada e ferrosilite com 4,62-5,6 % TiO_2 e valores de X_{Mg} de 2,48-2,63. Os teores mais baixos de Ti, entre 0,51- 0,52, são das bordas da biotita em contato com a granada e da biotita formada a partir de granada, ortopiroxênio e ilmenita com 4,44 – 4,46 % TiO_2 e valores de X_{Mg} de 2,34-2,89.

FIGURA 7 - Composição dos feldspatos do granulito charnockítico V-332: $\square$ = ortoclásio perítico, $\circ$ = pertita, ∇ = contato plagioclásio-granada, $\blacktriangleright$ = núcleo do plagioclásio.

FIGURA 8 - Diagrama Ti/Al das biotitas do granulito charnockítico V-332: $\circ$ = inclusão em granada, $\blacktriangleright$ = núcleo e posições intermediárias, ∇ = borda em contato com granada, $\circ$ = formada pela quebra de granada e piroxênio.

4.2.2 Resultados geotermobarométricos

Foi obtida uma estimativa das condições de temperatura e pressão próximas ao pico térmico do metamorfismo para o granulito charnockítico (Lâmina V-332) com o TWQ, com base no padrão composicional dos minerais da rocha, usando a composição do núcleo da granada com o núcleo do plagioclásio, e os núcleos da biotita ou a inclusão da biotita de alto Ti na granada (núcleo, associações V-332-1,2,3,5,6,7,9). A estimativa das condições metamórficas de re-equilíbrio foi obtida utilizando as composições da borda da granada e plagioclásio em contato com a biotita (borda, associações V-332-4,8,13,15). Os cálculos geotermobarométricos das associações núcleo e borda definem a parte retrógrada da trajetória antihorária no campo P-T, onde o decréscimo em Fe/Fe+Mg da granada implica num sutil incremento da temperatura, acompanhado de um aumento da pressão definido pelo aumento do teor de Ca na granada (FIGURA 9).

FIGURA 9 - Diagrama P-T do granulito charnockítico V-332 dos Granulitos do Vergel obtido com o TWQ do intercepto das reações entre plagioclásio-ortopiroxênio-granada-biotita - quartzo. Ponto triplo Al_2SiO_5 de HOLDAWAY, 1971. As setas indicam a trajetória anti-horária.

A associação mineral em equilíbrio do granulito (V-332-1) define um ponto de 700°C e 6 kbar, onde se intersectam as reações de equilíbrio, baixo $\Delta P/\Delta T$ (geotermômetro) de troca Fe-Mg entre Opx - Bt (6), Opx - Grt (7), Grt - Bt (8), e reações de alto $\Delta P/\Delta T$ (geobarômetro), Grt - Qtz - Opx - Pl (membros ferroso 9 e magnesiano 10), e a reação Grt - Bt - Qtz - Opx - Pl (11) como mostra a FIGURA 10.

Os resultados obtidos com o programa TWQ foram testados com a geotermobarometria clássica, utilizando as mesmas associações minerais. Os cálculos geotermométricos tradicionais mostraram, em geral, temperaturas menores com o par granada-biotita comparadas com as obtidas da granada-ortopiroxênio. A pressão foi melhor contrastada com o barômetro de NEWTON & PERKINS (1982) e BHATTACHARYA *et al.* (1991), com valores semelhantes para os equilíbrios de Fe e Mg (barômetro granada-piroxênio-plagioclásio-quartzo). Os valores P-T, para a associação V-332-1, definem um campo entre 4,8 e 5,55 Kbar e 685 e 740°C, baseado nos termômetros granada-biotita de HODGES & SPEAR (1982), PIGAGE & GREENWOOD (1982), WILLIAMS & GRAMBLING (1990), e termômetro entre granada-piroxênio de SEN & BHATTACHARYA (1984), BHATTACHARYA *et al.* (1991), LAVRENTEVA & PERCHUK (1990), e LAL (1993). Estas calibrações são as mais consistentes com os valores obtidos a traves do TWQ.

FIGURA 10 - Resultados dos cálculos TWQ da associação mineral em equilíbrio V-332-1 do granulito charnockítico, usando os núcleos da granada, biotita, ortopiroxênio e borda do plagioclásio em contato com granada, mais quartzo.

Os valores da geotermobarometria clássica das demais associações minerais (núcleo, associações V-332-2,3,5,6,7,9, e borda, associações 4,13 e 15) mostraram maior espalhamento que os valores do TWQ; contudo, registram o mesmo padrão de aumento da pressão dos equilíbrios da borda com respeito aos núcleos (QUADRO 4)

QUADRO 4. TEMPERATURAS E PRESSÕES MÉDIAS DAS ASSOCIAÇÕES NÚCLEO (n) E BORDA (b) DA LÂMINA V-332 OBTIDAS POR GEOTERMOBAROMETRIA CLÁSSICA.

Associações	P (Kbar)	T(°C)
V-332-2 n	4,1 – 5,45	690 – 790
V-332-3 n	4,55 – 5,55	665 – 740
V-332-5 n	4,2 – 5,35	685 – 762,5
V-332-6 n	4,47 – 5,6	705 – 774
V-332-7 n	4,3 – 5,6	690 – 774
V-332-9 n	4,85 – 6,0	735 – 798
V-332-4 n	6,67 – 8,75	640 – 770
V-332-13 b	7,12 – 8,7	665 – 770
V-332-15 b	6,82 – 8,67	635 – 750

O *resetting* do termômetro granada-biotita com relação a granada-piroxênio é obvio já que a maioria destes termômetros, GOLDMAN & ALBEE (1977) e FERRY & SPEAR (1978), são calibrados para rochas pelíticas e semi-pelíticas da fácies anfibolito medio. As inconsistências observadas no termômetro granada-biotita permitiram a BOHLEN & ESSENE (1980) afirmar que as calibrações deste par mineral são inadequadas para avaliar a temperatura em terrenos metamórficos de alto grau, nos quais as variações de Ti e Al nas biotitas são mais extremas a temperaturas acima de 650°C. Esta limitação foi considerada no termômetro de INDARES & MARTIGNOLE (1985), no qual se considera o conteúdo de Ti e Al nas biotitas, entretanto a composição das biotitas empregadas nos experimentos não permitiu correção satisfatória para uma composição modal mais abrangente.

4.3. Gnaiss das Margaritas

Desta unidade foram escolhidas três amostras: quartzo-plagioclásio gnaiss (Lâmina Gr-15); quartzo-plagioclásio-biotita gnaiss migmatítico bandado, com níveis de minerais micáceos (mesossoma) e félsicos (leucossoma) (Lâmina Z-365); granulito máfico (Lâmina C-32). As respectivas descrições petrográficas estão compiladas no ANEXO V.

4.3.1 Química Mineral

O quartzo-plagioclásio gnaiss e o gnaiss migmatítico, localizados no mesmo afloramento (Lâminas Gr-15 e Z-365), pertencem à subfácies sillimanita-almândina da fácies anfibolito superior. O granulito máfico (Lâmina C-32) está dentro da zona de transição fácies anfibolito a granulito, cuja hornblenda foi gerada pela quebra de hiperstênio e granada.

Lâminas Gr-15 e Z-365:

As granadas com inclusões de quartzo destas duas lâminas exibem núcleos homogêneos com composições médias que aproximam-se a uma mistura ternária almandina-piropo-grossulária com subordinadas concentrações de espessartita (QUADRO 5, FIGURAS 11 e 13); entretanto, na lâmina Z-365 o núcleo da granada é mais rico em Mg por ter sido produto de fusão parcial (ROBINSON, 1991). Os cristais nas bordas apresentam zoneamento com incremento em Fe, decréscimo em Mg e teores de Mn e Ca quase constantes, exceto na lâmina Gr-15, onde há um incremento sutil de Mn (FIGURAS 12 e 14). Este padrão composicional de aumento de Fe/Fe+Mg nas bordas da granada é provocado principalmente pela troca Fe-Mg dos cristais em contato com a biotita durante o resfriamento.

FIGURA 11 - Composição da granada do quartzo-plagioclásio gnaiss Gr-15: ▽ = borda em contato com biotita, ▷ = núcleo e posições intermediárias.

FIGURA 12 - Perfil composicional bt verde-grt da granada do quartzo-plagioclásio gnaiss Gr-15: análises 3 = contato granada-biotita, 1, 2 e 4 = núcleo e posições intermediárias.

QUADRO 5. COMPOSIÇÕES MÉDIAS DOS NÚCLEOS DAS GRANADAS DO GNAISSE DAS MARGARITAS, LÂMINAS Gr-15, Z-365, C-32

	Almandina (%)	Piropo (%)	Grossulária (%)	Espessartita (%)
Gr-15	72	13	11	4
Z-365	71	24	3	2
C-32	61	19	15	5

FIGURA 13 - Composição da granada do gnaiss migmatítico Z-365-1: □ = contato granada-plagioclásio, ▽ = contato granada-biotita, ▷ = núcleo e posições intermediárias.

FIGURA 14 - Perfil composicional bt-grt-pg1 da granada do gnaiss migmatítico Z-365-1: análises 1-3 = núcleo, 4 = contato granada-biotita, 6 = borda.

As biotitas da lâmina Gr-15 exibem diferenças no teor de Ti como ilustrado no diagrama Ti/Al (FIGURA 15). A biotita verde apresenta os maiores conteúdos de Ti, representativos das condições metamórficas mais altas, com valores de 2,8 – 3,17 % TiO_2 , teores de Ti ~ 0,36 e X_{Mg} de ~ 1,64. Já as biotitas da matriz e as simplectíticas apresentam composições que refletem re-equilíbrio com valores entre 1,34 – 2,28 % TiO_2 , teores de Ti de 0,15 – 0,27 e X_{Mg} de 1,74 – 1,91. Descartaram-se as análises das biotitas verde e simplectítica com conteúdos de Ti menor a 0,1 por tratar-se de pequenos cristais cuja composição diferia com respeito às biotitas maiores, permitindo maior fluxo de Fe e Mg. As biotitas grandes comportaram-se analogamente a reservatórios infinitos, nos quais a composição não muda com o tempo (SPEAR *et al.*, 1990). Na lâmina Z-365, a biotita associada à sillimanita e aquela da matriz contêm maior Ti com valores entre 0,46 – 0,59 (4,0 – 5,1 % TiO_2) e X_{Mg} de 2,24 – 2,37. A biotita em contato com granada reflete condições de re-equilíbrio, com conteúdos de Ti 0,28 – 0,31 (~ 2,6 % TiO_2) e X_{Mg} de 2,54 – 3,04 (FIGURA 16).

Os plagioclásios das lâminas Gr-15 e Z-365 são oligoclásios. Na lâmina Gr-15, os cristais da matriz e aqueles em contato com granada são cálcicos, já o plagioclásio simplectítico e aquele presente ao redor da granada têm um leve enriquecimento em Na. Estas observações implicam que o plagioclásio, na fase retrógrada, chega a ser mais albitico. Na lâmina Z-365 o oligoclásio é pouco mais sódico, para os cristais corroídos, com respeito aos cristais em contato com granada e biotita.

Lâmina C-32:

Nesta rocha a granada é mais rica no componente grossulária que as das rochas Gr-15 e Z-

FIGURA 15 - Diagrama Ti/Al das biotitas do quartzo-plagioclásio gnaiss Gr-15: $\square$ = biotita verde do núcleo, $\square$ = biotita verde em contato com granada, $\triangle$ = biotita simplectítica do núcleo, ∇ = biotita simplectítica em contato com granada, $\circ$ = biotita da matriz, $\diamond$ = biotita cloritizada. FIGURA 16 - Diagrama Ti/Al das biotitas do gnaiss migmatítico Z-365-1, $\square$ = biotita associada à sillimanita, $\circ$ = biotita da matriz, $\triangle$ = núcleo e posições intermediárias, ∇ = contato granada-biotita.

365 (QUADRO 5), e a sua composição não muda muito com respeito às análises de núcleo e borda (FIGURA 17). Apresenta núcleo homogêneo, com diminuição de Mg, sutil incremento em Fe e Ca nas bordas dos cristais em contato com a biotita e nas análises próximas a algumas inclusões de biotita, onde a troca química Fe-Mg foi efetiva durante o resfriamento (FIGURA 18). Este zoneamento com aumento relativo de Fe, Fe/Fe+Mg e Ca, e decréscimo de Mg nas bordas dos cristais de granada em contato com biotita, reflete mudança química durante a queda da temperatura.

FIGURA 17 - Composição da granada do granulito máfico C-32: $\square$ = contato granada-ortopiroxênio, $\circ$ = granada em contato com inclusão de biotita, ∇ = contato granada-biotita, $\triangle$ = núcleo e posições intermediárias, $+$ = inclusão de granada em ortopiroxênio, $\diamond$ = contato granada hornblenda

FIGURA 18 - Perfil composicional bt-px-grt2 da granada do granulito máfico C-32: análises 29 = contato granada-ortopiroxênio, 30,31,32 e 35 = posições intermediárias e núcleo, 33 e 34 = contato granada-inclusão de biotita.

A FIGURA 19 representa um diagrama Ti/Al para todas as biotitas analisadas. Algumas inclusões de biotita nas granadas, onde não houve troca química de Fe-Mg entre as duas fases, preservaram as condições de maior grau metamórfico, com conteúdos de Ti $\sim 0,67$ e $X_{Mg} \sim 2,42$. As demais biotitas foram re-equilibradas durante o desenvolvimento da foliação, com valores de Ti $\sim 0,53 - 0,65$ e $X_{Mg} \sim 2 - 2,35$.

FIGURA 19 - Diagrama Ti/Al de todas as biotitas C-32, $\circ$ = inclusões em granada, $+$ = contato biotita piroxênio, ∇ = contato biotita granada, $\triangleright$ = núcleo e posições intermediárias, $\circ$ = contato biotita hornblenda, $\square$ = biotita sin-deformação.

O ortopiroxênio corresponde a ferrosilita e o anfibólio a ferropargasita (FIGURA 20) sem mudança de composição; ambos os plagioclásios, pré e sin-deformação, são andesina.

FIGURA 20 - Composição do anfibólio do granulito máfico C-32. ∇ = anfibólio em contato com biotita, $\triangleright$ = núcleo e posições intermediárias.

4.3.2 Resultados geotermobarométricos

Para o quartzo-plagioclásio gnaiss (Lâmina Gr-15) obtiveram-se temperaturas de $\sim 890^{\circ}\text{C}$ (núcleo, associações Gr-15-11,11A, 12,14). por meio do termômetro granada-biotita das

análises: biotita-matriz e granada-núcleo. Esta temperatura foi confirmada por meio das associações (Gr-15-1,3,6) correspondentes aos núcleos das biotitas em contato com granada (~ 825 - 850°C). Condições de menor temperatura foram obtidas com as análises das biotitas simplectíticas com as respectivas bordas da granada, que re-equilibraram entre 625 - 640°C (borda, associações Gr-15-4,7). Na FIGURA 21, observam-se os valores médios destas temperaturas.

Os cálculos com a termometria clássica, utilizando as calibrações de THOMPSON (1976); HODGES & SPEAR (1982); GANGULY & SAXENA (1984); PERCHUK & LAVRENT'eva (1983) e INDARES & MARTIGNOLE (1985) confirmam os valores obtidos com o TWQ. A temperatura média para as associações núcleo, segundo estes termômetros, esta compilada no QUADRO 6.

QUADRO 6. TEMPERATURA MÉDIA DAS ASSOCIAÇÕES NÚCLEO (n) DA LÂMINA Gr-15 OBTIDAS POR GEOTERMOBAROMETRIA CLÁSSICA.

Associações	T (°C) para 4 Kbar	T(°C) para 13 Kbar
Gr-15-11 n	815	870
Gr-15-12 n	834	890
Gr-15-1 n	805	860
Gr-15-3 n	794	850
Gr-15-6 n	750	800

No gnaiss migmatítico (Lâmina Z-365) observa-se uma temperatura de ~ 800°C para as associações núcleo, (Z-365-1,3,4,6,11,12), conseguidas com o termômetro granada-biotita, utilizando as análises do núcleo da granada com a biotita da matriz. Já as temperaturas de re-equilíbrio obtidas das análises das bordas da granada em contato com biotita refletem valores de ~ 650°C, para as associações da borda, Z-365-2,8,9 (FIGURA 21). Os cálculos geotermobarométricos com o TWQ da paragênese mineral granada com inclusão de sillimanita – biotita – feldspato potássico – quartzo, e das associações núcleo (Z-365-1,3,4,6,11,12), definem um campo P-T entre 780-826°C e 6,3-8,0 Kbar (FIGURA 21). Nesse intervalo P-T obtido, além do termômetro granada-biotita, a temperatura foi confirmada pela reação de fusão (12), e a pressão pela reação de troca química entre Pl-Grt-Sil-Qtz (13) como mostra a FIGURA 22.

FIGURA 21 - Diagrama P-T do granulito máfico, gnaiss migmatítico, e quartzo-plagioclásio gnaiss pertencentes ao Gnaiss das Margaritas, obtido com o TWQ. 1) reação de fusão-desidratação $\text{bt} + \text{pl} + \text{Al}_2\text{SiO}_5 + \text{qtz} = \text{grt} + \text{kfs} + \text{fundido}$ de LE BRETON & THOMPSON (1988), 2) reação $\text{ms} + \text{ab} + \text{qtz} = \text{kfs} + \text{sil} + \text{L}$ de Petö (1976) *apud* LE BRETON & THOMPSON (1988), 3) Curva de cristalização do granito de Huang & Wyllie (1973) *apud* LE BRETON & THOMPSON (1988). Ponto triplo Al_2SiO_5 de HOLDAWAY (1971). A seta indica a trajetória de decompressão aproximadamente isotérmica-ITD (*near-isothermal decompression*) em sentido horário.

Os cálculos da temperatura média para as associações núcleo (Z-365-1,3,4,6,11,12), obtidos com o termômetro granada-biotita de THOMPSON (1976), HODGES & SPEAR (1982), PERCHUK & LAVRENT'ÉVA (1983), LAVRENT'ÉVA & PERCHUK (1981), e HOLDAWAY & LEE (1977), confirmam os resultados do TWQ e estão compilados no QUADRO 7.

Para o granulito máfico (Lâmina C-32) obtiveram-se duas regiões no campo P-T, por meio da geotermobarometria núcleo-borda no TWQ, utilizando as análises que preservam as condições de equilíbrio granulítico de inclusão de biotita em granada com os núcleos da granada, ortopiroxênio e plagioclásio (núcleo, associações C-32-3,7,8,11), e as que refletem condições de re-equilíbrio paragenético granulítico com as bordas dos mesmos minerais (borda, associações C-32-4,16,17). Condições metamórficas entre 751 – 778°C e 7,7 – 8,1 kbar para as associações núcleo, e entre 688 – 752°C e 6,8 – 7,9 Kbar para as associações borda. A

relação entre as duas regiões define uma trajetória *near-isothermal decompression (ITD)* que reflete a porção retrógrada do metamorfismo com perda de temperatura e de pressão (FIGURA 21). Os cálculos geotermobarométricos com o TWQ, baseados nas reações dos geotermômetros (6, 7 e 8) e geobarômetros (9, 10), confirmam estas regiões no campo P-T, e na FIGURA 23 observam-se as reações de equilíbrio desta amostra (associação mineral C-32-7).

QUADRO 7. TEMPERATURA MÉDIA DAS ASSOCIAÇÕES NÚCLEO (n) DA LÂMINA Z-365 OBTIDAS POR GEOTERMOBAROMETRIA CLÁSSICA.

Associações	T (°C) para 4 Kbar	T(°C) para 10 Kbar
Z-365-1 n	795	818
Z-365-3 n	798	820
Z-365-4 n	802	825
Z-365-6 n	793	815
Z-365-11 n	800	823
Z-365-12 n	797	820

Da paragênese mineral granada-hornblenda-biotita obteve-se uma temperatura do par granada-biotita entre 770-790 °C das associações núcleo (C-32-1,2,14,15,17 A,18) e de 730 – 740 °C para as associações borda (C-32-4,16,17). Neste cálculo não foi incluída a hornblenda ferropargasítica, visto que esta é formada pela quebra de hiperstênio, possivelmente em condições de menor temperatura com respeito às associações minerais formadas durante o metamorfismo granulítico (granada-hiperstênio-biotita).

FIGURA 22 - Resultados dos cálculos TWQ da associação mineral Z-365-12 do gnaiss migmatítico, usando a paragênese granada - sillimanita - biotita – feldspato potássico - quartzo

FIGURA 23 - Resultados dos cálculos TWQ da associação mineral C-32-7 do granulito máfico, usando os núcleos da granada, ortopiroxênio e plagioclásio, inclusões de biotita mais quartzo.

A tendência na trajetória com o TWQ foi testada com a geotermobarometria clássica, utilizando as mesmas associações minerais. Os cálculos geotermométricos tradicionais mostraram em geral temperaturas menores com a associação granada-biotita do que as obtidas da granada-ortopiroxênio. A temperatura média obteve-se segundo as calibrações granada-biotita de HODGES & SPEAR (1982), PERCHUK *et al.* (1985), DASGUPTA *et al.* (1991), e granada-ortopiroxênio de SEN & BHATTACHARYA (1984), BHATTACHARYA *et al.* (1991), LAVRENT'ÉVA & PERCHUK (1990), e LAL (1993). A pressão foi verificada com o barômetro de BHATTACHARYA *et al.* (1991) de Fe e Mg, e NEWTON & PERKINS (1982) (QUADRO 8).

QUADRO 8. TEMPERATURA-PRESSÃO MÉDIA DAS ASSOCIAÇÕES NÚCLEO (n) E BORDA (b) DA LÂMINA C-32 OBTIDAS POR GEOTERMOBAROMETRIA CLÁSSICA.

Associações	P (Kbar)	T(°C)
C-32-3 n	6,37 – 7,25	717 – 757
C-32-7 n	6,37 – 7,27	717 – 761
C-32-8 n	6,67 – 8,02	745 – 798
C-32-11 n	6,65 – 8,30	742 – 857
C-32-4 b	5,15 – 6,57	610 – 718
C-32-16 b	5,34 – 6,87	618 – 734
C-32-17 b	5,34 – 6,85	620 – 734

4.4 Considerações geotermobarométricas

Para o Gnaiss das Margaritas obteve-se uma trajetória (ITD), a qual indica a porção retrógrada de um caminho horário. Na parte superior está definida pelos campos no espaço P-T da amostra C-32. Na parte inferior pelos termômetros de baixa temperatura das amostras Gr-15 e Z-365, e pelo desenvolvimento de uma segunda associação de Bt-Sil-Ms (lâmina Z-365) que indica que a ITD intersecta a reação de cristalização $Ms+Ab+Qtz = Kfs+Sil+líquido$ de Petö (1976) *apud* LE BRETON & THOMPSON (1988) a uma pressão maior que 4 kbar (FIGURA 21). A trajetória (ITD) da parte oriental do orógeno é confirmada por evidência textural, como o desenvolvimento de biotita-plagioclásio simplectíticas a partir de granada e *moats* de plagioclásio em gnaisses e granulitos félsicos, respectivamente. As duas texturas, geradas durante o resfriamento, refletem queda de temperatura, acompanhada por uma relativa queda de pressão.

As condições de maior temperatura obtidas para os gnaisses Gr-15 e Z-365, desta unidade, estão acima dos 760°C que correspondem à temperatura sob a qual inicia-se a fusão-desidratação da biotita de acordo a reação $Bt+Pl+Sil+Qtz = Kfs+Grt+fundido$ de LEBRETON & THOMPSON, 1988. Contudo, as temperaturas obtidas para estas duas amostras podem estar superestimadas, como é o caso do valor de 890°C do gnaiss Gr-15 (FIGURA 21). Nesta rocha, além da reação de fusão-desidratação, ocorreu a reação retrograda $Grt+Kfs+H_2O = Sil+Bt$, durante a qual a granada é reabsorvida pelo fluido aquoso e suas bordas se enriquecem em Mn e Fe e se empobrecem em Mg. Este processo de difusão, embora não consiga apagar completamente o registro composicional inicial da granada, oblitera a composição inicial das fases da matriz, como por ex. da biotita (ROBINSON, 1991). Neste tipo de reação retrograda, geralmente não sobra registro da biotita que originalmente esteve em equilíbrio com a granada, e dessa forma os valores da temperatura conseguidos da granada-núcleo e biotita-matriz, são sempre mais altos do que a verdadeira temperatura máxima (ROBINSON, 1991). Por esta razão, o valor de maior temperatura para o gnaisses Gr-15 não é considerado no caminho definido pela trajetória ITD.

Em contraste, na parte ocidental do orógeno (amostra V-332) a trajetória retrógrada P-T registra aumento da pressão com sutil incremento de temperatura, o que sugere um caminho anti-horário (FIGURA 9).

Ambos os tipos de tendências, horária e anti-horária têm sido constatados em terrenos granulíticos. A trajetória em sentido horário, particularmente ITD, está bem demonstrada. Por outro lado, a de sentido anti-horário, indicada pelo enriquecimento da componente grossulária

na granada, pode não representar a verdadeira direção da trajetória P-T seguida pela rocha. No caso, a amostragem foi mais restrita para esta parte do orógeno, e além disso não há evidências texturais que confirmem a tendência. A possibilidade de que a trajetória do aumento da pressão possa ser causada por intercambio intercristalino entre granada e plagioclásio (conforme a SPEAR & SELVERSTONE, 1983) é descartada, já que o aumento do Ca na granada acontece quando está em contato com biotita, não sendo possível que ocorra reação com uma fase rica em cálcio.

5. METODOLOGIAS GEOCRONOLÓGICAS

Em total foram feitas 105 análises geocronológicas, 50 análises U-Pb SHRIMP em zircão, 17 Sm-Nd em rocha total e minerais, 20 Rb-Sr em rocha total e minerais, e 18 Ar-Ar. As análises foram realizadas no Centro de Pesquisas Geocronológicas (CPGeo) do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, exceto as análises U-Pb em zircão, que foram obtidas no SHRIMP II da *Chinese Academy of Geological Sciences*, em Beijing (China) por Liu Dunyi e Umberto Cordani. Os cálculos geocronológicos e a apresentação dos dados isotópicos foi feita através dos programas Isoplot e Squid 1.02 de LUDWIG (1999, 2001), utilizando, as constantes de desintegração recomendadas pela IUGS (STEIGER & JÄGER, 1977).

5.1. Análises U-Pb em zircão

O urânio possui dois isótopos naturais, o ^{235}U e ^{238}U . Esses isótopos originam duas séries de desintegração radioativa, tendo como produto final os isótopos radiogênicos estáveis de ^{207}Pb e ^{206}Pb respectivamente ($^{235}\text{U} \rightarrow ^{207}\text{Pb}$ e $^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb}$). Do sistema geocronológico U-Pb podem-se obter três idades, dois de $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ e $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (pais-filhos), e a outra idade conseguida da combinação, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (filho-filho). Discussão adequada desta série radioativa e do método de datação encontra-se em FAURE (1986) e DICKIN (1995).

O método de datação U-Pb em zircão é utilizado em rochas ígneas para obter a idade da cristalização. Já em rochas metamórficas existem várias possíveis interpretações, posto que o zircão pode ser formado por processos de recristalização em estado sólido, processos sub-solidus envolvendo fluido, ou em processos de cristalização após fusão parcial em rochas de alto grau. Nesses processos de fusão parcial o zircão pode participar em eventos de novo crescimento e/ou de dissolução das fases preexistentes, dependendo do teor de Zr presente no sistema (WATSON & HARRISON, 1983). Em terrenos metamórficos de alto grau, o zircão pode-se formar por recristalização apenas parcial nas bordas de zircão ígneo mais antigo, produto de cristalização magmática. Nestes casos é possível observar zonação oscilatória que pode ser usada como testemunha de sua origem ígnea, e áreas recristalizadas sem zonação, indicando que estas porções externas do mineral foram formadas em condições sólidas (HOSKIN & BLACK, 2000; NUTMAN, 2000).

O mineral incorpora U em seu retículo durante a cristalização, e embora algum Pb radiogênico pode-se possa ser perdido durante metamorfismo, intemperismo ou lixiviação, sua idade de cristalização normalmente é possível de determinação.

Dessa forma, a sistemática U-Pb em zircão é considerada difícil de reajustar isotopicamente, até em condições de metamorfismo do fácies granulito, devido à alta temperatura do fechamento (T_f) do sistema e a natureza refratária do zircão. Depois de sua cristalização, cristais de zircão podem permanecer estáveis na crosta durante processos de fusão e metamorfismo, que venham a ocorrer na evolução da rocha. Por este motivo, o método U-Pb em zircão é o mais confiável para determinar a idade do pico metamórfico, visto que a T_f para este mineral é considerada $> 800^\circ \text{C}$.

O equipamento SHRIMP (Sensitive High Resolution Ion Microprobe) permite analisar diferentes áreas do zircão ($\sim 25 \mu\text{m}$) pela incidência de um feixe de íons negativos de oxigênio que libera íons positivos na superfície polida do cristal. Os íons de U e Pb assim liberados são em seguida analisados em um espectrômetro de massa de alta resolução.

A vantagem desta técnica é que o sobrecrecimento ou recristalização em condições metamórficas podem ser datados ao lado de domínios correspondentes a zircão formado em ambiente magmático. As análises de zircão normalmente são acompanhadas de imagens de catodoluminescência de luz transmitida para entender a sistemática de cristalização ou recristalização, para ter maior segurança que as idades obtidas refletem eventos magmáticos, metamórficos, anatexia ou possíveis heranças.

5.1.1. Separação mineral e procedimento analítico

A preparação da amostra e concentração dos zircões foi feita nos laboratórios de separação mineral do CPGeo segundo a seguinte rotina: fragmentação de amostras de 2 a 10 kg, diminuição do tamanho dos grãos no britador de mandíbulas e moinho de disco, concentração da fração entre 100 e 250 *mesh*. O material coletado passa pela mesa gravitatória, pelo separador eletromagnético tipo *Frantz*, e pelos líquidos densos bromofórmio e iodeto de metileno, até a obtenção de um concentrado de zircões o mais puro possível.

A montagem dos zircões em discos de resina epóxi foi feita no Laboratório da Academia Chinesa de Geociências, onde foram fotografados e analisados os zircões. As imagens de catodoluminescência do ortogneisse (V-198) e o gnaiss granítico (A-746) foram obtidas posteriormente às análises isotópicas, no laboratório do CPGeo, visto que os equipamentos da Academia Chinesa de Geociências não se encontravam funcionando.

Os erros analíticos do método U-Pb SHRIMP são expressos em 1σ . Os dados analíticos obtidos nesta pesquisa são plotados no diagrama de WETHERILL (1956), cuja curva

Concórdia representa as razões $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ e $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ para todas as idades concordantes destes dois cronômetros. Na amostra Gr-29 optou-se também pelo diagrama Terá-Wasserburg, visto que a sistemática deste digrama permite visualizar melhor as trajetórias de perda de Pb recentes (NUTMAN, 2000). As idades aparentes $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ são médias ponderadas de um grupo de dados concordantes (com 95% de nível de confiança) e no caso da amostra V-198 correspondem a porções cristalinas dentro do zircão, corrigidas para Pb comum usando as medidas de ^{204}Pb .

De modo geral, em zircões velhos, pelas maiores quantidades de Pb radiogênico produzido, utilizam-se de preferência as idades aparentes $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, visto que seus erros analíticos são menores comparados com aqueles gerados no cálculo das idades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$. Ao contrario, em zircões jovens, com menor produção de ^{207}Pb , são mais precisas as idades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$. Os termos *velho* e *jovem* são relativos, e no intervalo de tempo decorrido entre 1300 e 800 Ma, é difícil decidir qual idade aparente usar ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ou $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$) já que a decisão depende da concordância e do conteúdo de U no zircão (NUTMAN, 2000).

Na amostra A-746, com zircões mais jovens, foram utilizadas as idades aparentes $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ por serem mais precisas, mesmo tendo em conta seus erros de calibração de 1.5 a 2.5%. Estas idades foram corrigidas para ^{208}Pb , e foram apresentadas no diagrama Tera-Wasserburg com proporções isotópicas totais.

Outro aspecto considerado foi o grau de discordância de cada idade aparente, que pode indicar até que ponto o sistema permaneceu fechado. Nesta pesquisa considerou-se, no cálculo dos valores médios, as análises com porcentagem de discordância inferior a 5%.

5.2 Análises Sm-Nd

O ^{147}Sm é um isótopo radioativo (pai) que desintegra-se no isótopo radiogênico ^{143}Nd (filho) com uma meia vida $T_{1/2} =$ Ga. A descrição completa do sistema isotópico e do método geocronológico Sm-Nd são encontradas em FAURE (1986), DICKIN (1995) e SATO *et al.* (1995).

Sm e Nd são elementos das terras raras (ETR), com comportamentos geoquímicos semelhantes. Estes elementos são encontrados em muitos minerais como substitutos de íons grandes. As proporções Sm/Nd das rochas, no sistema rocha total, não se modificam significativamente por processos posteriores à sua formação, tais como hidrotermalismo ou intemperização (FAURE, 1986; DePAOLO, 1988). No momento de formação da rocha, e

dependendo de sua aluminosidade, de modo geral, alguns minerais acessórios como monazita e allanita são ricos nas terras raras leves, e outros como zircão, xenotima e apatita nas pesadas (BEA, 1996). Dessa forma, quando a rocha é enriquecida nesses minerais e se a proporção deles foi modificada durante os processos evolutivos da rocha, pode ocorrer fracionamento de Sm e de Nd, modificando substancialmente a razão inicial. Além disso, em alguns minerais, tais como (clinopiroxênio, anfibólio, apatita e granada) pode ocorrer certo fracionamento, com enriquecimento na razão Sm/Nd.

O sistema Sm-Nd é útil para determinar idades de cristalização de rochas ígneas e metamórficas por meio de isócronas em rocha total, e idade da paragênese metamórfica por meio de isócrona rocha total-mineral desde que o processo metamórfico proporcione considerável fracionamento entre Sm e Nd (por ex. em RT-granada). A interpretação geológica de uma isócrona de dois pontos (rocha total-mineral) requer que a rocha total represente um sistema fechado, e que tenha sido o último reservatório com que o mineral equilibrou (MEZGER *et al.*, 1992).

A temperatura de fechamento (T_f) da granada no sistema isotópico Sm-Nd pode ser determinada empiricamente. Para a sua estimativa é preciso comparar as idades da granada com idades obtidas de outros cronômetros com T_f conhecidas, para a mesma unidade geológica, ou então determiná-la por geotermometria. T_f de $600 \pm 30^\circ\text{C}$ são reportadas por MEZGER *et al.* (1992) por meio da comparação do sistema Sm-Nd em granada com outros dados geocronológicos para terrenos metamórficos com exumação e resfriamento lentos.

A modificação mais significativa da razão Sm/Nd em sistemas geológicos acontece durante o processo de diferenciação manto-crosta oceânica. A litosfera oceânica, no momento de formação, tem a mesma composição isotópica de Nd que o manto. Entretanto, por estar isolada quimicamente e por ter menor proporção Sm/Nd, sua composição de Nd evolui negativamente com respeito à do manto. Na crosta, os processos petrogenéticos (fusão parcial, metamorfismo, diagênese e alteração hidrotermal), a maioria da vezes não modificam a proporção Sm/Nd adquirida na diferenciação inicial. Com esta premissa, pode-se fazer uma regressão das razões isotópicas atuais da rocha até interceptar a curva isotópica de Nd para o manto empobrecido (DM), e então estabelecer a idade modelo Sm-Nd T_{DM} (SATO *et al.*, 1995). A T_{DM} pode representar o tempo em que uma rocha ou seu precursor separou-se do manto. Entretanto, segundo ARNDT & GOLDSTEIN, 1987 para rochas formadas em processos de fusão parcial de sedimentos crustais mais antigos, o T_{DM} representa uma média ponderada das idades das diferentes fontes envolvidas.

O ϵ_{Nd} é um indicador petrogenético, obtido da comparação entre a razão $^{143}Nd/^{144}Nd$ da amostra para a época de sua formação com a razão de um reservatório condritico uniforme padrão (CHUR) (FAURE, 1986). Este parâmetro permite diferenciar a derivação de fontes mantélicas ou crustais, sendo que material juvenil é sugerido por valores positivos ou levemente negativos de ϵ_{Nd} , e material retrabalhado (de origem sedimentar ou anatéctico) por valores altamente negativos de ϵ_{Nd} .

5.2.1 Preparação das amostras e procedimento analítico

Foram analisadas 10 amostras pelo método Sm-Nd em rocha total e minerais (granada, plagioclásio, biotita e piroxênio) das unidades do Complexo Garzón.

A preparação e o tratamento analítico das amostras acham-se descritos em SATO *et al.* (1995) e SATO (1998), e incluem trituração e peneiramento, escolha criteriosa dos cristais de granada, piroxênio e biotita, ataque químico para dissolução do material, e separação dos elementos em coluna de troca iônica.

As razões isotópicas $^{143}Nd/^{144}Nd$ foram obtidas em espectrômetro de massa multi-coletor (VG 354) com precisão analítica de 0,014% (2σ). Os erros máximos calculados para a razão $^{147}Sm/^{144}Nd$ são de 0,52%. Brancos para o ataque químico durante as análises foram de 0,4 ng para Nd e 0,7 ng para Sm. Valores médios medidos no laboratório, no período em que as presentes análises foram efetuadas, para os padrões de Nd La Jolla e BCR-1 foram $^{143}Nd/^{144}Nd = 0,511849 \pm 0,000025$ (1σ) e $0,512662 \pm 0,000027$ (1σ), respectivamente.

Os cálculos das idades modelo Sm-Nd T_{DM} foram feitos de acordo com o modelo de estágio simples de DEPAOLO (1981), e para as amostras com $f_{Sm/Nd}$ anômalos com o modelo de duplo-estágio de DEPAOLO *et al.* (1991). As constantes utilizadas no cálculo dos T_{DM} e dos parâmetros ϵ_{Nd} , foram $^{143}Nd/^{144}Nd$ (CHUR)₀ = 0,512638 e $^{147}Sm/^{144}Nd$ (CHUR)₀ = 0,1967 (MICHARD *et al.*, 1985).

5.3 Análises Rb-Sr

O ^{87}Rb é um isótopo radioativo (pai) que desintegra-se no isótopo radiogênico ^{87}Sr (filho) com meia vida $T_{1/2} = 49$ Ga. A sistemática Rb-Sr e o método de datação isotópica estão detalhadamente expostos em FAURE, 1986, e DICKIN, 1995.

O Rb é um metal alcalino, e o Sr um metal alcalino-terroso. O primeiro substitui o K em micas, k-feldspatos, e minerais de argila, enquanto o segundo pode substituir o Ca em plagioclásio,

apatita e carbonatos (FAURE & POWELL, 1972). Este par de elementos tem comportamento geoquímico diferente, o Sr é relativamente imóvel em condições hidrotermais enquanto que o Rb é mais móvel, e dessa forma apresentem certo fracionamento nos processos de diferenciação manto-crosta. Durante a cristalização de magmas, o Sr concentra-se no plagioclásio, enquanto que o Rb permanece na fase líquida; conseqüentemente, a razão Rb/Sr do magma residual aumenta gradualmente durante os processos progressivos de cristalização. Assim, quanto mais diferenciado é o material, maior é a razão Rb/Sr (FAURE, 1986).

O sistema Rb-Sr rocha total é um dos métodos isotópicos mais usados em rochas ácidas a intermediárias, enriquecidas em Rb e/ou empobrecidas em Sr, como também em minerais individuais. Apesar da ampla aplicabilidade, a geocronologia Rb/Sr não é de fácil interpretação, visto que os dois elementos são móveis em muitos processos geológicos. O sistema isotópico pode ser perturbado facilmente por influxo de fluidos ou por eventos termiais tardios que favorecem a mobilidade do Rb e/ou Sr, desta forma modificando as razões Rb/Sr do sistema.

Por outro lado, se em amostras cogenéticas for obtido um alinhamento razoável em diagrama isocrônico, à linha de melhor ajuste pode atribuir-se a um evento geologicamente significativo tal como cristalização, metamorfismo ou alteração hidrotermal.

As idades isocrônicas minerais Rb/Sr assumem uma condição de equilíbrio isotópico, com total homogeneização isotópica dos minerais durante o metamorfismo (FAURE, 1986) e tem relação com uma temperatura característica, abaixo da qual o processo difusivo deixa de ser eficiente e, conseqüentemente, o decaimento radioativo (intragranular) evolui como num sistema fechado. De acordo com MUNHÁ & TASSINARI (1999), para taxas de resfriamento moderadas (10 - 30°C/Ma) e granulação $\phi = 2\text{mm}$, as $T_f(\text{Sr})$ do k-feldspato, plagioclásio (albita) e apatita são de $500 \pm 50^\circ\text{C}$, enquanto que para a biotita a $T_f(\text{Sr})$ é de $350 \pm 50^\circ\text{C}$. Para moscovita, apesar de não existirem dados experimentais, é geralmente aceita uma $T_f(\text{Sr}) \sim 500^\circ\text{C}$.

A razão Rb/Sr aumenta com a diferenciação do material do manto para a crosta continental. Isto acarreta um aumento importante na razão inicial ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i em rochas com evolução crustal, se comparadas com os sistemas mantélicos.

O $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ inicial é indicador petrogenético importante, e identifica a participação de material juvenil (valores entre 0,699 e 0,703) ou de protolitos crustais (valores normalmente superiores

a 0,705) (CORDANI *et al.*, 2000). No intervalo entre 0,703 a 0,706 a procedência é incerta devido aos problemas de heterogeneidade do manto, como também no caso de mistura de materiais de fontes distintas, manto–crosta (SATO *et al.*, 1995).

5.3.1 Preparação das amostras e procedimento analítico

Foram analisadas 18 amostras pelo método Rb-Sr em rocha total e mineral (biotita e plagioclásio) das unidades do Complexo Garzón.

A preparação das amostras de rocha e mineral foi similar àquela das amostras analisadas pelo método Sm/Nd. O procedimento químico foi feito de acordo com as rotinas do laboratório do CPGeo, onde o branco laboratorial foi de 4 ng de Sr. As razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ foram determinadas em espectrômetro de massa Isomass 354 com um só coletor, tendo sido corrigidas para o valor médio do padrão NBS-987 ($0,710254 \pm 0,000022$ a 2σ) e normalizadas a $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 0,1194$. A proporção $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ foi obtida através de cálculos, a partir dos valores de Rb total e Sr total. Os teores de Rb-Sr das amostras Gr-15A, V-314, V-332, Gr-15, D-982, V-198, D-806-a,b foram determinados por fluorescência de Raio-X, com uma precisão de $\leq 1,4\%$ para Rb e $\leq 1,0\%$ para Sr. Já as concentrações Rb-Sr das amostras Gr-29, Gr-29 a,b,d,e,f,h,i, V-290 e D-806-c foram obtidas por diluição isotópica, com precisão superior.

5.4 Análises Ar-Ar

O método ^{40}Ar - ^{39}Ar , cujos fundamentos apoiam-se no método K-Ar, foi empregado em anfibólios e biotitas separados das rochas regionais do Complexo Garzón. A preparação das amostras e os procedimentos de rotina efetuados no CPGeo, para este método, estão incluídos em VASCONCELOS *et al.* (2002).

Os grãos dos minerais selecionados foram montados em discos de alumínio para irradiação no reator nuclear tipo IEA-R1 no IPEN em São Paulo, cujo fluxo integrado é de 10^{16} - 10^{18} nêutrons rápidos/cm² durante um período longo de irradiação (duas semanas). O material foi irradiado conjuntamente com amostras padrão de idade Ar/Ar bem conhecida, estrategicamente localizadas no mesmo recipiente. Após a irradiação, dois ou três grãos de cada amostra foram montados num porta-amostras de cobre, e a extração do gás foi realizada em espectrômetro de massa de alta sensibilidade MAP-215-50, acoplado a um sistema de ultra-alto vácuo com feixe de raios laser.

As análises foram efetuadas pelo método de fusão por etapas, em que varias idades aparentes (normalmente entre 5 e 10) são determinadas para cada amostra.

Na interpretação de datações ^{40}Ar - ^{39}Ar normalmente utiliza-se a idade *plateau*, que corresponde a um patamar atingido por várias idades concordantes, relativas a diferentes frações do gás liberado, as quais juntas representam mais do que 50% de ^{39}Ar liberado da amostra, sem diferenças na idade aparente que possam ser detectadas a um nível de 2σ (Fleck *et al.*, 1977 *apud* McDOUGALL & HARRISON, 1999).

Alternativamente, neste método de datação pode utilizar-se a idade integrada que utiliza a quantidade total de argônio liberado na análise, e sua interpretação é similar à do método K-Ar. Por outro lado, uma idade Ideograma corresponde a um diagrama dos picos de probabilidade estatística para a amostra em questão. Nos casos de amostras com história térmica bem definida, os três tipos de idades (*plateau*, integrada, ideograma) são concordantes dentro do erro experimental.

As idades obtidas em biotita, nos casos de rochas ígneas resfriadas lentamente, e de rochas metamórficas, refletem a época do abaixamento da temperatura sob 300-350°C. No caso de hornblenda, mineral muito retentivo para argônio radiogênico, a idade reflete normalmente o resfriamento abaixo de $T_f \sim 500^\circ\text{C}$ (McDOUGALL & HARRISON, 1999).

6. INTERPRETAÇÃO DOS DADOS GEOCRONOLÓGICOS

A geocronologia é aplicada a diversas rochas do Maciço de Garzón com o propósito de obter informação dos eventos geológicos que atuaram na sua evolução. Com a interpretação conjunta das idades, da temperatura de fechamento (T_f) dos minerais, e da temperatura máxima atingida pelo metamorfismo, é possível determinar aproximadamente as épocas do seu pico metamórfico ou do metamorfismo retrogressivo. De esta forma, pode-se construir a trajetória P-T-t do metamorfismo com a combinação dos dados de idade, temperatura, pressão e evidência textural. Além disso, pode-se obter informação da história do resfriamento, acompanhando a exumação.

Com a utilização da termocronologia em rochas metamórficas, podem ser obtidas diferentes idades de sistemas geocronológicos com características cinéticas distintas (MUNHÁ & TASSINARI, 1999). Tais idades refletem as várias temperaturas de fechamento (T_f) de DODSON (1973), ou seja, aquela temperatura limite abaixo da qual a difusão deixa de ser eficiente e, conseqüentemente, o decaimento radioativo (intragranular) evolui como num sistema fechado. Entretanto, em rochas metamórficas, a presença de fluidos a baixa temperatura, associados a fases de deformação, podem afetar a T_f e apagar o sistema isotópico inicial (VILLA, 1998), sendo que para cada sistema geocronológico a T_f é variável, e depende dos coeficientes de difusão iônica dos elementos, taxa de resfriamento, granulação efetiva, bem como do modelo de difusão adotado (SPEAR, 1991).

