UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**EVOLUÇÃO METAMÓRFICA DOS METASSEDIMENTOS DA
NAPPE LIMA DUARTE E ROCHAS ASSOCIADAS DO
COMPLEXO MANTIQUEIRA, SUL DA FAIXA BRASÍLIA (MG)**

Brenda Chung da Rocha

Orientador: Prof. Dr. Mario da Costa Campos Neto

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica

SÃO PAULO

2011

*Dedico este trabalho à Cauê Rodrigues Cioffi,
meu melhor companheiro*

AGRADECIMENTOS

A toda a minha família que sempre me apoiou: minha irmã (Fábia), minhas sobrinhas queridas (Bruna e Nicole), meu pai (Luciano), meus primos (Aguirre e Soraia, obrigado pelo incentivo sempre! E também Caio, Léo, Shelley, Rosângela), tios (Won, Gilberto, Micca), tias (Sun, Kátia e Mihee), meu cunhado (Adrian) e em especial para minha mãe (Mel), a quem agradeço imensamente pelo apoio, incentivo, amor e carinho constantes durante toda a minha vida, em todas as minhas escolhas. Obrigado por ser um exemplo pra mim, sempre!

Ao meu noivo Cauê Rodrigues Cioffi, um agradecimento mais do que especial, por todo amor e carinho, pela enorme paciência e compreensão, pela ajuda na confecção deste trabalho, pelas discussões geológicas, pela revisão deste manuscrito, por participar e ajudar nos trabalhos de campo, pela ajuda com o mapa geológico, enfim, por ter participado e vivido tudo isso comigo, obrigado por me aturar! Sua contribuição geológica foi imprescindível na confecção deste manuscrito, muito obrigado de coração.

À minha “segunda família”: Marisa, Paulo, Bárbara, Alice, César, Ana, Julien, João, enfim, obrigado a todos pelo carinho.

Ao meu orientador Mario da Costa Campos Neto, pelos anos de trabalho em Lima Duarte e pelo apoio dado na realização desta pesquisa.

A todos os participantes do Mapeamento Geológico de 2006 e 2007.

Aos meus amigos queridos, que sempre estiveram presentes e que colaboraram muito: Thaís Nogueira Hyppolito (Tchitcho), Jorge Emanuel dos Santos Nóbrega (Bizarro), Maurício Guerreiro dos Santos (Borboleta) e Patrícia (Pat), Roberta Pisanelli (Pisa), Ana Paula Burgoa Tanaka (Treme), Leandro Coutinho (Pulga), Dante Bianchi, Bruna Borges de Carvalho (Asnah), Renato Henrique Pinto (Lesma), Vinícius Tieppo Meira (Mikuin), Bruno Boito Turra (Melado), Simone Sonvesso (Pinguin), Ana Maciel de Carvalho (Xupeta), Fabiana dos Santos (Pará), Vivian Azor de Freitas (Cachorra), Rafael Bittencourt (Cofrinho), Bernardo Tavares Freitas (Aedes).

À amiga e quase doutora, Luana Moreira Florisbal (Lua), pela enorme disposição em ajudar, sua contribuição com a geoquímica foi fundamental, obrigado!!!

Ao Prof. Renato de Moraes, a ajuda com a geotermobarometria a longa distância e as discussões sobre o metamorfismo foram valiosíssimas, obrigado pela boa vontade.

Ao Prof. Valdecir Janasi, pela discussão sobre a geoquímica, importantíssimo!

À Prof. Lucelene Martins, pela ajuda com os diagramas na hora do desespero.

Aos professores do IGc-USP: Johann Hans Daniel Schorscher (o campo no Quadrilátero foi inesquecível!), Romalino dos Santos Fragoso-César, Renato Paes de Almeida, Paulo Boggiani, Silvio Vlach e Osvaldo Siga Junior (aqueles cigarrinhos no jardim renderam ótimas discussões), Caetano Juliani, Gergely Szabó, Daniel Atencio, Gianna Maria Garda, Benjamin Bley de Brito Neves, obrigado pelo convívio e por contribuírem ainda mais na minha formação como geóloga.

À Prof. Maria de Fátima Bittencourt (UFRGS), pelo enorme aprendizado.

Ao Prof. Eric Essene (*in memoriam*) (University of Michigan), pelo entusiasmo com os granulitos de Lima Duarte. Muito atencioso e gentil, contribuiu na interpretação de texturas, química mineral e geotermobarometria.

A todos os funcionários do Instituto de Geociências, em especial para: Marcos (Lab. Microsonda Eletrônica), Zé Paulo (Lab. Tratamento de Amostras), Paulinho (Laminação), Paulinho (Lab. FRX), Ricardo e Inês (Lab. Química), Sandra (Lab. Química e ICP-MS), Angélica (Lab. Óptica), Samuca (Lab. Preparação de Amostras), Zé Carlos (Audiovisual), Ana Paula e Magali (Seção de Pós-graduação), Tadeu, Brenda e Érica (Biblioteca), Thomas e Márcio (Veículos), e principalmente Claudionor, Henrique e José (Gráfica), muito obrigado pela agilidade e eficiência. Sem vocês este trabalho não existiria!

À geóloga Mariane Brumatti (LCT - Escola Politécnica), pelo excelente trabalho realizado no MEV.

Ao pessoal da pós-graduação, pelas discussões geológicas e pelos agradáveis anos de convívio: Liza Pólo (Tops), Rafael Gonçalves Motta (Vivi), Maurício Pavan (Pavão), Gabriel Rossi (Rã), Daiane dos Santos (Popó), Alice Westin (Kenga), John Guevara Mora, Felipe Llamus, Paula Sucerquia, Alba Marina, Lucas Padoan (Rejeito), Bruno Lagler (Mininão), Gabriela (Entalada), enfim, todos vocês que participaram em sala de aula, no campo, ou mesmo no CEPEGE, obrigado!

Aos novos geólogos: Angélica Santana (Sem sal), Paula Correia (Pirua), Cinthia Nakamura (Shrek), Fabiana (Meia-boca), Ligia Garcia (Vesga), Cláudio (Kabong), Sheila Schmidt do Carmo (Sertão), Marília Aguiar (Atoladinha), e todo o pessoal que esteve em Carrancas no mapeamento de 2009.

Aos geólogos da Themag Engenharia, pelo apoio e compreensão: Marilda Tressoldi, Luiz Ferreira Vaz, Talita Muzzi, Magali Gurgueira, Rogério Araújo, Jorge Mortati, Raimundo Marcondes de Carvalho, Lucas Rangel Bittencourt, André Baradel.

Ao Prof. Miguel Ângelo Stipp Basei, que viabilizou o desenvolvimento desta pesquisa através do projeto FAPESP (05/58688-1), meus sinceros agradecimentos.

A CAPES, pela concessão de bolsa de estudo e à FAPESP, pelo apoio financeiro.

RESUMO

A *Nappe* Lima Duarte está situada no sudeste do Orógeno Brasília. É constituída por paragneisses migmatíticos com granada, sillimanita, biotita e muscovita, e ortoquartzitos grossos, com intercalações esparsas de gnaisses calciossilicáticos e de anfibolitos. O Complexo Mantiqueira, infraestrutura alóctone da *nappe*, ocorre na forma de lascas tectonicamente imbricadas na mesma. É constituído por ortogneisses migmatíticos e polimetamórficos, tipo TTG, com intercalações de rochas metabásicas granulíticas, na forma de enclaves máficos alongados e *boudins*, geralmente concordantes com a foliação principal. Também ocorrem rochas charnockíticas aparentemente intrusivas nos ortogneisses Mantiqueira, com rochas metabásicas associadas. A associação mineral observada nos paragneisses ($\text{Grt} + \text{Bt} + \text{Sil} + \text{Pl} + \text{Rt} + \text{Ilm} + \text{Qtz} \pm \text{Ms} \pm \text{Kfs} \pm \text{Ky}$) é relacionada a um metamorfismo progressivo de fácies anfibolito superior, caracterizado por reações de quebra de muscovita e geração de feldspato potássico. As condições de pico bárico obtidas no THERMOCALC para a associação com cianita são de 10 ± 0.6 kbar, a $807 \pm 25^\circ\text{C}$. O pico térmico de $827 \pm 44^\circ\text{C}$ a 8.2 ± 1.8 kbar, no limite da curva de quebra da dumortierita, foi obtido no THERMOCALC com a associação mineral envolvendo sillimanita. As rochas metabásicas inseridas nos ortogneisses do Complexo Mantiqueira e rochas charnockíticas associadas apresentam a associação $\text{Grt-Cpx-Pl-Qtz} \pm \text{Opx} + \text{Hbl}$, que é diagnóstica do fácies granulito de alta pressão. São caracterizadas pela presença de texturas coroníticas progressivas de Grt-Cpx-Pl-Qtz nos contatos entre Opx , Pl e/ou opacos, aparentemente de origem ígnea, que marca a passagem do campo dos granulitos de pressão intermediária para o campo dos granulitos de alta pressão. As condições de pico registradas nos veios constituídos por Grt-Cpx-Pl nos metagabronoritos é de 831.8°C , a 10 kbar. O granada granulito registra o pico metamórfico a $890 \pm 41^\circ\text{C}$, a 9.26 ± 1.93 kbar. Cálculos realizados no TWEEQU forneceram condições de equilíbrio de 801°C , a 9.6 kbar para a associação de fácies granulito. As condições de pico bárico nas rochas charnockíticas são de 14.36 ± 1.9 kbar, a 680°C , enquanto que as temperaturas máximas registradas são de 885.17°C , a 10 kbar. Cálculos realizados no THERMOCALC forneceram temperatura de $771 \pm 166^\circ\text{C}$, a 11.8 ± 2.4 kbar. As rochas metabásicas relacionadas ao Complexo Mantiqueira apresentam baixas concentrações de elementos LILE, possivelmente devido ao empobrecimento destes elementos durante o metamorfismo através de perdas por reações de desidratação. Os dados geoquímicos

apontam fontes do tipo E-MORB para grande parte das rochas metabásicas, embora sempre com enriquecimento em ETR maior, o que é sugestivo de fontes enriquecidas. O Grt-cpx anfibolito simplectítico apresenta assinaturas geoquímicas distintas, com enriquecimento maior em elementos LILE e ETRL, o que sugere uma origem a partir de fontes OIB. Os padrões de ETR e diagramas de variação multi-elementares de elementos traço sugerem que as rochas charnockíticas têm fontes relacionadas à ambientes de arco vulcânico. Os paragneisses, em fácies anfibolito superior a granulito, registram uma trajetória inicial horária, descompressiva ao campo da sillimanita. É distinta da trajetória inicial anti-horária exibida pelas rochas metabásicas e charnockíticas, que registram nas coronas de Grt-Cpx-Pl o metamorfismo progressivo de fácies granulito de alta pressão. Sugere-se que esse relativo aumento de pressão tenha sido condicionado pela colocação dos metassedimentos da *Nappe* Lima Duarte sobre as rochas do Complexo Mantiqueira, porém no mesmo campo de temperatura. Assim, o avanço da *nappe* metassedimentar pode ter sido responsável pelo soterramento das rochas metabásicas e charnockíticas relacionadas com o Complexo Mantiqueira, o que justifica a pressão mais elevada nestes litotipos. A etapa de exumação foi compartilhada por ambas, o que é evidenciado nas semelhanças de condições metamórficas durante a trajetória de resfriamento quase isobárico, porém com os litotipos do Complexo Mantiqueira em nível crustal mais profundo.

Palavras-chave: *Nappe* Lima Duarte; Complexo Mantiqueira; texturas coroníticas; metamorfismo; fácies granulito

ABSTRACT

The Lima Duarte *Nappe* is located in southeastern Brasília Orogen and is composed by migmatitic paragneisses presenting garnet, sillimanite, biotite and muscovite, and coarse-grained orthoquartzites, with few amphibolite and calc-silicate interlayers. The Mantiqueira Complex occurs as tectonic imbricated lenses in the Lima Duarte *Nappe*, resembling an allochthon structure. It comprises TTG-type migmatitic and polymetamorphic orthogneisses, presenting granulitic metabasic interlayers, as mafic bands and lenses, as well as *boudins*, which are often concordant with the main foliation. Charnockitic rocks are apparently intrusive in the Mantiqueira orthogneisses, with associated metabasic rocks. The mineral assemblage observed in paragneisses (Grt + Bt + Sil + Pl + Rt + Ilm + Qtz $\pm$ Ms $\pm$ Kfs $\pm$ Ky) is related to an upper amphibolite facies progressive metamorphism characterized by muscovite breakdown reactions producing potassic feldspar. The peak baric conditions obtained in the THERMOCALC processing software for the assemblage involving kyanite are 10 ± 0.6 kbar and $807 \pm 25^\circ\text{C}$. The thermal peak of $827 \pm 44^\circ\text{C}$ and 8.2 ± 1.8 kbar obtained in THERMOCALC for the assemblage involving sillimanite, is placed in the boundary of breakdown curve for dumortierite. The metabasic rocks interlayered in Mantiqueira Complex orthogneisses show the Grt-Cpx-Pl-Qtz $\pm$ Opx+Hbl assemblage, indicating high pressure granulite facies. They are characterized by the presence of Grt-Cpx-Pl progressive coronitic textures between Opx, Pl and/or opaques boundaries, apparently with an igneous origin, which marks the transitions from intermediate pressure granulites field to high pressure granulite field. The peak conditions recorded in Grt-Cpx-Pl veins in metagabbroites is 831.8°C , and 10 kbar. The garnet granulite records the metamorphic peak at $890 \pm 41^\circ\text{C}$, and 9.26 ± 1.93 kbar. Thermobarometric calculations performed at TWEEQU revealed equilibrium conditions at 801°C , and 9.6 kbar based on granulite facies mineral assemblage. The peak baric conditions achieved by the charnockitic rocks are 14.36 ± 1.9 kbar, and 680°C , while maximum temperatures recorded are 885.17°C , and 10 kbar. Thermobarometric calculations performed at THERMOCALC revealed temperatures of $771 \pm 166^\circ\text{C}$, and 11.8 ± 2.4 kbar. The metabasic rocks related to Mantiqueira Complex show low concentrations of LILE elements, possibly due to the depletion of these elements during metamorphism in dehydrating reactions. Geochemical data point out to E-MORB type sources for the great majority of metabasic rocks, even though with an REE enrichment, suggesting

more enriched sources. The symplectitic Grt-Cpx amphibolite show distinct geochemical signatures, characterized by a greater enrichment in LILE and light-REE elements, suggesting an OIB source for their origin. REE patterns and trace element spidergrams suggest that charnockitic rocks sources are related to a volcanic arc tectonic setting. Paragneisses, in upper amphibolite to granulite facies, recorded an initial clockwise path, decompressing to the sillimanite field. It differs from initial counterclockwise path exhibited by the metabasic and charnockitic rocks, which preserves the progressive high pressure granulite facies metamorphism in Grt-Cpx-Pl coronae. This pressure increase is probably related to the metasediments of the Lima Duarte *Nappe*, that thrust over the Mantiqueira Complex rocks, although in the same temperature field. The buried character of metabasic and charnockitic rocks may be caused by the thrust of the metasedimentary *nappe*, justifying the higher pressure found in these lithotypes. The exhumation phase was shared by both of them, which is confirmed in the metamorphic similarities conditions, as they cooled out together in a near isobaric path, although the Mantiqueira Complex lithotypes were in a deeper crustal level.

Key-words: Lima Duarte *Nappe*; Mantiqueira Complex; coronitic textures; metamorphism; granulite facies

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
3. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS	5
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	5
5. CONTEXTO GEOLÓGICO	8
5.1 Trabalhos anteriores	8
5.2 Orógeno Brasília Meridional	10
5.3 A <i>Nappe</i> Lima Duarte e o Complexo Mantiqueira	14
6. DESCRIÇÃO DAS UNIDADES TECTÔNICAS	18
6.1 <i>NAPPE</i> ANDRELÂNDIA	18
6.1.1 Granada-biotita-plagioclásio-quartzo xisto homogêneo (Xisto Santo Antônio)	18
6.1.2 Granada-sillimanita-muscovita-biotita-quartzo xisto e Muscovita-biotita gnaiss com sillimanita	18
6.2 <i>NAPPE</i> LIMA DUARTE	19
6.2.1 Biotita granito-gnaiss porfiroblástico	19
6.2.2 Granada-biotita gnaiss metatexítico	20
6.2.3 Sillimanita-granada-biotita gnaiss metatexítico, sillimanita-granada-biotita gnaiss porfiroblástico com cianita e biotita-sillimanita gnaiss com muscovita e dumortierita	21
6.2.4 Gnaiss calciossilicáticos	23
6.2.5 Rochas metabásicas	24
6.2.6 Quartzito com muscovita	25
6.2.7 Granada-sillimanita-biotita-muscovita-quartzo xisto e sillimanita-granada-biotita gnaiss quartzoso	26
6.3 COMPLEXO MANTIQUEIRA	27
6.3.1 Rochas charnockíticas	28
6.3.2 Ortognaisses	34
6.3.3 Rochas metabásicas	36
6.3.4 Rochas metaultramáficas	42

7. GEOLOGIA ESTRUTURAL	52
7.1 Estruturação da área	52
7.2 Foliações metamórficas	52
7.3 Lineações, indicadores cinemáticos e boudinagem	55
7.4 Aspectos da microtectônica	56
8. METAMORFISMO	60
8.1 TEXTURAS E PARAGÊNESES	60
8.1.1 Considerações iniciais	60
8.1.2 Paragnaisses da Nappe Lima Duarte	62
8.1.3 Rochas metabásicas inseridas nos ortognaisses do Complexo Mantiqueira	69
8.1.4 Rochas charnockíticas do Complexo Mantiqueira	75
8.2 QUÍMICA MINERAL	82
8.2.1 Considerações iniciais	82
8.2.2 Paragnaisses	82
8.2.3 Rochas metabásicas	92
8.2.4 Metagabronoritos	97
8.2.5 Rochas charnockíticas	107
8.3 GEOTERMOBAROMETRIA	120
8.3.1 Considerações iniciais	120
8.3.2 Diagramas de compatibilidade	121
8.3.3 Geotermobarometria dos paragnaisses	124
8.3.4 Geotermobarometria das rochas metabásicas	130
8.3.5 Geotermobarometria das rochas charnockíticas	136
8.4 EVOLUÇÃO METAMÓRFICA	139
8.4.1 Considerações iniciais	139
8.4.2 Paragnaisses	140
8.4.3 Rochas metabásicas	143
8.4.4 Rochas charnockíticas	148
9. LITOGEOQUÍMICA	152
9.1 Considerações iniciais	152
9.2 Grupos de rochas metabásicas e rochas charnockíticas	153
9.3 Rochas metabásicas	156
9.3.1 Classificação das rochas metabásicas	156

9.3.2 Elementos maiores, menores e traço	162
9.3.3 Elementos terras-raras	165
9.4 Rochas charnockíticas/enderbíticas	168
9.4.1 Classificação das rochas charnockíticas	168
9.4.2 Elementos maiores, menores e traço	170
9.4.3 Elementos terras-raras	174
10. CONCLUSÕES	179
11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	183

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área da área de estudo.....	4
Figura 2: Mapa tectônico da extensão sul do Orógeno Brasília.....	11
Figura 3: Granada-biotita gnaiss (SB-III-112).....	21
Figura 4: Sillimanita-granada-biotita gnaiss porfiroblástico (SB-IX-108).....	23
Figura 5: Topo da Serra de Lima Duarte e Topo da Serra do Pilão, sustentadas por ortoquartzito grosso.....	25
Figura 6: Depósito de talus no sopé da Serra Negra e Sil-Grt-Bt gnaiss quartzoso (SB-VII-17).....	26
Figura 7: Enderbit gnaiss no Rio Grão Mogol.....	28
Figura 8: Enderbit gnaiss.....	29
Figura 9: Biotita-granada enderbit gnaiss coronítico.....	31
Figura 10: Estrutura bandada em meta-charnockito e dobra isoclinal em biotita gnaiss com intercalações de rochas metabásicas (SB-VII-16).....	33
Figura 11: Hornblenda-biotita gnaiss.....	35
Figura 12: <i>Boudins</i> de rocha metabásica, com anatexia associada (NLD-40).....	36
Figura 13: Sillimanita-granada-biotita gnaiss metatexítico em contato tectônico sobre o sillimanita-granada-biotita gnaiss quartzoso, na Serra da Saudade.....	52
Figura 14: Foliação principal paralela ao bandamento gnáissico em Hbl-Bt gnaiss.....	53
Figura 15: Hornblenda-biotita gnaiss migmatítico, dobrado e dobras isoclinais em ortoquartzito (OL-VII-43).....	53
Figura 16: Megadobra recumbente na Serra Negra (quartzitos e paragneisses).....	54

Figura 17: Dobra isoclinal em sillimanita-granada-biotita gnaiss quartzoso (SB-VII-17), com a superfície S_1 paralela à foliação principal S_2 .	54
Figura 18: Dobras intrafoliais em leucossoma com flanco rompido, em biotita gnaiss.	54
Figura 19: Clivagem espaçada pós- S_2 em quartzito.	55
Figura 20: <i>Mullion</i> de banda félsica quartzo-feldspática e foliação milonítica principal em zona de transposição da S_2 com dobras intrafoliais, em biotita gnaiss.	55
Figura 21: <i>Boudins</i> de rocha metabásica de dimensões variadas, com anatexia associada.	56
Figura 22: Zona de cisalhamento com transporte de topo para sul, em sillimanita-granada-biotita gnaiss quartzoso (SB-VII-17).	57
Figura 23: Porfiroblasto de granada, com inclusões de Ky, Bt, MS, Sil, Kfs, Ilm e Zrc. Amostra OL-II-112B.	62
Figura 24: Leitos de dimensão milimétrica a subcentimétrica com concentração de Grt.	70
Figura 25: Detalhe de um veio constituído por Grt intercrescida com Cpx, Qtz e opacos, com leito contínuo de quartzo no centro (NLD-42D).	71
Figura 26: Corona de Grt ao redor de Pl, no contato com o Cpx e os opacos.	72
Figura 27: Corona de Grt ao redor dos opacos e do Opx, no contato com o Pl, com Kfs no contato entre a Grt e o Pl.	72
Figura 28: Corona de Grt ao redor de Pl, no contato com o Cpx e os opacos.	73
Figura 29: Corona poliminerálica, com Opx manteado por Grt+Qtz, por opacos, seguida por corona de Grt no contato com o Pl.	73
Figura 30: Corona poliminerálica, com Opx manteado por Grt+Qtz, por opacos, seguida por corona de Grt no contato com o Pl.	74
Figura 31: Corona de Grt ao redor de Pl, no contato com os opacos.	75
Figura 32: Intercrescimento esquelético de Bt + Qtz substituindo o ortopiroxênio.	76
Figura 33: Megacristais de ortopiroxênio parcialmente substituídos por Bt $\pm$ Qtz, com coronas de Grt + Cpx $\pm$ Qtz no contato com o plagioclásio.	77
Figura 34: Corona de Grt + Cpx $\pm$ Qtz ao redor de Pl, no contato entre o ortopiroxênio e o plagioclásio (NLD-45B).	78
Figura 35: Mapa geológico da Nappe Lima Duarte com a localização das amostras com análises de microsonda eletrônica e microscópio eletrônico de varredura (MEV).	81
Figura 36: Seção química de granada, em perfil longitudinal e em perfil transversal.	84
Figura 37: Fotomicrografia e mapas de concentração de elementos.	85
Figura 38: Mapas de concentração de elementos.	86
Figura 39: Imagem retroespalhada de Grt e composição falsa-cor RGB.	87

Figura 41: Seção química de granada.....	88
Figura 42: Diagrama para classificação de feldspatos.....	89
Figura 43: Diagrama para classificação de biotita.....	90
Figura 44: Inclusões de rutilo ao longo de fraturas em porfiroblasto de granada.....	92
Figura 45: Seção química de plagioclásio.....	94
Figura 46: Diagrama para classificação de feldspatos.....	95
Figura 47: Diagrama para classificação de ortopiroxênios.....	95
Figura 48: Diagrama para classificação de clinopiroxênios.....	96
Figura 49: Diagrama de classificação para o grupo de anfibólios cálcicos.....	97
Figura 50: Seções químicas em cristal de granada, plagioclásio e clinopiroxênio.....	99
Figura 51: Seção química de granada, ao longo de em veio composto por granada + clinopiroxênio + opacos $\pm$ quartzo $\pm$ plagioclásio.....	100
Figura 52: Diagrama para classificação de feldspatos.....	101
Figura 53: Perfil composicional em cristal de plagioclásio e de ortopiroxênio coronítico....	102
Figura 54: Perfil composicional em cristal de plagioclásio coronítico.....	103
Figura 55: Diagrama para classificação de ortopiroxênios.....	103
Figura 56: Seção química em cristal de ortopiroxênio coronítico.....	104
Figura 57: Seção química em cristal de ortopiroxênio.....	105
Figura 58: Diagrama para classificação de clinopiroxênios	105
Figura 59: Seção química em cristal de clinopiroxênio da matriz.....	106
Figura 60: Diagrama de classificação para o grupo de anfibólios cálcicos.....	107
Figura 61: Perfil composicional em cristal de granada.....	109
Figura 62: Perfil composicional em cristal de granada.....	110
Figura 63: Perfil composicional em cristal de granada.....	111
Figura 64: Diagrama para classificação de feldspatos.....	113
Figura 65: Perfil composicional em cristal de plagioclásio da matriz.....	113
Figura 66: Diagrama para classificação de ortopiroxênios.....	114
Figura 67: Perfil composicional em cristal de ortopiroxênio ígneo reliquiar.....	115
Figura 68: Diagrama para classificação de clinopiroxênios.....	116
Figura 69: Diagrama para classificação de biotita.....	117
Figura 37: Diagrama de classificação para o grupo de anfibólios cálcicos.....	118
Figura 71: Diagrama ACF para metagabronorito (amostra NLD-42C).....	121
Figura 72: Diagrama ACF para metagabronorito (amostra NLD-42D).....	122
Figura 73: Diagrama ACF para metacharnockito anidro (amostra NLD-45B).....	123

Figura 74: Diagrama ACF para metacharnockito hidratado (amostra NLD-45D).....	123
Figura 75: Diagrama ACF para metacharnockito hidratado (amostra NLD-45D).....	124
Figura 76: Dados P-T dos paragnaisses obtidos no THERMOCALC.....	125
Figura 77: Gráfico de temperatura versus ppm Zr com os resultados da termometria de Zr no rutilo para os paragnaisses.....	128
Figura 78: Dados P-T das rochas metabásicas obtidos no THERMOCALC.....	131
Figura 79: Dados P-T para granada granulito obtidos no TWEEQU (amostra NLD-7D).....	132
Figura 80: Dados P-T das rochas charnockíticas obtidos no THERMOCALC.....	137
Figura 81: Trajetória P-T para os paragnaisses.....	142
Figura 82: <i>Grid</i> P-T com os dados de temperatura e pressão das rochas metabásicas e rochas charnockíticas.....	146
Figura 83: Trajetória P-T para as rochas metabásicas.....	147
Figura 84: Trajetória P-T para as rochas charnockíticas.....	149
Figura 85: Mapa geológico da <i>Nappe</i> Lima Duarte com a localização das amostras com análises geoquímicas.....	151
Figura 86: Diagrama de classificação de rochas gabróicas e diagrama QAP com os nomes das rochas na série charnockítica.....	156
Figura 87: Diagrama de classificação de rochas vulcânicas e diagrama binário FeO/Mg vs. SiO ₂	157
Figura 88: Diagrama ternário AFM, diagrama discriminatório [Ti-Zr-Sr], [Ti-Zr-Y] e diagrama de classificação de granulitos félsicos e intermediários [CaO-Na ₂ O-K ₂ O].....	158
Figura 89: Diagramas de Harker dos elementos maiores (expressos em % peso) para as rochas metabásicas.....	159
Figura 90: Diagramas de Harker dos elementos maiores (expressos em % peso) para as rochas metabásicas.....	160
Figura 91: Diagramas de Harker dos elementos menores e traço (expressos em ppm) para as rochas metabásicas.....	161
Figura 92: Diagrama multi-elementar das rochas metabásicas, normalizadas pelo manto primitivo de Sun & Mc Donough (1989), comparados com os padrões OIB, E-MORB e N-MORB.....	164
Figura 93: Padrões de ETR das rochas metabásicas, normalizados ao condrito de Taylor & Mc Lennan (1985).....	166
Figura 94: Padrões de ETR das rochas metabásicas normalizados ao condrito comparados com os padrões OIB, E-MORB e N-MORB.....	166

Figura 95: Diagrama de classificação de rochas plutônicas.....	170
Figura 96: Diagramas de Harker dos elementos maiores para as rochas charnockíticas.....	172
Figura 97: Diagramas de Harker dos elementos menores e traço para as rochas charnockíticas.....	173
Figura 98: Diagrama multi-elementar das rochas charnockíticas, normalizadas pelo manto primitivo de Sun & Mc Donough (1989).....	174
Figura 99: Diagrama multi-elementar das rochas charnockíticas, normalizadas pelo manto primitivo de Taylor & Mc Lennan (1985).....	174
Figura 100: Padrões de ETR das rochas charnockíticas, normalizados ao condrito.....	176
Figura 101: Diagrama binário de ETR total vs. SiO ₂ para as rochas charnockíticas e diagramas de ETR normalizados ao condrito comparados com os padrões de ETR do charnockito de Louis Lake.....	176
Figura 102: Diagramas de variação multi-elementar para as rochas charnockíticas, normalizados para o ORG.....	177

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Resultados dos cálculos termobarométricos obtidos no THERMOCALC para os paragnaisses.....	124
Tabela 2: Resultados obtidos através do geotermômetro granada-biotita (Grt-Bt).....	127
Tabela 3: Resultados obtidos com a termometria de zircônio no rutilo para a amostra OL-II-112B.....	128
Tabela 4: Resultados obtidos com a termometria de zircônio no rutilo para a amostra OL-III-39A.....	129
Tabela 5: Resultados obtidos através do geobarômetro granada-aluminossilicato-quartzo-plagioclásio (GASP).....	129
Tabela 6: Resultados dos cálculos termobarométricos obtidos no THERMOCALC para as rochas metabásicas.....	130
Tabela 7: Resultados dos cálculos obtidos através do termômetro granada-clinopiroxênio e do barômetro granada-clinopiroxênio-plagioclásio para as rochas metabásicas.....	134
Tabela 8: Resultados dos cálculos termobarométricos obtidos no THERMOCALC para as rochas charnockíticas.....	138

Tabela 9: Resultados dos cálculos obtidos através do termômetro granada-clinopiroxênio e do barômetro granada-clinopiroxênio-plagioclásio para as rochas charnockíticas.....	138
Tabela 10: Resultados analíticos de geoquímica de rocha-total por FRX e ICP-MS.....	162
Tabela 11: Análises de elementos terras-raras normalizadas ao condrito.....	168

ÍNDICE DE PRANCHAS DE FOTOMICROGRAFIAS

PRANCHA I.....	43
PRANCHA II.....	44
PRANCHA III.....	45
PRANCHA IV.....	46
PRANCHA V.....	47
PRANCHA VI.....	48
PRANCHA VII.....	49
PRANCHA VIII.....	50
PRANCHA IX.....	51
PRANCHA X.....	58
PRANCHA XI.....	59
PRANCHA XII.....	64
PRANCHA XIII.....	65
PRANCHA XIV.....	66
PRANCHA XV.....	67
PRANCHA XVI.....	68
PRANCHA XVII.....	79
PRANCHA XVIII.....	80

ANEXOS

ANEXO I – MAPA GEOLÓGICO

ANEXO II – TABELA DE PONTOS

ANEXO III – TABELAS DE ANÁLISES QUÍMICAS

1. INTRODUÇÃO

A natureza e a composição da crosta inferior podem ser inferidas através do estudo de rochas em fácies granulito (Harley, 1989; Bohlen, 1991). Os dados geológicos e geoquímicos provenientes dos granulitos também fornecem informações relacionadas aos processos tectônicos responsáveis pela formação e evolução da crosta continental.

Os cenários tectônicos possíveis para a formação de granulitos de alta pressão são: orógenos colisionais ou granulitos de alta pressão formados na base de crosta continental com espessura “normal” e que foram exumados por um processo não-relacionado à sua formação (Baldwin *et al.*, 2003). Os orógenos colisionais, como o Variscides (Vielzeuf & Pin, 1989; Carswell & O’Brien, 1993), a Província Greenville (Indares, 1995; Indares & Dunning, 2001), os Himalaias (Liu & Zhong, 1997) e o Complexo Hengshan na China (Zhao *et al.*, 2001) são caracterizados por exumação relativamente rápida, posterior ao pico metamórfico (Indares & Dunning, 1997; Kröner *et al.*, 2000). Já os granulitos formados na base da crosta continental, registram uma perturbação termal na base da crosta seguida por resfriamento isobárico em direção à geoterma cratônica, como em Ivrea Zone (Zingg, 1991). Terrenos metamórficos formados sob condições de fácies granulito foram descritos em diversas localidades ao redor do mundo. No Brasil ocorrem extensas áreas de terrenos metamórficos de alto grau, passíveis de serem investigados e que podem potencialmente contribuir no conhecimento da evolução da crosta continental na América do Sul, conseqüentemente contribuindo para avançar no conhecimento da evolução do Gondwana.

A área de estudo está inserida na porção oriental do Sistema Orogênico Brasília Meridional (Campos Neto *et al.*, 1999). Na *Nappe* Lima Duarte, no sul de Minas Gerais, ocorrem paragneisses migmatíticos em trajetórias descompressivas ao campo da sillimanita e granulitos máficos com granada, clinopiroxênio, biotita e eventualmente ortopiroxênio, associados à ortogneisses migmatíticos tipo TTG, além de rochas charnockíticas, aparentemente com a estrutura original ígnea preservada. Esta associação pode representar o empilhamento por colisão de rochas de crosta continental subductada a níveis profundos. A *Nappe* Lima Duarte está relacionada ao domínio de margem passiva e registra a colisão da Placa Paranapanema com a Placa Sanfranciscana durante a Colagem Brasileira, no Neoproterozóico (Campos Neto *et al.*, 2004). Na região de Lima Duarte, os ortogneisses ocorrem na forma de lascas tectônicas imbricadas na *Nappe* Lima Duarte, configurando um embasamento alóctone (Campos Neto *et al.*, 2004).

A composição química responsável por assembléias minerais pouco reativas dos ortognaisses (apesar de intensamente anatóticos) dificulta o estudo das condições do auge metamórfico, além de possuir um caráter mais antigo (Arqueano-Paleoproterozóico) e polimetamórfico. Os corpos métricos de anfibolitos e de granulitos máficos, disruptos no interior destas rochas e ausentes na “cobertura” metassedimentar alóctone, oferecem paragêneses e texturas de reação passíveis de serem investigadas termodinamicamente. Os estudos da formação de metagabros coroníticos e eclogitos têm contribuído no entendimento de processos metamórficos em níveis crustais profundos durante colisão continental (Cox & Indares, 1999). Rochas máficas anídras e pouco deformadas tendem a preservar associações de alta pressão.

Os paragnaisses da capa alóctone metassedimentar registram as condições P - T do estágio de descompressão (zona da sillimanita em presença de feldspato potássico) e uma trajetória quase isobárica de resfriamento. A ausência de ortopiroxênio nos paragnaisses e a presença de dumortierita associada à sillimanita (Rocha, 2008), sugerem que essas condições obtidas encontram-se próximas ao pico térmico do metamorfismo (segundo as grades petrogenéticas de Vielzeuf & Holloway, 1988; Le Breton & Thompson, 1988; Vielzeuf & Montel, 1994; Patiño Douce & Beard, 1996; Werding & Schreyer, 1996). No entanto a presença de inclusões de cianita em granadas e, mais na retaguarda da *nappe*, a presença de cianita, em diferentes estágios de crescimento, livres na matriz, indica que as condições de mais alta pressão não foram ainda obtidas.

Os mecanismos de exumação destas unidades, que apesar de registrarem distintas condições P - T quando mais próximas do pico metamórfico e de compartilharem a trajetória de resfriamento em uma mesma profundidade na crosta (no domínio estudado), são temas fundamentais para o estudo da extrusão do prisma de colisão e do comportamento mecânico e térmico do limite crosta-manto durante a orogênese. As rochas metabásicas, apesar de inseridas em um contexto geológico mais antigo, possuem, em muitos afloramentos, texturas ígneas hipidiomórficas preservadas, sugerindo (juntamente com a assinatura química de toleítos intraplacas) uma colocação por intrusões profundas, sin-orogênicas (Rocha, 2007). As rochas enderbíticas com granada apresentam texturas coroníticas semelhantes às aquelas que ocorrem nas rochas metabásicas, e assim, através de um estudo detalhado de petrografia, química mineral e litogeoquímica é possível comparar e estabelecer uma relação entre ambas. A capa sedimentar, submetida a altas temperaturas e pressões (estas, superiores aos resultados já obtidos), pode ter sido subductada a profundidades do manto litosférico. Como possui uma densidade relativa menor que a do manto, o maior volume da pilha sedimentar tende a ser

expulsa, em profundidades menores, da placa em subducção; ou, em profundidades superiores a 100 km, tendem a descolar do manto, como uma pluma, e ser injetada na base da litosfera da placa superior (Currie *et al.*, 2007).

2. OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho consiste na caracterização geológica e petrológica dos litotipos da *Nappe* Lima Duarte (com enfoque nos paragneisses), das rochas metabásicas inseridas no Complexo Mantiqueira e das rochas charnockíticas associadas. Foi realizado um estudo detalhado de petrografia, petrologia metamórfica, química mineral quantitativa e qualitativa, cálculos termobarométricos, além de litogeoquímica, ferramentas fundamentais para estabelecer uma relação entre os litotipos, na tentativa de compreender melhor a evolução metamórfica na porção sul da Faixa Brasília, próxima ao limite com o Cráton do São Francisco.

O mapa geológico apresentado é compilado de trabalhos anteriores, sendo baseado principalmente na integração geológica na escala 1:50 000 (Bendoraitis, 2007) de uma área que abrange parte das cartas topográficas de Bom Jardim de Minas, Lima Duarte, e Santa Bárbara do Monte Verde (1:50 000, IBGE - 1975), no domínio da *Nappe* Lima Duarte e porção leste da *Nappe* Andrelândia. Esta integração foi feita a partir dos dados de mapeamento na escala 1:25 000, coletados por alunos e pelos docentes responsáveis da disciplina Mapeamento Geológico (Professores doutores Marcos Egydio da Silva, Maria da Glória Motta Garcia, Mario da Costa Campos Neto, Miguel Ângelo Stipp Basei, Oswaldo Siga Junior e Renato Moraes), ministrada no IGc-USP, em 2006 e 2007, da qual participei como aluna/bolsista de iniciação científica e monitora da graduação (Projetos Olaria e Santa Bárbara). A área que abrange parcialmente as cartas topográficas de Lima Duarte e Ewbank da Câmara (1:50 000, IBGE – 1975), no domínio das rochas do embasamento (Complexo Mantiqueira) e das rochas charnockíticas/enderbíticas associadas, foi compilada do mapa geológico 1:50 000 da região de Lima Duarte (Campos Neto *et al.*, 1996a). O mapa é resultado da integração geológica dos mapeamentos na escala 1:25 000 realizados nas disciplinas Geologia de Campo e de Desenho e Mapeamento Geológico, ministradas no IGc-USP em 1994, que tiveram como responsáveis os seguintes docentes: Mario da Costa Campos Neto, Miguel Ângelo Stipp Basei e Oswaldo Siga Junior (Projeto Lima Duarte). Também foram utilizados mapas geológicos prévios (Duarte, 1998; Paciullo *et al.*, 2002), bem como a

Folha Lima Duarte (Carta Geológica SF-23-X-C-VI), escala 1:100 000, DNPM/CPRM (Pinto *et al.*, 1991).

Figura 1: Localização da área de estudo (Fonte: DER, 2007).

3. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

A área de estudo situa-se no sudeste do Estado de Minas Gerais, próximo à divisa com o Estado do Rio de Janeiro, e abrange os municípios de Lima Duarte, Olaria, Orvalho, Pedro Teixeira e São Sebastião do Monte Verde (**Figura 1**). É delimitada pelas coordenadas 7568000/7602000 e 606000/648000 na zona 23S (Córrego Alegre) e abrange parte das cartas topográficas de Ewbank da Câmara (SF-23-X-C-VI-2), Lima Duarte (SF-23-X-C-VI-3) e Santa Bárbara do Monte Verde (SF-23-X-C-VI-4), escala 1:50 000, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IGBE), 1975.