Por meio da geoquímica isotópica (Sr e Nd) pretende-se indagar a respeito dos processos que contribuíram na formação do orógeno. Ora distinguir assinaturas juvenis ou processos de contaminação crustal em rochas magmáticas, ora fornecer idades médias de residência crustal para rochas de origem sedimentar ou vulcânico.

Os dados geocronológicos obtidos serão apresentados em seqüência, de acordo com cada metodologia empregada. A descrição petrográfica das amostras empregadas para datação está compilada no ANEXO V e a localização das mesmas aparece no ANEXO I.

6.1 Datações U-Pb em zircão

As análises isotópicas foram realizadas em zircões de três amostras das unidades do Complexo Garzón: Gnaiss de Guapotón-Mancagua (V-198), Granulitos do Vergel (Gr-29), e Gnaiss das Margaritas (Gr-15 A). Adicionalmente foi analisado um granodiorito gnáissico da Cocha Río Tellez (A-746), localizado ao sudeste do Maciço de Garzón.

Os resultados U-Pb SHRIMP para todas as amostras são apresentados sucintamente na TABELA 1 e de forma completa no ANEXO VI.

A FIGURA 24 é um diagrama Concórdia que inclui os pontos analíticos de um ortognaisse (V-198) do Gnaiss de Guapotón-Mancagua. Os zircões desta amostra são rosa pálido, com formas alongadas, arredondados e multifacetados, e proporções comprimento/largura 3:1. As imagens de catodoluminiscência mostram núcleos com fraca zonação oscilatória, o qual sugere crescimento magmático, e sobrecrecimentos de moderada a baixa luminosidade, de origem metamórfica (FIGURA 25). As doze análises realizadas em 11 zircões podem ser agrupadas em duas populações. A primeira, definida por três dados concordantes (análises 5, 6 e 11 dos núcleos), fornece uma idade média de 1148 ± 69 (MSWD = 2,3). Os quatro outros dados concordantes (análises 2,7,10,12 das bordas) representam a segunda população, com idade média de 1005 ± 26 (MSWD = 0,7). As proporções Th/U dos zircões analisados estão entre 0,21-0,46, típicas de zircões ígneos e metamórficos de alto grau (VABRA *et al.*, 1999). Descartaram-se no cálculo de idade as análises discordantes com respeito à concórdia (1,3,4,8 e 9), e/ou com grandes erros analíticos. A idade mais antiga se interpreta como o tempo de cristalização de um precursor granítico, e a mais jovem reflete o metamorfismo superimposto sobre o precursor, na transição entre as fácies anfibolito-granulito. A interpretação é feita com base nas imagens de catodoluminiscência, e de acordo com os dados geoquímicos de KROONENBERG (2001) e RESTREPO-PACE (1995) que indicam um ambiente cálcio-alcalino para a seqüência de rochas do maciço, e sugerem uma fase de magmatismo antes da colisão final. A idade de intrusão do batolito de 1148 ± 69 Ma, levando em conta o erro, se sobrepõe ao valor de 1098 ± 9 Ma reportado por RESTREPO-PACE *et al.* (1997) dos zircões analisados pelo método U-Pb convencional.

Na FIGURA 26 estão os dados analíticos dos zircões do granulito de composição enderbítica (Gr-29) pertencente aos Granulitos do Vergel. Duas populações são identificadas com base na morfologia, uma de zircões arredondados castanho escuros com proporções comprimento/largura de 2:1, e outra de zircões mais alongados. Os zircões são altamente metamictos, com altos conteúdos de U, o que facilita perdas de Pb pela maior destruição do retículo cristalino. As idades são discordantes, contudo podem-se determinar três tendências diferentes. Duas análises discordantes (8,12) indicam a presença de componentes > 1300 Ma, três análises (1,3,14) definem um arranjo que corta a concórdia ao redor de 1100 Ma com intercepto inferior a 400 Ma, e outras três análises de zircões arredondados (2,4,e 13) também sugerem um grupo por volta de 1000 Ma. No diagrama de TERA & WASSERBURG (1972) (FIGURA 27) verifica-se que as demais análises (5,6,7,9,10,11), que têm os maiores conteúdos de U,

TABELA 1. Idades U-Pb SHRIMP em zircão de amostras do Maciço de Garzón e Complexo Migmatítico da Cocha Rio Tellez

Rocha	Análise	Hábito	U (ppm)	Pb (ppm)	Idades (Ma)				
					$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm$	% Disc.
Ortognaisse bt-hbl V-198	1	f	38	6,0	1073	23	743	220	-44
	2	p,b,h,	338	49,1	1007	18	996	27	-1
	3	p,m	174	30,7	1200	20	1067	42	-12
	4	p,m,osc	99	15,8	1098	21	1255	48	12
	5	p,n	227	38,7	1165	19	1118	30	-4
	6	f,n,osc	387	64,4	1141	18	1183	20	4
	7	f,b	80	11,8	1014	18	1019	93	1
	8	f,h	319	52,0	1111	18	918	130	-21
	9	p	197	28,9	1012	18	946	44	-7
	10	b	495	74,9	1045	16	1020	19	-2
	11	f,n	202	34,7	1175	23	1132	22	-4
	12	p,b	411	61,0	1025	16	984	26	-4
Granulito opx-cpx Gr-29	1	i	1066	162	1050	12	1091	8,9	4
	2	i	1214	162	932	11	1017	9,1	8
	3	i	1312	203	1066	13	1106	7,5	4
	4	i	877	113	897	11	1000	13	10
	5	i	1280	165	899	12	1361	13	34
	6	i	1611	154	679	9,2	1178	41	42
	7	i	1500	162	759	9,3	1390	93	45
	8	i	898	175	1320	15	1402	6,8	6
	9	i	1256	180	995	15	1089	11	9
	10	i	869	92,6	753	9,2	1160	12	35
	11	i	564	74,2	912	11	1160	59	21
	12	i	634	119	1276	15	1423	9,6	10
	13	i	745	96,8	908	11	1035	11	12
	14	i	1077	172	1097	16	1139	12	4
Gnaiss qtz-kfd-bt Gr-15	1	f	431	60,4	973	22	998	17	2
	2	f	655	92,5	981	22	1005	14	2
	3	f	637	90,0	981	12	1028	11	5
	4	p	470	66,5	983	12	1006	14	2
	5	p	897	127	985	17	1024	9,8	4
	6	p	429	61,1	988	12	1036	13	5
	7	p	484	67,5	970	16	1006	15	4
	8	f	415	58,2	973	12	999	15	3
	9	p	264	37,2	980	12	1034	18	5
	10	p	460	66,1	997	12	1017	14	2
	11	f	377	53,2	978	12	1003	17	2
	12	p	447	64,2	996	12	1002	15	1
Granodiorito gnaiss. A-746	1	p	39	0,9	165	6,8	-----	---	---
	2	p	164	3,7	164,9	6,6	-----	---	---
	3	p	24	0,6	173	8,7	-----	---	---
	4	p	325	7,5	168	6,4	-----	---	---
	5	p	62	1,4	156	6,3	-----	---	---
	6	coberto	65	1,6	175	6,5	-----	---	---
	7	p	57	1,4	172	6,4	-----	---	---
	8	p	33	0,8	162	11	-----	---	---
	9	p	53	1,2	161	6,7	-----	---	---
	10	p	62	1,5	173	6,4	-----	---	---
	11	p	61	1,3	159	6,0	-----	---	---
	12	f	164	3,8	166	6,4	-----	---	---

Hábitos: p=prismático, i=isométrico, f=fragmento

Sítio da análises: b=borda, n=núcleo, m=intermediário

Microestruturas (Imagens de catodoluminiscência): osc=zoneamento oscilatório, h=zoneamento homogêneo

* = Idades obtidas com razões corrigidas para Pb cm assumindo idade concordante $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$

FIGURA 24 - Diagrama Concórdia do ortogneisse V-198.

FIGURA 25 - Imagens de catodoluminiscência do ortogneisse V-198, análises de núcleo em amarelo e de bordas em vermelho.

FIGURA 26 - Diagrama Concórdia do granulito enderbítico Gr-29.

FIGURA 27 - Diagrama Tera-Wasserburg do granulito enderbítico Gr-29.

sugerem perdas recentes de Pb, evidenciadas pelo deslocamento em sentido linear ao interior do diagrama (NUTMAN, 2000). A metamictização aconteceu em condições de temperatura <300°C visto que a idade Ar-Ar na biotita de 914 Ma da mesma amostra (FIGURA 43) não foi rejuvenescida. As formas arredondadas dos grãos, a variedade de tamanhos e as tendências

diferentes na idade indicam a origem detrítica dos zircões. Neste sentido os valores de ~ 1100 e 1400 Ma representem fontes com idades mínimas mesoproterozóicas, e o valor próximo de ~ 1000 Ma representa um evento metamórfico, apoiado na isócrona mineral Sm-Nd de 929 ± 32 Ma, e também na idade Ar-Ar mencionada em biotita do granulito.

A FIGURA 28 é o diagrama Concórdia para o granito-gnaiss (leucossoma 2 de injeção, amostra Gr-15-a) do Gnaiss das Margaritas. Os zircões são prismas rosados, biterminados e com faces bem formadas. Das doze análises, nove dados (1,2,4,5,7,8,10,11,12) são concordantes e definem uma idade média de 1006 ± 6.4 Ma (MSWD = 0.51), a qual representa a idade de cristalização magmática para esta amostra.

FIGURA 28 - Diagrama Concórdia do quartzo-feldspato-biotita gnaiss (leucossoma 2 de injeção, amostra Gr-15a).

FIGURA 29 - Diagrama Tera-Wasserburg do granodiorito gnáissico A-746

FIGURA 30 - Imagens de catodoluminescência do granodiorito gnáissico A-746

de 1,5:1 a 3:1, rosa translúcidos, com faces bem definidas e terminações bipiramidadas. Os doze dados analíticos definem uma idade média de 166 ± 4 Ma (MSWD = 0.85), interpretada como a época de colocação do ortognaisse. Nestes zircões a produção de ^{207}Pb foi baixa, e as razões medidas $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ apresentam pouca precisão, originando razões $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ com erros muito altos, de modo que as razões radiogênicas das análises (1,3,5,6,7,8,9) não são calculadas pelo programa Squid 1.02 de LUDWIG (2001) (ANEXO VI).

6.2 Sistemática Sm-Nd

Os resultados isotópicos das análises Sm-Nd em rocha total (RT) e mineral são listados na TABELA 2. Os gráficos das figuras 31 a 34 representam as interpretações escolhidas para este trabalho, e incluem:

- quatro isócronas em RT e granada das amostras V-332 e D-982 dos Granulitos do Vergel, e C-32 e Gr-15 p do Gnaiss das Margaritas.
- uma isócrona mineral com plagioclásio, piroxênio e a rocha total da amostra Gr-29 dos Granulitos do Vergel.
- dez idades T_{DM} das amostras: V-198 do Gnaiss de Guapotón-Mancagua, D-982, V-332, V-314, Gr-29, Gr-29b, Gr-29d dos Granulitos do Vergel, e C-32, Gr-15p, Gr-15-A do Gnaiss das Margaritas.

Granadas separadas do granulito charnockítico (V-332) e do gnaiss quartzo-feldspático (D-982), que fazem parte dos Granulitos do Vergel, fornecem idades Sm-Nd em RT-granada de 935 ± 5 e 925 ± 7 Ma, respectivamente (FIGURA 31). Os valores das idades aparentes para estas duas rochas são similares dentro dos erros experimentais. As idades Sm/Nd RT-granada de um gnaiss biotítico com granada (Gr-15p) e um granulito com ortopiroxênio-granada-hornblenda (C-32), do Gnaiss das Margaritas, são mais antigas, com valores de 1034 ± 6 e 991 ± 8 Ma, respectivamente (FIGURA 32).

As idades de ~ 930 Ma dos Granulitos do Vergel são significativamente mais jovens do que o metamorfismo de ~ 1000 Ma U-Pb SHRIMP em zircão reportado no granulito Gr-29. Dessa forma, são interpretadas como idades de resfriamento deste evento abaixo de 600°C, considerando-se o valor de T_f da granada (MEZGER *et al.*, 1992).

As idades Sm-Nd em RT-granada por volta de 1034 e 990 Ma do Gnaiss das Margaritas interpretam-se como a época do resfriamento do evento metamórfico prógrado de alto grau. A primeira idade, do gnaiss biotítico Gr-15p, representa o resfriamento abaixo da T_f de 600°C de MEZGER *et al.* (1992). A segunda idade, do granulito máfico C-32 é mais jovem, e pode

TABELA 2 - Análises Sm-Nd em rocha total e mineral das amostras do Maciço Garzón

Amostra	Sm (ppm)	Nd (ppm)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	erro (%)	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	erro (%)	t (Ma)	E Nd ₍₀₎	E Nd (T)	T _{DM} ^a	T _{DM} ^b
Gnaiss de Guapotón-Mancagua											
V-198 (ortogneiss bt-hbl)											
Rt	6,324	34,019	0,1124	0,35	0,511948	0,0023	---	-13,46	-2,71	1,65	---
Granulitos do Vergel											
D-982 (gnaiss qtz-pl-grt)											
Grt	12,526	3,955	1,9150	0,36	0,522892	0,0141	925 °	-17,65	-2,31	1,45	---
Rt	0,994	7,866	0,0764	0,52	0,511733	0,0033					
V-332 (granulito charnockítico)											
Grt	17,679	11,579	0,9233	0,35	0,516829	0,0027	935 °	-12,07	-4,7	2,08	1,96
Rt	2,540	11,060	0,1389	0,35	0,512019	0,0021					
V-314 (gnaiss qtz-fd com hbl-bt)											
Rt	17,843	67,973	0,1587	0,37	0,512371	0,0025	---	-5,21	-0,36	1,85	1,62
Gr-29 (granulito enderbítico)											
Pl	0,888	5,469	0,0982	0,31	0,511852	0,0015	---	---	---	---	---
Bt	0,734	3,017	0,1470	0,34	0,512124	0,0027	---	---	---	---	---
Px	1,637	6,012	0,1646	0,36	0,512258	0,0021	---	---	---	---	---
Rt-Gr-29	2,714	13,302	0,1234	0,32	0,511994	0,0029	991 °	-12,56	-3,21	1,76	---
Rt-Gr-29b	5,362	17,726	0,1829	0,32	0,512381	0,0027		-5,01	-3,25	3,47	1,83
Rt-Gr-29d	5,095	20,418	0,1509	0,33	0,512144	0,0111		-9,64	-3,79	2,18	1,88
Gnaiss das Margaritas											
C-32 (granulito máfico)											
Grt	15,338	17,112	0,5420	0,38	0,514638	0,0021	990 °	-14,88	-4,7	1,83	---
Rt	10,547	54,574	0,1169	0,34	0,511875	0,0029					
Gr-15p (paragneiss com bt-grt)											
Grt	2,423	1,256	1,1665	0,41	0,518680	0,0040	1034 °	-11,76	-10,54	---	2,34
Rt	8,149	26,339	0,1871	0,37	0,512035	0,0025					
Gr-15A (gnaiss qtz-fd-bt, leucossoma injeção)											
Rt	2,985	18,195	0,0992	0,30	0,511800	0,0033	---	-16,35	-3,91	1,65	---

a Idade modelo Nd segundo DePaolo (1981), em Ga

b Idade modelo Nd em estadió duplo segundo DePaolo & Schubert (1991) para metamorfismo 1,0 Ga, em Ga

c Idade isocrona Rt-grt

d Idade isocrona RT

T = 1000 Ma

Grt=granada, Rt=rocha total, Pl=plagioclásio, Px=piroxênio, Bt=biotita

FIGURA 31 - Isócronas Sm-Nd em rocha total e granada do granulito charnockítico V-332 e do quartzofeldspato gnaiss D- 982, pertencentes aos Granulitos do Vergel.

FIGURA 32 - Isócronas Sm-Nd em rocha total e granada do biotita-granada gnaiss Gr-15p e do granulito máfico C-32, pertencentes ao Gnaiss das Margaritas.

representar a época do equilíbrio em facies granulito desta porção do orógeno. Seu valor, de 990 Ma, é similar à idade aparente Ar-Ar na hornblenda, de 980 ($T_f \sim 500^\circ\text{C}$) obtida na mesma amostra (FIGURA 59). A incoerência aparente nas épocas metamórficas pode ser dirimida ao

interpretar a evolução do granulito máfico C-32 como tendo sido afetado pelo cisalhamento dúctil, em condições de alto grau, com desenvolvimento de Bt + Pg $\pm$ Sil em uma segunda foliação milonítica com respeito ao equilíbrio granulítico, fornecendo idade aparente mais jovem (PRANCHA 3 – Fotomicrografias 7 e 8).

O equilíbrio da associação mineral no diagrama P-T do gnaiss biotítico Gr-15p, o qual se localiza no mesmo afloramento da amostra Z-365, esta próximo ao campo definido pela associação do granulito C-32 (FIGURA 21). Este campo representa a parte de mais alta temperatura da trajetória ITD, a qual define o retrometamorfismo do evento prógrado (FIGURA 21). A idade mínima para este evento metamórfico prógrado, ao redor de 1034 Ma para esta unidade, é maior do que idade de 1006 Ma (U-Pb SHRIMP em zircão) obtida do leucossoma (Gr-15 A) que injeta os gnaisses (Gr-15p, Gr-15 e Z-365).

O granulito com ortopiroxênio e clinopiroxênio Gr-29, pertencente aos Granulitos do Vergel, exibe uma isócrona mineral Sm-Nd com plagioclásio e piroxênio de 929 ± 32 Ma (MSWD=2.0) (FIGURA 33). A biotita desta associação mineral possivelmente foi equilibrada a uma temperatura menor, fornecendo uma idade aparente mais jovem, ao redor de 915 Ma, com erro elevado. A idade aparente em torno de 930 Ma representa o resfriamento do evento metamórfico de ~ 1000 Ma indicado pelo zircão da mesma amostra pela técnica U-Pb SHRIMP, sendo concordante com as idades Ar-Ar em biotita em torno de 917 Ma obtidas para as amostras GR-29 e V-332 da mesma unidade (FIGURA 44).

As idades modelo Sm-Nd T_{DM} foram calculadas usando o modelo simples para as amostras regionais do maciço (V-198, D-982, Gr-29, C-32, Gr-15p e Gr-15 A) em que a razão $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ entre 0.085 a 0.125, pode ser considerada dentro da normalidade.

Entretanto, em algumas amostras, o metamorfismo granulítico de aproximadamente 1000 Ma parece ter originado considerável fracionamento na razão Sm/Nd, na escala da rocha total. Nestas amostras preferiu-se optar pelo modelo em estágio duplo (DE PAOLO et al., 1991). Isto aconteceu para as amostras (V-332, V-314, Gr-29 b e d.), as quais contêm respectivamente granada, clinopiroxênio e hornblenda. De acordo com BEA (1996), as granadas de fácies granulito têm notável enriquecimento em Sm e Nd, e os clinopiroxênios e anfibólios tem conteúdos apreciáveis de ETR.

As idades modelo Sm-Nd T_{DM} foram incluídas na FIGURA 34, inclusive o hornblenda-plagioclásio-quartzo gnaiss (HP-3) e o plagioclásio-quartzo-hornblenda ortognaiss (SnAnKr-1) de RESTREPO- PACE et al. (1997), que apresentam valores entre 1.45 e 1.96 Ga. Não foi

incluído o T_{DM} da amostra Gr-15p (2.35 Ga), um paragnaisse com valor excessivo na razão Sm/Nd, por estar muito diferente dos valores médios das demais amostras.

FIGURA 33 - Isócrona Sm-Nd em rocha total, plagioclásio e piroxênio do granulito enderbítico Gr-29, pertencente aos Granulitos do Vergel.

FIGURA 34 - Gráfico T_{DM} das rochas do Maciço de Garzón. Inclui as rochas V-198, V-314, Gr-29b e d, V-332, D-982, C-32 e Gr-15a deste trabalho em azul, e as rochas HP-3 e SnAnKr-1 de RESTREPO-PACE, et al. (1997) em verde.

Devido à possível origem sedimentar das rochas do Maciço de Garzón (KRONENBERG, 1982), e à presença de fontes com diferentes idades sugeridas pela geocronologia do zircão (várias populações de idade do granulito Gr-29), as idades modelo Sm-Nd T_{DM} representam seguramente uma mistura de diferentes fontes, algumas delas mais antigas do que o Mesoproterozóico.

Os valores indicativos de residência crustal sugerem uma possível diferença nas idades dos protolitos. As idades mais antigas devem representar precursores sedimentares com influência de fontes crustais retrabalhadas, e os valores mais jovens implicam na participação de fontes juvenís e até misturas de fontes na formação das rochas. Particularmente, as idades de residência crustal do ortogneisse do Gnaiss de Guapotón-Mancagua sugerem participação de fontes juvenís, mais se pressupõe contaminação do magma original com material da crosta, levando em conta o caráter crustal das unidades adjacentes e o intervalo de tempo decorrido até a cristalização do seu protolito.

6.3 Geoquímica isotópica Rb-Sr

Os dados Rb/Sr em rocha total e mineral são apresentados na TABELA 3. Incluíram-se aí os dados de Alvarez (1981 a) e Priem *et al.* (1989). Os gráficos das FIGURAS 35,36,37 e 38 apresentam a interpretação escolhida para este trabalho, e incluem:

- um diagrama isocrônico rocha total de todas as amostras regionais, e duas isócronas em RT de amostras do mesmo afloramento Gr-29, Gr-29 a,b,d,f,i,e,h e D-806a, D-806b, D-806c.
- Uma isócrona mineral com biotita, plagioclásio e rocha total da amostra Gr-29.

A FIGURA 35 contém todos os dados Rb-Sr em rocha total de 26 amostras disponíveis das rochas regionais do Maciço de Garzón. As 26 amostras não são evidentemente cogenéticas, e seus pontos analíticos estão dispersos no diagrama isocrônico, evidenciando em muitos casos sistemas abertos e mobilidade de Rb e/ou Sr. Em vista da idade preferencial do metamorfismo regional, de 1000 Ma (U-Pb SHRIMP em zircão da amostra V-198) foi traçada a isócrona de referência de 1000 Ma com uma razão inicial $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0.709$, valor médio estimado.

Na figura 35 estão assinalados os conjuntos formados pelas amostras dos afloramentos Gr-29 e D-806, que serão melhor analisados nas figuras 37 e 39. Estão assinalados também os pontos analíticos das determinações fornecidas por ALVAREZ (1981 a) e PRIEM *et al.* (1989). As idades em torno de 1200 Ma (ALVAREZ, 1981a e PRIEM *et al.*, 1989) foram interpretadas como a época do metamorfismo dos Granulitos do Vergel. Os pontos analíticos de ALVAREZ (1981 a) estão próximos à isócrona de referência de 1000 Ma. Entretanto, os dados de

TABELA 3 - Análises Rb-Sr em rocha total e mineral de amostras do Maciço de Garzón

Amostra	Rb (ppm)	Sr (ppm)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	erro (%)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	erro (%)	t (Ma)	$\epsilon_{\text{Sr}} (0)$	$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i (T)$	$\epsilon_{\text{Sr}} (T)$
Gnaiss de Guapotón-Mancagua										
V-198 (ortognaisse bt-hbl)										
Rt	182,3	304,9	1,734	0,346	0,731405	0,0060	1000 ^a	381,9	0,707	46,5
Granulitos do Vergel										
D-982 (gnaiss qtz-pl-grt)										
Rt	119,6	135,6	2,564	1,599	0,755171	0,0056	---	719,2	0,719	215,7
V-332 (granulito charnockítico)										
Rt	60,0	220,3	0,789	0,760	0,723179	0,0030	---	265,1	0,712	121,7
V-314 (gnaiss qtz-fd com hbl-bt)										
Rt	171,4	80,2	6,269	1,292	0,850512	0,0031	---	2072,5	0,761	817,9
Gr-29 (granulito enderbítico)										
Rt-Gr-29a	45,51	336,44	0,3918	0,816	0,71523	0,0056	---	152,3	0,709	---
Rt-Gr-29b	11,02	349,19	0,0914	0,765	0,71107	0,0042	---	93,2	0,710	91,4
Rt-Gr-29d	64,69	372,84	0,5026	0,815	0,71805	0,0070	---	192,3	0,711	107,0
Rt-Gr-29f	35,01	324,58	0,3124	0,800	0,71585	0,0042	---	161,1	---	---
Rt-Gr-29i	17,5	389,24	0,1302	0,845	0,71207	0,0084	---	107,5	---	---
Rt-Gr-29e	45,96	268,25	0,4964	0,766	0,71864	0,0070	---	200,7	---	---
Rt-Gr-29h	23,86	337,84	0,2046	0,782	0,71237	0,0098	---	111,7	0,709	---
Rt-Gr-29	26,00	407,98	0,1845	0,759	0,71261	0,0098	---	115,1	0,710	94,4
Pl	30,70	435,89	0,2039	0,785	0,71295	0,0042				
Bt	624,65	20,21	101,1193	0,830	2,04401	0,0108				
V-290 (gnaiss sienogranítico)										
Rt	134,40	27,10	14,8118	0,799	1,03399	0,0106	---	4676,9	---	
D-806 (granulito bandeado opx-cpx-hbl)										
Rt-D-806a	114,80	404,40	0,823	1,094	0,719730	0,0131		216,2		---
Rt-D-806b	107,10	402,80	0,77	0,260	0,719002	0,0111	959 ^b	205,9	0,709	---
Rt-D-806c	56,83	345,88	0,4759	0,777	0,71497	0,0126		148,6		---

continua

Amostra	Rb (ppm)	Sr (ppm)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	erro (%)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	erro (%)	t (Ma)	conclusão		
								$\epsilon \text{ Sr}_{(0)}$	$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ (T)	$\epsilon \text{ Sr}$ (T)
CIA-1 (gnaisse hbl-bt) **										
Rt	162	169	2,775	0,5	0,749165	0,02	---	---	---	---
CIA-3 (gnaisse hbl-bt) **										
Rt	151	175	2,503	0,5	0,745809	0,02	---	---	---	---
CIA-10 (gnaisse granítico) **										
Rt	78,7	309	0,7369	0,5	0,721156	0,02	---	---	---	---
CIA-14 (aplito grt) **										
Rt	187	120	4,555	0,5	0,796238	0,02	---	---	---	---
JAA-1177 (leucossoma qtz-fd-bt) *										
Rt	179,4	226,5	2,30	0,05	0,7428	0,0007	---	---	---	---
JAA-1174 (gnaisse qtz-fd-bt) *										
Rt	115,8	334	1,00	0,02	0,7210	0,0016	---	---	---	---
JAA-1179 (leucossoma qtz-fd-bt) *										
Rt	129,5	515	0,73	0,01	0,7145	0,0018	---	---	---	---
JAA-1180 (gnaisse qtz-fd-bt) *										
Rt	120,5	370,0	0,94	0,02	0,7207	0,0009	---	---	---	---
Gnaisse das Margaritas										
Gr-15p (paragnaisse com bt-grt)										
Rt	145,5	101,0	4,206	1,070	0,797340	0,0070	---	1317,8	0,737	481,4
Gr-15A (gnaisse qtz-fd-bt, leucossoma injeção)										
Rt	156,4	376,5	1,205	0,249	0,726955	0,0130	1000 ^c	318,7	0,710	90,8
* Dados de Alvarez (1981a)			a = R_i de 0.709		T = 1000 Ma					
** Dados de Priem <i>et al.</i> (1989)			b = R_i de 0.708							
Rt = rocha total, Pl = plagioclásio, Bt = biotita			c = R_i de 0.712							

PRIEM *et al.* (1989) encontram-se muito dispersos com respeito a essa isócrona de referência, e tem que ser vistos com precaução.

A amostra V-198 do Gnaiss de Guapotón-Mancagua fornece idade U-Pb SHRIMP em zircão, de cristalização magmática, ao redor de 1140 Ma e posterior metamorfismo a 1005 Ma. Seu ponto analítico Rb-Sr situa-se praticamente sobre a isócrona de referência, confirmando a idade metamórfica U-Pb. O valor de 1596 ± 300 Ma (PRIEM *et al.*, 1989), o qual sustenta a correlação litológica e geocronológica dos gnaisses de Guapotón-Mancagua com os gnaisses do Escudo de Guiana, ao que parece, não tem significado geológico.

O leucossoma Gr-15 do Gnaiss das Margaritas (FIGURA 35), com idade de cristalização de 1005 Ma U-Pb em zircão, apresenta também o seu ponto analítico próximo da isócrona de referência. Desta forma, pode ser considerado como concordante em idade, desde que para a sua razão inicial ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$), seja assumido o valor de 0.712.

FIGURA 35 –Diagrama Isocrônico Rb-Sr em rocha total das amostras regionais do Maciço de Garzón. Inclui dados isotópicos desta pesquisa (amostras Gr-29, Gr-29a, b, d, e, f, h, i, D-806 a,b,c, V-332, D-982, V-314, V-290, Gr-15 A, Gr-15p e V-198), de ALVAREZ, 1981 (JAA-1174,1177,1179 e 1180), e de PRIEM *et al.*, 1989 (CIA-1, 3, 10, 14)

Os pontos analíticos das amostras V-314, V-290, D-982 e Gr-15p desta pesquisa, bem como a CIA-14 de Priem *et al.* (1989) condicionam pelo menos duas interpretações alternativas. A

primeira é aquela já mencionada, de mobilidade química durante o metamorfismo provocando dispersão no diagrama isocrónico. Na segunda, as amostras de rocha total preservariam de alguma forma a herança de razões isotópicas de Sr mais elevadas, correspondendo a protolitos de idade mesoproterozóica. Embora o sistema Rb-Sr experimente mobilidade durante o metamorfismo, segundo FAURE & POWELL (1972) esta mobilidade afetaria em algum grau a razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ das amostras mas não apagaria completamente a sua origem, sobretudo quando a rocha tivesse razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ elevadas.

As razões iniciais a 1000 Ma ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_{i-1000} para as amostras aparentemente menos mobilizadas (V-332, Gr-29-a,h, D-806-a,b,c) dos Granulitos do Vergel e a amostra Gr-15a do Gnaiss das Margaritas estão acima de 0.709. Tais elevadas razões iniciais podem indicar participação de material siálico em sua origem, o que é também sugerido pelas idades modelo Sm-Nd T_{DM} . A amostra V-198 de um ortogneisse do Gnaisses de Guapotón-Mancagua tem o valor de 0.707 para sua razão inicial a 1000 Ma (TABELA 3). Este valor mais baixo, se comparado com os granulitos e gnaisses, sugere participação de maior proporção de material mantélico na formação do seu protolito.

Os parâmetros ϵ_{Nd} e ϵ_{Sr} para todas as amostras regionais do Maciço de Garzón são incluídos no diagrama da FIGURA 36, e confirmam a derivação crustal das rochas estudadas com valores negativos de ϵ_{Nd} e altamente positivos do ϵ_{Sr} .

O diagrama isocrónico Rb-Sr (FIGURA 37) contem os dados de rocha total de 8 amostras cogenéticas, do mesmo afloramento, (granulitos enderbíticos Gr-29, Gr-29-a,b,d,e,f,i,h) pertencentes aos Granulitos do Vergel, com baixos valores da razão Rb/Sr. As amostras formam uma nuvem no diagrama, e definem apenas uma tendência. Para este granulito Gr-29 foi obtida uma idade do metamorfismo de aproximadamente 1000 Ma com base na datação U-Pb SHRIMP em zircão. Todas as amostras posicionam-se à esquerda e acima da isócrona de referência construída para 1000 Ma com razão inicial de 0.709. Este sistema isotópico, na escala de afloramento, parece indicar mobilidade, da mesma forma que os granulitos em geral na escala regional. O espalhamento observado nos valores Rb/Sr pode-ser devido ao comportamento isotópico variável durante o metamorfismo granulítico, com empobrecimento relativo em Rb, o qual nessas condições é mais móvel do que o Sr. Com efeito, na Tabela 3 pode ser verificado que os teores de Rb das amostras do afloramento Gr-29 são as menores reportadas para os Granulitos do Vergel.

O sistema isotópico da isócrona mineral Rb-Sr (Gr-29, Bt, Pl) forneceu uma idade de 923 ± 8 Ma (MSWD = 0.6) (FIGURA 38). Isto indica que, mesmo que o sistema de rocha total desta

FIGURA 36 - Gráfico $\epsilon_{Nd}/\epsilon_{Sr}$ para as amostras do Maciço de Garzón. As rochas dos Granulitos do Vergel estão em azul, do Gnaiss das Margaritas em verde, e do Gnaiss de Guapotón-Mancagua em vermelho.

FIGURA 37 - Diagrama isocrônico Rb-Sr para as amostras cogenéticas de rocha total Gr-29 e Gr-29a, b, d, e, f, h, i pertencentes aos Granulitos do Vergel.

FIGURA 38 - Isócrona Rb-Sr em rocha total, plagioclásio e biotita da amostra Gr-29, pertencente aos Granulitos do Vergel.

FIGURA 39 - Isócrona Rb-Sr em rocha total das amostras do granulito bandado D-806a, b, c pertencentes aos Granulitos do Vergel.

amostra tenha sido aberto e modificado durante o metamorfismo a 1000 Ma (FIGURA 35), os seus minerais foram isotopicamente homogeneizados (FAURE & POWELL, 1972). Esta idade

representa essencialmente o fechamento da biotita abaixo de temperatura de 350°C (MUNHÁ & TASSINARI, 1999) durante a exumação e o concomitante resfriamento do metamorfismo de 1000 Ma, sendo concordante com a idade Ar-Ar da mesma biotita de 914 ± 3 Ma (FIGURA 43).

A isócrona de três amostras de rocha total de um granulito bandado (D-806-a,b,c) fornece uma idade de 959 ± 28 (FIGURA 39), aqui interpretada como apresentando possivelmente a época do metamorfismo granulítico. Esta idade não difere muito, considerando a sua pouca precisão, daquela obtida para o metamorfismo da amostra Gr-29 (U-Pb em zircão), de 1000 Ma.

6.4 Datações Ar-Ar em minerais separados

46 idades Ar-Ar em 18 minerais separados (biotita e hornblenda) de 12 amostras foram obtidas do Gnaiss de Guapotón-Mancagua (V-198), Granulitos do Vergel (V-332, Gr-29, D-986, D-982, V-309), Gnaiss das Margaritas (C-302, C-271, C-299, C-32, Gr-15p), e do gnaiss granodiorítico do Complexo Migmatítico da Cocha Rio Tellez (A-746), pelo método de aquecimento por etapas. As idades são compiladas na TABELA 4, as amostras estão localizadas no ANEXO I, e os dados analíticos completos estão no ANEXO VII.

FIGURA 40 - Espectro de degaseificação da hornblenda, amostra V-198

Do Gnaiss de Guapotón-Mancagua foi analisada a amostra V-198. Dois grãos de hornblenda definem espectros, semelhantes com importantes perdas de argônio nas primeiras etapas (FIGURA 40). As etapas intermediárias definem um *pseudo-plateau* em torno de 710 Ma. Os três grãos de biotita, embora tenham espectros com comportamento interno similar de liberação do gás e perdas de argônio nos primeiros steps, mostram idades aparentes muito diferentes, e idades integradas entre 299 e 480 Ma (FIGURA 41). Tais espectros indicam aquecimentos, possivelmente associados com hidrotermalismo, com idade máxima em torno

TABELA 4 - Idades Ar-Ar em biotita e hornblenda das amostras do Maciço de Garzón e do Complexo Migmatítico da Cocha Rio Tellez

Amostra	Idade Plateau Ma	Idade Integrada Ma	Idade Ideograma* Ma
Gnaiss de Guapotón-Mancagua			
V-198 (ortogneiss bt-hbl)			
Bt		479.0 ± 0.5 417.0 ± 0.4 298.8 ± 0.4	
Hbl		644.7 ± 0.7 670 ± 0.8	
Granulitos do Vergel			
V-332 (granulito charnockítico)			
Bt	919.7 ± 0.8 985 ± 3** 907.4 ± 1.0	918.8 ± 0.8 919.2 ± 0.8 904.2 ± 0.8	917 ± 3
Gr-29 (granulito enderbítico)			
Bt	914.3 ± 1.3 913.6 ± 1.1	914.3 ± 1.3 912.1 ± 1.1 937.1 ± 1.2	914 ± 3
D-986 (granulito máfico)			
Bt		782.3 ± 0.8 863.6 ± 0.8 834 ± 0.8	
Hbl		6980 ± 50 6520 ± 40	
D-982 (gneiss com bt-grt)			
Bt		857.4 ± 0.7 859.8 ± 0.8	
V-309 (granulito máfico)			
Bt	928.2 ± 1.2 976 ± 0.9 964 ± 1.0	930.4 ± 0.9 974.8 ± 0.9 963 ± 1	971 ± 4
Hbl	977.7 ± 1.6 981 ± 1.6 993.9 (step I)	1002 ± 1.3 999.5 ± 1.5 1044 ± 1.6	979 ± 3
Gnaiss das Margaritas			
C-302 (gneiss qtz-pl com biotita)			
Bt	1007.3 ± 0.9 956.1 ± 1.1 1011.6 ± 1.1	1006.6 ± 0.8 947.3 ± 0.9 1007.6 ± 0.9	1009 ± 2

continua

continua conclusão			
Amostra	Idade Plateau Ma	Idade Integrada Ma	Idade Ideograma* Ma
C-271 (granulito enderbítico)	1044.7 ± 1.1	1034.1 ± 0.9	
Bt	1017.8 ± 1.2	1015.2 ± 1.2	1032 ± 6
	1032.9 ± 1.1**	1028.2 ± 1.0	
C-299 (gnaiss com bt-opx-cpx-hbl)			
Bt	977.3 ± 1.9	972.6 ± 1.1	
	981.1 ± 1.2	980.1 ± 0.8	980 ± 2
Hbl		1076.5 ± 1.1	
		1067.5 ± 1.2	
C-32 (granulito máfico)			
Bt	954.6 ± 1.3	954.8 ± 0.8	
	948.3 ± 1.1	945.2 ± 0.8	951 ± 3
Hbl	982.3 ± 1.6	992.2 ± 1.0	
		1001.2 ± 0.9	984 ± 3
Gr-15p (gnaiss biotítico)			
Bt	964 ± 1.1	960.9 ± 1.0	
	974.2 ± 1.1	966.3 ± 0.9	967 ± 3
	962 ± 1.1	957 ± 1.1	
Complexo migmatítico da Cocha Rio Tellez			
A-746 (granodiorito gnaissico con hbl-bt)			
Bt	22.6 ± 0.3	24.6 ± 0.4	
	22.8 ± 0.18	22.8 ± 0.18	22.4 ± 0.4
	22.6 ± 0.2**	21.17 ± 0.14	
Hbl	36.4 ± 0.6	35 ± 0.4	
		40 ± 0.5	

* Idade média ponderada dos dois ou três grãos, tomando apenas as etapas que formam *plateau*

***Pseudoplateau*

de 200 Ma. Os eventos térmicos teriam ocasionado perdas parciais de Ar radiogênico nos dois minerais, sendo que a hornblenda foi mais retentiva do que a biotita. A presença de plagioclásio sericitizado na lâmina delgada reforça a interpretação de alteração hidrotermal, a qual pode ter relação com a fase de magmatismo Triássico a Jurássico que afeta a borda ocidental do Maciço de Garzón.

FIGURA 41 - Espectro de degaseificação da biotita, amostra V-198

Dos Granulitos do Vergel, realizaram-se datações Ar-Ar nas amostras V-332, Gr-29, D-986, D-982 e V-309.

Os três grãos da biotita da amostra V-332 apresentam espectros regulares com *plateaus* de até 95% do gás liberado e pequenas perdas de argônio nas primeiras etapas. Dois grãos apresentam idades próximas de 920 Ma, e o terceiro apresenta idade pouco menor, de 907 Ma (FIGURA 42).

FIGURA 42 - Espectro de degaseificação da biotita, amostra V-332

Dos três grãos de biotita da amostra Gr-29, dois apresentaram espectros que definem bons patamares com pequenas perdas de argônio nas primeiras etapas de degaseificação, possivelmente por alteração nas bordas dos cristais. Os dois *plateaus*, representados por 95 e 100 % do gás liberado, fornecem idade de 914 Ma. O terceiro grão apresenta idade aparente maior, de 937 Ma (FIGURA 43).

FIGURA 43 - Espectro de degaseificação da biotita, amostra Gr-29

As idades dos ideogramas que incluem os *plateaus* atingidos pelas amostras V-332 e Gr-29 são de 917 ± 3 Ma e 914 ± 3 Ma, respectivamente (FIGURA 44). Estas idades são interpretadas como o resfriamento do metamorfismo de 1000 Ma, determinado pela datação U/Pb SHRIMP em zircão metamórfico. O resfriamento da biotita metamórfica, ao redor de 915 Ma a uma temperatura de 350 °C para esta parte do orógeno, pode ser comparada com a

FIGURA 44 – Ideogramas para os grãos das biotitas das amostras Gr-29 e V-332

idade Sm-Nd da isócrona RT-granada, de 935 Ma, a uma temperatura de 600 °C para a amostra V-332. A taxa de resfriamento correspondente é relativamente rápida, de 23°C/Ma (FIGURA 68).

Os dois grãos de biotita da amostra D-982 apresentam espectros irregulares com idades integradas de 858 e 860 Ma (FIGURA 45), indicando claramente perdas de argônio. A amostra deve ter sido afetada por evento térmico posterior ao metamorfismo, datado em 1000 Ma pelo método U/Pb SHRIMP em zircão.

FIGURA 45 - Espectro de degaseificação da biotita, amostra D-982

Dois grãos da hornblenda da amostra D-986 mostraram espectros complexos com idades integradas absurdas, maiores que 6000 Ma (FIGURA 46). Este sistema isotópico está afetado evidentemente por ^{40}Ar em excesso, fornecendo idades sem significado geológico. Os três grãos da biotita da mesma amostra D-986 apresentam espectros irregulares com pequena evidência de ^{40}Ar em excesso, e idades integradas entre 782 a 863 Ma (FIGURA 47). A amostra foi provavelmente afetada por um evento térmico, podendo-se inferir que a idade ao redor de 860 Ma do grão com o espectro mais homogêneo possa talvez indicar a idade mínima para o resfriamento do metamorfismo. Este valor é similar às idades integradas das biotitas da amostra D-982.

As idades aparentes de aproximadamente 860 Ma, obtidas nas biotitas das amostras D-986 e D-982, localizadas na parte ocidental dos Granulitos do Vergel, são portanto atribuídas a processos de hidrotermalismo que podem ter sido locais, não afetando toda a unidade. Tais aquecimentos podem ter sido a causa da liberação de Ar das fases potássicas (micas e

feldspatos), incorporando argônio 40 em excesso nas fases de pouco K, como os anfibólios.

FIGURA 46 - Espectro de degaseificação da hornblenda, amostra D-986

FIGURA 47 - Espectro de degaseificação da biotita, amostra D-986

Os espectros de degaseificação dos três grãos de hornblenda da amostra V-309, com claras evidências de excesso de argônio 40 nas primeiras etapas, atingem patamares com até 90 % do gás liberado, com idades de 978 e 980 Ma para dois deles (FIGURA 48). A idade média dos *steps* que conformam *plateau* é de 979 ± 3 Ma (FIGURA 49). Os três grãos da biotita da mesma amostra apresentam espectros com patamares bem definidos, com liberação do gás de até do 97% e pequenas perdas de argônio nas primeiras etapas de degaseificação. As idades *plateau* são de 976, 964 e 928 Ma (FIGURA 50). A similaridade das duas primeiras idades e a quantidade considerável de gás liberado em suas etapas sugerem que o sistema foi homogeneizado com idade média de 971 ± 4 Ma (FIGURA 51). Foi descartado o resultado do

terceiro grão, com menores quantidades de gás liberado. As idades concordantes dos ideogramas para a hornblenda e biotita dessa amostra são interpretadas como o resfriamento do episódio metamórfico.

FIGURA 48 - Espectro de degaseificação da hornblenda, amostra V-309

FIGURA 49 - Ideograma para os grãos da hornblenda, amostra V-309

As idades Ar-Ar das biotitas das amostras V-332 e Gr-29 ao redor de 915 Ma são claramente mais jovens do que as obtidas na amostra V-309, refletindo uma história térmica diferente. Elas são interpretadas como refletindo o resfriamento do episódio metamórfico dos Granulitos do Vergel abaixo da temperatura de 350°C. Estas idades são semelhantes, dentro dos erros experimentais, com as idades 925 ± 50 Ma K-Ar (ALVAREZ & LINARES, 1985) e 902 ± 20 Ma

(VAN DER WIEL, 1991), em hornblenda, 912 ± 35 Ma K-Ar em flogopita (PRIEM *et al.*, 1989), e 911 ± 2 Ma Ar-Ar em hornblenda (RESTREPO-PACE, 1995) (QUADRO 1).

FIGURA 50 - Espectro de degaseificação da biotita, amostra V-309

FIGURA 51 - Ideograma para os grãos da biotita, amostra V-309

Do Gnaiss das Margaritas analisaram-se pelo método Ar-Ar as amostras C-302, C-271, C-299, C-32 e Gr-15p.

Dois dos três grãos de biotita da amostra C-302 definem *plateaus* com pequena perda de argônio nas primeiras etapas de degaseificação, e idades concordantes de 1012 e 1007 Ma (FIGURA 52). O terceiro grão mostrou idade aparente consideravelmente mais baixa, e não foi considerado na interpretação. A idade média dos dois *steps* concordantes é de 1009 ± 2 Ma (FIGURA 53).

FIGURA 52 - Espectro de degaseificação da biotita, amostra C-302

FIGURA 53 - Ideograma para os grãos da biotita, amostra C-302

Os espectros dos três grãos de biotita da amostra C-271 apresentam pequenas perdas de argônio nos primeiros *steps*. Obtiveram-se *plateaus* e *pseudoplateau* com idades entre 1018 e 1045 Ma (FIGURA 54), com idade média de 1032 ± 6 Ma (FIGURA 55).

Os dois grãos de hornblenda da amostra C-299 possuem excesso de ^{40}Ar nas etapas iniciais e intermediárias de degaseificação. Apesar disto, nas etapas finais define-se um *pseudoplateau* em torno de 980 Ma (FIGURA 56). Os dois grãos de biotita da mesma amostra apresentam *plateaus* com até 95% de gás liberado com idades de 981 e 977 Ma e pequenas perdas de argônio no primeiro *step* (FIGURA 57). A idade média dos *steps* que definem *plateau* é de 980 ± 2 Ma (FIGURA 58), em plena concordância com as idades aparentes da hornblenda.

FIGURA 54 - Espectro de degaseificação da biotita, amostra C-271

FIGURA 55 - Ideograma para os grãos da biotita, amostra C-271

FIGURA 56 - Espectro de degaseificação da hornblenda, amostra C-299

FIGURA 57 - Espectro de degaseificação da biotita, amostra C-299

FIGURA 58 - Ideograma para os grãos da biotita, amostra C-299

As idades aparentes ao redor de 1000 Ma obtidas em biotitas e hornblendas, para as amostras C-302, C-271 e C-299, interpretam-se como o resfriamento abaixo 350°C do evento metamórfico ao qual é atribuída idade aproximada de 1034 Ma (isocrona Sm-Nd em RT-granada), obtida na amostra Gr-15p do Gnaiss das Margaritas.

Os dois grãos analisados da hornblenda do granulito máfico (amostra C-32) apresentam espectros com algum excesso de ^{40}Ar nas etapas iniciais. Um dos grãos define um *plateau* de 982 ± 1.6 Ma com o 67% do gás liberado, e o outro grão têm idades aparentes similares, formando um *pseudoplateau* de 985 ± 3 Ma (FIGURA 59). A idade média calculada é de $984 \pm$

3 Ma (FIGURA 60), interpretada como indicando o resfriamento do evento metamórfico de alto grau. Nesta rocha foram também analisados dois grãos de biotita desenvolvidos durante a segunda foliação, que afetou as bandas granulíticas constituídas por granada, hornblenda, biotita, ortopiroxênio e plagioclásio (PRANCHA 3, Fotos 7 e 8). Ambos exibem espectros homogêneos com *plateaus* de 954 e 948 Ma com até 98% do gás liberado (FIGURA 61). A idade média obtida é de 951 ± 3 Ma (FIGURA 62).

FIGURA 59 - Espectro de degaseificação da hornblenda, amostra C-32

FIGURA 60 - Ideograma para os grãos da hornblenda, amostra C-32

Três grãos de biotita do biotita gnaiss Gr-15p fornecem espectros com *plateaus* de 962, 964 e 974 Ma, e perdas de argônio nas primeiras etapas de degaseificação (FIGURA 63). A idade média obtida é de 967 ± 3 Ma (FIGURA 64).

FIGURA 61 - Espectro de degaseificação da biotita, amostra C-32

FIGURA 62 - Ideograma para os grãos da biotita, amostra C-32

FIGURA 63 - Espectro de degaseificação da biotita, amostra Gr-15p

FIGURA 64 - Ideograma para os grãos da biotita, amostra Gr-15p

As idades aparentes das biotitas das amostras C-32 e Gr-15p, ao redor de 960 Ma, são mais jovens do que aquelas atribuídas ao resfriamento metamórfico por volta de 1000 Ma das amostras C-302, C-271 e C-299. Isto se explicaria pelo aquecimento provocado por deformação com possível hidrotermalismo associado, afetando a T_f das biotitas existentes, (VILLA, 1998), e levando em conta o aparecimento de biotitas neoformadas. Com efeito, na porção oriental desta unidade desenvolve-se a paragênese biotita+plagioclásio±sillimanita associada a uma segunda foliação, possivelmente relacionada com cisalhamento dúctil em condições de alto grau.

Os dados Ar-Ar evidenciam histórias térmicas diferentes para os dois domínios do Maciço de Garzón (Granulitos do Vergel e Gnaiss das Margaritas), que possivelmente pertencem a blocos tectônicos separados. Com efeito as idades ideograma obtidas para as biotitas da porção ocidental do maciço resultam em torno de 915 Ma, em quanto que as idades das biotitas e hornblendas da porção oriental são de cerca de 1000 Ma.

Do Complexo Migmatítico da Cocha Rio Tellez foram analisadas hornblendas e biotitas de um granodiorito gnáissico (A-746) cuja idade de cristalização é de 166 ± 4 Ma (FIGURA 29). Dois grãos de hornblenda apresentam espectros similares, com algumas evidências de excesso de argônio 40 nas primeiras e últimas etapas. Um dos grãos fornece uma idade *plateau* de 36.4 ± 0.6 Ma nas etapas intermediárias (FIGURA 65); entretanto, este valor pode não ter significado geológico tendo em vista a presença de argônio em excesso no sistema isotópico deste mineral.

Dos três grãos de biotita analisados desta amostra, dois apresentam espectros que fornecem idades *plateau* por volta de 22 Ma, e o outro grão apresenta um *pseudoplateau*, com idade aparente similar (FIGURA 66). A idade média ponderada dos *steps* que definem *plateau* e *pseudoplateau* é de 22.4 ± 0.4 Ma (FIGURA 67). Este valor é interpretado como o resfriamento de um evento térmico regionalmente importante possivelmente associado com a intrusão do Pluton dos Alisales de idade Oligocena (ASPDEN *et al.*, 1987), localizado nas proximidades de Monopamba.

86

FIGURA 67 - Ideograma para os grãos da biotita, amostra A-746

7. CARACTERIZAÇÃO GEOTECTÓNICA DO MACIÇO DE GARZÓN

7.1 Evolução tectono-metamórfica

A integração conjunta da geologia, condições metamórficas P-T e o contraste de tempo no qual os processos aconteceram permitem reconstruir a seqüência de eventos tectono-metamórficos regionais e desta forma determinar a evolução geológica do Maciço de Garzón, a qual esta compilada no QUADRO 9.

O metamorfismo principal que afetou à seqüência de rochas ígneas e metamórficas do Maciço de Garzón (unidades Gnaiss de Guapotón-Mancagua, Granulitos do Vergel e Gnaiss das Margaritas) é do tipo regional prógrado, na transição de fácies anfibolito superior a granulito. As rochas de mais alto grau localizam-se na porção oeste e as de menor grau na porção leste. Esta distribuição pode estar perturbada, e incluir porções invertidas da crosta superior a média, por causa da atividade tectônicas sucessivas.

As condições de pressão e temperatura prevaescentes na faixa de transição metamórfica permitiram a existência de fases minerais hidratadas como biotita e hornblenda, e adicionalmente favoreceram fusão parcial das rochas, especialmente aquelas com protolitos férteis. Isto pode ser constatado nas texturas migmatíticas, onde se reconhecem porções de rocha que pertencem a leucossomas e a paleossomas, respectivamente. O metamorfismo é do tipo Barrowiano de pressão média, que gerou nas rochas textura granoblástica e gnáissica, e caracterizou-se por desenvolvimento de sillimanita como único polimorfo de Al nas rochas mais pelíticas. Ocorrem também ortoclásio peritítico a mesoperitítico, plagioclásio antiperitítico nas associações ácidas, piroxênio, hornblenda e granada nas rochas máficas. Este último mineral é poikiloblástico, com inclusões arredondadas de quartzo, típicas de metamorfismo prógrado.

O metamorfismo prógrado na transição da fácies anfibolito-granulito, com idade mínima de 1034 Ma obtida para o gnaiss biotítico Gr-15p (isócrona Sm/Nd RT-granada), faz parte de um cinturão metamórfico que pode ter sido gerado pelo espessamento crustal inerente a um processo de subducção do tipo B. Neste ambiente tectônico formou-se possivelmente um cinturão orogênico do tipo Andino, como foi previamente concebido por Kroonenberg (1982), e como indica a mistura de materiais juvenís e mais antigos no registro isotópico de Nd das rochas. O *underthrusting* da placa oceânica sob a porção continental acarretou um arco magmático na margem continental, e uma parte deste arco corresponderia ao Gnaiss de

QUADRO 9. RESUMO DOS EVENTOS TECTONO-MAGMÁTICOS RECONHECIDOS NO MACIÇO DE GARZÓN NESTA PESQUISA

Idade (Ma)	Gnaiss Guapotón-Mancagua	Complexo Garzón	
		Granulitos do Vergel	Gnaiss das Margaritas
0			
200	• Episódio hidrotermal (Ar-Ar Bt e Hbl)	• Episódio hidrotermal (Ar-Ar Bt)	
400		• Episódio hidrotermal local (perdas de Pb Zrn a baixa temperatura)	
600			
800		• Magmatismo pos-tectônico pegmatítico (K-Ar Hbl)	
1000	• Deformação tectônica (U-Pb SHRIMP Zrn)	• Resfriamento (Ar-Ar Bt, Rb-Sr RT-Pl-Bt) • Resfriamento Metamorfismo colisional (Sm-Nd RT-Grt e RT-Pl-Px) • Evento metamórfico colisional (U-Pb SHRIMP Zrn, Sm-Nd RT, Rb-Sr RT) Ex. (Trajetoria P-T anti-horária, bloco inferior)	• Resfriamento Cisalhamento (Ar-Ar Bt) • Resfriamento (Ar-Ar Bt e Hbl) • Magmatismo granítico local (U-Pb SHRIMP Zrn) • Anatexia, Deformação (Trajetoria ITD horária, bloco superior) • Evento metamórfico alto grau (Sm-Nd RT-Grt)
1200	• Magmatismo de Arco (U-Pb SHRIMP Zrn)	• Herança (U-Pb SHRIMP Zrn)	
1400		• Herança (U-Pb SHRIMP Zrn)	

Ex = Exumação

Guapotón-Mancagua formado há cerca de 1140 Ma (idade U-Pb em zircão do núcleo magmático do ortogneisse V-198).

O espessamento crustal levou o material a aproximadamente 8 Kbar e 780°C. As temperaturas elevadas atingidas por esta porção do orógeno seriam devidas à importante fonte de calor interno relacionado com os granitóides do arco continental.

O caminho ITD obtido para o Gnaiss das Margaritas corresponde à trajetória de retrometamorfismo a partir das condições de metamorfismo na transição anfibolito-granulito. A história prógrada do metamorfismo não deixou evidências, visto que a alta taxa de difusão catiônica dos minerais evitou a preservação de um zoneamento composicional que permitisse revelar a história completa. Com toda probabilidade, a trajetória de descompressão aproximadamente isotérmica observada corresponde à parte final de um metamorfismo com caminho em sentido horário, no qual o pico bórico antecede o pico térmico. Como foi verificado no capítulo 4 (FIGURA 21), a trajetória está definida por quatro áreas no espaço P-T: 6.3-8.0 kbar e 780-826 °C (associação de equilíbrio do gnaiss biotítico), 7.7-8.1 kbar e 751-778 °C (associação de equilíbrio do granulito máfico), 6.8-7.9 kbar e 688-752 °C (associação em desequilíbrio do granulito máfico), e < 4 kbar a 630 °C (simplectitas de biotita verde e plagioclásio substituindo granada em quartzo-plagioclásio gnaiss).

Após o evento tectono-metamórfico que gerou as condições máximas de pressão e temperatura, as rochas pelíticas sofreram descompressão possibilitando a sua fusão parcial, cuja evolução final anidra culminou com a quebra da biotita, levando à cristalização de granada nos leucossomas. As condições de temperatura não foram suficientes para permitir a fusão da hornblenda dos anfibolitos *boudinados*, associados à seqüência pelítica, ou seja, estes corpos comportaram-se como paleossomas com relação ao evento de fusão parcial.

Ambiente tectônicos de subducção-B terminam normalmente numa colisão final, acompanhada do fechamento da bacia oceânica envolvida (WINDLEY, 1995; CONDIE, 1997). No presente caso, o choque de outra placa continental ou terreno alóctone, com a margem continental do tipo andino previamente deformada, acarretou metamorfismo superimposto no ortogneisse (Gnaiss de Guapotón-Mancagua), com formação de borda de zircões metamórficos de 1000 Ma ao redor do precursor de origem ígnea. Simultaneamente, a tal colisão favoreceu no Gnaiss das Margaritas a retomada dos esforços compressivos, com o desenvolvimento de uma segunda foliação mineral de biotita, plagioclásio e as vezes sillimanita nos gnaisses migmatíticos e nos granulitos. Este evento apresenta resfriamento regional por volta de 951

Ma (Ar-Ar em biotita da segunda foliação na amostra C-32). Associada à retomada de esforços, houve fusão parcial e migração de fluidos, originando leucossomas graníticos que injetaram-se na seqüência original ao redor de 1006 Ma (U-Pb em zircão da amostra Gr-15A).

O evento de migmatização, com geração de leucossomas quartzo-feldspáticos com granada, ocorreu entre 1034 e 1006 Ma; o primeiro valor representa a idade mínima do metamorfismo na transição anfibolito-granulito, no qual se formaram os biotita gnaisses (paleossoma); o segundo seria indicativo da cristalização do leucossoma de injeção.

Como resposta aos esforços compressivos atuantes, desencadearam-se movimentos crustais entre os dois blocos do orógeno (Granulitos do Vergel e Gnaiss das Margaritas), os quais deram-se através de empurrões, à maneira de escamas tectônicas, gerando duplicação da crosta. Os movimentos tectônicos foram reativados durante o Neogeno (VAN DER WIEL, 1991) com desenvolvimento de vários empurrões definidos nas cartas geológicas de Ingeominas & Geoestudios, 2001 a,b, que apresentam vergência para leste. A relação definida entre os blocos, para o Meso-Neoproterozóico, por meio da geotermobarometria, sugere que os falhamentos antigos tinham vergência oposta àqueles reativados posteriormente, durante a fase tectônica Andina.

A trajetória anti-horária definida para os Granulitos do Vergel, a partir de amostra (V-332) localizada possivelmente na parede do bloco inferior, está representada por dois campos no diagrama P-T de 700°C – 6 kbar (associação em equilíbrio do granulito charnockítico) e 687-733°C – 6.2-7.0 kbar (associação em re-equilíbrio do granulito charnockítico) (FIGURA 9). Esta trajetória, que apresenta aumento de pressão e temperatura quase constante, é verificada pelo enriquecimento do componente grossulárico na granada almandínica na borda do cristal em contato com biotita. A idade de 934 Ma (isócrona Sm/Nd Rt-granada) da amostra localizada no bloco abaixado, representa o re-equilíbrio do granulito charnockítico sob temperatura de 600°C como resposta ao movimento entre os blocos. De acordo com RIDLEY (1989) qualquer episódio de deformação tectônica num cinturão orogênico provoca movimentos crustais relativos de corpos de rochas que podem ser inferidos pela história metamórfica. Os tipos de caminhos P-T-t dependem de onde a rocha examinada movimentou-se no contexto do empilhamento orogênico. O bloco superior resfria logo após o movimento, enquanto que o bloco inferior pode sofrer novo aumento da temperatura após o movimento, que pode obliterar as evidências da história metamórfica inicial.

As idades geocronológicas por volta de 1000 Ma (U-Pb SHRIMP em zircão), 959 Ma (Rb-Sr em RT), 930 Ma (Sm-Nd RT-granada e RT-mineral), e 923 Ma (Rb-Sr RT-mineral), confirmam o re-equilíbrio metamórfico de alto grau (T de 700°C e P de 6 Kbar) dos Granulitos do Vergel após a colisão, contemporâneo com as fases de migmatização, magmatismo e cisalhamento desenvolvidas nos Gnaisses das Margaritas.

A presença de trajetórias em sentido horário e anti-horário em terrenos granulíticos é bem conhecida no mundo todo. O fato de encontrar estes dois tipos de caminho no Maciço de Garzón, bem como os elementos asincrônicos da história metamórfica para as duas unidades do Complexo Garzón, permitem sugerir deslocamentos verticais internos entre os blocos por volta de 950 - 1000 Ma, já que não foram encontradas evidências (por ex. zonas dúcteis, ou diferenças de litologia ou de geoquímica isotópica) que indiquem existência de dois terrenos diferentes.

Uma única zona de cisalhamento dúctil que separe as duas unidades não tem sido identificada. Entretanto, sua existência não pode ser descartada, já que localmente este tipo de tectônica foi constatado, principalmente afetando o Gnaisse das Margaritas, onde foram assinalados inúmeros falhamentos de empurrão (Ingeominas & Geostudios). Segundo VAN DER PLUIJM *et al.* (1994) as principais suturas podem ser menos proeminentes do que as menores e melhor preservadas zonas de cisalhamento mais jovens que geram escamas tectônicas.

As idades Ar-Ar em biotitas e anfibólios das rochas regionais do Maciço de Garzón representam o resfriamento do evento metamórfico de alto grau para o Gnaisse das Margaritas, com valores de aproximadamente 1000 Ma para a hornblenda e biotita. Para os Granulitos do Vergel os valores são de aproximadamente 925 Ma em hornblenda e 915 Ma em biotita (ALVAREZ & LINARES, 1985; VAN DER WIEL, 1991) e confirmam o re-equilíbrio com aquecimento posterior desta parte do orógeno, como resposta à colisão continental.

Pegmatitos cortam todas as unidades do Maciço Garzón e representam os eventos terminais da orogênese. PRIEM *et al.* (1989) dataram um pegmatito nos Granulitos do Vergel com idade Rb-Sr de 847 Ma.

Após ter acontecido considerável descompressão no Gnaisse das Margaritas e subsequente movimento crustal dos Granulitos do Vergel, com taxas de exumação em torno de 3°C/Ma, a descompressão prosseguiu em porções mais rasas da crosta (partes de mais baixa pressão da

trajetória ITD). O sistema pode então *cruzar* o *sólidus* saturado em água, quando são formados fundidos graníticos (THOMPSON, 2001). Este cenário pode indicar que os caminhos P-T e T-t passaram a baixas profundidades e os magmas gerados permaneceram quentes ao mesmo tempo que a exumação foi rápida, permitindo a sua mobilidade (THOMPSON, 2001).

A identificação de terrenos tectônicos justapostos, em regiões metamórficas de alto grau, poderia idealmente obter-se através da determinação das trajetórias P-T-t quantitativas para o tempo entre a sedimentação e exumação; entretanto isto é praticamente impossível, já que na maioria das vezes a história prógrada do metamorfismo não pode ser verificada (VAN DER PLUIJM et al., 1994). Uma tentativa alterna é construir para cada unidade um diagrama T-t com base nas idades aparentes Rb-Sr, Sm-Nd, e Ar-Ar para comparação da evolução térmica de blocos vizinhos (FIGURAS 68 e 69).

A integração dos resultados termocronológicos ilustrados na figura 68, sugere que a história térmica dos Granulitos do Vergel é caracterizada por um resfriamento descontínuo. Após o metamorfismo, durante longo tempo, os granulitos resfriaram lentamente ($2.8\text{ }^{\circ}\text{C/Ma}$), sucedendo-se um período de resfriamento bastante rápido ($23\text{ }^{\circ}\text{C/Ma}$), refletindo maior eficiência no processo de exumação. Já a história térmica do Gnaiss das Margaritas (FIGURA 69) caracterizou-se por um resfriamento mais regular, visto que após o metamorfismo de alto grau, o resfriamento aconteceu continuamente com taxas de aproximadamente 3.5°C/Ma .

Caminhos T-t não paralelos de domínios próximos podem refletir separação espacial (terrenos diferentes) ou deslocamento vertical interno (VAN DER PLUIJM et al., 1994). Consideramos menos provável a primeira interpretação, já que os dados isotópicos Sm-Nd são similares, para as duas unidades, com valores de T_{DM} entre 1.4 e 2.0 Ga. As trajetórias P-T-t e T-t parecem indicar deslocamento vertical interno, com diferença no tempo e na pressão, refletindo diferentes níveis crustais para os Granulitos do Vergel e o Gnaiss das Margaritas.

Para o Meso-Cenozóico, a evolução tectônica dos Andes caracterizou-se pela geração de sucessivos arcos magmáticos como resposta à subducção da litosfera oceânica por baixo da margem continental da América do Sul (ASPDEN et al., 1987). Por outro lado, os dados geocronológicos obtidos nas rochas do Maciço de Garzón refletem apenas os acontecimentos do Proterozóico. Conseqüentemente, as rochas estudadas desse maciço não foram perturbadas termalmente por

FIGURA 68 - Diagrama T-t para os Granulitos do Vergel

FIGURA 69 - Diagrama T-t para a o Gnaisse das Margaritas.

intrusões Andinas de stocks e batólitos cálcio-alcalinos, e rejuvenescimento causado por magmatismo de arco no Mesozóico parece que ocorreu apenas localmente na borda oeste do maciço no Gnaiss de Guapotón-Mancagua (RESTREPO-PACE, 1995). Isto demonstra que, para o Jurássico, não houve no Maciço de Garzón aquecimento regional com rejuvenescimento isotópico dos sistemas K-Ar e Ar-Ar, diferentemente do que ocorreu no embasamento dos maciços da Sierra Nevada de Santa Marta, Santander e Guajira, fortemente afetados e segmentados durante o Jurássico (CARDONA, 2003). O Maciço de Garzón permaneceu livre da influência desse evento tectono-magmático, e a história térmica Andina seguramente no chegou a produzir temperaturas regionais superiores a 300°C.

Por outro lado, ao sudoeste do Maciço de Garzón, o gnaiss localizado nas proximidades do vilarejo de Monopamba, e pertencente ao Complexo Migmatítico da Cocha Rio Tellez, com idade sin-tectônica em torno de 166 Ma (U-Pb SHRIMP em zircão), foi afetado por um evento magmático local, possivelmente, do Oligoceno, que produziu aquecimento significativo e rejuvenescimento isotópico do sistema Ar-Ar.

7.2 Correlações regionais e participação na formação do supercontinente de Rodinia

Toussaint (1993) considerou o domínio do embasamento de Garzón como um possível terreno suspeito, amalgamado à região cratônica amazônica durante a colisão continental que gerou o metamorfismo de alto grau. Sua justificativa foi a comparação do estilo do metamorfismo e a deformação entre este domínio e a região cratônica amazônica, bem como em considerações globais de paleogeografia do Mesoproterozóico. Cabe lembrar que o evento deformacional que afetou as rochas do Craton Amazônico tem sido relacionado ao evento Nickeriense do Suriname e República de Guyana, caracterizado por desenvolvimento de zonas de cisalhamento e milonitização a 1100 Ma (PRIEM et al., 1989). Por outro lado CARDONA (2003) considera que as diferenças no estilo de metamorfismo e deformação podem ser explicáveis por variações laterais de fácies, com a paleomargem continental representando os domínios internos. As regiões cratônicas que corresponderiam ao antepaís, poderiam ter sofrido tectonismo reflexo da orogenia Meso-Neoproterozóica em sua margem ocidental.

As associações litológicas do embasamento de Garzón são semelhantes às de Santa Marta (KROONENBERG, 1982) e também às das outras exposições de embasamento dos Andes do Norte. Com efeito, as condições do metamorfismo, na transição do fácies anfibolito superior a granulito das rochas de Garzón, que equilibraram a pressões entre 6-8 Kbar, são similares às

obtidas o Gnaiss de Dibuya, Gnaiss de Bucaramanga e Gnaiss de Jojoncito (CARDONA, 2003).

O registro cronológico do Maciço de Garzón permite diferenciar dois eventos tectono-metamórficos por volta de 1035 Ma e 1000 Ma. Este último episódio tem sido também claramente determinado nos domínios proterozóicos do Norte da Colômbia (RESTREPO-PACE et al., 1997; ORDÓÑEZ, 1997, 2001; CARDONA, 2003). Além disto, as características isotópicas (idades modelo Sm-Nd T_{DM}), e os indicadores petrotectônicos de Sr e Nd tanto para os domínios do norte como do sul (Maciço de Garzón), refletem a presença de protolitos crustais com idades médias Meso a Paleoproterozóicas em todas as regiões estudadas, (dados desta pesquisa, RESTREPO-PACE et al., 1997, ORDÓÑEZ, 2001, CARDONA, 2003). Tais características permitem sugerir a existência de processos geológicos semelhantes na evolução tectônica dessas unidades e em consequência uma correlação direta entre o embasamento de Garzón e os demais domínios proterozóicos dos Andes do Norte.

Temporalmente, os eventos orogênicos determinados para os domínios de embasamento colombianos do Proterozóico correlacionam-se também com os eventos tectono-termiais Olmecan ~ 1100 Ma e Zapotecan ~ 990 Ma, do complexo Oaxacan do Sul do México, definidos por SOLARI, et al. (2003). O domínio Oaxacan é considerado um microcontinente com uma evolução compatível à de um arco magmático entre 1270-1140 Ma, sucedida por uma fase colisional (SOLARI et al., 2003 e referências inclusas). As características geocronológicas, o caráter metamórfico semelhante, e a presença de protolitos afins com geração de arco magmático, sugerem que todos esses domínios poderiam estar relacionados (RESTREPO-PACE et al., 1997; KEPPIE et al., 2003 e referências inclusas). Uma característica de Oaxaquia é a abundância de protolitos ígneos com assinaturas isotópicas (Nd e Pb) que indicam uma mistura entre material juvenil do Meso-Neoproterozóico e mais antigo, com predomínio da porção juvenil. Em contraste, Garzón apresenta registro em parte juvenil, mais com maior aporte de material mais velho. A possível configuração tectônica poderia ser a de um arco magmático no qual Oaxaquia ficaria no núcleo, e Garzón ficaria numa posição mais marginal e próxima ao continente, no caso, o Craton Amazônico.

As características isotópicas do Pb para o embasamento de Garzón sugerem afinidade com Oaxaquia (RUIZ et al., 1999) e com as províncias Rio Negro-Juruena e Rondônia-San Ignacio do Craton Amazônico (TOSDAL & BETTENCOURT, 1994; CARDONA, 2003). Adicionalmente, as análises U-Pb SHRIMP em zircão de várias amostras confirmam que os protolitos das rochas dos domínios dos Andes do Norte tinham afinidade com as províncias tectônicas do

Craton Amazônico (CARDONA, 2003). Além disto, as coberturas sedimentares do Paleozóico inferior apresentam particularidades idênticas às da região cratônica, com fósseis com clara afinidade Gondwânica na região da Macarena (RESTREPO-PACE, 1995), confirmando portanto que este domínio, no Cambriano, estaria situado na mesma bacia sedimentar. Pela afinidade acima mencionada, é provável que o magmatismo de arco e o metamorfismo de alto grau do Maciço de Garzón e de Oaxaquia poderia estar relacionado com os eventos orogênicos, que caracterizaram a margem continental do Craton Amazônico. Os dados apresentados aqui e aqueles obtidos por Cardona (2003) sugerem uma possível configuração tectônica no Meso-Neoproterozóico, na qual o arco magmático de Garzón-Oaxaquia poderia estar localizado na margem ocidental do cráton, e possivelmente em sua porção setentrional.

Adicionalmente, nos Andes de Peru, Chile e Argentina têm sido identificada outra série de fragmentos cratônicos com registro tectono-metamórfico entre 1150 a 970 Ma (RAMOS, 1988; WASTENEYS *et al.*, 1995; TOSDAL, 1996; KAY *et al.*, 1996), semelhantes em evolução temporal aos domínios proterozóicos dos Andes da Colômbia (Guajira, Santa Marta, Santander, e Garzón) e ao embasamento de México (Oaxaquia). O conjunto de todos estes fragmentos, localizados ao ocidente do Craton Amazônico, constitui uma massa continental de extensão considerável que tem que ser levada em conta e considerada peça importante nas reconstruções paleogeográficas e nas análises dos cinturões orogênicos colisionais do Meso-Neoproterozóico.

Nesse sentido, a Província Grenville de Norte América é o cinturão orogênico mais representativo das fases colisionais que terminaram na aglutinação do Supercontinente de Rodínia (HOFFMAN, 1991). Os diferentes eventos tectono-metamórficos presentes no Cinturão Grenville estão agrupados temporalmente em três: o mais antigo entre 1190-1140 Ma (Elzevirian), o intermediário e mais amplamente desenvolvido entre 1080-1020 Ma (Ottawan), e o último entre 1000-980 Ma (Rigolet) (RIVERS, 1997; HANMER *et al.*, 2000 McMELLAND *et al.*, 1996, 2001). O caráter temporal do metamorfismo do Maciço de Garzón pode ser claramente correlacionado com os eventos orogênicos Rigolet e Ottawan, sugerindo que o maciço participou da formação de Rodínia como elemento dos orógenos colisionais que permitiram a aglutinação desse Supercontinente. As condições do metamorfismo de alto grau do Maciço de Garzón, que indicam profundidades entre 20-30 Km, mostram que este fragmento fazia parte do núcleo colisional.

Em conclusão, todos estes fragmentos correlacionáveis com o cinturão Grenville, hoje fazendo parte do México, da Colômbia, e de outras regiões da América do Sul, podem ser considerados peças importantes do Supercontinente Rodinia, que foram fragmentadas e separadas entre si quando aconteceu a separação entre Laurentia e Gondwana no Proterozóico tardio, por volta de 580 Ma, durante a formação do Oceano Iapetus.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, W., (1967) *Geology of the Simarua and Carpintero area, Guajira Península, Colombia*. Ph D. Thesis. Princeton University. 147 p.
- ALVAREZ, J. A.; LINARES, E. (1985) Una edad K-Ar del Macizo de Garzón, Departamento del Huila, Colombia. *Geología Norandina*, v. 9, p. 31-33.
- ALVAREZ, J. A. (1981a) Determinación de la edad Rb/Sr en Rocas del Macizo de Garzón Cordillera Oriental de Colombia. *Geología Norandina*, v. 4, p. 31-38.
- ALVAREZ, J. A. (1981b) Granulitos Charnoquíticos y rocas relacionadas del Macizo de Garzón, Cordillera Oriental (Colombia). In: CONGRESO COLOMBIANO DE GEOLOGIA, 3, Medellín, 1981. *Resúmenes*, 41 p.
- ALVAREZ, J. A.; CORDANI, U. G. (1980) Precambrian basement within the septentrional Andes: age and geological evolution. In: INT. GEOL. CONGR., 26, Paris, 1980. *Abstracts*, v. 1, n. 10, p. 18-19.
- ANNICCHIARICO, G. P. (2000) Petrografía de treinta muestras pertenecientes al Macizo de Garzón, planchas 389,390 y 414 y cinco muestras correspondientes a la plancha 388. Bogotá. Ingeominas, informe interno.
- ARNDT, N. T.; GOLDSTEIN, S. L. (1987) Use and abuse of crust formation ages. *Geology*, v. 15, p. 893-895.
- ASPDEN, J. A; McCOURT, W.; BROOK, M. (1987) Geometrical control of the subduction-related magmatism: the Mesozoic and Cenozoic plutonic history of western Colombia. *Journal of the Geological Society*, v. 144, p. 893-905.
- BEA, F. (1996) Residence of REE, Y, Th and U in Granites and Crustal Protoliths; Implications for the Chemistry of Crustal Melts. *Journal of Petrology*, v. 37, n. 3, p. 521-552.
- BERMAN, R. G. (1991). Thermobarometry using multi-equilibrium calculations: a new technique, with petrological applications. *The Canadian Mineralogist*, v. 29, p. 833-855.
- BERMAN, R. G. (1990) Mixing properties of Ca-Mg-Fe-Mn garnets. *The American Mineralogist*, v. 75, p. 328-344.
- BERMAN, R. G. (1988) Internally consistent thermodynamic data for minerals in the system Na₂O-K₂O-CaO-MgO-FeO-Fe₂O₃-Al₂O₃-SiO₂-TiO₂-H₂O-CO₂. *Journal of Petrology*, v. 29, p. 445-522.
- BHATTACHARYA, A.; KRISHNAKUMAR, K. R.; RAITH, M.; SEN, S. K. (1991) An improved Set of α -X Parameters for Fe-Mg-Ca Garnets and Refinements of the Orthopyroxene-Garnet Thermometer and the Orthopyroxene-Garnet-Plagioclase-Quartz Barometer. *Journal of Petrology*, v. 32, n. 3, p. 629-656.

- BOHLEN, S. R.; ESSENE, E. J. (1980) Evaluating of coexisting garnet-biotite, garnet-clinopyroxene and other Mg-Fe exchange thermometers in Adirondack granulites, summary. *Geol. Soc. of America Bull.*, v. 1, p. 105-107.
- BRIDGER, C. S. (1982) *El Paleozoico inferior de Colombia*. Bogotá. Tesis de grado. Univ. Nacional de Colombia.
- BROWN, M. (1993) P-T-t evolution of orogenic belts and the causes of regional metamorphism. *Journal of the Geol. Society London*, v. 150, p. 227-241.
- BUCHER, K.; FREY, M. (1994) *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. 6th ed., Berlin, Springer-Verlag. 318 p.
- CARDONA, A. (2003) *Correlações entre fragmentos do embasamento Pré-Mesozóico da terminação setentrional dos Andes colombianos, com base em dados isotópicos e geocronológicos*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo. 143 p.
- COLLERSON, K. D. (1976) Composition and structural state of alkali feldspars from high-grade metamorphic rocks, central Australia. *American Mineralogist*, v. 61, p. 200-211.
- CONDIE, K. C. (1997) *Plate tectonics and crustal evolution*, 4 ed., Oxford, Butterworth-Heinemann, 2282 p.
- CORDANI, U. G.; SATO, K.; TEIXEIRA, W.; TASSINARI, C. C. G.; BASEI, M. A. S. (2000) Crustal Evolution of the South American Platform In: CORDANI, U. G.; MILANI, E.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D. (eds), *Tectonic Evolution of South América*, 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro-Brazil, 856 p.
- CORDANI, U. G.; SATO, K. (1999) Crustal evolution of the South American Platform, based on Nd isotopic systematics on granitoid rocks. *Episodes*, v. 22, n. 3, p. 167-173.
- DASGUPTA, S.; SENGUPTA, P.; GUHA, D.; FUKUOKA, M. (1991) A refined garnet – biotite Fe – Mg exchange geothermometer and its application in amphibolites and granulites. *Contrib. Mineral. Petrol*, v. 109, p. 130-137.
- DENGO, C. A.; COVEY, M. C. (1993) Structure of the Eastern Cordillera of Colômbia: Implications for Trap Styles and Regional Tectonics. *The American Ass. Of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 77, n. 8, p. 1315-1337.
- De PAOLO, D. J. (1981) Neodymium isotopes in the Colorado Front Range and crust-mantle evolution in the Proterozoic. *Nature*, v. 291, p. 193-196.
- De PAOLO, D. J.; LINN, A. M.; SCHUBERT, G. (1991) The Continental Crustal Age Distribution: Methods of Determining Mantle Separation Ages From Sm-Nd Isotopic Data and Application to the Southwestern United States. *J. of Geophysical Research*, v. 96, n. B2, p. 2071-2088.

- De PAOLO, D. J. (1988) *Neodymium isotope geochemistry: An introduction*. New York, Springer Verlag, p.
- DICKIN, A. P. (1995) *Radiogenic Isotope Geology*. Cambridge University. Press. 490 p.
- DODSON, M. H. (1973) Closure temperature in cooling geochronological and petrological systems. *Contrib. Mineral. Petrol.*, v. 40, p. 259-274.
- ENGLAND, P. C.; THOMPSON, A. B.; (1984) Pressure-temperature-time paths of regional metamorphism I. Heat transfer during the evolution of regions of thickened continental crust. *Journal of Petrology*, 25, p. 894-928.
- FAURE, G. (1986) *Principles of Isotope Geology*. 2nd ed., John Wiley & Sons. 589p.
- FAURE, G.; POWELL, J. L. (1972) *Strontium Isotope Geology*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York. (Monograph Series of Theoretical and Experimental Studies, 5).
- FERRY, J. M.; SPEAR, F. S. (1978) Experimental Calibration of the Partitioning of Fe and Mg Between Biotite and Garnet. *Contrib. Mineral. Petrol.*, v. 66, p. 113-117.
- FREYMUELLER, J.; KELLOGG, J; VEGA, V. (1993) Plate motions in the North Andean region. *Journal of Geophysical Research*, v. 98, p. 21853-21863.
- FUHRMAN, M. L. & LINDSLEY, D. H. (1988) Ternary-feldspar modeling and thermometry. *The American Mineralogist*, v. 73, p. 201-216.
- GALVIS, J. (1979) Geología de la Amazonía Colombiana. Boletín Geológico Ingeominas, v. 22, n. 3, p. 3-86.
- GANGULY, J.; SAXENA, S. K. (1984) Mixing properties of aluminosilicate garnets: constraints from natural and experimental data, and applications to geothermo-barometry. *American Mineralogist*, v. 69, p. 88-97.
- GOLDMAN, D. S.; ALBEE, A. L. (1977) Correlation of Mg/Fe partitioning between garnet and biotite with $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ partitioning between quartz and magnetite. *Ame. J. of Science*, v. 277, p. 750-767.
- GOMEZ, M. (2002) Petrografía de veinte muestras pertenecientes al Macizo de Garzón, planchas 389 y 414. Bogotá. Ingeominas, informe interno.
- GROSSE, E. (1935) Acerca de la geología del sur de Colombia. Informe rendido al Ministerio de Industria sobre un viaje al Huila y alto Caquetá. *Comp. Est. Geol. Of. Col.* V. 3, p. 31-137.
- GUIDOTTI, C. V. (1984) Micas in Metamorphic Rocks. In: BAILEY, S.W. (ed.). *Micas: Mineralogical Society of America Reviews of Mineralogy*, v. 13, p. 357-467.

- HANMER, S., CORRIGAN, D., PEHRSSON, S., NADEAU, L. (2000). SW Grenville Province Canada: the case against post-1.4 Ga accretionary tectonics. *Tectonophysics*, v. 319, p. 33-51.
- HODGES, K. V. (1991) Pressure-temperature-time Paths. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, v. 19, p. 207-236.
- HODGES, K. V.; SPEAR, F. S. (1982) Geothermometry, geobarometry and the Al_2SiO_5 triple point at Mt. Moosilauke, New Hampshire. *American Mineralogist*, v. 67, p. 1118-1134.
- HOFFMAN, P. A. (1991) Did the birth of North America turn Gondwana inside out? *Science*, v. 252. P. 1409-1411.
- HOLDAWAY, M. J.; (1971) Stability of andalusite and the aluminum silicate phase diagram. *Am. Journal Sci.*, v. 271, p. 97-131.
- HOLDAWAY, M. J.; LEE, S. M. (1977) Fe-Mg cordierite in high grade politic rocks based on experimental and natural observations. *Contrib. to Mineralogy and Petrology*, v. 63, p. 175-198.
- HOSKIN, P. W. O.; BLACK, L. P. (2000) Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircon. *J. metamorphic Geol.*, v. 18, p. 423-439.
- INDARES, A.; MARTIGNOLE, J. (1985) Biotite-garnet geothermometry in the granulite facies: the influence of Ti and Al in biotite. *American Mineralogist*, v. 70, p. 272-278.
- INGEOMINAS; GEOESTUDIOS LTDA, (2001a) Geología de las planchas 367, 368, 389, 390 y 414. Licitación 004 de 1999. Bogotá (Escala 1:100.000).
- INGEOMINAS; GEOESTUDIOS LTDA, (2001b) Geología de la plancha 411, 412, 430, 431, 448, 449 y 465. Contrato 261 de 1999. Bogotá (Escala 1:100.000).
- KAY, S.M.; ORREL, S.; ABBRUZZI, J. M (1996) Zircon and whole rock Nd-Pb isotopic evidence for a Grenville age and Laurentian origin for the basement of the Precordilleran in Argentina. *J. of Geology*, v. 104, p. 637-648.
- KEPPIE, J. D.; DOSTAL, J.; CAMERON, K. L.; SOLARI, L. A. ; ORTEGA-GUTIERREZ, F.; LOPEZ, R. (2003) Geochronology and geochemistry of Grenvillian igneous suites in the northern Oaxacan Complex, southern Mexico: tectonic implications. *Precambrian Research*, v. 120, p. 365-389.
- KEPPIE, J.; DOSTAL, F.; ORTEGA-GUTIERREZ, F.; LOPEZ, R. (2001) A Grenvillian arc on the margin of Amazonia: evidence from the southern Oaxacan Complex, southern Mexico. *Precambrian Research*, v. 112, p. 165-181.
- KEPPIE, J.; ORTEGA-GUTIERREZ, F. (1999) Middle American Precambrian basement: a missing piece of the reconstructed 1 Ga orogen. In: RAMOS, V. A.; KEPPIE, J. D.; (ed.), Laurentia-Gondwana Connections before Pangea. *Special Paper Geol. Soc. Of America* 336, p. 199-210.

- KRETZ, R. (1983) Symbols for rock-forming minerals. *American Mineralogist*, v. 68, p. 277-279.
- KRIEGSMAN, L. M. (2001) Partial melting, partial melt extraction and partial back reaction in anatectic migmatites. *Lithos*, v. 56, p. 75-96.
- KRIEGSMAN, L. M.; HENSEN, B. J. (1998) Back reaction between restite and melt: Implications for geothermobarometry and pressure-temperature paths. *Geology*, v. 26, n. 12, p. 1111-1114.
- KROONENBERG, S. B. (2001) La Colisión Continental entre Amazonia y Laurentia 1100 Ma atrás. In: COLOQUIO SOBRE O PRECÁMBRICO DE COLOMBIA, Bogotá, 2001. *Resúmenes*. Bogotá, Ingeominas.
- KROONENBERG, S. B. (1982) Litología, metamorfismo y origen de las granulitas del Macizo de Garzón, Cordillera Oriental (Colombia). *Geología Norandina*, Bogotá, v. 6, p. 39-46.
- LAL, R. K. (1993) Internally consistent recalibrations of mineral equilibria for geothermobarometry involving garnet-orthopyroxene-plagioclase-quartz assemblages and their application to the South Indian granulites. *J. metamorphic Geol.*, v. 11, p. 855-866.
- LAVRENT'EVA, I. V.; PERCHUK, L. L. (1990) Orthopyroxene-garnet geothermometer: Experimental data. *Doklady Akademii Nauk SSSR*, v. 310, p. 1779-1782.
- LAVRENT'EVA, I. V.; PERCHUK, L. L. (1981) Cordierite-garnet thermometer. *Doklady Akademii Nauk SSSR*, v. 259, p. 697-700.
- LEAKE, B. E.; WOOLLEY, A. R.; ARPS, C. E. S.; BIRCH, W. D.; GILBERT, M. C.; GRICE, J. D.; HAWTHORNE, F. C.; KATO, A.; KISCH, H. J.; KRIVOVICHEV, V. G.; LINTHOUT, K.; LAIRD, J.; MANDARINO, J.; MARESCH, W. V.; NICKEL, E. H.; SCHUMACHER, J. C.; SMITH, D. C.; STEPHENSON, N. C. N.; UNGARETTI, L.; WHITTAKER, E. J. W.; YOUZHI, G. (1997) Nomenclatures of Amphiboles: Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names. *Mineralogical Magazine*, v. 61, p. 295-321.
- LE BRETON, N.; THOMPSON, A. B. (1988) Fluid-absent (dehydration) melting of biotite in metapelites in the early stages of crustal anatexis. *Contrib. to Mineralogy and Petrology*, v. 99, p. 226-237.
- LUDWIG, K. R. (2001) Squid 1.02 A User's Manual. *Special Publication n. 2*. Berkeley Geochronology Center.
- LUDWIG, K. R. (1999) Isoplot/Ex version 2.10. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. *Special Publication n. 1a*. Berkeley Geochronology Center.
- McDOUGALL, I.; HARRISON, T. M. (1999) *Geochronology and Thermochronology by the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ method*. Second Edition. New York, Oxford University Press. 269 p.

- McLELLAND, J.; HAMILTON, M.; SELLECK, B.; McMELLAND, J. M.; WALKER, D.; ORELL, S. (2001) Zircon U-Pb Geochronology of the Ottawa Orogeny, Adirondack Highlands, New York: Regional and tectonic implications. *Precambrian Research*, v. 109, p. 39-72.
- McLELLAND, J.; DALY, S.S.; McLELLAND, J. M. (1996) The Grenville Orogenic Cycle (ca. 1350-1000Ma): an Adirondack perspective. *Tectonophysics*, v. 265, p. 1-28.
- McMULLIN, D.; BERMAN, R. G.; GREENWOOD, H. J. (1991) Calibration of the SGAM thermobarometer for pelitic rocks using data from phase equilibrium experiments and natural assemblages. *Can. Mineral.*, v. 29, p. 889-908.
- MEZGER, E. J.; ESSENE, E. J.; HALLIDAY, A. N. (1992) Closure temperatures of the Sm-Nd system in metamorphic garnets. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 113, p. 397-409.
- MICHARD, A.; GURRIET, P.; SOUNDANT, M.; ALBAREDE, F. (1985) Nd isotopes in French Phanerozoic shales: external vs. internal aspects of crustal evolution. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 49, p. 601-610.
- MUNHÁ, J. M.; TASSINARI, C. C. G. (1999) Modelos de difusão em termocronologia metamórfica: filosofia e métodos. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 29, n. 4, p. 593-598.
- NEWTON, R. C. (1983) Geobarometry of high-grade metamorphic rocks. *American Journal of Science*, v. 283-A, p. 1-28.
- NEWTON, R. C.; PERKINS, D. (1982) Thermodynamic calibration of geobarometers based on the assemblages garnet-plagioclase-orthopyroxene (clinopyroxene)-quartz. *American Mineralogist*, v. 67, p. 203-222.
- NUTMAN, A. (2000) Lectures on Zirconology, Notes, November. Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo, unpublished manuscript.
- ORDOÑEZ, O. (1997) *O pré-Cambriano na parte norte da Cordilheira Central dos Andes colombianos*. Brasília. Tese (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.
- ORDOÑEZ, O. (2001) Caracterização isotópica Rb-Sr e Sm-Nd dos principais eventos magmáticos nos Andes Colombianos. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 197 p.
- PERCHUK, L. L.; ARANOVICH, L. Ya.; PODLESSKII, K. K.; LAVRANT'EVA, I. V.; GERASIMOV, V. Yu.; FED'KIN, V. V.; KITSUL, V. I.; KARSAKOV, L. P.; BERDNIKOV, N. V. (1985) Precambrian granulites of the Aldan shield, eastern Sibéria, USSR. *J. metamorphic Geol.*, v. 3, p. 265-310.
- PERCHUK, L. L.; LAVRENT'EVA, I. V. (1983) Experimental investigation of exchange equilibria in the system cordierite-garnet-biotite. In: SAXENA, S. K. (ed.) *Kinetics and Equilibrium in Mineral Reactions, Advances in Physical Chemistry*, New York, Springer-Verlag, v. 3, p. 199-239.