O acesso a partir da cidade de São Paulo é feito através da Rodovia Presidente Dutra (BR-116) até o trevo de Cruzeiro, rodovia SP-52 até Passa Quatro, rodovia MG-158 até Pouso Alto, BR-354 até Caxambu, BR-267, sentido Juiz de Fora, até o trevo de Lima Duarte.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

- ♦ Realização do levantamento bibliográfico do contexto geológico regional e da temática abordada, com a finalidade de fundamentar os principais conceitos, sendo os principais: petrologia, química mineral, geotermobarometria, evolução metamórfica e litogeoquímica;
- ♦ Realização de trabalhos de campo nas folhas Ewbank da Câmara (SF-23-X-C-VI-2), Lima Duarte (SF-23-X-C-VI-3) e Santa Bárbara do Monte Verde (SF-23-X-C-VI-4), escala 1:50 000 - IGBE (1975), para levantamento de uma seção geológica contínua e na escala 1:50 000 através de toda a *nappe*, com coleta de amostras e obtenção de dados estruturais;
- ♦ Petrografia macroscópica e microscópica, que incluíram a descrição de aproximadamente 65 afloramentos para identificação da mineralogia, texturas e estruturas. Foi feita a seleção de amostras de rochas e de feições litológicas e texturais para estudos de petrografia microscópica, química mineral, geotermobarometria e litogeoquímica. Foram descritas 60 seções delgadas, utilizando os microscópios ZEISS (Axioplan) e OLYMPUS (BXP-50) do Laboratório de Microscopia Petrográfica (LMP) e OLYMPUS (BXP-40) do Laboratório Didático de Microscopia Petrográfica (LDMP), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo;
- ♦ Realização de tingimento diferencial de minerais através da coloração de feldspatos alcalinos em 6 fatias de rocha de aproximadamente 15X10 cm, de acordo com o método descrito por Sandra Andrade, revisto por Horstpeter Ulbrich (1998), no Laboratório de Tratamento de Amostras (LTA), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Este procedimento é indicado para colorir os feldspatos potássicos em fatias de rocha, para

distinguí-los dos feldspatos sódicos ou cálcicos. Consiste na retirada da parte alterada da fatia de rocha através da imersão em ácido fluorídrico (HF) 40% por 3 minutos, seguida de lavagem com abundância de água. Após a secagem, a fatia de rocha é imersa em uma solução de cobaltinitrito de sódio, que reage e precipita com sais de potássio, resultando em um precipitado amarelo. A solução é obtida através da mistura de 18g NaNO_3 + 50 mL H_2O com 5g $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ + 5mL ácido acético glacial + 45 mL H_2O ;

- ♦ Realização de química mineral qualitativa em 5 amostras, por microscópio eletrônico de varredura (MEV) – FEI Quanta 600F, com detector de EDS tipo SDD (Silicon Drift Detector), Bruker XFlash 4030 e software de microanálise Esprit Bruker, do Laboratório de Caracterização Tecnológica (LCT), Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo;

- ♦ Realização de química mineral quantitativa em 8 amostras para obtenção de análises químicas pontuais (WDS) além de espectros por (EDS), utilizando a microsonda eletrônica JEOL JXA 8600 SuperProbe, do Laboratório de Microsonda Eletrônica, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Para as análises de granada, biotita, muscovita, feldspato, ilmenita, piroxênios e anfibólios foi utilizada a voltagem de 15 kV e corrente de 20 nA, com diâmetro de feixe entre 5 e 10 μm . As condições de análise para o rutilo foi de 20 kV de voltagem e corrente de 120 nA, com diâmetro de feixe em 5 μm ;

- ♦ Determinação da distribuição catiônica dos minerais para sua classificação através do AxWin (Holland, 2008) e confecção de parte dos diagramas binários e ternários de classificação de minerais através do software MINPET 2.02 (Richard, 1995). Os valores apresentados para os elementos químicos são expressos em número de cátions por fórmula unitária;

- ♦ Realização de cálculos termobarométricos utilizando a versão 3.26 do programa THERMOCALC (Holland & Powell, 1988), com banco de dados termodinâmicos internamente consistentes atualizado em 22/11/03, e parte dos cálculos foi realizada através da versão 1.02 do TWEEQU (Berman, 1988, 1991). Os dados obtidos através do método de banco de dados internamente consistentes foram complementados por geotermobarometria clássica. Foram utilizados os geotermômetros granada-biotita (Ferry & Spear, 1978; Indares & Martignole, 1985) e de zircônio-em-rutilo (Watson, 2006; Tomkins *et al.*, 2007) e o geobarômetro GASP (Newton & Haselton, 1981; Koziol & Newton, 1988; Koziol, 1989) para os paragnaisses. Para as rochas metabásicas e charnockíticas foi utilizado o geotermômetro granada-clinopiroxênio (Ganguly, 1979; Sengupta *et al.*, 1989) e o geobarômetro granada-

clinopiroxênio-plagioclásio (Eckert *et al.*, 1991). Parte dos cálculos de temperatura e pressão foi realizada através da planilha Excel GPT (Reche & Martinez, 1996) para os paragnaisses e do software PTMAFIC 2.0 (Soto & Soto, 1995) para as rochas metabásicas e charnockíticas;

- ♦ Realização de análises químicas para a determinação de elementos maiores, menores e traço através de espectrometria de fluorescência de raios-X utilizando um equipamento automático Philips, modelo PW2400, de acordo com o método descrito por Mori *et al.* (1999), no Laboratório de Química e no Laboratório de Fluorescência de Raios-X, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Foram selecionadas 16 amostras para estudos de litogeoquímica, preparadas no Laboratório de Tratamento de Amostras (LTA), do Departamento de Mineralogia e Geotectônica (GMG) do IGc-USP, seguindo as seguintes etapas: britagem com marreta, prensagem, moagem com moinho de anéis utilizando painéis de ágata, micronização e prensagem para confecção de pastilhas prensadas;

- ♦ Realização de análises químicas em 9 amostras selecionadas para a determinação de 14 elementos terras raras, além de 11 elementos traço por espectrometria de massa com plasma induzido acoplado – ICP-MS, dotado de espectrômetro do tipo quadrupolo, modelo ELAN 6100DRC da PerkinElmer/Sciex, no Laboratório de Química e ICP-MS, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo;

- ♦ Confecção de parte dos diagramas binários e ternários de classificação geoquímica utilizando o software PetroGraph 1.0.5 (Petrelli, 2005). A interpretação dos dados foi feita a partir de Rollinson (1993), Sun & Mc Donough (1989) e Pearce *et al.*, (1984).

- ♦ Tratamento dos dados estruturais e dados químicos.

5. CONTEXTO GEOLÓGICO

5.1 Trabalhos anteriores

Os trabalhos pioneiros com unidades pré-cambrianas na região sul do Estado de Minas Gerais foram desenvolvidos por Ebert (1954, 1955, 1956a, 1956b, 1958, 1968, 1971), quando definiu as Séries Andrelândia, Juiz de Fora e Paraíba (Ebert, 1954) e por Barbosa (1954), quando definiu a Série Mantiqueira. Ebert (1956, 1968, 1971) propôs um modelo de compartimentação tectônica que envolvia duas faixas orogenéticas nas margens de uma zona tectonicamente estável: Faixa Paraibídes, na região costeira, e a Faixa Araxaídes, que se estende do sul de Minas Gerais ao norte de Goiás. O Cinturão Paraíba foi posteriormente denominado Cinturão Ribeira por Almeida *et al.*, (1973).

As rochas notadamente granulíticas da região foram primeiramente descritas por Ebert (1954) ao definir a Série Juiz de Fora. Posteriormente (1955, 1956a, 1956b, 1968, 1971) essa associação foi englobada no Grupo Paraíba por este autor. A unidade foi redefinida por Barbosa & Grossi Sad (1983a, 1983b, 1983c) e Grossi Sad & Barbosa (1985), que passaram a denominá-la Complexo Juiz de Fora, definido como a associação de duas unidades litológicas intimamente relacionadas, a Comendador Venâncio (charnockitos melhor preservados) e Raposos (migmatitos e biotita gnaisses kinzigíticos), apresentando várias faixas de granulitos variados associadas, definidas pelos autores como Unidade Itaperuna. Nos trabalhos de Almeida *et al.*, (1980) e Hasui (1982) os termos Cinturão Granulítico Rio Grande e Cinturão Granulítico Atlântico eram utilizados para designar faixas granulíticas de idade arqueana, retrabalhadas nos eventos termo-tectônicos transamazônico e brasileiro.

Alguns autores sugeriram que o Complexo Juiz de Fora e os Gnaisses Mantiqueira fazem parte de um mesmo conjunto litoestratigráfico (porções inferiores e superiores, respectivamente) e interpretaram os granulitos ortoderivados do Complexo Juiz de Fora como os equivalentes mais metamórficos do Complexo Mantiqueira (Figueiredo *et al.*, 1992; Heilbron, 1993; Heilbron *et al.*, 1994b). Segundo Heilbron *et al.* (1994b), os granulitos ortoderivados do Complexo Juiz de Fora apresentam semelhanças mineralógicas, estruturais, texturais e composicionais com os ortognaisses do Complexo Mantiqueira. A constituição litológica resumida definida pelos autores é formada por rochas granulíticas de derivação ígnea e sedimentar, além de gnaisses e migmatitos de alto grau.

O Complexo Juiz de Fora ocorre na forma de lascas tectônicas e são constituídos predominantemente por enderbito gnaisses que compõem suítes cálcio-alcálinas de afinidade

juvenil (Figueiredo & Teixeira, 1996; Duarte *et al.*, 1997). Os corpos lenticulares de rochas metabásicas intercalados nos litotipos do Complexo Juiz de Fora são caracterizados por toleíitos de baixo-K similares a IAB (basaltos de arco de ilhas) e MORB (basalto de cadeia meso oceânica) (Costa, 1998).

Trouw *et al.*, (1983) redefiniram as unidades do Grupo Andrelândia, reconhecendo os seguintes litotipos: quartzito intercalado com xisto, com predomínio dos xistos quartzosos, compostos por quartzo e muscovita, com granada, estaurolita e cianita subordinados (eventualmente sillimanita); Xisto Santo Antônio, homogêneo, que grada para gnaisses finamente bandado, rico em quartzo, muscovita e granada e Xisto Cachoeira das Marias, semelhante ao Xisto Santo Antônio, que alterna níveis ricos em cianita com níveis mais micáceos e lentes de gnaisses calciossilicáticos e *boudins* de anfibolitos.

Foi realizado um mapeamento na escala 1:100 000 (Folha Lima Duarte) por Pinto *et al.*, (1991) que determinou um embasamento constituído de ortognaisses tipo TTG e granada-biotita gnaisses migmatizados pertencentes ao Complexo Mantiqueira, como uma unidade do proterozóico inferior, em domínio de infra-estrutura de crosta intermediária, cavalcado por uma sequência metassedimentar, com paragnaisses, xistos e quartzitos, do proterozóico médio.

O mapeamento na escala 1: 50 000 realizado por Campos Neto *et al.*, (1996a) reconheceu na região de Lima Duarte (MG) unidades pré-cambrianas do Complexo Mantiqueira, Grupo Andrelândia e Complexo Juiz de Fora organizados em zona de cisalhamento dúctil-rúptil de baixo ângulo. O Complexo Mantiqueira ocorre alóctone (*Nappe* Lima Duarte) na base de sistemas rúpteis de cavalgamentos, exibindo na foliação principal um metamorfismo na transição anfibolito alto-granulito. É composto por ortognaisses tonalito-trondjemíticos bandados, com lentes tectônicas métricas de granada anfibolitos e corpos alongados de enderbitos, com cerca de 15 Km², aparentemente intrusivos. O Grupo Andrelândia ocorre alóctone sobre o Complexo Mantiqueira e estruturado em duplexes de sistemas de cavalgamentos Serra Negra (superior) e Conceição do Ibitipoca (inferior), na forma de espessos pacotes (750m) de quartzitos grossos recristalizados na foliação milonítica, entre (sillimanita)-granada-biotita-plagioclásio gnaisses e gnaisses francamente peraluminosos, com mica branca, sillimanita e relíquias de rutilo (Campos Neto *et al.*, 1996b).

A *Nappe* Lima Duarte foi descrita por Campos Neto & Caby (1999) como Complexo *Nappe* Quartzítica, composto por rochas quartzíticas e metapelitos (com estaurolita, ilmenita, granada, muscovita, quartzo e turmalina subordinada) alóctones sobre um terreno mais antigo, composto por lascas de ortognaisses migmatíticos e metaultramáficas, já considerado por

Trouw *et al.*, (1983). No mapeamento da Folha Andrelândia, Paciullo *et al.*, (2002) separaram o embasamento gnáissico das sucessões metassedimentares do Neoproterozóico, interpretadas como Megassequência Andrelândia. Consideraram o embasamento constituído por ortognaisses granodioríticos e tonalíticos, localmente granulíticos e em parte modificados por anatexia com ocorrência de intercalações de anfibolito e de rochas metaultramáficas, que corresponderiam ao Complexo Mantiqueira (Figueiredo & Teixeira, 1996 e Campos Neto *et al.*, (2004). A Megassequência Andrelândia foi mapeada com cinco unidades, sendo uma associação de seis litofácies sem nomenclatura formal de grupo ou formação.

5.2 Orógeno Brasília Meridional

A Colagem Brasileira no sudeste brasileiro pode ser dividida em dois sistemas orogênicos maiores: Tocantins e Mantiqueira (Brito Neves *et al.*, 1999; Campos Neto, 2000) ou Faixas Brasília e Ribeira (Trouw *et al.*, 2000). Segundo Campos Neto & Caby (1999), a Colagem Orográfica Brasileira resulta de múltiplas orogêneses entre diferentes placas e terrenos, que culminaram na aglutinação do protocontinente Gondwana. O Orógeno Tocantins Meridional registra os episódios de subducção e colisão neoproterozóicos durante o fechamento do paleo-oceano Goianides, oriundo da quebra toniana de Rodínia, representando a convergência da Placa Sanfranciscana sob a Placa Paranapanema (Marangoni, 1994). O Sistema Orográfico Mantiqueira reúne diacronicamente, microplacas e terrenos, associados ao fechamento do paleo-oceano Adamastor (Campos Neto *et al.*, 2004).

O Orógeno Tocantins Meridional representa uma pilha colisional de *nappes* entre três ambientes tectônicos principais (de WSW para ENE): domínio de arco magmático desenvolvido na margem continental ativa da Placa Paranapanema (*Nappe* Socorro-Guaxupé), domínio continental subductado (Terreno Andrelândia), e domínios com afinidades de margem passiva e/ou relacionados à Placa Sanfranciscana (Sistema de *Nappes* Carrancas e *Nappe* Lima Duarte) (**Figura 2**).

A *Nappe* Socorro-Guaxupé é uma espessa pilha alóctone (~15Km), representada por três unidades distintas de crosta continental profunda: a Unidade Granulítica Basal, a Unidade Diatexítica Intermediária e a Unidade Migmatítica Superior (Campos Neto & Caby, 2000). A Unidade Granulítica Basal é constituída de Grt-Bt-Opx ($\pm$ Cpx-Amp) granulito-gnaisses bandados, de composição enderbítica a charnockítica, intercalados por gnaisses gabro-noritos. Os granulitos possuem uma assinatura química cálcio-alcalina e composição intermediária, enquanto que os granulitos máficos exibem uma assinatura toleítica (Campos Neto *et al.*, 1996; Choudhuri *et al.*, 1998; Janasi, 1999). Também apresentam leucossomas anidros,

hololeucocráticos, a Grt e Opx e ortognaisses migmatíticos de composições tonalito-granodioríticas (Fernandes *et al.*, 1987) que ocorrem em faixas descontínuas no topo da unidade granulítica.

Figura 2: Mapa tectônico da extensão sul do Orógeno Brasília (Campos Neto *et al.*, 2010), com indicação da área de estudo.

Essas unidades mostram uma foliação metamórfica de baixo ângulo, com lineação mineral desenvolvida em condições de deformação não-coaxial, com modificação do volume. Prevalcem indicadores cinemáticos de topo para ENE. Também ocorrem zonas de cisalhamento sin-metamórficas normal-oblíquas.

Dados geocronológicos sugerem que o metamorfismo de ultra-alta temperatura, que foi o principal gerador de rochas no interior da *nappe*, ocorreu há 625 ± 5 Ma. As unidades superiores mostram uma trajetória de aquecimento quase isobárico e atingem condições de $900 \pm 50^\circ\text{C} - 6,5 \pm 2$ Kbar. Essas temperaturas elevadas em baixa profundidade sugerem um forte gradiente termal, em um modelo geotérmico relaxado, análogo aos ambientes de margem ativa com manto astenosférico raso. A unidade basal registra condições de alta pressão $\sim 850^\circ\text{C} - 14$ Kbar (Campos Neto & Caby, 2000), sendo este cenário metamórfico compatível com um ambiente tectônico relacionado a uma profunda raiz de arco magmático.

O terreno Andrelândia representa um sistema de *nappes* de alta pressão, estiradas e transportadas para ENE e NE, que estão colocadas sob a *nappe* Socorro-Guaxupé. Consiste da pilha metassedimentar do Grupo Andrelândia redefinido por Trouw *et al.*, 1983. As *nappes* superiores (~5Km de espessura), de alta pressão e alta temperatura ocorrem a WSW (Três Pontas –Varginha, Pouso Alto e *Klippe* Carvalhos) e consistem de Rt-(Sil)-Ky-Grt granulitos, com bandamento composicional herdado da estratificação sedimentar e delineado por distintas proporções entre Ky e Grt e entre Pl e Kfs. Intercalações de (Ky-Grt-Bt) quartzitos, gnaisses calciossilicáticos e granulitos básicos, são frequentes. Leucossomas de Ky gnaiss granítico branco e filões de (Ky-Grt) leucogranito também estão presentes (Campos Neto *et al.*, 2004).

As *nappes* inferiores de alta pressão (~1500 metros de espessura) (Carmo da Cachoeira e Aiuruoca-Andrelândia) apresentam na base quartzitos com intercalações de micaxistos e subordinadamente gnaisses calciossilicáticos. Regionalmente Rt-Grt-Bt-Pl-Qtz xisto/gnaiss homogêneo e com espessura de até 750 metros (Xisto Santo Antônio, Trouw *et al.*, 1983) ocorre no interior de Rt-Als-Grt-Bt-Ms xistos com espessura aparente de 2000 metros. Tanto a unidade do Xisto Santo Antônio quanto os níveis de Ky-Grt gnaiss granulíticos das *nappes* superiores, possuem uma assinatura química de grauvas, com área fonte em ambiente de margem ativa (Campos Neto *et al.*, 2004).

São reconhecidas duas trajetórias metamórficas distintas na pilha metassedimentar (Campos Neto & Caby, 1999, 2000). O primeiro caminhameto metamórfico é de descompressão isotérmica e está registrado tanto no cianita granulitos basais da *nappe* superior como nas metabásicas retro-eclogíticas da *nappe* inferior. O segundo caminhameto é de aquecimento quase isobárico e ocorre no topo e na retaguarda das *nappes* com granulitos se reequilibrando na zona da sillimanita a 900°C. O metamorfismo de alta pressão (Ky granulitos) da base da *nappe* Três Pontas-Varginha possui idade de 635 ± 20 Ma e o metamorfismo de ultra-alta temperatura (Sil granulitos) do topo da estrutura foi datado em 612 Ma, o que separa os dois eventos metamórficos em 16 Ma, com uma velocidade de exumação estimada de 0,75 mm/ano. A subducção ocorreu concomitante com rápida exumação por cavalgamentos, acompanhados de erosão e denudação tectônica. O encurtamento colisional devido às pilhas adelgadas de *nappes* e megadobras recumbentes está registrado em níveis de crosta médio-inferior, definindo um padrão metamórfico inverso (Campos Neto *et al.* 2004).

A *Nappe* Lima Duarte está localizada na porção oriental do sistema orogênico. É cavalgada a SE pela *Nappe* Andrelândia e ambas cavalgam a sequência metassedimentar do

Grupo Carrancas. É limitada pela Zona de Cisalhamento Rio Preto a sul, que representa a extensão meridional da sutura Abre Campo com o Terreno Juiz de Fora (Haraly *et al.*, 1985; Fischel *et al.*, 1998; Costa *et al.*, 1998; Pedrosa-Soares & Noce, 1998). Seu conteúdo litológico consiste de ortoquartzitos miloníticos, muito grossos, imbricados com paragneisses e xistos pelíticos, e subordidamente gnaisses calciossilicáticos. Difere das unidades do Grupo Andrelândia na definição original de Trouw *et al.*, (1983) no conteúdo litológico, no registro metamórfico e na infraestrutura antiga incorporada. Na região de Lima Duarte (MG), os gnaisses do Complexo Mantiqueira ocorrem como parte de um segmento alóctone, amalgamado à borda cratônica durante a colagem orogênica Neoproterozóica. Estas rochas representam lascas de uma crosta inferior imbricadas tectonicamente na *Nappe* Lima Duarte (Campos Neto *et al.* 2004).

A *Nappe* Lima Duarte está articulada em duplexes de um sistema de cavalgamentos. As lineações minerais sin-metamórficas indicam o transporte da *nappe* para ENE a sul, que inflete em direção ao norte para NNE, definindo uma trajetória curva ao longo de 60 Km de transporte, controlado pela foliação de baixo ângulo para SE. A delgada capa metassedimentar superior reorganizou-se um duplex rúptil, *thin-skinned*, posterior ao dobramento da foliação com vergência para NW (Campos Neto *et al.*, 2004).

O sistema de *Nappes* Carrancas compreende uma sequência metassedimentar, organizada em quatro escamas de cavalgamento com infraestrutura gnáissica engajada e sotoposta às *nappes* Aiuruoca-Andrelândia e Lima Duarte. É constituído pelo Grupo Carrancas (Trouw *et al.*, 1982, 1983) com Ms quartzitos placosos sobre Mag-Ms-Bt-Qtz gnaisses (Fm. São Tomé das Letras), seguidos por (Grt)-Qtz-Ms xistos, no geral grafitosos com lâminas rítmicas de quartzito fino e níveis discretos de metacalcáreo (Fm. Campestre). A idade de deposição da pilha sedimentar pode ser admitida no Neoproterozóico. A posição paleogeográfica de margem passiva da borda sul da Placa Sanfranciscana tem sido referida por Ribeiro *et al.* (1995), Trouw *et al.* (2000), Campos Neto (2000). O enxame de rochas ultramáficas pode representar injeções do manto no estágio de adelgaçamento e rompimento da borda continental. O metamorfismo aumenta de norte para sul, da fácies xisto verde a fácies anfibolito em presença de (Sil)-St-Grt-Ky (Ribeiro & Heilbron, 1982; Heilbron, 1985) e metapelitos do *front* alóctone apresentam condições metamórficas de $\sim 500^{\circ}\text{C} - 7,5 \pm 0,5 \text{ Kbar}$ (Campos Neto & Caby, 1999).

Em processos relativamente rápidos de extrusão acompanhados de erosão e denudação tectônica contemporâneos ao cavalgamento, há o registro de padrões metamórficos invertidos (Hogdes *et al.*, 1993; Vannay & Hodges, 1996), semelhante ao registrado no Sistema

Orogênico Himalaiano. Segundo Campos Neto & Caby (1999), existiria um único evento colisional, do tipo himalaiano, na formação do complexo sistema de *nappes*.

Alguns autores consideram o segmento meridional da Faixa Brasília como resultante da interferência de duas faixas móveis, Brasília e Ribeira (Ebert, 1984; Trouw *et al.*, 1994). Heilbron *et al.* (1995) consideram a área em questão como sendo um segmento central da Faixa Ribeira e propuseram para este setor uma compartimentação tectônica regional subdividida em quatro domínios tectônicos imbricados em direção ao cráton do São Francisco: Domínio Autóctone (mais próximo à área cratônica), Domínio Alóctone Inferior, Domínio Alóctone Médio e Domínio Alóctone Superior, sendo os domínios alóctones correspondentes aos domínios Andrelândia e correlatos, Juiz de Fora e Paraíba do Sul, respectivamente.

Ribeiro *et al.*, (1995) acreditam que essas seqüências participaram de mais de um episódio de deformação e metamorfismo brasileiros. O episódio mais antigo teria ocorrido em torno de 600Ma produzindo transporte tectônico de topo para leste, associado ao metamorfismo de fácies granulito de alta pressão no campo de estabilidade da cianita, resultando na formação de rochas retro-eclogíticas. Corresponderia à colisão entre o Maciço Guaxupé com o proto-cráton do São Francisco, sendo correspondente ao episódio que produziu a Faixa Móvel Brasília. Um novo episódio tectônico teria ocorrido em torno de 570Ma, resultando em encurtamento crustal com transporte para NNW, acompanhado de dobramentos em escala regional. O metamorfismo relacionado a este evento seria de pressão intermediária, no campo de estabilidade da sillimanita, e é caracterizado pela formação de numerosos corpos anatéticos. O último episódio corresponde a uma compressão E-W que gerou zonas de cisalhamento transpressionais, subverticais de orientação NE-SW e com sentido de movimentação dextral. Estes dois últimos episódios são relacionados à Faixa Móvel Ribeira, sendo assim, esta região é considerada por alguns autores como uma zona de interferência entre as faixas móveis Brasília e Ribeira.

5.3 A *Nappe* Lima Duarte e o Complexo Mantiqueira

A *Nappe* Lima Duarte é constituída predominantemente por paragneisses migmatíticos com granada, biotita e sillimanita e ortoquartzitos de granulação grossa, com intercalações esparsas de gnaisses cálcio-silicáticos e anfíbolitos (Campos Neto *et al.*, 2004). O Complexo Mantiqueira constitui o embasamento das rochas do Ciclo Depositional Andrelândia no domínio tectônico homônimo (Andreis *et al.*, 1989; Heilbron, 1993; Duarte, 1998).

A pilha metassedimentar da *Nappe* Lima Duarte consiste de ortoquartzitos muito grossos, recristalizados em textura milonítica, que predominam sobre os quartzitos imaturos (com muscovita, feldspato, sillimanita e turmalina) e ocorrem em lascas alóctones, espessas de até 750m, imbricadas com sillimanita-granada-biotita gnaisses migmatíticos (superiores), com intercalações esparsas de gnaisses calciossilicáticos e rochas metabásicas. Segundo Nummer (1990, 1992), as unidades litológicas na região de Lima Duarte (MG) podem ser divididas em dois conjuntos principais. A seqüência inferior é constituída por gnaisses migmatíticos bandados, que correspondem aos ortognaisses do Complexo Mantiqueira, com intercalações de máficas e ultramáficas, além de rochas ígneas intrusivas, com textura grossa, metamorfizadas ou não, em fácies granulito superior. A seqüência superior é constituída por metassedimentos proterozóicos pertencentes ao Grupo Andrelândia.

Foram reconhecidas duas unidades tectono-estratigráficas distintas no Grupo Andrelândia, separadas por falhamento de empurrão que dividiu o Grupo Andrelândia em uma parte autóctone e outra alóctone (Nummer, 1990). O Grupo Andrelândia Autóctone possui características de deformação intensa e é constituído por biotita gnaiss finamente bandado, associado com muscovita xisto na base, e com granada-estauroлита-cianita (sillimanita) xisto no topo. O Grupo Andrelândia Aulóctone foi subdividido em três unidades por Nummer (1990), baseado em correlações com colunas estratigráficas propostas por Trouw *et al.*, (1986), Valeriano (1985), Noce (1987), Gonçalves (1987), Ribeiro & Heilbron (1983) e Andreis *et al.*, (1989).

A unidade basal é composta por gnaiss finamente bandado, intercalado com quartzito micáceo, granada-estauroлита-muscovita xisto e sillimanita xistos, que constitui a transição litológica para um quartzito grosso com textura semelhante a “sal grosso”, que delinea as principais serras da região. Ocorrem adelgaçamentos e espessamentos neste quartzito, que pode ainda conter intercalações com mica xisto e quartzo xisto.

A unidade intermediária é composta por biotita gnaiss bandado, granada-biotita-muscovita xisto homogêneo, tipo Santo Antônio (Trouw *et al.*, 1983) e hornblenda gnaiss, localmente com intercalações de quartzitos micáceos, mica xistos, sillimanita xistos e gnaisses finamente bandados.

A unidade de topo engloba grande quantidade de litotipos interestratificados, com níveis basais mais quartzosos, gradando para termos mais micáceos no topo (“seqüência estratificada” de Trouw *et al.*, 1983; Gonçalves, 1987). É constituída por quartzitos micáceos, gnaisses bandados com níveis anfibolíticos, quartzo xistos e raramente rochas calciossilicáticas. Na região de Lima Duarte também foram descritas faixas de

metassedimentos compostas por sillimanita gnaiss bandado, sillimanita-granada-quartzo-biotita xisto e granada-muscovita-sillimanita xisto, além de gabro fino, com textura granular idiomórfica e fenocristais euédricos de plagioclásio (labradorita), relacionado a um provável evento magmático tardio (Nummer, 1990).

O Complexo Mantiqueira, infraestrutura alóctone da *nappe*, é constituído de ortognaisses migmatíticos e polimetamórficos, de composição granodiorítica, tonalítica ou trondhjemítica, destacando-se os biotita gnaisses e hornblenda-biotita gnaisses, que correspondem ao “núcleo” Mesoarqueano (2,98 Ga, Figueiredo & Teixeira, 1996). Os ortognaisses migmatíticos e policíclicos do Complexo Mantiqueira ocorrem associados com rochas de composição enderbítica a charnockítica que constituem suítes cálcio-alcalinas, com freqüentes intercalações de rochas metabásicas pertencentes à série toleítica transicional (Duarte *et al.*, 2004). As rochas metabásicas ocorrem intercaladas na forma de *boudins* ou enclaves métricos alongados, que acompanham a estruturação das rochas encaixantes, onde podem formar bandas pouco ou totalmente transpostas. As rochas metabásicas são anfíbolitos com variadas proporções de clinopiroxênio-granada-biotita e com características texturas coroníticas mono e pluriminerálicas. Também são comuns corpos anatéticos associados, de composição granítica e em geral indeformados, além de granada-biotita gnaiss enderbítico e lascas métricas de granada-clinopiroxênio-quartzo-hornblenda granulito, ambos de 2,08Ga (Campos Neto *et al.*, 2004).

Duarte (1998) definiu através de análises isotópicas, que o Complexo Mantiqueira tem formação em parte no Arqueano e em parte no Paleoproterozóico. Esta unidade apresentaria características geoquímicas de ambientes extensionais para algumas rochas básicas e compressivas para as intermediárias a ácidas. O ambiente tectônico de formação do Complexo Mantiqueira teria sido caracterizado por grande instabilidade e um regime rápido, onde as rochas cálcio-alcalinas intermediárias e ácidas teriam se formado em ambientes equivalentes a arcos vulcânicos/magmáticos de ambientes colisionais. A mesma autora descreve a ocorrência de dois pulsos metamórficos distintos nas unidades dos Complexos Juiz de Fora e Mantiqueira. O mais antigo é definido por uma textura granoblástica, de fácies granulito e caracterizado por temperaturas mais elevadas e pressões baixas a intermediárias, enquanto que o pulso mais novo é contemporâneo à deformação principal, com temperaturas e pressões intermediárias, responsável pelo desenvolvimento da foliação milonítica principal.

Dados de geocronologia (U-Pb SHRIMP) existentes na literatura indicam que os ortognaisses do Complexo Mantiqueira foram retrabalhados em pelo menos dois eventos metamórficos distintos: um no Transamazônico e outro no Brasileiro (Duarte, 1998; Silva *et*

al., 2002; Silva *et al.*, 2005a). Noce *et al.* (2007) obtiveram 2050 Ma (U-Pb ID TIMS) para os ortognaisses do Complexo Mantiqueira, que corroboram com os resultados previamente obtidos por geocronologia (U-Pb SHRIMP). Silva *et al.* (2002) obteve 2182-2058 Ma para as idades de cristalização dos ortognaisses Mantiqueira e 2180-2160 Ma para os núcleos de zircões herdados, que derivam da fusão parcial de granitóides relacionados a arco magmático (magmatismo sin-colisional a 2102-2058 Ma). Heilbron *et al.* (2001) obteve idade de cristalização a 2203 ± 17 Ma, com evento metamórfico a 2040 ± 47 Ma. Os resultados obtidos por Heilbron *et al.* (2001) sugere uma evolução complexa, relacionada a ambiente de arco magmático para as rochas do Complexo Mantiqueira. Campos Neto *et al.*, (2004) realizaram datações em rochas ortoderivadas intrusivas no Complexo Mantiqueira, que forneceram idades de 2080 Ma (U-Pb SHRIMP) para o granito gnaisse e 2082 ± 33 Ma (U-Pb_{Zrc}) para o enderbito gnaisse da região de Pedro Teixeira (MG), que se situam no intervalo de 2182-2058 Ma definido por Silva *et al.* (2002) para a cristalização dos litotipos do Complexo Mantiqueira.

Os estudos de Vilela (2000) (Opx-Sil em quartzitos) e Campos Neto *et al.* (2004) apontam condições metamórficas de alto grau na região de Lima Duarte. O equilíbrio da paragênese ocorre a 850°C a 10Kbar (Campos Neto *et al.* 2004), em contraste com os paragnaisses, que não teriam atingido temperaturas superiores a 800°C. Vilela (2000) calculou condições P-T máximas de 750°C a 16Kbar para os granulitos máficos. O equilíbrio metamórfico definido pela migração de *nappes* no Sistema Orogênico Brasília Meridional ocorreu a 615 ± 4 Ma na *Nappe* Socorro-Guaxupé, a 612 Ma na *Nappe* Três Pontas-Varginha e a 607 ± 3 Ma na *Nappe* Aiuruoca-Andrelândia (Campos Neto *et al.*, 2004). Idades (U-Pb_{Zrc}) em zircão apontam idade de 611 Ma para o sillimanita-muscovita quartzito da *Nappe* Lima Duarte (Machado *et al.*, 1996). A anatexia relacionada ao relaxamento térmico colisional está registrada nos leucogranitos intrusivos na *Nappe* Lima Duarte, há 580-570 Ma (Campos Neto *et al.*, 2004). Datações (U-Pb SHRIMP) em zircões forneceram idades de 620.8 ± 2 Ma e 586.9 ± 9 Ma (Trouw *et al.*, 2008) para os litotipos da *Nappe* Andrelândia. O primeiro evento de 620.8 ± 2 Ma é interpretado como metamorfismo associado à Faixa Brasília, enquanto que o evento em 586.9 ± 9 Ma é relacionado ao metamorfismo da Faixa Ribeira (Trouw *et al.*, 2008).

6. DESCRIÇÃO DAS UNIDADES TECTÔNICAS

Observação: Mapa geológico em anexo. As abreviações de minerais adotadas neste texto são baseadas em Kretz (1983).

6.1 *NAPPE* ANDRELÂNDIA

6.1.1 Granada-biotita-plagioclásio-quartzo xisto homogêneo (Xisto Santo Antônio)

Esta unidade constitui uma camada intermediária na *Nappe* Andrelândia (Campos Neto *et al.*, 2007). Na região de Lima Duarte (MG) esta unidade é o topo e ocorre em contato gradacional sobre o granada-sillimanita-biotita-quartzo xisto. Foi denominada de Xisto Santo Antônio por Trouw *et al.* (1983). Apresenta estrutura bandada, com textura porfiroblástica inequigranular média a grossa (porfiroblastos milimétricos a centimétricos de granada), em matriz inequigranular fina a média, que alterna leitos quartzo-feldspáticos granoblásticos com leitos lepidoblásticos ricos em biotita.

Ocorrem duas gerações de granada: uma pré a sin-cinemática, com muitas inclusões de biotita, quartzo, estaurolita, muscovita, apatita e opacos, frequentemente esqueletal, com sombras de pressão de biotita e outra pós- cinemática, sub-idioblástica, com menor quantidade de inclusões. Também são observadas três gerações de biotita: pré a cedo-cinemática inclusa na granada; sin-cinemática (sin-S₂) como sombras de pressão na granada e orientada segundo a foliação oblíqua S₃. A fase retrometamórfica é caracterizada pela formação de clorita e muscovita substituindo a biotita. As principais fases acessórias são: muscovita, clorita, estaurolita, zircão, apatita e opacos.

6.1.2 Granada-sillimanita-muscovita-biotita-quartzo xisto e Muscovita-biotita gnaisses com sillimanita

Esta unidade constitui a base da *Nappe* Andrelândia e ocorre predominantemente como um corpo alóctone, em contato tectônico de cavalgamento sobre gnaisses do Complexo Mantiqueira. É cavalgado pelos quartzitos da *Nappe* Lima Duarte. Na maior parte das exposições, a rocha encontra-se muito alterada, com coloração característica avermelhada a violeta, com bandas mais claras. Localmente apresenta intercalações métricas de biotita gnaisses.

O granada-sillimanita-muscovita-biotita-quartzo xisto apresenta textura porfiroblástica grossa (porfiroblastos de granada de até 1,5cm), em matriz lepidoblástica (biotita e muscovita), onde localmente desenvolve aspecto nematoblástico, quando rico em sillimanita. A foliação principal S_2 é definida pelos leitos ricos em biotita e muscovita, que localmente marcam também a S_3 . A foliação anterior encontra-se mimetizada na forma de arcos poligonais de micas.

O muscovita-biotita gnaiss com sillimanita apresenta textura predominantemente granoblástica, com leitos micáceos com sillimanita, apresentando textura nematolepidoblástica. A foliação principal S_2 é definida pelos leitos ricos em biotita e muscovita, que amoldam os leitos quartzo-feldspáticos bastante estirados e com forma sigmoidal. Esta foliação encontra-se dobrada, e frequentemente com o crescimento de micas (principalmente muscovita) ao longo dos planos axiais.

Há um registro da foliação anterior S_1 na forma de arcos poligonais de sillimanita, com os flancos paralelizados a foliação principal. Também foram observados cristais idioblásticos de sillimanita, com recristalização estática na forma de pares S-C. Estes tipos de estruturas ocorrem na forma de inclusão em muscovita tardia, idioblástica, de granulação grossa e com orientação oblíqua em relação à foliação principal.

6.2 NAPPE LIMA DUARTE

6.2.1 Biotita granito-gnaiss porfiroblástico

A unidade ocorre em contato com o Gnaiss Mantiqueira e o sillimanita-granada-biotita gnaiss metatexítico. Constituem corpos intrusivos de orientação geral NE-SW, alojados junto a zonas de falha e injetados entre bandas dos gnaisses vizinhos.

São rochas de coloração cinza clara, em geral homogêneas, com biotita, foliação incipiente na matriz e megacristais idiomórficos a subidiomórficos de feldspato (1-10cm). Os feldspatos chegam a ocupar aproximadamente 20% em volume da rocha. Apresenta estrutura incipientemente bandada e foliada, com textura porfiroblástica grossa em matriz inequigranular fina, composta por quartzo, feldspato e biotita (20-40%), predominantemente granoblástica. Exibe um caráter porfiroclástico nas proximidades de zonas de cisalhamento, onde ocorre deformação dos megacristais de feldspato. As bandas félsicas quartzo-feldspáticas (dimensão centimétrica) apresentam textura granoblástica grossa e se alternam com bandas lepidoblásticas finas, ricas em biotita.

Essas rochas podem apresentar tanto o feldspato alcalino como o plagioclásio (andesina) como predominante na rocha. Os grãos de quartzo e feldspato que constituem a matriz são em geral granoblásticos, de granulação fina a média (0,2-0,5mm). Os porfiroblastos/porfiroclastos de feldspato são subidioblásticos a xenoblásticos, muito fraturados e alterados para sericita. Nas bordas destes cristais e no contato com outros grãos há domínios de sub-grãos. O quartzo exibe com frequência extinção ondulante e também ocorre intercrescido com feldspato (mirmequitas). Turmalina e muscovita ocorrem como minerais acessórios abundantes (~5%). Os minerais acessórios presentes são: alanita, zircão e opacos.

6.2.2 Granada-biotita gnaiss metatexítico

Esta unidade apresenta contato normal sobre os paragneisses com sillimanita, mas também ocorre em contato tectônico com os quartzitos e com os ortogneisses do Complexo Mantiqueira. A rocha apresenta cor cinza, textura granoblástica e estrutura bandada (**Figura 3**). As bandas de coloração cinza clara predominantes são inequigranulares de granulação média, constituídas de quartzo, feldspato, biotita e granada. Sillimanita pode estar presente, mas nunca em grande proporção. A granada em geral não ultrapassa 1.0cm. As bandas félsicas apresentam contato difuso e são constituídas por quartzo e feldspato de granulação grossa a muito grossa.

As bandas félsicas são constituídas por quartzo (75%), andesina (20%) e biotita (5%). A biotita e a fábrica de forma dos grãos de quartzo e feldspato definem a foliação paralela ao bandamento. Alguns agregados policristalinos de quartzo são sigmoidais, com divisão interna em sub-grãos poligonizados, evidência de deformação não-coaxial, com posterior recristalização estática dos grãos.

As bandas lepidoblásticas são constituídas de biotita (30-40%), granada (5%), quartzo (30-40%), sillimanita (<1%), muscovita (<1%) e andesina (20-30%). Os minerais acessórios são: zircão, apatita e opacos. Quartzo e feldspato em geral são granoblásticos, interlobados. Biotita apresenta coloração verde escura a marrom, hábito subidioblástico, alongada, definindo a foliação. A granada ocorre preferencialmente em associação com biotita, e pode estar parcialmente substituída pela biotita (**Fotomicrografia 1**). Possui hábito subidioblástico a xenoblástico, quase sempre com bordas corroídas e fraturadas, e contém diversas inclusões: quartzo, feldspato, biotita e opacos. O mineral quase sempre apresenta biotita na borda, e eventualmente clorita que pode aparecer na borda ou preenchendo fraturas, evidências de retro-metamorfismo. A sillimanita ocorre preferencialmente com hábito de fibrolita.

A foliação principal da rocha (S_2) é definida por biotita, sillimanita e muscovita. Ocorre granada com sombra de pressão, localmente com inclusões de biotita, quartzo e opacos alinhados, que marcam a foliação interna (S_i).

Figura 3: Granada-biotita gnaiss (SB-III-112).

6.2.3 Sillimanita – granada – biotita gnaiss metatexítico, sillimanita-granada-biotita gnaiss porfiroblástico com cianita e biotita-sillimanita gnaiss com muscovita e dumortierita

O litotipo predominante é o sillimanita-granada-biotita gnaiss metatexítico, com textura porfiroblástica, localmente com intercalações centimétricas a decimétricas de rochas básicas e de gnaisses calciossilicáticos, concordantes com a foliação principal. Pode ocorrer como um gnaiss homogêneo ou exibir bandamento composicional. O leucossoma estromático é inequigranular grosso, com espessura variável (dimensão centimétrica a métrica). Ocorrem bolsões quartzo-feldspáticos (leucogranito) de dimensão métrica, freqüentemente caulinizados, truncando a foliação e ocasionalmente concordando com ela. Localmente ocorrem camadas compostas exclusivamente por sillimanita, na forma de “pods” centimétricos (sillimanititos).

A foliação S_1 é admitida na charneira de dobras intrafoliais ou mimetizada como arcos poligonais de micas e/ou sillimanita na matriz (**Fotomicrografia 2**) ou mesmo como trilhos de opacos no interior de porfiroblastos intercinemáticos de granada. A foliação regional (S_2), localmente milonítica, está associada a um bandamento que alterna bandas granoblásticas quartzo-feldspáticas e bandas nematolepidoblásticas (sillimanita + biotita) (**Fotomicrografia 3**). Em algumas porções ocorrem dobras assimétricas, gerando uma foliação S_3 plano axial definida pelas micas e oblíqua em relação à foliação principal.