- PIGAGE, L. C.; GREENWOOD, H. J. (1982) Internally consistent estimates of pressure and temperature: the staurolite problem. *Am. J. of Science*, v. 282, p. 943-969.
- PRIEM, H. N. A.; KROONEMBERG, S. B.; BOELRIJK, N. A. I. M.; HEBEDA, E. H. (1989) Rb-Sr and K-Ar evidence of 1.6 Ga basement underlying the 1.2 Ga Garzon-Santa Marta granulitic belt in the Colombian Andes. *Precambrian Research*, v. 42, p. 315-324.
- RADELLI, L. (1962) Introducción al estudio de la petrografía del Macizo de Garzón, Huila (Colombia). *Geología Colombiana Univ. Nacional de Colombia*, v. 3, p. 17-46.
- RAMOS, V. A. (1988) Late Proterozoic-Early Paleozoic of South America- a Collisional History. *Episodes*, v. 11, n. 3. p. 168-174.
- RECHE, J.; MARTINEZ, F. J. (1996) GPT An excel spreadsheet for thermobarometric calculation in metapelitic rock. *Computer and Geosciences*, v. 22, n. 7, p. 775-784.
- RESTREPO, J. J.; TOUSSAINT, J. F. (1988) Terranes and continental accretion in the Colombian Andes. *Episodes* 11, p. 189-193.
- RESTREPO-PACE, P. A.; GEHRELS, G.; COSCA, M. (1997) Geochronology and Nd isotopic data of Grenville-age rocks in the Colombian Andes: new constraints for Late Proterozoic-Early Paleozoic paleocontinental reconstructions of the Americas. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 150, p. 427-441.
- RESTREPO-PACE, P. A. (1995) *Late Precambrian to Early Mesozoic Tectonic Evolution of the Colombian Andes, based on new Geochronological, Geochemical and Isotopic data*. Thesis Ph D. University of Arizona.
- RIDLEY, J. (1989) Vertical movement in orogenic belts and the timing of metamorphism relative to deformation. In: DALY, R.; CLIFF, R. A.; YARDLEY, W. D. *Evolution of Metamorphic Belts - Geological Society Special Publication Classics*. London, Geological Society, p. 103-115.
- RIEDER, M.; CAVAZZINI, G.; D'YAKONOV, Y.; FRANK-KAMENETSKII, V. A.; GOTTARDI, G.; GUGGENHEIM, S.; KOVAL, P. V.; MÜLLER, G.; NEIVA, A. M. R.; RADOSLOVICH, E. W.; ROBERT, J.-L.; SASSI, F. O.; TAKEDA, H.; WEISS, Z.; WONES, D. R. (1998) Nomenclature of the Micas. *The Canadian Mineralogist*, v. 36, p. 42-48.
- RIVERS, T. (1997) Lithotectonic elements of the Grenville Province: review and tectonic implications. *Precambrian Research*, v. 86, p. 117-154.
- ROBINSON, P. (1991) The eye of the petrographer, the mind of the petrologist. *American Mineralogist*, v. 76, p. 1781-1810.
- RODRIGUEZ, G.; ZAPATA, G.; VELASQUEZ, M. E.; COSSIO, U.; LONDOÑO, A. C. (2002) Geología de las planchas 367, 368, 389, 391 y 414. Departamentos del Caqueta y del Huila Medellín. Ingeominas, informe interno.
- RODRIGUEZ, G. (1985) Petrografía y Microtexturas del Grupo Garzón y el Granito de anatexis de El Recreo, Macizo de Garzón, Cordillera Oriental, Colombia. *Revista Ingeominas*, N. 5, p. 17-36.

- RUIZ, J.; TOSDAL, R. M.; RESTREPO-PACE, P. A.; MURILLO-MUÑETON, G. (1999) Pb isotope evidence for Colombia-southern México connections in the Proterozoic. *Geol. Soc. Of America Special Paper 336*, p. 183-197.
- 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.*, v. 67, n. 3, p. 313-336.
- SATO, K. (1998) *Evolução crustal da Plataforma Sul Americana, com base na geoquímica isotópica Sm-Nd*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências Universidade de São Paulo. p.
- SEN, S. K.; BHATTACHARYA, A. (1984) An orthopyroxene-garnet thermometer and its application to the Madra charnockites. *Contrib. Mineral. Petrol*, v. 88, p. 64-71.
- SAWYER, E. W. (1999) Criteria for the Recognition of Partial Melting. *Phys. Chem. Earth (A)*, v. 24, n. 3, p. 269-279.
- SOLARI, L. A.; KEPPIE, J. D.; ORTEGA-GUTIERREZ, F.; CAMERON, K. L.; LOPEZZ, R.; HAMESS, W. E. (2003) 990 and 1100 Ma Grenvillian tectonothermal events in the northern Oaxacan Complex, southern Mexico: roots of an orogen. *Tectonophysics* 6847, p. 1-26.
- SPEAR, F. S. (1991) On the interpretation of peak metamorphic temperatures in the light of garnet diffusion during cooling. *J. Metamorphic Geol.*, v. 9, p. 379-388.
- SPEAR, F. S.; HICKMOTT, D. D.; SELVERSTONE, J. (1990) Metamorphic consequences of thrust emplacement, Fall Mountain, New Hampshire. *Geol. Soc. Of America Bull.*, v. 102, p. 1344-1360.
- SPEAR, F. S. (1985) *Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time Paths*. Washington, D.C. Mineralogical Society of America, 799 p.
- SPEAR, F. S.; SELVERSTONE, J. (1983) Quantitative P-T Paths from Zoned Minerals: Theory and Tectonic Applications. *Contrib. Mineral. Petrol.*, v. 83, p. 348-357.
- STEIGER, R. H.; JÄGER, E. (1977) Subcommittee on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. *Earth. Planet. Sci. Lett.*, V. 36, p. 359-362.
- TABOADA, A.; RIVERA, L. A.; FUENZALIDA, A.; CISTERNAS, A.; PHILIP, H.; BIJWAARD, H.; OLAYA, J.; RIVERA, C. (2000) Geodynamics of the northern Andes: Subductions and intracontinental deformation (Colombia). *Tectonics*, v. 19, n. 5, p. 787-813.
- TASSINARI, C. C. G. (1996) *O Mapa geocronológico do Cráton Amazônico no Brasil: Revisão dos dados isotópicos*. Tese de Livre-Docente, Departamento de Geologia Geral. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- TERA, F.; WASSERBURG, G. F. (1974) U-Th-Pb systematics in three Apollo 14 basalts and the problem with initial Pb in Lunar rocks. *Earth Planet. Sci. Lett.*, v. 14, p. 281-304.

- THOMPSON, A. B. (2001) P-T Paths, H₂O Recycling, and Depth of Crystallisation for Crystal Melts. *Phys. Chem. Herat (A)*, v. 26, n. 4-5, p. 231-237.
- THOMPSON, A. B.; ENGLAND, P. C. (1984) Pressure-temperature-time paths of regional metamorphism II. Their inference and interpretation using mineral assemblages in metamorphic rocks. *Journal of Petrology*, 25, p. 929-955.
- THOMPSON, J. B. (1976) Mineral reactions in pelitic rocks II. Calculation of some P-T-X (Fe-Mg) phase relations. *Ame. J. of Science*, v. 276, p. 425-454.
- TOUSSAINT, J. F. (1993) *Evolución geológica de Colombia. Precámbrico-Paleozóico*. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 129p.
- TOSDAL, R. M.; BETTENCOURT, J. S. (1994) U-Pb zircon and Pb isotopic compositions of Middle Proterozoic Rondonian Massifs, southwestern margin of the Amazonian Craton, Brazil 7^o Congreso Geológico Chileno, Actas V, II, p. 1538-1541.
- TOSDAL, R. M. (1996) The Amazon-Laurentian connection as viewed from the Middle Proterozoic rocks in the Central Andes, Western Bolivia and northern Chile. *Tectonics*, v. 15, n. 4, p. 827-842.
- TSCHANZ, C. M.; MARVIN, R. F.; CRUZ, J. (1974) Geologic evolution of the Sierra Nevada de Santa Marta area, Colombia. *Geol. Soc. Of America Bull.*, v. 85, p. 273-284.
- VABRA, G.; SCHMID, R.; GEBAUER, 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.*, v. 134, p. 380-404.
- VAN DER PLUIJM, B. A.; MEZGER, K.; COSCA, M. A.; ESSENE, E. J. (1994) Determining the significance of high-grade shear zones by using temperature-time paths, with examples from the Grenville orogen. *Geology*, v. 22, p. 743 – 746.
- VAN DER WIEL, A. M. (1991) *Uplift and volcanism of the SE Colombian Andes in relation to Neogene sedimentation in the Upper Magdalena Valley*. Thesis PhD U. Agriculture University of Wageningen. Amsterdam. The Netherlands.
- 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. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 74, n. 2, p. 297-342.
- VELANDIA, F.; TERRAZA, R.; VILLEGAS, H. (2001) El Sistema de fallas de Algeciras hacia el suroeste de Colombia y la actual transpresión de los Andes del norte. In: CONGRESO COLOMBIANO DE GEOLOGIA, Manizales, 2001. CD con resúmenes.
- VESGA, C. J.; BARRERO, D. (1978) Edades K/Ar en rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera Central de Colombia y su implicación geológica. In: II Congreso Colombiano de Geología, Bogotá, *Resúmenes*.
- VILLA, I. M. (1998) Isotopic closure. *Terra Nova*, v. 10, p. 42-47.

VINASCO, C. J.; CORDANI, U. G.; VASCONCELOS, P. (2001) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dates in Central Cordillera of Colombia Evidence for a Upper Triassic Regional Tectonomagmatic Event. III South American Symposium on Isotope Geology, Chile. CD con resúmenes.

WASTENEYS, H. A.; CLARK, A. H.; FARRAR, E.; LANGRIDGE, R. J. (1995) Grenvillian granulite-facies metamorphism in the Arequipa Massif, Peru: a Laurentia-Gondwana link. *Earth Planet. Sci. Lett.*, v. 132, p. 63-73

WATERS, D. J. (2001) The significance of prograde and retrograde quartz-bearing intergrowth microstructures in partially melted granulite-facies rocks. *Lithos*, v. 56, p. 97-110.

WATSON, B. E.; HARRISON, M. T. (1983) Zircon saturation revisited: temperature and composition effects in a variety of crustal magma types. *Earth Planet. Sci. Lett.*, v. 64, p. 295-304.

WETHERHILL, G. W. (1956) Discordant uranium-lead ages. *Transaction American Geophysical Union*, 37, p. 320-326.

WILLIAMS, M. L.; GRAMBLING, J. A. (1990) Manganese, ferric iron, and the equilibrium between garnet and biotite. *American Mineralogist*, v. 75, p. 886-908.

WINDLEY, B. F. (1995) *The evolving continents*, 3 ed., Chichester, John Wiley & Sons. 526 p

ANEXO II – Características gerais dos minerais das rochas regionais do Maciço de Garzón**GUAPOTÓN-MANCAGUA, GNAISSES:**

Quartzo: monocristalino anedral de granulação média a grossa, e com extinção ondulante. Ocasionalmente apresenta textura mirmequítica, simplectítica (entre Bt-Qtz e Px-Qtz) e aparece freqüentemente como inclusões finas anedrais em outros cristais de Qtz, Pl e Kfs. O conteúdo varia de 8% a 34%.

Plagioclásio (An₂₀₋₃₅): cristais anedrais de granulação média a grossa, geminados segundo a Lei da Albita e Periclínio, parcialmente sericitizados. Alguns apresentam texturas antipertíticas tipo *bead* (com menos de 1% de microclínio) e estão substituídos por Kfs. Também encontra-se como inclusões finas, inseridas em quartzo e k-feldspato. O conteúdo varia de 13% a 42%.

Encontra-se Mc e também, possivelmente, Or pertítico. Pela incerteza, denomina-se o último genericamente de Kfs. O conteúdo global varia de 24 a 44%.

Microclínio: cristais anedrais de granulação média a grossa com a geminação típica em grade. São comuns as pertitas tipo *bead* (com 1 a 30% da fase sódica); e localmente observou-se Mc com pertitas em duas direções diferentes.

k-feldspato: Cristais anedrais de granulação média a grossa, sem geminação característica de Mc, pertíticos a mesopertíticos tipo *stringlets* e *string* (com um 30 a 50% da fase sódica). Localmente os cristais estão caulinizados.

Hornblenda: cristais tabulares anedrais a subeuhedrais de granulação fina a grossa, de cor verde escura (principalmente) ou marrom escura, com forte pleocroísmo. Ocasionalmente apresenta textura simplectítica entre Qtz e Hbl. A percentagem varia de 5 a 14%.

Biotita: Cristais tabulares subeuhedrais de granulação fina a grossa, de cor e pleocroísmo marrom escuro; às vezes apresentam textura simplectítica e poikilitica com inclusões de Qtz, Ap e Zrn. O conteúdo varia de 2 a 3%.

Outros: O mineral opaco é Mag em quantidades desde traço até 5%. Os principais minerais acessórios são Zrn, Ap e Aln. Pela alteração hidrotermal gerou-se Ms, sericita e Ep.

VERGEL, GRANULITOS:

Quartzo: monocristalino, anedral, de granulação fina a grossa. Algumas amostras expõem Qtz policristalino com extinção ondulante. Ocasionalmente tem textura mirmequítica (Qtz vermiforme em Pl, em contato com Kfs). Também apresentam-se em cristais finos, goticulares, inseridos em outros quartzos, plagioclásio, feldspato. O conteúdo varia de 2 a 60%.

Plagioclásio (An₂₃₋₄₁): Cristais anedrais de granulação fina a grossa, geminados segundo a Lei da Albita, Periclínio e Carlsbad, ocasionalmente sericitizados. Alguns exibem texturas antipertíticas tipo *bead* (com < 1% de Or). O conteúdo varia de 8 a 53%.

Feldspato potássico: Cristais anedrais de granulação fina a grossa e alguns com ligeira caulinização; com texturas pertíticas (com um 20 a 45% de Pl) e ocasionalmente mesopertítica, tipo *stringlets* e *strings* (gotas e gotinhas). O conteúdo varia de 0 a 65%.

Ortopiroxênio (Hiperstênio): Cristais anedrais de granulação fina a grossa e forte pleocroísmo rosado. Alguns com textura sagenítica (oxidação através da clivagem). Extinção quase paralela (0 - 5°) e 2V alto (75 - 90°). Altera para Chl, Tr, e minerais de Srp; deixando um remanescente de carbonato. O conteúdo varia de 1 a 30%.

Clinopiroxênio: Cristais anedrais de granulação fina a grossa e leve pleocroísmo verde. Extinção de 8° (augita-egirina) a 40° (augita) e 2V meios a altos (50 - 80°), com uma percentagem de 3 a 28%. Altera a Chl, Tr e minerais de Srp.

Hornblenda: Cristais tabulares anedrais a subeuhedrais de granulação fina a média, de cor verde escura a marrom escura, forte pleocroísmo e uma percentagem que varia de 0 a 58%.

Biotita: Cristais tabulares subeuhedrais de granulação fina a média, cor vermelha a marrom escuro, forte pleocroísmo vermelho escuro. Encontra-se associada à Mag. Ocasionalmente apresenta textura simplectítica com Qtz, ou vermiforme. O conteúdo varia de 1 a 21%.

Granada (almandina): Cristais anedrais poikilíticos de granulação fina a média, incolores a rosados. Contêm inclusões de Bt e Qtz; com uma percentagem que varia de 0 a 5%.

Os principais minerais opacos são Mag e Ttn com valores de 0 a 15%, e Py disseminada associada ao hidrotermalismo junto com sericita, Ep e Gn. Os acessórios observados foram Zrn, Ap, Mnz.

VERGEL, ROCHAS GNÁISSICAS:

A diferença das rochas anteriores estas contêm Mc e não apresentam Opx. Em geral os gnaisses constituem-se dos mesmos minerais dos granulitos, e apresentam feições similares com exceção de:

Quartzo: Não têm texturas mirmequíticas. São comuns cristais finos inseridos em Kfs, Pl, Grt. O conteúdo varia de 20 a 60%.

Ortoclásio: Cristais pertíticos com formas orientadas; localmente com inclusões de Qtz e Bt. O conteúdo varia de 3 a 51%.

Microclínio: Cristais limpidos de granulação fina com a característica geminação em grade. O conteúdo varia de 0 a 6%.

Plagioclásio: O conteúdo varia de 3 a 48%.

Clinopiroxênio (augita-egirina, egirina-enstatita): Alguns cristais estão alterados a Chl, minerais de Srp e carbonatos. Associados à Hbl. O conteúdo varia de 0 a 5%.

Hornblenda: Encontra-se intercrescida com Bt, associada à Mag e formada pela alteração de Px; localmente tem inclusões de Qtz e Bt. O conteúdo varia de 0 a 8%.

Biotita: localmente está cloritizada, com desenvolvimento de Ep e carbonatos. Tem textura simplectítica com Qtz e Mag. Ocasionalmente desenvolve halos pleocróicos em Zrn. O conteúdo varia de 1 a 8%.

Granada: Cristais poikilíticos com inclusões de Qtz. A Grt está em paragêneses com Bt e localmente alterada a Chl. O conteúdo varia de 0 a 14%.

MARGARITAS, PARAGNAISSES:

Quartzo: Monocristalino, anedral, de granulação média. Alguns cristais tem extinção ondulante. Aparece como cristais finos inseridos em Qtz, Kfs e Pl. Ocasionalmente com textura mirmequítica, micrográfica e simplectítica (entre Qtz e Bt). O conteúdo varia de 23 a 57%.

k-feldspato: Cristais anedrais de granulação média e ligeira caulinização com texturas pertíticas a mesopertíticas (com 30 a 50% da fase sódica) tipo *stringlets*, *strings* e *bead* (gotas, gotinhas e borbulhas).

Microclínio: Geralmente antipertítico tipo *bead* (menos de 1% de Mc inserido em Pl) e *stringlets* (5% de gotas de Mc em Pl). Também, aparece como cristais límpidos, geminados, com inclusões de Qtz. O conteúdo de Kfs e Mc varia de 0 a 17%.

Plagioclásio (An₃₀₋₅₀): Cristais anedrais de granulação média, as vezes geminados segundo a Lei da Albita e Periclínio; ocasionalmente sericitizados. Alguns cristais exibem textura antipertítica tipo *bead* (Mc numa percentagem de 1 a 10% inserido em Pl); outros estão como inclusões em Qtz. O conteúdo varia de 12 a 51%.

Clinopiroxênio (augita-egirina): Cristais geralmente alterados a Chl, sericita e alguns completamente serpentinizados. O conteúdo varia de 0 a 6%.

Biotita: Observam-se duas gerações diferentes, uma delas paralela à foliação, marrom, fortemente alterada a Chl; e outra perpendicular à foliação, de granulação mais fina e sem alteração. A percentagem varia de 1 a 35%.

Granada (almandina-piropo): Porfiroblastos poikilíticos de granulação fina a média e cor rosada. Ocasionalmente com desenvolvimento de Chl em zonas de fratura e alteração a Ms nas bordas. Alguns com bordas de reação a Pl. O conteúdo varia de 0 a 11%.

Sillimanita: Cristais prismáticos euhedrais de granulação fina, incolores, associados às bandas de Bt castanha. Às vezes altera-se para minerais de argila (pirofillita?).

Outros: O principal mineral opaco é Mag em pequena quantidade e Py associada a hidrotermalismo. Os acessórios são Zrn, Ap (granulação fina a média) e monazita?; estes atingem percentagem de até 2%.

ANEXO III - Análises de microsonda eletrônica e composição mineralógica

Lâmina V-332, granulito

Granada

Associação	Análise, Perfil	Loc	SIO2	AL2O3	TIO2	FEO	MNO	MGO	CAO	NA2O	CR2O3	SrO	Y2O3	BAO	TOTAL
v-332-4 e 13	grt1, bt-grt1	borda	37.641	21.051	0.028	32.406	0.935	4.054	2.897	0.007	0.029	0.000	0.000	0.000	99.048
	grt2, bt-grt1	grt/bt	37.688	21.248	0.111	33.034	0.836	3.564	3.040	0.020	0.058	0.017	0.000	0.000	99.616
	grt3, bt-grt1	grt/bt	37.800	20.980	0.083	31.955	0.908	3.614	4.062	0.010	0.028	0.000	0.000	0.076	99.516
	grt4, bt-grt1	grt/bt	37.502	20.956	0.000	32.223	0.832	3.462	3.366	0.016	0.063	0.017	0.000	0.162	98.599
v-332-1 e 3	grt5, bt-grt1	núcleo	37.724	20.974	0.049	32.082	0.953	3.956	2.982	0.020	0.076	0.000	0.000	0.006	98.822
v-332-2	grt6, bt-grt1	núcleo	37.641	21.088	0.054	32.615	0.884	4.442	2.313	0.018	0.017	0.000	0.000	0.005	99.077
v-332-9	grt7, bt-grt1	interm	37.046	20.924	0.016	32.442	0.867	4.573	2.510	0.013	0.052	0.000	0.007	0.000	98.450
v-332-5	grt8, bt-grt1	borda	37.388	20.904	0.000	32.548	0.957	4.527	2.682	0.000	0.063	0.000	0.000	0.092	99.161
	grt9, bt-grt1	interm	37.385	20.809	0.097	32.908	1.034	4.340	2.474	0.015	0.000	0.000	0.121	0.044	99.227
	grt10, bt-grt1	borda	37.262	20.727	0.031	32.443	0.910	4.507	2.486	0.023	0.064	0.000	0.027	0.061	98.541
	grt11, bt-grt1	núcleo	36.985	20.896	0.081	32.812	1.042	4.454	2.350	0.022	0.045	0.000	0.000	0.003	98.690
	grt12, bt-grt1	borda	37.278	20.789	0.102	32.483	0.982	4.418	2.426	0.014	0.042	0.000	0.000	0.009	98.543
	grt13, bt-grt1	grt/bt	37.489	21.080	0.092	32.486	0.881	3.773	3.520	0.000	0.055	0.000	0.105	0.033	99.514
	grt7, px-grt1	núcleo	37.369	20.791	0.042	32.040	0.962	4.673	2.442	0.020	0.038	0.000	0.000	0.005	98.382
	grt8, px-grt2	gt/px	37.121	20.761	0.057	32.842	0.963	3.747	2.900	0.000	0.125	0.000	0.000	0.000	98.516
	grt9, px-grt2	núcleo	37.593	21.069	0.118	32.966	0.902	4.325	2.501	0.003	0.066	0.000	0.000	0.000	99.543
	grt10, px-grt2	núcleo	37.587	21.089	0.044	32.166	0.846	4.304	2.817	0.006	0.100	0.000	0.000	0.000	98.959
	grt11, px-grt2	gt/px	37.101	20.833	0.000	33.576	1.016	4.102	2.620	0.020	0.092	0.000	0.023	0.005	99.388
	grt12, px-grt2	gt/px	37.338	21.001	0.005	33.210	0.850	4.155	2.532	0.005	0.055	0.000	0.059	0.067	99.277
	grt13, px-grt2	borda	37.630	20.969	0.005	31.553	0.811	4.344	3.236	0.000	0.075	0.000	0.051	0.000	98.674
	grt14, px-grt2	borda	37.532	20.966	0.000	31.640	0.876	4.367	3.186	0.000	0.129	0.000	0.046	0.000	98.742
	grt11, px-grt1	borda	37.610	21.000	0.051	31.703	0.917	4.197	3.356	0.011	0.112	0.000	0.000	0.035	98.992
	grt12, pg-grt1	grt/pg	37.462	21.078	0.111	32.048	0.899	4.378	2.580	0.018	0.053	0.000	0.000	0.005	98.632
v-332-15	grt13, pg-grt1	núcleo	37.429	21.118	0.116	32.576	0.919	4.585	2.510	0.008	0.041	0.000	0.000	0.000	99.302
	grt14, pg-grt1	grt/inc bt	37.379	20.915	0.101	32.773	0.888	4.514	2.441	0.008	0.050	0.000	0.000	0.000	99.069
	grt15, bt-grt2	grt/bt	37.857	21.040	0.000	31.828	0.981	3.400	4.355	0.018	0.108	0.000	0.000	0.025	99.612
	grt16, bt-grt2	interm	37.603	21.091	0.075	32.670	0.847	4.364	2.491	0.011	0.134	0.000	0.008	0.000	99.294
v-332-6 e 7	grt17, bt-grt2	interm	37.354	21.045	0.091	31.934	0.953	4.351	2.622	0.000	0.092	0.000	0.050	0.007	98.499
	grt18, bt-grt2	interm	37.856	21.092	0.033	32.765	0.922	4.203	3.118	0.000	0.140	0.000	0.037	0.004	100.170
	grt19, bt-grt2	núcleo	37.774	21.166	0.047	33.316	0.923	4.495	2.535	0.013	0.174	0.000	0.064	0.000	100.507
	grt20, bt-grt2	borda	37.541	20.953	0.000	32.519	1.015	4.297	2.683	0.008	0.103	0.000	0.035	0.028	99.182
	grt21, bt-grt2	interm	37.410	20.954	0.000	32.414	0.811	4.356	2.538	0.023	0.111	0.000	0.063	0.028	98.708

Associação	Análise, Perfil	Cátions (24 oxigênios)										
		TSI	TAL	ALVI	FE3	TI	CR	FE2	MG	MN	CA	NA
v-332-4 e 13	grt1,bt-grt1	6.051	0.000	3.985	0.000	0.003	0.004	4.357	0.972	0.127	0.499	0.002
	grt2,bt-grt1	6.043	0.000	4.012	0.000	0.013	0.007	4.430	0.852	0.114	0.522	0.006
	grt3,bt-grt1	6.057	0.000	3.959	0.000	0.010	0.004	4.283	0.863	0.123	0.697	0.003
	grt4,bt-grt1	6.080	0.000	4.001	0.000	0.000	0.008	4.369	0.837	0.114	0.585	0.005
v-332-1 e 3	grt5,bt-grt1	6.079	0.000	3.980	0.000	0.006	0.010	4.324	0.950	0.130	0.515	0.006
v-332-2	grt6,bt-grt1	6.041	0.000	3.986	0.000	0.007	0.002	4.378	1.063	0.120	0.398	0.006
v-332-9	grt7,bt-grt1	5.979	0.021	3.956	0.000	0.002	0.007	4.379	1.100	0.119	0.434	0.004
v-332-5	grt8,bt-grt1	6.000	0.000	3.950	0.000	0.000	0.008	4.368	1.083	0.130	0.461	0.000
	grt9,bt-grt1	6.011	0.000	3.940	0.000	0.012	0.000	4.425	1.040	0.141	0.426	0.005
	grt10,bt-grt1	6.018	0.000	3.942	0.000	0.004	0.008	4.382	1.085	0.124	0.430	0.007
	grt11,bt-grt1	5.965	0.035	3.933	0.000	0.010	0.006	4.425	1.071	0.142	0.406	0.007
v-332-15	grt12,bt-grt1	6.020	0.000	3.954	0.000	0.012	0.005	4.387	1.064	0.134	0.420	0.004
	grt13,bt-grt1	6.014	0.000	3.982	0.000	0.011	0.007	4.358	0.902	0.120	0.605	0.000
	grt7,px-grt1	6.030	0.000	3.951	0.000	0.005	0.005	4.324	1.124	0.131	0.422	0.006
	grt8,px-grt2	6.018	0.000	3.964	0.000	0.007	0.016	4.453	0.906	0.132	0.504	0.000
	grt9,px-grt2	6.014	0.000	3.969	0.000	0.014	0.008	4.411	1.031	0.122	0.429	0.001
	grt10,px-grt2	6.038	0.000	3.990	0.000	0.005	0.013	4.321	1.031	0.115	0.485	0.002
	grt11,px-grt2	5.959	0.041	3.900	0.000	0.000	0.012	4.510	0.982	0.138	0.451	0.006
	grt12,px-grt2	6.007	0.000	3.974	0.000	0.001	0.007	4.463	0.995	0.116	0.436	0.002
	grt13,px-grt2	6.057	0.000	3.975	0.000	0.001	0.010	4.247	1.042	0.111	0.558	0.000
	grt14,px-grt2	6.038	0.000	3.972	0.000	0.000	0.016	4.257	1.047	0.119	0.549	0.000
	grt11,px-grt1	6.040	0.000	3.972	0.000	0.006	0.014	4.258	1.005	0.125	0.577	0.003
	grt12,pg-grt1	6.036	0.000	4.000	0.000	0.013	0.007	4.319	1.052	0.123	0.445	0.006
	grt13,pg-grt1	5.990	0.010	3.970	0.000	0.014	0.005	4.360	1.094	0.125	0.430	0.002
	grt14,pg-grt1	6.002	0.000	3.955	0.000	0.012	0.006	4.401	1.081	0.121	0.420	0.002
	grt15,bt-grt2	6.061	0.000	3.967	0.000	0.000	0.014	4.261	0.811	0.133	0.747	0.006
	grt16,bt-grt2	6.026	0.000	3.981	0.000	0.009	0.017	4.379	1.043	0.115	0.428	0.003
	grt17,bt-grt2	6.032	0.000	4.002	0.000	0.011	0.012	4.312	1.047	0.130	0.454	0.000
v-332-6 e 7	grt18,bt-grt2	6.020	0.000	3.950	0.000	0.004	0.018	4.357	0.996	0.124	0.531	0.000
	grt19,bt-grt2	5.986	0.014	3.937	0.000	0.006	0.022	4.416	1.062	0.124	0.430	0.004
	grt20,bt-grt2	6.028	0.000	3.962	0.000	0.000	0.013	4.367	1.029	0.138	0.462	0.002
	grt21,bt-grt2	6.032	0.000	3.979	0.000	0.000	0.014	4.371	1.047	0.111	0.438	0.007

Biotita

Associação	Análise, Perfil	Loc	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	CL	F	BAO	TOTAL
V-332-4	bt1, bt-grt1	bt/grt	36.112	4.858	13.686	18.366	0.033	11.442	0.032	0.094	9.328	0.373	1.090	0.277	95.691
V-332-13	bt2, bt-grt1	núcleo	35.915	4.795	13.584	18.904	0.000	11.362	0.000	0.075	9.368	0.391	1.182	0.322	95.898
	bt3, bt-grt1	bt/grt	36.326	5.141	13.909	18.348	0.018	11.261	0.027	0.059	9.470	0.414	0.856	0.164	95.993
V-332-3 e 5	bt4, bt-grt1	núcleo	36.091	5.255	13.696	18.914	0.012	11.293	0.000	0.043	9.391	0.396	1.065	0.328	96.484
	bt5, bt-grt1	borda	36.072	4.817	14.217	19.217	0.000	10.809	0.033	0.117	8.948	0.390	0.744	0.231	95.595
V-332-1 e 9	bt6, bt-grt1	núcleo	35.881	5.610	13.970	19.062	0.000	10.896	0.034	0.089	9.036	0.422	0.825	0.203	96.028
	bt7, bt-grt1	bt/grt	35.027	4.643	13.968	19.822	0.018	10.832	0.103	0.109	8.607	0.340	0.461	0.197	94.127
	bt8, bt-grt1	núcleo	36.202	5.403	13.878	19.400	0.030	10.967	0.009	0.064	9.304	0.378	1.031	0.321	96.987
	bt9, bt-grt1	interm	35.339	4.942	13.951	19.216	0.035	10.687	0.019	0.096	9.166	0.429	1.009	0.276	95.165
	bt10, bt-grt1	altera	35.680	4.400	14.022	18.995	0.012	11.328	0.066	0.120	9.248	0.373	0.973	0.343	95.560
V-332-2	bt11, bt-grt1	inclus	35.784	6.116	14.015	18.159	0.002	11.027	0.019	0.369	8.747	0.821	1.051	0.279	96.389
	bt12, px-grt2	inclusi	36.253	5.620	13.940	18.160	0.051	11.253	0.000	0.305	8.970	0.555	0.881	0.490	96.478
	bt13, px-grt2	altera	36.547	4.559	13.801	16.640	0.020	12.637	0.017	0.083	9.529	0.229	0.981	0.091	95.134
	bt14, px-grt2	bt/px	35.929	4.621	13.408	19.072	0.000	11.311	0.111	0.100	8.985	0.212	0.792	0.063	94.604
	bt15, px-grt2	núcleo	35.621	4.898	13.574	19.154	0.028	11.332	0.037	0.047	8.856	0.170	0.818	0.140	94.675
	bt19, bt-grt2	bt/grt	35.554	5.381	13.643	18.961	0.023	11.266	0.001	0.097	9.609	0.243	0.978	0.137	95.893
V-332-7	bt20, bt-grt2	núcleo	34.994	5.142	13.566	18.620	0.000	11.289	0.000	0.125	9.546	0.225	1.052	0.202	94.761
V-332-6	bt21, bt-grt2	inclusio	35.422	5.424	13.808	18.206	0.008	11.476	0.008	0.305	8.753	0.823	0.774	0.408	95.415
	bt22, bt-grt2	núcleo	36.346	5.166	13.714	19.266	0.022	11.328	0.000	0.067	9.496	0.241	0.865	0.129	96.640
V-332-15	bt23, bt-grt2	núcleo	36.146	4.864	13.549	18.840	0.012	11.283	0.013	0.107	9.559	0.228	0.928	0.006	95.535
	bt24, bt-grt2	interm	35.985	4.856	13.485	19.156	0.050	11.303	0.027	0.118	9.128	0.216	0.867	0.104	95.295
	bt25, bt-grt2	bt/grt	35.639	4.466	13.593	20.976	0.000	10.025	0.038	0.062	9.064	0.247	0.703	0.095	94.908
	bt26, bt-grt2	núcleo	36.364	5.201	13.876	19.235	0.012	10.997	0.001	0.093	9.438	0.260	1.065	0.006	96.548

Cátions (22 oxigênios, OH=O)

Associação	Análise, Perfil	SI	ALIV	ALVI	TI	FE2	MN	MG	BA	CA	NA	K	CF	CCL
V-332-4	bt1, bt-grt1	5.581	2.419	0.072	0.565	2.374	0.004	2.636	0.017	0.005	0.028	1.839	1.065	0.195
V-332-13	bt2, bt-grt1	5.565	2.435	0.044	0.559	2.450	0.000	2.624	0.020	0.000	0.023	1.852	1.158	0.205
	bt3, bt-grt1	5.576	2.424	0.090	0.594	2.355	0.002	2.577	0.010	0.004	0.018	1.855	0.831	0.216
V-332-3 e 5	bt4, bt-grt1	5.547	2.453	0.026	0.608	2.431	0.002	2.588	0.020	0.000	0.013	1.841	1.035	0.206
	bt5, bt-grt1	5.563	2.437	0.145	0.559	2.478	0.000	2.485	0.014	0.005	0.035	1.760	0.726	0.204
V-332-1 e 9	bt6, bt-grt1	5.518	2.482	0.048	0.649	2.452	0.000	2.498	0.012	0.006	0.027	1.773	0.802	0.220
	bt7, bt-grt1	5.494	2.506	0.074	0.548	2.600	0.002	2.533	0.012	0.017	0.033	1.722	0.457	0.181
	bt8, bt-grt1	5.538	2.462	0.038	0.622	2.482	0.004	2.501	0.019	0.001	0.019	1.816	0.998	0.196
	bt9, bt-grt1	5.519	2.481	0.085	0.580	2.510	0.005	2.488	0.017	0.003	0.029	1.826	0.997	0.227
	bt10, bt-grt1	5.537	2.463	0.099	0.514	2.465	0.002	2.620	0.021	0.011	0.036	1.831	0.955	0.196
V-332-2	bt11, bt-grt1	5.496	2.504	0.031	0.707	2.332	0.000	2.525	0.017	0.003	0.110	1.714	1.021	0.428

Associação	Análise, Perfil	SI	ALIV	ALVI	TI	FE2	MN	MG	BA	CA	NA	K	CF	CCL
V-332-7	bt12,px-grt2	5.545	2.455	0.056	0.647	2.323	0.007	2.566	0.029	0.000	0.090	1.750	0.852	0.288
	bt13,px-grt2	5.609	2.391	0.104	0.526	2.136	0.003	2.891	0.005	0.003	0.025	1.866	0.952	0.119
	bt14,px-grt2	5.594	2.406	0.052	0.541	2.483	0.000	2.625	0.004	0.019	0.030	1.785	0.780	0.112
	bt15,px-grt2	5.545	2.455	0.033	0.573	2.493	0.004	2.630	0.009	0.006	0.014	1.759	0.805	0.090
	bt19,bt-grt2	5.498	2.484	0.000	0.626	2.452	0.003	2.597	0.008	0.000	0.029	1.896	0.956	0.127
	bt20,bt-grt2	5.483	2.503	0.000	0.606	2.440	0.000	2.637	0.012	0.000	0.038	1.908	1.043	0.120
	bt21,bt-grt2	5.495	2.505	0.018	0.633	2.362	0.001	2.654	0.025	0.001	0.092	1.732	0.759	0.433
	bt22,bt-grt2	5.557	2.443	0.026	0.594	2.463	0.003	2.582	0.008	0.000	0.020	1.852	0.836	0.125
	bt23,bt-grt2	5.585	2.415	0.051	0.565	2.435	0.002	2.599	0.000	0.002	0.032	1.884	0.907	0.119
	bt24,bt-grt2	5.574	2.426	0.034	0.566	2.481	0.007	2.610	0.006	0.004	0.035	1.804	0.849	0.113
V-332-6	bt25,bt-grt2	5.583	2.417	0.091	0.526	2.748	0.000	2.341	0.006	0.006	0.019	1.811	0.697	0.131
V-332-15	bt26,bt-grt2	5.567	2.433	0.069	0.599	2.463	0.002	2.510	0.000	0.000	0.028	1.843	1.031	0.135
Ortopiroxêno														
Associação	Análise, Perfil	Loc	SIO2	TIO2	AL2O3	FEO	MNO	MGO	CAO	NA2O	K2O	CR2O3	NIO	TOTAL
V-332-1,2,3,5,6,7,9	px1,px-grt1	borda	49.542	0.169	0.837	33.987	0.345	13.628	0.368	0.000	0.000	0.007	0.000	98.883
	px2,px-grt1	núcleo	49.534	0.104	0.962	34.280	0.351	13.603	0.455	0.036	0.000	0.032	0.000	99.357
	px3,px-grt1	núcleo	48.963	0.064	1.321	33.902	0.374	13.608	0.379	0.004	0.011	0.053	0.000	98.679
	px4,px-grt1	núcleo	48.985	0.000	1.853	33.360	0.330	13.558	0.367	0.027	0.018	0.000	0.000	98.498
	px4,rep2	núcleo	49.118	0.161	1.512	33.681	0.347	13.371	0.418	0.000	0.016	0.010	0.000	98.634
V-332-4,13,15	px5,px-grt1	núcleo	49.061	0.132	1.237	33.601	0.259	13.865	0.371	0.002	0.022	0.103	0.000	98.653
	px6,px-grt1	borda	49.291	0.087	1.187	33.175	0.273	14.174	0.370	0.005	0.000	0.068	0.000	98.630
	px7,px-grt1	núcleo	49.228	0.102	1.085	33.977	0.325	13.703	0.451	0.001	0.000	0.000	0.000	98.872
	px9,px-grt1	interm	49.283	0.125	1.318	34.277	0.402	13.320	0.471	0.000	0.000	0.034	0.000	99.230
	px10,px-grt1	px/grt	49.336	0.116	1.347	34.094	0.346	13.132	0.339	0.031	0.003	0.052	0.000	98.796
	px11,px-grt1	núcleo	49.032	0.000	1.777	34.263	0.327	12.901	0.438	0.060	0.139	0.067	0.000	99.004
	px1,px-grt2	borda	49.239	0.127	1.083	33.718	0.292	13.941	0.452	0.051	0.022	0.073	0.000	98.998
	px2r,px-grt2	borda	49.309	0.123	1.185	34.237	0.306	13.723	0.362	0.020	0.000	0.020	0.000	99.285
	px3,px-grt2	núcleo	48.683	0.137	1.564	33.817	0.384	13.619	0.398	0.011	0.000	0.000	0.000	98.613
	px4,px-grt2	borda	49.326	0.082	1.219	33.778	0.325	13.821	0.373	0.008	0.026	0.080	0.000	99.038
	px5,px-grt2	px/grt	49.633	0.054	1.032	32.495	0.267	14.911	0.340	0.000	0.011	0.071	0.000	98.814
	px6,px-grt2	núcleo	48.936	0.075	1.505	33.962	0.297	13.245	0.460	0.047	0.000	0.051	0.000	98.578
	px7,px-grt2	interm	49.890	0.010	1.090	32.821	0.212	14.133	0.371	0.014	0.000	0.055	0.000	98.596
	px8,px-grt2	borda	48.695	0.055	1.447	33.922	0.329	13.086	0.409	0.014	0.000	0.071	0.000	98.028

Associação	Análise, Perfil	TSI	TAL	Cátions (6 oxigênios)									
				M1AL	M1TI	M1FE2	M1CR	M1MG	M2FE2	M2MN	M2CA	M2NA	M2K
V-332- 1,2,3,5,6,7,9	px1,px-grt1	1.980	0.020	0.019	0.005	0.163	0.000	0.812	0.973	0.012	0.016	0.000	0.000
	px2,px-grt1	1.970	0.030	0.015	0.003	0.174	0.001	0.807	0.966	0.012	0.019	0.003	0.000
	px3,px-grt1	1.959	0.041	0.021	0.002	0.164	0.002	0.812	0.970	0.013	0.016	0.000	0.001
	px4,px-grt1	1.959	0.041	0.046	0.000	0.146	0.000	0.808	0.970	0.011	0.016	0.002	0.001
	px4,rep2	1.967	0.033	0.038	0.005	0.158	0.000	0.798	0.969	0.012	0.018	0.000	0.001
V-332-4,13,15	px5,px-grt1	1.960	0.040	0.018	0.004	0.149	0.003	0.826	0.974	0.009	0.016	0.000	0.001
	px6,px-grt1	1.965	0.035	0.021	0.003	0.132	0.002	0.843	0.975	0.009	0.016	0.000	0.000
	px7,px-grt1	1.965	0.035	0.016	0.003	0.165	0.000	0.816	0.970	0.011	0.019	0.000	0.000
	px9,px-grt1	1.965	0.035	0.027	0.004	0.177	0.001	0.792	0.966	0.014	0.020	0.000	0.000
	px10,px-grt1	1.976	0.024	0.040	0.003	0.171	0.002	0.784	0.971	0.012	0.015	0.002	0.000
	px11,px-grt1	1.959	0.041	0.043	0.000	0.187	0.002	0.768	0.958	0.011	0.019	0.005	0.007
	px1,px-grt2	1.960	0.040	0.010	0.004	0.156	0.002	0.827	0.966	0.010	0.019	0.004	0.001
	px2r,px-grt2	1.961	0.039	0.016	0.004	0.166	0.001	0.814	0.973	0.010	0.015	0.002	0.000
	px3,px-grt2	1.948	0.052	0.021	0.004	0.162	0.000	0.812	0.969	0.013	0.017	0.001	0.000
	px4,px-grt2	1.964	0.036	0.021	0.002	0.154	0.003	0.820	0.971	0.011	0.016	0.001	0.001
	px5,px-grt2	1.967	0.033	0.015	0.002	0.101	0.002	0.881	0.976	0.009	0.014	0.000	0.001
	px6,px-grt2	1.962	0.038	0.033	0.002	0.172	0.002	0.791	0.967	0.010	0.020	0.004	0.000
	px7,px-grt2	1.989	0.011	0.040	0.000	0.118	0.002	0.840	0.976	0.007	0.016	0.001	0.000
	px8,px-grt2	1.965	0.035	0.034	0.002	0.175	0.002	0.787	0.970	0.011	0.018	0.001	0.000

Plagioclásio

Associação	Análise, Perfil	Loc	SIO2	TIO2	AL2O3	FE2O3	MNO	CAO	BAO	NA2O	K2O	CL	SRO	TOTAL
V-332- 1,2,3,5,6,7,9	pg1,pg-gr	pg/grt	59.626	0.000	25.136	0.155	0.017	6.810	0.002	7.649	0.100	0.005	0.030	99.530
V-332-4,13,15	pg2,pg-grt	borda	59.688	0.000	24.951	0.108	0.005	6.588	0.002	7.418	0.378	0.010	0.101	99.249
	pg3,pg-grt	pg/grt	60.478	0.054	24.755	0.154	0.000	6.654	0.027	7.691	0.151	0.000	0.042	100.006
	pg4,pg-grt	borda	60.240	0.000	24.884	0.033	0.000	6.681	0.002	7.633	0.203	0.005	0.056	99.737
	pg5,pertita	pertita	61.019	0.023	23.227	0.056	0.002	4.974	0.117	5.127	5.514	0.000	0.052	100.111
	pg6,pertita	pertita	62.881	0.000	21.601	0.037	0.041	3.188	0.230	3.596	8.772	0.000	0.093	100.439
	fd7,pertitico	feld	64.480	0.000	18.715	0.034	0.000	0.174	0.437	1.249	14.871	0.016	0.090	100.066

Associação	Análise, Perfil	SI	Cátions (32 oxigênios)								Componentes		
			AL	FE3	TI	MN	BA	CA	NA	K	AB	AN	OR
V-332-1,2,3,5,6,7,9	pg1,pg-grt	10.678	5.301	0.021	0.000	0.003	0.000	1.307	2.656	0.023	66.600	32.800	0.600
V-332-4,13,15	pg2,pg-grt	10.720	5.277	0.015	0.000	0.001	0.000	1.268	2.583	0.087	65.600	32.200	2.200
	pg3,pg-grt	10.767	5.195	0.021	0.007	0.000	0.002	1.269	2.655	0.034	67.100	32.100	0.900
	pg4,pg-grt	10.755	5.232	0.004	0.000	0.000	0.000	1.278	2.642	0.046	66.600	32.200	1.200
	pg5,pertita	11.025	4.942	0.008	0.003	0.000	0.008	0.963	1.796	1.271	44.600	23.900	31.500
	pg6,pertita	11.389	4.608	0.005	0.000	0.006	0.016	0.619	1.263	2.027	32.300	15.800	51.900
	fd7,pertitico	11.913	4.072	0.005	0.000	0.000	0.032	0.034	0.447	3.505	11.200	0.900	87.900