Possui quantidades variadas de granada, sillimanita, biotita e muscovita. Há o predomínio de plagioclásio, porém em alguns locais ocorre somente o ortoclásio. Localmente apresenta relíquias inclusas de cianita, associadas a ortoclásio, indicando a passagem por um campo bárico de pressão alta.

O sillimanita-granada-biotita gnaiss porfiroblástico com cianita tem ocorrência restrita na parte sul da área (**Figura 4**). A rocha apresenta cor cinza, estrutura bandada, e textura porfiroblástica (porfiroblastos pré-cinemáticos de granada e de plagioclásio, de granulação grossa) em matriz que alterna bandas granoblásticas com quartzo sigmoidal, bandas lepidoblásticas compostas por biotita e bandas lepidonematoblásticas compostas por sillimanita, com biotita, muscovita e cianita subordinadas. Localmente a foliação principal é milonítica, com porfiroclastos de plagioclásio e granada envolvidos por fitas de quartzo e leitos nematolepidoblásticos (**Fotomicrografia 4**).

A granada (5-7%) é em geral porfiroblástica e apresenta inclusões de plagioclásio, quartzo, biotita e muscovita, e possui zonas de sombra de pressão de biotita e sillimanita. Localmente ocorre xenoblástica, quando está substituída pela cianita (5%) (**Fotomicrografias 5 e 6**). A associação $Grt + Ky + Sil + Ms + Bt + Pl$ é bastante frequente, com a sillimanita substituindo a cianita. A sillimanita (10-15%) ocorre com hábito prismático e fibroso, em geral intercrescida com a biotita da matriz, na foliação principal S_2 .

É possível reconhecer duas fases distintas de biotita (20-25%): uma principal, de coloração castanho-avermelhada, possivelmente de alta temperatura e uma segunda, de coloração verde-clara, de baixa temperatura, em associação com granada, cianita e sillimanita. A muscovita (5-10%) substitui a cianita (**Fotomicrografias 7 e 8**), a sillimanita e a granada, e também ocorre em associação com $Pl + Sil + Bt$. Ocorre cianita na foliação principal S_2 , associada com arco poligonal de biotita de coloração esverdeada.

O plagioclásio está situado no limite composicional oligoclásio/andesina (An_{30}). Os porfiroblastos de plagioclásio (25-30%) encontram-se deformados, às vezes com sombra de pressão de biotita, muscovita e sillimanita ou amoldados pelas lentes granoblásticas de quartzo. O quartzo (15-20%) é poligonizado, apresentando contatos retos e com fraca extinção ondulante, indicando uma recristalização estática. Localmente invade os porfiroblastos de plagioclásio em zonas de sombras de pressão. As principais fases acessórias são: opacos, zircão e rutilo.

Figura 4: Sillimanita-granada-biotita gnaiss porfiroblástico (SB-IX-108).

O biotita-sillimanita gnaiss com muscovita e dumortierita foi descrito em um único afloramento (LD-III-219). A rocha possui textura nemato-granoblástica, inequigranular fina a grossa, caracterizada pela presença de concentrações localizadas de sillimanita (25-30%) e de lentes quartzo-feldspáticas sigmoidais, com biotita (5-10%) subidioblástica orientada na foliação principal. A sillimanita ocorre com hábito fibroso ou prismático, na forma de leitos estirados, definindo dobras intrafoliais em bainha, associadas a zonas de *boudins*. Em alguns locais, está intercrescida com biotita, na zona de charneira da crenulação.

O plagioclásio (20-25%) é inequigranular médio a grosso, bastante deformado e saussuritizado. Predomina o oligoclásio (An_{20-30}), com quartzo equigranular poligonal fino nas bordas dos cristais maiores. O quartzo (35-40%) também ocorre como grãos maiores, bastante recristalizados, na forma de sigmóides. A muscovita (<2%) é geralmente simplectítica e xenoblástica, associada com biotita idioblástica, sillimanita prismática e plagioclásio.

A dumortierita (<5%) ocorre em associação com sillimanita fibrolítica da matriz e, localmente associada com a biotita e o plagioclásio. Possui um pleocroísmo bastante intenso, variando de incolor a rosa-choque. A dumortierita é um borossilicato aluminoso, freqüente em condições de temperatura alta. Outras fases acessórias observadas são: zircão (<1%) subarredondado gerando halos pleocróicos na biotita e monazita (<1%) arredondada, associada com os leitos quartzo-feldspáticos.

6.2.4 Gnaisses calciossilicáticos

Esta unidade ocorre intercalada com os paragneisses descritos anteriormente, ou com rochas metabásicas. Apresentam um bandamento gnáissico com alternância de bandas

granoblásticas ricas em quartzo e plagioclásio e bandas granonematoblásticas com hornblenda, clinopiroxênio, granada, epídoto e zoisita, orientadas segundo a foliação principal S_2 . Também podem ocorrer bandas nematolepidoblásticas nas rochas ricas em biotita. O clinopiroxênio freqüentemente ocorre substituído por hornblenda nas bordas. A titanita geralmente aparece manteada por ilmenita. Localmente ocorrem coronas de epídoto no plagioclásio, quando em contato a hornblenda (**Fotomicrografia 9**). Também ocorrem gnaisses ricos em granada de coloração alaranjada (possivelmente rica no membro-final grossulária), formando leitos milimétricos a subcentimétricos granonematoblásticos, com hornblenda e epídoto (**Fotomicrografia 10**). Outros minerais acessórios observados são: clorita, muscovita, apatita, escapolita e zircão.

6.2.5 Rochas metabásicas

6.2.5.1 Clinopiroxênio anfíbolito com titanita

Apresenta textura granonematoblástica, inequigranular fina a média (**Fotomicrografias 11 e 12**). A hornblenda (50-65%) define a foliação principal S_2 , que está localmente dobrada. Freqüentemente apresenta inclusões de titanita, quartzo, plagioclásio e opacos. Localmente ocorrem cristais de hornblenda sigmoidais, com grãos de quartzo e plagioclásio nas bordas (NLD-37B).

O plagioclásio (10-35%) apresenta contatos suturados a lobados com outros grãos e está intensamente deformado na matriz. O quartzo (1-10%) ocorre principalmente incluso na hornblenda, goticular ou amebóide, ou na forma de leitos contínuos, aparentemente sem conexão com o quartzo da matriz. Esta feição pode sugerir uma recristalização de líquido no interior da hornblenda.

Os cristais de clinopiroxênio (5-20%) encontram-se bastante fraturados, sendo substituídos pela hornblenda nas bordas e ao longo das fraturas. Apresenta inclusões de quartzo, e localmente de plagioclásio, titanita e opacos. O ortopiroxênio (<5%), quando presente, é substituído por hornblenda pelas bordas e também apresenta inclusões de opacos, titanita e apatita. A titanita (5%) é xenoblástica ao redor de opacos e idioblástica a subidioblástica na matriz.

As principais fases acessórios são: opacos (<5%), biotita (<5%) apatita (<2%), epídoto (<1%) e zircão (<1%). Biotita subidioblástica, tardia, ocorre substituindo a hornblenda ao longo de fraturas e em direção concordante com a foliação principal. A apatita (<2%) ocorre na forma de cristais prismáticos subidioblásticos, dispersos na matriz, associados com

plagioclásio ou inclusos em hornblenda. Também ocorre carbonato (<1%) preenchendo interstícios, associado com hornblenda e quartzo.

6.2.5.2 Biotita anfibolito

Rocha foliada, com a foliação principal S_2 definida por hornblenda, plagioclásio e biotita. É caracterizada por uma textura lepidogranonematoblástica, com biotita (10-15%) idioblástica a subidioblástica, substituindo a hornblenda. O plagioclásio (35-40%) ocorre poligonizado na matriz com o quartzo (5-10%), sendo a andesina a fase predominante (An_{30-40}). Também ocorre plagioclásio reliquiar incluso em hornblenda (55-60%), assim como quartzo goticular. Localmente os opacos (5%) apresentam textura poiquiloblástica, englobando grãos de hornblenda, biotita, plagioclásio e quartzo. Também ocorre apatita (<2%), na forma de cristais prismáticos e aciculares, geralmente associada com hornblenda, plagioclásio ou quartzo.

6.2.6 Quartzito com muscovita

Esta unidade se destaca geomorfologicamente, pois sustenta as serras de maior altitude na região (**Figura 5**). Também ocorre tectonicamente intercalado nas rochas do Complexo Mantiqueira ou em outros litotipos da *Nappe* Lima Duarte, associado com intensa milonitização. É constituída por ortoquartzito homogêneo, inequigranular médio a grosso-muito grosso. Agregados policristalinos de quartzo apresentam contatos suturados entre os grãos, podendo adquirir formas sigmoidais e estrutura milonítica.

Figura 5: (A) Topo da Serra de Lima Duarte sustentada por ortoquartzito grosso, vista do Pão de Angu; (B) Topo da Serra do Pilão, sustentada por ortoquartzito grosso.

A muscovita e a biotita ocorrem na foliação principal S_2 , e definem uma lineação mineral. As micas também aparecem recrystalizadas na direção da foliação oblíqua S_3 . Dobras intrafoliais e *mullions* de intersecção também são freqüentes, às vezes formando pequenos “charutos”, de dimensão centimétrica a decimétrica. Foram observadas dobras recumbentes de dimensão métrica a decamétrica, antiformais, indicando vergência para NE.

Localmente ocorrem quartzitos com sillimanita e ortoclásio, indicando um metamorfismo progressivo passando por reações de quebra de muscovita. A fase retrógrada é caracterizada pela geração de muscovita e clorita, substituindo a biotita. Outras fases acessórias observadas são: opacos e zircão.

Associado a esta unidade, são freqüentes grandes depósitos de talus no sopé das serras quartzíticas de maior altitude. São constituídos por areia quartzosa muito grossa inconsolidada, proveniente da desagregação mecânica do quartzito, e por grandes blocos e matacões angulosos de quartzito (**Figura 6A**).

Figura 6: (A) Depósito de talus, proveniente da desagregação do quartzito, no sopé da Serra Negra; (B) Sillimanita-granada-biotita gnaiss quartzoso (SB-VII-17).

6.2.7 Granada-sillimanita-biotita-muscovita-quartzo xisto e sillimanita-granada-biotita gnaiss quartzoso

Esta unidade ocorre predominantemente como um corpo alóctone. O granada-sillimanita-biotita-muscovita-quartzo xisto apresenta textura porfiroblástica, com porfiroblastos sub-idioblásticos de granada (até 1cm), em matriz de textura lepidonematoblástica nos leitos ricos em biotita e sillimanita e granoblástica nos leitos quartzosos. Estes leitos definem a foliação dominante S_2 localmente crenulada. Localmente o quartzo ocorre lenticularizado segundo a foliação milonítica principal (S_2), na forma de

boudins milimétricos a centimétricos. São observados arcos poligonais de sillimanita, mimetizando a foliação anterior S_1 .

A biotita ocorre frequentemente intercrescida com a sillimanita fibrolítica ou como sombra de pressão na granada. A granada está substituída por quartzo e biotita nas bordas. É intercinemática e definida por um trilho de foliação interna (inclusões de biotita, muscovita, quartzo e sillimanita), discordante em relação à foliação externa.

O sillimanita-granada-biotita gnaisse quartzoso apresenta estrutura bandada, alternando leitos mais micáceos ricos em biotita, com estrutura xistosa e textura nematolepidoblástica, com leitos quartzo-feldspáticos granoblásticos, de dimensão milimétrica a centimétrica, granulação fina a média (0,5-2mm), inequigranular (**Figura 6B**). Localmente ocorrem leitos nematoblásticos constituídos exclusivamente por sillimanita (**Fotomicrografia 13**). Os porfiroblastos de granada são de granulação média, com sombra de pressão formada por biotita e sillimanita.

O sillimanita-granada-biotita gnaisse quartzoso possui uma composição modal aproximada de plagioclásio (20%), quartzo (40%), biotita (20%), opacos (5%), sillimanita (5-10%), granada (10-15%).

O gnaisse quartzoso encontra-se numa estrutura sinformal na Serra da Saudade (seção geológica anexo ao mapa geológico). As lentes quartzo-feldspáticas de leucossoma são concordantes com a foliação principal, e localmente apresentam dobras intrafoliais preservadas. Encontram-se estiradas e em *boudins* ao longo da foliação milonítica. Porções quartzosas mais espessas (~30cm) ocorrem como *boudins* estirados ao longo da foliação principal. Ocorre sillimanita na forma de arcos poligonais, indicando recristalização estática em fácies anfibolito (SB-VII-17).

6.3 COMPLEXO MANTIQUEIRA

Esta unidade consiste de ortognaisses migmatíticos com intercalações centimétricas a decimétricas de rochas metabásicas, na forma de *boudins* ou lentes concordantes com a foliação principal, além de rochas charnockíticas/enderbíticas. Os ortognaisses foram subdivididos em ortognaisses de composição granodiorítica a granítica (biotita gnaisses) e ortognaisses de composição tonalítica-trondhjemítica (hornblenda-biotita gnaisses e biotita gnaisses com granada).

Figura 7: (A) Afloramento extenso de enderbito gnaiss no Rio Grão Mogol (município de Pedro Teixeira-MG); (B) Enderbito gnaiss, com enclave máfico de dimensão decimétrica (NLD-44).

6.3.1 Rochas charnockíticas

As rochas charnockíticas e granulíticas relacionadas ao Complexo Mantiqueira ocorrem no norte da área estudada (nas proximidades do município de Pedro Teixeira). Estão afetadas por zonas de cisalhamento, que localmente definem o contato com os ortognaisses do Complexo Mantiqueira e com a seqüência metassedimentar da *Nappe* Lima Duarte. Afloram na forma de lajes em drenagens ou na forma de grandes blocos angulosos, o que dificulta determinar a natureza dos contatos em alguns locais (**Figura 7A**). Comumente são cortadas por injeções tonalíticas de dimensões variadas (milimétrica a decimétrica) e possuem rochas metabásicas associadas, tanto na forma de *boudins* ou enclaves máficos (**Figura 7B**). Localmente cortam ou venulam as rochas mais máficas, de composição intermediária a básica. Os charnockitos apresentam coloração cinza-esverdeada, granulação fina a média, chegando à grossa nos tipos mais félsicos, com estrutura maciça a foliada.

6.3.1.1 Enderbito gnaiss

Aflora na forma de grandes blocos e lajedos, freqüentemente com intercalações lenticulares de rochas metabásicas de dimensão centimétrica a subdecimétrica (**Figura 8A**). A estrutura do enderbito gnaiss é foliada, com textura nematogranoblástica a lepidonematogranoblástica, inequigranular fina a média (0,1-2,0 mm), com cristais idioblásticos a subidioblásticos de hornblenda e biotita orientados na S_n (**Figuras 8B, 8C e 8D**), localmente com megacristais de feldspato de até 4 mm (**Fotomicrografia 14**).

Figura 8: (A) Enderbitite gnaiss, com intercalação de granada granulito (NLD-41); (B) Enderbitite gnaiss (NLD-41H); (C) Estrutura incipientemente foliada em enderbitite gnaiss (NLD-41I); (D) Enderbitite gnaiss, com pouco feldspato potássico (em amarelo, após tingimento diferencial) (NLD-41I).

O plagioclásio (40-45%) encontra-se no limite composicional oligoclásio/andesina (An_{20-50}). Os contatos entre os grãos são predominantemente curvilíneos a lobados (localmente suturados). Os contatos retos são restritos aos grãos de plagioclásio poligonizados (**Fotomicrografia 15**). Os cristais maiores (1-2 mm) geralmente apresentam geminações curvadas e pontiagudas, com terminações voltadas para as bordas. Localmente ocorrem mirmequitas no contato entre os grãos de plagioclásio e feldspato potássico (<2%).

A hornblenda (30-35%) ocorre na forma de cristais subidioblásticos, orientados segundo a S_n , freqüentemente com microexsoluções inclusões goticulares de opacos, que tendem a se concentrar em clivagens, fraturas ou nas bordas dos grãos, com quartzo associado. Agregados de opacos de dimensão maior ocorrem associados à hornblenda e/ou biotita.

O ortopiroxênio (5-8%) está concentrado em leitos de dimensão subcentimétrica. Geralmente encontra-se substituído por anfibólio fibroso (uralita), intercrescimentos esqueletais de Bt + Qtz, seguido por biotita de granulação grossa e por hornblenda nas bordas

(Fotomicrografias 16, 17, 18, 19 e 20). Quando esta substituição é total, forma leitos lepidonematogranoblásticos, ricos em hornblenda, biotita e plagioclásio. O clinopiroxênio (<5%) apresenta granulação fina (<0,4 mm) e é restrito aos contatos do ortopiroxênio com o plagioclásio ou ao longo de fraturas no ortopiroxênio.

6.3.1.2 Biotita-granada enderbito gnaiss coronítico

Este litotipo aflora na forma de pequenos lajedos ou blocos angulosos de rocha com estrutura maciça a incipientemente foliada (estrutura blasto-milonítica), de coloração cinza muito escura, inequigranular fina a média. É cortado por injeções de rochas tonalíticas de granulação grossa, constituída por quartzo e plagioclásio de coloração esverdeada, típica de rochas charnockíticas (**Figuras 9A e 9B**). O biotita-granada enderbito gnaiss é caracterizado por uma textura porfiroclástica, constituída predominantemente por cristais reliquias ígneas de ortopiroxênio e plagioclásio de granulação grossa em matriz inequigranular fina a média, composta por grãos de plagioclásio poligonizados, quartzo, granada, clinopiroxênio e biotita (**Fotomicrografias 21 e 22**). Localmente ocorrem porções lepidogranoblásticas, ricas em biotita (NLD-45D).

O plagioclásio (45-60%) ocorre na forma de porfiroclastos de até 4mm, com geminações curvadas e contatos irregulares, e em grãos poligonizados finos, na forma de agregados granoblásticos monominerálicos (**Fotomicrografias 23 e 24**). Os primeiros podem apresentar relíquias ígneas em meio a textura granoblástica metamórfica. O plagioclásio dominante é a andesina (An₃₀₋₄₀), com poucos grãos de oligoclásio (An₂₀₋₃₀) isolados. O feldspato potássico (<5%) é não-geminado e alguns grãos encontram-se poligonizados. Os cristais de ortopiroxênio (10-20%) são euédricos a subeuédricos, de granulação grossa (até 5mm), por vezes intensamente fraturados e penetrados por cristais de biotita de até 5mm, na forma de escamas (5-10%) e/ou por intercrescimentos esqueléticos de Bt + Qtz (**Fotomicrografias 25 a 29**). Alguns grãos foram intensamente substituídos, apresentando-se na forma de relictos em meio a massas biotíticas (**Fotomicrografias 30 e 31**). A biotita também forma agregados divergentes e decussados de escamas delgadas, geralmente intercaladas com pequenos grãos de quartzo, e parece resultar da substituição do piroxênio (**Fotomicrografia 32**). O ortopiroxênio também está freqüentemente mantelado por coronas pluriminerálicas constituídas por Grt + Cpx ± Qtz no contato com o plagioclásio (**Fotomicrografia 33**).

Figura 9: (A), (B) Biotita-granada enderbite gnaiss coronítico cortado por injeções tonalíticas (NLD-45C); (C), (D) Estrutura incipientemente foliada em meta-mangerito. Notar que a foliação é mais evidente nas porções ricas em feldspato potássico (NLD-41E).

Os cristais de clinopiroxênio (10-15%) possuem granulação fina a média. Estão geralmente inclusos em ortopiroxênio ou compõem coronas com Grt e Qtz (**Fotomicrografia 23**). Também ocorrem alguns grãos com substituição discreta por hornblenda (<1%) nas bordas ou ao longo de fraturas e clivagens. A granada (5-10%) é subidioblástica a idioblástica fina, localmente com inclusões goticulares de quartzo e/ou opacos (<2%). Outros minerais acessórios são: apatita (<5%), zircão (<1%), rutilo (<1%) e calcita (<1%).

6.3.1.3 Meta-mangerito (Meta Opx-monzonito)

A rocha apresenta estrutura predominantemente maciça, a localmente foliada, com textura granoblástica, inequigranular fina a grossa, com megacristais de feldspato de até 2,5-3,0 mm (**Figuras 9C e 9D**). Em escala macroscópica apresenta textura glomeroporfírica de biotita grossa, que também ocorre na forma de bandas subcentimétricas, desenvolvendo localmente uma textura lepidogranoblástica.

Os contatos entre os grãos de feldspato são predominantemente suturados a lobados (localmente poligonizados com contatos retos). O plagioclásio (30-35%) dominante é o oligoclásio (An₂₀₋₃₀), exibindo evidências de deformação intracristalina, na forma de geminações curvadas e pontiagudas. Apresenta mirmequitas e inclusões vermiformes de quartzo no contato com o ortoclásio (40-45%) (**Fotomicrografias 34 e 35**). O ortoclásio é não-geminado, encontra-se freqüentemente fraturado e com inclusões de clorita. Também ocorre ortoclásio pertítico, com finas lamelas de plagioclásio exsolvidas, de dimensão submilimétrica (**Fotomicrografia 36**). O quartzo (5-10%) é em geral intersticial e deformado, com extinção ondulante e também ocorre associado às mirmequitas no contato entre os feldspatos.

A biotita (10-15%) ocorre esparsa na matriz, comumente associada com a apatita. O ortopiroxênio (5-7%) ocorre concentrado em leitos mais máficos, bastante corroído e fraturado, substituído por hornblenda pelas bordas e/ou por biotita pelas bordas ou ao longo de fraturas. No contato entre ortopiroxênio e biotita ocorre a substituição por intercrescimentos esqueléticos de Bt + Qtz. Em uma amostra foi observado um pseudomorfo de ortopiroxênio com fraturas radiais, possivelmente causadas pela expansão por hidratação.

Os minerais acessórios mais comuns são apatita (3-5%), na forma de cristais euédricos a subeuédricos, comumente em seção basal e hornblenda (<5%) de coloração verde escura, substituindo o ortopiroxênio e sendo substituída por biotita. O zircão (<3%) ocorre na forma de grãos subeuédricos alongados, bipiramidados na matriz e arredondados quando inclusos em biotita e freqüentemente dando halos pleocróicos na mesma. Também ocorrem agregados de opacos (<2%) associados à biotita e sericita (<1%) como produto de alteração do feldspato.

6.3.1.4 Meta-charnockito (Meta Opx-granito)

A rocha apresenta estrutura bandada, alternando leitos granoblásticos e nematogranoblásticos, de dimensão milimétrica a subcentimétrica (**Figura 10A**). A textura da rocha é predominantemente granoblástica, inequigranular fina a média (0,1-2,5mm), com bandas nematogranoblásticas a lepidonematogranoblásticas ricas em minerais máficos, com biotita, hornblenda e alguns grãos de piroxênio definindo uma foliação principal. A maioria dos grãos de piroxênio e de feldspato apresenta uma orientação aleatória pré-foliação (estrutura ígnea reliquiar?).

O plagioclásio (25-30%) dominante é o oligoclásio (An₂₀₋₃₀) e, subordinadamente, andesina (An₃₀₋₄₀). Alguns grãos exibem evidência de deformação intracristalina, com extinção ondulante e geminações curvas e pontiagudas, com terminações voltadas para as

bordas dos grãos. Os contatos entre os grãos são predominantemente curvilíneos a lobados (localmente suturado). O feldspato potássico (35-40%) é não-geminado (ortoclásio). Mirmequitas ocorrem entre esses feldspatos. Apresenta-se fraturado, com sericita ao longo das fraturas. Ocorrem pertitas com lamelas de exsolução de plagioclásio de dimensão submilimétrica (0,01-0,05mm) e localmente ocorre antipertita, com lamelas de exsolução na forma de blocos de ortoclásio, de dimensão milimétrica (0,1-0,2mm) (**Fotomicrografias 37 e 38**). O quartzo (20-25%) geralmente preenche interstícios entre os cristais de feldspato e biotita ou lobado associado à mirmequitas.

Figura 10: (A) Estrutura bandada em meta-charnockito, alternando leitos ricos em feldspato potássico (coloração amarela), com leitos ricos em plagioclásio, quartzo e minerais máficos (NLD-41F); (B) Dobra isoclinal em biotita gnaiss com intercalações de rochas metabásicas (SB-VII-16).

Ocorrem bandas ricas em minerais máficos, de dimensão milimétrica a subcentimétrica, com textura nematolepidogranoblástica, em que os grãos de ortopiroxênio (5-7%) ocorrem muito fraturados e freqüentemente substituídos por intercrescimentos esqueletais de Bt + Qtz e/ou por anfibólio fibroso (uralita). A biotita (7-10%) possui granulação grossa e substitui hornblenda e/ou ortopiroxênio. Também ocorre dispersa na matriz na forma de grãos menores, associados com quartzo poligonizado.

Os minerais acessórios mais comuns são hornblenda (<5%), apatita (<4%), opacos (<3%), granada (<1%), zircão (<1%) e clorita (<1%). A apatita ocorre na forma de cristais euédricos a subeuédricos, comumente associada ao plagioclásio. Os minerais opacos geralmente formam agregados associados à biotita ou apatita. A granada forma coronas incompletas ao redor de opacos, nos contatos com o feldspato. Localmente apresenta microexsoluções de opacos. O zircão é em geral subeuédrico, mas também ocorrem grãos

ovalados e arredondados. A clorita é retrometamórfica, e ocorre substituindo a biotita ou preenchendo microfraturas em feldspatos.

6.3.2 Ortognaisses

6.3.2.1 Biotita gnaiss

Gnaiss metatexítico com intercalações decimétricas a métricas de diatexito com estrutura nebulítica-*schilirien* e *boudins* máficos de dimensão centimétrica a decimétrica. A rocha é caracterizada por um bandamento estromático fino a médio, com textura predominantemente granoblástica nas bandas quartzo-feldspáticas e textura lepidogranoblástica nas bandas com biotita, quartzo e feldspato.

Uma primeira fase de deformação é bem marcada nestes gnaisses por um leucossoma em dobras isoclinais sin-metamórficas (D_1) (**Figura 10B**), paralelas ao bandamento principal que define a S_2 . Ocorrem arcos poligonais de micas mimetizando a foliação anterior S_1 . Localmente a biotita e a muscovita estão recrystalizadas segundo a direção da foliação S_3 , oblíqua em relação à S_2 . Foram observadas feições de descompressão, com injeção de veios quartzo-feldspáticos na direção do plano axial de dobras intrafoliais, assim como canais de migração de leucossoma.

O quartzo frequentemente aparece com forma arredondada a lobada, cristalizado na forma de gotas no interior do plagioclásio. Também ocorre granoblástico e recrystalizado em textura *flaser*. O microclínio às vezes ocorre na forma de subgrãos e localmente está substituído por muscovita. Também ocorre feldspato alcalino não-geminado (albita + ortoclásio), frequentemente com mirmequitas nas bordas. Há texturas ígneas preservadas, evidenciadas pela presença de porfiroclastos de plagioclásio e ortoclásio pertítico com extinção ondulante (OL-VI-24). Também ocorrem porfiroclastos de feldspato em escala de afloramento, rotacionados e com cauda de pressão do tipo- σ . As principais fases acessórias são: apatita, zircão, opacos, monazita e alanita.

6.3.2.2 Hornblenda-biotita gnaiss

Metatexito estromático, caracterizado pela alternância de bandas quartzo-feldspáticas com textura granoblástica, inequigranular média a grossa e bandas ricas em biotita e hornblenda, com textura nematolepidoblástica, inequigranular fina a média (**Figura 11**). Ocorrem feições de fusão “*in situ*”, com o leucossoma bem desenvolvido, e localmente com cristais subuédricos, de hornblenda de granulação grossa (até 1cm). Geralmente forma

bolsões decimétricos a métricos de leucogranito foliado, inequigranular médio a grosso, concordante com a foliação principal. Foram descritos diversos fragmentos de paleossoma, desorientados e dispersos no neossoma, o que caracteriza uma estrutura do tipo *schollen*. Isto sugere que a fragmentação do paleossoma, já estruturado, se deu em um neossoma ainda em estado plástico. A foliação milonítica principal (S_2) ocorre dobrada na forma de dobras na escala desde centimétrica a métrica, freqüentemente com injeção de leucossoma ao longo do plano axial destas dobras, ou paralelo ao bandamento principal. A foliação oblíqua S_3 é definida por cristais subidioblásticos de biotita e hornblenda.

Figura 11: (A) Hornblenda-biotita gnaiss dobrado (NLD-40); (B) Hornblenda-biotita gnaiss migmatítico, com bandas extensionais de cisalhamento (LD-1).

O quartzo ocorre polygonizado na matriz, intersticial e goticular associado ao plagioclásio porfiroclástico. O microclínio freqüentemente está associado à mirmequita. Cristais esqueléticos de hornblenda e zoisita apresentam inclusões de quartzo amebóide. O clinopiroxênio, de ocorrência mais restrita, às vezes apresenta inclusões de quartzo goticular no contato com a hornblenda. A titanita aparece manteada por ilmenita. Ocorrem opacos poiquiloblásticos tardios englobando cristais de zoisita, hornblenda e quartzo. A fase retrometamórfica é caracterizada pela substituição de hornblenda por biotita, de clinopiroxênio por hornblenda e de plagioclásio por epidoto.

6.3.2.3 Biotita gnaiss com granada

Diatextito estromático, caracterizado por textura granoblástica, inequigranular média a grossa e bandas ricas em biotita, com textura lepidoblástica, inequigranular fina a média. As porções mais máficas (melanossoma) são bastante ricas em biotita, pobres em quartzo e apresentam como mineral acessório a granada (<2%), de dimensão milimétrica. Há níveis

mais quartzosos, centimétricos, em que o quartzo ocorre fortemente estirado, definindo uma lineação de estiramento que indica transporte de topo para NW.

6.3.3 Rochas metabásicas

Ocorrem intercaladas nos ortognaisses do Complexo Mantiqueira em lentes métricas a decamétricas na forma de *boudins*, bandas pouco a totalmente transpostas ou corpos alongados, em geral concordantes com a foliação principal (**Figura 12**). São representadas por anfibolitos bandados e maciços, que variam de biotita anfibolitos, clinopiroxênio anfibolitos e clinopiroxênio-granada anfibolitos. Também ocorrem rochas máficas com estrutura maciça e quantidades variadas de granada, clinopiroxênio, ortopiroxênio, hornblenda e plagioclásio, com o predomínio dos piroxênios em relação ao anfibólio. Geralmente apresentam texturas coroníticas e cristais bem desenvolvidos (granada granulitos).

Figura 12: (A), (B), (C), (D) *Boudins* de rocha metabásica, com anatexia associada (NLD-40).

6.3.3.1 Hornblenda metagabro simplectítico com granada

A rocha apresenta uma estrutura predominantemente maciça, sem uma foliação bem definida, sendo caracterizada por uma textura hipidiomórfica reliquiar, inequigranular fina a

muito fina, com cristais ripiformes de plagioclásio e textura simplectítica de Hbl + Pl + Qtz posterior, que substitui os piroxênios (**Fotomicrografias 39 e 40**).

A hornblenda (50-60%) é o mineral máfico dominante e substitui o clinopiroxênio e ortopiroxênio na forma de intercrescimentos simplectíticos e freqüentemente apresenta inclusões xenomórficas de opacos e granada, além de titanita, plagioclásio e quartzo. Os cristais de Cpx (5-15%) e Opx (< 10%) são reliquiares; estão bastante fraturados e substituídos por hornblenda. Alguns cristais maiores de Cpx apresentam geminação preservada (**Fotomicrografia 41**). Em alguns locais foram observadas feições de desequilíbrio entre os piroxênios, em que o Opx aparenta estar consumindo parcialmente o Cpx (NLD-22A).

O plagioclásio (15-30%), quando visto com os polarizadores descruzados, é ripiforme e aparenta possuir uma textura ígnea. Porém, com os polarizadores cruzados, muitos grãos estão recristalizados e poligonizados junto com o quartzo, apresentando contatos retos a suturados (**Fotomicrografia 42**). Grãos de plagioclásio alongados favorecem uma origem ígnea (Paterson *et al.*, 1989; Vernon, 2000a, 2004). O teor de anortita varia bastante (An₃₀₋₇₀), sendo que o plagioclásio predominante nestas rochas é a andesina, mas também ocorre labradorita. A granada (<5%) ocorre na forma de cristais submilimétricos (< 0,1mm), subidioblásticos a xenomórficos, geralmente associada com o plagioclásio. Localmente ocorrem texturas coroníticas de granada mantendo o plagioclásio ou os opacos, que por sua vez é envolvida por hornblenda (NLD-20A). O quartzo (5-10%) ocorre principalmente intercrescido com hornblenda ou poligonizado na matriz com plagioclásio.

Aparentemente há três gerações de opacos (< 5%): uma fase xenomórfica principal, que ocorrem inclusive em hornblenda e localmente mantida por titanita (<1%) (ilmenita). Ocorre uma geração de cristais bem formados na matriz, com hábito cúbico, associados ao plagioclásio e hornblenda (magnetita). Há ainda uma fase tardia, intersticial em relação aos grãos de hornblenda e quartzo (NLD-22A). A apatita (<3%) apresenta hábito prismático bem desenvolvido, localmente com hábito acicular. Ocorrem megacristais de apatita de até 2,5mm, associados com a hornblenda e o plagioclásio da matriz.

6.3.3.2 Hornblenda granulito com granada

A rocha é inequigranular fina a média (0,1 – 1,5 mm), apresentando uma textura geral nematogranoblástica, definida pela orientação preferencial de hornblenda na foliação. Muitos

grãos de piroxênio apresentam uma orientação preferencial oblíqua em relação à foliação. A biotita é pós-foliação.

Os grãos de ortopiroxênio são idiomórficos a subidiomórficos, pleocróicos (com pleocroísmo variando de verde-claro a bege-acastanhado), e em geral apresentam-se muito fraturados. O clinopiroxênio apresenta-se na forma de cristais idiomórficos a subidiomórficos, de coloração verde-clara, parcialmente substituídos por Hbl $\pm$ Qtz nas bordas. Hornblenda geralmente ocorre com quartzo lobado, na forma de simplectitos substituindo os piroxênios. Localmente apresenta microexsoluções de opacos no núcleo ou nas bordas dos grãos.

É muito comum a substituição dos piroxênios por intercrescimentos simplectíticos de Hbl + Qtz. Também é observada a substituição direta dos piroxênios por Hbl. A hornblenda mimetiza o clinopiroxênio, que pode ocorrer como inclusão reliquiar.

O plagioclásio encontra-se em grande parte recristalizado, na forma de grãos poligonizados com contatos predominantemente retos. Ocorrem duas modas de plagioclásio: andesina (An₃₀₋₅₀) está freqüentemente em paragênese com o clinopiroxênio, enquanto que o oligoclásio (An₂₀₋₃₀) ocorre geralmente em paragênese com a hornblenda e a granada.

Localmente ocorre textura coronítica reliquiar de Grt + Cpx + Pl $\pm$ Qtz envolvendo cristais de Opx e Pl de dimensão maior (1-1,5mm), possivelmente minerais da associação magmática pretérita. Esta textura é obliterada pela substituição posterior de Hbl+Qtz. Ocorre calcita tardia, associada a zonas de maior percolação de fluidos em fraturas, possivelmente ricos em CO₂.

6.3.3.3 Granada granulito

Rocha leucocrática a mesocrática, pouco foliada, com textura granoblástica inequigranular fina a média, caracterizada pela presença de cristais bem formados de clinopiroxênio e ortopiroxênio substituídos por hornblenda pelas bordas (**Fotomicrografias 43 e 44**). A hornblenda (15-45%) freqüentemente apresenta inclusões de opacos e cristais reliquias de clinopiroxênio e plagioclásio, indicando que houve um consumo parcial destes minerais. Localmente observa-se um intercrescimento simplectítico de Hbl + Qtz entre cristais de granada e de ortopiroxênio (**Fotomicrografias 45 e 46**). Ortopiroxênio (10-20%) apresenta pleocroísmo forte, variando de verde claro a bege-rosado. Ocorre em contatos retos com o clinopiroxênio (10-30%), que apresenta pleocroísmo variando de verde amarelado a verde-azulado claro. Freqüentemente com inclusões de quartzo e plagioclásio; localmente com inclusão de granada e plagioclásio (NLD-7A).

A granada é poiquiloblástica a xenoblástica em alguns locais, englobando cristais de hornblenda, plagioclásio, apatita e opacos. Há um predomínio de granada tardia, idioblástica a subidioblástica (1-5%), sendo envolvida por hornblenda e mantendo parcialmente os opacos e o plagioclásio. O plagioclásio (25-45%) encontra-se bastante fraturado e saussuritizado, com contatos retos a suturados com outros grãos. Há o predomínio de andesina (An_{30-50}), mas também ocorre labradorita (An_{50-60}). O quartzo (<5%) ocorre intersticial na matriz ou intercrescido com hornblenda. Os opacos (<7%) são, em geral, xenomórficos e freqüentemente ocorrem inclusos em hornblenda. Foram observados megacristais de apatita (<3%), na forma de cristais prismáticos euédricos a subeuédricos, alongados ou na seção basal, associados com o plagioclásio da matriz. Em algumas amostras, ocorre actinolita tardia (<1%) substituindo a hornblenda. A biotita (<1%) está substituindo a hornblenda e a actinolita, apresentando pleocroísmo variando de marrom a pardo.

6.3.3.4 Metagabronorito coronítico

A rocha aflora na forma de blocos de dimensão decimétrica, no domínio das rochas charnockíticas. Apresenta estrutura maciça e a textura é predominantemente granoblástica, inequigranular fina a média (0.1-2,0mm) caracterizada pela presença de coronas poliminerálicas compostas por $Grt \pm Cpx \pm Qtz$, ao redor de ortopiroxênio e plagioclásio (**Fotomicrografias 47 e 48**). Em alguns locais ocorrem leitos de dimensão milimétrica a centimétrica, com concentração de granada (NLD-42D).

Os cristais de clinopiroxênio e ortopiroxênio encontram-se bem preservados, com pouca substituição por hornblenda pargasítica (5-10%) nas bordas. O clinopiroxênio (20-30%) é subeuédrico a anédricos, com pleocroísmo médio variando de incolor a verde claro. Alguns grãos maiores são ricos em inclusões de plagioclásio e quartzo, enquanto que os grãos de granulação menor são isentos de inclusões e ocorrem associados com a granada. O ortopiroxênio (10-20%) ocorre principalmente na forma de grãos reliquias com as bordas corroídas, freqüentemente manteados por Grt, Qtz, Cpx ou Hbl; poucos cristais são subidiomórficos. Apresenta pleocroísmo forte, variando de verde claro a bege-rosado.

O plagioclásio (35-45%) predominante é a andesina (An_{30-40}), embora haja alguns grãos de oligoclásio (An_{20-30}). Geralmente apresentam contatos predominantemente retos a lobados com outros grãos. A granada (10-20%) é xenoblástica, com inclusões goticulares de quartzo e opacos, com terminações idioblásticas em direção ao contato com o plagioclásio. As

coronas de granada se desenvolvem preferencialmente ao redor de grãos de opacos e plagioclásio e/ou ao redor de grãos de opacos e o clinopiroxênio.

Os opacos (5-10%) são constituídos principalmente por ilmenita e hematita, com proporções menores de pirita, calcopirita e pirrotita. São muito frequentes as texturas do tipo *moat*, comumente com agregados de ilmenita manteados por granada ou por uma fina corona composta por hornblenda pargasítica. Localmente desenvolvem textura poiquilítica, englobando cristais de granada, clinopiroxênio e/ou plagioclásio. A hematita (<2%) ocorre freqüentemente associada ao ortopiroxênio, clinopiroxênio ou granada, com venulações sulfetadas tardias, constituída por pirita $\pm$ calcopirita (<1%) e geralmente associadas com calcita. O quartzo (<5%) ocorre na forma de veios milimétricos associados com a granada e o clinopiroxênio ou preenchendo interstícios no contato entre a granada e o ortopiroxênio. Outros minerais acessórios são: apatita (<3%), zircão (<3%), calcita (<2%), rutilo (<1%) e epídoto (<1%).

6.3.3.5 Granada-clinopiroxênio anfibolito

Este litotipo aflora na forma de grandes *boudins* intercalados nos ortognaisses, apresentando variações estruturais e texturais dependendo de sua posição (se na borda ou no núcleo do corpo anfibolítico). Quando localizado nas bordas do *boudin*, a rocha é caracterizada por uma estrutura protomilonítica, com textura granonematoblástica, inequigranular fina a média (**Fotomicrografias 49 e 50**). A hornblenda (55-65%) define a foliação principal, localmente dobrada na forma de dobras suaves. O clinopiroxênio (5-10%) ocorre manteado por hornblenda, em geral com intercrescimentos de Hbl + Qtz associados, além de opacos. Há duas gerações de granada (15-20%): uma alongada na foliação e parcialmente substituída por hornblenda, também orientada na foliação. A outra geração é caracterizada por grãos equigranulares, subidioblásticos a idioblásticos, praticamente isento de inclusões. Constitui a fase principal, formando texturas do tipo *moat*, manteando o plagioclásio, eventualmente os opacos, e sendo envolvida por hornblenda. Ocorrem intercrescimentos de Qtz + Hbl na borda da granada e entre os cristais de hornblenda, estes em associação com os opacos.

Os cristais de plagioclásio (5-10%) estão bastante estirados, alguns saussuritizados, manteados por granada e/ou hornblenda. O quartzo (5%) ocorre predominantemente nos interstícios e também como inclusão na granada ou intercrescido com hornblenda. As principais fases acessórias são: opacos (< 5%), apatita (< 1%) e zircão (< 1%). Os opacos são

predominantemente xenoblásticos, inclusos em hornblenda ou manteados por granada. A apatita é subidioblástica, em geral associada ao plagioclásio e o zircão ocorre na forma de cristais arredondados.

Quando representa o núcleo de um corpo anfibolítico de dimensão métrica é menos afetado pelo cisalhamento e apresenta estrutura maciça. É caracterizada pela presença de texturas do tipo *moat* bem desenvolvidas, com o plagioclásio sendo envolvido por granada, que por sua vez é manteadada por hornblenda. Também são freqüentes os intercrescimentos de Hbl + Pl + Qtz substituindo os piroxênios, que localmente aparentam ser pseudomorfos de piroxênios totalmente substituídos (**Fotomicrografias 51 a 54**). Os cristais de clinopiroxênio (15-20%) são bastante fraturados e xenomórficos, localmente na forma de megacristais (~2mm). A hornblenda (45-50%) é idioblástica a subidioblástica, com inclusões amebóides de opacos e quartzo.

O plagioclásio (10-15%) é equigranular poligonizado, freqüentemente manteadado por granada (15-20%) e em alguns locais por hornblenda. Possui o teor de anortita variável, apresentando duas modas: uma de andesina (An₄₀₋₅₀), predominante, e outra de oligoclásio (An₂₀₋₃₀). A granada é tardia, idioblástica a subidioblástica, manteadando o plagioclásio e localmente os opacos. Os principais acessórios são: opacos, (< 5%), apatita (<1%), titanita (<1%) e zoisita (<1%).

6.3.3.6 Clinopiroxênio-granada anfibolito simplectítico

Rocha pouco foliada, inequigranular fina a muito fina, caracterizada pela presença de texturas simplectíticas de Hbl + Pl + Qtz substituindo os piroxênios. A hornblenda (55-60%) substitui o clinopiroxênio (5-10%) e o ortopiroxênio (<5%) nas bordas e ao longo de fraturas, geralmente com intercrescimentos de quartzo associados. Apresenta inclusões xenoblásticas de opacos (< 5%), que também ocorre na matriz com granada e biotita. Os piroxênios também são em geral, xenoblásticos.

A granada (5-10%) é idioblástica a subidioblástica, freqüentemente associada ao plagioclásio e a hornblenda, porém sem formar coronas. Ocorrem alguns cristais poiquiloblásticos, englobando quartzo e hornblenda. O plagioclásio (25-30%) predominante é andesina (An₄₅₋₅₀), na forma de cristais poligonizados na matriz, associados com quartzo (< 5%) e apatita (<1%), localmente saussuritizados. A apatita apresenta hábito prismático, mas também ocorre com hábito acicular. A biotita (5-10%) é tardia, idioblástica a subidioblástica, substituindo a hornblenda.

6.3.4 Rochas metaultramáficas

Esta unidade aflora como grandes blocos angulosos. Ocorrem na forma de lentes métricas a decamétricas, inseridas nos ortognaisses do Complexo Mantiqueira. Nas zonas de contato ocorre um intenso imbricamento tectônico, em que os corpos ultramáficos estão geralmente localizados na base dos empurrões. São compostos por olivina, serpentina, Mg-clorita, anfibólio magnesiano, clinopiroxênio, ortopiroxênio, espinélio, escapolita e opacos. Os principais litotipos são: metadunitos, meta-olivina-ortopiroxenito, metaharzburgito, metalherzolito e serpentinito (Mora, 2010). Apresentam estrutura predominantemente maciça (localmente foliada), granulação fina e textura nematogranoblástica a lepidogranonematoblástica. A textura *mesh* é a mais comumente observada, com a olivina sendo substituída por serpentina ao longo das fraturas.

PRANCHA I

Fotomicrografia 1: Porfiroblasto de granada parcialmente substituído por biotita. Amostra SB-VII-133. Aumento de 2,5X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 2: Arcos poligonais de sillimanita e biotita. Amostra SB-IX-89. Aumento de 20X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 3: Aspecto da textura nematolepidoblástica, compostos por leitos ricos em Bt+Sil definindo a foliação principal. Amostra SB-IX-89. Aumento de 10X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 4: Porfiroclastos de plagioclásio e granada, envolvidos por fitas de quartzo sigmoidal. Amostra NLD-61. Aumento de 1,25X. Polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 5: Granada xenoblástica, parcialmente substituída por cianita. Amostra NLD-61. Aumento de 10X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 6: Idem anterior. Polarizadores cruzados.

PRANCHA II

Fotomicrografia 7: Muscovita substituindo cianita, na matriz. Amostra NLD-61A. Aumento de 8X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 8: Idem anterior. Polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 9: Corona de epidoto no contato entre plagioclásio e hornblenda. Amostra SB-IV-93B. Aumento de 10X. Polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 10: Bandas ricas em Grt+Ep±Hbl alternadas com bandas ricas em plagioclásio e quartzo, em gnaiss calciosilicático. Amostra SB-VII-41. Aumento de 1,25X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 11: Aspecto da textura granonematoblástica. Amostra NLD-37B. Aumento de 1,25X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 12: Idem anterior. Polarizadores cruzados.

PRANCHA III

Fotomicrografia 13: Aspecto da textura nematoblástica, definida por leitos ricos em sillimanita, alternados com leitos ricos em Bt+Sil, com textura nematolepidoblástica e leitos granoblásticos ricos em quartzo e feldspato. Amostra SB-VII-17. Aumento de 2,5X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 14: Megacristal de plagioclásio, com geminações curvadas. Amostra NLD-41G. Aumento de 10X. Polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 15: Grãos de plagioclásio recristalizados e poligonizados. Amostra NLD-41G. Aumento de 10X. Polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 16: Cristal de ortopiroxênio substituído por intercrescimento esqueletal de Bt+Qtz. Amostra NLD-41G. Aumento de 20X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 17: Substituição de Opx por uralita, intercrescimento esqueletal de Bt+Qtz e por Hbl nas bordas. Amostra NLD-41H. Aumento de 10X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 18: Idem anterior. Polarizadores cruzados.

PRANCHA IV

Fotomicrografia 19: Ortopyroxênio uralitizado, com substituição posterior por Bt+Qtz e por Hbl. Amostra NLD-41G. Aumento de 10X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 20: Idem anterior. Polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 21: Aspecto da textura granoblástica, constituída por cristais grossos de Opx e Pl da associação ígnea pretérita, com plagioclásio recristalizado em grãos finos. Amostra NLD-45B. Aumento de 1,25X. Polarizadores paralelos..

Fotomicrografia 22: Idem anterior. Polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 23: Plagioclásio poligonizado. Notar que no contato entre o plagioclásio e o Opx, ocorre Grt+Cpx+Qtz.

Amostra NLD-45B. Aumento de 10X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 24: Idem anterior. Polarizadores cruzados.

PRANCHA V

Fotomicrografia 25: Aspecto geral da textura, com porções em que predominam cristais reliquiais de ortopiroxênio preservados, e porções onde a substituição foi mais intensa e predomina biotita. Amostra NLD-45D. Aumento de 1,25X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 26: Idem anterior. Polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 27: Megacristais de Opx com substituição por Bt+Qtz nos contatos entre os grãos. Amostra NLD-45B. Aumento de 1,25X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 28: Detalhe da foto anterior. Aumento de 8X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 29: Substituição de Opx por Bt+Qtz. Amostra NLD-45D. Aumento de 8X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 30: Megacristal de biotita, resultante da substituição de ortopiroxênio. Amostra NLD-45B. Aumento de 2,5X. Polarizadores paralelos.

PRANCHA VI

Fotomicrografia 31: Megacrístais de ortopiroxênio substituídos por biotita, onde sobram relíquias de Opx em meio a massa biotítica. Amostra NLD-44A. Aumento de 1,25X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 32: Biotita formando agregados divergentes com quartzo, substituindo o Opx. Amostra NLD-45B. Aumento de 10X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 33: Opx com corona composta por Grt+Cpx+Qtz nos contatos com o plagioclásio. Nos locais onde não há formação de corona, o Opx é substituído diretamente por Bt+Qtz. Amostra NLD-45B. Aumento de 10X. Polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 34: Mirmequita no contato entre o plagioclásio e o feldspato potássico. Amostra NLD-41E. Aumento de 10X. Polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 35: Mirmequita no contato entre feldspato perítico e plagioclásio. Amostra NLD-41E. Aumento de 10X. Polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 36: Detalhe de um cristal de feldspato perítico. Amostra NLD-41E. Aumento de 10X. Polarizadores cruzados.

PRANCHA VII

Fotomicrografia 37: Plagioclásio antipertítico. Amostra NLD-41F. Aumento de 4X+1,6. Polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 38: Idem anterior. Polarizadores cruzados, com analisador inserido.

Fotomicrografia 39: Aspecto da textura subofítica reliquiar. Amostra NLD-20A. Aumento de 1,25X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 40: Idem anterior. Polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 41: Clinopiroxênio reliquiar, com geminação preservada. Amostra NLD-22B. Aumento de 8X. Polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 42: Plagioclásio polygonizado. Amostra NLD-20A. Aumento de 4X. Polarizadores cruzados.

PRANCHA VIII

Fotomicrografia 43: Aspecto da textura granoblástica. Amostra NLD-7A. Aumento de 1,25X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 44: Idem anterior. Polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 45: Ortopiroxênio substituído por Hbl+Qtz no contato com a granada. Amostra NLD-7D. Aumento de 4X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 46: Detalhe da foto anterior. Aumento 20X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 47: Texturas coroníticas com Grt+Cpx±Qtz no contato entre plagioclásio, ilmenita e piroxênios da associação magmática pretérita. Amostra NLD-42D. Aumento de 4X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 48: Idem anterior. Polarizadores cruzados.

PRANCHA IX

Fotomicrografia 49: Aspecto geral da textura granonematoblástica. Amostra NLD-8A. Aumento de 1,25X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 50: Idem anterior. Polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 51: Aspecto geral da textura simplectítica, com Hbl+Qtz substituindo os piroxênios.. Amostra NLD-8C. Aumento de 4X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 52: Idem anterior. Polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 53: Textura coronítica com colar de granada ao redor de plagioclásio no contato com pseudomorfo de piroxênio substituído por simplectitos de Hbl+Qtz. Amostra NLD-8C. Aumento de 1,25X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 54: Idem anterior. Polarizadores cruzados.

7. GEOLOGIA ESTRUTURAL

7.1 Estruturação da área

A *Nappe* Lima Duarte está localizada na porção oriental do sistema orogênico, e é cavalgada a SE pela *Nappe* Andrelândia e ambas cavalgam a seqüência metassedimentar do Grupo Carrancas. A estrutura da pilha alóctone se deu sob condição de fácies anfibolito superior, com anatexia associada. A foliação principal regional (S_2) é relacionada ao auge metamórfico e possui orientação NE-SW, com mergulhos de baixo a médio ângulo para SE. A infra-estrutura gnáissica apresenta a foliação principal S_3 , correlata na orientação e metamorfismo com a foliação regional S_2 presente na pilha metassedimentar. São destacadas as superfícies de cavalcamento, que reorganizam as unidades em duplexes e imbricados (**Figura 13**). As escamas de cavalcamento são rompidas por imbricações da infra-estrutura gnáissica. Ocorrem dobramentos tardios que deformam localmente as superfícies de cavalcamento (mapa geológico e seção geológica em anexo).

Figura 13: Sillimanita-granada-biotita gnaiss metatexítico em contato tectônico sobre o sillimanita-granada-biotita gnaiss quartzoso, na Serra da Saudade.

7.2 Foliações metamórficas

A foliação principal regional (S_2) é definida por uma alternância de bandas granoblásticas (ricas em quartzo e feldspato) e bandas lepidoblásticas (ricas em biotita) a lepidonematoblásticas (biotita e sillimanita) nos paragneisses, que é paralela a leucossomas e a um bandamento composicional nos ortogneisses (**Figura 14**). Pode ser caracterizada como uma foliação gerada por cisalhamento dúctil (acompanhada por recrystalização dinâmica), localmente com caráter milonítico, principalmente nas unidades metassedimentares. A fase de

deformação (D_2) é manifestada na forma de dobramentos de dimensão centimétrica a decamétrica (**Figura 15**). Também foi responsável pela geração de megadobras recumbentes (ex: Serra Negra), com vergência para NW (**Figura 16**).

Figura 14: Foliação principal S_n paralela ao bandamento gnáissico em Hbl-Bt gnaiss (NLD-1), com cristais de hornblenda no leucossoma orientados segundo a foliação oblíqua S_{n+1} .

Figura 15: (A) Hornblenda-biotita gnaiss migmatítico, dobrado (NLD-23); (B) Dobras isoclinais em ortoquartzito (OL-VII-43).

A primeira fase de deformação gerou a foliação S_1 , que está totalmente transposta pela foliação principal S_2 . A superfície S_1 é reconhecida em dobras de dimensão milimétrica a centimétrica, apertadas a isoclinais (**Figura 17**), intrafoliais a S_2 , geralmente com flanco rompido (**Figura 18**). A terceira fase de deformação (D_3) também é reconhecida como uma xistosidade oblíqua ao bandamento gnáissico. Uma clivagem espaçada pós- S_2 ocorre nos quartzitos plano axial de dobras subseqüentes (**Figura 19**).

Figura 16: Megadobra recumbente na Serra Negra (quartzitos e paragneisses).

Figura 17: Dobra isoclinal em sillimanita-granada-biotita gnaiss quartzoso (SB-VII-17), com a superfície S_1 paralela à foliação principal S_2 . Notar falha com transporte de topo para sul.

Figura 18: (A), (B) Dobras intrafoliais em leucossoma com flanco rompido, em biotita gnaiss (NLD-40).

Figura 19: Clivagem espaçada pós- S_2 em quartzito.

Figura 20: (A) *Mullion* de banda félsica quartzo-feldspática, alternada com lâminas máficas ricas em biotita e paralelas ao estiramento mineral; (B) foliação milonítica principal em zona de transposição da S_2 com dobras intrafoliais, em biotita gnaiss do Complexo Mantiqueira (NLD-40).

7.3 Lineações, indicadores cinemáticos e boudinagem

As lineações minerais são definidas pela orientação de biotita, muscovita, sillimanita, feldspato e quartzo nas rochas metassedimentares. Nos ortognaisses, a lineação é definida por quartzo, biotita e/ou anfibólio e nas rochas metabásicas por anfibólio, piroxênio e eventualmente, biotita. Estas estruturas indicam a direção preferencial do transporte sin-metamórfico da *nappe*. Quando associadas a indicadores cinemáticos indicam o transporte para N, em direção ao cráton do São Francisco (**Figura 20**).

O intenso estiramento ao longo da foliação, paralelo a lineação metamórfica, é evidenciado pela freqüente presença de *boudins* de rochas metabásicas com anatexia associada, principalmente nas unidades do Complexo Mantiqueira (**Figura 21**). É comum a presença de leucossoma nas zonas surreicas dos *boudins*. Quando associado a estruturas assimétricas tipo pares S-C, porfiroclastos manteados e com caudas ou com zonas de sombra

de pressão assimétricas e mica-*fish*, indicam transporte da *nappe* para N. Subordinadamente indicam transporte em sentido contrário, para sul em um processo sin-metamórfico que deve estar relacionado com o adelgaçamento do alóctone (**Figura 22**). Essa estrutura dúctil sin-metamórfica evolui a um sistema de cavalgamento rúptil pós-metamórfico e sub-horizontal e mantendo o transporte para norte (Bendoraitis, 2007; Rocha *et al.*, 2008).

Figura 21: (A), (C), (D) *Boudins* de rocha metabásica de dimensões variadas, com anatexia associada, (B) *Boudin* de rocha metabásica com zonas estiradas assimétricas em degrau, indicando transporte para N. (NLD-40).

7.4 Aspectos da microtectônica

Na *Nappe* Andrelândia as diferentes fases de deformação são bem definidas pelas micas e pela sillimanita. A sillimanita registra uma foliação anterior à S_2 , quando inclusa em muscovita. Ocorre como arcos poligonais de crescimento estático, definindo uma foliação interna na forma de cristais idioblásticos com a mesma orientação da foliação principal externa (**Fotomicrografia 55**). A recristalização estática de sillimanita também mimetiza

pares S-C, preservados como inclusões em muscovita pós-cinemática, idioblástica e oblíqua em relação à S_2 (**Fotomicrografia 56**).

Figura 22: Zona de cisalhamento com transporte de topo para sul, em sillimanita-granada-biotita gnaiss quartzoso (SB-VII-17).

Nos paragnaisses da *Nappe* Lima Duarte, a foliação principal S_2 frequentemente ocorre dobrada, às vezes com o crescimento de uma nova fase mineral ao longo do plano axial (**Fotomicrografia 57**). Nos leitos mais micáceos as fases de dobramento são bem marcadas por biotita e muscovita no plano axial. Ocorrem leitos nematoblásticos milimétricos de sillimanita, configurando dobras intrafoliais (**Fotomicrografia 58**). Em rochas de composição mais aluminosa, a cianita associa-se a arcos poligonais de biotita. A fase de dobramento (D_2) está preservada na forma de arcos poligonais de muscovita, biotita ou sillimanita recrystalizados estaticamente (**Fotomicrografia 59**).

Nas proximidades da *klippe* quartzítica da Serra Negra, ocorrem paragnaisses com raras inclusões de cianita + feldspato potássico (OL-II-112B) e paragnaisses com cianita + sillimanita na matriz (NLD-61). Além de granadas pré-cinemáticas, com inclusões randômicas, ocorrem granadas intercinemáticas, com foliação interna (S_i), na forma de trilhos de ilmenita e rutilo, oblíquos e descontínuos em relação à foliação externa principal. O crescimento do porfiroblasto de granada em estágio intercinemático, se deu na transição do campo de estabilidade da cianita para o campo da sillimanita (OL-II-112B). Nas bordas do porfiroblasto, a foliação interna encontra-se paralelizada à foliação externa, sugerindo um crescimento sin-cinemático, tipo *strain-cap*. Localmente ocorre uma microestrutura de porfiroblasto em atol (SB-III-126B), que se desenvolveu através da substituição de granada por sillimanita fibrolítica (**Fotomicrografias 61 a 63**). Também ocorrem pequenos cristais de granada pós-cinemáticos, livres de inclusões, arredondados a subidioblásticos, truncando a

foliação metamórfica. Nas proximidades dos contatos tectônicos, é freqüente a ocorrência de pares S-C (**Fotomicrografias 64 a 66**).

PRANCHA X

Fotomicrografia 55: Arco poligonal de sillimanita incluído em cristal de muscovita pós-cinemático. Amostra SB-I-108. Aumento de 4X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 56: Pares S-C de sillimanita, preservado um cristal pós-cinemático de muscovita. Amostra SB-I-108. Aumento de 4X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 57: Leitões nematolepidoblásticos compostos por Bt+Sil definindo a foliação principal S2, que está dobrada, com crescimento de biotita idioblástica no plano axial. Amostra SB-IX-89. Aumento de 1,25X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 58: Dobra intrafolial de sillimanita. Amostra SB-VII-149B. Aumento de 4X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 59: Arco poligonal de muscovita. Amostra SB-VII-109. Aumento de 8X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 60: Porfiroclastos de granada em matriz nematogranoblástica rica em sillimanita, plagioclásio e quartzo, definindo a foliação milonítica principal. Amostra SB-VII-149B. Aumento de 1,25X. Polarizadores paralelos.

PRANCHA XI

Fotomicrografia 61: Granada em atol, substituída por sillimanita fibrolítica de fora para dentro do porfiroblasto. Amostra SB-III-126B. Aumento de 1,25X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 62: Idem anterior. Polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 63: Idem anterior. Detalhe para a substituição por sillimanita. Aumento de 4X. Polarizadores paralelos. com crescimento de biotita idioblástica no plano axial. Amostra SB-IX-89. Aumento de 1,25X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 64: Pares S-C de quartzo e Sil+Bt. Amostra SB-VII-149B. Aumento de 2,5X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 65: Pares S-C de quartzo e Sil+Bt. Amostra SB-VII-149B. Aumento de 4X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 66: Idem anterior. Polarizadores cruzados.

8. METAMORFISMO

8.1 TEXTURAS E PARAGÊNESES

8.1.1 Considerações iniciais

As mudanças nas condições metamórficas podem estar registradas na forma de inclusões em porfiroblastos, ou na substituição parcial de uma fase mineral por outra. Geralmente estas substituições ocorrem nos limites entre os grãos dos minerais, o que pode resultar no desenvolvimento de anéis de reação (*reaction rims*). Estes anéis de reação podem ser monominerálicos ou poliminerálicos e são chamadas coronas se formarem um anel fechado ao redor de um grão; *coronas* monominerálicas também são referidas como *moats* (Passchier & Trouw, 1996). O termo atol não é recomendado, pois pode causar confusão com uma microestrutura denominada “porfiroblasto em atol”, em que o núcleo de um porfiroblasto zonado reage para formar outros minerais (Barker, 1998). Coronas poliminerálicas constituídas de novas fases minerais intercrescidas, de granulação fina e forma vermicular, são conhecidas por coronas symplectíticas (*symplectitic coronas*) (Passchier & Trouw, 1996). As mirmequitas constituem o produto da quebra de feldspato potássico durante o retrometamorfismo, formando lamelas vermiculares de quartzo em plagioclásio (Smith, 1974; Phillips 1974, 1980; Shelley, 1993). São bastante comuns em rochas ígneas e rochas de alto grau.

As coronas são excelentes indicadores de reações metamórficas, pois fornecem evidência de mudança na paragênese mineral com a mudança das condições metamórficas através da substituição incompleta de minerais de uma associação pretérita (minerais no núcleo da corona) por uma paragênese posterior (minerais que compõem a corona), possibilitando inferir a história P-T da rocha (Droop & Bucher-Nurminen, 1984; Clarke & Powell, 1991; Vernon *et al.*, 2008). As texturas coroníticas são mais bem preservadas em volumes de rocha que não sofreram deformação durante a reação. Desta forma, podem fornecer informações das reações em rochas adjacentes, em que a deformação removeu as evidências de reações incompletas (Clarke & Powell, 1991). Esse tipo de textura é comumente encontrada em metagabros. O problema é determinar se a textura coronítica nestas rochas foi causada por uma série de recristalizações com o tempo, durante o resfriamento de um magma gabróico ou por metamorfismo sin-tectônico profundo (Bard, 1986).

Um pseudomorfo é definido como um cristal que foi parcial a totalmente substituído por outro mineral ou por um agregado de minerais, e os novos minerais preservam o formato original do cristal substituído (Passchier & Trouw, 1996; Barker, 1998). O pseudomorfismo parcial e as coronas são os critérios mais confiáveis para inferir uma reação (Vernon, 1996a; Vernon *et al.*, 2008; Vernon & Clarke, 2008), em que tanto o mineral substituído (reagente) como os produtos da reação coexistem na mesma textura (Guidotti & Johnson, 2002).

Os porfiroblastos possuem baixas razões de taxa de nucleação por taxa de crescimento, o que resulta na incorporação de minerais de granulação mais fina da matriz pelo porfiroblasto. Algumas inclusões podem representar relíquias de uma fase pretérita do metamorfismo, mas geralmente as inclusões pertencem à mesma associação mineral que o porfiroblasto. As inclusões não reagem quimicamente com o porfiroblasto, mas tendem a adquirir formas mais suaves no sentido de minimizar a energia livre nos limites dos grãos com o porfiroblasto (Kretz, 1966a, 1994; Vernon, 1968, 1970, 1976, 2004).

Inclusões em porfiroblastos e relações porfiroblasto-matriz são indicadores indiretos de reações metamórficas, fornecendo informações relativas à ordem de crescimento dos minerais ou associações minerais (Vernon *et al.*, 2008; Vernon & Clarke, 2008). Desta forma, as interpretações texturais resultantes de inclusões em porfiroblastos devem ser feitas com cautela, pois é necessário definir se as inclusões são inclusões verdadeiras ou se não são produtos de exsolução ou crescimento coaxial (Vernon, 1978a). Os minerais possuem taxas de nucleação e de crescimento distintas, assim dois minerais podem nuclear ao mesmo tempo, porém se um mineral possui taxa de crescimento maior do que o outro, este irá englobar o outro mineral, resultando em uma “falsa inclusão” (Vernon, 1977; Vernon, 2004). Portanto o fato de um mineral estar incluso em outro não significa que o mineral incluso é mais antigo que o mineral hospedeiro.

Inclusões de minerais herdados de uma associação pretérita podem ser tanto relíquias estáveis ou metaestáveis, como minerais de uma associação anterior instável, isolados dos minerais da matriz através do porfiroblasto. Neste último caso, as interpretações de inclusões como sendo instáveis ou metaestáveis só são feitas com segurança se os minerais inclusos não ocorrem na matriz e são compatíveis com alguma outra evidência (Krogh, 1982; St-Onge, 1987).

8.1.2 Paragneisses da *Nappe* Lima Duarte

Figura 23: Porfiroblasto de granada, com inclusões de Ky, Bt, MS, Sil, Kfs, Ilm e Zrc. Amostra OL-II-112B.

A associação mineral predominante nos paragneisses é: granada + biotita + sillimanita + muscovita + plagioclásio + quartzo. As elevadas razões de taxas de crescimento por taxa de nucleação de granada permitiu o desenvolvimento de porfiroblastos de granulação grossa, ricos em inclusões minerais, que constituem a principal fonte de informação do metamorfismo progressivo nos paragneisses. As inclusões mais comuns nos porfiroblastos de

granada são: biotita, sillimanita, ilmenita, rutilo e plagioclásio. A matriz alterna leitos lepidonematoblásticos ricos em sillimanita e biotita, alternados com leitos granoblásticos, ricos em feldspato e quartzo. Na amostra OL-II-112B ocorre um porfiroblasto intercinemático de granada (~2.5cm), com inclusão de cianita em associação com Bt + Ms + Sil + Kfs + Ilm. Na **Figura 23** estão ilustrados os minerais que ocorrem em paragênese com a cianita e a localização das inclusões no porfiroblasto de granada, indicada em vermelho.

A inclusão de cianita está localizada na porção mais rica em grossulária do porfiroblasto de granada (ver item 7 – Química Mineral). O feldspato potássico que envolve as inclusões de Ky, Sil, Bt, Ms, Ilm e Zrc tem o aspecto de filme, sugerindo mimetizar um líquido silicático que se formou no metamorfismo progressivo, durante o desenvolvimento do porfiroblasto (Holness & Sawyer, 2008). A cianita é rara na matriz, e associado às evidências provenientes do quimismo da granada, é possível inferir que o porfiroblasto registra um episódio de regime bórico mais elevado, associado ao campo de estabilidade da cianita.

As principais texturas presentes nos paragneisses estão relacionadas com a retrogressão. A granada é consumida para formar biotita ou intercrescimentos de Bt+Sil, pelas bordas ou ao longo de fraturas (**Fotomicrografias 67 e 68**). Em algumas amostras, o retrometamorfismo foi mais intenso, o que resultou em pseudomorfos de granada totalmente substituídos por Bt+Sil (**Fotomicrografias 69 e 70**). Localmente, onde ocorre cianita na matriz (NLD-61A), observa-se a substituição de cianita por cristais prismáticos de sillimanita (**Fotomicrografias 71 e 72**).

É bastante comum a formação de sillimanita fibrolítica pseudomorfizando a sillimanita prismática. Também ocorre a geração de muscovita tardia na foliação principal, dispersa na matriz ou substituindo os aluminossilicatos e o feldspato. As reações de volta de quebra da muscovita estão registradas, tanto através da substituição parcial de sillimanita por muscovita (**Fotomicrografias 73 e 74**), ou de cianita por muscovita (**Fotomicrografia 75**). A biotita pode estar substituída por muscovita e clorita. Ocorrem cristais de plagioclásio intensamente saussuritizados, processo retrometamórfico posterior (**Fotomicrografia 76**). Simplectitos de plagioclásio e quartzo ocorrem localmente e são possivelmente relacionados ao resfriamento (**Fotomicrografias 77 e 78**).

PRANCHA XII

Fotomicrografia 67: Granada sendo consumida por Bt e por Bt+Sil. Amostra SB-IX-5C. Aumento de 4X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 68: Granada substituída por biotita ao longo de fratura. Amostra SB-IX-89. Aumento de 1,25X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 69: Pseudomorfo de granada, parcialmente substituído por Bt+Sil. Amostra SB-IX-5C. Aumento de 4X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 70: Pseudomorfo de granada, totalmente substituído por Bt+Sil. Amostra SB-IX-5C. Aumento de 8X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 71: Sillimanita substituindo cianita. Amostra NLD-61A. Aumento de 10X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 72: Idem anterior. Polarizadores cruzados.

PRANCHA XIII

Fotomicrografia 73: Sillimanita na borda de feldspato potássico, sendo substituída por muscovita. Amostra SB-VII-17. Aumento de 8X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 74: Idem anterior. Polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 75: Muscovita substituindo cianita. Amostra NLD-61A. Aumento de 8X. Polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 76: Plagioclásio saussuritizado, com cristais de sillimanita nas bordas. Amostra SB-VII-84B. Aumento de 4X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 77: Textura simplectítica de Pl+Qtz, com saussuritização posterior. Amostra SB-VII-84B. Aumento de 4X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 78: Idem anterior. Polarizadores cruzados.

PRANCHA XIV

Fotomicrografia 79: Corona de Grt $\pm$ Qtz ao redor de Opx, no contato com o plagioclásio. Amostra NLD-7A. Aumento de 20X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 80: Idem anterior. Polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 81: Textura coronítica de Grt ao redor de plagioclásio. Todo o piroxênio foi substituído por hornblenda. Amostra NLD-8A. Aumento de 4X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 82: Idem anterior. Polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 83: Ortopyroxênio parcialmente substituído por Hbl + Qtz. Amostra NLD-41A. Aumento de 20X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 84: Idem anterior. Polarizadores cruzados.

PRANCHA XV

Fotomicrografia 85: Clinopiroxênio reliquiar na hornblenda, resultante da substituição retrometamórfica. Amostra NLD-41A. Aumento de 8X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 86: Idem anterior. Polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 87: Clinopiroxênio parcialmente substituído por intercrescimentos de Hbl + Qtz. Amostra NLD-8C. Aumento de 4X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 88: Idem anterior. Polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 89: Textura simplectítica, com pseudomorfo de piroxênio, totalmente substituído por Hbl + Qtz. Amostra NLD-8C. Aumento de 8X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 90: Hornblenda com exsoluções goticulares de opacos de núcleo do cristal. Amostra NLD-7A. Aumento de 10X. Polarizadores paralelos.

PRANCHA XVI

Fotomicrografia 91: Ortopyroxênio substituído por intercrescimentos de Hbl + Qtz, de Bt + Qtz e por biotita grossa. Amostra NLD-41D. Aumento de 4X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 92: Idem anterior. Polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 93: Detalhe da foto anterior, para a substituição de Opx por intercrescimentos de Bt + Qtz. Aumento de 20X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 94: Idem anterior. Polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 95: Opx totalmente substituído por biotita, resultando em textura com biotita manteada por granada. Amostra NLD-41D. Aumento de 4X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 96: Idem anterior. Polarizadores cruzados.

8.1.3 Rochas metabásicas inseridas nos ortognaisses do Complexo Mantiqueira

As rochas metabásicas estão intercaladas nos ortognaisses do Complexo Mantiqueira e nas rochas charnockíticas associadas ao Complexo Mantiqueira, na forma de *boudins* de dimensão variada (centimétrica a decamétrica) ou enclaves máficos alongados ao longo da foliação principal. Os *boudins* de dimensão maior restringem o acesso de fluidos no núcleo, permitindo a preservação de paragêneses anidras relacionadas ao metamorfismo progressivo (NLD-42C, NLD-42D). Nas bordas cisalhadas do *boudin* ou em estruturas de dimensão menor, a circulação de fluidos é maior, resultando em processos retrometamórficos mais intensos, principalmente através da substituição de minerais anidros (*e.g.* piroxênio) por fases hidratadas (*e.g.* hornblenda, biotita) (NLD-8A). Desta forma, a textura varia de acordo com a localização da amostra na estrutura. A associação mais comum nas rochas metabásicas é: clinopiroxênio + granada + hornblenda + plagioclásio + quartzo $\pm$ ortopiroxênio. São bastante comuns as texturas coroníticas de Grt + Cpx $\pm$ Qtz ou de Grt $\pm$ Qtz (**Figuras 26 a 31**) (**Fotomicrografias 79 e 80**) no contato entre ortopiroxênio, plagioclásio e/ou opacos. Frequentemente os piroxênios estão substituídos por hornblenda nos tipos mais básicos (**Fotomicrografias 81 e 82**).

O retrometamorfismo é caracterizado principalmente pela substituição dos piroxênios por hornblenda, sendo que em alguns locais com maior percolação de fluidos, essa substituição é quase total (**Fotomicrografias 83 a 86**). Também é comum a substituição dos piroxênios por intercrescimentos simplectíticos de Hbl+Qtz (**Fotomicrografias 87 a 89**). A hornblenda pode apresentar exsoluções de opacos na forma de gotas no núcleo dos cristais (**Fotomicrografia 90**). Possivelmente isto está relacionado com composições mais titaníferas do anfibólio em temperaturas mais elevadas.

As coronas de Grt + Cpx + Qtz ao redor dos piroxênios e do plagioclásio isolam o ortopiroxênio do sistema, preservando o cristal. No entanto, quando há acesso para circulação livre de fluidos ricos em H₂O a hidratação é mais intensa, o que favorece a substituição direta de ortopiroxênio por biotita nos tipos de composição intermediária (**Fotomicrografias 91 a 94**). Esse processo posterior de hidratação resulta em uma textura caracterizada por colares de granada ao redor da biotita. A geração de granada ocorreu em reação com ortopiroxênio, que foi totalmente substituído por biotita (**Fotomicrografias 95 e 96**).

METAGABRONORITO (Amostra NLD-42D)

ESCALA MACROSCÓPICA

ESCALA MICROSCÓPICA

Figura 24: Leitões de dimensão milimétrica a subcentimétrica com concentração de granada. (A), (B) Escala macroscópica; (C), (D) Escala microscópica. Amostra NLD-42D.

Amostra NLD-42D

Figura 25: Detalhe de um veio constituído por granada intercrescida com clinopiroxênio, quartzo e opacos, com leito contínuo de quartzo no centro. (A) Polarizadores paralelos, (B) Esboço da textura. Amostra NLD-42D.

Amostra NLD-42D (corona 1)

Figura 26: Corona de Grt ao redor de Pl, no contato com o Cpx e os opacos. Notar que ocorre Kfs na parte interna da corona, no contato entre a Grt e o Pl. (A) Polarizadores paralelos, (B) Polarizadores cruzados, (C) Imagem retroespalhada obtida no MEV, (D) Esboço da textura. Amostra NLD-42D.

Amostra NLD-42C (corona 2)

Figura 27: Corona de Grt ao redor dos opacos e do Opx, no contato com o Pl, com Kfs no contato entre a Grt e o Pl. (A) Polarizadores paralelos, (B) Imagem retroespalhada obtida no MEV. Amostra NLD-42C.

Figura 28: Corona de Grt ao redor de Pl, no contato com o Cpx e os opacos. Notar que ocorre Kfs + Qtz na parte interna da corona, no contato entre a Grt e o Pl. (A) Polarizadores paralelos, (B) Polarizadores cruzados, (C) Imagem retroespalhada obtida no MEV, (D) Esboço da textura. Amostra NLD-42D.

Figura 29: Corona poliminerálica, com Opx manteado por Grt+Qtz, por opacos, seguida por corona de Grt no contato com o Pl. Notar que ocorre Kfs na parte externa da corona, no contato entre a Grt e o Pl. (A) Polarizadores paralelos, (B) Imagem retroespalhada obtida no MEV. Amostra NLD-42D.

Figura 30: Corona poliminerálica, com Opx manteado por Grt+Qtz, por opacos, seguida por corona de Grt no contato com o Pl. Notar que ocorre Kfs na parte externa da corona, no contato entre a Grt e o Pl. (A) Polarizadores paralelos, (B) Imagem retroespalhada obtida no MEV. Amostra NLD-42C.

Nas amostras NLD-42A e NLD-42D ocorrem leitos milimétricos a subcentimétricos com concentração de granada (**Figura 24**). Visto ao microscópio petrográfico, esses leitos são constituídos predominantemente por granada xenoblástica, intercrescida com clinopiroxênio, quartzo e opacos, com calcita preenchendo os interstícios entre os grãos de granada e clinopiroxênio (**Figuras 24 e 25**). A granada apresenta terminações idioblásticas em direção ao plagioclásio. No centro destes leitos sempre ocorrem veios de quartzo milimétricos contínuos, o que sugere que essa textura tenha sido gerada através da percolação de fluido. Embora ocorra uma substituição posterior dos piroxênios por hornblenda, a associação mineral anidra $\text{Grt} + \text{Cpx} + \text{Qtz} \pm \text{Pl}$ foi bem preservada e provavelmente facilitada pela infiltração de um fluido possivelmente rico em CO_2 , evidenciado pela presença de calcita intersticial.

Também é bastante freqüente a ocorrência de feldspato potássico associado com as coronas, no contato entre a granada e o plagioclásio (**Figuras 26 a 31**), tanto nas rochas metabásicas como nas rochas charnockíticas. Nestas texturas o feldspato potássico sempre ocorre com formas lobadas, com ou sem quartzo associado, possivelmente mimetizando um líquido silicático.

Figura 31: Corona de Grt ao redor de Pl, no contato com os opacos. Notar que ocorre Kfs na parte interna da corona, no contato entre a Grt e o Pl. (A) Polarizadores paralelos, (B) Polarizadores cruzados, (C) Imagem retroespalhada obtida no MEV, (D) Esboço da textura. Amostra NLD-42D.

8.1.4 Rochas charnockíticas do Complexo Mantiqueira

As rochas charnockíticas do Complexo Mantiqueira ocorrem no norte da área estudada, aparentemente sob a forma de um corpo intrusivo engajado em zona de cisalhamento. São representados por tipos intermediários a ácidos, com proporções mineralógicas variadas, com graus de deformação distintos. Predominam os enderbitos gnaisses (Opx-tonalito gnaisses), com abundância menor de meta-charnockito (Opx-granito) e meta-mangerito (Opx-monzonito). A associação mineral típica é constituída por: $\text{Opx} + \text{Pl} + \text{Grt} + \text{Cpx} + \text{Qtz} + \text{Hbl} + \text{Bt} \pm \text{Kfs} \pm \text{opacos}$. São caracterizados pela presença de texturas coroníticas de $\text{Grt} + \text{Cpx} \pm \text{Qtz} \pm \text{Pl}$ no contato entre cristais de ortopiroxênio e plagioclásio reliquias ígneos (**Fotomicrografias 97 e 98**). Esta textura sugere a passagem do campo dos granulitos de pressão intermediária (estabilidade Opx

+ Pl) para o campo dos granulitos de alta pressão ($\text{Grt} + \text{Cpx} \pm \text{Qtz}$) e é interpretada como indicativa de metamorfismo progressivo.

Nas rochas charnockíticas são bastante comuns as texturas relacionadas com a retrogressão. Os cristais de ortopiroxênio encontram-se frequentemente substituídos por uralita, um agregado de anfibólio fibroso de granulação muito fina. Às vezes essa substituição chega a ser quase total, pseudomorfizando o ortopiroxênio (**Fotomicrografias 99 e 100**). O processo de uralitização pode estar associado aos estágios magmáticos tardios da cristalização do charnockito, pois todas as outras substituições são posteriores à uralitização. O ortopiroxênio também está substituído por intercrescimentos esqueletais e vemiformes de $\text{Bt} + \text{Qtz}$ (**Figura 32**) (**Fotomicrografias 101 a 104**), por vezes o cristal está intensamente fraturado e penetrado por escamas grandes de biotita. Essa substituição pode ser total, configurando relíquias de ortopiroxênio em meio a massas biotíticas (**Fotomicrografias 105 a 108**). O ortopiroxênio pode ainda estar substituído por intercrescimentos de $\text{Hbl} + \text{Qtz}$.

Figura 32: Intercrescimento esqueletal de $\text{Bt} + \text{Qtz}$ substituindo o ortopiroxênio. (A) Polarizadores paralelos, (B) Esboço da textura. Amostra NLD-41F.

Na amostra NLD-45B ocorrem megacristais de ortopiroxênio reliquiais parcialmente substituídos por $\text{Bt} \pm \text{Qtz}$, com texturas coroníticas de $\text{Grt} + \text{Cpx} \pm \text{Qtz}$ no contato com o plagioclásio (**Figura 33**). Na parte interna da corona 9, também ocorre

feldspato potássico com formas lobadas associado com o quartzo, no contato entre a granada e o plagioclásio (**Figura 34**). Assim como nas rochas metabásicas, essa textura sugere a mimetização de um líquido silicático formado durante o desenvolvimento da corona (metamorfismo progressivo) ou a exsolução de feldspato potássico a partir do plagioclásio associado com a formação da corona. Nesta corona também há o surgimento de plagioclásio subeuédrico neoformado (Pl_2), na borda da corona no contato com a granada.

Figura 33: Megacristais de ortopiroxênio parcialmente substituídos por $Bt \pm Qtz$, com coronas de $Grt + Cpx \pm Qtz$ no contato com o plagioclásio. (A) Polarizadores paralelos, (B) Polarizadores cruzados, (C) Imagem retroespalhada obtida no MEV. Amostra NLD-45B.

Amostra NLD-45B (Corona 9)

Figura34: Corona de Grt + Cpx ± Qtz ao redor de Pl, no contato entre o ortopiroxênio e o plagioclásio. Notar que ocorre Kfs na parte interna da corona, no contato entre a Grt e o Pl. (A) Imagem retroespalhada obtida no MEV, (B) Polarizadores paralelos, (C) Polarizadores cruzados, (D) Imagem retroespalhada obtida no MEV, com detalhe da corona, (E) Esboço da textura. Amostra NLD-45B.

PRANCHA XVII

Fotomicrografia 97: Ortopiroxênio substituído por corona de Grt + Cpx + Qtz. Amostra NLD-45D. Aumento de 10X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 98: Idem anterior. Polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 99: Pseudomorfo de ortopiroxênio substituído por uralita. Amostra NLD-41I. Aumento de 4X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 100: Idem anterior. Polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 101: Ortopiroxênio substituído por intercrescimento de Bt + Qtz. Amostra NLD-45A. Aumento de 10X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 102: Idem anterior. Polarizadores cruzados.

PRANCHA XVIII

Fotomicrografia 103: Ortopyroxênio substituído por intercrescimento vermiforme de Bt + Qtz. Amostra NLD-41G. Aumento de 20X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 104: Idem anterior. Polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 105: Pseudomorfo de ortopyroxênio substituído por uralita. Amostra NLD-45D. Aumento de 20X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 106: Idem anterior. Polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 107: Ortopyroxênio manteado por Grt + Qtz, posteriormente substituído por biotita e por intercrescimentos de Hbl + Qtz. Amostra NLD-45D. Aumento de 10X. Polarizadores paralelos.