Ilmenita

Associação	Análise, Perfil	Loc	SIO2	TIO2	AL2O3	CR2O3	FEO	MNO	MGO	CAO	NB2O5	TOTAL
	opa1,b-g	incl-bt	0.010	51.059	0.030	0.000	46.024	0.527	0.037	0.000	0.197	97.884
	opa2,b-g	ill/grt	0.006	49.344	0.000	0.100	46.018	0.558	0.012	0.000	0.217	96.255
	opa1,c-g	ill/grt-px	0.024	48.991	0.026	0.092	47.149	0.321	0.063	0.007	0.105	96.778
	opa2,c-g	ill/px	0.000	51.054	0.023	0.104	46.776	0.307	0.020	0.010	0.174	98.468

Cátions (6 oxigênios)

Associação	Análise, Perfil	SI	TI	AL	FE2	FE3	CR	MN	MG	CA	NB
	opa1,b-g	0.0003	1.984	0.001	1.969	0.019	0.000	0.023	0.002	0.000	0.004
	opa2,b-g	0.0000	1.960	0.000	1.946	0.086	0.004	0.024	0.000	0.000	0.005
	opa1,c-g	0.0012	1.942	0.001	1.931	0.147	0.003	0.014	0.004	0.000	0.002
	opa2,c-g	0.0000	1.976	0.001	1.969	0.043	0.004	0.013	0.001	0.000	0.004

Lâmina Gr-15, gnaiss quartzo-feldspático

Granada

Associação	Análise, Perfil	Loc	SIO2	AL2O3	TIO2	FEO	MNO	MGO	CAO	NA2O	CR2O3	Y2O3	BAO	TOTAL
Gr-15-9	grt1,btverde-grt	núcleo	37.576	20.869	0.026	32.395	1.971	3.171	3.646	0.012	0.000	0.372	0.000	100.038
	grt2,btverde-grt	núcleo	37.183	20.966	0.070	33.281	1.847	3.325	3.153	0.010	0.041	0.214	0.036	100.126
	grt3,btverde-grt	grt/btv	36.402	20.176	0.075	33.902	2.793	1.229	3.664	0.021	0.000	0.181	0.068	98.511
Gr-15-1,1A	grt4,btverde-grt	núcleo	37.425	20.783	0.024	32.488	1.943	3.180	3.806	0.019	0.000	0.243	0.021	99.932
	grt5,btsimp-grt1	interm	37.344	20.962	0.009	31.539	1.787	3.313	4.101	0.018	0.021	0.330	0.000	99.424
Gr-15-4	grt6,btsimp-grt1	núcleo	37.433	20.910	0.064	32.159	1.786	3.481	3.319	0.010	0.025	0.190	0.000	99.377
	grt7,btsimp-grt1	gt/bt	36.892	20.383	0.074	33.154	2.916	1.780	3.256	0.013	0.005	0.162	0.026	98.661
Gr-15-3	grt8,btsimp-grt1	núcleo	37.216	20.816	0.045	31.999	1.701	3.109	3.487	0.042	0.000	0.231	0.056	98.702
	grt9,btsimp-grt1	núcleo	37.379	20.764	0.062	32.029	1.781	3.352	3.879	0.038	0.017	0.258	0.000	99.559

Associação	Análise, Perfil	Loc	SIO2	AL2O3	TIO2	FEO	MNO	MGO	CAO	NA2O	CR2O3	Y2O3	BAO	TOTAL
Gr-15-7	grt10,btsimp-grt2	núcleo	37.012	20.831	0.035	31.970	1.754	3.154	3.454	0.032	0.000	0.364	0.000	98.606
	grt11,btsimp-grt2	grt/bts	36.479	20.594	0.036	33.886	2.660	1.674	3.483	0.029	0.019	0.284	0.076	99.220
	grt12,btsimp-grt2	núcleo	37.071	20.646	0.062	32.433	1.761	2.830	3.506	0.023	0.003	0.239	0.000	98.574
Gr-15-6	grt13,btsimp-grt2	grt/bt	36.876	20.601	0.043	33.765	2.129	2.334	3.131	0.008	0.029	0.179	0.037	99.132
	grt14,btsimp-grt2	núcleo	37.220	20.869	0.090	32.351	1.854	2.932	3.741	0.000	0.069	0.291	0.020	99.437
	grt15,matriz	interm	37.087	20.908	0.017	32.548	1.798	3.377	3.488	0.037	0.000	0.255	0.009	99.524
Gr-15-11,11A	grt16,matriz	núcleo	37.451	21.047	0.049	33.020	1.647	3.527	3.376	0.015	0.008	0.260	0.052	100.452
	grt17,matriz	interm	36.968	20.775	0.000	32.052	1.684	3.257	3.970	0.023	0.000	0.407	0.080	99.216
	grt18,pg-grt	borda	37.616	20.759	0.000	32.174	1.809	3.449	3.246	0.014	0.025	0.197	0.000	99.289
Gr-15-12,14	grt19,pg-grt	núcleo	37.487	20.851	0.033	31.800	1.662	3.310	4.001	0.028	0.088	0.344	0.013	99.617
	grt20,pg-grt	interm	37.452	20.848	0.059	32.120	1.866	3.435	3.584	0.004	0.014	0.138	0.085	99.605
	grt21,pg-grt	grt/pg	37.468	20.635	0.066	32.601	1.832	3.450	3.016	0.011	0.029	0.203	0.027	99.338
	grt22,pg-grt	núcleo	37.366	20.712	0.064	32.204	1.809	3.343	3.989	0.026	0.000	0.261	0.012	99.786

Cátions (24 oxigênios)

Associação	Análise, Perfil	TSI	TAL	ALVI	FE3	TI	CR	FE2	MG	MN	CA	NA
Gr-15-9	grt1,btverde-grt	6.037	0.000	3.948	0.000	0.003	0.000	4.353	0.759	0.268	0.628	0.004
	grt2,btverde-grt	5.967	0.033	3.929	0.000	0.008	0.005	4.466	0.795	0.251	0.542	0.003
	grt3,btverde-grt	6.021	0.000	3.930	0.000	0.009	0.000	4.689	0.303	0.391	0.649	0.007
Gr-15-1,1A	grt4,btverde-grt	6.013	0.000	3.932	0.000	0.003	0.000	4.365	0.762	0.264	0.655	0.006
	grt5,btsimp-grt1	6.017	0.000	3.977	0.000	0.001	0.003	4.249	0.796	0.244	0.708	0.006
	grt6,btsimp-grt1	6.032	0.000	3.968	0.000	0.008	0.003	4.334	0.836	0.244	0.573	0.003
Gr-15-4	grt7,btsimp-grt1	6.065	0.000	3.946	0.000	0.009	0.001	4.558	0.436	0.406	0.574	0.004
Gr-15-3	grt8,btsimp-grt1	6.050	0.000	3.985	0.000	0.006	0.000	4.351	0.753	0.234	0.607	0.013
	grt9,btsimp-grt1	6.016	0.000	3.936	0.000	0.008	0.002	4.311	0.804	0.243	0.669	0.012
	grt10,btsimp-grt2	6.027	0.000	3.995	0.000	0.004	0.000	4.354	0.766	0.242	0.603	0.010
Gr-15-7	grt11,btsimp-grt2	5.977	0.023	3.951	0.000	0.004	0.002	4.643	0.409	0.369	0.611	0.009
	grt12,btsimp-grt2	6.048	0.000	3.967	0.000	0.008	0.000	4.425	0.688	0.243	0.613	0.007
	grt13,btsimp-grt2	6.015	0.000	3.958	0.000	0.005	0.004	4.606	0.568	0.294	0.547	0.003
Gr-15-6	grt14,btsimp-grt2	6.020	0.000	3.975	0.000	0.011	0.009	4.376	0.707	0.254	0.648	0.000
	grt15,matriz	5.975	0.025	3.942	0.000	0.002	0.000	4.386	0.811	0.245	0.602	0.012
	grt16,matriz	5.981	0.019	3.939	0.000	0.006	0.001	4.410	0.840	0.223	0.578	0.005
Gr-15-11,11A	grt17,matriz	5.986	0.014	3.947	0.000	0.000	0.000	4.340	0.786	0.231	0.689	0.007
	grt18,pg-grt	6.069	0.000	3.944	0.000	0.000	0.003	4.341	0.830	0.247	0.561	0.004
	grt19,pg-grt	6.033	0.000	3.952	0.000	0.004	0.011	4.280	0.794	0.227	0.690	0.009
Gr-15-12,14	grt20,pg-grt	6.024	0.000	3.949	0.000	0.007	0.002	4.321	0.824	0.254	0.618	0.001
	grt21,pg-grt	6.052	0.000	3.925	0.000	0.008	0.004	4.404	0.831	0.251	0.522	0.003
	grt22,pg-grt	6.004	0.000	3.919	0.000	0.008	0.000	4.327	0.801	0.246	0.687	0.008

Biotita

Associação	Análise,Perfil	Loc	SIO2	TIO2	AL2O3	FE0	MNO	MGO	CAO	NA2O	K2O	CL	F	BAO	TOTAL
Gr-15-6,11,14	bt1,matriz	borda	34.447	1.615	18.037	22.688	0.063	7.670	0.012	0.062	9.350	0.188	0.459	0.171	94.762
	bt2,matriz	borda	34.297	1.715	17.602	23.488	0.048	7.603	0.011	0.046	9.369	0.201	0.475	0.000	94.855
Gr-15-1A,6A,11A	bt3,matriz	núcleo	34.508	1.686	17.620	23.424	0.071	7.750	0.007	0.068	9.287	0.201	0.401	0.079	95.102
	bt4,btverde-grt	btv/grt	33.453	0.678	17.750	24.381	0.048	8.624	0.069	0.068	8.097	0.195	0.765	0.162	94.290
Gr-15-9	bt5,btverde-grt	núcleo	34.463	0.675	17.602	23.628	0.030	8.646	0.032	0.047	8.934	0.224	0.590	0.023	94.894
	bt6,btverde-grt	borda	33.323	0.644	17.016	24.480	0.033	8.401	0.080	0.061	8.506	0.206	0.647	0.005	93.402
	bt7,btverde-grt	bt/grt	33.515	2.809	16.665	23.762	0.109	6.832	0.037	0.053	8.976	0.317	0.619	0.061	93.755
Gr-15-12,1	bt8,btverde-grt	núcleo	33.992	3.176	16.719	23.441	0.064	7.029	0.045	0.058	8.938	0.310	0.684	0.142	94.598
Gr-15-4	bt9,btsimp-grt1	bt/grt	34.275	2.216	16.802	23.905	0.051	7.542	0.014	0.058	9.516	0.219	0.712	0.013	95.323
Gr-15-3	bt10,btsimp-grt1	núcleo	34.410	2.288	16.814	23.993	0.046	7.400	0.000	0.078	9.432	0.228	0.677	0.126	95.492
Gr-15-7	bt11,btsimp-grt2	bt/gr	33.556	1.637	17.606	23.630	0.054	7.650	0.094	0.092	8.562	0.188	0.425	0.034	93.528
	bt12,btsimp-grt2	núcleo	33.627	1.527	17.748	22.739	0.064	7.620	0.123	0.120	8.960	0.198	0.743	0.000	93.469
	bt13,btsimp-grt2	borda	33.326	1.501	16.909	23.578	0.066	7.689	0.107	0.089	8.324	0.160	0.475	0.028	92.252
	bt14,btsimp-grt2	bt/grt	32.591	0.530	17.029	23.200	0.072	8.909	0.193	0.078	7.551	0.112	0.423	0.023	90.711
	bt15,btsimp-grt2	borda	33.533	0.469	17.587	21.918	0.050	8.745	0.148	0.075	8.439	0.145	0.756	0.047	91.912
	bt17,btsimp-grt3	interm	34.164	1.369	17.490	22.934	0.084	8.080	0.046	0.073	9.246	0.183	0.684	0.010	94.363
	bt18,btsimp-grt3	borda	34.421	1.347	18.119	22.915	0.043	7.740	0.068	0.055	9.412	0.180	0.697	0.102	95.099

Cátions (22 oxigênios, OH=0)

Associação	Análise,Perfil	SI	ALIV	ALVI	TI	FE2	MN	MG	BA	CA	NA	K	CF	CCL
Gr-15-6,11,14	bt1,matriz	5.421	2.579	0.764	0.191	2.986	0.008	1.800	0.011	0.002	0.019	1.877	0.457	0.100
	bt2,matriz	5.415	2.585	0.688	0.204	3.101	0.006	1.789	0.000	0.002	0.014	1.887	0.474	0.108
Gr-15-1A,6A,11A	bt3,matriz	5.425	2.575	0.687	0.199	3.080	0.009	1.816	0.005	0.001	0.021	1.863	0.399	0.107
	bt4,btverde-grt	5.334	2.666	0.667	0.081	3.251	0.006	2.050	0.010	0.012	0.021	1.647	0.772	0.105
Gr-15-9	bt5,btverde-grt	5.434	2.566	0.702	0.080	3.116	0.004	2.032	0.001	0.005	0.014	1.797	0.588	0.120
	bt6,btverde-grt	5.379	2.621	0.613	0.078	3.304	0.005	2.021	0.000	0.014	0.019	1.752	0.661	0.113
	bt7,btverde-grt	5.393	2.607	0.551	0.340	3.198	0.015	1.639	0.004	0.006	0.017	1.843	0.630	0.173
Gr-15-12,1	bt8,btverde-grt	5.406	2.594	0.538	0.380	3.118	0.009	1.667	0.009	0.008	0.018	1.814	0.688	0.167
Gr-15-4	bt9,btsimp-grt1	5.424	2.576	0.555	0.264	3.164	0.007	1.779	0.001	0.002	0.018	1.921	0.713	0.118
Gr-15-3	bt10,btsimp-grt1	5.436	2.564	0.564	0.272	3.170	0.006	1.743	0.008	0.000	0.024	1.901	0.676	0.122
Gr-15-7	bt11,btsimp-grt2	5.366	2.634	0.681	0.197	3.160	0.007	1.824	0.002	0.016	0.029	1.747	0.430	0.102
	bt12,btsimp-grt2	5.387	2.613	0.735	0.184	3.046	0.009	1.820	0.000	0.021	0.037	1.831	0.753	0.108
	bt13,btsimp-grt2	5.408	2.592	0.640	0.183	3.200	0.009	1.860	0.002	0.019	0.028	1.723	0.488	0.088
	bt14,btsimp-grt2	5.353	2.647	0.647	0.065	3.187	0.010	2.181	0.001	0.034	0.025	1.582	0.439	0.062
	bt15,btsimp-grt2	5.428	2.572	0.781	0.057	2.967	0.007	2.110	0.003	0.026	0.024	1.743	0.774	0.080

Associação	Análise,Perfil	SI	ALIV	ALVI	TI	FE2	MN	MG	BA	CA	NA	K	CF	CCL
	bt17,btsimp-grt3	5.422	2.578	0.691	0.163	3.044	0.011	1.912	0.001	0.008	0.022	1.872	0.687	0.098
	bt18,btsimp-grt3	5.416	2.584	0.774	0.159	3.015	0.006	1.816	0.006	0.011	0.017	1.889	0.694	0.096

Plagioclásio

Associação	Análise,Perfil	Loc	SIO2	TIO2	AL2O3	FE2O3	FEO	MNO	CAO	BAO	NA2O	K2O	CL	SRO	MGO	TOTAL
Gr-15	pg1,btsimp-grt1	simple1	60.742	0.071	24.590	0.281	0.000	0.000	6.075	0.004	8.051	0.124	0.013	0.046	0.000	99.997
Gr-15-7	pg2,btsimp-grt2	simple2	59.748	0.000	24.885	0.250	0.000	0.002	5.594	0.006	8.197	0.132	0.000	0.017	0.000	98.831
Gr-15	pg3,btsimp-grt2	aredor-grt	61.956	0.022	24.055	0.290	0.000	0.027	5.302	0.000	8.562	0.122	0.000	0.000	0.000	100.336
Gr-15	mic1,btsimp-grt2	bts-grt2	64.157	0.006	18.514	0.000	0.000	0.000	0.014	0.202	1.184	15.662	0.000	0.017	0.000	99.756
Gr-15	pg4,btsimp-grt3	bts-grt3	60.852	0.022	24.324	0.345	0.000	0.000	5.992	0.052	8.317	0.131	0.008	0.000	0.000	100.043
Gr-15-1A,4,9	pg5,pg-grt	pg/grt	60.856	0.002	24.576	0.240	0.000	0.033	5.968	0.016	8.296	0.113	0.013	0.013	0.000	100.126
Gr-15	pg6,pg-grt	núcleo	61.127	0.067	24.081	0.064	0.000	0.017	5.871	0.147	8.326	0.154	0.000	0.022	0.000	99.876
Gr-15-1,3,11,11A,12,6,6A,14	pg7,pg-grt	borda	61.308	0.000	24.137	0.032	0.000	0.029	5.788	0.038	8.282	0.192	0.018	0.000	0.000	99.824
Gr-15	pg8,pg-grt	núcleo	60.870	0.000	24.100	0.047	0.000	0.000	5.866	0.086	8.106	0.228	0.000	0.000	0.000	99.303

Cátions (32 oxigênios)

Componentes

Associação	Análise,Perfil	SI	AL	FE3	TI	MN	BA	CA	NA	K	AB	AN	OR
Gr-15	pg1,btsimp-grt1	10.810	5.154	0.038	0.010	0.000	0.000	1.158	2.778	0.028	70.100	29.200	0.700
Gr-15-7	pg2,btsimp-grt2	10.752	5.274	0.034	0.000	0.000	0.000	1.079	2.860	0.030	72.100	27.200	0.800
Gr-15	pg3,btsimp-grt2	10.960	5.011	0.039	0.003	0.004	0.000	1.005	2.937	0.028	74.000	25.300	0.700
Gr-15	mic1,btsimp-grt2	11.915	4.049	0.000	0.001	0.000	0.015	0.003	0.426	3.711	10.300	0.100	89.600
Gr-15	pg4,btsimp-grt3	10.835	5.100	0.046	0.003	0.000	0.004	1.143	2.871	0.030	71.000	28.300	0.700
Gr-15-1A,4,9	pg5,pg-grt	10.819	5.145	0.032	0.000	0.005	0.001	1.137	2.860	0.026	71.100	28.300	0.600
Gr-15	pg6,pg-grt	10.894	5.054	0.009	0.009	0.003	0.010	1.121	2.877	0.035	71.300	27.800	0.900
Gr-15-1,3,11,11A,12,6,6A,14	pg7,pg-grt	10.916	5.061	0.004	0.000	0.004	0.003	1.104	2.859	0.044	71.400	27.600	1.100
Gr-15	pg8,pg-grt	10.898	5.081	0.006	0.000	0.000	0.006	1.125	2.814	0.052	70.500	28.200	1.300

Lâmina Z-365-1, gnaiss migmatítico bandado

Granada

Associação	Análise,Perfil	Loc	SIO2	AL2O3	TIO2	FEO	MNO	MGO	CAO	NA2O	CR2O3	Y2O3	BAO	TOTAL
Z-365-1,11	grt1,bt-grt-pg1	núcleo	37.958	21.457	0.000	31.553	0.800	6.312	0.991	0.000	0.000	0.089	0.000	99.160
	grt2,bt-grt-pg1	interm	38.111	21.523	0.019	32.607	0.862	5.805	0.952	0.018	0.015	0.112	0.000	100.024

Associação	Análise, Perfil	Loc	SIO2	AL2O3	TIO2	FEO	MNO	MGO	CAO	NA2O	CR2O3	Y2O3	BAO	TOTAL
	grt3, bt-grt-pg1	interm	37.824	21.269	0.097	32.997	0.900	5.299	0.913	0.000	0.025	0.104	0.000	99.428
	grt4, bt-grt-pg1	grt/bt	37.869	21.356	0.000	33.951	1.039	4.414	1.000	0.013	0.015	0.111	0.043	99.811
	grt5, bt-grt-pg1	grt/pg	37.740	21.424	0.000	31.560	0.892	6.165	0.951	0.000	0.000	0.057	0.000	98.789
Z-365-6,12	grt6, bt-grt-pg1	núcleo	37.986	21.404	0.000	31.644	0.824	6.298	0.918	0.025	0.024	0.106	0.030	99.259
Z-365-8,9	grt7, bt-grt-pg2	grt/bt	37.370	21.043	0.041	33.346	1.034	4.862	1.139	0.019	0.006	0.049	0.039	98.948
Z-365-3,4	grt8, bt-grt-pg2	núcleo	37.907	21.332	0.056	31.261	0.855	6.215	1.305	0.017	0.000	0.055	0.000	99.003
	grt9, bt-grt-pg2	interm	37.826	21.362	0.014	31.834	1.033	5.933	1.148	0.007	0.005	0.099	0.157	99.418
	grt10, matriz	núcleo	38.161	21.604	0.035	31.035	0.750	7.167	1.125	0.000	0.000	0.019	0.000	99.896
	grt11, matriz	núcleo	38.264	21.520	0.016	30.745	0.755	7.231	1.040	0.000	0.066	0.027	0.029	99.693

Cátions (24 oxigênios)

Associação	Análise, Perfil	TSI	TAL	ALVI	FE3	TI	CR	FE2	MG	MN	CA	NA
Z-365-1,11	grt1, bt-grt-pg1	6.027	0.000	4.012	0.000	0.000	0.000	4.190	1.494	0.108	0.169	0.000
	grt2, bt-grt-pg1	6.026	0.000	4.008	0.000	0.002	0.002	4.312	1.368	0.115	0.161	0.006
	grt3, bt-grt-pg1	6.040	0.000	4.000	0.000	0.012	0.003	4.406	1.261	0.122	0.156	0.000
	grt4, bt-grt-pg1	6.060	0.000	4.025	0.000	0.000	0.002	4.544	1.053	0.141	0.171	0.004
	grt5, bt-grt-pg1	6.019	0.000	4.024	0.000	0.000	0.000	4.209	1.466	0.120	0.162	0.000
Z-365-6,12	grt6, bt-grt-pg1	6.030	0.000	4.001	0.000	0.000	0.003	4.201	1.490	0.111	0.156	0.008
Z-365-8,9	grt7, bt-grt-pg2	6.012	0.000	3.987	0.000	0.005	0.001	4.486	1.166	0.141	0.196	0.006
Z-365-3,4	grt8, bt-grt-pg2	6.027	0.000	3.994	0.000	0.007	0.000	4.157	1.473	0.115	0.222	0.005
	grt9, bt-grt-pg2	6.017	0.000	4.002	0.000	0.002	0.001	4.235	1.407	0.139	0.196	0.002
	grt10, matriz	5.980	0.020	3.966	0.000	0.004	0.000	4.067	1.674	0.100	0.189	0.000
	grt11, matriz	6.007	0.000	3.979	0.000	0.002	0.008	4.037	1.692	0.100	0.175	0.000

Biotita

Associação	Análise, Perfil	Loc	SIO2	TIO2	AL2O3	FEO	MNO	MGO	CAO	NA2O	K2O	CL	F	BAO	TOTAL
Z-365-2	bt1, bt-grt-pg1	bt/grt	36.281	1.071	18.896	12.066	0.042	15.216	0.044	0.112	9.366	0.078	1.002	0.000	94.174
	bt2, bt-grt-pg1	bt/grt	36.110	2.747	18.131	16.056	0.017	11.237	0.000	0.106	9.962	0.131	0.786	0.000	95.283
	bt3, bt-grt-pg1	borda	35.182	2.795	17.622	16.881	0.028	11.184	0.003	0.109	9.666	0.133	0.661	0.158	94.422
	bt4, bt-grt-pg2	bt/grt	34.462	2.587	17.391	16.057	0.023	13.230	0.015	0.123	8.913	0.136	0.700	0.115	93.752
Z-365-9	bt5, bt-grt-pg2	bt/grt	35.202	2.506	17.507	15.163	0.000	12.986	0.000	0.160	9.333	0.111	0.759	0.101	93.828
Z-365-7	bt6, bt-grt-pg2	núcleo	35.158	2.412	17.972	14.546	0.032	12.679	0.000	0.125	9.642	0.096	0.820	0.114	93.596
Z-365-1,3,6	bt7, matriz	núcleo	35.294	4.396	17.459	16.672	0.000	10.281	0.000	0.150	9.789	0.139	0.558	0.145	94.883
Z-365-1,6,8	bt8, matriz	núcleo	35.107	4.055	17.566	16.846	0.015	10.369	0.000	0.120	9.614	0.139	0.716	0.059	94.606
	bt9, sillimani	núcleo	34.931	4.617	16.659	17.534	0.031	9.712	0.000	0.113	9.688	0.159	0.423	0.187	94.054
	bt10, silliman	núcleo	34.867	5.159	16.931	17.868	0.035	9.986	0.000	0.141	9.667	0.153	0.502	0.223	95.532

		Cátions (22 oxigênios OH=0)												
Associação	Análise,Perfil	SI	ALIV	ALVI	TI	FE2	MN	MG	BA	CA	NA	K	CF	CCL
Z-365-2	bt1,bt-grt-pg1	5.447	2.553	0.788	0.121	1.515	0.005	3.406	0.000	0.007	0.033	1.794	0.952	0.040
	bt2,bt-grt-pg1	5.476	2.524	0.714	0.313	2.036	0.002	2.541	0.000	0.000	0.031	1.927	0.754	0.067
	bt3,bt-grt-pg1	5.417	2.583	0.612	0.324	2.174	0.004	2.567	0.010	0.000	0.033	1.899	0.644	0.069
	bt4,bt-grt-pg2	5.317	2.683	0.477	0.300	2.072	0.003	3.043	0.007	0.002	0.037	1.754	0.683	0.071
Z-365-9	bt5,bt-grt-pg2	5.404	2.596	0.569	0.289	1.947	0.000	2.972	0.006	0.000	0.048	1.828	0.737	0.058
Z-365-7	bt6,bt-grt-pg2	5.404	2.596	0.657	0.279	1.870	0.004	2.905	0.007	0.000	0.037	1.891	0.797	0.050
Z-365-1,3,6	bt7,matriz	5.400	2.600	0.546	0.506	2.133	0.000	2.345	0.009	0.000	0.045	1.911	0.540	0.072
Z-365-1,6,8	bt8,matriz	5.393	2.607	0.571	0.469	2.164	0.002	2.375	0.004	0.000	0.036	1.884	0.696	0.072
	bt9,sillimani	5.420	2.580	0.464	0.539	2.275	0.004	2.246	0.011	0.000	0.034	1.918	0.415	0.084
	bt10,silliman	5.374	2.626	0.447	0.598	2.303	0.005	2.294	0.013	0.000	0.042	1.901	0.489	0.080

Plagioclásio

Associação	Análise,Perfil	Loc	SIO2	TIO2	AL2O3	FE2O3	MNO	CAO	BAO	NA2O	K2O	CL	SRO	TOTAL
Z-365-1,6,11,12	pg1,bt-grt-pg1	borda	61.383	0.000	23.770	0.000	0.000	5.102	0.000	8.434	0.314	0.000	0.020	99.023
	pg2,bt-grt-pg1	pg/bt	61.774	0.000	23.764	0.028	0.007	5.122	0.124	8.478	0.300	0.000	0.000	99.597
	pg3,bt-grt-pg1	núcleo	61.349	0.043	23.616	0.000	0.027	5.176	0.007	8.519	0.401	0.000	0.064	99.202
	pg4,bt-grt-pg1	pg/grt	61.514	0.007	23.845	0.157	0.000	5.226	0.119	8.537	0.294	0.000	0.001	99.700
Z-365-2	pg5,bt-grt-pg2	pg/grt	61.697	0.049	23.724	0.092	0.009	5.020	0.005	8.594	0.221	0.000	0.003	99.414
Z-365-9	pg6,bt-grt-pg2	borda	62.079	0.000	23.706	0.014	0.000	5.153	0.048	8.400	0.215	0.000	0.013	99.628
Z-365-8	pg7,bt-grt-pg2	pg/grt	62.162	0.037	23.466	0.170	0.010	5.201	0.049	8.645	0.219	0.009	0.000	99.968
Z-365-3,4	pg8,bt-grt-pg2	borda	61.841	0.067	23.506	0.186	0.000	4.813	0.000	8.660	0.145	0.002	0.000	99.220

		Cátions (32 oxigênios)										Componentes	
Associação	Análise,Perfil	SI	AL	FE3	TI	MN	BA	CA	NA	K	AB	AN	OR
Z-365-1,6,11,12	pg1,bt-grt-pg1	10.995	5.014	0.000	0.000	0.000	0.000	0.979	2.929	0.072	73.600	24.600	1.800
	pg2,bt-grt-pg1	11.009	4.988	0.004	0.000	0.001	0.009	0.978	2.930	0.068	73.700	24.600	1.700
	pg3,bt-grt-pg1	10.989	4.982	0.000	0.006	0.004	0.000	0.993	2.959	0.092	73.200	24.600	2.300
	pg4,bt-grt-pg1	10.967	5.006	0.021	0.001	0.000	0.008	0.998	2.951	0.067	73.500	24.900	1.700
Z-365-2	pg5,bt-grt-pg2	11.006	4.984	0.012	0.007	0.001	0.000	0.959	2.973	0.050	74.700	24.100	1.300
Z-365-9	pg6,bt-grt-pg2	11.041	4.965	0.002	0.000	0.000	0.003	0.982	2.897	0.049	73.800	25.000	1.200
Z-365-8	pg7,bt-grt-pg2	11.040	4.908	0.023	0.005	0.002	0.003	0.990	2.977	0.050	74.100	24.600	1.200
Z-365-3,4	pg8,bt-grt-pg2	11.043	4.943	0.025	0.009	0.000	0.000	0.921	2.998	0.033	75.900	23.300	0.800

Lâmina Z-365-2, gnaiss migmatítico bandeado

Plagioclásio

Associação	Análise, Perfil	Loc	SIO2	AL2O3	FE2O3	MNO	CAO	BAO	NA2O	K2O	CL	SRO	TOTAL
	pg1	núcleo	61.677	23.698	0.010	0.015	5.112	0.014	8.755	0.101	0.003	0.000	99.385
	pg2	núcleo	61.912	23.742	0.028	0.000	5.247	0.019	8.648	0.076	0.000	0.000	99.672
	microcl1	núcleo	64.114	18.436	0.029	0.000	0.145	0.300	1.874	14.397	0.022	0.000	99.317
Cátions (32 oxigênios)													
Associação	Análise, Perfil	SI	AL	FE3	TI	MN	BA	CA	NA	K	AB	AN	OR
	pg1	11.007	4.980	0.001	0.000	0.002	0.001	0.977	3.029	0.023	75.200	24.200	0.600
	pg2	11.013	4.973	0.004	0.000	0.000	0.001	1.000	2.983	0.017	74.600	25.000	0.400
	microcl1	11.919	4.036	0.004	0.000	0.000	0.022	0.029	0.676	3.414	16.400	0.700	82.900

Moscovita

Associação	Análise, Perfil	Loc	SIO2	TIO2	AL2O3	FEO	MNO	MGO	CAO	NA2O	K2O	CL	F	BAO	TOTAL
	moscov1	núcleo	48.500	0.095	35.019	1.050	0.009	0.506	0.239	0.058	8.053	0.000	0.000	0.000	93.529
	moscov2	núcleo	48.469	0.022	34.828	1.116	0.000	0.512	0.270	0.062	6.955	0.006	0.071	0.019	92.330

Lâmina C-32, granulito

Granada

Associação	Análise, Perfil	Loc	SIO2	AL2O3	TIO2	FEO	MNO	MGO	CAO	NA2O	CR2O3	Y2O3	BAO	TOTAL
C-32-14,15	grt1,grt-hd-bt1	grt/bt	37.700	21.004	0.042	28.767	2.542	2.868	7.279	0.000	0.070	0.073	0.000	100.345
	grt2,grt-hd-bt1	interm	37.699	20.992	0.000	27.527	2.305	3.549	6.447	0.016	0.000	0.350	0.030	98.915
	grt3,grt-hd-bt1	interm	37.825	21.108	0.093	27.979	2.350	3.386	6.570	0.015	0.006	0.110	0.000	99.442
	grt4,grt-hd-bt1	núcleo	37.857	21.073	0.068	28.112	2.214	3.793	6.590	0.012	0.000	0.390	0.000	100.109
C-32-1o2,17A	grt5,grt-hd-bt1	núcleo	37.584	20.904	0.184	27.861	2.280	3.816	6.483	0.024	0.039	0.271	0.000	99.446
	grt6,grt-hd-bt1	interm	37.231	20.838	0.002	28.040	2.381	3.651	6.546	0.022	0.053	0.395	0.000	99.159
	grt7,grt-hd-bt1	núcleo	36.634	20.802	0.119	27.909	2.141	3.817	6.474	0.012	0.000	0.181	0.011	98.100
	grt8,grt-hd-bt1	interm	37.758	21.116	0.000	27.958	2.242	3.720	6.571	0.020	0.057	0.320	0.000	99.762
	grt9,grt-hd-bt1	interm	37.762	20.855	0.038	27.766	2.430	3.643	6.428	0.033	0.035	0.340	0.022	99.352
	grt10,grt-hd-bt1	interm	37.397	20.991	0.009	27.798	2.297	3.674	6.416	0.002	0.019	0.316	0.000	98.919
	grt11,grt-hd-bt1	interm	37.518	20.716	0.026	27.979	2.382	3.540	6.549	0.011	0.074	0.386	0.051	99.232
	grt12,bt-px-grt1	grt/px	37.786	20.875	0.065	28.530	2.353	3.177	6.735	0.014	0.014	0.348	0.077	99.974
	grt13,bt-px-grt1	grt/inc,b	37.672	20.830	0.082	28.206	2.252	3.106	6.611	0.035	0.070	0.312	0.044	99.220
	grt14,bt-px-grt1	interm	37.719	21.051	0.070	28.061	2.328	3.386	6.572	0.023	0.017	0.381	0.000	99.608
	grt15,bt-px-grt1	grt/px	37.785	20.617	0.000	28.876	2.519	2.756	7.031	0.025	0.006	0.406	0.000	100.021

Associação	Análise, Perfil	Loc	SIO2	AL2O3	TIO2	FEO	MNO	MGO	CAO	NA2O	CR2O3	Y2O3	BAO	TOTAL
C-32-3,7	grt16,bt-px-grt1	interm	37.559	20.797	0.094	28.404	2.270	3.069	6.726	0.027	0.015	0.404	0.000	99.365
	grt17,bt-px-grt1	interm	37.665	20.974	0.003	28.033	2.241	3.456	6.518	0.020	0.013	0.355	0.000	99.278
	grt18,bt-px-grt1	grt/px	37.567	20.571	0.051	28.227	2.262	3.183	6.987	0.043	0.040	0.404	0.000	99.335
	grt19,bt-px-grt1	interm	37.536	20.855	0.072	28.473	2.265	3.169	6.594	0.049	0.010	0.368	0.000	99.391
	grt20,bt-px-grt1	interm	37.757	20.769	0.089	28.171	2.242	3.480	6.528	0.018	0.017	0.365	0.106	99.542
	grt21,bt-px-grt1	grt/px	37.590	20.800	0.002	28.079	2.378	3.098	6.637	0.040	0.034	0.291	0.055	99.004
	grt22,bt-px-grt1	interm	37.379	20.991	0.049	28.275	2.442	3.202	6.503	0.029	0.047	0.375	0.000	99.292
C-32-8	grt23,bt-px-grt2	grt/bt	37.734	20.495	0.056	28.306	2.466	2.747	7.098	0.013	0.030	0.402	0.116	99.463
	grt24,bt-px-grt2	interm	37.751	20.778	0.003	27.995	2.303	3.415	6.703	0.030	0.068	0.333	0.022	99.401
	grt25,bt-px-grt2	núcleo	37.993	21.209	0.019	28.235	2.070	3.801	6.373	0.014	0.000	0.279	0.000	99.993
	grt26,bt-px-grt2	núcleo	37.785	20.986	0.024	28.194	2.179	3.758	6.609	0.010	0.049	0.233	0.031	99.858
	grt27,bt-px-grt2	interm	37.945	20.762	0.000	27.631	2.204	3.725	6.455	0.010	0.009	0.224	0.000	98.965
	grt28,bt-px-grt2	grt/px	37.442	20.641	0.063	28.686	2.634	2.589	7.014	0.006	0.026	0.400	0.115	99.616
	grt29,bt-px-grt2	grt/px	37.346	20.536	0.016	28.557	2.416	2.659	7.117	0.018	0.055	0.366	0.000	99.086
C-32-11	grt30,bt-px-grt2	interm	37.592	20.821	0.051	28.355	2.158	3.420	6.740	0.000	0.020	0.393	0.000	99.550
	grt31,bt-px-grt2	interm	37.498	20.854	0.086	27.690	2.171	3.673	6.501	0.014	0.000	0.258	0.000	98.745
	grt32,bt-px-grt2	núcleo	37.913	20.741	0.000	27.950	2.152	3.733	6.486	0.014	0.053	0.238	0.000	99.280
C-32-16,17	grt33,bt-px-grt2	grt/inc,b	37.679	20.777	0.064	28.898	2.223	3.321	6.611	0.051	0.022	0.326	0.000	99.972
	grt34,bt-px-grt2	grt/inc,b	37.589	20.555	0.019	28.737	2.104	2.767	6.919	0.027	0.000	0.422	0.025	99.164
	grt35,bt-px-grt2	interm	37.646	20.917	0.096	28.477	2.300	3.381	6.525	0.008	0.011	0.376	0.000	99.737
	grt36,bt-px-grt2	g/in,px	37.523	20.656	0.113	28.349	2.367	2.761	6.820	0.040	0.080	0.359	0.014	99.082
	grt37,bt-px-grt2	g/in,px	37.468	20.645	0.078	28.533	2.367	2.912	6.515	0.007	0.065	0.429	0.000	99.019
C-32-18	grt38,bt-px-grt2	g/in,px	37.125	20.810	0.014	28.855	2.497	2.461	6.893	0.036	0.013	0.378	0.000	99.082
C-32-17A	grt39,grt-hd-bt2	grt/hd	37.298	20.876	0.118	28.504	2.287	2.918	6.904	0.040	0.000	0.408	0.025	99.378
	grt40,grt-hd-bt2	núcleo	37.790	20.891	0.037	28.114	2.092	3.825	6.562	0.017	0.002	0.333	0.033	99.696
	grt41,grt-hd-bt2	interm	38.101	20.956	0.086	27.653	2.189	3.654	6.674	0.006	0.010	0.374	0.000	99.703

Cátions (24 oxigênios)

Associação	Análise, Perfil	TSI	TAL	ALVI	TI	CR	FE2	MG	MN	CA	NA
C-32-14,15	grt1,grt-hd-bt1	5.984	0.016	3.910	0.005	0.009	3.818	0.679	0.342	1.238	0.000
	grt2,grt-hd-bt1	6.055	0.000	3.970	0.000	0.000	3.697	0.850	0.314	1.109	0.005
	grt3,grt-hd-bt1	6.036	0.000	3.967	0.011	0.001	3.734	0.806	0.318	1.123	0.005
	grt4,grt-hd-bt1	6.006	0.000	3.937	0.008	0.000	3.730	0.897	0.298	1.120	0.004
C-32-1o2,17A	grt5,grt-hd-bt1	5.996	0.004	3.924	0.022	0.005	3.717	0.908	0.308	1.108	0.007
	grt6,grt-hd-bt1	5.970	0.030	3.905	0.000	0.007	3.760	0.873	0.323	1.125	0.007
	grt7,grt-hd-bt1	5.919	0.081	3.877	0.014	0.000	3.771	0.919	0.293	1.121	0.004
	grt8,grt-hd-bt1	6.007	0.000	3.956	0.000	0.007	3.720	0.882	0.302	1.120	0.006
	grt9,grt-hd-bt1	6.040	0.000	3.928	0.005	0.004	3.714	0.869	0.329	1.102	0.010

Associação	Análise, Perfil	TSI	TAL	ALVI	TI	CR	FE2	MG	MN	CA	NA
C-32-4	grt10,grt-hd-bt1	6.002	0.000	3.968	0.001	0.002	3.731	0.879	0.312	1.103	0.001
	grt11,grt-hd-bt1	6.019	0.000	3.914	0.003	0.009	3.754	0.847	0.324	1.126	0.003
	grt12,bt-px-grt1	6.030	0.000	3.923	0.008	0.002	3.808	0.756	0.318	1.152	0.004
	grt13,bt-px-grt1	6.052	0.000	3.941	0.010	0.009	3.789	0.744	0.306	1.138	0.011
	grt14,bt-px-grt1	6.026	0.000	3.961	0.008	0.002	3.749	0.806	0.315	1.125	0.007
	grt15,bt-px-grt1	6.043	0.000	3.883	0.000	0.001	3.862	0.657	0.341	1.205	0.008
C-32-3,7	grt16,bt-px-grt1	6.031	0.000	3.933	0.011	0.002	3.814	0.735	0.309	1.157	0.008
	grt17,bt-px-grt1	6.033	0.000	3.956	0.000	0.002	3.755	0.825	0.304	1.119	0.006
	grt18,bt-px-grt1	6.029	0.000	3.888	0.006	0.005	3.788	0.762	0.307	1.201	0.013
	grt19,bt-px-grt1	6.019	0.000	3.939	0.009	0.001	3.819	0.758	0.308	1.133	0.015
	grt20,bt-px-grt1	6.043	0.000	3.915	0.011	0.002	3.771	0.830	0.304	1.119	0.006
	grt21,bt-px-grt1	6.050	0.000	3.942	0.000	0.004	3.779	0.743	0.324	1.144	0.012
C-32-8	grt22,bt-px-grt1	6.000	0.000	3.967	0.006	0.006	3.795	0.766	0.332	1.118	0.009
	grt23,bt-px-grt2	6.073	0.000	3.884	0.007	0.004	3.810	0.659	0.336	1.224	0.004
	grt24,bt-px-grt2	6.042	0.000	3.916	0.000	0.009	3.747	0.815	0.312	1.149	0.009
	grt25,bt-px-grt2	6.026	0.000	3.962	0.002	0.000	3.745	0.899	0.278	1.083	0.004
	grt26,bt-px-grt2	6.005	0.000	3.927	0.003	0.006	3.747	0.890	0.293	1.125	0.003
	grt27,bt-px-grt2	6.079	0.000	3.917	0.000	0.001	3.702	0.890	0.299	1.108	0.003
C-32-11	grt28,bt-px-grt2	6.025	0.000	3.912	0.008	0.003	3.861	0.621	0.359	1.209	0.002
	grt29,bt-px-grt2	6.027	0.000	3.903	0.002	0.007	3.854	0.640	0.330	1.231	0.006
	grt30,bt-px-grt2	6.013	0.000	3.922	0.006	0.003	3.793	0.816	0.292	1.155	0.000
	grt31,bt-px-grt2	6.025	0.000	3.946	0.010	0.000	3.721	0.880	0.295	1.119	0.004
	grt32,bt-px-grt2	6.059	0.000	3.903	0.000	0.007	3.735	0.889	0.291	1.111	0.004
	grt33,bt-px-grt2	6.005	0.000	3.899	0.008	0.003	3.852	0.789	0.300	1.129	0.016
C-32-16,17	grt34,bt-px-grt2	6.062	0.000	3.904	0.002	0.000	3.876	0.665	0.287	1.195	0.008
	grt35,bt-px-grt2	6.013	0.000	3.935	0.012	0.001	3.804	0.805	0.311	1.117	0.002
	grt36,bt-px-grt2	6.051	0.000	3.923	0.014	0.010	3.823	0.664	0.323	1.178	0.013
	grt37,bt-px-grt2	6.050	0.000	3.926	0.009	0.008	3.853	0.701	0.324	1.127	0.002
	grt38,bt-px-grt2	5.999	0.001	3.958	0.002	0.002	3.899	0.593	0.342	1.193	0.011
	grt39,grt-hd-bt2	0.000	99.380	0.007	3.944	0.000	0.000	3.958	3.830	0.699	0.311
C-32-17A	grt40,grt-hd-bt2	0.000	99.700	0.000	3.918	0.000	0.000	3.923	3.744	0.908	0.282
	grt41,grt-hd-bt2	0.000	99.700	0.000	3.931	0.000	0.001	3.943	3.684	0.868	0.295