Fotomicrografia 108: Ortopyroxênio manteado por corona de Grt + Cpx + Qtz, com substituição posterior por intercrescimentos de Bt + Qtz. Amostra NLD-45D. Aumento 20X. Polarizadores cruzados.

Localização das amostras com análise de microsonda eletrônica

Figura 35: Mapa geológico da *Nappe* Lima Duarte com a localização das amostras com análises de microsonda eletrônica e microscópio eletrônico de varredura (MEV).

8.2 QUÍMICA MINERAL

8.2.1 Considerações iniciais

As análises químicas pontuais foram realizadas no Laboratório de Microsonda Eletrônica do Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo, utilizando a microsonda eletrônica JEOL JXA-8600. Foram selecionadas oito amostras no total, sendo duas amostras de paragneisses (OL-II-112B e OL-III-39A), quatro amostras de rochas metabásicas (NLD-7A, NLD-20A, NLD-42C, NLD-42D) e duas amostras de rochas charnockíticas (NLD-45B e NLD-45D) (**Figura 35**). As fases minerais analisadas nos paragneisses foram: granada, biotita, muscovita, feldspato e rutilo. Nas rochas metabásicas e charnockitos foram analisados: granada, biotita, feldspato, piroxênios e anfibólios. As condições de análise para os minerais foram: voltagem de 15 kV e corrente de 20 nA, com diâmetro de feixe entre 5 e 10 μm , exceto para as análises de rutilo, em que foi utilizada voltagem de 20 kV e corrente de 120 nA, com diâmetro de feixe em 5 μm . As distribuições catiônicas dos minerais foram calculadas através dos softwares MINPET 2.02 (Richard, 1995) e Ax2 (Holland, 2008), parte integrante do THERMOCALC, versão 3.26 (Powell & Holland, 1988). As distribuições catiônicas do clinopiroxênio foram calculadas segundo o método de Appleyard *et al.*, (2007) e Capitanio *et al.*, (2005).

8.2.2 Paragneisses

8.2.2.1 Descrição sucinta das amostras

♦ OL-II-112B

A rocha apresenta estrutura bandada e textura porfiroblástica, inequigranular fina a grossa, com porfiroblastos de granada de granulação grossa (~1,5cm). Apresenta matriz de granulação fina a média, que alterna bandas quartzo-feldspáticas granoblásticas e bandas nemato-lepidoblásticas, ricas em sillimanita e biotita intercrescidas, orientadas paralelamente à foliação principal S_2 . O quartzo (35-40%) e o feldspato potássico (<5%) ocorrem na matriz na forma de leitos bastante estirados. Os porfiroblastos de granada (10-15%) são xenoblásticos e intercinemáticos, e registram no seu interior a foliação (S_{n-1}) na forma de trilhos de ilmenita e rutilo. Ocorre um porfiroblasto intercinemático de granada com inclusão de cianita, associada à sillimanita, muscovita (<5%), biotita, feldspato potássico e ilmenita (<5%) que foi

analisado nesta amostra. Os principais minerais acessórios são: rutilo (<3%), cianita (<1%), zircão (<1%) e turmalina (<1%).

♦ OL-III-39A

A rocha apresenta estrutura gnáissica e textura porfiroblástica inequigranular fina a média, com porfiroblastos de granada de granulação média a grossa, freqüentemente com zonas de sombra de pressão de biotita e sillimanita. Os porfiroblastos de granada (10-15%) são elipsoidais e amalgamados, com a predominância de uma fase intercinemática, rica em inclusões de biotita, quartzo, ilmenita, rutilo, plagioclásio e zircão, com um sobrecrecimento tardi a pós-cinemático, com menor quantidade de inclusões. No interior da granada freqüentemente ocorre biotita idioblástica de granulação grossa, substituindo a granada ao longo das fraturas. Também ocorrem porfiroblastos sin-cinemáticos de granada, com a foliação interna definida por trilhos de opacos e biotita, em continuidade com a foliação externa da matriz (S_2). A matriz apresenta lentes granoblásticas sigmoidais, ricas em quartzo (15-20%) e plagioclásio (25-30%), circundadas por leitos ricos em biotita (20-25%) e sillimanita (5-10%). O plagioclásio predominante é o oligoclásio (An_{10-20}). Os principais minerais acessórios são: rutilo (<5%), ilmenita (<5%) e zircão (<2%).

8.2.2.2 Granada

Nos paragneisses, todas as granadas são ricas em almandina (Alm_{76-84}), com conteúdos menores de piropo (Prp_{9-12}), grossulária (Grs_{2-10}) e espessartita (Sps_{2-4}). Foram obtidos dois perfis composicionais através de um porfiroblasto elipsoidal de granada de aproximadamente 2,5cm de diâmetro na amostra OL-II-112B (**Figura 36**). O perfil composicional (A-A') abrange o domínio sin-cinemático da granada (foliação interna é paralela à foliação externa principal S_2) e parte do domínio intercinemático (foliação interna na forma de trilhos de ilmenita e rutilo, oblíquos em relação à foliação externa principal S_2) (**Figura 36A**). O perfil composicional (B-B') abrange o domínio intercinemático da granada (**Figura 36B**). A composição química é aproximadamente homogênea, exceto para os conteúdos de grossulária, em que o cálcio atinge valor máximo no núcleo (Grs_{10}), nas proximidades de uma inclusão de cianita (**Figuras 36, 37 e 39**). Os maiores conteúdos em grossulária estão destacados em tons de vermelho, na composição falsa-cor Ca(R) Mg(G) Fe(B) (**Figura 39**). Esta associação sugere que as condições de pico bórico foram atingidas, no campo de estabilidade da cianita.

O núcleo da granada apresenta os menores conteúdos de piropo. O conteúdo de almandina é essencialmente homogêneo ao longo dos perfis analisados, com um aumento significativo nas bordas, correspondente com a diminuição em piropo. Isto pode ser correlacionado com a composição da biotita da matriz que é mais rica no membro annita, enquanto que a biotita inclusa apresenta maiores conteúdos de flogopita (**Figura 39**). Esta associação é resultante da troca de Fe-Mg entre a granada e a biotita (almandina + flogopita $\leftrightarrow$ piropo + annita). As bordas da granada são ligeiramente mais ricas em Mn (membro-final espessartita).

As variações de quimismo das fases minerais apresentam uma correlação da composição com as texturas e paragéneses. Ocorrem picos de ferro associados com uma ligeira diminuição no teor de cálcio no núcleo do porfiroblasto, nas proximidades de inclusões de biotita e feldspato (**Figura 39**). A difusão química é facilitada pela existência de uma zona de fraturamento interna na granada.

Figura 36: Seção química de granada, em perfil longitudinal (seção A-A') e em perfil transversal (seção B-B'). Polarizadores cruzados. Amostra OL-II-112B.

Mapas composicionais (Granada) - Amostra OL-II-112B

Figura 37: Fotomicrografia e mapas de concentração de elementos, ilustrando o zoneamento químico de um porfiroblasto de granada e de suas inclusões. Amostra OL-II-112B. (A) Fotomicrografia, (B) Mapa composicional de Al, (C) Ca, (D) Mn.

Mapas composicionais (Granada) - Amostra OL-II-112B

Figura 38: Mapas de concentração de elementos, ilustrando o zoneamento químico de um porfiroblasto de granada e de suas inclusões. Amostra OL-II-112B. (E) Mapa composicional de K, (F) Mg, (G) Fe, (H) Ti.

GRANADA - AMOSTRA OL-II-112B

Figura 39: (A) Imagem retroespalhada de um porfiroblasto de granada, obtida através de microscópio eletrônico de varredura (MEV), (B) Composição falsa-cor Ca (R), Mg (G), Fe (B) de um porfiroblasto de granada. Amostra OL-II-112B.

Figura 40: Seção química de granada (A-A'). Polarizadores paralelos. Amostra OL-III39A.

Figura 41: Seção química de granada (B-B'). Polarizadores paralelos. Amostra OL-III-39A.

Na amostra OL-III-39A foram analisados dois porfiroblastos de granada com uma variação composicional brusca ($\text{Alm}_{76}\text{Prp}_9\text{Sps}_{10}$ para $\text{Alm}_{72}\text{Prp}_{18}\text{Sps}_5$) (**Figuras 40 e 41**). A fase intercinemática pode corresponder a uma primeira geração de granada, mais rica em piropo ($\text{Prp}_{16,4-18}$) e empobrecida em almandina (Alm_{72-74}) e espessartita (Sps_{5-6}), apresentando muitas inclusões de biotita, ilmenita, rutilo, quartzo e

plagioclásio. A segunda geração de granada é caracterizada por um sobrecrecimento tardio, praticamente isento de inclusões. Ocorre um aumento em almandina (Alm_{75-76}) e espessartita (Sps_{10}) acompanhado por uma diminuição em piropo (Prp_{9-10}), nas proximidades do domínio rico em biotita de granulação grossa (troca Fe-Mg). Este hiato composicional sugere um crescimento descontínuo da granada.

8.2.2.3 Feldspato

Os feldspatos variam de oligoclásio/andesina a sanidina no diagrama An-Ab-Or (**Figura 42**). O feldspato da amostra OL-II-112B ocorre na forma de cristais de ortoclásio não-geminados, anédricos a subeuédricos e apresentam composição química aproximadamente homogênea ($\text{An}_0\text{Ab}_{14-20}\text{Or}_{80-85}$), exibindo concentrações mais baixas de ortoclásio nas bordas externas. Na matriz está associado com quartzo, biotita, sillimanita e granada. Em geral, o teor de ortoclásio é mais elevado nos cristais inclusos na granada em comparação com o feldspato da matriz ($\text{An}_0\text{Ab}_{4-12}\text{Or}_{87-96}$) (**Figura 42**). Os cristais analisados da matriz apresentam uma pequena variação no teor de ortoclásio, que diminui do núcleo em direção às bordas. O feldspato potássico incluso na granada ocorre em paragênese com cianita, sillimanita, biotita, muscovita e ilmenita.

Figura 42: Diagrama para classificação de feldspatos no sistema $\text{CaO-Na}_2\text{O-K}_2\text{O}$ (An-Ab-Or) (MINPET 2.02 - Richard, 1995).

A maioria dos cristais de plagioclásio da matriz são composicionalmente homogêneos, freqüentemente representados por um oligoclásio cálcico ($\text{An}_{27-28}\text{Ab}_{71-72}\text{Or}_{0.8-1.0}$). Ocorrem em associação com biotita, sillimanita, quartzo e ilmenita na matriz

e com biotita, ilmenita e quartzo no interior da granada. Os cristais inclusos na granada apresentam maior variação no teor de anortita, sendo mais cálcico nas bordas e mais sódico no núcleo ($An_{18-45}Ab_{55-81}Or_{0,3-0,8}$), variando de An_{26-30} no oligoclásio e An_{39-45} na andesina (ex.: OL-III-39A).

Apresentam as seguintes proporções entre os membros-finais:

- Matriz: $An_{27-28}Ab_{71-72}Or_{0,8-1,0}$
- Inclusão: $An_{18-45}Ab_{54-81}Or_{0,3-0,8}$

8.2.2.4 Biotita

A biotita apresenta coloração castanho-avermelhada e forte pleocroísmo. Foram analisados grãos de biotita da matriz e grãos inclusos na granada, que são em geral mais ricos no membro-final flogopita do que a biotita da matriz, apresentando razões $[Mg \cdot 100 / (Mg + Fe^{2+})]$ mais elevadas ($\#Mg = 39-42$) do que os grãos da matriz ($\#Mg = 31-35$) (amostra OL-II-112B).

Figura 43: Diagrama para classificação de biotita (MINPET 2.02 – Richard, 1995).

A variação composicional entre os grãos da matriz e as inclusões provavelmente representa um re-equilíbrio difusional entre a granada e a biotita durante o resfriamento, onde o equilíbrio é demonstrado pelo inverso da seguinte reação de troca: $Prp + Ann \leftrightarrow Alm + Phl$. Esta variação composicional também é evidenciada através da composição falsa-cor CaR MgG FeB (**Figura 39**), em que as inclusões de biotita no interior do

porfiroblasto de granada apresentam uma coloração de verde mais intensa do que os grãos da matriz, indicando maior conteúdo de magnésio nas inclusões. Os grãos de biotita da amostra OL-II-39A apresentam teor de magnésio mais elevado e também apresentam razões $[Mg*100/(Mg+Fe^{2+})]$ ligeiramente mais elevadas nos grãos inclusos em granada (#Mg = 60-62) do que nos grãos da matriz (#Mg = 51-59) (**Figura 43**).

Nas duas amostras analisadas ocorre biotita idioblástica de granulação grossa que substitui a granada ao longo de fraturas e que possui a mesma composição da biotita da matriz ou da zona de sombra de pressão na granada (rica no membro-final annita), contrastando com a composição da biotita inclusa. Inclusões de biotita de granulação fina são relativamente pobres em Ti (aproximadamente 0.118-0.152 p.f.u.), enquanto que a biotita de granulação grossa em áreas fraturadas internas dos porfiroblastos de granada possui conteúdos mais elevados de Ti (0.157-0.189 p.f.u.), semelhante ao teor de Ti nos cristais de biotita do domínio da zona de sombra de pressão (0.152-0.169 p.f.u.) (**Figuras 38 e 39**). O maior conteúdo em titânio possivelmente reflete composições químicas de temperaturas mais elevadas preservadas nestes grãos.

8.2.2.5 Rutilo

As análises de rutilo foram realizadas somente em grãos inclusos em granada, onde ocorre em maior abundância. O principal objetivo destas análises foi identificar os teores de Zr, para a aplicação do geotermômetro de Zr em rutilo. Na amostra OL-II-112B é possível identificar duas modas de teores de Zr nos cristais de rutilo analisados. Os cristais de rutilo com teores de Zr menores (230-489 ppm Zr) geralmente ocorrem nas bordas do porfiroblasto ou associados à zonas de fraturamento internas da granada. Já os cristais de rutilo, cujos valores de ppm de Zr são maiores (710-910 ppm Zr), apresentam hábito acicular e ocorrem no núcleo da granada, onde a difusão química é menor.

Na amostra OL-III-39A não ocorre um contraste bem marcado no conteúdo de Zr entre os diferentes cristais de rutilo analisados. Os grãos de rutilo com teores menores de Zr (289 – 377 ppm Zr) ocorrem nas bordas da granada e associados com fraturas, o que facilita a difusão (**Figura 44**). O teor mais elevado (466 ppm Zr) ocorre no núcleo de um porfiroblasto de granada, isento de fraturas.

Figura 44: Inclusões de rutilo ao longo de fraturas em porfiroblasto de granada. Amostra OL-III-39A.

8.2.3 Rochas metabásicas

8.2.3.1 Descrição sucinta das amostras

♦ NLD-7D

A rocha é mesocrática e pouco foliada, com textura granoblástica inequigranular fina a média. É caracterizada pela presença de cristais bem formados de clinopiroxênio e ortopiroxênio, substituídos por hornblenda pelas bordas. A hornblenda (15-20%) freqüentemente apresenta inclusões de opacos. O ortopiroxênio (10-20%) ocorre em contatos retos com o clinopiroxênio (10-30%), que freqüentemente apresenta inclusões de quartzo e plagioclásio. A granada (1-5%) é predominantemente idioblástica e de granulação fina, freqüentemente manteando os opacos (<7%) e o plagioclásio (25-35%). Localmente ocorre granada poiquiloblástica englobando cristais de hornblenda, plagioclásio, apatita e opacos. O plagioclásio predominante é a andesina (An_{30-50}), mas também ocorre labradorita (An_{50-60}). O quartzo (<5%) ocorre intersticial na matriz ou intercrescido com hornblenda. Os principais minerais acessórios são: apatita (<3%), actinolita (<1%) e biotita (<1%).

♦ NLD-20A

Rocha mesocrática com estrutura maciça e textura granoblástica inequigranular fina a muito fina, cuja característica principal é o arranjo denso de cristais prismáticos de plagioclásio orientados em todas as direções (textura blasto-ofítica), em uma matriz constituída predominantemente por hornblenda com textura simplectítica de Hbl + Pl + Qtz que substitui os piroxênios. O plagioclásio (15-30%) preserva aspecto ripiforme da cristalização ígnea, embora esteja recristalizado e poligonizado em grãos finos. O plagioclásio predominante é a labradorita (An_{60-70}). A hornblenda (50-60%)

freqüentemente apresenta inclusões xenomórficas de opacos e granada, além de titanita, plagioclásio e quartzo. Os cristais de clinopiroxênio (5-15%) e ortopiroxênio (< 10%) são reliquias e estão bastante fraturados. Alguns grãos apresentam geminação preservada. A granada (<5%) é subidioblástica a xenoblástica, freqüentemente mantendo parcialmente os opacos ou o plagioclásio. O quartzo (5-10%) ocorre principalmente intercrescido com hornblenda ou poligonizado na matriz com plagioclásio. Os principais minerais acessórios são: opacos (<5%), apatita (<3%) e titanita (<1%).

8.2.3.2 Granada

Os cristais de granada nos granulitos máficos são caracterizados por grãos idioblásticos, com composição aproximadamente homogênea, e perfis composicionais relativamente planos.

Apresentam as seguintes proporções entre os membros-finais:

- Amostra NLD-7D: (Alm₅₉₋₆₂ Prp₁₃₋₁₅ Grs₁₉₋₂₀ Sps₄₋₆)
- Amostra NLD-20A: (Alm₅₃₋₆₄ Prp₈₋₁₅ Grs_{16-30,6} Sps₄₋₇)

As variações composicionais estão associadas com a paragênese, pois ocorrem ligeiras variações entre cristais de granada adjacentes a plagioclásio, piroxênio ou anfibólio. Os conteúdos de almandina e essartita são ligeiramente mais elevados nas bordas dos grãos de granada quando adjacentes a hornblenda + plagioclásio do que no contato com piroxênio + plagioclásio e/ou coronas (ex.: NLD-7D, NLD-20A). Quando a granada está em paragênese com a hornblenda, ocorre uma ligeira diminuição no conteúdo de pirope e grossulária, do núcleo em direção às bordas, acompanhado de um pequeno aumento no teor de almandina e essartita. A maior quantidade de Fe nas bordas da granada também pode estar associada ao resfriamento. Nas texturas do tipo *moat*, em que a granada ocorre mantendo o plagioclásio, há um ligeiro aumento no conteúdo de grossulária e diminuem os teores de almandina e pirope.

8.2.3.3 Plagioclásio

O plagioclásio da amostra NLD-7D (An₄₂₋₄₇ Ab₅₂₋₅₇ Or_{1-1,3}) ocorre na forma de cristais anédricos levemente deformados, com geminações curvadas. São composicionalmente homogêneos, representados por uma andesina cálcica.

Na amostra NLD-20A, o plagioclásio (An₄₄₋₆₅ Ab₃₄₋₅₅ Or_{0,2-0,1}) apresenta hábito tabular alongado, ripiforme, sugerindo fenocristais ígneos reliquias (**Figura 46**).

Foram realizadas duas seções químicas ao longo do mesmo cristal, que indicam uma variação composicional contínua do núcleo (labradorita cálcica) em direção às bordas (andesina) (**Figuras 45 e 46**). O plagioclásio frequentemente está manteado por hornblenda ou granada e, nestes contatos, o teor de anortita é menos expressivo (andesina), correlacionado com um incremento em cálcio na granada e no anfibólio. O maior conteúdo em anortita em cristais ripiformes também poderia estar relacionado a temperaturas de cristalização mais elevadas.

Figura 45: Seção química de plagioclásio, em perfil longitudinal (seção A-A') e transversal (seção B-B'). Polarizadores cruzados. Amostra NLD-20A.

8.2.3.4 Ortopiroxênio

O ortopiroxênio da amostra NLD-7D é subeuédrico, de granulação fina a média, com pleocroísmo forte, variando de verde claro a bege rosado. Localmente está substituído por intercrescimentos de hornblenda + quartzo no contato com a granada. Possui composição química homogênea, com um aumento pouco expressivo no conteúdo de ferrossilita no núcleo, acompanhado de uma diminuição em enstatita nas

bordas. O teor de Al varia de 0.034 a 0.162 Al p.f.u. Está situado no limite composicional enstatita/ferrossilita, de acordo com a classificação de Morimoto (1988) (**Figura 47**). Apresenta as seguintes proporções entre os membros finais: $Wo_{0,6-2,3}$ $En_{47,1-50,1}$ $Fs_{48,9-51,5}$.

Figura 46: Diagrama para classificação de feldspatos no sistema $CaO-Na_2O-K_2O$ (An-Ab-Or) (MINPET 2.02 - Richard, 1995).

Figura 47: Diagrama para classificação de ortopiroxênios no sistema $Mg_2Si_2O_6-Fe_2Si_2O_6-CaFeSi_2O_6$ (En-Fs-Wo).

8.2.3.5 Clinopiroxênio

Nos granulitos máficos, o clinopiroxênio é subeuédrico, com pleocroísmo médio variando de verde-amarelado a verde-azulado claro, freqüentemente com inclusões de quartzo e plagioclásio, e localmente com inclusões de granada. No metagabro simplectítico, os cristais de clinopiroxênio são anédricos, bastante fraturados e substituídos por hornblenda. O clinopiroxênio é classificado como diopsídio e augita, de acordo com a classificação proposta por Morimoto (1988) (**Figura 48**).

Na amostra NLD-20A, os cristais de augita são mais abundantes e com composição variável ($Mg\# = 53-70$). O clinopiroxênio presente na amostra NLD-7D exibe menor variação na razão $[Mg \cdot 100 / (Mg + Fe)]$ ($Mg\# = 60-66$), com valores semelhantes aos encontrados na maioria dos granulitos máficos. Os teores de Al variam de 0.04-0.108 Al p.f.u. na amostra NLD-7D, e 0.037-0.457 Al p.f.u. na amostra NLD-20A.

Apresentam as seguintes proporções entre os membros-finais:

- NLD-7D: $Wo_{42,8-47,3} En_{34,2-36,7} Fs_{17,7-21,5}$
- NLD-20A: $Wo_{41,1-48,6} En_{35,8-38,5} Fs_{15,4-21,5}$

Figura 48: Diagrama para classificação de clinopiroxênios no sistema $Mg_2Si_2O_6-Fe_2Si_2O_6-CaFeSi_2O_6$ (En-Fs-Wo).

8.2.3.6 Anfibólio

Os anfibólios das rochas metabásicas são classificados em anfibólios cálcicos. Os cristais de hornblenda são subeuédricos a anédricos, com pleocroísmo médio variando de verde-pálido a verde escuro. Ocorre substituindo os piroxênios pelas bordas e também na forma de intercrescimentos simplectíticos com quartzo e freqüentemente apresenta inclusões xenomórficas de opacos e granada, além de plagioclásio, clinopiroxênio, titanita e quartzo.

Nos metagabros simplectíticos o anfibólio predominante é a magnésio-hornblenda, enquanto que nos granulitos máficos há o predomínio de hornblenda-tschermakítica, com poucas ocorrências de magnésio-hornblenda (nomenclatura de Leake *et al.*, 1997; Hawthorne & Oberti, 2007) (**Figura 49**). O teor de alumínio nos

anfibólios varia de 1.6-2.3 Al p.f.u., com um relativo aumento nos contatos com a granada. A razão $[Mg \cdot 100 / (Mg + Fe)]$ varia de 49-61 e diminui em direção ao contato com a granada, assim como o teor de Ca. O teor de Fe e Ti é mais expressivo nas proximidades com ilmenita, enquanto que nos contatos com o clinopiroxênio ocorre um pequeno aumento nos teores de Ca, Mg e Mn.

Figura 49: Diagrama de classificação para o grupo de anfibólios cálcicos com $Ca_B \geq 1.50$; $(Na+K)_A \leq 0.5$; $Ti < 0.5$ (Leake *et al.*, 1997; Hawthorne & Oberti, 2007).

8.2.4 Metagabronoritos

8.2.4.1 Descrição sucinta das amostras

♦ NLD-42C

A rocha apresenta estrutura maciça e textura predominantemente granoblástica, inequigranular fina a média (0.1-1.5mm), com desenvolvimento de texturas coroníticas, principalmente com anéis de granada no contato entre plagioclásio e opacos. O clinopiroxênio (25-30%) ocorre fraturado, localmente com inclusões de quartzo ou com granulação fina, compondo coronas com a granada. O ortopiroxênio (15-20%) está freqüentemente associado com o quartzo quando manteado por clinopiroxênio e granada. Há gerações distintas de granada (10-15%): uma anédrica (Grt_1), na forma de finas coronas no contato entre os opacos e clinopiroxênio, ou entre opacos e Grt_2 ; uma

geração idioblástica a subidioblástica, rica em microexsoluções de opacos (Grt₂), no contato com opacos ou Grt₁, seguida por uma geração idioblástica tardia, límpida e isenta de inclusões (Grt₃). O plagioclásio (40-45%) dominante é a andesina (An₃₀₋₄₅), geralmente na forma de grãos poligonizados. A hornblenda (5-10%) ocorre na borda de opacos ou substituindo os piroxênios. Os opacos (7-10%) formam agregados, comumente manteados por granada idioblástica no contato com o plagioclásio. O quartzo (<5%) é geralmente intersticial. Outros minerais acessórios são: apatita (<2%) e zircão (<2%).

♦ NLD-42D

A rocha apresenta estrutura maciça e textura predominantemente granoblástica, inequigranular fina a média (0.1-2.0mm), caracterizada pela presença de coronas de Grt ± Cpx ± Qtz no contato entre ortopiroxênio e plagioclásio e/ou opacos. Nesta amostra ocorrem leitos de dimensão milimétrica a subcentimétrica, com concentração de granada (15-20%) xenoblástica intercrescida com clinopiroxênio (20-25%), e quartzo (<5%), com terminações idioblásticas em direção ao contato com o plagioclásio (40-45%). Nestes leitos ocorrem veios de quartzo milimétricos contínuos, com calcita intersticial (<2%) entre grãos de granada e clinopiroxênio. Esta textura sugere que a preservação da associação mineral anidra Grt + Cpx + Qtz ± Pl foi facilitada com a infiltração de um fluido rico em CO₂, evidenciado pela presença de calcita nos interstícios. O ortopiroxênio (10-15%) ocorre na forma de grãos reliquiais corroídos, freqüentemente manteados por Grt, Qtz, Cpx e/ou Hbl. Outros minerais acessórios são: apatita (<3%), zircão (<1%), rutilo (<1%) e biotita (<1%).

8.2.4.2 Granada

Os cristais de granada são em geral idioblásticos a subidioblásticos, de granulação fina, ricos em inclusões de quartzo, comumente formando coronas ao redor de plagioclásio, clinopiroxênio no contato com opacos. Também ocorrem *moats* de granada com clinopiroxênio e quartzo associado, ao redor de grãos de ortopiroxênio no contato com o plagioclásio (NLD-42C).

Apresenta as seguintes proporções entre os membros-finais:

- Amostra NLD-42C: (Alm_{61,2-64,9} Prp_{11,5-13} Grs_{19,8-22} Sp_{s3,5-5,2})
- Amostra NLD-42D: (Alm_{60,5-65,8} Prp_{11,4-15,1} Grs_{19,2-24,4} Sp_{s2,1-4,3})

Figura 50: Seções químicas em cristal de granada (seção A-A'), plagioclásio (seção B-B') e clinopiroxênio (seção C-C'). Notar corona composta por granada + clinopiroxênio + opacos no contato com o plagioclásio. (A) Polarizadores paralelos, (B) polarizadores cruzados. Amostra NLD-42D.

A granada também ocorre xenoblástica, com terminações idioblásticas límpidas e isentas de inclusões, em direção ao contato com o plagioclásio. A composição química é aproximadamente homogênea, exibindo perfis composicionais relativamente planos. Geralmente ocorre um ligeiro incremento nos conteúdos de grossulária e piropo, do núcleo em direção às bordas, acompanhado por uma diminuição nos conteúdos de almandina (**Figura 50**).

Figura 51: Seção química (A-A') de granada, ao longo de um veio composto por granada + clinopiroxênio + opacos $\pm$ quartzo $\pm$ plagioclásio. Amostra NLD-42D.

Na amostra NLD-42D, ocorre uma descontinuidade preenchida por granada + clinopiroxênio + quartzo $\pm$ opacos $\pm$ calcita, associada com percolação de CO_2 , o que possibilitou a preservação de paragéneses minerais anidras (**Figura 51**). Neste local, a granada apresenta um enriquecimento em Fe nas bordas, acompanhado por um ligeiro decréscimo em Ca e Mg, possivelmente devido à difusão entre a granada com os opacos e clinopiroxênio (**Figura 51**).

8.2.4.3 Feldspato

Os cristais de plagioclásio dos metagabronoritos são subeuédricos, de granulação fina a média. São classificados como andesina (An_{36-43}) (**Figura 52**). Estão freqüentemente manteados por *moats* de granada ou coronas mistas compostas por granada + clinopiroxênio + opacos $\pm$ quartzo no contato com o ortopiroxênio. O plagioclásio apresenta um leve enriquecimento em albita do núcleo em direção às bordas (**Figuras 52 e 53**).

Apresentam as seguintes proporções entre os membros-finais:

- NLD-42C: $An_{35-42,7}$ $Ab_{55,2-63,1}$ $Or_{1-2,2}$
- NLD-42D: $An_{35,9-39}$ $Ab_{58,8-62,2}$ $Or_{1,4-2,3}$

O feldspato potássico ($An_{0,2-0,7}$ $Ab_{3,5-3,8}$ $Or_{94,6-95,8}$) ocorre com frequência no interior das coronas, lobado a goticular associado com quartzo, no contato entre o plagioclásio coronítico e os *moats* de granada.

Figura 52: Diagrama para classificação de feldspatos no sistema CaO-Na₂O-K₂O (An-Ab-Or) (MINPET 2.02 - Richard, 1995).

8.2.4.4 Ortopiroxênio

Os cristais de ortopiroxênio das amostras NLD-42C e NLD-42D são anédricos a subeuédricos, com pleocroísmo médio variando de verde claro a bege rosado, freqüentemente manteados por clinopiroxênio, granada e quartzo no contato com o plagioclásio ou com substituição discreta por hornblenda nas bordas. Localmente ocorrem grãos de ortopiroxênio parcialmente substituídos por magnetita e quartzo. São classificados como ferrossilita, segundo a classificação de Morimoto (1988) (**Figura**

55). Apresenta as seguintes proporções entre os membros finais: $Wo_{0,8-1,4}$ $En_{43,8-47,4}$ $Fs_{51,6-54,9}$.

Apresentam composição química homogênea, com $Mg\# = 45-48$ e teor de Al variando de 0.027-0.048 p.f.u. Os cristais de ortopiroxênio coroníticos apresentam um ligeiro aumento nos conteúdos de enstatita nas bordas, acompanhado por uma diminuição nos teores de ferrossilita (**Figuras 53, 56 e 57**).

Figura 53: Perfil composicional em cristal de plagioclásio (seção A-A') e de ortopiroxênio coronítico (seção B-B'). Notar corona composta por clinopiroxênio + granada $\pm$ quartzo no contato entre o ortopiroxênio e o plagioclásio. (A) Polarizadores paralelos, (B) polarizadores cruzados, com cunha de quartzo (analisador). Amostra NLD-42C.

Figura 54: Perfil composicional em cristal de plagioclásio coronítico. Polarizadores paralelos. Amostra NLD-42D.

Figura 55: Diagrama para classificação de ortopiroxênios no sistema $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6\text{-Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_6\text{-CaFeSi}_2\text{O}_6$ (En-Fs-Wo).

8.2.4.5 Clinopiroxênio

O clinopiroxênio é subeuédrico a anédrico, de granulação fina a média, com pleocroísmo fraco variando de incolor a verde claro. É classificado como diopsídio, segundo a classificação de Morimoto (1988) (**Figura 58**). Apresenta as seguintes proporções entre os membros finais: $\text{Wo}_{42,5-46,8} \text{En}_{31,2-34,3} \text{Fs}_{19,3-25,2}$.

Os cristais de dimensão milimétrica comumente formam coronas com granada e quartzo, no contato entre ortopiroxênio e plagioclásio (**Figuras 50, 53, 54, 56 e 57**).

Figura 56: Seção química em cristal de ortopiroxênio coronítico. Notar corona composta por quartzo + granada ao redor do ortopiroxênio, seguido por corona de opacos e granada. (A) Polarizadores paralelos, (B) polarizadores cruzados, com cunha de quartzo (analisador). Amostra NLD-42D.

Cristais individuais de dimensão maior frequentemente apresentam inclusões de plagioclásio, quartzo, granada e opacos e estão parcialmente substituídos por hornblenda pelas bordas. Na amostra NLD-42D os cristais são xenomórficos e estão intercrescidos com granada e em associação com plagioclásio e quartzo (**Figura 51**).

Apresenta composição variável, com $Mg\#$ $[100 \cdot Mg / (Mg + Fe)]$ variando de 58 a 71. Os cristais de clinopiroxênio presentes na amostra NLD-42D possuem menor variação no $Mg\#$ (58-65), semelhante à maioria dos granulitos máficos ($Mg\# = 60-65$), de acordo com Baldwin *et al.*, (2003). Os teores de Al variam de 0.059-0.081 Al p.f.u., com conteúdos ligeiramente mais elevados nos cristais coroníticos. Em geral, apresentam conteúdos maiores de ferrossilita e jadeíta no núcleo (**Figuras 50 e 59**). Localmente apresentam um ligeiro aumento no $Mg\#$ nas bordas, possivelmente representando uma troca difusional com a granada durante o resfriamento.

Figura 57: Seção química em cristal de ortopiroxênio manteado por clinopiroxênio, quartzo e granada no contato com o plagioclásio. (A) Polarizadores paralelos, (B) polarizadores cruzados, (C) Imagem retroespalhada obtida em microscópio eletrônico de varredura (MEV). Amostra NLD-42C.

Figura 58: Diagrama para classificação de clinopiroxênios no sistema $Mg_2Si_2O_6$ - $Fe_2Si_2O_6$ - $CaFeSi_2O_6$ (En-Fs-Wo).

Figura 59: Seção química (A-A') em cristal de clinopiroxênio da matriz. Polarizadores paralelos. Amostra NLD-42D.

8.2.4.6 Anfibólio

Os anfibólios da amostra NLD-42C são subeuédricos a anédricos, com pleocroísmo variando de verde-amarelado a verde-escuro, freqüentemente substituindo os piroxênios pelas bordas e/ou mantendo opacos. São classificados como ferro-pargasita, de acordo com a nomenclatura proposta por Leake *et al.*, (1997) e Hawthorne & Oberti (2007) (**Figura 60**). A distribuição catiônica foi calculada para 23 oxigênios. As variações nos conteúdos de elementos maiores são controladas pelas seguintes substituições catiônicas: troca de edenita [${}^T\text{Si} + {}^A\Box \leftrightarrow {}^T\text{Al} + {}^A(\text{Na} + \text{K})$] e troca tschermakítica (${}^T\text{Si} + {}^{M1-M3}\text{Mn} \leftrightarrow {}^T\text{Al} + {}^{M1-M3}\text{Ti}$). A combinação das duas substituições anteriores resulta na troca pargasítica [$\text{Al}_2\text{AlNa} \leftrightarrow \text{Si}_2(\text{Mg}, \text{Fe})\Box$]. A razão $[\text{Mg} \cdot 100 / (\text{Mg} + \text{Fe})]$ é mais baixa na pargasita ($\text{Mg\#} = 39,7\text{-}45,4$). O teor de Al varia de 1,41-2,27 Al p.f.u.

Figura 60: Diagrama de classificação para o grupo de anfibólios cálcicos com $Ca_B \geq 1.50$; $(Na+K)_A \geq 0.50$; $Ti < 0.5$ (Leake *et al.*, 1997; Hawthorne & Oberti, 2007).

8.2.5 Rochas charnockíticas

8.2.5.1 Descrição sucinta das amostras

♦ NLD-45B

A rocha apresenta estrutura predominantemente maciça, com textura granoblástica, inequigranular fina a grossa (0.1-5 mm). A rocha é caracterizada pelo desenvolvimento de coronas poliminerálicas de Grt + Cpx $\pm$ Qtz $\pm$ Pl ao redor de cristais de ortopiroxênio e plagioclásio, da associação ígnea pretérita. Os cristais de ortopiroxênio (15-18%) são euédricos a subeuédricos, de granulação grossa (até 5mm), freqüentemente substituídos por biotita (<5%) ou por intercrescimentos de Bt + Qtz. Também ocorre a substituição discreta por hornblenda (<1%) nas bordas. O plagioclásio (55-60%) ocorre na forma de porfiroclastos de até 4mm, com geminações curvadas e contatos irregulares, e em grãos poligonizados finos, na forma de agregados granoblásticos monominerálicos. O plagioclásio dominante é a andesina (An₃₀₋₄₀), com poucos grãos de oligoclásio (An₂₀₋₃₀) isolados. O feldspato potássico (5-10%) é não-

geminado e alguns grãos encontram-se poligonizados. O clinopiroxênio (10-15%) é subeuédrico, com pouca substituição por hornblenda nas bordas. Ocorre na matriz ou compondo coronas com granada idioblástica (5-7%) e quartzo (7-10%) ao redor de ortopiroxênio e plagioclásio. Outros minerais acessórios são: apatita (<5%), zircão (<1%), rutilo (<1%) e calcita (<1%).

♦ NLD-45D

A rocha apresenta estrutura foliada e textura granoblástica a lepidogranoblástica, nas porções mais ricas em biotita. Localmente é caracterizada por uma textura porfiroclástica, constituída predominantemente por cristais reliquiares ígneos de ortopiroxênio e plagioclásio de granulação grossa (até 5 mm) em matriz inequigranular fina a média (0.1-2 mm), composta por grãos de plagioclásio poligonizados, quartzo, granada, clinopiroxênio e biotita. Também são frequentes as texturas coroníticas constituídas por $Grt + Cpx \pm Qtz \pm Pl$ ao redor de ortopiroxênio e plagioclásio. O ortopiroxênio (10-20%) é subeuédrico, de granulação grossa (até 5mm), por vezes intensamente fraturados e penetrados por cristais de biotita de até 5mm, na forma de escamas (5-10%) e/ou por intercrescimentos esqueléticos de $Bt + Qtz$. Os cristais de clinopiroxênio (10-15%) possuem granulação fina a média. Estão geralmente inclusos em ortopiroxênio ou compõem coronas com Grt e Qtz . Também ocorrem alguns grãos de piroxênio com substituição discreta por hornblenda (<1%) nas bordas ou ao longo de fraturas e clivagens. A granada (5-10%) é subidioblástica a idioblástica fina, localmente com inclusões goticulares de quartzo e/ou opacos (<2%). O plagioclásio (45-55%) ocorre na forma de porfiroclastos de até 4mm (grãos reliquiares ígneos), com geminações curvadas e contatos irregulares, e em grãos poligonizados finos, na forma de agregados granoblásticos monominerálicos. O plagioclásio dominante é a andesina (An_{30-40}), com poucos grãos de feldspato potássico (<5%) não-geminados. Outros minerais acessórios são: apatita (<5%), zircão (<1%) e calcita (<1%).

Amostra NLD-45D (corona 7)

Perfil composicional (A) Granada

Perfil composicional (B) Granada

Perfil composicional (C) Plagioclásio

Perfil composicional (D) Ortopyroxênio

Figura 61: Perfil composicional em cristal de granada (seções A-A' e B-B'), plagioclásio (seção C-C') e ortopyroxênio (seção D-D'). (A) Polarizadores paralelos, (B) polarizadores cruzados. Amostra NLD-45D.

Amostra NLD-45D (corona 8)

Figura 62: Perfil composicional em cristal de granada (seções A-A' e B-B') e ortopyroxênio (seções C-C' e D-D'). (A) Polarizadores paralelos, (B) polarizadores cruzados. Amostra NLD-45D.

Amostra NLD-45B (Corona 1)

63: Perfil composicional em cristal de granada (seções A-A', B-B' e C-C') e plagioclásio (seção D-D') da corona 1. (A) Polarizadores paralelos, (B) polarizadores cruzados, (C) Esboço sobre a imagem obtida em microscópio eletrônico de varredura (MEV). Amostra NLD-45B.

8.2.5.2 Granada

Os cristais de granada são em geral subidioblásticos, de granulação fina, comumente na forma de *moats*, compondo coronas com clinopiroxênio + quartzo ± plagioclásio no contato entre cristais reliquiares ígneos de ortopiroxênio e plagioclásio. São ricos em inclusões de quartzo e/ou opacos, com terminações idioblásticas límpidas em direção ao plagioclásio coronítico.

A composição química é homogênea, exibindo perfis composicionais relativamente planos. Na amostra NLD-45D foram analisados grãos de granada em duas coronas distintas. Na corona 6 (**Figura 61**) foram analisados um cristal idioblástico, isento de inclusões, adjacente à augita (seção A-A') e um cristal subidioblástico com inclusões de quartzo, adjacente ao diopsídio (seção B-B'). No perfil composicional A-A' da corona 6 (**Figura 61**) ocorre um pequeno aumento no conteúdo de grossulária nas bordas, acompanhado por uma diminuição no conteúdo de piropo e um leve empobrecimento em almandina, possivelmente relacionado com a difusão com cristal de augita adjacente. No perfil composicional B-B' da mesma corona (**Figura 61**) ocorre um aumento em almandina do núcleo em direção às bordas, acompanhado por uma diminuição em piropo, devido à troca Fe-Mg com cristal de diopsídio adjacente. Na corona 8 (**Figura 62**), a granada apresenta um enriquecimento em grossulária, acompanhado por uma diminuição nos conteúdos de piropo. A almandina permanece constante, exceto na seção A-A' em que ocorre um pequeno aumento no teor de Fe no contato com o ortopiroxênio.

Na amostra NLD-45B, a granada apresenta o mesmo padrão de zoneamento químico, com um leve aumento nos conteúdos de almandina, acompanhado por uma diminuição nos conteúdos de piropo em direção ao contato com o clinopiroxênio devido à difusão química facilitada pelo resfriamento (seções A-A', B-B' e C-C'; **Figura 63**).