Biotita

Associação	Análise,Perfil	Loc	SIO2	TIO2	AL2O3	FEO	MNO	MGO	CAO	NA2O	K2O	CL	F	BAO	TOTAL
	bt1,grt-hd-bt1	bt/grt	35.858	5.656	14.028	21.464	0.063	9.441	0.005	0.027	9.450	0.152	0.395	0.280	96.819
C-32-14	bt2,grt-hd-bt1	núcleo	35.437	5.563	14.038	21.397	0.104	9.299	0.000	0.032	9.572	0.164	0.693	0.363	96.662
C-32-15	bt3,grt-hd-bt1	núcleo	35.623	4.985	13.892	21.658	0.091	9.402	0.000	0.031	9.432	0.161	0.129	0.305	95.709
	bt4,grt-hd-bt1	borda	35.752	5.692	14.068	21.562	0.102	9.334	0.000	0.039	9.441	0.160	0.490	0.339	96.979
	bt5,grt-hd-bt1	núcleo	35.171	5.172	14.126	22.233	0.104	9.164	0.000	0.038	9.178	0.137	0.353	0.438	96.114
	bt1sin,grt-hd-bt1	borda	35.706	4.756	13.817	21.790	0.028	9.195	0.000	0.046	9.388	0.160	0.556	0.251	95.693
	bt2sin,grt-hd-bt1	núcleo	35.711	5.040	13.982	22.064	0.050	9.379	0.031	0.026	9.271	0.143	0.248	0.310	96.255
	bt3sin,grt-hd-bt1	borda	35.450	5.102	13.822	21.136	0.056	9.071	0.020	0.035	9.398	0.149	0.364	0.389	94.992
	bt6,bt-px-grt1	bt/px	35.257	5.103	14.016	21.759	0.025	9.622	0.015	0.016	9.490	0.171	0.386	0.321	96.181
	bt7,bt-px-grt1	núcleo	35.401	4.997	14.220	21.677	0.058	9.602	0.013	0.060	9.306	0.143	0.250	0.366	96.093
C-32-5	bt8,bt-px-grt1	núcleo	35.477	5.073	14.229	21.691	0.099	9.604	0.024	0.031	9.361	0.180	0.436	0.152	96.357
C-32-7	bt8inc,bt-px-grt1	in-grt	35.284	5.813	14.006	19.698	0.065	10.499	0.121	0.081	8.973	0.140	0.422	0.268	95.370
C-32-1,2,3,8,11,17,17A	bt9inc,bt-px-grt1	in-grt	35.031	5.856	14.260	19.546	0.045	10.502	0.105	0.081	8.926	0.131	0.309	0.348	95.140
	bt10,bt-px-grt1	bt/px	35.908	4.743	14.208	21.177	0.050	10.277	0.012	0.053	9.480	0.147	0.566	0.133	96.754
C-32-4	bt11,bt-px-grt1	núcleo	35.916	4.899	14.157	21.334	0.025	10.120	0.048	0.023	9.493	0.176	0.580	0.230	97.001
	bt12,bt-px-grt1	borda	35.729	5.222	14.239	21.441	0.136	9.617	0.016	0.028	9.329	0.174	0.386	0.430	96.747
C-32-16,17	bt13inc,bt-px-grt2	incl-grt	35.127	5.120	13.730	22.131	0.045	9.881	0.050	0.058	8.994	0.165	0.410	0.232	95.943
	bt14inc,bt-px-grt2	incl-grt	35.465	4.731	13.723	21.776	0.012	9.827	0.039	0.035	9.126	0.150	0.350	0.307	95.541
	bt15inc,bt-px-grt2	incl-grt	35.307	4.729	13.751	21.560	0.048	9.691	0.019	0.056	9.263	0.147	0.345	0.373	95.289
	bt16,bt-px-grt2	bt/grt	35.038	5.088	13.884	21.715	0.109	9.470	0.061	0.039	9.085	0.165	0.485	0.180	95.319
	bt17,bt-px-grt2	bt/grt	35.490	5.446	14.007	21.763	0.025	9.378	0.069	0.022	9.085	0.174	0.179	0.297	95.935
	bt18,bt-px-grt2	núcleo	35.291	5.364	13.947	22.299	0.071	9.289	0.043	0.026	9.104	0.186	0.486	0.277	96.383
	bt19,bt-px-grt2	núcleo	35.299	5.193	13.996	22.018	0.069	9.365	0.041	0.040	9.009	0.167	0.502	0.309	96.008
	bt20,bt-px-grt2	borda	34.931	4.962	13.911	22.417	0.061	9.238	0.059	0.063	9.059	0.178	0.375	0.376	95.630
	bt4,sin	borda	35.467	5.014	14.180	21.786	0.028	9.376	0.023	0.024	9.517	0.189	0.251	0.346	96.201
	bt5,sin	núcleo	35.685	4.940	14.093	21.703	0.061	9.406	0.010	0.023	9.336	0.165	0.381	0.297	96.100
	bt6,sin	borda	35.713	4.592	14.061	21.738	0.126	9.498	0.023	0.032	9.136	0.175	0.436	0.310	95.840
	bt21,matriz	borda	35.441	4.853	13.962	22.739	0.089	8.988	0.026	0.049	9.170	0.165	0.462	0.170	96.114
	bt22,matriz	borda	35.423	4.914	14.221	22.264	0.112	9.009	0.019	0.012	9.428	0.161	0.316	0.448	96.327
	bt23,grt-hd-bt2	bt/hd	35.718	5.277	14.012	21.460	0.088	9.485	0.032	0.008	9.320	0.153	0.257	0.340	96.150
C-32-18	bt24,grt-hd-bt2	núcleo	35.781	5.040	14.075	21.170	0.037	9.326	0.034	0.031	9.349	0.149	0.278	0.223	95.493
	bt25,grt-hd-bt2	borda	35.444	4.493	13.941	21.520	0.018	9.347	0.041	0.030	9.327	0.178	0.479	0.146	94.964

Cátions (22 oxigênios, OH=0)														
Associação	Análise,Perfil	SI	ALIV	ALVI	TI	FE2	MN	MG	BA	CA	NA	K	CF	CCL
C-32-14	bt1,grt-hd-bt1	5.506	2.494	0.043	0.653	2.756	0.008	2.161	0.017	0.001	0.008	1.851	0.384	0.079
	bt2,grt-hd-bt1	5.483	2.517	0.041	0.647	2.769	0.014	2.145	0.022	0.000	0.010	1.889	0.678	0.086
C-32-15	bt3,grt-hd-bt1	5.531	2.469	0.071	0.582	2.812	0.012	2.176	0.019	0.000	0.009	1.868	0.127	0.085
	bt4,grt-hd-bt1	5.494	2.506	0.040	0.658	2.771	0.013	2.138	0.020	0.000	0.012	1.851	0.476	0.083
	bt5,grt-hd-bt1	5.468	2.532	0.054	0.605	2.891	0.014	2.124	0.027	0.000	0.011	1.820	0.347	0.072
	bt1sin,grt-hd-bt1	5.568	2.432	0.105	0.558	2.842	0.004	2.137	0.015	0.000	0.014	1.868	0.548	0.085
	bt2sin,grt-hd-bt1	5.521	2.479	0.067	0.586	2.853	0.007	2.162	0.019	0.005	0.008	1.829	0.243	0.075
	bt3sin,grt-hd-bt1	5.552	2.448	0.101	0.601	2.768	0.007	2.118	0.024	0.003	0.011	1.878	0.361	0.079
	bt6,bt-px-grt1	5.472	2.528	0.034	0.596	2.824	0.003	2.226	0.020	0.002	0.005	1.879	0.379	0.090
	bt7,bt-px-grt1	5.481	2.519	0.074	0.582	2.807	0.008	2.216	0.022	0.002	0.018	1.838	0.245	0.075
C-32-5	bt8,bt-px-grt1	5.482	2.518	0.071	0.590	2.803	0.013	2.212	0.009	0.004	0.009	1.845	0.426	0.094
C-32-7	bt8inc,bt-px-grt1	5.455	2.545	0.005	0.676	2.547	0.009	2.420	0.016	0.020	0.024	1.770	0.413	0.073
C-32-1,2,3,8,11,17,17A	bt9inc,bt-px-grt1	5.422	2.578	0.021	0.682	2.530	0.006	2.423	0.021	0.017	0.024	1.762	0.302	0.069
	bt10,bt-px-grt1	5.512	2.488	0.081	0.548	2.719	0.007	2.352	0.008	0.002	0.016	1.857	0.550	0.077
C-32-4	bt11,bt-px-grt1	5.510	2.490	0.068	0.565	2.737	0.003	2.314	0.014	0.008	0.007	1.858	0.563	0.092
	bt12,bt-px-grt1	5.495	2.505	0.074	0.604	2.758	0.018	2.205	0.026	0.003	0.008	1.830	0.375	0.091
C-32-16,17	bt13inc,bt-px-grt2	5.463	2.515	0.000	0.599	2.879	0.006	2.291	0.014	0.008	0.017	1.785	0.403	0.087
	bt14inc,bt-px-grt2	5.526	2.474	0.044	0.554	2.837	0.002	2.283	0.019	0.007	0.011	1.814	0.345	0.079
	bt15inc,bt-px-grt2	5.521	2.479	0.053	0.556	2.819	0.006	2.259	0.023	0.003	0.017	1.848	0.341	0.078
	bt16,bt-px-grt2	5.482	2.518	0.040	0.599	2.841	0.014	2.209	0.011	0.010	0.012	1.813	0.480	0.088
	bt17,bt-px-grt2	5.493	2.507	0.046	0.634	2.817	0.003	2.164	0.018	0.011	0.007	1.794	0.175	0.091
	bt18,bt-px-grt2	5.473	2.527	0.020	0.626	2.892	0.009	2.148	0.017	0.007	0.008	1.801	0.477	0.098
	bt19,bt-px-grt2	5.487	2.513	0.049	0.607	2.862	0.009	2.170	0.019	0.007	0.012	1.786	0.493	0.088
	bt20,bt-px-grt2	5.468	2.532	0.032	0.584	2.935	0.008	2.156	0.023	0.010	0.019	1.809	0.371	0.094
	bt4,sin	5.494	2.506	0.081	0.584	2.822	0.004	2.165	0.021	0.004	0.007	1.881	0.246	0.099
	bt5,sin	5.527	2.473	0.097	0.575	2.811	0.008	2.172	0.018	0.002	0.007	1.845	0.373	0.087
	bt6,sin	5.547	2.453	0.119	0.536	2.824	0.017	2.199	0.019	0.004	0.010	1.810	0.428	0.092
	bt21,matriz	5.516	2.484	0.075	0.568	2.960	0.012	2.085	0.010	0.004	0.015	1.821	0.455	0.087
	bt22,matriz	5.498	2.502	0.097	0.574	2.890	0.015	2.084	0.027	0.003	0.004	1.867	0.310	0.085
C-32-18	bt23,grt-hd-bt2	5.517	2.483	0.066	0.613	2.772	0.012	2.184	0.021	0.005	0.002	1.837	0.251	0.080
	bt24,grt-hd-bt2	5.552	2.448	0.124	0.588	2.747	0.005	2.157	0.014	0.006	0.009	1.851	0.273	0.078
	bt25,grt-hd-bt2	5.557	2.443	0.131	0.530	2.822	0.002	2.185	0.009	0.007	0.009	1.865	0.475	0.095

Piroxênio

Associação	Análise, Perfil	Loc	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	Cr2O3	TOTAL
C-32-3,7	px1, bt-px-grt1	px/grt	50.570	0.030	0.848	32.064	0.834	14.749	1.103	0.020	0.002	0.000	100.220
	px2, bt-px-grt1	px/grt	50.061	0.085	0.984	33.149	0.889	14.280	0.827	0.010	0.000	0.000	100.285
	px3, bt-px-grt1	interm	50.377	0.157	1.042	32.638	0.876	14.122	1.076	0.014	0.000	0.031	100.333
	px4, bt-px-grt1	núcleo	50.546	0.050	0.807	33.085	0.818	14.303	0.762	0.015	0.002	0.039	100.427
C-32-4	px5, bt-px-grt1	borda	50.137	0.167	1.060	33.135	0.853	14.123	0.920	0.036	0.006	0.006	100.443
	px6, bt-px-grt1	px/grt	49.916	0.002	0.950	33.149	0.910	14.268	0.502	0.004	0.000	0.000	99.701
	px7, bt-px-grt1	px/grt	50.333	0.065	0.983	32.194	0.887	14.489	0.768	0.013	0.003	0.014	99.749
	px8, bt-px-grt1	núcleo	50.146	0.111	0.925	32.614	0.818	14.258	0.957	0.020	0.020	0.000	99.869
C-32-8,11	px9, bt-px-grt1	núcleo	49.948	0.080	1.202	32.936	0.917	14.318	0.750	0.013	0.000	0.015	100.179
	px10, bt-px-grt1	px/bt	49.975	0.035	1.098	32.660	0.926	14.348	0.900	0.037	0.004	0.000	99.983
	px11, bt-px-grt2	px/br	50.310	0.066	1.007	32.584	0.941	14.292	0.823	0.041	0.000	0.004	100.068
	px12, bt-px-grt2	interm	50.358	0.078	1.021	32.882	0.906	14.131	0.910	0.024	0.000	0.000	100.310
	px13, bt-px-grt2	núcleo	49.805	0.111	1.216	32.773	0.919	14.052	0.891	0.044	0.014	0.002	99.827
	px14, bt-px-grt2	núcleo	49.891	0.097	1.061	32.952	0.945	14.243	0.894	0.033	0.000	0.000	100.116
	px15, bt-px-grt2	interm	50.005	0.000	1.133	32.412	0.991	14.069	0.899	0.022	0.000	0.025	99.556
	px16, bt-px-grt2	borda	49.929	0.099	1.092	32.842	0.893	14.187	0.777	0.001	0.000	0.000	99.820
	px17, bt-px-grt2	px/bt	49.511	0.114	1.120	32.831	0.844	14.079	0.909	0.039	0.000	0.000	99.447
	px18, bt-px-grt2	interm	49.813	0.104	1.061	32.518	0.910	13.980	0.921	0.025	0.000	0.005	99.337
	px19, bt-px-grt2	núcleo	49.819	0.165	1.216	32.502	0.857	14.080	0.954	0.026	0.014	0.000	99.633
	px20, bt-px-grt2	núcleo	49.960	0.137	1.176	32.614	0.925	14.001	1.135	0.011	0.020	0.044	100.023
	px21, bt-px-grt2	núcleo	50.045	0.120	1.151	32.563	1.020	13.947	1.011	0.010	0.001	0.000	99.868
	px22, bt-px-grt2	núcleo	49.876	0.040	1.046	32.421	0.893	14.371	0.856	0.000	0.028	0.008	99.539
	px23, bt-px-grt2	núcleo	50.035	0.085	1.201	32.332	1.019	14.238	1.009	0.033	0.017	0.070	100.039
	px24, bt-px-grt2	núcleo	49.781	0.206	0.810	32.881	0.982	14.192	0.900	0.013	0.000	0.000	99.765
C-32-16,17	px25, bt-px-grt2	interm	49.773	0.056	1.088	32.690	0.933	13.982	0.892	0.016	0.008	0.063	99.501
	px26, bt-px-grt2	borda	49.625	0.154	0.917	33.255	0.854	14.069	0.869	0.000	0.010	0.000	99.753

Cátions (6 oxigênios)

Associação	Análise, Perfil	TSI	TAL	M1AL	M1TI	M1FE2	M1CR	M1MG	M2FE2	M2MN	M2CA	M2NA	M2K
C-32-3,7	px1, bt-px-grt1	1.977	0.023	0.016	0.001	0.124	0.000	0.860	0.925	0.028	0.046	0.002	0.000
	px2, bt-px-grt1	1.964	0.036	0.010	0.003	0.153	0.000	0.835	0.935	0.030	0.035	0.001	0.000
	px3, bt-px-grt1	1.975	0.025	0.023	0.005	0.146	0.001	0.825	0.925	0.029	0.045	0.001	0.000
	px4, bt-px-grt1	1.980	0.020	0.018	0.001	0.144	0.001	0.835	0.940	0.027	0.032	0.001	0.000
C-32-4	px5, bt-px-grt1	1.965	0.035	0.014	0.005	0.156	0.000	0.825	0.930	0.028	0.039	0.003	0.000
	px6, bt-px-grt1	1.970	0.030	0.014	0.000	0.146	0.000	0.840	0.948	0.030	0.021	0.000	0.000
	px7, bt-px-grt1	1.980	0.020	0.026	0.002	0.122	0.000	0.850	0.937	0.030	0.032	0.001	0.000
	px8, bt-px-grt1	1.974	0.026	0.017	0.003	0.144	0.000	0.837	0.930	0.027	0.040	0.002	0.001

Associação	Análise, Perfil	TSI	TAL	M1AL	M1TI	M1FE2	M1CR	M1MG	M2FE2	M2MN	M2CA	M2NA	M2K
C-32-8,11	px9, bt-px-grt1	1.960	0.040	0.016	0.002	0.144	0.000	0.838	0.937	0.030	0.032	0.001	0.000
	px10, bt-px-grt1	1.963	0.037	0.014	0.001	0.145	0.000	0.840	0.928	0.031	0.038	0.003	0.000
	px11, bt-px-grt2	1.976	0.024	0.022	0.002	0.139	0.000	0.837	0.931	0.031	0.035	0.003	0.000
	px12, bt-px-grt2	1.975	0.025	0.023	0.002	0.149	0.000	0.826	0.930	0.030	0.038	0.002	0.000
	px13, bt-px-grt2	1.962	0.038	0.019	0.003	0.152	0.000	0.825	0.928	0.031	0.038	0.003	0.001
	px14, bt-px-grt2	1.960	0.040	0.009	0.003	0.154	0.000	0.834	0.928	0.031	0.038	0.003	0.000
	px15, bt-px-grt2	1.975	0.025	0.028	0.000	0.143	0.001	0.828	0.927	0.033	0.038	0.002	0.000
	px16, bt-px-grt2	1.968	0.032	0.018	0.003	0.145	0.000	0.834	0.937	0.030	0.033	0.000	0.000
	px17, bt-px-grt2	1.958	0.042	0.011	0.003	0.156	0.000	0.830	0.930	0.028	0.039	0.003	0.000
	px18, bt-px-grt2	1.973	0.027	0.023	0.003	0.149	0.000	0.825	0.928	0.031	0.039	0.002	0.000
	px19, bt-px-grt2	1.966	0.034	0.022	0.005	0.144	0.000	0.828	0.928	0.029	0.040	0.002	0.001
	px20, bt-px-grt2	1.965	0.035	0.020	0.004	0.154	0.001	0.821	0.919	0.031	0.048	0.001	0.001
	px21, bt-px-grt2	1.973	0.027	0.026	0.004	0.151	0.000	0.820	0.922	0.034	0.043	0.001	0.000
	px22, bt-px-grt2	1.968	0.032	0.016	0.001	0.137	0.000	0.845	0.933	0.030	0.036	0.000	0.001
	px23, bt-px-grt2	1.965	0.035	0.020	0.003	0.141	0.002	0.833	0.920	0.034	0.042	0.003	0.001
	px24, bt-px-grt2	1.964	0.036	0.002	0.006	0.157	0.000	0.835	0.928	0.033	0.038	0.001	0.000
	px25, bt-px-grt2	1.969	0.031	0.020	0.002	0.152	0.002	0.825	0.929	0.031	0.038	0.001	0.000
C-32-16,17	px26, bt-px-grt2	1.960	0.040	0.003	0.005	0.164	0.000	0.828	0.934	0.029	0.037	0.000	0.001

Anfibolito

Associação	Análise, Perfil	Loc	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	F	CL	TOTAL	TSI
	anf1, grt-hd-bt1	hd/grt	40.400	2.047	12.433	20.276	0.155	7.959	10.772	1.230	1.848	0.068	0.176	97.364	6.191
	anf2, grt-hd-bt1	hd/bt	40.755	1.765	12.484	20.294	0.196	7.955	10.769	1.259	1.627	0.048	0.202	97.354	6.229
	anf3, grt-hd-bt1	núcleo	40.428	2.074	12.543	20.784	0.150	7.657	10.767	1.456	1.673	0.194	0.187	97.913	6.186
	anf4, grt-hd-bt1	hd/px	40.558	1.989	12.354	20.113	0.183	7.947	10.956	1.215	1.699	0.147	0.173	97.334	6.217
	anf5, grt-hd-bt1	borda	40.537	1.817	12.873	19.999	0.173	7.912	10.999	1.145	1.767	0.206	0.179	97.607	6.191
	anf6, grt-hd-bt2	hd/grt	40.607	1.368	12.908	19.098	0.120	8.553	11.114	1.142	1.868	0.249	0.160	97.187	6.203
	anf7, grt-hd-bt2	hd/pg	40.928	2.005	12.408	19.153	0.122	8.495	11.134	1.070	1.732	0.261	0.206	97.514	6.239
	anf8, grt-hd-bt2	hd/pg	40.311	1.616	13.689	19.451	0.132	7.863	11.221	1.035	1.871	0.177	0.211	97.577	6.148
	anf9, grt-hd-bt2	hd/pg	40.739	1.715	13.021	19.618	0.153	8.005	11.096	1.057	1.767	0.242	0.207	97.620	6.212
	anf10, grt-hd-bt2	núcleo	41.261	2.337	12.210	19.234	0.158	8.268	11.001	1.236	1.739	0.270	0.172	97.886	6.287
	anf11, grt-hd-bt2	núcleo	40.342	2.054	12.403	20.502	0.216	7.896	10.825	1.340	1.814	0.327	0.204	97.923	6.177
	anf12, grt-hd-bt2	hd/bt	40.437	2.169	12.407	20.376	0.219	7.942	10.801	1.310	1.813	0.113	0.184	97.771	6.182
	anf13, grt-hd-bt2	núcleo	40.590	1.980	12.573	20.299	0.135	7.943	11.019	1.269	1.805	0.228	0.198	98.039	6.193

		Cátions (media de 15 exeto Na-K e de 13 exeto Ca-Na-K)														
Associação	Análise,Perfil	TAL	CAL	CFE3	CTI	CMG	CFE2	CMN	BFE2	BMN	BCA	BNA	ANA	AK	CCL	CF
	anf1,grt-hd-bt1	1.809	0.435	0.421	0.236	1.818	2.080	0.010	0.098	0.010	1.769	0.123	0.243	0.361	0.046	0.033
	anf2,gr-hd-bt1	1.771	0.476	0.450	0.203	1.813	2.046	0.013	0.098	0.013	1.763	0.126	0.247	0.317	0.052	0.023
	anf3,grt-hd-bt1	1.814	0.446	0.383	0.239	1.747	2.177	0.010	0.100	0.010	1.765	0.125	0.307	0.327	0.049	0.094
	anf4,grt-hd-bt1	1.783	0.447	0.398	0.229	1.816	2.098	0.012	0.082	0.012	1.799	0.107	0.254	0.332	0.045	0.071
	anf5,grt-hd-bt1	1.809	0.507	0.414	0.209	1.801	2.058	0.011	0.082	0.011	1.800	0.107	0.233	0.344	0.046	0.099
	anf6,grt-hd-bt2	1.797	0.525	0.449	0.157	1.948	1.914	0.008	0.077	0.008	1.819	0.096	0.242	0.364	0.041	0.120
	anf7,grt-hd-bt2	1.761	0.467	0.374	0.230	1.931	1.991	0.008	0.077	0.008	1.819	0.097	0.220	0.337	0.053	0.126
	anf8,grt-hd-bt2	1.852	0.607	0.382	0.185	1.788	2.030	0.008	0.069	0.009	1.834	0.089	0.217	0.364	0.055	0.085
	anf9,grt-hd-bt2	1.788	0.550	0.388	0.197	1.820	2.036	0.010	0.078	0.010	1.813	0.100	0.213	0.344	0.054	0.117
	anf10,grt-hd-bt2	1.713	0.478	0.273	0.268	1.878	2.092	0.010	0.085	0.010	1.796	0.109	0.257	0.338	0.044	0.130
	anf11,grt-hd-bt2	1.823	0.413	0.424	0.237	1.802	2.111	0.014	0.091	0.014	1.776	0.119	0.279	0.354	0.053	0.158
	anf12,grt-hd-bt2	1.818	0.415	0.408	0.249	1.810	2.104	0.014	0.094	0.014	1.769	0.123	0.266	0.354	0.048	0.055
	anf13,grt-hd-bt2	1.807	0.452	0.386	0.227	1.807	2.120	0.009	0.084	0.009	1.801	0.106	0.270	0.351	0.051	0.110

Plagioclásio

Associação	Análise,Perfil	Loc	SIO2	TIO2	AL2O3	FE2O3	MNO	CAO	BAO	NA2O	K2O	CL	MGO	TOTAL
	pg1,sin	borda	58.569	0.000	25.972	0.203	0.000	8.065	0.000	6.705	0.315	0.000	0.000	99.829
	pg2,sin	núcleo	58.787	0.000	26.163	0.062	0.027	7.964	0.000	6.962	0.287	0.009	0.000	100.261
C-32-3,7,8,11	pg1,pre	núcleo	58.551	0.000	25.797	0.093	0.000	7.698	0.011	7.106	0.307	0.009	0.000	99.572
	pg2,pre	núcleo	59.308	0.000	25.280	0.143	0.010	7.393	0.103	7.366	0.330	0.002	0.000	99.935
C-32-4,16,17	pg3,pre	borda	58.440	0.000	25.780	0.120	0.000	7.814	0.005	6.982	0.284	0.009	0.000	99.434
	pg4,pre	com grt,hd	58.275	0.000	25.861	0.832	0.000	7.973	0.050	6.721	0.277	0.000	0.000	99.989
	pg5,pre	com grt,hd	59.221	0.084	26.027	0.126	0.000	7.746	0.071	6.856	0.320	0.000	0.000	100.451
	pg6,pre	com grt,hd	58.867	0.038	25.914	0.270	0.000	7.761	0.115	6.787	0.299	0.000	0.000	100.051

		Cátions (32 oxigênios)								Componentes			
Associação	Análise,Perfil	SI	AL	FE3	TI	MN	BA	CA	NA	K	AB	AN	OR
	pg1,sin	10.492	5.479	0.027	0.000	0.000	0.000	1.548	2.329	0.072	59.000	39.200	1.800
	pg2,sin	10.486	5.496	0.008	0.000	0.004	0.000	1.522	2.408	0.065	60.300	38.100	1.600
C-32-3,7,8,11	pg1,pre	10.517	5.457	0.013	0.000	0.000	0.001	1.481	2.475	0.070	61.500	36.800	1.700
	pg2,pre	10.614	5.328	0.019	0.000	0.002	0.007	1.418	2.556	0.075	63.100	35.000	1.900
C-32-4,16,17	pg3,pre	10.510	5.460	0.016	0.000	0.000	0.000	1.506	2.435	0.065	60.800	37.600	1.600
	pg4,pre	10.449	5.461	0.112	0.000	0.000	0.004	1.532	2.337	0.063	59.400	39.000	1.600
	pg5,pre	10.533	5.452	0.017	0.011	0.000	0.005	1.476	2.365	0.073	60.400	37.700	1.900
	pg6,pre	10.521	5.454	0.036	0.005	0.000	0.008	1.486	2.352	0.068	60.200	38.000	1.700

**ANEXO IV - Lista de abreviações para minerais formadores de rochas
KRETZ (1983) e SPEAR (1985)**

Ab	albita	Aln	allanita	Alm	almandina
And	andalucita	Ann	anita	An	anortita
Ap	apatita	Bt	biotita	Cpx	clinopiroxênio
Di	diopsídio	En	enstatita	Ep	epidoto
Fs	ferrosilita	Gn	galena	Grt	granada
Grs	grossulária	Hbl	hornblenda	Ilm	ilmenita
Kfs	K-feldspato	Ky	cianita	Mag	magnetita
Mc	miclocínio	Mnz	monzonita	Ms	Moscovita
Or	ortoclásio	Opx	ortopiroxênio	Phl	flogopita
Pl	plagioclásio	Prp	piropo	Px	piroxênio
Py	pirita	Qtz	quartzo	Sil	sillimanita
Srp	serpentina	Tr	tremolita	Ttn	titanita
Zrn	zircão				

ANEXO V – Descrição petrográfica das amostras utilizadas para as análises geotermobarométricas e isotópicas.

V-332, granulito charnockítico com granada. Apresenta textura xenoblástica e está constituído por: Qtz (30%), Or pertítico (20%), hiperstênio (20%), Pl An₃₅ (15%), Bt (10%), Grt (5%), Ttn, Zrn e Ap (< 1%). Localmente, por alteração hidrotermal, a Grt está cloritizada, e através de fraturas e da clivagem no Px desenvolvem-se Tr, Chl e carbonatos. O Qtz aparece como cristais grandes com contatos suturados e extinção ondulante marcando uma orientação gnáissica. O Or de grã média a grossa é pertítico tipo *stringlets* e *rods* (máximo de 10% da fase sódica) e tem inclusões de Pl e Qtz. O Pl de grã média é andesina geminada segundo a Lei da Albita, e desenvolve textura mirmequítica nas proximidades de Qtz e Or. A Bt pardo vermelha apresenta-se como cristais finos a médios na matriz, em contato com Grt, como inclusões na Grt, e como remanescentes formados a partir de Grt e hiperstênio. A Grt tem inclusões de Bt, Qtz e Ttn, as quais não se distribuem regularmente. Ocasionalmente a Grt está corroída, formando-se uma borda de Pl mirmequítico no contato com Or, nesta reação intervém Bt.

Gr-15, gnaiss granolepidoblástico. Constituído por Qtz (40%), Pl An₂₅ (30%), Mc (9%), Bt (15%), Grt (5%), e Mag, Ap (1%). Os cristais de Qtz de grã grossa tem extinção ondulante. O Pl ocorre em dois arranjos texturais: como cristais granoblásticos de grã médio com geminação da Lei da Albita e ocasionalmente com textura mirmequítica, e como bordas ao redor da Grt e do Qtz incluso na Grt. O Mc, de grã média, é de alta triclinicidade e possui inclusões de Qtz. A lâmina tem varias gerações de Bt: Bt marrom da matriz, Bt verde escuro em contato com a Grt, e Bt simplectítica verde amarelada com Pl formada na interação entre Grt e Mc. A Grt apresenta-se como poikiloblastos anedrais de até 0.5 cm com inclusões ovaladas de Qtz distribuídas aleatoriamente, e como cristais menores euhedrais e subeuhedrais.

Z-365-1, gnaiss granolepidoblástico migmatítico bandado. Apresenta camadas micáceas (mesossoma) de grã fina (0.2 a 0.8 mm) e camadas félsicas (leucossomas) de grã grossa (1-2 mm). Constituído por: Qtz (50%), Pl An₁₀ (17%), Mc (12%), Bt parda (14%), Grt (6%), Sil (1%). O mesossoma corresponde a gnaiss constituído de: Qtz, Or pertítico tipo *strings* e *stringlets* que geralmente inverte a Mc, Pl subeuhedral geminado segundo a Lei da Albita, Bt pleocroica em todas direções. O Or desenvolve nas bordas pertitas *flame* de substituição mais grossas e irregulares que às primárias. Cortando estes gnaisses tem-se níveis máficos de Sil prismática (localmente alterada a minerais de argila) e Bt castanha, os quais determinam uma marcante foliação. Ao longo da clivagem da Bt e no limite entre os minerais desenvolve-se Ms em condições retrógradadas.

Observam dois tipos de leucossoma: (1) de grã grossa que consiste de Qtz com extinção ondulante, Kfs (principalmente Mc de baixa a média triclinicidade e em menor quantidade Or), Pl e Bt. Dentro dos grandes cristais de Qtz observam-se porções remanescentes de Or pertítico, Pl e Qtz, e também Pl mirmequítico corroído e embebido por Kfs. (2) de grã fina constituído de Qtz, Mc, Bt fina, Grt. A Grt, fraturada e deformada, tem algumas inclusões arredondadas de Qtz, Mnz e Sil, está em contato com Bt marrom amarelada, e ocasionalmente observa-se uma borda de Pl. O Kfs contém inclusões de Sil.

C-32, granulito máfico. É granolepidoblástico e está composto por bandas granulíticas marginadas por níveis micáceos foliados de Bt castanha, Pl e Qtz. As bandas granulíticas granoblásticas consistem de Grt, Opx, Hbl, Pl, Qtz. A lâmina consiste de: Pl An₄₅ (40%), Qtz (25%), Bt (25%), hiperstênio (5%), Grt (2%), Hbl (1%), Or antipertítico (1%), Ap e opaco (1%). O Pl é antipertítico, distinguindo-se dois tipos de antipertitas distribuídas perpendicular e paralelamente à foliação. O Qtz é monocristalino com extinção ondulante e forma camadas de até 3 mm. A Bt pardo vermelha encontra-se associada tanto às bandas granulíticas como aos níveis micáceos e como inclusões na Grt. O hiperstênio encontra-se cisalhado e por alteração hidrotermal incipiente forma carbonato, opacos e Chl. A Grt está em paragêneses com Opx, Bt, e ocasionalmente possui inclusões de Bt vermelha. A Hbl é verde e forma-se pela alteração de hiperstênio. A Ap atinge dimensões de até 0.6 mm e encontra-se associada à Bt dos níveis micáceos.

V-198, ortogneisse com biotita e hornblenda. A lâmina consiste de: Mc pertítico (24%), Pl An_{17.5} (30%), Qtz (25%), Bt (14%), Hbl (2%), Mag (5%), Zrn e Ap (traços). O Mc encontra-se principalmente como cristais milimétricos com pertitas em duas direções e inclusões de Qtz, e como cristais finos. O Pl apresenta geminação da Lei da Albita e Periclínio e geralmente desenvolve textura mirmequítica nos contatos com Mc; está sericitizado. O Qtz é de grã grossa com extinção ondulante, e formas alongadas e deformadas. A Bt de grã média a grossa, com pleocroísmo de amarelo esverdeado a castanho, e possui inclusões de Qtz, Ap e Zrn; desenvolve simplectitas com Qtz. A Hbl é de grã grossa, com pleocroísmo verde escuro e desenvolve-se com a biotita. A Ap apresenta cristais grandes com inclusões de Zrn, e estão relacionados à Bt. Os maiores cristais de Zrn tem formas arredondadas. A Aln é marrom, pleocroica de amarela a marrom e zonação na cor, apresenta figura flash, e encontra-se associada à Mag.

Gr-29, granulito enderbítico com orto e clinopiroxênio. Apresenta textura gnáissica com bandas quartzo-feldspáticas e de Px, sendo constituído por Pl An_{31.5} (45%), Qtz (35%), Opx e Cpx (14%), Bt (4%), Hbl (2%), Mag, Py, Zrn (traços). O Pl é subeuhedral geminado segundo a Lei da Albita, ocasionalmente os cristais estão deformadas e se reconhecem estruturas zonadas. O Or está em quantidades menores como hóspede em Pl. O Qtz milimétrico anedral, com formas alongadas e extinção ondulante; também se encontra inserido no Pl. Os piroxênios são de grã média a grossa com desenvolvimento de Chl através das fraturas. A Hbl de grã média com pleocroísmo de verde claro a verde acastanhado, geralmente associada aos opacos; forma-se também pela alteração do Cpx. A Bt de grã média com pleocroísmo vermelho escuro, sem alteração. A Ap está inserida no Pl.

Gr-15-a, gnaiss quartzofeldspático com biotita. Constituído por Mc (40%), Pl An₂₈ (30%), Qtz (21%), Bt (8%), opacos (1%). Os cristais de Mc são pertíticos, e localmente dentro destes se reconhecem porções remanescentes de Pl mirmequítico. A lâmina contém Or muito fino com pertitas flame de substituição. O Pl é de grã média a grossa, e apresenta-se geminado segundo a Lei da Albita e Periclínio. Desenvolve textura mirmequítica, e geralmente encontra-se alterado a sericita. O Qtz de grã

média a grossa, com extinção ondulante. A Bt de grã média, alterada a Chl. Ocorre também uma segunda geração de cristais grandes de Ep (zoizita) associados a ilm. A lâmina apresenta saussuritização pela alteração.

A-746, granodiorito gnaissico com hornblenda e biotita. Apresenta textura inequigranular. Observam-se feições ígneas reconhecíveis, sendo que a orientação e imbricação do Pl e ferromagnesianos esteve relacionada com a historia magmática. Constituído por: Pl An_{27-30} (40%), Qtz (30%), Bt (15%), Hbl (10%), Mc (3%), Px (1%), Ttn, Zrn e Ap (traços). O Pl é geminado, disposto na foliação magmatica e com desenvolvimento de mirmequita em contato com Kfs; alguns cristais estão rotacionados e fraturados. O Qtz está em ribons com extinção ondulante. O Mc é límpido, a Bt é amarela esverdeada, e a Hbl verde. A Ttn apresenta formas rômbricas, e encontra-se associada à Bt; o Zrn está inserido na Bt.

D-982, gnaisse de quartzo-plagioclásio com granada. Apresenta textura granolepidoblástica, sendo constituído por: Qtz (60%), Pl An_{40} (31%), Kfs (3%), Bt (3%), Grt (1.5%), opacos (1.5%). O Qtz corresponde a cristais de grã grossa de até 2 cm de comprimento. O Pl encontra-se em duas gerações, uma como cristais de granulação grossa geminados segundo a Lei da Albita que contem antipertitas de Or possíveis resquícios duma fase anterior; a outra como agregados de grã fina associados a Qtz e em menor proporção a Mc. O Mc é de grã fina. A Bt de grã fina a média é marrom, e apresenta simplectitas vermiculares com Qtz. A Grt de grã média, anedral, forma-se em paragênese com Bt e altera a Ms e Chl. O Zrn está inserido no Qtz.

V-314, gnaisse quartzo feldspático com hornblenda e biotita. Apresenta textura de granoblástica a gnaissica e lâminas muito finas descontínuas de minerais máficos, constituído por: Qtz (46%), Or (27%), Pl (andesina 19%), Hbl (5%), Mag (2%), Bt (1%), Zrn e Ap (traços). O Qtz está como cristais de grã média a grossa com extinção ondulante e como finas inclusões goticulares em Or. O Or é de grã média a grossa, mesopertítico a pertítico, as pertitas se dispõem em duas direções formando ângulo de 30°. O Pl apresenta-se com textura mirmequítica em contato com Or e como antipertitas em Or. A Hbl é de granulação fina a média, verde escura. A Bt marrom, desenvolve simplectitas com Qtz; tanto a Bt, Hbl, Mag e Ap encontram-se associados. A apatita de grã fina a média, alguns cristais euhedrais contem inclusões aciculares e euhedrais dum mineral amarelo de alto relevo? e inclusões anedrais de Zrn. O Zrn é de granulação média e distinguem-se cristais euhedrais basais, como também anedrais.

V-290, gnaisse sienogranítico. Apresenta textura fanerítica inequigranular fina a média, típica de cristalização de fundido. A lâmina consiste de: Kfs pertítico (51%), Qtz (40%), Mag (5%), Pl (3%), Bt (1%), Ttn e Zrn (1%). O Kfs é pertítico em sua totalidade, as lamellas são compridas e delgadas, seguem a mesma direção ao longo do cristal, e apresenta intercrescimentos mirmequíticos gráficos com Qtz. O Qtz é anedral. O Pl é de grã fino, está restrito entre o Kfs. A Bt está totalmente cloritizada e

desenvolve textura simplectítica com Mag. A Ttn está associada à Mag. A Mag distribui-se aleatoriamente. Presença de zircão em quantidades pequenas.

D-986, granulito máfico com orto e clinopiroxênio. Apresenta textura granoblástica, sendo constituído por: Pl An_{41.5} (52%), Opx e Cpx (20%), Hbl e Bt (12%), Qtz (10%), Mag (5%), Kfs (1%), Zrn e Ap (traços). O Pl de grã média a grossa, antipertítico, geminado segundo a Lei da Albita contem inclusões de Qtz, Ap e Zrn, se reconhecem alguns cristais zonados, altera a sericita em pouca quantidade. O Opx é de grão média e cor rosado, e o Cpx de grão média a grossa e verde. A Hbl é verde, e embora não se descarta que esteja em paragênese, algo de Hbl se forma pela alteração de Cpx. A Bt é de granulação média, vermelha e está associada à Mag. A Mag forma-se em cercanias aos máficos.

V-309, granulito hornblendico com orto e clinopiroxênio. Apresenta textura nematoblástica, sendo constituído por: Hbl (57%), Cpx (24%), Opx (8%), Pl (andesina 8%), Qtz (2%), Bt (1%), Zrn, Ap e opacos (traços). A Hbl de granulação média a grossa, tem ligeiro pleocroísmo verde, algo de Hbl gera-se pela alteração do Px. O Opx e Cpx de grão média, têm leve pleocroísmo rosado e verde, respetivamente. O Pl, de granulação média, tem leve orientação e sericita <1%. Qtz monocristalino fino com orientação. A Bt de grã fina a média tem pleocroísmo vermelho. Desenvolve-se Chl pela alteração de Hbl e Px. Ap e Zrn como cristais sub-milimétricos.

C-302, gnaiss de quartzo-plagioclásio com biotita. Apresenta textura gnáissica, sendo constituído por: Pl An₃₄ (44%), Qtz (34%), Bt (20%), Mc (2%), opaco, Zrn e Ap (traços). O Pl de grã grossa geminado segundo a Lei da Albita e Periclínio, é antipertítico (Mc como fase hospedada no Pl sericitizado), e tem dois tipos de inclusões, umas arredondadas de Qtz, e outras euhedrais quadradas de Kfs (possível Mc), orientadas. Esta última, contem inclusões de Ap anedral. O Qtz é de granulação média a grossa com extinção ondulante. A Bt de grã média, vermelha possui inclusões de Zrn com halo pleocroico, e desenvolvimento de esfena através da exfoliação do cristal. Opaco associado à Bt. Ap de granulação média inserida em Bt e Pl, e Zrn.

C-299, gnaiss de plagioclásio-quartzo com biotita, piroxênio e hornblenda. Apresenta textura gnáissica, sendo constituído por: Pl An₃₄ (45%), Qtz (30%), Bt (15%), Opx e Cpx (5%), Hbl (5%), Zrn e Ap (traços). O plagioclásio de grã média possui geminação da Lei da Albita e em menor proporção da Lei do Periclínio, é antipertítico (Or com formas quadradas) e desenvolve nas bordas mirmequitas. O Qtz é de granulação média, anedral, ondulante. A Bt com pleocroísmo de amarelo pálido a marrom, possui inclusões de Zrn e desenvolve textura simplectítica. O Opx tem cores de interferência de primeira ordem e tons rosa, e o Cpx extinção 45° e pleocroísmo verde. A Hbl com pleocroísmo verde a marrom esverdeado possui inclusões de Qtz, forma-se pela alteração de Opx e possivelmente Bt?. A Ap de grão média, abundante, contem inclusões euhedrais orientadas dum mineral de alto relevo (não distinguido ao microscópio óptico), e anedrais. Desenvolvimento de simplectitas de opaco e Qtz pela reação de Bt e Opx.

C-271, granulito enderbítico com orto e clinopiroxênio. Apresenta textura gnáissica, sendo constituído por: Pl An_{34} (40%), Qtz (30%), Opx e Cpx (17%), Bt (12%), Mag (1%), Zrn e Ap (traço). O Pl corresponde a cristais de granulação média a grossa, subeuhedrais, geminados segundo a Lei da Albita e Albita interrompida com inclusões de Qtz, alguns cristais são antipertíticos (exsolução de Or). O Qtz apresentasse como cristais de grã média, ondulantes e bordas suturadas, e como inclusões em Pl. Os dois Px são de granulação média a grossa, o Opx bordeja ao Cpx, e este último altera a Chl através das fraturas. A Bt é vermelha e alguns cristais formam-se pela alteração de Px. A Ap é de grã média.

D-806, granulito bandado com ortopiroxênio, clinopiroxênio e hornblenda. Apresenta textura granoblástica. As bandas máficas estão constituídas por: Opx e Cpx (35%), Or (30%), Pl An_{38} (15%), Hbl (10%), Qtz (8%), Bt (2%), e as félsicas por: Or (65%), Pl (19%), Qtz (10%), e Opx, Cpx e Hbl (6%). O Or é pertítico com inclusões de Qtz e Zrn, apresenta intercrescimentos gráficos. O Pl de grã média é geminado segundo a Lei da Albita e Periclínio e desenvolve mirmequitas vermiculares nas bordas dos cristais em contato com Or média. O quartzo é de granulação média a grossa. Os dois Px são de grã média a grossa, particularmente o Opx tem pleocroísmo rosa e o Cpx verde, e esta cloritizado. A Hbl forma-se pela alteração do Px e freqüentemente apresentasse bordejando os minerais opacos. A Bt é de granulação média e tem textura simplectítica com Qtz. Zrn e Aln? em quantidades menores. Presença de Mag e Py.