Apresenta as seguintes proporções entre os membros-finais:

- Amostra NLD-45B: (Alm_{61,6-64,1} Prp_{11,6-14,2} Grs_{19,3-22,5} Sps_{2,8-4,3})
- Amostra NLD-45D: (Alm_{59,1-61,9} Prp_{15,2-17,1} Grs_{18,7-20,8} Sps_{2,7-3,7})

8.2.5.3 Feldspato

Ocorrem cristais de plagioclásio subeuédricos, reliquiares da textura ígnea pretérita, de granulação média a grossa, levemente deformados, com geminações curvadas e grãos equigranulares poligonizados, de granulação fina. São classificados como andesina (An₃₃₋₄₂) (**Figura 64**).

Figura 64: Diagrama para classificação de feldspatos no sistema CaO-Na₂O-K₂O (An-Ab-Or) (MINPET 2.02 - Richard, 1995).

Apresenta as seguintes proporções entre os membros-finais:

- NLD-45B: An_{32,7-43,9} Ab_{54,5-66,5} Or_{0,7-2,7}
- NLD-45D: An_{34-41,9} Ab_{56,4-63,8} Or_{0,8-2}

Figura 65: Perfil composicional em cristal de plagioclásio da matriz (seções A-A' e B-B'). Polarizadores cruzados. Amostra NLD-45B.

O plagioclásio da matriz apresenta um enriquecimento no teor de anortita do núcleo em direção às bordas (**Figura 65**). Na seção A-A' ocorre um enriquecimento em albita na borda interna e borda externa mais cálcica. Os cristais adjacentes à corona apresentam um leve incremento em albita no contato com a granada, enquanto que os cristais coroníticos exibem perfis composicionais relativamente planos. Na corona 1 da amostra NLD-45B ocorre um grão de plagioclásio neoformado, mais rico em albita (An_{32-34}) do que o plagioclásio coronítico (An_{38-41}) (**Figura 63**).

Os cristais de feldspato potássico são não-geminados, subeuédricos a anédricos, de granulação média. Localmente ocorrem no interior das coronas, no contato entre o plagioclásio e os anéis de granada, com quartzo associado possivelmente mimetizando um líquido silicático (**Figura 63**). Apresenta as seguintes proporções entre os membros-finais: $An_{1,5-6,1}$ $Ab_{7,5-18,2}$ $Or_{75,7-92,6}$

Figura 66: Diagrama para classificação de ortopiroxênios no sistema $Mg_2Si_2O_6$ - $Fe_2Si_2O_6$ - $CaFeSi_2O_6$ (En-Fs-Wo).

8.2.5.4 Ortopiroxênio

Os cristais de ortopiroxênio são euédricos a subeuédricos, de granulação média a grossa, bastante fraturados, com pleocroísmo médio variando de bege rosado a incolor. Estão freqüentemente substituídos por coronas de granada + clinopiroxênio $\pm$ quartzo no contato com o plagioclásio. Alguns grãos estão parcialmente substituídos por hornblenda e/ou intercrescimentos de biotita + quartzo nas bordas ou ao longo de fraturas. Localmente a substituição direta de ortopiroxênio por biotita é total. Estão situados no limite composicional enstatita/ferrossilita, de acordo com a classificação de

Morimoto (1988) (**Figura 66**). Apresenta as seguintes proporções entre os membros finais: $Wo_{0,7-3,3} En_{46,4-52,9} Fs_{46,1-51,4}$.

A composição química é aproximadamente homogênea, com $Mg\# = 48-53$ e teor de Al entre 0.023-0.037 p.f.u. Os maiores valores de $Mg\#$ são nas bordas, principalmente nos cristais ígneos reliquiais de dimensão maior. Geralmente ocorre um pequeno incremento nos conteúdos de enstatita do núcleo em direção às bordas, acompanhado por uma diminuição nos teores de ferrossilita (**Figuras 62, 67**).

Figura 67: Perfil composicional em cristal de ortopiroxênio ígneo reliquiar. (A) Polarizadores paralelos, (B) polarizadores cruzados, (C) Imagem retroespalhada obtida através do MEV. Amostra NLD-45B.

8.2.5.5 Clinopiroxênio

Cristais ígneos reliquiais de granulação média a grossa estão bem preservados, com substituição discreta de hornblenda e/ou biotita nas bordas ou ao longo de fraturas

e clivagens. Os cristais menores (dimensão milimétrica) ocorrem inclusos em ortopiroxênio ou compondo coronas com granada.

Figura 68: Diagrama para classificação de clinopiroxênios no sistema $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6\text{-Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_6\text{-CaFeSi}_2\text{O}_6$ (En-Fs-Wo).

Apresenta as seguintes proporções entre os membros-finais:

- Amostra NLD-45B: $\text{Wo}_{42,1-47,7} \text{En}_{34,1-37,7} \text{Fs}_{15,9-23,8}$
- Amostra NLD-45D: $\text{Wo}_{26,7-46,4} \text{En}_{36,3-43,6} \text{Fs}_{15,2-30,2}$

O clinopiroxênio é classificado como diopsídio, de acordo com a classificação proposta por Morimoto (1988), exceto alguns grãos localizados nas coronas que plotam no campo da augita (**Figura 68**). A composição química é variável, com $\text{Mg\#} = 62\text{-}77$. Os teores de Al variam de 0.028-0.051 Al p.f.u. na maioria dos cristais analisados. Localmente ocorrem valores bastante elevados de Al em cristais de clinopiroxênio que compõem coronas com granada e quartzo no contato entre o ortopiroxênio e o plagioclásio (0.114-0.218 Al p.f.u. na amostra NLD-45B e 0.462 Al p.f.u. na amostra NLD-45D), refletindo condições de alto grau.

Os grãos são pouco zonados, geralmente apresentando um incremento nos conteúdos de enstatita do núcleo em direção às bordas. Os conteúdos de jadeíta variam de 0-1.5 na amostra NLD-45B e atingem as maiores concentrações na amostra NLD-45D (0-8.5). Geralmente com os teores mais elevados de jadeíta ocorrem no núcleo,

exceto para os grãos de augita em que os maiores valores se concentram nas bordas dos cristais.

8.2.5.6 Biotita

Os cristais de biotita presentes nas rochas charnockíticas ocorrem preferencialmente substituindo o ortopiroxênio, com quartzo associado. São geralmente subeuédricos a euédricos e fortemente pleocróicos, variando de marrom claro a marrom avermelhado, porém apresentam algumas variações texturais, relacionadas com variações composicionais. A razão $[Mg*100/(Mg+Fe)]$ varia de $Mg\# = 48-58$ e o teor de Ti de 0.21-0.33 Ti p.f.u.

Figura 69: Diagrama para classificação de biotita (MINPET 2.02 – Richard, 1995).

Na amostra NLD-45B ocorrem grãos de biotita de granulação grossa na matriz, freqüentemente associados com granada subidiomórfica, rica em inclusões de opacos. Nestes grãos ocorrem os maiores teores de Ti registrados nesta amostra (0.30-0.32 Ti p.f.u.). Há uma geração posterior de biotita, caracterizada por grãos idiomórficos finos, com teores menores de Ti (0.21-0.23 Ti p.f.u.) e conteúdos mais expressivos de flogopita ($Mg\# = 55-57$). Poucos grãos exibem zoneamento químico. Ocorre um cristal de biotita substituindo ortopiroxênio coronítico ao longo de fraturas (**Figura 67**), exibindo um leve enriquecimento no membro-final flogopita do núcleo em direção às bordas, possivelmente devido à troca Fe-Mg com o ortopiroxênio durante o

resfriamento. Os grãos de biotita inclusos em ortopiroxênio apresentam $Mg\# = 54-56$ e teor de Ti elevado (0.29-0.33 Ti p.f.u.).

A biotita da amostra NLD-45D apresenta composição mais homogênea, com razões $[Mg \cdot 100 / (Mg + Fe)]$ variando entre 52-58 e teor de Ti = 0.25-0.29 Ti p.f.u. Um cristal de biotita da matriz, de granulação grossa apresenta um leve zoneamento químico, exibindo o núcleo mais rico no membro-final flogopita, seguido por borda interna rica no membro-final annita e borda externa com conteúdos mais elevados em flogopita (**Figura 69**). A biotita idiomórfica que ocorre associada com o quartzo na substituição do piroxênio apresenta os maiores conteúdos de Mg ($Mg\# = 58$) e os menores teores de Ti registrados nesta amostra (0.25 Ti p.f.u.).

Figura 70: Diagrama de classificação para o grupo de anfibólios cálcicos com $Ca_B \geq 1.50$; $(Na+K)_A \leq 0.5$; $Ti < 0.5$ (Leake *et al.*, 1997; Hawthorne & Oberti, 2007).

8.2.5.7 Anfibólio

Os anfibólios das rochas charnockíticas são classificados em anfibólios cálcicos e estão situados no limite entre os campos da hornblenda tschermakítica e magnésio-hornblenda, com predomínio de hornblenda tschermakítica (nomenclatura de Leake *et al.*, 1997; Hawthorne & Oberti, 2007) (**Figura 70**). Os cristais são subeuédricos, de granulação fina, com pleocroísmo médio variando de verde-pálido a verde-escuro, geralmente substituindo os piroxênios pelas bordas ou ao longo de fraturas. Também

ocorrem associados com a biotita ou opacos. Na amostra NLD-45B ocorrem cristais de magnésio-hastingsita (**Figura 60**), subeuédricos a anédricos, de granulação fina, com pleocroísmo médio variando de verde-amarelado a verde-azulado.

Na amostra NLD-45B, a razão $[Mg*100/(Mg+Fe)]$ varia de 55-62.5, atingindo valores mais elevados na amostra NLD-45D ($Mg\# = 62.7-67$). O teor de Al varia de 1.85-2.40 Al p.f.u. na amostra NLD-45B, com maiores concentrações na hornblenda tschermakítica e menores conteúdos de Al na magnésio-hastingsita. Na amostra NLD-45D, com predomínio de magnésio-hornblenda e hornblenda tschermakítica, o teor de Al varia de 1.41-2.27 Al p.f.u.

8.3 GEOTERMOBAROMETRIA

8.3.1 Considerações iniciais

A determinação das condições de formação das associações minerais são aspectos fundamentais de pesquisa em terrenos metamórficos (Essene, 1989; Powell & Holland, 2008). A geotermobarometria baseia-se na determinação das condições de formação de uma rocha, a partir de cálculos de temperatura e pressão utilizando a composição química dos minerais. A princípio, a associação mineral selecionada para os cálculos deve estar em equilíbrio termodinâmico. A calibração de uma rocha pode ser feita através de geotermobarometria otimizada, com a utilização de programas como o THERMOCALC (Powell & Holland, 1988) e TWEEQU (*Thermobarometry With Estimation of EQUilibrium state*) (Berman, 1991) ou através da geotermobarometria clássica. A geotermobarometria de rochas em fácies granulito apresenta complexidades adicionais, pois os processos de fusão parcial atuantes e a difusão química facilitada por altas temperaturas dificultam a preservação de composições minerais de pico metamórfico (Powell & Holland, 2008).

O THERMOCALC (Powell & Holland, 1988) é um programa que foi desenvolvido para realizar uma série de cálculos termodinâmicos, utilizando um banco de dados termodinâmicos internamente consistentes (Holland & Powell, 1998). O banco de dados envolve incertezas nos parâmetros termodinâmicos, gerando, portanto, incertezas a serem calculadas sobre os resultados obtidos (geotermômetros e geobarômetros). O cálculo de rochas envolve a combinação simultânea de “quadrados mínimos” de condições calculadas para um set de reações linearmente independentes, que podem ser expressas entre os membros-finais nos minerais constituintes da rocha e nos dados termodinâmicos. Neste trabalho foi utilizada a versão 3.26 do THERMOCALC (Powell & Holland, 1988) para cálculos geotermobarométricos em paragneisses, rochas metabásicas e rochas charnockíticas e a versão 1.02 do TWEEQU (Berman, 1991), para cálculos complementares nas rochas metabásicas.

Os resultados obtidos no THERMOCALC para os paragneisses apresentaram-se satisfatórios, com erros relativamente baixos. Estes dados foram complementados com dados obtidos através da geotermobarometria clássica, com a utilização dos geotermômetros granada-biotita (Ferry & Spear, 1978; Indares & Martignole, 1985) e de zircônio-em-rutilo (Watson, 2006; Tomkins *et al.*, 2007) e do geobarômetro GASP (Newton & Haselton, 1981; Koziol & Newton, 1988; Koziol, 1989).

Nas rochas metabásicas e rochas charnockíticas são comuns as texturas coroníticas e a difusão química intensa provocou um grande desequilíbrio termodinâmico entre os minerais. Em muitos casos não foi possível obter um número mínimo de reações linearmente independentes entre todos os membros-finais da associação mineral, impossibilitando um cálculo confiável. Desta forma, a maior parte dos dados foi obtida através da geotermobarometria convencional, com a utilização do geotermômetro granada-clinopiroxênio (Ganguly, 1979; Sengupta *et al.*, 1989) e do geobarômetro granada-clinopiroxênio-plagioclásio (Eckert *et al.*, 1991).

A geotermobarometria convencional foi realizada através da utilização da planilha Excel GPT (Reche & Martinez, 1996) para os paragneisses e do software PTMAFIC 2.0 (Soto & Soto, 1995) para as rochas metabásicas. O PTMAFIC é um programa que executa uma extensa série de cálculos estequiométricos e termodinâmicos a partir de arquivos ASCII de análises químicas normalizadas em anfibólios, granada, epidoto, ilmenita, muscovita, ortopiroxênio, clinopiroxênio, olivina, plagioclásio e espinélio.

Os cálculos geotermobarométricos foram realizados no litotipos em que foram obtidas análises químicas quantitativas e qualitativas. Desta forma, a descrição sucinta das amostras está apresentada no subitem 6.2 (Química Mineral).

8.3.2 Diagramas de compatibilidade

Figura 71: Diagrama ACF para metagabronorito (amostra NLD-42C). Parâmetros: A=Al₂O₃+Fe₂O₃-(Na₂O+K₂O); C=CaO; F=FeO+MgO+MnO.

Nas rochas metabásicas e nas rochas charnockíticas são bastante frequentes as texturas coroníticas, que representam reações metamórficas incompletas entre as fases minerais ígneas reliquias (*e.g.* ortopiroxênio, plagioclásio) produzindo granada + clinopiroxênio + quartzo. Foi utilizado o diagrama de compatibilidade ACF para auxiliar no reconhecimento das composições de granada e clinopiroxênio em equilíbrio. A associação mineral neoformada constituída por Grt + Cpx está representada por linhas de conexão (*tie-lines*) pontilhadas em preto (**Figuras 71 a 75**). O quartzo não plota neste diagrama, pois é considerada uma fase em excesso.

Figura 72: Diagrama ACF para metagabronorito (amostra NLD-42D). Parâmetros: A=Al₂O₃+Fe₂O₃-(Na₂O+K₂O); C=CaO; F=FeO+MgO+MnO.

Nas coronas ocorre a formação de cristais diminutos de clinopiroxênio, com composições que variam de diopsídio a augita. Nos diagramas de compatibilidade ACF das rochas metabásicas (**Figuras 71 e 72**), as composições de núcleo e borda de diopsídio configuram linhas de conexão paralelas com as composições de núcleo e borda da granada, o que sugere condições de equilíbrio para estes pares de Grt-Cpx. A linha de conexão que une a granada à augita, representada por uma linha tracejada vermelha na **Figura 71**, cruza as demais linhas de conexão entre granada e diopsídio, o que indica que a augita está em desequilíbrio termodinâmico com a granada.

Nos diagramas de compatibilidade ACF das rochas charnockíticas, as linhas de conexão que unem o diopsídio e a granada também são paralelas, indicando equilíbrio termodinâmico entre ambos e são cruzadas pelas linhas de conexão que unem a granada

à augita (**Figuras 73 a 75**). Desta forma, a composição do par granada-augita não pode ser aplicada para geotermobarometria. Portanto, foram considerados apenas os pares de granada-diopsídio para os cálculos termobarométricos nas coronas das rochas metabásicas e das rochas charnockíticas.

Figura 73: Diagrama ACF para metacharnockito anidro (amostra NLD-45B). Parâmetros: A=Al₂O₃+Fe₂O₃-(Na₂O+K₂O); C=CaO; F=FeO+MgO+MnO.

Figura 74: Diagrama ACF para metacharnockito hidratado (amostra NLD-45D). Parâmetros: A=Al₂O₃+Fe₂O₃-(Na₂O+K₂O); C=CaO; F=FeO+MgO+MnO.

Figura 75: Diagrama ACF para metacharnockito hidratado (amostra NLD-45D). Parâmetros: $A = Al_2O_3 + Fe_2O_3 - (Na_2O + K_2O)$; $C = CaO$; $F = FeO + MgO + MnO$.

8.3.3 Geotermobarometria dos paragneisses

8.3.3.1 Banco de dados internamente consistentes (THERMOCALC)

Paragneisses- THERMOCALC (Holland & Powell, 1988)					
Amostra	Assoc. Mineral	Localização	T (°C)	P (Kbar)	corr
OL-II-112B	Grt-Bt-Sil-Kfs-Ilm-Rt	inclusão	791 ± 28	8.4 ± 1	0.884
OL-II-112B	Grt-Bt-Sil-Kfs-Ilm-Rt	inclusão	789 ± 27	8.4 ± 1.2	0.802
OL-II-112B	Grt-Bt-Sil-Kfs-Ilm-Rt	inclusão	820 ± 43	8.6 ± 1.5	0.874
OL-II-112B	Grt-Bt-Sil-Kfs-Ilm-Rt	inclusão	827 ± 44	8.2 ± 1.8	0.809
OL-II-112B	Grt-Bt-Sil-Kfs-Ilm-Rt	inclusão	810 ± 31	8.1 ± 1.3	0.801
OL-II-112B	Grt-Bt-Ky-Sil-Kfs-Ilm	inclusão	806 ± 26	10 ± 0.6	0.981
OL-II-112B	Grt-Bt-Ky-Sil-Kfs-Ilm	inclusão	807 ± 25	10 ± 0.6	0.981
OL-II-112B	Grt-Bt-Ky-Sil-Kfs-Ilm	inclusão	779 ± 58	9.4 ± 1.3	0.979
OL-II-112B	Grt-Bt-Sil-Ms-Kfs-Ilm-Rt	matriz	751 ± 51	7 ± 1.3	0.512
OL-II-112B	Grt-Bt-Sil-Ms-Kfs-Ilm-Rt	matriz	758 ± 53	7 ± 1.2	0.54
OL-III-39A	Grt-Bt-Pl-Ilm-Rt	inclusão	591 ± 125	5.3 ± 1.3	0.712
OL-III-39A	Grt-Bt-Pl-Ilm-Rt	inclusão	677 ± 136	6.2 ± 1.5	0.754
OL-III-39A	Grt-Bt-Pl-Ilm-Rt	inclusão	605 ± 100	5.7 ± 1.1	0.724
OL-III-39A	Grt-Bt-Pl-Ilm-Rt	inclusão	610 ± 141	5.5 ± 1.4	0.723
OL-III-39A	Grt-Bt-Pl-Ilm-Rt	inclusão	666 ± 114	6.2 ± 1.2	0.757
OL-III-39A	Grt-Bt-Pl-Ilm-Rt	inclusão	698 ± 160	6.8 ± 1.7	0.786
OL-III-39A	Grt-Bt-Pl-Sil	matriz	676 ± 140	5.8 ± 2.1	0.781
OL-III-39A	Grt-Bt-Pl-Sil	matriz	628 ± 128	5.2 ± 1.9	0.768

Tabela 1: Resultados dos cálculos termobarométricos obtidos no THERMOCALC (Holland & Powell, 1988) para os paragneisses.

A preservação de inclusões minerais associadas com a cianita em porfiroblasto de granada na amostra OL-II-112B permitiu a determinação das condições de pico metamórfico dos paragneisses. Os cálculos termobarométricos foram realizados utilizando o método de banco de dados internamente consistentes, através do THERMOCALC (Powell & Holland, 1988). As condições de pico bárico foram calculadas através da associação envolvendo cianita (Grt-Ms-Bt-Kfs-Ky-Sil-Ilm-Rt), com pressão máxima de 10 ± 0.6 kbar, para temperatura de $807 \pm 25^\circ\text{C}$ (Tabela 1, Figura 76).

Figura 76: Dados de temperatura e pressão dos paragneisses obtidos no THERMOCALC (Powell & Holland, 1988), com os erros dos cálculos representados pelas elipses (amostras OL-II-112B e OL-III-39A).

O pico térmico foi calculado com associação mineral envolvendo sillimanita (Grt-Ms-Bt-Kfs-Sil-Ilm-Rt), em que a temperatura máxima obtida foi de $827 \pm 44^{\circ}\text{C}$, para pressão de 8.2 ± 1.8 , no limite da curva de quebra da dumortierita (**Figura 76**). As condições obtidas com cálculos envolvendo fases minerais da matriz na amostra OL-II-112B são da ordem de $758 \pm 53^{\circ}\text{C}$ para pressão de 7 ± 1.2 kbar. Os cálculos realizados na amostra OL-III-39A não foram satisfatórios, pois apresentaram erros grandes para temperatura. As inclusões de granada na amostra OL-III-39A indicam temperaturas máximas de $698 \pm 160^{\circ}\text{C}$ para pressão de 6.8 ± 1.7 kbar, enquanto que na matriz a temperatura máxima é da ordem de 676 ± 140 , para pressão de 5.8 ± 2.1 kbar.

8.3.3.2 Geotermobarometria clássica

8.3.3.2.1 Geotermômetro granada-biotita (Grt-Bt)

O geotermômetro granada-biotita desenvolvido por Ferry & Spear (1978) é um dos mais amplamente utilizados em rochas de composição pelítica. Sua calibração é baseada na troca Fe-Mg (*exchange reaction*) entre cristais de granada e biotita coexistentes, através da seguinte reação:

Neste trabalho foram utilizadas as calibrações de Ferry & Spear (1978) e Indares & Martignole (1985), devido à sua aplicação para rochas em fácies granulito. Os cálculos obtidos na amostra OL-II-112B com as inclusões de biotita na granada e com as composições do núcleo do porfiroblasto de granada forneceram temperaturas máximas de 654.3°C (Ferry & Spear, 1978) e 572.8°C (Indares & Martignole, 1985), para pressão de 10Kbar. Os resultados obtidos com biotita da matriz e composições da borda da granada na mesma amostra forneceram temperaturas máximas de 778.9°C (Ferry & Spear, 1978) e 645.3°C (Indares & Martignole, 1985). Na amostra OL-III-39A os cálculos foram feitos para pressão de 7Kbar e forneceram temperaturas inferiores àquelas obtidas na amostra OL-II-112B. Os dados obtidos a partir de pares de granada e biotita da matriz também forneceram temperaturas mais elevadas do que os cálculos obtidos a partir das inclusões (**Tabela 2**).

Paragneisses			Paragneisses		
Geotermômetro Grt-Bt (Para P=10Kbar)			Geotermômetro Grt-Bt (Para P=7Kbar)		
	Ferry & Spear (1978)	Indares & Martignole (1985)		Ferry & Spear (1978)	Indares & Martignole (1985)
Amostra	T (°C)	T (°C)	Amostra	T (°C)	T (°C)
Inclusões na granada			Inclusões na granada		
OL-II-112B	624.1	510.1	OL-III-39A	538.4	489.9
OL-II-112B	631.6	519.2	OL-III-39A	548.1	500.5
OL-II-112B	654.3	572.8	Matriz		
Matriz			OL-III-39A	666.1	581.8
OL-II-112B	745.1	616	OL-III-39A	619.9	536.1
OL-II-112B	778.9	645.3	OL-III-39A	634.8	553.9
OL-II-112B	705.1	593			

Tabela 2: Resultados obtidos através do geotermômetro granada-biotita (Grt-Bt).

8.3.3.2.2 Geotermômetro Zr-em-rutilo

Foram obtidas análises de rutilo em duas amostras dos paragneisses (OL-II-112B e OL-III-39A), para aplicação do geotermômetro de Zr-em-rutilo. Este método baseia-se no aumento do conteúdo de zircônio no rutilo com o aumento da temperatura e na mudança de volume necessária para a substituição catiônica de Zr^{4+} por Ti^{4+} , sugerindo uma pressão-dependência do termômetro (diminuição do zircônio com o aumento da pressão).

Tomkins *et al.* (2007) realizaram experimentos a 10, 20 e 30 Kbar para a determinação termodinâmica dos membros-finais da reação $ZrSiO_4(Zrc) = ZrO_2(Bd \text{ em Rt}) + SiO_2(Qtz)$ e de novas equações termométricas. Para o cálculo da temperatura foram utilizadas as equações obtidas através de calibração experimental de Watson *et al.* (2006) e Tomkins *et al.* (2007). Os resultados obtidos estão apresentados na **Figura 77** e nas **Tabelas 3 e 4**.

① Watson *et al.* (2006):

$$T (^{\circ}C) = \frac{4470 \pm 120}{(7.36 \pm 0.1) - \log (Zr)} - 273$$

② Tomkins *et al.* (2007):

$$T (^{\circ}C) = \frac{83.9 + 0.410 P}{0.1428 - R \ln (Zr)} - 273$$

Onde: R = constante dos gases (0.0083144 kJ/K)
Zr = ppm Zr

Foram utilizados para os cálculos grãos de rutilo incluídos em porfiroblastos de granada. Os maiores conteúdos de zircônio estão preservados em grãos de rutilo

localizados no núcleo do porfiroblasto de granada da amostra OL-II-112B, que forneceram temperaturas máximas de 748.5°C (**Figura 71**). Na amostra OL-III-39A não foram identificados cristais de rutilo inclusos no núcleo de granada, somente nas bordas. A temperatura máxima obtida nesta amostra é da ordem de 686.6°C.

Figura 77: Gráfico de temperatura versus ppm Zr com os resultados da termometria de Zr no rutilo para os paragneisses, segundo Tomkins *et al.* (2007) e Watson *et al.* (2006).

Resultados de Termometria de Zr em Rutilo (Amostra OL-II-112B)							
Localização	Zr ₂ O ₃	ppm Zr	Watson (2006)	P (Kbar)	Tomkins et al. (2007)	P (Kbar)	Tomkins et al. (2007)
borda	0.044	325.7	649.6	8	647.7	10	656.3
borda	0.036	266.5	633.3	8	631.7	10	640.2
borda	0.054	399.8	666.8	8	664.5	10	673.3
borda	0.039	288.7	639.7	8	638.0	10	646.6
borda	0.046	340.5	653.3	8	651.3	10	660.0
borda	0.066	488.6	684.4	8	681.7	10	690.6
borda	0.031	229.5	636.2	8	620.2	10	628.6
borda	0.044	325.7	649.6	8	647.7	10	656.3
borda	0.043	318.3	648.6	8	645.8	10	654.5
núcleo	0.117	866.2	738.3	8	734.2	10	743.6
núcleo	0.114	843.9	735.7	8	731.6	10	741.1
núcleo	0.115	851.3	736.6	8	732.5	10	741.9
núcleo	0.096	710.7	723.1	8	715.4	10	724.7
núcleo	0.123	910.6	743.3	8	739.0	10	748.5
núcleo	0.104	769.9	730.6	8	722.9	10	732.3
núcleo	0.109	806.9	731.3	8	727.3	10	736.8
núcleo	0.123	910.6	743.3	8	739.0	10	748.5

Tabela 3: Resultados obtidos com a termometria de zircônio no rutilo (Watson, 2006; Tomkins *et al.*, 2007) para a amostra OL-II-112B.

Resultados de Termometria de Zr em Rutilo (Amostra OL-III-39A)							
Localização	Zr ₂ O ₃	ppm Zr	Watson (2006)	P (Kbar)	Tomkins et al. (2007)	P (Kbar)	Tomkins et al. (2007)
borda	0.045	333.1	651.4	8	649.5	10	658.2
borda	0.063	466.4	680.3	8	677.6	10	686.6
borda	0.044	325.7	656.7	8	647.7	10	656.3
borda	0.039	288.7	639.7	8	638.0	10	646.6
borda	0.051	377.6	662.0	8	659.8	10	668.5

Tabela 4: Resultados obtidos com a termometria de zircônio no rutilo (Watson, 2006; Tomkins *et al.*, 2007) para a amostra OL-III-39A.

8.3.3.2.3 Geobarômetro GASP

O geobarômetro granada-aluminossilicato-quartzo-plagioclásio (GASP) é aplicável para rochas de composição pelítica em fácies anfibolito, granulito e eclogito, e baseia-se na seguinte reação de transferência de rede (*net-transfer-reaction*):

Foram utilizadas as calibrações de Newton & Haselton (1981), Koziol & Newton (1988) e Koziol (1989) na amostra OL-III-39A. Os cálculos foram realizados para temperatura de 800°C e a pressão máxima obtida foi de 7.2Kbar (Koziol, 1989) para composições da matriz. Os resultados obtidos com composições de núcleo de granada e inclusões de plagioclásio forneceram pressões máximas de 6.9Kbar (Koziol, 1989) (**Tabela 5**). Não foi possível aplicar este geobarômetro na amostra OL-II-112B devido à ausência de plagioclásio.

Paragneisses			
Geobarômetro GASP (Para T=800°C)			
	Newton & Haselton (1981)	Koziol & Newton (1988)	Koziol (1989)
Amostra	P (kbar)	P (Kbar)	P (Kbar)
Inclusões na granada			
Ol-III-39A	5.7	6.2	6.9
Ol-III-39A	5.2	5.8	6.4
Matriz			
Ol-III-39A	5.8	6.3	7.1
Ol-III-39A	6	6.5	7.2

Tabela 5: Resultados obtidos através do geobarômetro granada-aluminossilicato-quartzo-plagioclásio (GASP).

8.3.4 Geotermobarometria das rochas metabásicas

8.3.4.1 Banco de dados internamente consistentes (THERMOCALC)

As fases minerais presentes nas rochas metabásicas foram fortemente afetadas por processos retrometamórficos, o que facilitou a difusão química nas associações minerais de pico metamórfico. Os cálculos termobarométricos realizados através do método de banco de dados internamente consistentes utilizando a versão 3.26 do THERMOCALC (Powell & Holland, 1988) apresentaram-se relativamente satisfatórios (Tabela 6).

Rochas metabásicas - THERMOCALC (Holland & Powell, 1988)				
Amostra	Assoc. Mineral	T (°C)	P (Kbar)	corr
NLD-7D	Grt-Cpx-Opx-Pl-Hbl	890 ± 41	9.26 ± 1.93	0.612
NLD-7D	Grt-Cpx-Opx-Pl-Hbl	784 ± 111	6.92 ± 1.67	0.516
NLD-7D	Grt-Cpx-Opx-Pl-Hbl	683 ± 70	8.35 ± 1.2	0.535
NLD-7D	Grt-Cpx-Opx-Pl-Hbl	731 ± 83	8.67 ± 1.26	0.523
NLD-7D	Grt-Cpx-Opx-Pl-Hbl	717 ± 77	8.93 ± 1.27	0.54
NLD-7D	Grt-Cpx-Opx-Pl-Hbl	757 ± 78	8.78 ± 1.48	0.54
NLD-20A	Grt-Cpx-Pl-Hbl	709 ± 66	8.3 ± 1.3	0.614
NLD-20A	Grt-Cpx-Pl-Hbl	690 ± 63	8.6 ± 1.3	0.617
NLD-20A	Grt-Cpx-Pl-Hbl	731 ± 66	9 ± 1.4	0.618
NLD-20A	Grt-Cpx-Pl-Hbl	768 ± 90	8.8 ± 1.5	0.519
NLD-20A	Grt-Cpx-Pl-Hbl	699 ± 85	8 ± 1.4	0.519
NLD-20A	Grt-Cpx-Pl-Hbl	714 ± 81	8.8 ± 1.4	0.545
NLD-42D	Grt-Cpx-Pl-Qtz-Ilm	662 ± 66	7.3 ± 0.8	0.727
NLD-42D	Grt-Cpx-Pl-Qtz-Ilm	794 ± 167	8.8 ± 2.0	0.683
NLD-42D	Grt-Cpx-Pl-Qtz-Ilm	680 ± 64	7.3 ± 0.8	0.717
NLD-42D	Grt-Cpx-Pl-Qtz-Ilm	674 ± 76	7.1 ± 0.9	0.7

Tabela 6: Resultados dos cálculos termobarométricos obtidos no THERMOCALC (Holland & Powell, 1988) para as rochas metabásicas.

As condições de pico metamórfico das rochas metabásicas estão preservadas no granada-granulito (amostra NLD-7D). Os cálculos envolvendo a associação Grt-Cpx-Opx-Pl-Hbl forneceram temperatura máxima de $890 \pm 41^\circ\text{C}$ para pressão de 9.26 ± 1.93 kbar (**Figura 78**). Foram realizados cálculos adicionais envolvendo associações com ortopiroxênio, porém com valores de temperatura e pressão inferiores, possivelmente devido à maior difusão química (temperatura de $784 \pm 111^\circ\text{C}$, a 6.92 ± 1.67 kbar). O hornblenda metagabro inserido nos ortognaisses do Complexo Mantiqueira registra temperatura máxima de $768 \pm 90^\circ\text{C}$, a 8.8 ± 1.5 kbar.

Os metagabronoritos intercalados nas rochas charnockíticas associadas ao Complexo Mantiqueira preservam texturas coroníticas relacionadas ao pico

metamórfico, porém os intensos processos de difusão química modificaram as composições originais da associação granada-clinopiroxênio-plagioclásio. Os resultados obtidos através do THERMOCALC na amostra NLD-42C foram considerados inconsistentes e não foram apresentados neste trabalho, pois os dados de temperatura estavam com erros muito elevados. Na amostra NLD-42D, a temperatura máxima obtida é da ordem de $794 \pm 167^\circ\text{C}$, a 8.8 ± 2.0 kbar. Os cálculos que envolveram os menores erros, expressos em elipses mais estreitas na **Figura 78**, foram de $680 \pm 64^\circ\text{C}$, para pressão de 7.3 ± 0.8 kbar.

Figura 78: Dados de temperatura e pressão das rochas metabásicas obtidos no THERMOCALC (Powell & Holland, 1988), com os erros dos cálculos representados pelas elipses (amostras NLD-42D, NLD-20A e NLD-7D).

8.3.4.2 Banco de dados internamente consistentes (TWEEQU)

Foram realizados cálculos termobarométricos complementares nas rochas metabásicas utilizando o banco de dados internamente consistentes do TWEEQU (*Thermobarometry With Estimation of EQUilibrium state*), versão 1.02 (Berman, 1988, 1991). Este software calcula os estados de equilíbrio das associações minerais a partir da utilização de modelos de atividades dependentes de P-T, provenientes de dados experimentais e aplicados a associações naturais. Os modelos de atividades utilizados na versão 1.02 foram: Fuhrman & Lindsley (1988) para o plagioclásio, Berman (1990) para a granada e Newton (1983) para os piroxênios. As condições de pico metamórfico estão registradas no granada granulito (NLD-7D). Cálculos envolvendo a associação de fácies granulito Grt+Cpx+Opx+Pl+Qtz forneceram temperaturas de 801°C, a 9.6kbar (**Figura 79**). Os resultados obtidos no TWEEQU para o granada granulito foram considerados satisfatórios, pois corroboram com os resultados obtidos através de outros métodos, como o THERMOCALC e a geotermobarometria convencional.

Figura 79: Dados de temperatura e pressão para granada granulito obtidos no TWEEQU (Berman, 1991), (amostra NLD-7D).

8.3.4.3 Geotermobarometria convencional

8.3.4.3.1 Geotermômetro Grt-Cpx

O método de Ganguly (1979) consiste na integração dos dados termodinâmicos disponíveis de granada e clinopiroxênio com dados termoquímicos e experimentais para expressar o coeficiente de distribuição de Fe-Mg (K_D) entre essas fases avaliando o efeito de Mn e Ca no $K_D^{\text{Fe-Mg}}$, em função da pressão, temperatura e composição química. Devido à ausência de dados adequados na propriedade de mistura de jadeíta com diopsídio e hedenbergita, a aplicação do geotermômetro é restrita a composições pobres em Na. O modelo de dependência composicional do K_D é restrita à pares naturais de Grt-Cpx no sistema FeO-MgO-CaO-MnO-Al₂O₃-SiO₂. O coeficiente de distribuição (K_D) envolve o Fe²⁺ e não leva em consideração o conteúdo total de ferro da granada e clinopiroxênio. Como o estado de valência não pode ser determinado através de análises de microsonda eletrônica, o ferro total é frequentemente equacionado com FeO.

O método de Sengupta *et al.* (1989) consiste em uma extensão da formulação original de Ellis & Green (1979), incorporando os termos associados aos coeficientes de atividade dos cátions Fe²⁺ e Mg, o que permite obter resultados mais consistentes tanto em granulitos de crosta normal, como em rochas ricas em Mn. A troca Fe²⁺-Mg entre a granada e o clinopiroxênio é baseada na seguinte reação de troca (*exchange reaction*):

A formulação de Ellis & Green (1979) foi estendida para obter a seguinte expressão termométrica:

$$T(^{\circ}\text{K}) = \frac{3030 + 10.86P \text{ (Kbar)}}{\ln K_D + 1.9034 + (\ln_{\gamma\text{Fe}})^{\text{Grt}} - (\ln_{\gamma\text{Mg}})^{\text{Grt}}}$$

Foram utilizados os geotermômetros de granada-clinopiroxênio de Ganguly (1979) e Sengupta *et al.* (1989) por serem mais adequados para rochas em fácies granulito superior. O granada-granulito (amostra NLD-7D) apresenta condições de pico térmico em torno de 799.6°C (Ganguly, 1979) e 768.6°C (Sengupta *et al.*, 1989), a 10 kbar.

Metagabronoritos			Metagabronoritos		
Geotermômetro Grt-Cpx (Para P=10Kbar)			Geobarômetro Grt-Cpx-PI (Para P=780°C)		
	Ganguly (1979)	Sengupta <i>et al.</i> (1989)		Eckert <i>et al.</i> (1991)	
Amostra	T (°C)	T (°C)	Amostra	T (°C)	
Corona 2			Corona 2		
NLD-42C	769.45	757.06	NLD-42C	10.47	± 1.9
Corona 5			NLD-42C	10.37	± 1.9
NLD-42C	787.35	783.15	Corona 5		
NLD-42C	783.67	781.05	NLD-42C	10.22	± 1.9
Corona 6			NLD-42C	10.32	± 1.9
NLD-42C	779.42	783.64	Corona 6		
NLD-42C	802.72	808.44	NLD-42C	9.9	± 1.9
Corona 7			Corona 7		
NLD-42C	795.37	792.02	NLD-42C	9.85	± 1.9
NLD-42C	793.81	793.29	NLD-42C	9.94	± 1.9
Corona 1			Corona 1		
NLD-42D	798.59	816.97	NLD-42D	10.87	± 1.9
NLD-42D	801.02	822.2	NLD-42D	10.79	± 1.9
Corona 3			Corona 3		
NLD-42D	798.48	787.81	NLD-42D	10.51	± 1.9
NLD-42D	801.09	799.33	NLD-42D	10.12	± 1.9
Veio Grt+Cpx+Qtz			Veio Grt+Cpx+Qtz		
NLD-42D	826.06	831.79	NLD-42D	10.73	± 1.9
NLD-42D	821.08	827.85	NLD-42D	10.89	± 1.9

Metabásicas			Metabásicas		
Geotermômetro Grt-Cpx (Para P=10Kbar)			Geobarômetro Grt-Cpx-Pl (Para T=680°C)		
	Ganguly (1979)	Sengupta <i>et al.</i> (1989)		Eckert <i>et al.</i> (1991)	
Amostra	T (°C)	T (°C)	Amostra	T (°C)	P (Kbar)
NLD-7D	778.6	751.4	NLD-7D	775.9 ± 23	9.1 ± 1.9
NLD-7D	790.6	763.1	NLD-7D	784.1 ± 15	9.4 ± 1.9
NLD-7D	798.6	753.3	NLD-7D	750	9.22 ± 1.9
NLD-7D	799.6	768.6	NLD-7D	750	8.78 ± 1.9
NLD-7D	778.6	744.1	NLD-7D	750	8.98 ± 1.9
Metabásicas			NLD-20A	707.7 ± 25	8.1 ± 1.9
Geotermômetro Grt-Cpx (Para P=9Kbar)			NLD-20A	709.2 ± 26	6.3 ± 1.9
	Ganguly (1979)	Sengupta <i>et al.</i> (1989)	NLD-20A	750	9.1 ± 1.9
Amostra	T (°C)	T (°C)	NLD-20A	750	8.0 ± 1.9
NLD-20A	732.9	682.6	NLD-20A	750	8.4 ± 1.9
NLD-20A	750.3	702			
NLD-20A	735.2	683.2			
NLD-20A	689.6	615.9			
NLD-20A	734.9	667.6			

Tabela 7: Resultados dos cálculos obtidos através do termômetro granada-clinopiroxênio (Ganguly, 1979; Sengupta *et al.*, 1989) e do barômetro granada-clinopiroxênio-plagioclásio (Eckert *et al.*, 1991) para as rochas metabásicas.

No hornblenda-metagabro da amostra NLD-20A, a temperatura máxima obtida é da ordem de 750.3°C, a 9 kbar (Ganguly, 1979). Nos metagabronoritos, as condições de pico metamórfico estão registradas nos veios constituídos por granada-clinopiroxênio-quartzo-opacos, com temperaturas máximas de 826.06°C (Ganguly, 1979) e 831.79°C (Sengupta *et al.*, 1989), a 10 kbar. Na amostra NLD-42C, as temperaturas máximas obtidas são de 808.44°C (Sengupta *et al.*, 1989) e de 802.72°C (Ganguly, 1979).