ANEXO VI - Dados isotópicos U-Pb SHRIMP em zircão

Análise	% ²⁰⁶ Pb	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	Pb (ppm)	Razões medidas ^a				Razões radiogénicas ^b								Idade (Ma)					
						²³⁸ U/ ²⁰⁶ Pb	±	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±	²³⁸ U/ ²⁰⁶ Pb	±	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±	err corr	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±	% Disc.
V-198-1	1.67	38	22	0.59	6.0	5.43	2.2	0.0782	2.6	5.52	2.3	0.0640	1.1	1.60	1.1	0.1811	2.3	0.214	1073	23	743	220	-44
V-198-2 (b)	0.19	338	89	0.27	49.1	5.90	1.9	0.0739	0.9	5.92	1.9	0.07237	1.3	1.687	2.4	0.1690	1.9	0.823	1007	18	996	27	-1
V-198-3	0.45	174	61	0.36	30.7	4.86	1.8	0.0788	1.4	4.889	1.8	0.0749	2.1	2.113	2.8	0.2046	1.8	0.654	1200	20	1067	42	-12
V-198-4	0.01	99	38	0.40	15.8	5.38	2	0.0824	1.9	5.39	2.0	0.0824	2.4	2.109	3.2	0.1857	2.0	0.642	1098	21	1255	48	12
V-198-5 (n)	0.12	227	90	0.41	38.7	5.04	1.7	0.0779	1.0	5.047	1.7	0.0769	1.5	2.100	2.3	0.1981	1.7	0.757	1165	19	1118	30	-4
V-198-6 (n)	0.01	387	171	0.46	64.4	5.16	1.7	0.0795	0.8	5.166	1.7	0.07942	1.0	2.120	2.0	0.1936	1.7	0.859	1141	18	1183	20	4
V-198-7 (b)	0.99	80	34	0.44	11.8	5.81	1.9	0.0815	1.8	5.87	2.0	0.0732	4.6	1.718	5.0	0.1703	2.0	0.392	1014	18	1019	93	1
V-198-8	0.80	319	64	0.21	52.0	5.27	1.7	0.0765	1.7	5.317	1.8	0.0696	6.4	1.81	6.6	0.1881	1.8	0.273	1111	18	918	130	-21
V-198-9	0.31	197	45	0.24	28.9	5.87	1.9	0.0731	1.2	5.88	1.9	0.0706	2.2	1.654	2.9	0.1700	1.9	0.654	1012	18	946	44	-7
V-198-10 (b)	0.13	495	209	0.44	74.9	5.67	1.7	0.0743	0.7	5.679	1.7	0.07322	0.94	1.778	2.0	0.1761	1.7	0.876	1045	16	1020	19	-2
V-198-11 (n)	0.09	202	68	0.35	34.7	5.00	2.1	0.0782	1.1	5.00	2.1	0.07743	1.1	2.134	2.4	0.1999	2.1	0.884	1175	23	1132	22	-4
V-198-12 (b)	0.24	411	140	0.35	61.0	5.78	1.7	0.0739	0.9	5.802	1.7	0.07194	1.3	1.709	2.1	0.1723	1.7	0.802	1025	16	984	26	-4
Gr-29-1	0.06	1066	185	0.18	162	5.652	1.3	0.07634	0.39	5.656	1.3	0.07583	0.44	1.849	1.4	0.1768	1.3	0.945	1050	12	1091	8.9	4
Gr-29-2	0.04	1214	332	0.28	162	6.428	1.3	0.07339	0.40	6.430	1.3	0.07309	0.45	1.567	1.4	0.1555	1.3	0.944	932	11	1017	9.1	8
Gr-29-3	0.03	1312	290	0.23	203	5.560	1.3	0.07666	0.35	5.561	1.3	0.07643	0.38	1.895	1.3	0.1798	1.3	0.960	1066	13	1106	7.5	4
Gr-29-4	0.06	877	72	0.08	113	6.693	1.3	0.07302	0.51	6.697	1.3	0.07251	0.65	1.493	1.4	0.1493	1.3	0.893	897	11	1000	13	10
Gr-29-5	0.14	1280	378	0.30	165	6.671	1.5	0.08819	0.62	6.681	1.5	0.08702	0.67	1.796	1.6	0.1497	1.5	0.911	899	12	1361	13	34
Gr-29-6	0.13	1611	159	0.10	154	9.00	1.4	0.0803	2.00	9.01	1.4	0.0792	2.1	1.213	2.5	0.1110	1.4	0.573	679	9.2	1178	41	42
Gr-29-7	0.47	1500	304	0.21	162	7.97	1.3	0.0924	4.50	8.01	1.3	0.0883	4.9	1.521	5.0	0.1249	1.3	0.258	759	9.3	1390	93	45
Gr-29-8	0.02	898	40	0.05	175	4.398	1.3	0.08903	0.34	4.399	1.3	0.08889	0.36	2.786	1.3	0.2273	1.3	0.964	1320	15	1402	6.8	6
Gr-29-9	0.07	1256	248	0.20	180	5.985	1.6	0.07634	0.49	5.989	1.6	0.07578	0.53	1.744	1.7	0.1670	1.6	0.947	995	15	1089	11	9
Gr-29-10	0.11	869	40	0.05	92.6	8.07	1.3	0.07942	0.49	8.07	1.3	0.07852	0.59	1.341	1.4	0.1239	1.3	0.910	753	9.2	1160	12	35
Gr-29-11	0.64	564	136	0.25	74.2	6.536	1.3	0.08395	0.52	6.579	1.3	0.0785	3.0	1.646	3.2	0.1520	1.3	0.411	912	11	1160	59	21
Gr-29-12	0.03	634	160	0.26	119	4.566	1.3	0.09013	0.48	4.567	1.3	0.08988	0.50	2.714	1.4	0.2190	1.3	0.934	1276	15	1423	9.6	10
Gr-29-13		745	66	0.09	96.8	6.612	1.3	0.07362	0.52	6.611	1.3	0.07375	0.52	1.538	1.4	0.1513	1.3	0.927	908	11	1035	11	12
Gr-29-14	0.03	1077	197	0.19	172	5.392	1.5	0.07792	0.59	5.393	1.5	0.07770	0.61	1.986	1.7	0.1854	1.5	0.930	1097	16	1139	12	4
Gr-15A-1	0.11	431	208	0.50	60.4	6.130	2.4	0.07336	0.68	6.14	2.4	0.07243	0.82	1.627	2.6	0.1629	2.4	0.948	973	22	998	17	2
Gr-15A-2	0.04	655	321	0.51	92.5	6.080	2.4	0.07300	0.66	6.09	2.4	0.07268	0.69	1.646	2.5	0.1643	2.4	0.962	981	22	1005	14	2
Gr-15A-3	0.01	637	269	0.44	90.0	6.084	1.3	0.07361	0.52	6.085	1.3	0.07350	0.54	1.665	1.4	0.1643	1.3	0.923	981	12	1028	11	5
Gr-15A-4	0.03	470	486	1.07	66.5	6.070	1.3	0.07292	0.62	6.071	1.3	0.07270	0.68	1.651	1.5	0.1647	1.3	0.887	983	12	1006	14	2

Análise	% ²⁰⁶ Pb	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	Pb (ppm)	Razões medidas ^a			Razões radiogénicas ^b							Idade (Ma)							
						²³⁸ U/ ²⁰⁶ Pb	±	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±	err corr	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±	% Disc.		
Gr-15A-5	0.02	897	312	0.36	127	6.060	1.8	0.07355	0.46	6.06	1.8	0.07337	0.49	1.670	1.9	0.1650	1.8	0.966	985	17	1024.2	9.8	4
Gr-15A-6	0.00	429	254	0.61	61.1	6.040	1.3	0.07381	0.65	6.040	1.3	0.07381	0.67	1.685	1.5	0.1656	1.3	0.896	988	12	1036	13	5
Gr-15A-7	0.08	484	563	1.20	67.5	6.150	1.8	0.07335	0.64	6.16	1.8	0.07270	0.73	1.628	1.9	0.1624	1.8	0.926	970	16	1006	15	4
Gr-15A-8	0.03	415	360	0.90	58.2	6.135	1.4	0.07269	0.70	6.137	1.4	0.07245	0.75	1.628	1.5	0.1630	1.4	0.875	973	12	999	15	3
Gr-15A-9		264	159	0.62	37.2	6.091	1.3	0.07333	0.87	6.088	1.3	0.07371	0.90	1.669	1.6	0.1643	1.3	0.831	980	12	1034	18	5
Gr-15A-10	0.06	460	219	0.49	66.1	5.975	1.3	0.07361	0.60	5.978	1.3	0.07313	0.67	1.687	1.5	0.1673	1.3	0.890	997	12	1017	14	2
Gr-15A-11	0.12	377	216	0.59	53.2	6.094	1.3	0.07361	0.65	6.102	1.3	0.07260	0.83	1.640	1.6	0.1639	1.3	0.849	978	12	1003	17	2
Gr-15A-12	0.08	447	335	0.77	64.2	5.983	1.3	0.07323	0.60	5.988	1.3	0.07256	0.73	1.671	1.5	0.1670	1.3	0.878	996	12	1002	15	1
Análise	% ²⁰⁶ Pb	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	Pb (ppm)	Razões medidas ^a			Razões radiogénicas ^c							Idade (Ma)							
						²³⁸ U/ ²⁰⁶ Pb	±	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±	²³⁸ U/ ²⁰⁶ Pb	±	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±	err corr	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±			
A-746-1	6.38	39	30	0.79	0.9	37.25	3.4	0.0715	8.0	38.7	3.4	-----	---	-----	---	0.02585	3.4	-----	165	6.8			
A-746-2	2.88	164	304	1.91	3.7	38.09	2.7	0.0597	3.9	38.6	2.7	0.0496	4.8	0.1771	5.5	0.02591	2.7	0.48296	164.9	6.6			
A-746-3	17.27	24	20	0.84	0.6	34.76	4.0	0.0944	8.5	36.7	4.0	-----	---	-----	---	0.0272	4.0	-----	173	8.7			
A-746-4	3.01	325	673	2.14	7.5	37.30	2.4	0.0540	2.8	37.89	2.4	0.0416	3.7	0.1514	4.4	0.02639	2.4	0.54403	168	6.4			
A-746-5	6.41	62	71	1.19	1.4	39.37	3.0	0.0666	6.2	40.8	3.0	-----	---	-----	---	0.02453	3.0	-----	156	6.3			
A-746-6	6.68	65	58	0.92	1.6	35.53	3.1	0.0673	7.1	36.3	3.1	-----	---	-----	---	0.02755	3.1	-----	175	6.5			
A-746-7	10.66	57	49	0.90	1.4	35.92	3.1	0.0679	6.0	37.0	3.1	-----	---	-----	---	0.02706	3.1	-----	172	6.4			
A-746-8	7.02	33	27	0.84	0.8	37.59	5.5	0.0750	11.8	39.2	5.5	-----	---	-----	---	0.0255	5.5	-----	162	11			
A-746-9	8.66	53	58	1.12	1.2	37.62	3.1	0.0685	6.2	39.5	3.1	-----	---	-----	---	0.02531	3.1	-----	161	6.7			
A-746-10	3.42	62	58	0.97	1.5	36.04	3.0	0.0677	6.0	36.9	3.0	0.0503	8.3	0.188	8.8	0.02713	3.0	0.34186	173	6.4			
A-746-11	3.65	61	59	1.01	1.3	38.79	3.0	0.0683	5.7	40.0	3.0	0.0442	9.2	0.152	9.6	0.02500	3.0	0.30991	159	6.0			
A-746-12	3.27	164	280	1.76	3.8	37.56	2.6	0.0533	3.9	38.3	2.6	0.0389	5.5	0.1403	6.1	0.02614	2.6	0.43337	166	6.4			

^a Todos os erros são a nível de 1 σ

^b Razões corrigidas para Pb comum usando o ^{204}Pb medido

^c Razões corrigidas para Pb comum assumindo idade concordante $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} - ^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$

Disc = discordância

As linhas em cursiva representam os análises usados para calcular a idade ou idades médias,
(b) análises borda (n) análises núcleo

ANEXO VII - Datos analíticos ⁴⁰Ar/³⁹Ar.

Run ID#	Sample	Material	Age (Ma)	± (Ma)	40/39	38/39	37/39	36/39	40*/39	% Rad	J	±	Discr.	±	Ar40 (nA)	Ar40 (mols)	Laser (W)	Irrad.	Run Date
1447-01A	D-986	Homblenda	2684.29	5511.72	-11.41432	0.02889	101.08460	0.27125	-89.32827	731.8	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0010	0.0004	4.13E-18	0.6	SPA0203-71	03/23/03
1447-01B	D-986	Homblenda	0.00	795.97	-1619.00400	0.64557	276.69580	0.67178	-2182.55000	110.9	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0010	0.0540	1.03E-15	1.1	SPA0203-71	03/23/03
1447-01C	D-986	Homblenda	0.00	638.63	-1523.19900	0.28681	36.32349	0.67916	-1762.00700	113.0	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0010	0.1030	1.98E-15	1.6	SPA0203-71	03/23/03
1447-01D	D-986	Homblenda	6751.47	1782.08	6010.43200	0.38208	87.76076	5.18151	4753.59300	74.6	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0010	0.1827	3.47E-15	2.2	SPA0203-71	03/23/03
1447-01E	D-986	Homblenda	8716.07	554.16	5299.06200	0.21349	0.00000	2.16592	4659.00000	87.9	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0010	0.4647	8.89E-15	2.8	SPA0203-71	03/23/03
1447-01F	D-986	Homblenda	8019.12	232.68	9631.06900	0.21294	43.80813	0.64881	9715.66300	98.0	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0010	2.9091	5.51E-14	3.6	SPA0203-71	03/23/03
1447-01G	D-986	Homblenda	8080.88	153.47	9918.12700	0.07065	31.36881	0.21941	10058.03000	99.4	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0010	4.4817	8.51E-14	4.5	SPA0203-71	03/23/03
1447-01H	D-986	Homblenda	6064.05	23.55	3152.25300	0.04056	35.41477	0.05784	3210.86900	99.5	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0010	16.5301	3.14E-13	5.2	SPA0203-71	03/23/03
1447-02A	D-986	Homblenda	7132.24	56.95	5960.36400	0.07686	10.18761	0.34501	5897.73700	98.3	0.0086664	5.40E-06	1.0061	0.0013	11.2694	2.14E-13	2.5	SPA0203-71	03/26/03
1447-02B	D-986	Homblenda	5788.82	46.29	2734.89200	-0.00268	2.46053	-0.00279	2740.23100	100.0	0.0086664	5.40E-06	1.0061	0.0013	3.3812	6.43E-14	3.5	SPA0203-71	03/26/03
1447-02C	D-986	Homblenda	8184.37	650.18	8920.96900	-0.06170	253.57030	0.05035	10658.67000	100.1	0.0086664	5.40E-06	1.0061	0.0013	2.6995	5.10E-14	4.7	SPA0203-71	03/26/03
1447-02D	D-986	Homblenda	6037.17	640.89	2747.88400	-0.25310	165.17690	-0.22316	3161.67400	102.9	0.0086664	5.40E-06	1.0061	0.0013	0.2103	4.01E-15	5.0	SPA0203-71	03/26/03
1447-02E	D-986	Homblenda	7559.20	95.77	3006.96500	0.05105	938.94360	0.28574	7503.37000	99.7	0.0086664	5.40E-06	1.0061	0.0013	4.3827	9.29E-14	5.2	SPA0203-71	03/26/03
1454-01A	V-198	Homblenda	221.39	2.91	15.45059	0.01406	0.14291	0.00134	15.06572	97.5	0.0086664	5.40E-06	1.0052	0.0012	0.1518	2.89E-15	0.6	SPA0203-71	03/21/03
1454-01B	V-198	Homblenda	226.10	1.65	16.25924	0.01765	0.54587	0.00305	15.40669	94.7	0.0086664	5.40E-06	1.0052	0.0012	0.3249	6.17E-15	1.0	SPA0203-71	03/21/03
1454-01C	V-198	Homblenda	334.12	1.75	24.08285	0.01683	0.59534	0.00224	23.47687	97.4	0.0086664	5.40E-06	1.0052	0.0012	0.4771	9.11E-15	1.5	SPA0203-71	03/21/03
1454-01D	V-198	Homblenda	340.37	1.49	24.16367	0.01519	0.49885	0.00085	23.95905	99.1	0.0086664	5.40E-06	1.0052	0.0012	0.8753	1.68E-14	2.1	SPA0203-71	03/21/03
1454-01E	V-198	Homblenda	486.97	1.47	35.71152	0.01945	0.86777	0.00016	35.75500	100.1	0.0086664	5.40E-06	1.0052	0.0012	2.2188	4.21E-14	2.7	SPA0203-71	03/21/03
1454-01F	V-198	Homblenda	647.89	1.43	49.90958	0.02119	1.33330	0.00068	49.85660	99.8	0.0086664	5.40E-06	1.0052	0.0012	6.7982	1.29E-13	3.4	SPA0203-71	03/21/03
1454-01G	V-198	Homblenda	765.22	1.37	60.93678	0.02591	1.76413	0.00063	60.96096	99.9	0.0086664	5.40E-06	1.0052	0.0012	16.7315	3.18E-13	4.2	SPA0203-71	03/21/03
1454-01H	V-198	Homblenda	719.75	1.57	56.56355	0.02327	1.40192	0.00053	56.57095	99.9	0.0086664	5.40E-06	1.0052	0.0012	22.9078	4.38E-13	5.2	SPA0203-71	03/21/03
1454-01I	V-198	Homblenda	597.29	1.22	45.32159	0.02069	1.06661	0.00051	45.28593	99.9	0.0086664	5.40E-06	1.0052	0.0012	2.9699	5.65E-14	5.2	SPA0203-71	03/21/03
1454-02A	V-198	Homblenda	368.57	0.81	26.19385	0.01581	0.26899	0.00022	26.15437	99.8	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0010	2.3195	4.45E-14	1.5	SPA0203-71	03/24/03
1454-02B	V-198	Homblenda	706.21	1.01	55.25080	0.02348	1.43409	0.00044	55.28569	100.0	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0010	8.4162	1.60E-13	2.2	SPA0203-71	03/24/03
1454-02C	V-198	Homblenda	725.41	1.31	57.02808	0.02393	1.49114	0.00031	57.11209	100.1	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0010	11.5386	2.19E-13	3.0	SPA0203-71	03/24/03
1454-02D	V-198	Homblenda	571.80	1.53	43.22116	0.02235	1.11073	0.00105	43.03176	99.5	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0010	1.8916	3.59E-14	3.6	SPA0203-71	03/24/03
1454-02E	V-198	Homblenda	577.69	1.67	43.32870	0.02068	0.76131	-0.00047	43.54977	100.5	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0010	1.1380	2.16E-14	4.2	SPA0203-71	03/24/03
1454-02F	V-198	Homblenda	639.43	7.59	45.61731	0.00880	0.00000	-0.01173	49.08339	107.6	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0010	0.1482	2.84E-15	4.8	SPA0203-71	03/24/03
1454-02G	V-198	Homblenda	671.61	1.40	51.62327	0.02183	1.72325	-0.00076	52.04367	100.7	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0010	2.4805	4.75E-14	5.2	SPA0203-71	03/24/03
1457-01A	A-746	Homblenda	70.84	3.94	10.44447	0.02239	9.78039	0.02244	4.62096	44.0	0.0086664	5.40E-06	1.0052	0.0012	0.0612	1.16E-15	0.6	SPA0203-71	03/21/03
1457-01B	A-746	Homblenda	20.53	2.70	3.23096	0.01483	10.57479	0.00934	1.32077	40.6	0.0086664	5.40E-06	1.0052	0.0012	0.0270	5.14E-16	1.0	SPA0203-71	03/21/03
1457-01C	A-746	Homblenda	34.20	2.15	1.91290	0.01572	2.29368	-0.00037	2.20827	115.3	0.0086664	5.40E-06	1.0052	0.0012	0.0344	6.56E-16	1.5	SPA0203-71	03/21/03
1457-01D	A-746	Homblenda	39.48	0.40	2.54657	0.02192	3.70058	0.00100	2.55327	100.1	0.0086664	5.40E-06	1.0052	0.0012	0.1861	3.96E-15	2.1	SPA0203-71	03/21/03
1457-01E	A-746	Homblenda	36.94	0.80	2.16590	0.01991	3.36749	0.00018	2.38675	110.0	0.0086664	5.40E-06	1.0052	0.0012	0.0718	1.37E-15	2.7	SPA0203-71	03/21/03
1457-01F	A-746	Homblenda	35.83	2.95	2.24229	0.01835	2.95579	0.00057	2.31446	103.1	0.0086664	5.40E-06	1.0052	0.0012	0.0208	3.96E-16	3.4	SPA0203-71	03/21/03
1457-01G	A-746	Homblenda	69.58	4.05	3.87130	0.01769	4.24153	-0.00107	4.53722	118.9	0.0086664	5.40E-06	1.0052	0.0012	0.0256	4.89E-16	4.2	SPA0203-71	03/21/03
1457-01H	A-746	Homblenda	44.34	2.72	2.39086	0.02189	5.05761	-0.00023	2.87136	119.7	0.0086664	5.40E-06	1.0052	0.0012	0.0215	4.09E-16	5.2	SPA0203-71	03/21/03
1457-01I	A-746	Homblenda	42.90	2.52	2.41347	0.02273	4.43002	-0.00001	2.77708	114.8	0.0086664	5.40E-06	1.0052	0.0012	0.0253	4.86E-16	5.2	SPA0203-71	03/21/03
1457-02A	A-746	Homblenda	53.76	2.34	6.58575	0.01664	6.26441	0.01221	3.49025	52.8	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0010	0.0976	1.86E-15	1.0	SPA0203-71	03/24/03
1457-02B	A-746	Homblenda	21.61	1.26	2.08282	0.01805	3.10184	0.00319	1.39072	66.7	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0010	0.0465	8.81E-16	1.6	SPA0203-71	03/24/03
1457-02C	A-746	Homblenda	35.88	0.79	2.54081	0.02155	3.90437	0.00183	2.31788	91.0	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0010	0.1117	2.19E-15	2.0	SPA0203-71	03/24/03
1457-02D	A-746	Homblenda	36.63	0.53	2.47923	0.02035	3.84232	0.00144	2.36669	95.3	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0010	0.1589	3.01E-15	3.0	SPA0203-71	03/24/03
1457-02E	A-746	Homblenda	31.38	0.77	2.50646	0.02405	3.50991	0.00259	2.02471	80.6	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0010	0.0878	1.66E-15	5.2	SPA0203-71	03/24/03
1461-01A	D-982	Biotita	808.98	4.69	70.64342	0.02236	0.76523	0.01843	65.29033	92.4	0.0086664	5.40E-06	1.0052	0.0012	0.8040	1.53E-14	0.5	SPA0203-71	03/22/03
1461-01B	D-982	Biotita	862.99	1.78	71.19617	0.01426	0.03791	0.00142	70.78169	99.4	0.0086664	5.40E-06	1.0052	0.0012	7.8122	1.49E-13	0.9	SPA0203-71	03/22/03
1461-01C	D-982	Biotita	861.91	1.63	70.78774	0.01335	0.00115	0.00040	70.66982	99.8	0.0086664	5.40E-06	1.0052	0.0012	6.3950	1.22E-13	1.3	SPA0203-71	03/22/03
1461-01D	D-982	Biotita	861.92	1.57	70.82753	0.01242	0.03579	0.00054	70.67064	99.8	0.0086664	5.40E-06	1.0052	0.0012	3.9500	7.53E-14	1.7	SPA0203-71	03/22/03
1461-01E	D-982	Biotita	853.42	1.38	69.99906	0.01252	0.05350	0.00071	69.79849	99.7	0.0086664	5.40E-06	1.0052	0.0012	4.3903	8.36E-14	2.4	SPA0203-71	03/22/03
1461-01F	D-982	Biotita	858.89	1.58	70.51875	0.01355	0.01040	0.00054	70.35915	99.8	0.0086664	5.40E-06	1.0052	0.0012	8.6366	1.64E-13	3.2	SPA0203-71	03/22/03
1461-01G	D-982	Biotita	870.10	2.23	71.61862	0.01347	0.00000	0.00034	71.51680	99.9	0.0086664	5.40E-06	1.0052	0.0012	8.5489	1.64E-13	4.2	SPA0203-71	03/22/03
1461-01H	D-982	Biotita	831.45	2.62	68.00439	0.01381	0.16408	0.00159	67.55438	99.3	0.0086664	5.40E-06	1.0052	0.0012	1.9832	3.79E-14	5.2	SPA0203-71	03/22/03

Run ID#	Sample	Material	Age (Ma)	± (Ma)	40/39	38/39	37/39	36/39	40*/39	% Rad	J	±	Discr.	±	Ar40 (nA)	Ar40 (mois)	Laser (W)	Irrad.	Run Date
1461-02A	D-982	Biotita	852.24	2.62	71.46517	0.01402	0.00000	0.00606	69.67525	97.5	0.0086664	5.40E-06	1.0061	0.0013	1.9342	3.68E-14	0.6	SPA0203-71	03/25/03
1461-02B	D-982	Biotita	875.41	1.88	72.27956	0.01359	0.00000	0.00072	72.06786	99.7	0.0086664	5.40E-06	1.0061	0.0013	8.8022	1.68E-13	0.9	SPA0203-71	03/25/03
1461-02C	D-982	Biotita	866.80	1.58	71.30505	0.01310	0.00000	0.00044	71.17499	99.8	0.0086664	5.40E-06	1.0061	0.0013	7.4202	1.40E-13	1.3	SPA0203-71	03/25/03
1461-02D	D-982	Biotita	847.69	1.58	69.18063	0.01251	0.00000	-0.00010	69.20904	100.0	0.0086664	5.40E-06	1.0061	0.0013	5.4678	1.04E-13	2.0	SPA0203-71	03/25/03
1461-02E	D-982	Biotita	832.05	1.58	67.67311	0.01031	0.00000	0.00019	67.61606	99.9	0.0086664	5.40E-06	1.0061	0.0013	5.2357	9.94E-14	2.8	SPA0203-71	03/25/03
1461-02F	D-982	Biotita	854.28	1.81	69.97661	0.01242	0.00000	0.00031	69.88423	99.9	0.0086664	5.40E-06	1.0061	0.0013	6.2997	1.19E-13	3.5	SPA0203-71	03/25/03
1461-02G	D-982	Biotita	859.87	1.30	70.49345	0.01338	0.00000	0.00011	70.45928	100.0	0.0086664	5.40E-06	1.0061	0.0013	6.8593	1.31E-13	4.1	SPA0203-71	03/25/03
1461-02H	D-982	Biotita	851.82	1.88	69.60797	0.01335	0.00000	-0.00008	69.63209	100.0	0.0086664	5.40E-06	1.0061	0.0013	3.9141	7.42E-14	5.2	SPA0203-71	03/25/03
1475-01A	C-299	Biotita	829.40	8.37	73.58474	0.00503	0.00000	0.00708	71.48992	97.2	0.0081642	4.20E-06	1.0060	0.0010	0.2853	5.44E-15	0.5	SPA0203-72	03/23/03
1475-01B	C-299	Biotita	974.70	1.81	88.15942	0.01182	0.00000	0.00135	87.75874	99.5	0.0081642	4.20E-06	1.0060	0.0010	2.8795	5.48E-14	0.9	SPA0203-72	03/23/03
1475-01C	C-299	Biotita	979.68	1.77	88.77449	0.01159	0.00000	0.00147	88.34021	99.5	0.0081642	4.20E-06	1.0060	0.0010	5.4518	1.03E-13	1.3	SPA0203-72	03/23/03
1475-01D	C-299	Biotita	982.18	1.85	88.85047	0.01257	0.00000	0.00074	88.63247	99.8	0.0081642	4.20E-06	1.0060	0.0010	7.2337	1.38E-13	1.7	SPA0203-72	03/23/03
1475-01E	C-299	Biotita	979.72	2.59	88.47370	0.01237	0.00352	0.00044	88.34492	99.9	0.0081642	4.20E-06	1.0060	0.0010	10.3071	1.97E-13	2.4	SPA0203-72	03/23/03
1475-01F	C-299	Biotita	978.73	1.54	88.25731	0.01236	0.00000	0.00009	88.22948	100.0	0.0081642	4.20E-06	1.0060	0.0010	12.9641	2.46E-13	3.2	SPA0203-72	03/23/03
1475-01G	C-299	Biotita	982.00	1.60	88.65022	0.01159	0.00000	0.00013	88.61115	100.0	0.0081642	4.20E-06	1.0060	0.0010	12.0054	2.28E-13	4.2	SPA0203-72	03/23/03
1475-01H	C-299	Biotita	984.23	1.77	88.99377	0.01282	0.03729	0.00043	88.87189	99.9	0.0081642	4.20E-06	1.0060	0.0010	11.8117	2.26E-13	5.2	SPA0203-72	03/23/03
1475-02A	C-299	Biotita	816.54	2.53	75.18341	0.01713	0.25414	0.01727	70.11211	93.2	0.0081642	4.20E-06	1.0061	0.0013	1.1357	2.16E-14	0.7	SPA0203-72	03/25/03
1475-02B	C-299	Biotita	953.79	1.66	85.56384	0.01234	0.00000	0.00077	85.33578	99.7	0.0081642	4.20E-06	1.0061	0.0013	5.5927	1.07E-13	1.1	SPA0203-72	03/25/03
1475-02C	C-299	Biotita	971.64	1.57	87.43825	0.01277	0.00000	0.00012	87.40215	100.0	0.0081642	4.20E-06	1.0061	0.0013	11.6692	2.22E-13	1.6	SPA0203-72	03/25/03
1475-02D	C-299	Biotita	972.91	1.78	87.68353	0.01304	0.00000	0.00045	87.55023	99.8	0.0081642	4.20E-06	1.0061	0.0013	13.7798	2.62E-13	2.3	SPA0203-72	03/25/03
1475-02E	C-299	Biotita	980.98	2.70	88.54527	0.01152	0.00000	0.00018	88.49209	99.9	0.0081642	4.20E-06	1.0061	0.0013	12.3728	2.35E-13	3.0	SPA0203-72	03/25/03
1475-02F	C-299	Biotita	981.50	3.31	88.66035	0.01124	0.02433	0.00037	88.55314	99.9	0.0081642	4.20E-06	1.0061	0.0013	15.9679	3.10E-13	3.8	SPA0203-72	03/25/03
1475-02G	C-299	Biotita	976.81	1.85	88.03749	0.01185	0.00000	0.00011	88.00542	100.0	0.0081642	4.20E-06	1.0061	0.0013	4.9328	9.36E-14	4.5	SPA0203-72	03/25/03
1475-02H	C-299	Biotita	979.86	1.99	88.33758	0.01073	0.00000	-0.00008	88.36139	100.0	0.0081642	4.20E-06	1.0061	0.0013	6.2235	1.18E-13	5.2	SPA0203-72	03/25/03
1481-01A	C-299	Homblenda	6064.09	170.13	3444.26700	-0.12433	0.00000	0.12107	3408.46500	99.0	0.0081642	4.20E-06	1.0060	0.0010	1.1058	2.10E-14	0.7	SPA0203-72	03/23/03
1481-01B	C-299	Homblenda	2581.38	57.34	398.99680	-0.01638	0.00000	0.03115	389.78590	97.7	0.0081642	4.20E-06	1.0060	0.0010	0.2668	5.06E-15	1.2	SPA0203-72	03/23/03
1481-01C	C-299	Homblenda	1537.74	26.54	162.22670	-0.00359	0.00000	-0.00861	164.76720	101.6	0.0081642	4.20E-06	1.0060	0.0010	0.1745	3.29E-15	1.7	SPA0203-72	03/23/03
1481-01D	C-299	Homblenda	1278.15	3.13	126.82690	0.01785	2.67314	0.00333	126.27070	99.4	0.0081642	4.20E-06	1.0060	0.0010	4.1541	7.87E-14	2.3	SPA0203-72	03/23/03
1481-01E	C-299	Homblenda	1020.41	1.80	93.12700	0.01641	3.22961	0.00143	93.15444	99.8	0.0081642	4.20E-06	1.0060	0.0010	16.9203	3.21E-13	3.0	SPA0203-72	03/23/03
1481-01F	C-299	Homblenda	996.17	1.88	90.19708	0.01466	3.32821	0.00128	90.27644	99.9	0.0081642	4.20E-06	1.0060	0.0010	10.2208	1.94E-13	3.8	SPA0203-72	03/23/03
1481-01G	C-299	Homblenda	1003.66	3.99	91.20413	0.01512	3.40452	0.00173	91.16104	99.7	0.0081642	4.20E-06	1.0060	0.0010	1.4163	2.68E-14	4.7	SPA0203-72	03/23/03
1481-01H	C-299	Homblenda	1015.44	3.95	92.62009	0.01626	3.48667	0.00184	92.56082	99.7	0.0081642	4.20E-06	1.0060	0.0010	1.5192	2.89E-14	5.2	SPA0203-72	03/23/03
1481-02A	C-299	Homblenda	3835.88	39.96	918.30340	0.02683	0.66478	0.04875	904.33610	98.4	0.0081642	4.20E-06	1.0061	0.0013	1.4990	2.86E-14	1.7	SPA0203-72	03/25/03
1481-02B	C-299	Homblenda	1153.97	2.46	109.96170	0.01574	3.08640	0.00237	109.72450	99.6	0.0081642	4.20E-06	1.0061	0.0013	6.3351	1.21E-13	2.3	SPA0203-72	03/25/03
1481-02C	C-299	Homblenda	1012.40	1.90	92.17028	0.01675	3.29909	0.00145	92.19907	99.8	0.0081642	4.20E-06	1.0061	0.0013	8.2303	1.57E-13	2.8	SPA0203-72	03/25/03
1481-02D	C-299	Homblenda	991.65	1.79	89.61874	0.01554	2.92282	0.00093	89.74354	100.0	0.0081642	4.20E-06	1.0061	0.0013	6.3754	1.21E-13	3.3	SPA0203-72	03/25/03
1481-02E	C-299	Homblenda	979.87	3.14	88.32231	0.01503	2.69547	0.00111	88.36250	99.9	0.0081642	4.20E-06	1.0061	0.0013	1.7131	3.26E-14	3.7	SPA0203-72	03/25/03
1481-02F	C-299	Homblenda	989.08	3.78	89.69121	0.01725	3.62289	0.00252	89.44109	99.5	0.0081642	4.20E-06	1.0061	0.0013	1.9810	3.79E-14	5.2	SPA0203-72	03/25/03
1477-01A	C-32	Homblenda	1930.55	45.53	248.54560	0.02476	5.26745	0.05114	234.64320	94.1	0.0081642	4.20E-06	1.0060	0.0010	0.1986	3.83E-15	0.7	SPA0203-72	03/23/03
1477-01B	C-32	Homblenda	1121.74	17.20	109.52010	0.01378	0.49767	0.01347	105.61260	96.4	0.0081642	4.20E-06	1.0060	0.0010	0.1809	3.47E-15	1.2	SPA0203-72	03/23/03
1477-01C	C-32	Homblenda	1144.71	9.80	108.24130	0.00709	0.00000	-0.00100	108.53470	100.3	0.0081642	4.20E-06	1.0060	0.0010	0.4043	7.65E-15	1.7	SPA0203-72	03/23/03
1477-01D	C-32	Homblenda	1059.03	2.49	97.92255	0.02094	1.85795	0.00125	97.81924	99.8	0.0081642	4.20E-06	1.0060	0.0010	2.5934	4.92E-14	2.2	SPA0203-72	03/23/03
1477-01E	C-32	Homblenda	1003.73	1.49	91.01417	0.02165	2.64710	0.00071	91.16965	100.0	0.0081642	4.20E-06	1.0060	0.0010	12.1691	2.31E-13	2.8	SPA0203-72	03/23/03
1477-01F	C-32	Homblenda	988.95	1.44	89.27401	0.02286	2.41222	0.00060	89.42888	100.0	0.0081642	4.20E-06	1.0060	0.0010	15.5521	2.96E-13	3.6	SPA0203-72	03/23/03
1477-01G	C-32	Homblenda	981.64	1.89	88.26522	0.01842	1.34371	-0.00041	88.56950	100.3	0.0081642	4.20E-06	1.0060	0.0010	2.8281	5.37E-14	4.6	SPA0203-72	03/23/03
1477-01H	C-32	Homblenda	980.85	2.23	88.26823	0.01862	1.42895	-0.00004	88.47658	100.1	0.0081642	4.20E-06	1.0060	0.0010	3.8514	7.33E-14	5.2	SPA0203-72	03/23/03
1477-02A	C-32	Homblenda	1361.43	15.83	141.43600	0.02467	4.98030	0.01438	138.02330	97.3	0.0081642	4.20E-06	1.0061	0.0013	0.3909	7.43E-15	1.5	SPA0203-72	03/25/03
1477-02B	C-32	Homblenda	1062.78	6.96	98.88523	0.02554	2.13373	0.00309	98.27864	99.3	0.0081642	4.20E-06	1.0061	0.0013	0.8024	1.52E-14	1.9	SPA0203-72	03/25/03
1477-02C	C-32	Homblenda	995.56	1.72	90.26453	0.02484	2.34927	0.00130	90.20393	99.8	0.0081642	4.20E-06	1.0061	0.0013	8.4418	1.60E-13	2.4	SPA0203-72	03/25/03
1477-02D	C-32	Homblenda	985.10	2.11	89.05396	0.02493	2.51260	0.00143	88.97455	99.8	0.0081642	4.20E-06	1.0061	0.0013	6.8812	1.31E-13	2.7	SPA0203-72	03/25/03
1477-02E	C-32	Homblenda	979.98	2.16	88.49483	0.02388	2.24801	0.00144	88.37518	99.7	0.0081642	4.20E-06	1.0061	0.0013	6.1295	1.16E-13	3.2	SPA0203-72	03/25/03
1477-02F	C-32	Homblenda	981.79	1.87	88.66104	0.02228	2.22911	0.00128	88.58693	99.8	0.0081642	4.20E-06	1.0061	0.0013	2.6591	5.05E-14	3.8	SPA0203-72	03/25/03
1477-02G	C-32	Homblenda	982.																

Run ID#	Sample	Material	Age (Ma)	± (Ma)	40/39	38/39	37/39	36/39	40*/39	% Rad	J	±	Discr.	±	Ar40 (nA)	Ar40 (mois)	Laser (W)	Irrad.	Run Date
1479-01A	C-32	Biotita	908.19	4.57	85.78201	0.01827	0.42725	0.01925	80.14929	93.4	0.0081642	4.20E-06	1.0060	0.0010	0.8737	1.66E-14	0.5	SPA0203-72	03/23/03
1479-01B	C-32	Biotita	931.62	1.83	83.28857	0.01347	0.31891	0.00180	82.79828	99.4	0.0081642	4.20E-06	1.0060	0.0010	5.1650	9.88E-14	0.9	SPA0203-72	03/23/03
1479-01C	C-32	Biotita	951.64	2.28	85.10181	0.01247	0.00000	0.00004	85.08820	100.0	0.0081642	4.20E-06	1.0060	0.0010	8.4470	1.70E-13	1.3	SPA0203-72	03/23/03
1479-01D	C-32	Biotita	947.18	2.14	84.84298	0.01166	0.05008	0.00025	84.57663	99.9	0.0081642	4.20E-06	1.0060	0.0010	7.6859	1.46E-13	1.8	SPA0203-72	03/23/03
1479-01E	C-32	Biotita	948.94	1.39	84.76431	0.01333	0.00000	-0.00005	84.77774	100.0	0.0081642	4.20E-06	1.0060	0.0010	7.6252	1.45E-13	2.3	SPA0203-72	03/23/03
1479-01F	C-32	Biotita	947.77	1.24	84.73512	0.01388	0.00000	0.00031	84.64435	99.9	0.0081642	4.20E-06	1.0060	0.0010	11.7756	2.23E-13	3.0	SPA0203-72	03/23/03
1479-01G	C-32	Biotita	945.72	2.34	84.36713	0.01192	0.00000	-0.00014	84.40855	100.0	0.0081642	4.20E-06	1.0060	0.0010	10.0600	1.80E-13	4.0	SPA0203-72	03/23/03
1479-01H	C-32	Biotita	923.27	2.06	81.42551	0.01191	0.00000	-0.00144	81.84990	100.5	0.0081642	4.20E-06	1.0060	0.0010	1.2722	2.42E-14	5.2	SPA0203-72	03/23/03
1479-02A	C-32	Biotita	940.04	6.80	88.82738	0.01850	0.04308	0.01717	83.75809	94.3	0.0081642	4.20E-06	1.0061	0.0013	0.6957	1.32E-14	0.6	SPA0203-72	03/25/03
1479-02B	C-32	Biotita	954.15	2.88	85.78925	0.01416	0.00000	0.00139	85.37791	99.5	0.0081642	4.20E-06	1.0061	0.0013	4.3960	8.36E-14	1.0	SPA0203-72	03/25/03
1479-02C	C-32	Biotita	955.04	1.86	85.68750	0.01343	0.00964	0.00070	85.48018	99.8	0.0081642	4.20E-06	1.0061	0.0013	5.6610	1.08E-13	1.3	SPA0203-72	03/25/03
1479-02D	C-32	Biotita	950.97	2.26	85.11483	0.01358	0.00000	0.00035	85.01176	99.9	0.0081642	4.20E-06	1.0061	0.0013	7.6308	1.45E-13	1.8	SPA0203-72	03/25/03
1479-02E	C-32	Biotita	957.81	2.05	85.72906	0.01332	0.00000	-0.00024	85.80026	100.1	0.0081642	4.20E-06	1.0061	0.0013	6.6842	1.27E-13	2.3	SPA0203-72	03/25/03
1479-02F	C-32	Biotita	954.63	1.70	85.45393	0.01280	0.00000	0.00007	85.43260	100.0	0.0081642	4.20E-06	1.0061	0.0013	7.3009	1.39E-13	2.8	SPA0203-72	03/25/03
1479-02G	C-32	Biotita	959.14	2.20	85.95381	0.01207	0.00000	0.00000	85.95345	100.0	0.0081642	4.20E-06	1.0061	0.0013	10.2438	1.94E-13	3.6	SPA0203-72	03/25/03
1479-02H	C-32	Biotita	952.39	1.43	85.16043	0.01372	0.00000	-0.00005	85.17435	100.0	0.0081642	4.20E-06	1.0061	0.0013	9.2898	1.76E-13	5.2	SPA0203-72	03/25/03
1443-01A	V-309	homblenda	0.00	1384.75	-2637.272	0.83163	24.07196	0.97685	-2969.778	110.9	0.0086664	5.40E-06	1.0064	0.0013	0.0614	1.16E-15	0.3	SPA0203-71	01/02/03
1443-01B	V-309	homblenda	8183.85	532.05	10916.270	0.51199	0.00000	0.88227	10655.590	97.6	0.0086664	5.40E-06	1.0064	0.0013	0.9069	1.72E-14	0.7	SPA0203-71	01/02/03
1443-01C	V-309	homblenda	7217.63	1008.82	6021.962	-0.24069	2.23715	-0.53536	6189.197	102.6	0.0086664	5.40E-06	1.0064	0.0013	0.2169	4.13E-15	1.1	SPA0203-71	01/02/03
1443-01D	V-309	homblenda	7145.65	722.49	5824.053	-0.50441	0.00000	-0.40133	5942.602	102.0	0.0086664	5.40E-06	1.0064	0.0013	0.3494	6.62E-15	1.5	SPA0203-71	01/02/03
1443-01E	V-309	homblenda	6226.78	221.93	3572.566	0.18094	0.48528	0.16537	3524.848	98.6	0.0086664	5.40E-06	1.0064	0.0013	0.7845	1.49E-14	1.9	SPA0203-71	01/02/03
1443-01F	V-309	homblenda	5304.87	156.93	2063.927	-0.05546	0.00000	-0.01496	2068.341	100.2	0.0086664	5.40E-06	1.0064	0.0013	0.5795	1.10E-14	2.5	SPA0203-71	01/02/03
1443-01G	V-309	homblenda	2714.69	78.18	399.25130	-0.02703	0.00000	-0.01679	404.20870	101.2	0.0086664	5.40E-06	1.0064	0.0013	0.2223	4.23E-15	3.2	SPA0203-71	01/02/03
1443-01H	V-309	homblenda	1106.73	3.34	98.09260	0.01559	0.08224	0.00133	97.71231	99.6	0.0086664	5.40E-06	1.0064	0.0013	1.6965	3.24E-14	4.3	SPA0203-71	01/02/03
1443-01I	V-309	homblenda	985.67	1.59	84.17215	0.01708	0.01251	0.00099	83.88181	99.7	0.0086664	5.40E-06	1.0064	0.0013	39.2667	7.48E-13	5.2	SPA0203-71	01/02/03
1443-02A	V-309	homblenda	3984.75	241.24	985.97680	0.15932	0.00000	0.17207	935.14250	94.8	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	0.1457	2.77E-15	2.0	SPA0203-71	01/23/03
1443-02B	V-309	homblenda	3022.31	102.71	518.66550	0.05559	0.00000	0.06043	500.81060	96.8	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	0.1761	3.35E-15	3.0	SPA0203-71	01/23/03
1443-02C	V-309	homblenda	1102.30	7.86	94.97311	0.01333	0.00000	-0.00750	97.18972	102.3	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	0.4116	7.83E-15	4.3	SPA0203-71	01/24/03
1443-02D	V-309	homblenda	1095.46	6.29	96.65070	0.01804	0.03790	0.00092	96.38440	99.7	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	0.8118	1.55E-14	4.5	SPA0203-71	01/24/03
1443-02E	V-309	homblenda	998.71	3.39	85.08444	0.01516	0.00000	-0.00032	85.32684	100.3	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	0.9317	1.77E-14	4.7	SPA0203-71	01/24/03
1443-02F	V-309	homblenda	978.13	4.50	83.96124	0.01926	0.00000	0.00308	83.05068	98.9	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	0.8866	1.69E-14	4.9	SPA0203-71	01/24/03
1443-02G	V-309	homblenda	981.37	1.67	83.65100	0.01711	0.00000	0.00083	83.40684	99.7	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	15.9881	3.04E-13	5.2	SPA0203-71	01/24/03
1443-03A	V-309	homblenda	2875.04	34.88	459.99680	0.01051	0.00000	0.02534	452.50640	98.4	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	0.8862	1.69E-14	2.0	SPA0203-71	01/24/03
1443-03B	V-309	homblenda	1000.97	1.74	85.92198	0.01711	0.00000	0.00116	85.57797	99.6	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	9.5435	1.82E-13	3.0	SPA0203-71	01/24/03
1443-03C	V-309	homblenda	977.65	1.85	83.33173	0.01711	0.00000	0.00113	82.99747	99.6	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	17.4465	3.33E-13	4.0	SPA0203-71	01/24/03
1443-03D	V-309	homblenda	972.92	3.52	82.35895	0.01568	0.00000	-0.00041	82.47856	100.1	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	1.5141	2.88E-14	4.2	SPA0203-71	01/24/03
1443-03E	V-309	homblenda	995.27	8.64	83.49814	0.01606	0.54237	-0.00465	84.94462	101.7	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	0.3642	6.96E-15	4.4	SPA0203-71	01/24/03
1443-03F	V-309	homblenda	988.30	15.52	83.39066	0.00557	0.07344	-0.00262	84.17230	100.9	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	0.1653	3.15E-15	4.6	SPA0203-71	01/24/03
1443-03G	V-309	homblenda	938.58	33.27	79.98270	0.01669	2.66639	0.00535	78.74743	98.3	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	0.0590	1.12E-15	4.8	SPA0203-71	01/24/03
1443-03H	V-309	homblenda	996.83	53.11	85.32339	0.05466	0.00000	0.00071	85.11786	99.8	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	0.0365	6.87E-16	5.0	SPA0203-71	01/24/03
1443-03I	V-309	homblenda	978.86	3.15	83.54862	0.01714	0.15315	0.00148	83.13097	99.5	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	1.6659	3.16E-14	5.2	SPA0203-71	01/24/03
1444-01A	V-309	biotita	621.69	46.41	48.80455	0.00243	0.00000	0.00450	47.47443	97.3	0.0086664	5.40E-06	1.0064	0.0013	0.0268	5.09E-16	0.3	SPA0203-71	01/02/03
1444-01B	V-309	biotita	927.16	10.34	80.83459	0.02618	0.50558	0.01143	77.52276	95.9	0.0086664	5.40E-06	1.0064	0.0013	0.2899	5.53E-15	0.6	SPA0203-71	01/02/03
1444-01C	V-309	biotita	952.94	4.55	81.72238	0.01709	0.20611	0.00491	80.29910	98.2	0.0086664	5.40E-06	1.0064	0.0013	0.7997	1.53E-14	0.9	SPA0203-71	01/02/03
1444-01D	V-309	biotita	971.52	3.11	82.25385	0.01266	0.09297	-0.00020	82.32507	100.1	0.0086664	5.40E-06	1.0064	0.0013	1.4791	2.83E-14	1.2	SPA0203-71	01/02/03
1444-01E	V-309	biotita	967.14	3.17	81.74212	0.01229	0.00000	-0.00035	81.84474	100.1	0.0086664	5.40E-06	1.0064	0.0013	1.6045	3.05E-14	1.5	SPA0203-71	01/02/03
1444-01F	V-309	biotita	963.74	2.63	81.65023	0.01246	0.04299	0.00061	81.47388	99.8	0.0086664	5.40E-06	1.0064	0.0013	2.3369	4.44E-14	1.9	SPA0203-71	01/02/03
1444-01G	V-309	biotita	966.93	1.73	81.68465	0.01279	0.00000	-0.00047	81.82268	100.2	0.0086664	5.40E-06	1.0064	0.0013	3.4738	6.64E-14	2.4	SPA0203-71	01/02/03
1444-01H	V-309	biotita	961.32	2.53	81.39920	0.01356	0.05355	0.00066	81.21044	99.8	0.0086664	5.40E-06	1.0064	0.0013	2.7724	5.30E-14	3.1	SPA0203-71	01/02/03
1444-01I	V-309	biotita	960.36	3.22	80.84274	0.01148	0.00000	-0.00089	81.10500	100.3	0.0086664	5.40E-06	1.0064	0.0013	1.3128	2.32E-14	4.0	SPA0203-71	01/02/03
1444-01J	V-309	biotita	963.98	1.86	81.47927	0.01261	0.01531	-0.00007	81.50046	100.0	0.0086664	5.40E-06	1.0064	0.0013	6.4635	1.23E-13	4.6	SPA0203-71	01/02/03
1444-01K	V-309	biotita	962.93	2.44	81.30742	0.01221	0.01865	-0.00026	81.38539	100.1	0.0086664	5.40E-06	1.0064	0.0013	4.5784	8.78E-14	5.2	SPA0203-71	01/02/03
1444-02A	V-309	biotita																	