8.3.4.3.2 Geobarômetro Grt-Cpx-Pl

Os geobarômetros mais utilizados para rochas em fácies granulito são granada-clinopiroxênio-plagioclásio e granada-ortopiroxênio-plagioclásio. São baseados nas seguintes reações:

- Grt-Cpx-Pl (GADS):

- Grt-Opx-Pl (GAPES):

Estas reações foram calibradas a partir dos dados termodinâmicos de Perkins & Newton (1981). A entalpia da reação é uma das maiores fontes de incerteza na calibração destes barômetros. O presente estudo redetermina o ΔH_R do geobarômetro para as reações GADS e GAPES, utilizando a técnica de calorimetria de solução. A dissolução dos reagentes e produtos dá o ΔH_R diretamente por subtração. Os resultados calorimétricos obtidos por Eckert *et al.* (1991) definem o ΔH°_R das reações GADS e GAPES. Através dos novos valores de ΔH_R , as equações de Perkins & Newton (1981) foram reformuladas para:

- Grt-Cpx-Pl (GADS):

$$\textcircled{1} P (\text{Kbar}) = 3.47 + 0.01307T(^{\circ}\text{K}) + 0.003504T(^{\circ}\text{K}) \ln K_A (\pm 1.55 \text{ Kbar})$$

- Grt-Opx-Pl (GAPES):

$$\textcircled{2} P (\text{Kbar}) = 2.60 + 0.01718T(^{\circ}\text{K}) + 0.003596T(^{\circ}\text{K}) \ln K_B (\pm 1.9 \text{ Kbar})$$

No presente trabalho, foi utilizada a reação GADS para o cálculo da pressão. A pressão máxima calculada através do método de Eckert *et al.* (1991) para o granada granulito da amostra NLD-7D é da ordem de 9.4 ± 1.9 kbar, para temperatura de 784.1°C. As condições de pressão calculadas para o hornblenda-metagabro foram da ordem de 9.1 ± 1.9 Kbar, a 750°C (Eckert *et al.*, 1991). Os valores mais elevados de pressão foram obtidos nos metagabronoritos intercalados nas rochas charnockíticas associadas ao Complexo Mantiqueira. Os cálculos foram realizados para temperatura de 780°C. As condições obtidas foram de 10.89 ± 1.9 kbar (amostra NLD-42D) e 10.47 ± 1.9 kbar, na corona 2 da amostra NLD-42C (**Tabela 7**).

8.3.5 Geotermobarometria das rochas charnockíticas

8.3.5.1 Banco de dados internamente consistentes (THERMOCALC)

Os minerais presentes nas rochas charnockíticas foram bastante afetados por processos de difusão química, o que dificulta a preservação de composições relacionadas ao pico metamórfico. Além disso, o número reduzido de fases minerais em equilíbrio dificulta a utilização do método de banco de dados internamente consistentes, resultando em dados de temperatura com erros grandes (**Tabela 8**). As maiores temperaturas registradas foram obtidas através de cálculos realizados com a associação mineral Grt-Cpx-Opx-Pl na amostra NLD-45D. As condições calculadas são $771 \pm 166^\circ\text{C}$, a 11.8 ± 2.4 kbar (**Figura 80**). Os cálculos realizados com a associação mineral Grt-Cpx-Opx-Pl-Kfs na amostra NLD-45B forneceram temperatura máxima de $554 \pm 192^\circ\text{C}$ para pressão de 7.2 ± 2.7 kbar.

Rochas charnockíticas - THERMOCALC (Holland & Powell, 1988)				
Amostra	Assoc. Mineral	T (°C)	P (Kbar)	corr
NLD-45B	Grt-Cpx-Opx-Pl-Kfs	552 ± 189	7.0 ± 2.7	0.689
NLD-45B	Grt-Cpx-Opx-Pl-Kfs	537 ± 204	6.6 ± 2.9	0.672
NLD-45B	Grt-Cpx-Opx-Pl-Kfs	554 ± 192	7.2 ± 2.7	0.697
NLD-45D	Grt-Cpx-Opx-Pl	679 ± 136	10.2 ± 2.0	0.779
NLD-45D	Grt-Cpx-Opx-Pl	765 ± 160	11.4 ± 2.3	0.776
NLD-45D	Grt-Cpx-Opx-Pl	683 ± 141	10.5 ± 2.1	0.787
NLD-45D	Grt-Cpx-Opx-Pl	771 ± 166	11.8 ± 2.4	0.785

Tabela 8: Resultados dos cálculos termobarométricos obtidos no THERMOCALC (Holland & Powell, 1988) para as rochas charnockíticas.

Figura 80: Dados de temperatura e pressão das rochas charnockíticas obtidos no THERMOCALC (Powell & Holland, 1988), com os erros dos cálculos representados pelas elipses (amostras NLD-45B e NLD-45D).

8.3.5.2 Geotermobarometria convencional

8.3.5.2.1 Geotermômetro Grt-Cpx

A utilização do geotermômetro granada-clinopiroxênio de Ganguly (1979) e Sengupta *et al.* (1989) permitiu a determinação das condições de pico térmico das rochas charnockíticas. Os cálculos de temperatura foram realizados para pressão de 10 kbar. A corona 8 da amostra NLD-45D (**Fotomicrografias 97 e 98**) registra as temperaturas mais elevadas, da ordem de 885.17°C (Ganguly, 1979) E 901.06°C (Sengupta *et al.*, 1989). Na amostra NLD-45B, a temperatura máxima obtida é de 722.86 (Ganguly, 1979). Os resultados estão apresentados na **Tabela 9**.

Metacharnockitos			Metacharnockitos		
Geotermômetro Grt-Cpx (Para P=10Kbar)			Geobarômetro Grt-Cpx-Pl (Para T=680°C)		
	Ganguly (1979)	Sengupta <i>et al.</i> (1989)		Eckert <i>et al.</i> (1991)	
Amostra	T (°C)	T (°C)	Amostra	T (°C)	
Corona 1			Corona 1		
NLD-45B	716.72	673.53	NLD-45B	10.24 ± 1.9	
NLD-45B	722.86	678.64	NLD-45B	10.19 ± 1.9	
NLD-45B	710.98	660.42	NLD-45B	10.31 ± 1.9	
NLD-45B	713.15	662.6			
Corona 6			Corona 6		
NLD-45D	854.87	840.06	NLD-45D	10.64 ± 1.9	
NLD-45D	762.7	697.75	NLD-45D	12.86 ± 1.9	
NLD-45D	860.68	851.12	NLD-45D	13.38 ± 1.9	
			NLD-45D	12.8 ± 1.9	
Corona 7			Corona 7		
NLD-45D	881.04	898.25	NLD-45D	14.34 ± 1.9	
NLD-45D	775.01	726.03	NLD-45D	14.36 ± 1.9	
NLD-45D	885.17	901.06	NLD-45D	14.01 ± 1.9	
NLD-45D	778.11	728.07	NLD-45D	10.59 ± 1.9	

Tabela 9: Resultados dos cálculos obtidos através do termômetro granada-clinopiroxênio (Ganguly, 1979; Sengupta *et al.*, 1989) e do barômetro granada-clinopiroxênio-plagioclásio (Eckert *et al.*, 1991) para as rochas charnockíticas.

8.3.5.2.2 Geobarômetro Grt-Cpx-Pl

As condições de pico bórico nas rochas charnockíticas foram obtidas através de cálculos envolvendo a associação mineral granada-clinopiroxênio-plagioclásio, utilizando o geobarômetro de Eckert *et al.* (1991). Os cálculos de pressão foram realizados para temperatura de 680°C. As condições de pressão máxima calculadas para a amostra NLD-45D foram de 14.36 ± 1.9 kbar, a 680°C (**Tabela 9**). Na amostra NLD-45B, a pressão máxima obtida é da ordem de 10.31 kbar.

8.4 EVOLUÇÃO METAMÓRFICA

8.4.1 Considerações iniciais

A determinação de uma trajetória P-T-t é um dos objetivos principais na petrologia metamórfica, pois representa a variação nas condições P-T com o tempo para um terreno metamórfico (Vernon & Clarke, 2008). Diferentes trajetórias P-T-t podem ser inferidas para diferentes unidades, o que aumenta a complexidade das interpretações tectonometamórficas (Spear *et al.*, 1984). Existem dois tipos principais de trajetórias P-T: trajetórias “horárias” (England & Richardson, 1977; Holland & Richardson, 1979; Hollister *et al.*, 1979, Earle, 1980; England & Thompson, 1984a) e “anti-horárias” (Vernon, 1982; England & Thompson, 1984b; Schumacher *et al.*, 1990). Orógenos colisionais são caracterizados por trajetórias P-T-t horárias, com aumento significativo de pressão como resultado do avanço das *nappes*, seguido por um período de relaxamento termal, em que a temperatura aumenta em direção à geoterma cratônica. As temperaturas máximas são atingidas durante a exumação (England & Thompson, 1984a). Nas trajetórias anti-horárias o pico bórico e o pico termal ocorrem simultaneamente (England & Thompson, 1984a). São geralmente características de terrenos submetidos a um aumento de temperatura proveniente de calor magmático, através da acreção de magma basáltico na base da crosta (Harley, 1989; Vernon & Clarke, 2008).

Segundo Harley (1989), granulitos que registram trajetórias do tipo ITD (descompressão isothermal) estão relacionadas com ambientes colisionais com espessamento de crosta, em que a exumação tectônica promove um adelgaçamento rápido, com taxas moderadas (1-2mm/ano). Os granulitos que exibem trajetórias do tipo IBC (resfriamento isobórico) são formados em diferentes contextos tectônicos. Aqueles que mostram trajetórias anti-horárias foram formados próximo de áreas com grande acreção de magma máfico na base da crosta (*underplating*) (Harley, 1989; Bohlen & Mezger, 1989). Muitos granulitos em níveis crustais profundos com trajetórias tipo IBC, devem ter sido submetidos a um adelgaçamento extensional muito rápido (5mm/ano), subsequente à colisão. Harley (1989) propõe que as altas temperaturas atingidas no metamorfismo de fácies granulito são provenientes de uma fonte externa de calor, como a de um magma.

Partes de uma trajetória P-T podem ser inferidas através de inclusões minerais (Wells, 1979), inclusões fluidas (Hollister, 1969; Hollister *et al.*, 1979; Selverstone *et al.*, 1984) ou zoneamento composicional dos minerais (Holland & Richardson, 1979; Spear *et al.*, 1984; Selverstone *et al.*, 1984). Muitos terrenos granulíticos contêm rochas com texturas ígneas primárias preservadas em condições anídras e de baixo *strain*, que registram o metamorfismo progressivo em trajetórias horárias com descompressão isothermal inicial (Bohlen, 1991).

Um dos maiores problemas na determinação das condições P-T em rochas granulíticas está relacionado à grande dificuldade em determinar as condições reais de pico metamórfico devido à intensa difusão química ocorrida durante o resfriamento, que foi nomeado por Frost & Chacko (1989) como o “Princípio da incerteza dos granulitos”. No entanto, é possível fazer estimativas realísticas das condições P-T de rochas que mostram evidência de desequilíbrio em escala microscópica, através de uma interpretação cuidadosa das relações texturais e de uma seleção rigorosa de associações para termobarometria (Indares & Rivers, 1995).

As rochas de composição charnockítica, enderbítica e composições cálcio-alcalinas sob condições metamórficas de alta pressão estão associadas com limites de placas convergentes e possuem grande potencial para registrar evidência de subducção/colisão profunda (Bhowmik *et al.*, 2009). O principal mecanismo de produção e preservação de associações de alta pressão em rochas félsicas é relacionado à deformação e disponibilidade de H₂O (Proyer, 2003). Zonas de cisalhamento podem canalizar fluidos, promovendo o transporte de elementos e podem agir tanto como um catalisador da reação ou participar de reações minerais (Rubie, 1983; Guiraud *et al.*, 2001; Proyer, 2003). O grau de influxo de fluidos durante o evento de hidratação inicial dificulta a preservação de mineralogia e texturas ígneas. Para hidratação limitada, granitóides com Opx preservam ortopiroxênio parcialmente substituído por biotita (Bhowmik *et al.*, 2009). A preservação de associações ígneas pretéritas e o desenvolvimento de texturas coroníticas resultam da transformação metamórfica incompleta devido às baixas taxas de difusão em comparação com as taxas de mudança nas condições P-T (Mongkoltip & Ashworth, 1983).

8.4.2 Paragneisses

A associação mineral predominante nos paragneisses da *Nappe* Lima Duarte é: granada + biotita + sillimanita + muscovita + plagioclásio + quartzo + ilmenita + rutilo.

Ocorrem paragnaisses sob a *klippe* quartzítica da Serra Negra, com raras inclusões de cianita associada com feldspato potássico em porfiroblastos intercinemáticos de granada (OL-II-112B) e paragnaisses com cianita e sillimanita na matriz (NLD-61). O metamorfismo progressivo nos paragnaisses é caracterizado pelas reações de quebra da muscovita, localmente com a geração de feldspato potássico (Le Breton & Thompson, 1988; Vielzeuf & Holloway, 1988) (reação 1.1):

A ocorrência de ortoclásio com aspecto de filme, aparentemente mimetizando um líquido silicático (Holness & Sawyer, 2008) e envolvendo as inclusões de Ky, Sil, Bt, Ms, Ilm e Zrc na amostra OL-II-112B, sugere que a cristalização do porfiroblasto de granada se deu em presença de feldspato potássico e líquido. As reações de quebra de muscovita nos paragnaisses também são evidenciadas pela presença de bolsões de leucossoma, sugerindo anatexia *in-situ* e presença de cristais prismáticos de sillimanita.

Na amostra OL-II-112B, ocorre inclusão de cianita em paragênese com biotita e muscovita e em associação com Bt + Ms + Sil + Kfs + Ilm, indicando que o pico bárico está associado ao campo de estabilidade da cianita, que seguido de descompressão, atingiu o campo de estabilidade da sillimanita. As condições de pico bárico foram obtidas no THERMOCALC (Powell & Holland, 1988) através da realização de cálculos envolvendo a associação com cianita, com pressão máxima de 10 ± 0.6 kbar, para temperatura de $807 \pm 25^\circ\text{C}$.

O pico térmico foi obtido no THERMOCALC (Powell & Holland, 1988) com a associação mineral envolvendo sillimanita (Grt-Ms-Bt-Kfs-Sil-Ilm-Rt). A temperatura máxima obtida foi de $827 \pm 44^\circ\text{C}$, para pressão de 8.2 ± 1.8 , no limite da curva de quebra da dumortierita (Werdning & Schreyer, 1996). Foi descrita uma ocorrência de dumortierita nos paragnaisses da Serra Negra (LD-III-219), em equilíbrio com a sillimanita.

As principais texturas presentes nos paragnaisses são relacionadas à retrogressão. A granada é parcialmente consumida para formar biotita ou intercrescimentos de Bt + Sil nas bordas ou ao longo de fraturas. Localmente essa substituição é total, resultando em pseudomorfos de granada totalmente substituídos por Bt + Sil (Le Breton & Thompson, 1988) (reação 1.2):

Nas rochas onde essa substituição é bastante frequente (*e.g.* OL-III-39A) houve um reequilíbrio maior das composições de borda de granada e dos minerais presentes na matriz, resultando em temperaturas máximas registradas em torno de 680-750°C, a 6-7 kbar (THERMOCALC, Powell & Holland, 1988).

Figura 81: Trajetória P-T para os paragneisses, utilizando as grades petrogenéticas de Spear & Cheney (1989), Berman (1988), Le Breton & Thompson (1988), Vielzeuf & Holloway (1988), Patiño Douce & Beard (1995), Vielzeuf & Montel (1994), Nair & Chacko (2002), Green & Lambert (1965), Newton & Haselton (1981) e Werding & Schreyer (1996).

No metamorfismo retrógrado ocorre a formação de sillimanita fibrosa pseudomorfizando sillimanita prismática. Também são bastante comuns as texturas de volta das reações de quebra de muscovita, através da substituição parcial de sillimanita, ortoclásio e/ou cianita, quando presente, por cristais de muscovita tardia na foliação principal, ou dispersa na matriz. A biotita pode estar substituída por muscovita e clorita.

Os paragneisses da *Nappe* Lima Duarte encontram-se sob condições de temperatura máxima de 827°C, no campo bárico da sillimanita, cordierita ausente, sugerindo condições de pressão entre 6 e 8 Kbar. Apresentam uma trajetória metamórfica de descompressão, no sentido horário, saindo do campo de estabilidade da cianita e passando para o campo da sillimanita (**Figura 81**). No entanto, não foi possível determinar as condições P-T dos paragneisses com cianita na matriz, o que poderia sugerir pressões um pouco mais elevadas do que o pico bárico de 10 ± 0.6 kbar obtido no THERMOCALC para o paragneisse com inclusão de cianita na granada (OL-II-112B).

8.4.3 Rochas metabásicas

As rochas metabásicas inseridas nos ortogneisses do Complexo Mantiqueira apresentam a associação granada + clinopiroxênio + plagioclásio + quartzo $\pm$ ortopiroxênio + hornblenda, estável em temperaturas entre 750 – 890° C e pressões em torno de 8 – 11 kbar, envolvendo fases anidras (Pattison, 2003). A associação mineral constituída por granada + clinopiroxênio + quartzo em rochas metabásicas de composição intermediária é diagnóstica de metamorfismo de fácies granulito de alta pressão (superior a 9 kbar), segundo Green & Ringwood (1967) e Rushmer (1993). A pressão exata em que a associação Grt + Cpx + Qtz se torna dominante com o desaparecimento de ortopiroxênio é controlada pela composição do protólito (Green & Ringwood, 1967; Patiño-Douce & Beard, 1995).

O fácies granulito foi subdividido por De Waard, (1965a) baseado no aparecimento da granada a partir da reação entre ortopiroxênio e plagioclásio, sendo que composições quartzo-toleíticas definem a entrada no campo dos granulitos de alta pressão, enquanto que composições basálticas insaturadas definem o limite entre os campos do granulito de baixa pressão e granulito de pressão intermediária (De Waard, 1965a, b; O'Brien & Rötzler, 2003). As associações minerais transicionais entre granulitos de baixa pressão e associações de eclogitos abrangem composições basálticas desde quartzo normativo até picrito e são caracterizadas pela associação Grt + Cpx + Pl

+ Qtz $\pm$ Opx (Green & Ringwood, 1967). Ocorre um aumento progressivo de granada e desaparecimento do plagioclásio com o aumento de pressão, com mudanças mineralógicas graduais durante a transição (Green & Ringwood, 1967). As principais reações que controlam a presença de granada e clinopiroxênio, bem como as suas composições, são as seguintes (O'Brien & Rötzler, 2003):

Em rochas metapelíticas e metagraníticas, a entrada para o campo dos granulitos de alta pressão é controlado pelas seguintes reações (O'Brien & Rötzler, 2003):

Nas rochas metabásicas inseridas nos ortognaisses do Complexo Mantiqueira, são bastante comuns as texturas coroníticas de Grt + Cpx $\pm$ Qtz ou de Grt $\pm$ Qtz ao redor de cristais de ortopiroxênio, plagioclásio e/ou opacos, aparentemente de origem ígnea. Coronas anidras de Grt + Cpx $\pm$ Qtz ao redor de minerais da associação magmática pretérita (Opx e Pl), similares àquelas descritas por Baldwin *et al.*, (2003) e Nicollet & Goncalves, (2005), sugerem a passagem pelas reações 2.1 e 2.2. A reação 2.2 marca a passagem do campo dos granulitos de pressão intermediária para o campo dos granulitos de alta pressão (Green & Ringwood, 1967; Baldwin *et al.*, 2003; O'Brien & Rötzler, 2003). A ocorrência de leitos milimétricos a subcentimétricos constituídos por granada xenoblástica intercrescida com clinopiroxênio, quartzo e opacos, com calcita preenchendo os interstícios entre os grãos de granada e clinopiroxênio (NLD-42D) é sugestiva de que essa textura tenha sido gerada a partir da percolação de um fluido. A preservação da associação mineral anidra Grt + Cpx + Qtz $\pm$ Pl foi possivelmente facilitada pela infiltração de um fluido rico em CO₂, devido à presença de calcita intersticial entre os grãos de granada e clinopiroxênio.

A aplicação de geotermobarometria em terrenos granulíticos indica que as condições de pico registradas nos granulitos são de 700-1000°C e 4-12 Kbar (Newton & Perkins, 1982; Bohlen *et al.*, 1983; Harley, 1989). A maioria dos terrenos granulíticos regionais registra condições P-T de 800±50°C, a 7.5±1 kbar (Bohlen, 1987), porém segundo Harley, (1989) mais de metade dos granulitos apresentam pressão baixa (<6kbar) ou mais alta (>9kbar). A estimativa das condições de pico a partir de termometria envolvendo a troca Fe-Mg é geralmente subestimada, devido à troca difusional (Pattison & Bégin, 1994). Pode-se assumir equilíbrio local na interface entre a corona e os agregados de minerais adjacentes que substituem as fases ígneas, o que permite estimar as condições de pico metamórfico (Indares & Rivers, 1995). No presente trabalho, as estimativas P-T nas rochas metabásicas e charnockíticas foram feitas a partir das composições mais refratárias dos minerais, utilizando as composições de núcleo dos minerais da corona ou de associações minerais granoblásticas, de acordo com a metodologia proposta por Pattison & Bégin (1994), Cox & Indares (1999), Baldwin *et al.*, (2003).

Nos metagabronoritos, as condições máximas de metamorfismo estão preservadas nos veios constituídos por Grt + Cpx + Qtz + opacos (NLD-42D) com temperaturas máximas de 826.06°C (Ganguly, 1979) e 831.79°C (Sengupta *et al.*, 1989), a 10 kbar. As condições de pressão máxima foram obtidas através do geobarômetro Grt-Cpx-Pl de Eckert *et al.* (1991), que forneceram pressões em torno de 10.89 ± 1.9 kbar, a 780°C. As condições calculadas através do THERMOCALC são 794 ± 167°C a 8.8 ± 2.0 kbar.

O granada granulito também preserva as condições relacionadas ao pico metamórfico. As condições calculadas para o granada granulito através do THERMOCALC são 890 ± 41°C, a 9.26 ± 1.93 kbar. Cálculos realizados através do TWEEQU forneceram condições de equilíbrio de 801°C a 9.6kbar para a associação de fácies granulito Grt+Cpx+Opx+Pl+Qtz na amostra NLD-7D, onde ocorre o ponto de intersecção entre as reações. O pico termal no granada granulito obtido através do geotermômetro Grt-Cpx é de 799.6°C (Ganguly, 1979) e 768.6°C (Sengupta *et al.*, 1989), a 10 kbar, enquanto que a pressão máxima calculada através do método de Eckert *et al.* (1991) para o granada granulito da amostra NLD-7D é da ordem de 9.4 ± 1.9 kbar, para temperatura de 784.1°C. No hornblenda-metagabro da amostra NLD-20A, a temperatura máxima obtida é da ordem de 750.3°C, a 9 kbar (Ganguly, 1979) e a pressão é da ordem de 9.1 ± 1.9 Kbar, a 750°C (Eckert *et al.*, 1991). Assim, as rochas

metabásicas estão situadas no limite entre o fácies granulito e o fácies anfibolito, mas possivelmente foram formadas sob condições de fácies granulito de pressão intermediária a alta (**Figura 82**). Os dados de temperatura obtidos indicam temperaturas inferiores ao campo de estabilidade do ortopiroxênio, que pode ser devido à presença de fluidos associados à geração de líquido silicático (Pattison, 2003) ou difusão química das fases minerais ferro-magnesianas durante o resfriamento (Pattison & Begin, 1994; Frost & Chacko, 2000).

Figura 82: *Grid* P-T extraído de O'Brien & Rötzler (2003), com os dados de temperatura e pressão das rochas metabásicas e rochas charnockíticas. Foram utilizadas as grades petrogenéticas de Green & Ringwood (1967), Ito & Kennedy (1971), Hansen (1981), Green & Lambert (1965) e Johannes & Holtz (1996). Os limites dos campos dos fácies anfibolito, granulito e eclogito foram extraídos de Spear (1993).

As rochas metabásicas com bordas mais deformadas e cisalhadas tiveram uma circulação de fluidos maior, o que resultou em processos retrometamórficos mais intensos, principalmente através da substituição de minerais anidros (*e.g.* piroxênio) por fases hidratadas (*e.g.* hornblenda, biotita). São bastante comuns as substituições dos

piroxênios por hornblenda e/ou por intercrescimentos de Hbl+Qtz, sendo que nos locais onde o retrometamorfismo foi mais intenso, ou com maior percolação de fluidos, essa substituição é quase total. Desta forma, o evento de hidratação subsequente, responsável pela substituição da associação mineral anidra por minerais hidratados, possivelmente é controlado pelas reações (Pattison, 2003):

Figura 83: Trajetória P-T para as rochas metabásicas, utilizando as grades petrogenéticas de Piwinnskii (1968), Johannes (1978), Wyllie & Wolf (1993), Choudhuri & Winkler (1967), Spear (1981), Binns (1969), Patiño-Douce & Beard (1995), Beard & Lofgren (1991), Nair & Chacko (2000), Rushmer (1991), Wolf & Wyllie (1994), Conrad *et al.* (1988), Ellis & Thompson (1986), Winter & Newton (1991), Rushmer (1993), Sen & Dunn (1994).

A formação de texturas coroníticas constituídas por Grt + Cpx + Qtz ao redor de Opx + Qtz foram interpretadas como sendo resultantes de uma reação progressiva

(reação 2.2), que marca a passagem do campo de estabilidade do ortopiroxênio e do plagioclásio para o campo de estabilidade dos granulitos de alta pressão (associação Grt + Cpx + Qtz). Desta forma, no presente trabalho, é proposta uma trajetória anti-horária para as rochas metabásicas (**Figura 83**), seguida de resfriamento quase isobárico.

8.4.4 Rochas charnockíticas

A associação mineral predominante nas rochas charnockíticas intrusivas nos ortognaisses do Complexo Mantiqueira é: ortopiroxênio + plagioclásio + quartzo + granada + clinopiroxênio + biotita $\pm$ feldspato potássico $\pm$ hornblenda $\pm$ opacos. São caracterizados pelo desenvolvimento de coronas constituídas por Grt + Cpx + Qtz ao redor de cristais ígneos reliquiais de Opx e Pl, que sugerem a passagem pelas reações 2.1 e 2.2.

As rochas charnockíticas e enderbíticas registram um evento de hidratação anterior ao evento de geração das coronas, através das substituições parciais de ortopiroxênio por intercrescimentos de Bt + Qtz, aliado à natureza titanífera da biotita, sugere o consumo parcial de ilmenita através da reação (Bhowmik *et al.*, 2009):

A substituição de ortopiroxênio por uralita é anterior à substituição por biotita e deve estar relacionada a reações de hidratação durante estágios magmáticos tardios. Localmente esta substituição é quase total, chegando a pseudomorfizar os cristais de ortopiroxênio.

As associações caracterizadas pela persistência do plagioclásio com o aumento de pressão irão apresentar composições de plagioclásio progressivamente mais sódicas, até que parte do sódio seja incorporado pelo clinopiroxênio formando moléculas jadeíticas [Ab (*in* Pl) = Jd (*in* Cpx) + Qtz] (O'Brien & Rötzler, 2003). A pressão necessária para eliminar o plagioclásio em composições basálticas de olivina-toleíto é de aproximadamente 13.5kbar, enquanto que em composições quartzo-toleíticas são necessários 20.5 kbar, a 1100°C para eliminar o plagioclásio (Green & Ringwood, 1967). A combinação de composições de núcleo de granada e clinopiroxênio com composições mais sódicas do plagioclásio, como por exemplo, o cristal neoformado na corona 9 (NLD-45B), possivelmente representam as condições mais próximas ao pico bário, mas no entanto não devem representar o pico termal pois a associação Opx+Pl

pode persistir em temperaturas mais elevadas (Baldwin *et al.*, 2003). Esta associação envolvendo plagioclásio sódico neoformado, provavelmente resulta da seguinte reação (Baldwin *et al.*, 2003):

Figura 84: Trajetória P-T para as rochas charnockíticas, utilizando as grades petrogenéticas de Piwinnskii (1968), Johannes (1978), Wyllie & Wolf (1993), Choudhuri & Winkler (1967), Spear (1981), Binns (1969), Patiño-Douce & Beard (1995), Beard & Lofgren (1991), Nair & Chacko (2000), Rushmer (1991), Wolf & Wyllie (1994), Conrad *et al.* (1988), Ellis & Thompson (1986), Winter & Newton (1991), Rushmer (1993), Sen & Dunn (1994).

Nas rochas charnockíticas, as condições mais próximas ao pico metamórfico foram obtidas através de cálculos envolvendo a associação mineral granada-clinopiroxênio-plagioclásio, utilizando o geobarômetro de Eckert *et al.* (1991). A pressão máxima obtida é de 14.36 ± 1.9 kbar, a 680°C (Eckert *et al.*, 1991). Na amostra NLD-45B, a pressão máxima obtida é da ordem de 10.31 kbar. A corona 8 (NLD-45D),

constituída por Grt + Cpx + Qtz $\pm$ Hbl ao redor de ortopiroxênio magmático no contato com o plagioclásio da matriz, registra as temperaturas mais elevadas, da ordem de 885.17°C (Ganguly, 1979) e 901.06°C (Sengupta *et al.*, 1989). Na amostra NLD-45B, a temperatura máxima obtida é de 722.86 (Ganguly, 1979). As condições mais próximas ao pico metamórfico também foram calculadas através do THERMOCALC, que forneceu temperatura de $771 \pm 166^\circ\text{C}$, a 11.8 ± 2.4 kbar (**Figura 82**).

A evolução metamórfica prossegue com um estágio de decomposição da associação mineral hidratada através de reações de quebra de biotita. A associação de feldspato potássico lobado, aparentemente mimetizando um líquido silicático aproximadamente contemporâneo ao desenvolvimento das coronas, no contato entre plagioclásio e cristais subidioblásticos de granada. É uma textura bastante frequente, tanto nas rochas charnockíticas como nas rochas metabásicas, e sugere as seguintes reações de desidratação:

Segundo Frost & Frost (1987), Clemens (1992) e Harley *et al.*, (2008), os processos de intrusão de magmas máficos-charnockíticos, fusão parcial e influxo de fluidos com baixa atividade de H₂O estão intimamente relacionados com a formação de granulitos e devem ocorrer em proximidade em terrenos metamórficos de alto grau. Assume-se que fluidos ricos em CO₂ estejam relacionados com o metamorfismo de fácies granulito nas rochas metabásicas e nas rochas charnockíticas, o que permitiu a preservação das paragêneses anidras (Grt-Cpx-Qtz), geralmente em associação com calcita intersticial.

As texturas coroníticas constituídas por Grt + Cpx + Qtz ao redor de Opx + Qtz bastante comuns nas rochas charnockíticas foram interpretadas como sendo resultantes de uma reação progressiva (reação 2.2), que marca a passagem do campo de estabilidade do ortopiroxênio e do plagioclásio para o campo de estabilidade dos granulitos de alta pressão (associação Grt + Cpx + Qtz). Desta forma, no presente trabalho, é proposta uma trajetória anti-horária para as rochas charnockíticas (**Figura 84**), seguida de resfriamento quase isobárico, porém com pressões ligeiramente mais elevadas do que as rochas metabásicas.

Localização das amostras com análises geoquímicas

Figura 85: Mapa geológico da Nappe Lima Duarte com a localização das amostras com análises de fluorescência de raios-X e ICP-MS.

9. LITOGEOQUÍMICA

9.1 Considerações iniciais

As amostras selecionadas para as análises químicas foram preparadas no Laboratório de Tratamento de Amostras (LTA), do Departamento de Mineralogia e Petrologia (DMP) do Instituto de Geociências, da Universidade de São Paulo (IGc-USP). A determinação dos elementos maiores (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_{3T} , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5), elementos menores e elementos traço (Ba, Co, Cr, Cu, F, Nb, Nd, Ni, Pb, Rb, S, Sc, Sr, Th, U, V, Y, Zn, Zr) foram realizados através de espectrometria de fluorescência de raios-X utilizando um equipamento automático Phillips, modelo PW2400, de acordo com o método descrito por Mori *et al.* (1999), no Laboratório de Química e no Laboratório de Fluorescência de Raios-X, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo (IGc-USP). Os erros analíticos para os elementos maiores são entre 2-5%, e para os elementos traço são inferiores a 10%. Para a utilização dos dados obtidos de elementos maiores, os valores foram recalculados para 100% na base anidra (sem a perda ao fogo – Loi). Foram selecionadas 16 amostras de rochas metabásicas e rochas charnockíticas para estudos de litogeoquímica (NLD-7A, NLD-7B, NLD-7E, NLD-8A, NLD-9A, NLD-20A, NLD-22A, NLD-41A, NLD-41F, NLD-41G, NLD-42A, NLD-42C, NLD-42E, NLD-44A, NLD-45A e NLD-45D).

A determinação de 14 elementos terras raras (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) e 11 elementos traço (Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Cs, Ba, Hf, Pb, Th, U) foi realizada por espectrometria de massa com plasma induzido acoplado (*Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry*) (ICP-MS), dotado de espectrômetro do tipo quadrupolo, modelo ELAN 6100DRC da PerkinElmer/Sciex, no Laboratório de Química e ICP-MS, do Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo (IGc-USP). Os resultados obtidos estão apresentados na **Tabela 10**. Foram selecionadas 11 amostras para realização de análises por ICP-MS (NLD-7B, NLD-7E, NLD-8A, NLD-9A, NLD-20A, NLD-22A, NLD-41F, NLD-41G, NLD-42C, NLD-45A e NLD-45D). Os dados obtidos foram tratados através da utilização do software PetroGraph 1.0.5 (Petrelli, 2005) e a interpretação dos dados foi feita a partir de Rollinson (1993), Sun & Mc Donough (1989) e Pearce *et al.*, (1984). As amostras foram agrupadas de acordo com critérios mineralógicos, texturais e estruturais, totalizando 7 grupos distintos, descritos a seguir:

9.2 Grupos de rochas metabásicas e rochas charnockíticas

- **GRUPO 1: Granada-hornblenda granulito (NLD-7B, NLD-7E, NLD-41A)**

A rocha possui estrutura predominantemente maciça, com textura granoblástica inequigranular fina a média (0,1 – 1,5 mm), caracterizada pela presença de cristais bem formados de clinopiroxênio e ortopiroxênio substituídos por hornblenda nas bordas (NLD-7B e NLD-7E). Em algumas amostras (NLD-41A) desenvolve-se a textura nematogranoblástica, definida pela orientação preferencial de hornblenda na foliação. Os piroxênios estão freqüentemente substituídos por intercrescimentos simplectíticos de Hbl+Qtz. Também ocorrem pseudomorfos de piroxênio parcial a totalmente substituídos por Hbl. Localmente ocorrem coronas de Grt + Cpx + Pl ± Qtz nos contatos entre o ortopiroxênio e plagioclásio de dimensão maior (1-1.5mm). Esta textura é obliterada pela substituição posterior de Hbl+Qtz.

Mineralogia: hornblenda (15-45%), plagioclásio (25-45%), clinopiroxênio (10-30%), ortopiroxênio (10-20%), granada (1-5%), opacos (<7%), quartzo (<5%), apatita (<3%), actinolita (<1%), biotita (<1%), rutilo (<1%), calcita (<1%).

- **GRUPO 2: Metagabronorito coronítico (NLD-42A, NLD-42C, NLD-42E)**

O metagabronorito (NLD-42A, NLD-42C, NLD-42E) apresenta textura predominantemente granoblástica, com leitos nematogranoblásticos caracterizados pela presença de piroxênios (clinopiroxênio e ortopiroxênio) e anfibólios orientados. São muito freqüentes as texturas coroníticas, comumente com agregados de opacos manteados por granada. As coronas de granada se desenvolvem preferencialmente nos contatos entre opacos e plagioclásio e/ou entre opacos e clinopiroxênio. Ocorrem grãos de clinopiroxênio ricos em inclusões de plagioclásio ± quartzo.

Mineralogia: plagioclásio (35-45%), clinopiroxênio (20-30%), ortopiroxênio (10-20%), granada (10-20%), hornblenda (5-10%), opacos (5-10%), apatita (<3%), zircão (<3%), calcita (<2%), rutilo (<1%) e epídoto (<1%).

- **GRUPO 3: Hornblenda-metagabro simplectítico (NLD-20A, NLD-22A)**

A rocha apresenta uma estrutura predominantemente maciça, sem uma foliação bem definida, sendo caracterizada por uma textura hipidiomórfica reliquiar, inequigranular fina a muito fina, com cristais ripiformes de plagioclásio e textura simplectítica de Hbl + Pl + Qtz posterior, que substitui os piroxênios. A hornblenda é o

mineral máfico dominante. Localmente ocorrem texturas coroníticas de granada subidioblástica mantendo o plagioclásio ou os opacos, que por sua vez é envolvida por hornblenda.

Mineralogia: hornblenda (50-60%), plagioclásio (15-30%), clinopiroxênio (5-15%), ortopiroxênio (<10%), quartzo (5-10%), granada (<5%), opacos (<5%), apatita (<3%), titanita (<1%).

- **GRUPO 4: granada-clinopiroxênio anfibolito (NLD-8A), clinopiroxênio-granada anfibolito simplectítico (NLD-9A)**

O granada-clinopiroxênio anfibolito (NLD-8A) é caracterizado por uma estrutura protomilonítica, com textura granonematoblástica, inequigranular fina a média. A hornblenda constitui a fase principal e define a foliação principal S_2 , localmente dobrada. Os cristais de plagioclásio estão bastante estirados. Ocorrem cristais de granada sin a tardi-cinemáticos, xenoblásticos e cristais pós-cinemáticos idioblásticos, que formam texturas do tipo *moat*, mantendo o plagioclásio e eventualmente os opacos, e sendo envolvida por hornblenda.

Mineralogia: hornblenda (55-65%), granada (15-20%), clinopiroxênio (5-10%), plagioclásio (5-10%), quartzo (5%), opacos (<5%), apatita (<1%), zircão (<1%).

O clinopiroxênio-granada anfibolito simplectítico (NLD-9A) é inequigranular fino a médio, pouco foliado, cuja característica principal é a presença de texturas simplectíticas de Hbl + Pl + Qtz, substituindo os piroxênios. A granada é idioblástica a subidioblástica, comumente associada ao plagioclásio e a hornblenda, porém sem formar coronas. Ocorrem alguns cristais poiquiloblásticos, englobando quartzo e hornblenda. O plagioclásio predominante é andesina (An_{45-50}), na forma de cristais poligonizados na matriz, associados com quartzo e apatita, localmente saussuritizados. A biotita é tardia, idioblástica a subidioblástica, substituindo a hornblenda.

Mineralogia: hornblenda (55-60%), plagioclásio (25-30%), granada (5-10%), clinopiroxênio (5-10%), biotita (5-10%), ortopiroxênio (<5%), opacos (<5%), quartzo (<5%), apatita (<1%).

- **GRUPO 5: Metacharnockito (Meta Opx-granito) (NLD-41F)**

A rocha apresenta estrutura bandada, alternando leitos granoblásticos e nematogranoblásticos, de dimensão milimétrica a subcentimétrica, com textura

dominantemente granoblástica, inequigranular fina a média (0,1-2,5mm). Nas bandas ricas em minerais máficos, ocorrem grãos de ortopiroxênio muito fraturados e substituídos por intercrescimentos esqueléticos de Bt + Qtz e/ou por anfibólio fibroso (uralita). A granada forma coronas incompletas ao redor de opacos, nos contatos com o feldspato. Frequentemente ocorrem mirmequitas nos contatos entre os grãos de plagioclásio e feldspato potássico. Ocorrem pertitas com lamelas de exsolução de plagioclásio de dimensão submilimétrica (0,01-0,05mm) e localmente ocorre antipertita, com lamelas de exsolução de dimensão milimétrica (0,1-0,2mm). É muito comum nos feldspatos a presença de microfraturas preenchidas por clorita, responsável pela coloração esverdeada típica dos feldspatos em rochas charnockíticas.

Mineralogia: feldspato potássico (35-40%), plagioclásio (25-30%), quartzo (20-25%), biotita (7-10%), ortopiroxênio (5-7%), hornblenda (<5%), apatita (<4%), opacos (<3%), granada (<1%), zircão (<1%), clorita (<1%).

- **GRUPO 6: Enderbito gnaiss (Opx-tonalito gnaiss) (NLD-41G, NLD-45A)**

Apresenta estrutura foliada, com textura nematogranoblástica a lepidonematogranoblástica, inequigranular fina a média (0,1-2,0 mm), com cristais subidioblásticos de hornblenda e biotita orientados na foliação, localmente com megacristais de feldspato de até 4 mm. Localmente ocorrem mirmequitas no contato entre os grãos de plagioclásio e feldspato potássico. O ortopiroxênio ocorre concentrado em leitos de dimensão subcentimétrica, geralmente substituído por anfibólio fibroso (uralita), intercrescimentos esqueléticos de Bt + Qtz e/ou por hornblenda nas bordas. Quando esta substituição é total, forma leitos lepidonematogranoblásticos, ricos em hornblenda, biotita e plagioclásio.

Mineralogia: plagioclásio (40-45%), hornblenda (30-35%), ortopiroxênio (5-10%), biotita (5-10%), quartzo (5-7%), clinopiroxênio (<5%), apatita (<5%), opacos (<5%), feldspato potássico (<2%), zircão (<2%), clorita (<2%), rutilo (<1%).

- **GRUPO 7: Biotita-granada enderbito gnaiss coronítico (Biotita-granada Opx-tonalito gnaiss coronítico) (NLD-44A, NLD-45D)**

A rocha é caracterizada por uma textura blastoporfírica, constituída predominantemente por cristais reliquias ígneas de ortopiroxênio e plagioclásio de granulação grossa em matriz inequigranular fina a média, composta por grãos de plagioclásio poligonizados, quartzo, granada, clinopiroxênio e biotita. Localmente

ocorrem porções lepidogranoblásticas, ricas em biotita. São bastante frequentes as texturas coroníticas de $Grt + Cpx \pm Qtz \pm PL$ no contato entre os cristais de ortopiroxênio e plagioclásio. O ortopiroxênio também está parcial a totalmente substituído por $Bt \pm Qtz$ pelas bordas ou ao longo de fraturas.

Mineralogia: plagioclásio (45-60%), ortopiroxênio (10-20%), clinopiroxênio (10-15%), granada (5-10%), biotita (5-10%), feldspato potássico (<5%), apatita (<5%), quartzo (<2%), hornblenda (<1%), zircão (<1%), rutilo (<1%), calcita (<1%).

9.3 Rochas metabásicas

Figura 86: A) Diagrama de classificação de rochas gabróicas (Le Maitre, 1989); B) Diagrama QAP com os nomes das rochas na série charnockítica (Le Maitre, 1989).