Run ID#	Sample	Material	Age (Ma)	± (Ma)	40/39	38/39	37/39	36/39	40*/39	% Rad	J	±	Discr.	±	Ar40 (nA)	Ar40 (mois)	Laser (W)	Irrad.	Run Date
1444-02B	V-309	biotita	967.49	3.32	82.42479	0.01055	0.00000	0.00183	81.88325	99.3	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	1.2225	2.32E-14	1.4	SPA0203-71	01/24/03
1444-02C	V-309	biotita	969.52	2.57	82.30151	0.01301	0.00000	0.00066	82.10552	99.8	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	2.5226	4.80E-14	1.9	SPA0203-71	01/24/03
1444-02D	V-309	biotita	974.57	2.21	82.56054	0.01203	0.00000	-0.00034	82.65942	100.1	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	3.3358	6.37E-14	2.4	SPA0203-71	01/24/03
1444-02E	V-309	biotita	974.34	1.77	82.57990	0.01236	0.00000	-0.00018	82.63364	100.1	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	6.1104	1.17E-13	3.1	SPA0203-71	01/24/03
1444-02F	V-309	biotita	976.18	1.46	82.86922	0.01276	0.00000	0.00011	82.83596	100.0	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	15.3085	2.92E-13	4.2	SPA0203-71	01/24/03
1444-02G	V-309	biotita	977.48	1.64	83.03925	0.01317	0.00000	0.00020	82.97883	99.9	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	11.7757	2.24E-13	4.6	SPA0203-71	01/24/03
1444-02H	V-309	biotita	976.53	1.56	82.85822	0.01257	0.00000	-0.00006	82.87405	100.0	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	25.7349	4.91E-13	5.2	SPA0203-71	01/24/03
1444-03A	V-309	biotita	905.05	3.36	76.79179	0.01383	0.00000	0.00548	75.17240	97.9	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	1.3012	2.48E-14	0.9	SPA0203-71	01/24/03
1444-03B	V-309	biotita	940.15	1.85	78.94617	0.01288	0.00000	0.00010	78.91650	100.0	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	4.9486	9.42E-14	1.5	SPA0203-71	01/24/03
1444-03C	V-309	biotita	935.86	1.85	78.45634	0.01277	0.00000	0.00000	78.45497	100.0	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	6.0451	1.15E-13	2.0	SPA0203-71	01/24/03
1444-03D	V-309	biotita	934.44	1.81	78.30434	0.01291	0.00000	0.00001	78.30200	100.0	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	4.5924	8.77E-14	2.4	SPA0203-71	01/24/03
1444-03E	V-309	biotita	931.08	1.76	78.04002	0.01308	0.002106	0.00034	77.94217	99.9	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	7.5058	1.43E-13	3.0	SPA0203-71	01/24/03
1444-03F	V-309	biotita	927.79	1.56	77.63931	0.01300	0.00025	0.00017	77.58987	99.9	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	20.2115	3.84E-13	4.2	SPA0203-71	01/24/03
1444-03G	V-309	biotita	923.25	2.41	77.17482	0.01262	0.01753	0.00024	77.10451	99.9	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	2.3295	4.44E-14	4.7	SPA0203-71	01/24/03
1444-03H	V-309	biotita	927.17	4.50	77.82951	0.00973	0.05536	0.00106	77.52297	99.6	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	0.7596	1.44E-14	5.2	SPA0203-71	01/24/03
1446-01A	D-986	biotita	1577.85	79.84	167.97230	0.00576	1.31219	0.02337	161.30420	95.9	0.0086664	5.40E-06	1.0064	0.0013	0.0536	1.01E-15	0.3	SPA0203-71	01/02/03
1446-01B	D-986	biotita	1301.28	8.48	126.53870	0.01714	0.28136	0.01558	121.97770	96.4	0.0086664	5.40E-06	1.0064	0.0013	0.6316	1.20E-14	0.6	SPA0203-71	01/02/03
1446-01C	D-986	biotita	857.29	2.60	70.69656	0.01349	0.04738	0.00172	70.19357	99.3	0.0086664	5.40E-06	1.0064	0.0013	2.4152	4.60E-14	0.9	SPA0203-71	01/02/03
1446-01D	D-986	biotita	804.99	1.67	65.01606	0.01331	0.02460	0.00043	64.89152	99.8	0.0086664	5.40E-06	1.0064	0.0013	3.3532	6.40E-14	1.2	SPA0203-71	01/02/03
1446-01E	D-986	biotita	803.34	1.87	64.74673	0.01274	0.00000	0.00007	64.72634	100.0	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	3.5313	6.74E-14	1.6	SPA0203-71	01/03/03
1446-01F	D-986	biotita	796.83	1.83	64.37408	0.01371	0.02604	0.00101	64.07812	99.5	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	2.6086	4.97E-14	2.0	SPA0203-71	01/03/03
1446-01G	D-986	biotita	806.86	2.04	64.96667	0.01280	0.01079	-0.00037	65.07814	100.2	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	2.6374	5.03E-14	2.6	SPA0203-71	01/03/03
1446-01H	D-986	biotita	829.75	1.58	67.47092	0.01324	0.00664	0.00030	67.38250	99.9	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	9.5252	1.82E-13	3.8	SPA0203-71	01/03/03
1446-01I	D-986	biotita	850.17	1.57	69.45862	0.01321	0.00000	-0.00002	69.46313	100.0	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	11.0870	2.11E-13	5.2	SPA0203-71	01/03/03
1446-02A	D-986	biotita	876.95	2.95	73.20433	0.01292	0.00000	0.00330	72.22749	98.7	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	2.0627	3.93E-14	0.8	SPA0203-71	01/24/03
1446-02B	D-986	biotita	843.02	1.95	68.80707	0.01307	0.00000	0.00025	68.73167	99.9	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	4.9830	9.51E-14	1.2	SPA0203-71	01/24/03
1446-02C	D-986	biotita	865.56	1.76	71.03062	0.01265	0.00000	-0.00005	71.04636	100.0	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	5.9603	1.14E-13	1.6	SPA0203-71	01/24/03
1446-02D	D-986	biotita	865.36	1.47	70.89066	0.01248	0.00000	-0.00046	71.02563	100.2	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	4.8838	9.31E-14	2.1	SPA0203-71	01/24/03
1446-02E	D-986	biotita	869.40	1.58	71.48921	0.01317	0.00000	0.00015	71.44341	99.9	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	6.2901	1.20E-13	2.8	SPA0203-71	01/24/03
1446-02F	D-986	biotita	883.40	1.73	72.83531	0.01262	0.00000	-0.00022	72.89986	100.1	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	7.5776	1.44E-13	3.6	SPA0203-71	01/24/03
1446-02G	D-986	biotita	857.28	2.12	70.01826	0.01172	0.00000	-0.00059	70.19328	100.3	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	3.1532	6.00E-14	4.4	SPA0203-71	01/24/03
1446-02H	D-986	biotita	810.67	1.96	65.65457	0.01311	0.00000	0.00066	65.45940	99.7	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	1.8322	3.50E-14	5.2	SPA0203-71	01/24/03
1446-03A	D-986	biotita	792.49	1.83	64.43546	0.01381	0.02367	0.00268	63.64621	98.8	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	3.0229	5.75E-14	0.8	SPA0203-71	01/24/03
1446-03B	D-986	biotita	779.87	1.71	62.53753	0.01326	0.02960	0.00048	62.39873	99.8	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	5.0296	9.57E-14	1.2	SPA0203-71	01/24/03
1446-03C	D-986	biotita	781.85	2.00	62.61974	0.01289	0.00281	0.00009	62.59383	100.0	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	3.5605	6.78E-14	1.8	SPA0203-71	01/24/03
1446-03D	D-986	biotita	728.25	1.82	57.43558	0.01316	0.00000	0.00017	57.38346	99.9	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	2.7263	5.18E-14	2.6	SPA0203-71	01/24/03
1446-03E	D-986	biotita	769.68	1.47	61.46616	0.01314	0.00000	0.00023	61.39697	99.9	0.0086664	5.40E-06	1.0050	0.0014	6.4919	1.24E-13	3.5	SPA0203-71	01/24/03
1446-03F	D-986	biotita	816.22	1.70	66.20493	0.01350	0.02737	0.00065	66.01698	99.7	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	4.4228	8.41E-14	4.3	SPA0203-71	01/25/03
1446-03G	D-986	biotita	822.71	2.28	66.87598	0.01294	0.04618	0.00071	66.67020	99.7	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	2.1517	4.09E-14	5.2	SPA0203-71	01/25/03
1449-01A	V-332	biotita	650.09	17.56	58.69371	0.01636	0.82355	0.02953	50.05770	85.2	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	0.0855	1.63E-15	0.3	SPA0203-71	01/03/03
1449-01B	V-332	biotita	903.47	3.19	75.54643	0.01494	0.00000	0.00183	75.00528	99.3	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	1.3706	2.62E-14	0.6	SPA0203-71	01/03/03
1449-01C	V-332	biotita	905.83	2.28	75.23476	0.01496	0.00000	-0.00007	75.25499	100.0	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	2.5409	4.83E-14	0.9	SPA0203-71	01/03/03
1449-01D	V-332	biotita	901.51	2.05	74.72062	0.01531	0.00000	-0.00027	74.79950	100.1	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	2.5287	4.81E-14	1.2	SPA0203-71	01/03/03
1449-01E	V-332	biotita	896.67	2.05	74.40036	0.01536	0.00076	0.00038	74.28920	99.8	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	3.6216	6.90E-14	1.7	SPA0203-71	01/03/03
1449-01F	V-332	biotita	906.88	2.07	75.29530	0.01491	0.00000	-0.00024	75.36571	100.1	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	3.5436	6.75E-14	2.2	SPA0203-71	01/03/03
1449-01G	V-332	biotita	910.32	1.59	75.92912	0.01556	0.00259	0.00067	75.72983	99.7	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	4.1900	7.97E-14	2.9	SPA0203-71	01/03/03
1449-01H	V-332	biotita	908.43	2.10	75.40158	0.01476	0.00000	-0.00043	75.52974	100.2	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	3.8141	7.29E-14	3.9	SPA0203-71	01/03/03
1449-01I	V-332	biotita	905.23	1.70	75.16968	0.01497	0.00000	-0.00007	75.19151	100.0	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	6.3770	1.21E-13	5.2	SPA0203-71	01/03/03
1449-02A	V-332	biotita	895.64	2.71	75.75609	0.01544	0.01829	0.00534	74.18095	97.9	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	1.7746	3.39E-14	0.8	SPA0203-71	01/25/03
1449-02B	V-332	biotita	918.93	1.51	76.73297	0.01612	0.00787	0.00030	76.64389	99.9	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	8.3742	1.59E-13	1.1	SPA0203-71	01/25/03
1449-02C	V-332	biotita	917.75	1.68	76.55525	0.01561	0.01218	0.00013	76.51846	100.0	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	5.8234	1.11E-13	1.6	SPA0203-71	01/25/03
1449-02D	V-332	biotita	917.48	1.78	76.50209	0.01492	0.00000	0.00004	76.48958	100.0	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	4.0860	7.78E-14	2.2	SPA0203-71	01/25/03
1449-02E	V-332	biotita	922.03	2.33	77.05977	0.01580	0.00000												

Run ID#	Sample	Material	Age (Ma)	± (Ma)	40/39	38/39	37/39	36/39	40*/39	% Rad	J	±	Discr.	±	Ar40 (nA)	Ar40 (mols)	Laser (W)	Irrad.	Run Date
1449-02G	V-332	biotita	924.84	1.75	77.18346	0.01532	0.00000	-0.00031	77.27430	100.1	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	4.4409	8.45E-14	5.2	SPA0203-71	01/25/03
1449-03A	V-332	biotita	903.75	2.32	75.88104	0.01474	0.00000	0.00286	75.03545	98.9	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	2.0453	3.89E-14	0.6	SPA0203-71	01/25/03
1449-03B	V-332	biotita	916.67	1.71	76.45805	0.01457	0.00000	0.00018	76.40411	99.9	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	6.5417	1.25E-13	1.1	SPA0203-71	01/25/03
1449-03C	V-332	biotita	917.00	1.59	76.48259	0.01423	0.00000	0.00015	76.43906	99.9	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	5.3549	1.02E-13	1.6	SPA0203-71	01/25/03
1449-03D	V-332	biotita	918.00	1.64	76.52750	0.01388	0.00000	-0.00006	76.54575	100.0	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	5.0234	9.55E-14	2.2	SPA0203-71	01/25/03
1449-03E	V-332	biotita	921.63	1.89	76.94336	0.01443	0.00000	0.00004	76.93163	100.0	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	6.1907	1.18E-13	2.9	SPA0203-71	01/25/03
1449-03F	V-332	biotita	922.53	1.80	77.01981	0.01410	0.00000	-0.00003	77.02746	100.0	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	7.0696	1.35E-13	4.0	SPA0203-71	01/25/03
1449-03G	V-332	biotita	922.09	1.83	76.87016	0.01314	0.00000	-0.00037	76.98054	100.1	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	4.8024	9.13E-14	5.2	SPA0203-71	01/25/03
1450-01A	GR-29	biotita	735.82	25.55	74.29149	0.05746	0.46495	0.05495	58.11019	78.2	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	0.0900	1.71E-15	0.3	SPA0203-71	01/03/03
1450-01B	GR-29	biotita	933.80	3.85	79.95625	0.01844	0.15042	0.00589	78.23386	97.8	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	0.9408	1.78E-14	0.6	SPA0203-71	01/03/03
1450-01C	GR-29	biotita	938.54	2.69	79.53547	0.01625	0.03104	0.00269	78.74311	99.0	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	1.8140	3.45E-14	0.9	SPA0203-71	01/03/03
1450-01D	GR-29	biotita	933.13	2.69	78.82463	0.01554	0.04725	0.00226	78.16153	99.2	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	1.5404	2.93E-14	1.2	SPA0203-71	01/03/03
1450-01E	GR-29	biotita	948.30	2.59	79.99449	0.01464	0.11113	0.00072	79.79635	99.7	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	1.1163	2.12E-14	1.6	SPA0203-71	01/03/03
1450-01F	GR-29	biotita	937.64	4.92	78.95738	0.01519	0.00000	0.00105	78.64806	99.6	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	0.6767	1.28E-14	2.0	SPA0203-71	01/03/03
1450-01G	GR-29	biotita	932.63	3.48	79.03430	0.01642	0.02351	0.00315	78.10777	98.8	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	1.3870	2.64E-14	2.7	SPA0203-71	01/03/03
1450-01H	GR-29	biotita	944.04	2.18	79.72336	0.01525	0.04029	0.00133	79.33540	99.5	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	2.4287	4.61E-14	3.8	SPA0203-71	01/03/03
1450-01I	GR-29	biotita	940.64	6.66	79.45074	0.01516	0.19826	0.00172	78.96873	99.4	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	0.4589	8.73E-15	5.2	SPA0203-71	01/03/03
1450-02A	GR-29	biotita	885.00	4.75	74.03992	0.01547	0.06181	0.00332	73.06625	98.7	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	0.6148	1.17E-14	0.5	SPA0203-71	01/25/03
1450-02B	GR-29	biotita	910.56	2.80	76.38008	0.01443	0.00000	0.00211	75.75501	99.2	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	1.6951	3.23E-14	0.8	SPA0203-71	01/25/03
1450-02C	GR-29	biotita	909.29	2.62	76.04554	0.01515	0.00000	0.00144	75.62115	99.4	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	1.4423	2.74E-14	1.2	SPA0203-71	01/25/03
1450-02D	GR-29	biotita	919.53	3.36	76.92730	0.01361	0.00000	0.00074	76.70825	99.7	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	1.2937	2.47E-14	1.8	SPA0203-71	01/25/03
1450-02E	GR-29	biotita	911.28	2.13	76.05442	0.01445	0.00000	0.00075	75.83229	99.7	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	2.4818	4.72E-14	2.5	SPA0203-71	01/25/03
1450-02F	GR-29	biotita	914.09	2.05	76.36446	0.01425	0.02056	0.00080	76.12935	99.7	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	3.4665	6.60E-14	3.2	SPA0203-71	01/25/03
1450-02G	GR-29	biotita	919.31	3.27	76.44897	0.01138	0.00000	-0.00080	76.68446	100.3	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	1.1049	2.10E-14	4.0	SPA0203-71	01/25/03
1450-02H	GR-29	biotita	919.18	13.40	78.43873	0.02020	0.53867	0.00622	76.67089	97.7	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	0.1982	3.78E-15	5.2	SPA0203-71	01/25/03
1450-03A	GR-29	biotita	908.31	4.78	77.40622	0.01753	0.29229	0.00652	75.51767	97.5	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	0.7687	1.46E-14	0.5	SPA0203-71	01/25/03
1450-03B	GR-29	biotita	915.48	2.56	76.44859	0.01511	0.04876	0.00060	76.27787	99.8	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	2.1167	4.03E-14	0.9	SPA0203-71	01/25/03
1450-03C	GR-29	biotita	909.55	3.68	76.42176	0.01708	0.18382	0.00270	75.64879	99.0	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	1.1614	2.20E-14	1.3	SPA0203-71	01/25/03
1450-03D	GR-29	biotita	924.48	3.93	76.79536	0.01362	0.00275	-0.00149	77.23557	100.6	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	1.0019	1.90E-14	2.0	SPA0203-71	01/25/03
1450-03E	GR-29	biotita	914.56	2.21	76.61324	0.01670	0.08901	0.00150	76.18015	99.4	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	2.3542	4.48E-14	3.0	SPA0203-71	01/25/03
1450-03F	GR-29	biotita	912.29	2.56	76.17388	0.01659	0.09539	0.00084	75.93872	99.7	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	1.7943	3.42E-14	4.0	SPA0203-71	01/25/03
1450-03G	GR-29	biotita	914.71	5.62	76.24485	0.01484	0.50793	0.00039	76.19520	99.9	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	0.5418	1.03E-14	5.2	SPA0203-71	01/25/03
1452-01A	V-198	biotita	175.95	10.78	5.92437	-0.00297	0.00000	-0.01996	11.82045	199.5	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	0.0151	2.88E-16	0.3	SPA0203-71	01/03/03
1452-01B	V-198	biotita	272.19	1.98	19.48803	0.01607	0.03263	0.00237	18.79118	96.4	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	0.3023	5.74E-15	0.6	SPA0203-71	01/03/03
1452-01C	V-198	biotita	307.74	1.06	21.24296	0.01456	0.00000	-0.00074	21.46175	101.0	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	0.9413	1.80E-14	0.9	SPA0203-71	01/03/03
1452-01D	V-198	biotita	321.32	0.90	22.15621	0.01394	0.00000	-0.00115	22.49572	101.5	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	1.0427	1.98E-14	1.2	SPA0203-71	01/03/03
1452-01E	V-198	biotita	299.28	0.96	20.50487	0.01399	0.00000	-0.00107	20.82078	101.5	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	0.9020	1.72E-14	1.6	SPA0203-71	01/03/03
1452-01F	V-198	biotita	279.22	1.07	19.24970	0.01421	0.00000	-0.00022	19.31507	100.3	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	0.6955	1.33E-14	2.0	SPA0203-71	01/03/03
1452-01G	V-198	biotita	295.34	0.92	20.31495	0.01402	0.00000	-0.00071	20.52410	101.0	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	1.1336	2.16E-14	2.7	SPA0203-71	01/03/03
1452-01H	V-198	biotita	304.97	0.82	21.24422	0.01442	0.00000	-0.00003	21.25174	100.0	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	2.1561	4.13E-14	3.8	SPA0203-71	01/03/03
1452-01I	V-198	biotita	273.43	1.86	18.69706	0.01404	0.01148	-0.00063	18.88357	101.0	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	0.3617	6.90E-15	5.2	SPA0203-71	01/03/03
1452-02A	V-198	biotita	257.17	3.05	20.04562	0.01387	0.00000	0.00801	17.67886	88.2	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	0.2130	4.03E-15	0.5	SPA0203-71	01/25/03
1452-02B	V-198	biotita	414.72	0.90	29.93657	0.01439	0.00000	0.00039	29.82189	99.6	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	2.2537	4.30E-14	0.9	SPA0203-71	01/25/03
1452-02C	V-198	biotita	437.61	0.90	31.69820	0.01485	0.00000	0.00008	31.67574	99.9	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	3.6719	6.99E-14	1.4	SPA0203-71	01/25/03
1452-02D	V-198	biotita	415.62	0.82	29.92654	0.01426	0.00000	0.00011	29.89461	99.9	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	3.2618	6.20E-14	2.0	SPA0203-71	01/25/03
1452-02E	V-198	biotita	426.95	0.79	30.87426	0.01465	0.00000	0.00022	30.80938	99.8	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	4.9144	9.36E-14	2.8	SPA0203-71	01/25/03
1452-02F	V-198	biotita	437.71	0.91	31.64081	0.01418	0.00000	-0.00015	31.68430	100.1	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	2.4381	4.64E-14	3.8	SPA0203-71	01/25/03
1452-02G	V-198	biotita	294.60	1.18	20.53998	0.01440	0.00533	0.00024	20.46797	99.7	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	0.6285	1.20E-14	5.2	SPA0203-71	01/25/03
1452-03A	V-198	biotita	408.01	2.31	31.02250	0.01525	0.00000	0.00589	29.28265	94.4	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	0.5791	1.11E-14	0.6	SPA0203-71	01/25/03
1452-03B	V-198	biotita	469.39	0.94	34.42306	0.01459	0.00000	0.00045	34.28970	99.6	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	2.5868	4.92E-14	1.0	SPA0203-71	01/25/03
1452-03C	V-198	biotita	501.98	0.94	36.96979	0.01439	0.00000	-0.00016	37.01813	100.1	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	3.8444	7.34E-14	1.5	SPA0203-71	01/25/03
1452-03D	V-198	biotita	487.18	0.97	35.85883	0.01451	0.00000	0.00029	35.77306	99.8	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	3.2233	6.15E-14	2.1	SPA0203-71	01/25/03
1452-03E	V-198	biotita	479.89																

Run ID#	Sample	Material	Age (Ma)	± (Ma)	40/39	38/39	37/39	36/39	40*/39	% Rad	J	±	Discr.	±	Ar40 (nA)	Ar40 (moles)	Laser (W)	Irrad.	Run Date
1452-03F	V-198	biotita	475.53	0.92	34.83202	0.01475	0.00000	0.00011	34.79967	99.9	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	4.2894	8.20E-14	3.8	SPA0203-71	01/26/03
1452-03G	V-198	biotita	444.21	1.59	32.36095	0.01566	0.02431	0.00050	32.21500	99.5	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	0.7556	1.44E-14	5.2	SPA0203-71	01/26/03
1453-01A	C-271	biotita	586.93	25.51	47.64087	0.03897	0.42518	0.01124	44.36589	93.1	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	0.0443	8.37E-16	0.3	SPA0203-71	01/03/03
1453-01B	C-271	biotita	996.81	3.38	84.94026	0.01211	0.00000	-0.00059	85.11546	100.2	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	1.0778	2.05E-14	0.6	SPA0203-71	01/03/03
1453-01C	C-271	biotita	1030.18	2.99	89.00968	0.01313	0.00000	0.00051	88.85841	99.8	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	2.9139	5.54E-14	0.9	SPA0203-71	01/03/03
1453-01D	C-271	biotita	1040.15	2.31	89.76579	0.01206	0.00000	-0.00076	89.99057	100.3	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	3.3975	6.46E-14	1.2	SPA0203-71	01/03/03
1453-01E	C-271	biotita	1034.93	1.90	89.16377	0.01239	0.00382	-0.00079	89.39793	100.3	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	2.6488	5.05E-14	1.6	SPA0203-71	01/03/03
1453-01F	C-271	biotita	1023.16	2.49	87.65681	0.01170	0.00000	-0.00141	88.06548	100.5	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	1.5249	2.91E-14	2.0	SPA0203-71	01/03/03
1453-01G	C-271	biotita	1028.66	2.91	88.47651	0.01242	0.00000	-0.00071	88.68696	100.2	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	2.0509	3.91E-14	2.7	SPA0203-71	01/03/03
1453-01H	C-271	biotita	1033.32	1.95	89.22221	0.01273	0.02335	0.00004	89.21436	100.0	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	4.7142	8.99E-14	3.8	SPA0203-71	01/03/03
1453-01I	C-271	biotita	1022.34	2.74	87.99911	0.01357	0.01568	0.00009	87.97338	100.0	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	2.2208	4.23E-14	5.2	SPA0203-71	01/03/03
1453-02A	C-271	biotita	990.75	3.35	83.99958	0.01106	0.00000	-0.00150	84.44351	100.5	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	1.2895	2.45E-14	0.6	SPA0203-71	01/26/03
1453-02B	C-271	biotita	1018.28	2.92	87.15884	0.01066	0.00000	-0.00121	87.51637	100.4	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	2.0868	3.96E-14	0.9	SPA0203-71	01/26/03
1453-02C	C-271	biotita	1021.41	3.72	87.16125	0.01081	0.00000	-0.00240	87.86883	100.8	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	1.3204	2.52E-14	1.2	SPA0203-71	01/26/03
1453-02D	C-271	biotita	1017.76	3.26	87.03284	0.01112	0.03273	-0.00142	87.45735	100.5	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	1.0422	1.98E-14	1.6	SPA0203-71	01/26/03
1453-02E	C-271	biotita	1017.68	3.61	87.02152	0.01022	0.00000	-0.00145	87.44909	100.5	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	1.1984	2.27E-14	2.2	SPA0203-71	01/26/03
1453-02F	C-271	biotita	1019.16	1.92	87.41167	0.01177	0.00000	-0.00069	87.61457	100.2	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	3.4288	6.52E-14	2.9	SPA0203-71	01/26/03
1453-02G	C-271	biotita	1011.30	2.76	86.83074	0.01293	0.00000	0.00033	86.73300	99.9	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	2.4602	4.69E-14	3.8	SPA0203-71	01/26/03
1453-02H	C-271	biotita	1026.56	5.16	87.29560	0.00780	0.00000	-0.00391	88.44990	101.3	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	0.6983	1.33E-14	5.2	SPA0203-71	01/26/03
1453-03A	C-271	biotita	1030.76	2.78	90.18203	0.01270	0.06545	0.00428	88.92444	98.6	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	1.9924	3.80E-14	0.6	SPA0203-71	01/26/03
1453-03B	C-271	biotita	1051.27	2.40	91.45090	0.01344	0.04557	0.00066	91.26074	99.8	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	2.9448	5.60E-14	0.9	SPA0203-71	01/26/03
1453-03C	C-271	biotita	1044.05	2.59	90.78866	0.01341	0.04757	0.00122	90.43502	99.6	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	2.8419	5.40E-14	1.2	SPA0203-71	01/26/03
1453-03D	C-271	biotita	1041.35	2.02	90.16165	0.01217	0.01320	0.00012	90.12746	100.0	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	4.7695	9.11E-14	1.9	SPA0203-71	01/26/03
1453-03E	C-271	biotita	1046.06	2.00	90.82537	0.01292	0.04181	0.00056	90.66446	99.8	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	6.0092	1.16E-13	2.8	SPA0203-71	01/26/03
1453-03F	C-271	biotita	1046.11	1.99	90.79049	0.01229	0.02384	0.00042	90.67003	99.9	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	7.2512	1.38E-13	3.8	SPA0203-71	01/26/03
1453-03G	C-271	biotita	1036.71	1.72	89.60714	0.01197	0.00000	0.00002	89.59957	100.0	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	5.0062	9.53E-14	5.2	SPA0203-71	01/26/03
1455-01A	C-302	biotita	296.19	17.91	21.29934	-0.01673	0.00000	0.00240	20.58803	96.7	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	0.0307	5.85E-16	0.3	SPA0203-71	01/03/03
1455-01B	C-302	biotita	893.26	8.04	102.83680	0.03141	0.00000	0.09782	73.93088	71.9	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	0.7590	1.44E-14	0.6	SPA0203-71	01/03/03
1455-01C	C-302	biotita	988.73	2.05	86.15249	0.01500	0.00000	0.00654	84.21924	97.8	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	3.6335	6.95E-14	0.9	SPA0203-71	01/03/03
1455-01D	C-302	biotita	1010.04	2.12	86.67462	0.01371	0.00000	0.00028	86.59153	99.9	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	6.3814	1.22E-13	1.2	SPA0203-71	01/04/03
1455-01E	C-302	biotita	1009.51	2.08	86.64545	0.01429	0.00000	0.00038	86.53225	99.9	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	10.8606	2.08E-13	1.6	SPA0203-71	01/04/03
1455-01F	C-302	biotita	1014.31	1.77	87.20811	0.01464	0.00285	0.00047	87.07007	99.8	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	9.9645	1.90E-13	2.0	SPA0203-71	01/04/03
1455-01G	C-302	biotita	1012.18	2.06	86.87328	0.01379	0.00000	0.00014	86.83139	100.0	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	10.8627	2.04E-13	2.7	SPA0203-71	01/04/03
1455-01H	C-302	biotita	1020.26	1.96	87.81542	0.01469	0.00000	0.00026	87.73943	99.9	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	12.9358	2.47E-13	3.8	SPA0203-71	01/04/03
1455-01I	C-302	biotita	1002.06	1.94	85.71284	0.01382	0.00000	0.00004	85.70017	100.0	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	18.6845	3.61E-13	5.2	SPA0203-71	01/04/03
1455-02A	C-302	biotita	714.15	5.11	61.45682	0.01824	0.00000	0.01834	56.03796	91.2	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	0.5005	9.49E-15	0.6	SPA0203-71	01/26/03
1455-02B	C-302	biotita	935.11	2.06	78.62299	0.01477	0.00000	0.00084	78.37478	99.7	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	4.2642	8.12E-14	1.0	SPA0203-71	01/26/03
1455-02C	C-302	biotita	957.31	1.80	80.72218	0.01429	0.00000	-0.00017	80.77309	100.1	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	6.4365	1.23E-13	1.4	SPA0203-71	01/26/03
1455-02D	C-302	biotita	955.97	1.92	80.56300	0.01353	0.00000	-0.00022	80.62780	100.1	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	5.4201	1.03E-13	1.8	SPA0203-71	01/26/03
1455-02E	C-302	biotita	954.24	2.05	80.53805	0.01429	0.00647	0.00033	80.43970	99.9	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	4.7823	9.11E-14	2.4	SPA0203-71	01/26/03
1455-02F	C-302	biotita	956.53	2.11	80.53398	0.01377	0.00000	-0.00053	80.68889	100.2	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	4.0072	7.64E-14	3.0	SPA0203-71	01/26/03
1455-02G	C-302	biotita	947.76	1.85	79.77528	0.01456	0.01635	0.00013	79.73738	100.0	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	6.4180	1.23E-13	4.0	SPA0203-71	01/26/03
1455-02H	C-302	biotita	949.60	2.13	79.92805	0.01418	0.00000	-0.00003	79.93677	100.0	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	4.2574	8.12E-14	5.2	SPA0203-71	01/26/03
1455-03A	C-302	biotita	952.72	3.07	84.28396	0.01715	0.03682	0.01358	80.27527	95.2	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	1.4887	2.83E-14	0.6	SPA0203-71	01/26/03
1455-03B	C-302	biotita	1008.47	1.56	86.57602	0.01449	0.00000	0.00054	86.41530	99.8	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	7.8124	1.49E-13	1.0	SPA0203-71	01/26/03
1455-03C	C-302	biotita	1008.33	1.74	86.46002	0.01374	0.00000	0.00020	86.40033	99.9	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	9.7517	1.86E-13	1.4	SPA0203-71	01/26/03
1455-03D	C-302	biotita	1007.20	1.69	86.43005	0.01424	0.00000	0.00053	86.27336	99.8	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	7.0842	1.35E-13	1.8	SPA0203-71	01/26/03
1455-03E	C-302	biotita	1007.60	1.67	86.37680	0.01418	0.00000	0.00020	86.31791	99.9	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	6.8729	1.31E-13	2.4	SPA0203-71	01/26/03
1455-03F	C-302	biotita	1004.72	1.87	86.15455	0.01476	0.00679	0.00054	85.99674	99.8	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	7.5690	1.44E-13	3.0	SPA0203-71	01/26/03
1455-03G	C-302	biotita	1012.37	1.86	86.90963	0.01449	0.00119	0.00019	86.85255	99.9	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	10.1926	1.94E-13	4.1	SPA0203-71	01/26/03
1455-03H	C-302	biotita	1003.11	3.23	85.87354	0.01305	0.00000	0.00019	85.81689	99.9	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	2.3033	4.39E-14	5.2	SPA0203-71	01/26/03
1456-01A	GR-15P	biotita	924.64	2.83	77.70540	0.01630	0.00000	0.00153	77.25264	99.4	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	2.3006	4.37E-14	0.5	SPA0203-71	01/26/03

Run ID#	Sample	Material	Age (Ma)	± (Ma)	40/39	38/39	37/39	36/39	40*/39	% Rad	J	±	Discr.	±	Ar40 (nA)	Ar40 (mols)	Laser (W)	Irrad.	Run Date
1456-01C	GR-15P	biotita	959.03	2.49	80.96652	0.01649	0.00000	0.00002	80.96062	100.0	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	2.5448	4.84E-14	1.2	SPA0203-71	01/26/03
1456-01D	GR-15P	biotita	964.24	2.40	81.33917	0.01545	0.00000	-0.00064	81.52880	100.2	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	3.0755	5.88E-14	1.7	SPA0203-71	01/26/03
1456-01E	GR-15P	biotita	963.83	2.36	81.19796	0.01545	0.00000	-0.00097	81.48416	100.4	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	3.3826	6.42E-14	2.2	SPA0203-71	01/26/03
1456-01F	GR-15P	biotita	963.64	3.44	80.76442	0.01573	0.00000	-0.00236	81.46304	100.9	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	1.4015	2.68E-14	2.7	SPA0203-71	01/26/03
1456-01G	GR-15P	biotita	952.87	6.38	80.24255	0.01512	0.00000	-0.00016	80.29070	100.1	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	0.4154	7.94E-15	3.7	SPA0203-71	01/26/03
1456-01H	GR-15P	biotita	972.83	5.60	80.56644	0.01155	0.00000	-0.00644	82.46853	102.4	0.0086664	5.40E-06	1.0067	0.0013	0.4895	9.32E-15	5.2	SPA0203-71	01/26/03
1456-02A	GR-15P	biotita	487.33	9.40	36.28375	0.01768	0.00000	0.00169	35.78569	98.6	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	0.1324	2.52E-15	0.3	SPA0203-71	01/04/03
1456-02B	GR-15P	biotita	953.62	1.94	80.39355	0.01485	0.00000	0.00007	80.37267	100.0	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	3.6133	6.87E-14	0.6	SPA0203-71	01/04/03
1456-02C	GR-15P	biotita	967.20	2.00	81.86116	0.01600	0.00000	0.00003	81.85223	100.0	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	6.2520	1.19E-13	0.9	SPA0203-71	01/04/03
1456-02D	GR-15P	biotita	972.53	2.04	82.35827	0.01572	0.00000	-0.00026	82.43523	100.1	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	5.0046	9.57E-14	1.2	SPA0203-71	01/04/03
1456-02E	GR-15P	biotita	976.78	2.29	82.69342	0.01516	0.00000	-0.00070	82.90141	100.3	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	4.0080	7.63E-14	1.6	SPA0203-71	01/04/03
1456-02F	GR-15P	biotita	975.97	1.77	82.85777	0.01566	0.00000	0.00015	82.81283	99.9	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	4.5077	8.60E-14	2.0	SPA0203-71	01/04/03
1456-02G	GR-15P	biotita	972.72	2.10	82.22413	0.01498	0.00000	-0.00079	82.45629	100.3	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	6.1528	1.17E-13	2.7	SPA0203-71	01/04/03
1456-02H	GR-15P	biotita	968.77	1.88	81.96036	0.01575	0.00000	-0.00021	82.02341	100.1	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	4.9208	9.37E-14	3.8	SPA0203-71	01/04/03
1456-02I	GR-15P	biotita	966.06	4.62	80.70438	0.01328	0.00000	-0.00346	81.72705	101.3	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	0.7754	1.47E-14	5.2	SPA0203-71	01/04/03
1456-03A	GR-15P	biotita	951.02	2.13	80.19435	0.01661	0.00000	0.00035	80.09095	99.9	0.0086664	5.40E-06	1.0053	0.0013	5.8987	1.13E-13	0.6	SPA0203-71	01/27/03
1456-03B	GR-15P	biotita	965.20	2.14	81.72264	0.01623	0.00000	0.00030	81.63356	99.9	0.0086664	5.40E-06	1.0053	0.0013	5.0234	9.56E-14	0.9	SPA0203-71	01/27/03
1456-03C	GR-15P	biotita	968.27	2.50	81.73304	0.01571	0.00075	-0.00060	81.96896	100.3	0.0086664	5.40E-06	1.0053	0.0013	2.3362	4.45E-14	1.2	SPA0203-71	01/27/03
1456-03D	GR-15P	biotita	963.59	2.24	81.52940	0.01647	0.02376	0.00025	81.45716	99.9	0.0086664	5.40E-06	1.0053	0.0013	5.3894	1.03E-13	1.7	SPA0203-71	01/27/03
1456-03E	GR-15P	biotita	963.09	1.83	81.49855	0.01655	0.02129	0.00033	81.40256	99.9	0.0086664	5.40E-06	1.0053	0.0013	4.8803	9.30E-14	2.3	SPA0203-71	01/27/03
1456-03F	GR-15P	biotita	958.52	5.15	80.60035	0.01568	0.15336	-0.00096	80.90505	100.4	0.0086664	5.40E-06	1.0053	0.0013	0.6012	1.15E-14	2.7	SPA0203-71	01/27/03
1456-03G	GR-15P	biotita	962.14	6.09	81.20864	0.02136	0.42699	-0.00011	81.29892	100.1	0.0086664	5.40E-06	1.0053	0.0013	0.5249	1.00E-14	3.7	SPA0203-71	01/27/03
1456-03H	GR-15P	biotita	939.71	12.21	80.69901	0.02879	0.07556	0.00623	78.86880	97.7	0.0086664	5.40E-06	1.0053	0.0013	0.2313	4.41E-15	5.2	SPA0203-71	01/27/03
1458-01A	A-746	biotita	-458.64	296.84	10.21137	-0.02132	0.31810	0.12226	-25.90281	%-253.6	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	0.0013	2.26E-17	0.3	SPA0203-71	01/04/03
1458-01B	A-746	biotita	-3.68	3.27	2.26423	0.01776	0.05493	0.00847	-0.23545	-10.4	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	0.0196	3.72E-16	0.6	SPA0203-71	01/04/03
1458-01C	A-746	biotita	23.16	0.56	1.78766	0.01277	0.00000	0.00100	1.49070	83.4	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	0.0962	1.82E-15	0.9	SPA0203-71	01/04/03
1458-01D	A-746	biotita	22.47	0.39	1.68625	0.01287	0.01420	0.00082	1.44585	85.8	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	0.1361	2.60E-15	1.2	SPA0203-71	01/04/03
1458-01E	A-746	biotita	22.49	0.29	1.61890	0.01308	0.00263	0.00058	1.44749	89.4	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	0.1777	3.38E-15	1.6	SPA0203-71	01/04/03
1458-01F	A-746	biotita	21.15	0.37	1.57995	0.01343	0.01426	0.00074	1.36081	86.2	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	0.1242	2.38E-15	2.0	SPA0203-71	01/04/03
1458-01G	A-746	biotita	20.27	0.27	1.54076	0.01324	0.00644	0.00080	1.30395	84.7	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	0.1494	2.86E-15	2.7	SPA0203-71	01/04/03
1458-01H	A-746	biotita	21.53	0.17	1.48929	0.01315	0.00111	0.00035	1.38554	93.1	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	0.2770	5.26E-15	3.8	SPA0203-71	01/04/03
1458-01I	A-746	biotita	20.05	0.46	1.46219	0.01342	0.00000	0.00058	1.28924	88.2	0.0086664	5.40E-06	1.0060	0.0013	0.0980	1.66E-15	5.2	SPA0203-71	01/04/03
1458-02A	A-746	biotita	21.70	0.31	1.90529	0.01348	0.02730	0.00173	1.39658	73.3	0.0086664	5.40E-06	1.0053	0.0013	0.2606	4.97E-15	0.8	SPA0203-71	01/27/03
1458-02B	A-746	biotita	22.54	0.29	1.49190	0.01258	0.01377	0.00014	1.45038	97.3	0.0086664	5.40E-06	1.0053	0.0013	0.1693	3.24E-15	1.3	SPA0203-71	01/27/03
1458-02C	A-746	biotita	22.85	0.49	1.45823	0.01280	0.00000	0.00000	1.45793	100.0	0.0086664	5.40E-06	1.0053	0.0013	0.0994	1.89E-15	1.7	SPA0203-71	01/27/03
1458-02D	A-746	biotita	21.98	0.30	1.49499	0.01290	0.01363	0.00028	1.41420	94.6	0.0086664	5.40E-06	1.0053	0.0013	0.1656	3.16E-15	2.5	SPA0203-71	01/27/03
1458-02E	A-746	biotita	20.37	0.80	1.49699	0.01372	0.02707	0.00064	1.31056	87.6	0.0086664	5.40E-06	1.0053	0.0013	0.0506	9.44E-16	3.0	SPA0203-71	01/27/03
1458-02F	A-746	biotita	23.91	1.55	1.48698	0.01223	0.00000	-0.00018	1.53922	103.6	0.0086664	5.40E-06	1.0053	0.0013	0.0275	5.15E-16	3.8	SPA0203-71	01/27/03
1458-02G	A-746	biotita	20.08	12.27	1.22129	0.01764	0.00000	-0.00024	1.29144	105.8	0.0086664	5.40E-06	1.0053	0.0013	0.0030	5.69E-17	5.2	SPA0203-71	01/27/03
1458-03A	A-746	biotita	23.08	0.32	1.59918	0.01266	0.00000	0.00038	1.48588	93.0	0.0086664	5.40E-06	1.0053	0.0013	0.1655	3.14E-15	0.8	SPA0203-71	01/27/03
1458-03B	A-746	biotita	22.37	0.74	1.46911	0.01227	0.00000	0.00010	1.43955	98.0	0.0086664	5.40E-06	1.0053	0.0013	0.0627	1.19E-15	1.4	SPA0203-71	01/27/03
1458-03C	A-746	biotita	21.53	0.92	1.43337	0.01217	0.00000	0.00016	1.38506	96.7	0.0086664	5.40E-06	1.0053	0.0013	0.0479	9.17E-16	2.0	SPA0203-71	01/27/03
1458-03D	A-746	biotita	28.55	1.52	1.41099	0.01135	0.09495	-0.00143	1.84033	130.5	0.0086664	5.40E-06	1.0053	0.0013	0.0289	5.40E-16	2.8	SPA0203-71	01/27/03
1458-03E	A-746	biotita	72.56	11.68	1.53013	-0.00767	0.00000	-0.01086	4.73545	309.6	0.0086664	5.40E-06	1.0053	0.0013	0.0040	7.31E-17	3.8	SPA0203-71	01/27/03
1458-03F	A-746	biotita	178.10	29.77	1.10703	-0.03917	0.00000	-0.03679	11.97220	-	0.0086664	5.40E-06	1.0053	0.0013	0.0010	2.13E-17	5.2	SPA0203-71	01/27/03

LEGENDA GEOLÓGICA

ROCHAS METAMÓRFICAS

ROCHAS IGNEAS INTRUSIVAS E EXTRUSIVAS

ROCHAS E DEPÓSITOS SEDIMENTARES

ROCHAS METAMÓRFICAS

ROCHAS IGNEAS INTRUSIVAS E EXTRUSIVAS

ROCHAS E DEPÓSITOS SEDIMENTARES

CONVENÇÕES

AMOSTRAS COM ANÁLISES ISOTÓPICAS E GEOTERMABAROMÉTRICAS

CONVENÇÕES

Rio, drenagem

Lago

Estrada

Município

Capital departamental

Limite departamental

Falha definida

Falha inferida

Falha coberta

Falha inversa ou de cavalgamento definida

Contato definido

Amostra

AMOSTRAS COM ANÁLISES ISOTÓPICAS E GEOTERMABAROMÉTRICAS			
A - 746 (Ar-Ar, U-Pb)	GR - 15 (Ar-Ar, Sm-Nd, Rb-Sr, U-Pb, *)		
C - 32 (Ar-Ar, Sm-Nd, *)	GR - 29 (Ar-Ar, Sm-Nd, Rb-Sr, U-Pb)		
C - 271 (Ar-Ar)	V - 198 (Ar-Ar, Sm-Nd, Rb-Sr, U-Pb)		
C - 299 (Ar-Ar)	V - 290 (Rb-Sr)		
C - 302 (Ar-Ar)	V - 309 (Ar-Ar)		
D - 806 (Sm-Nd, Rb-Sr)	V - 314 (Sm-Nd, Rb-Sr)		
D - 982 (Ar-Ar, Sm-Nd, Rb-Sr)	V - 332 (Ar-Ar, Sm-Nd, Rb-Sr, *)		
D - 986 (Ar-Ar)	Z - 365 (*)		

* Análise de microsonda electrónica

ANEXO 1

MAPA GEOLÓGICO DO MACIÇO DO GARZÓN E SUAS PROXIMIDADES COM LOCALIZAÇÃO DAS AMOSTRAS ESTUDADAS

Compilado por:
DIANA M. JIMENEZ M.

Mapa compilado tomando como base a geologia das folhas 367, 368, 369, 390, 391, 414, 411, 412, 430, 431, 448, 449 y 465 a escala 1:100.000 (INGEOMINAS & GEOSTUDIOS, 2001a,b), folha 366 escala 1:100.000 (INGEOMINAS, 1998) e mapa geológico da Colombia escala 1:1.500.000 (INGEOMINAS, 2000).

Origem das coordenadas dos dados: Bogotá.
Coordenadas geográficas: 4° 35' 56,57 latitude Norte, 74° 04' 51,3 longitude Oeste
Coordenadas planas: 1'000.000 m.N, 1'000.000 m.E.