9.3.1 Classificação das rochas metabásicas

As rochas metabásicas inseridas nos ortognaisses e nas rochas charnockíticas do Complexo Mantiqueira ocorrem preferencialmente na forma de *boudins*, corpos alongados formando bandas transpostas ao longo da foliação principal, ou ainda na forma de enclaves máficos. A estrutura e a dimensão dos corpos máficos condicionam o grau de hidratação das rochas, pois nos núcleos de *boudins* de dimensão maior o acesso de fluidos é mais restrito, o que permite a preservação de paragêneses anidras, enquanto que nas bordas cisalhadas dos *boudins* ou em estruturas de dimensão menor os processos retrometamórficos são facilitados por uma maior circulação de fluidos, resultando na substituição dos minerais anidros por minerais hidratados, como hornblenda e/ou biotita. Piroxênio, plagioclásio e hornblenda são os principais minerais

constituintes das rochas metabásicas e ocorrem em proporções variadas, resultando em litotipos máficos distintos (**Figura 86**). As rochas metabásicas investigadas no presente trabalho apresentam estrutura, textura e mineralogia distintas, e possivelmente apontam para diferentes fontes e processos evolutivos que atuaram na formação destas rochas.

No diagrama de classificação de rochas vulcânicas de Le Bas *et al.* (1986), o teor relativo de sílica varia entre 45.7-50.3 SiO₂ (% peso) e todas as amostras plotam no campo do basalto, situado também no campo definido para as rochas subalcalinas, dado pelos baixos valores de álcalis (**Figura 87A**). No diagrama binário (FeOt/MgO) de Miyashiro (1974) (**Figura 87B**) e no diagrama ternário AFM de Irvine & Baragar (1971) (**Figura 88A**) observa-se que os litotipos estudados têm afinidade predominantemente toleítica. É possível reconhecer que os metagabronoritos do grupo 2 e granada-clinopiroxênio anfibolitos do grupo 4 apresentam uma tendência evolutiva de ferro-basalto. Estes dois grupos apresentam os menores valores de Mg# (34-35.6).

Figura 87: A) Diagrama de classificação de rochas vulcânicas (Le Bas *et al.*, 1986); B) Diagrama binário FeOt/Mg vs. SiO₂, segundo Miyashiro (1974).

Segundo Pearce & Cann (1971, 1973), é possível utilizar a geoquímica para distinguir basaltos produzidos em diferentes contextos tectônicos conhecidos, através de diagramas de discriminação tectono-magmática. Os elementos discriminantes mais efetivos entre basaltos gerados em diferentes ambientes tectônicos são Ti, Zr, Y e Nb, por serem elementos traço relativamente imóveis e estáveis sob condições de hidrotermalismo, intemperismo de fundo oceânico e grau metamórfico médio. A

estabilidade sobre estes elementos em grau metamórfico alto ainda é pouco conhecida. As rochas metabásicas são classificadas como MORB no diagrama discriminante [Ti-Zr-Sr] de Pearce & Cann (1973) (**Figura 88B**). O diagrama [Ti-Zr-Y] de Pearce & Cann (1973) discrimina basaltos intraplaca (ilha oceânica ou toleítos intraplaca) e outros tipos de basaltos. Neste diagrama, quase todas as amostras plotam no campo do MORB (**Figura 88C**).

Figura 88: A) Diagrama ternário AFM, com a divisão dos campos toleítico e cálcio-alcalino, (Irvine & Baragar, 1971); B) Diagrama discriminatório [Ti-Zr-Sr], (Pearce & Cann, 1973); C) Diagrama discriminatório [Ti-Zr-Y], (Pearce & Cann, 1973); D) Diagrama de classificação de granulitos félsicos e intermediários [CaO-Na₂O-K₂O] (Glikson, 1979).

Figura 89: Diagramas de Harker dos elementos maiores (expressos em % peso) para as rochas metabásicas.

Figura 90: Diagramas de Harker dos elementos maiores (expressos em % peso) para as rochas metabásicas.

O hornblenda-metagabro simplectítico do grupo 3 plota no limite do campo MORB com o campo dos basaltos intraplaca, porém apresenta elevadas razões Sr/Y em comparação com as outras rochas metabásicas, o que sugere que parte significativa do Y tenha sido retida na granada da fonte. Além disto, a preservação de texturas ígneas reliquias (plagioclásio ripiforme) nos litotipos deste grupo os diferencia dos demais e sugere uma origem intraplaca para o protólito basáltico. O caráter anidro dos metagabronoritos e biotita-granada enderbito gnaisses é confirmado pelos baixos valores de perda ao fogo (Loi) (**Tabela 10**). Nessas amostras as texturas são mais bem preservadas e possivelmente as razões $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ são mais elevadas, evidenciado também pela freqüente presença de carbonatos intersticiais tardios. O hornblenda

metagabro simplectítico apresenta os maiores conteúdos de voláteis e é o litotipo mais afetado por retrometamorfismo.

Figura 91: Diagramas de Harker dos elementos menores e traço (expressos em ppm) para as rochas metabásicas.

Amostras	NLD-41A	NLD-7A	NLD-7B	NLD-7E	NLD-42A	NLD-42C	NLD-42E	NLD-8A	NLD-9A	NLD-20A	NLD-22A	NLD-44A	NLD-45D	NLD-41F	NLD-45A	NLD-41G
	Granada granulito				Metagabronorito			Grt-cpx anfibolito		Hornblenda metagabro		Biotita-granada enderbitto gnaiss		Meta charnockito	Enderbitto gnaiss	
SiO ₂	49.91	50.32	49.55	49.75	48.87	50.16	49.49	45.76	50.15	49.79	49.15	51.59	51.92	69.53	57.43	60.09
TiO ₂	1.06	0.9	1.3	1.28	2.06	1.84	1.96	2.74	2.49	1.98	2.27	1.11	1.27	0.43	0.72	0.83
Al ₂ O ₃	14.02	14.88	13.71	13.58	12.28	12.80	12.75	12.23	13.57	14.6	13.81	13.09	15.08	14.89	15.59	16.46
Fe ₂ O ₃ (t)	13.76	11.48	14	13.85	18.55	17.64	17.90	20.61	16.26	12.78	14.02	12.54	11.57	3.40	8.84	7.41
Fe ₂ O ₃	1.38	1.15	1.40	1.39	1.86	1.77	1.79	2.06	1.63	1.28	1.40	1.26	1.16	0.34	0.89	0.74
FeO	12.38	10.33	12.60	12.46	16.69	15.87	16.11	18.55	14.63	11.50	12.62	11.28	10.41	3.06	7.95	6.67
MnO	0.20	0.18	0.22	0.22	0.25	0.24	0.24	0.28	0.21	0.2	0.21	0.20	0.19	0.03	0.15	0.08
MgO	7.08	7.44	6.79	6.8	4.84	4.65	4.71	5.75	4.51	6.86	6.59	6.47	5.36	1.20	4.51	3.24
CaO	10.63	11.88	11.12	11.17	9.60	9.31	9.62	10.16	8.41	10.91	10.64	11.55	10.83	3.02	8.55	6.24
Na ₂ O	2.55	2.39	2.88	2.92	2.81	2.80	2.76	1.75	2.48	2.29	2.56	2.68	3.07	3.13	3.39	4.05
K ₂ O	0.70	0.47	0.32	0.33	0.54	0.39	0.38	0.55	1.52	0.44	0.53	0.67	0.56	4.21	0.70	1.39
P ₂ O ₅	0.09	0.05	0.11	0.11	0.19	0.18	0.18	0.18	0.4	0.18	0.22	0.11	0.16	0.17	0.13	0.22
Loi	0.42	0.26	0.20	0.18	0.00	0.00	0.00	0.04	0.28	0.44	0.34	0.00	0.00	0.38	0.24	0.38
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Ba	58	81	76.7	695	110	92.2	82	65.5	361	115	146	300	117	1742	183	290
Ce	47	< 35	19.2	20.0	67	24.5	63	26.7	65.1	28.6	29.1	61	29.9	174	27.5	125
Co	53	51	44	41	44	43	41	93	46	38	50	42	36	6	25	16
Cr	226	212	101	103	71	74	66	67	80	179	182	234	230	< 13	165	47
Cu	104	124	64	86	45	39	44	192	164	159	164	77	29	13	92	23
Ga	17	16	17	16	20	20	18	20	21	19	20	16	22	18	22	23
La	< 28	43	59.0	110	< 28	10.1	< 28	16.6	30.2	15.6	15.3	< 28	12.2	108	12.2	50.6
Nb	< 9	< 9	5.5	5.34	9	5.81	< 9	6.84	11.4	9.64	11.4	< 9	6.26	3.2	7.39	11.5
Nd	24	84	36.8	63.3	54	15.7	66	24.1	35.9	18.7	20.8	42	19.3	54.8	16.0	71.6
Ni	129	96	49.7	51	57	56	54	88	60	79	104	91	42	11	42	28
Pb	18	19	2.1	1.98	19	2.19	15	4.13	7.15	3.19	2.05	17	7.78	17.8	7.38	10.1
Rb	7	5	7.0	7.20	5	10.4	9	8.38	44.8	12.3	13.8	20	13.0	87.3	21.4	26.6
Sc	39	45	47.4	47	39	37	38	45	35	38	39	42	32	< 14	27	19
Sr	65	140	94.3	97.5	116	87.6	117	58.0	123	193	179	229	310	364	321	312
Th	< 7	< 7	0.8	0.92	9	1.24	8	0.70	4.97	1.59	1.70	< 7	1.34	16.6	0.85	0.93
U	5	5	0.24	0.28	9	0.34	8	0.28	1.06	0.35	0.38	6	0.84	0.41	0.33	0.26
V	278	278	316.9	336	301	276	282	528	330	340	353	311	269	35	202	114
Y	25	28	59.1	55.0	39	25.7	36	29.6	37.0	23.7	26.2	28	20.0	9.8	13.4	43.3
Zn	108	84	128.0	129	148	148	145	183	145	99	111	112	119	44	101	89
Zr	67	65	70.2	73.0	138	100	130	72.8	201	102	117	56	80.9	241	57.4	118
Cs	-	-	0.13	0.19	-	0.10	-	0.08	1.51	0.15	0.15	-	0.33	0.33	0.50	0.66
Pr	-	-	9.11	17.0	-	3.26	-	5.16	8.26	4.11	4.46	-	4.21	16.7	3.61	16.7
Sm	-	-	8.21	11.4	-	4.53	-	6.17	8.46	4.74	5.46	-	5.10	7.03	4.45	16.2
Eu	-	-	2.68	3.32	-	1.50	-	2.07	2.18	1.64	1.85	-	1.31	1.43	1.09	2.15
Gd	-	-	10.90	12.5	-	5.60	-	7.13	8.76	5.28	6.15	-	5.05	3.78	4.27	13.4
Tb	-	-	1.76	1.85	-	0.96	-	1.11	1.39	0.84	0.98	-	0.78	0.46	0.64	1.97
Dy	-	-	10.80	10.9	-	5.93	-	6.59	8.18	4.90	5.71	-	4.45	2.19	3.30	10.5
Ho	-	-	2.57	2.53	-	1.35	-	1.48	1.77	1.06	1.22	-	0.93	0.40	0.60	2.09
Er	-	-	6.72	6.54	-	3.62	-	3.92	4.77	2.80	3.18	-	2.33	0.99	1.39	5.18
Tm	-	-	0.99	0.96	-	0.54	-	0.59	0.71	0.40	0.46	-	0.34	0.12	0.18	0.68
Yb	-	-	6.35	6.17	-	3.47	-	3.69	4.43	2.43	2.79	-	2.09	0.71	1.07	3.83
Lu	-	-	1.00	0.96	-	0.51	-	0.55	0.65	0.36	0.41	-	0.30	0.11	0.15	0.50
Hf	-	-	2.06	2.15	-	3.32	-	2.26	5.95	2.95	3.58	-	2.35	6.54	1.31	3.38
Mg#	50.47	56.21	49.00	49.30	34.07	34.30	34.26	35.59	35.46	51.53	48.21	50.54	47.85	41.14	50.26	46.41
ACNK	0.58	0.57	0.54	0.53	0.54	0.58	0.57	0.56	0.65	0.61	0.57	0.50	0.59	0.98	0.71	0.84
ANK	2.83	3.35	2.70	2.63	2.36	2.55	2.57	3.52	2.37	3.44	2.89	2.55	2.67	1.53	2.46	2.02
NK	5.54	7.73	13.68	13.45	7.91	10.91	11.04	4.84	2.48	7.91	7.34	6.08	8.33	1.13	7.36	4.43
FeO/MgO	1.75	1.39	1.86	1.83	3.45	3.41	3.42	3.23	3.24	1.68	1.91	1.74	1.94	2.55	1.76	2.06
Na ₂ O/K ₂ O	3.64	5.09	9.00	8.85	5.20	7.18	7.26	3.18	1.63	5.20	4.83	4.00	5.48	0.74	4.84	2.91
Na ₂ O+K ₂ O	3.25	2.86	3.20	3.25	3.35	3.19	3.14	2.30	4.00	2.73	3.09	3.35	3.63	7.34	4.09	5.44
K/Rb	867.4	765.1	379.5	380.5	953.8	311.3	354.5	544.9	281.9	296.0	319.8	275.4	358.2	400.5	272.2	434.3
Y+Nb	-	-	65	60	48	31	-	36	48	33	38	-	26	13	21	55
Zr/Y	2.69	2.35	1.19	1.33	3.55	3.90	3.58	2.46	5.43	4.29	4.44	2.00	4.05	24.70	4.29	2.72
La/Yb	-	-	6.28	12.11	-	1.96	-	3.04	4.6	4.32	3.72	-	3.94	103.29	7.71	8.93
La/Yb	-	-	4.53	6.09	-	1.40	-	1.69	2.24	2.07	1.77	-	1.50	9.71	1.73	1.97
Gd/Yb	-	-	1.4	1.64	-	1.31	-	1.57	1.6	1.76	1.79	-	1.96	4.32	3.22	2.83
Eu/Eu*	-	-	0.87	0.85	-	0.91	-	0.95	0.78	1	0.97	-	0.79	0.85	0.77	0.45

Tabela 10: Resultados analíticos de geoquímica de rocha-total, com elementos maiores expressos em % peso e os elementos menores, traço e terras-raras expressos em ppm. As análises de elementos maiores e menores foram obtidas por FRX e as análises de elementos traço e terras-raras foram obtidas por ICP-MS. Loi = Loss on ignition (perda ao fogo).

9.3.2 Elementos maiores, menores e traço

Os metagabronoritos e granada-clinopiroxênio anfibolitos apresentam conteúdos mais elevados de Fe₂O₃ (16.3-20.6%), TiO₂ (1.8-2.7%) e MnO (0.21-0.28%) e menores concentrações de Al₂O₃ (12.2-13.6%) CaO (8.4-10.1%) e MgO (4.5-5.7%) do que as rochas metabásicas dos grupos 1 e 3 (11.5-14% Fe₂O₃; 0.9-2.3% TiO₂; 0.18-0.22% MnO; 13.6-14.8% Al₂O₃; 10.6-11.8% CaO; 6.6-7.5% MgO). Os elevados teores de Ti

(2-2.3% TiO_2) no hornblenda metagabro pode ser atribuído à presença de minerais portadores de Ti, como ilmenita e titanita, além de conteúdos elevados de Ti nos anfibólitos. Os quatro diferentes grupos de rochas metabásicas apresentam uma distribuição concentrada dos elementos maiores com o aumento de SiO_2 . Os diagramas de variação dos metagabronoritos e granada-clinopiroxênio anfibolitos dos grupos 2 e 4 mostram uma diminuição nos conteúdos de TiO_2 , CaO, Fe_2O_3 , MgO e MnO com o aumento de SiO_2 . Os diagramas de variação do granada-hornblenda granulito e o hornblenda metagabro dos grupos 1 e 3 apresentam um aumento nos conteúdos de CaO e MgO com o aumento de SiO_2 , acompanhado por uma diminuição em TiO_2 , Fe_2O_3 e MnO (**Figura 89**).

Nos diagramas de variação da **Figura 90**, observa-se que os metagabronoritos e granada-clinopiroxênio anfibolitos apresentam um aumento nas concentrações de TiO_2 , Fe_2O_3 , CaO e MnO com o aumento progressivo de MgO. O granada-hornblenda granulito e o hornblenda metagabro apresentam uma relação inversa, com diminuição de TiO_2 , Fe_2O_3 e MnO com o aumento de MgO, enquanto que o CaO aumenta. O conteúdo de K_2O apresenta variações muito pequenas e comportamento constante em todas as amostras, exceto no granada-clinopiroxênio anfibolito do grupo 4, que apresenta um aumento de K_2O (1.52% K_2O) com o aumento de SiO_2 .

Segundo Rollinson & Windley (1980) e Rudnick *et al.*, (1985), muitos granulitos apresentam concentrações baixas de elementos LILE (K, Rb, Ba, Cs), incompatíveis (U, Th, Ti, Zr) e altas razões K/Rb, possivelmente devido ao empobrecimento nestes elementos durante o metamorfismo de fácies granulito. As rochas metabásicas consideradas neste estudo apresentam baixas concentrações em elementos LILE ($\text{Rb} < 10$ ppm) (**Figura 91**) e uma grande variação nas razões K/Rb, podendo ser separada em dois grupos distintos: um de baixas razões K/Rb, com valores entre 282-380; e outro grupo com razões K/Rb mais elevadas, com valores entre 545-953 (granada-hornblenda granulito e metagabronorito). Segundo Rudnick (1992), o empobrecimento em elementos LILE e altas razões K/Rb são características esperadas para resíduos de fusão parcial. O granada-hornblenda granulito do grupo 1 apresenta as concentrações mais baixas de elementos incompatíveis ($\text{Zr} < 73$ ppm, $\text{Th} < 0.9$ ppm) e conteúdos relativamente elevados de La (30-110 ppm) e Y (25-59 ppm), também exibindo as menores razões Zr/Y (1.1-2.7).

De modo geral, as amostras apresentam um comportamento similar, exceto o clinopiroxênio-granada anfibolito simplectítico (NLD-9A) que exibe um padrão

distinto, enriquecido em elementos LILE (1.52% K₂O; 45 ppm Rb; 361 ppm Ba; 151 ppm Cs) e elementos incompatíveis como Ti, Zr e Th (2.5% TiO₂; 201 ppm Zr; 5 ppm Th) (**Figura 91**), com elevadas razões Zr/Y (Zr/Y = 5.43). Os maiores conteúdos de Sr nas rochas metabásicas foram encontrados no hornblenda metagabro do grupo 2 (Sr = 180-193 ppm) e devem estar associados com o fracionamento de plagioclásio no protólito ígneo. Rochas granulíticas que apresentam grande variação geoquímica possivelmente foram formadas por diferentes processos geológicos. As rochas de origem metamórfica que são acompanhadas por reações de desidratação e perda de voláteis tendem a ser mais empobrecidas em elementos LILE (Rollinson & Windley, 1980).

Figura 92: Diagrama multi-elementar das rochas metabásicas, normalizadas pelo manto primitivo de Sun & Mc Donough (1989), comparados com os padrões OIB, E-MORB e N-MORB de Sun & Mc Donough (1989). OIB = basalto de ilha oceânica, N-MORB = basalto normal de cadeia meso oceânica, E-MORB = basalto enriquecido de cadeia meso oceânica.

O diagrama multi-elementar de elementos traço das rochas metabásicas, normalizado pelo manto primitivo de Sun & Mc Donough (1989) (**Figura 92**) mostra que todos os grupos são caracterizados por um empobrecimento seletivo de alguns elementos HFSE (Th, Nb, Hf e Y) e de Sr e de um relativo enriquecimento em K e Nd. O grupo 1 apresenta conteúdos mais elevados de La, Nd, Sm, Tb e Y em relação aos

outros grupos. Exibe uma anomalia negativa de Ti que se destaca, pois os demais grupos de rochas metabásicas são caracterizados por um enriquecimento em Ti (**Figura 92**). A amostra NLD-7E possui teores de Ba anômalos em relação a outra amostra representativa do grupo (NLD-7B). Os grupos 2, 3 e 4 apresentam um padrão de distribuição mais homogêneo, mais enriquecido em elementos LILE (0.4-1.5% K₂O; 8.4-45 ppm Rb; 0.1-1.5 ppm Cs) e incompatíveis (0.3-1 ppm U; 0.7-5 ppm Th; 2-2.5% TiO₂; 73-200 ppm Zr) do que o granada-hornblenda granulito do grupo 1 (0.3% K₂O; 7 ppm Rb; 0.1 ppm Cs; 0.2 ppm U; 0.9 ppm Th; 1.3% TiO₂; 70-73 ppm Zr). A amostra NLD-9A do grupo 4 apresenta um padrão de distribuição distinto dos demais, caracterizado por um enriquecimento mais elevado em elementos LILE (K, Rb, Ba) e incompatíveis (U, Th, Ti, Zr) (**Figura 92**). Elevadas concentrações em elementos LILE podem ser produto do enriquecimento destes elementos em processos retrometamórficos (Sighinolfi et al., 1981), o que é consistente para a amostra NLD-9A, onde grande parte dos piroxênios foi substituída por intercrescimentos de Hbl+Qtz no metamorfismo retrógrado.

A comparação dos padrões de distribuição de elementos traço das amostras analisadas com os padrões de distribuição de OIB, E-MORB e N-MORB de Sun & Mc Donough (1989) mostra que os grupos 2, 3 e 4 apresentam padrões que se assemelham com os padrões de E-MORB, porém com enriquecimento maior nos elementos traço em geral. A semelhança dos padrões aponta para fontes compatíveis com E-MORB, embora enriquecidas em relação a este padrão. Fontes similares ao MORB identificadas nos diagramas de variação multi-elementares estão de acordo com os diagramas de discriminação de ambientes tectônicos de Pearce & Cann (1973) onde a fonte MORB é também sugerida.

9.3.3 Elementos terras-raras

No geral, as rochas metabásicas apresentam padrões de elementos terras-raras (ETR) fracamente fracionados (tipo-*flat*), o que é indicado pelos baixos valores de razões La/Yb. Os conteúdos e os padrões de distribuição de elementos terras-raras quando normalizadas ao condrito (Taylor & Mc Lennan, 1985), permitem identificar 3 comportamentos distintos (**Figura 93**). Os granulitos máficos do grupo 1 são enriquecidos em ETRL (elementos terras-raras leves) em comparação às outras rochas metabásicas (razões La_N/Yb_N = 6.3-12, La_N/Sm_N = 4.5-6, Gd_N/Yb_N = 1.4-1.6, Eu/Eu* =

0.85-0.87), e exibem uma forte anomalia negativa de Ce e uma leve anomalia negativa de Eu (**Figura 94A**).

Figura 93: Padrões de ETR das rochas metabásicas, normalizados ao condrito de Taylor & Mc Lennan (1985).

Figura 94: (A), (B), (C), (D) Padrões de ETR das rochas metabásicas normalizados ao condrito de Taylor & Mc Lennan (1985) comparados com os padrões OIB, E-MORB e N-MORB de Sun & Mc Donough (1989). OIB = basalto de ilha oceânica, N-MORB = basalto normal de cadeia meso oceânica, E-MORB = basalto enriquecido de cadeia meso oceânica.

O enriquecimento em ETRL pode apontar para fontes mantélicas enriquecidas. Os padrões de distribuição dos ETR da água do mar tendem a mostrar um enriquecimento nas concentrações de ETRP, freqüentemente acompanhado por uma anomalia negativa de Ce bem marcada (Elderfield & Greaves, 1981, 1982). A anomalia negativa de Ce ocorre devido à oxidação de Ce^{3+} para Ce^{4+} e a precipitação de Ce^{4+} a partir de uma solução de CeO_2 . O granada-hornblenda granulito do grupo 1 apresenta uma anomalia negativa de Ce acentuada (**Figura 93**), o que sugere a atuação de processos hidrotermais na oxidação do Ce, resultando um padrões de ETR com anomalias negativas de Ce (Rollinson, 1993). Diversos autores reconheceram enriquecimento em ETR e anomalias negativas de Ce em rochas toleíticas e em álcali-basaltos (Frey & Roy, 1978; Mc Donough & Sun, 1985; Green, 1978; Fodor *et al.*, 1987).

Os metagabronoritos do grupo 2 apresentam as menores concentrações em elementos terras-raras, mostrando um padrão de distribuição horizontal (razões $La_N/Yb_N = 1.9$, $La_N/Sm_N = 1.4$, $Gd_N/Yb_N = 1.3$, $Eu/Eu^* = 0.91$), semelhante ao padrão de basaltos enriquecidos de cadeia meso oceânica (**Figura 94B**). O hornblenda metagabro do grupo 3 e o granada-clinopiroxênio anfibolito do grupo 4 apresentam padrões de distribuição semelhantes (razões $La_N/Yb_N = 3.0-4.6$, $La_N/Sm_N = 1.7-2.2$, $Gd_N/Yb_N = 1.6-1.8$, $Eu/Eu^* = 0.78-1$), inclinados em relação ao condrito, que também se assemelham com o padrão de basaltos tipo E-MORB (**Figuras 94C e 94D**), embora o conteúdo de ETRL seja mais elevado e estes litotipos apresentem uma discreta anomalia negativa de Ce.

O hornblenda metagabro apresenta razões constantes de $[La/Yb_N]$ (4.3-4.4) e razões Eu/Eu^* próximas de 1, o que reflete ausência de anomalias de Eu para as rochas deste grupo. Também representa as rochas mais empobrecidas em ETRP de todo o conjunto, o que sugere que a granada tenha sido retida na fonte, uma vez que a granada é um mineral concentrador de ETRP. O clinopiroxênio-granada anfibolito simplectítico (NLD-9A) do grupo 4 se distingue dos demais pelo fato de não apresentar anomalia negativa de Ce. Apresenta um padrão de distribuição horizontalizado, mas com anomalia de Eu, embora discreta, mais pronunciada de todo o conjunto de amostras ($Eu/Eu^* = 0.78$).

A amostra NLD-8A tem um padrão muito similar ao grupo 3, embora seja levemente mais enriquecida em ETRP. Até mesmo a discreta anomalia de Ce do grupo 3 é igual nesta amostra (**Figuras 93 e 94D**). Isso reflete uma disparidade intra-grupo na

distribuição de ETR, o que pode refletir fontes ou processos evolutivos diversos para estas duas amostras representativas deste grupo. O espalhamento do campo ilustrado em azul para os litotipos do grupo 4 (**Figura 94D**) se dá devido à heterogeneidade intra-grupo, o que resulta em padrões de distribuição similares ao E-MORB para a amostra NLD-8A, enquanto que na amostra NLD-9A os padrões de ETRL se assemelham a fontes do tipo OIB, por ser mais enriquecida em ETRL.

A comparação dos padrões de distribuição dos ETR das amostras analisadas com os padrões OIB, E-MORB e N-MORB de Sun & Mc Donough (1989) mostra que a maioria das rochas metabásicas neste estudo apresenta fontes similares as do tipo E-MORB (basalto enriquecido de cadeia meso oceânica), conforme indicado nos diagramas de ETR (**Figuras 93 e 94**). No diagrama multi-elementar de elementos traço (**Figura 92**), bem como no diagrama de discriminação tectônica de Pearce & Cann (1973) (**Figura 88B, 88C**), embora sempre com enriquecimento para todos os ETR em relação a esse tipo de fonte, o que sugere fontes mais enriquecidas com relação ao E-MORB para a formação destas rochas.

	NLD-7B	NLD-7E	NLD-42C	NLD-8A	NLD-9A	NLD-20A	NLD-22A	NLD-45D	NLD-41F	NLD-45A	NLD-41G
La	160.84	300.97	27.46	45.20	82.15	42.37	41.82	33.18	295.33	33.31	137.83
Ce	20.04	20.91	25.61	27.94	68.00	29.90	30.42	31.26	182.26	28.78	130.61
Pr	66.50	123.77	23.80	37.66	60.26	30.01	32.54	30.75	122.08	26.36	122.23
Nd	51.72	89.05	22.08	33.85	50.55	26.31	29.32	27.09	77.11	22.51	100.73
Sm	35.54	49.45	19.61	26.70	36.64	20.51	23.65	22.08	30.41	19.26	70.04
Eu	30.84	38.22	17.25	23.77	25.10	18.81	21.24	15.02	16.39	12.55	24.68
Gd	35.72	40.83	18.31	23.30	28.61	17.26	20.10	16.50	12.36	13.94	43.75
Tb	30.28	31.94	16.47	19.12	23.90	14.42	16.83	13.48	7.88	11.01	33.89
Dy	28.30	28.67	15.56	17.31	21.46	12.86	14.99	11.69	5.74	8.67	27.55
Ho	30.23	29.74	15.85	17.41	20.85	12.47	14.33	10.91	4.69	7.09	24.60
Er	26.99	26.28	14.52	15.74	19.15	11.23	12.77	9.37	3.97	5.60	20.82
Tm	27.94	26.92	15.30	16.45	19.86	11.27	12.83	9.46	3.32	5.12	19.07
Yb	25.60	24.86	14.00	14.89	17.85	9.80	11.25	8.42	2.86	4.32	15.44
Lu	26.28	25.09	13.26	14.33	17.1	9.44	10.65	7.87	2.88	3.92	13.23
La/Yb	6.28	12.11	1.96	3.04	4.6	4.32	3.72	3.94	103.29	7.71	8.93
La/Sm	4.53	6.09	1.40	1.69	2.24	2.07	1.77	1.50	9.71	1.73	1.97
Gd/Yb	1.4	1.64	1.31	1.57	1.6	1.76	1.79	1.96	4.32	3.22	2.83
Eu/Eu*	0.87	0.85	0.91	0.95	0.78	1	0.97	0.79	0.85	0.77	0.45

Tabela 11: Análises de elementos terras-raras normalizadas ao condrito (Normalização aos valores de Taylor & McLennan, 1985).

9.4 Rochas charnockíticas/enderbíticas

9.4.1 Classificação das rochas charnockíticas

O termo “charnockito” foi inicialmente proposto por Holland (1900) para descrever rochas graníticas portadoras de ortopiroxênio, na região dos Madras, sul da Índia. Howie (1955) introduziu o conceito de metamorfismo plutônico. Os diferentes

modos de ocorrência e contextos estruturais em que se inserem os charnockitos ao redor do mundo, deram início ao debate sobre a origem ígnea ou metamórfica (Pichamuthu, 1960; Ravich, 1972). A natureza homogênea e maciça de alguns charnockitos, e em alguns casos, a existência de contatos intrusivos, xenólitos e texturas magmáticas, são consistentes com uma origem ígnea (Holland, 1900). A cristalização de magmas charnockíticos ocorre sob condições anidras no fácies granulito, e pode ser derivado da fusão parcial do manto ou de rochas da crosta inferior (Newton, 1992a). A origem metamórfica é atribuída à presença de texturas metamórficas, estrutura bandada e eventualmente, a intercalação de rochas metassedimentares (De Waard, 1969). Rochas charnockíticas de origem metamórfica são geradas a partir de reações metamórficas em estado-sólido, sob condições de fácies granulito (Bohlen, 1991). Alguns autores defendem uma origem metassomática para os charnockitos, através do influxo de CO₂ ou queda na pressão de fluidos (Newton, 1992a).

Segundo Frost & Frost (2008), o termo charnockito só deve ser aplicado para rochas de origem ígnea. Os autores sugerem uma simplificação na nomenclatura de rochas charnockíticas e propõem que termos como enderbito e mangerito devem ser eliminados e substituídos pelo prefixo “Opx” na classificação de rochas ígneas da IUGS, resultando em nomes como Opx-tonalito e Opx-monzonito, respectivamente. No entanto, um trabalho recente realizado por Bhattacharya (2010) propõe que o termo charnockito deve ser adotado para qualquer rocha quartzo-feldspática com ortopiroxênio, independente de seu modo de ocorrência, contexto estrutural ou origem. No presente trabalho, foi adotada a nomenclatura proposta por Bhattacharya (2010) e os nomes da série charnockítica inicialmente proposta por Le Maitre (1989) foram complementados pela nomenclatura recomendada por Frost & Frost (2008). As rochas charnockíticas presentes na região de Pedro Teixeira (MG) apresentam composição química variável e são classificadas como enderbitos (Opx-tonalito) e charnockitos (Opx-granito) (**Figura 86B**).

No diagrama de classificação de rochas plutônicas de Cox *et al.* (1979) (**Figura 95A**), o meta-charnockito bandado do grupo 5 apresenta o maior teor relativo de sílica e álcalis, plotando no campo do granito. O enderbito gnaiss (Grupo 6) apresenta composição intermediária, correspondente ao campo do diorito. O biotita-granada enderbito gnaiss coronítico (Grupo 7) possui o menor teor relativo de sílica, e plota no campo do gabro. O conteúdo de sílica nas rochas charnockíticas varia de 51.6-69.5% SiO₂.

No diagrama AFM de Irvine & Baragar (1971) (**Figura 88A**), observa-se que os litotipos têm afinidade predominantemente cálcio-alcálica, com típico empobrecimento em FeOt em relação aos álcalis. Porém o biotita-granada enderbito gnaiss situa-se no campo toleítico, próximo ao limite com o campo cálcio-alcálico. No diagrama de classificação química de granulitos félsicos e intermediários de Glikson (1979), não foram identificadas amostras com composições trondhjemíticas (**Figura 88D**). No diagrama discriminante de Pearce *et al.*, (1984), a maioria das amostras caem no campo dos granitóides de arco vulcânico (**Figura 95B**). O enderbito gnaiss (NLD-41G) plota no limite entre os campos dos granitóides intra-placa e granitóides de arco vulcânico.

Figura 95: A) Diagrama de classificação de rochas plutônicas (Cox *et al.*, 1979); B) Diagrama discriminante Rb vs. (Y+Nb) de Pearce *et al.*, (1984). Syn-COLG = granitóides sin-colisionais; WPG = granitóides intra-placa; VAG = granitóides de arco vulcânico; ORG = granitóides das dorsais oceânicas.

9.4.2 Elementos maiores, menores e traço

Os diagramas de variação de elementos maiores, menores e traço apontam *trends* relativamente homogêneos. Embora o conjunto de amostras seja diminuto, as rochas félsicas estudadas apresentam *trends* de evolução normal de granitos em relação à maioria dos elementos maiores e traço. Ocorre uma diminuição nos conteúdos de TiO_2 , CaO , Fe_2O_3 , MgO e MnO com o aumento de SiO_2 , enquanto que as concentrações em K_2O , Rb, Ba, La, Ce tendem a aumentar (**Figura 96**). Há uma dispersão nos valores de Al_2O_3 e Na_2O .

O metacharnockito bandado apresenta os menores conteúdos de TiO_2 , CaO , Fe_2O_3 , MgO e MnO (0.4% TiO_2 , 3% CaO , 3% Fe_2O_3 , 1% MgO e 0.1% MnO) em comparação com os enderbitos (0.7-1.3% TiO_2 , 6-11% CaO , 7-12% Fe_2O_3 , 3-5% MgO e 0.1-0.2% MnO) e são enriquecidos em elementos LILE (4.2% K_2O ; 87 ppm Rb), exibindo concentrações bastante elevadas de Ba (1742 ppm) e em alguns elementos incompatíveis. Apresenta teores relativamente altos em Zr (241 ppm) (**Figura 97**), e as menores concentrações de elementos de transição (6 ppm Co; <13 ppm Cr; 13 ppm Cu; 10 ppm Zn; 11 ppm Ni; 35 ppm V). Os enderbito gnaisses dos grupos 6 e 7 exibem um comportamento geoquímico oposto ao metacharnockito bandado (**Figuras 96 e 97**), mostrando empobrecimento em elementos LILE (0.6-1.4% K_2O ; 13-26 ppm Rb) e incompatíveis (57-118 ppm Zr; Th < 0.9 ppm) e maiores concentrações em elementos de transição (16-36 ppm Co; 47-230 ppm Cr; 23-92 ppm Cu; 90-120 ppm Zn; 28-42 ppm Ni; 114-270 ppm V).

As rochas charnockíticas apresentam razões K/Rb relativamente baixas em comparação com os granulitos máficos, com valores entre 272-434. As baixas razões K/Rb sugere uma origem ígnea para as rochas charnockíticas da região de Pedro Teixeira (Shaw, 1968).

Os diagramas multi-elementares para as rochas charnockíticas normalizado ao manto primitivo de Taylor & Mc Lennan (1985) (**Figuras 98 e 99**) mostram que o metacharnockito do grupo 5 exibe um enriquecimento em elementos LILE (K, Rb, Ba, Cs) e incompatíveis (Zr, Th) em relação aos demais litotipos e apresenta concentrações mais elevadas de ETRL e menos expressivas de ETRP. Segundo Allen *et al.*, (1984), há uma tendência no empobrecimento de Rb, Cs, Th e U nos charnockitos de alta pressão do sul da Índia. As amostras NLD-41F e NLD-41G exibem anomalias negativas de U, Nb e Sr. Todos os litotipos analisados são caracterizados por anomalias positivas de Pb, negativa de Y e uma discreta anomalia negativa de Eu. O Pb geralmente é transportado em fluidos ricos em CO_2 com Cl, e pequenas modificações no pH ou na composição do fluido dissociam complexos clorados com Pb, o que pode resultar em empobrecimento em Pb durante o metamorfismo de fácies granulito, que eventualmente retorna no retrometamorfismo (Condie & Allen, 1984). As baixas concentrações de Y e Yb pode ser atribuída à substituição de Fe^{2+} e Mg por estes elementos nos piroxênios (Allen *et al.*, 1984).

Figura 96: Diagramas de Harker dos elementos maiores (expressos em porcentagem de peso) para as rochas charnockíticas.

Figura 97: Diagramas de Harker dos elementos menores e traço (expressos em ppm) para as rochas charnockíticas.

Figura 98: Diagrama multi-elementar das rochas charnockíticas, normalizadas pelo manto primitivo de Sun & Mc Donough (1989).

Figura 99: Diagrama multi-elementar das rochas charnockíticas, normalizadas pelo manto primitivo de Taylor & Mc Lennan (1985).

9.4.3 Elementos terras-raras

As rochas charnockíticas apresentam padrões de fracionamento normais de evolução de granitos, sendo que as rochas menos diferenciadas são menos fracionadas (menores razões $[La/Yb]_N$) e com anomalias de Eu menos pronunciadas (NLD-41F). No diagrama de ETR normalizado ao condrito de Taylor & Mc Lennan (1985) (**Figura**

100) são reconhecidos dois padrões distintos de elementos terras-raras. As rochas enderbíticas (grupos 6 e 7) são caracterizadas por um fracionamento moderado ($[La/Yb]_N = 4-9$), e a anomalia negativa de Eu aumenta com SiO_2 , sendo mais pronunciada na amostra NLD-41G ($Eu/Eu^* = 0.45$). O metacharnockito bandado do grupo 5 apresenta as razões $[La/Yb]_N$ mais elevadas (103.3), o que remete a um alto fracionamento de elementos terras-raras. Os litotipos mais ricos em sílica (NLD-41F e NLD-41G - 60-69.5 $SiO_2\%$ peso) apresentam conteúdo total de ETR mais elevados (260-320 ppm) do que aqueles com menores teores de SiO_2 (68-75 ppm) (**Figura 100**). Essas características apontam para fontes diversas para o metacharnockito, possivelmente retendo granada ou plagioclásio na fonte. As rochas enderbíticas também sugerem uma origem a partir de fontes e/ou processos evolutivos diversos, pois embora os padrões sejam similares, a amostra NLD-41G é muito mais enriquecida em ETR total do que os demais enderbitos (**Figura 101A**).

Os padrões de ETR das rochas charnockíticas analisadas foram comparados com os padrões de ETR dos charnockitos do batólito de Louis Lake, Wyoming, de composição cálcio-alcálica e formados em limite convergente de placas, que são notadamente de origem ígnea (Frost *et al.*, 2000). O metacharnockito bandado (NLD-41F) exibe padrões de distribuição de ETR mais fracionados, enquanto que as rochas de composição enderbítica exibem padrões menos fracionados em comparação com os padrões dos charnockitos de Louis Lake. O metacharnockito bandado apresenta razões $[La/Yb]_N$ mais elevadas, assim os padrões de distribuição de ETR se distinguem dos padrões do charnockito de Louis Lake, sobretudo no enriquecimento relativo de ETRL (**Figura 101B**).

Os diagramas de variação multi-elementares normalizados ao ORG de Pearce *et al.*, (1984) foram comparados com análises de Pearce *et al.*, (1984) de granitos de diferentes contextos tectônicos. O metacharnockito bandado (NLD-41F) e os enderbito gnaisses dos grupos 6 e 7 foram comparados com os granitos de arco vulcânico das regiões de Omã, Chile e Jamaica (**Figura 102**). O enderbito gnaisse da amostra NLD-41G também foi comparado com os granitos intra-placa das regiões de Sabaloka, Mull, Ascension Islands, Skaergaard e Rift de Oslo (**Figura 102B**), pois no diagrama discriminante de Pearce *et al.*, (1984), esta amostra plota no limite entre os campos dos granitos de arco vulcânico e granitos intra-placa. A maioria das amostras mostrou padrões similares aos padrões do Chile e da Jamaica, exceto que o metacharnockito

bandado (NLD-41F) apresenta concentrações mais elevadas em Ba (**Figura 102A**), o que sugere fontes similares às de arco vulcânico.

Figura 100: Padrões de ETR das rochas charnockíticas, normalizados ao condrito de Taylor & Mc Lennan (1985).

Figura 101: A) Diagrama binário de ETR total vs. SiO_2 para as rochas charnockíticas do Complexo Mantiqueira. Dados do charnockito do Batólito de Louis Lake (Wyoming) de Frost *et al.*, (2000) são mostrados para comparação; B) Diagramas de ETR normalizados ao condrito de Taylor & Mc Lennan (1985), comparados com os padrões de ETR do charnockito de Louis Lake (Wyoming).

Processos de fusão parcial e de cristalização fracionada em rochas ígneas levam a um enriquecimento relativo em ETRL na fase líquida de sistemas silicáticos cristal-

líquido (Figueiredo, 1995), desse modo há um enriquecimento de ETRL em rochas crustais, principalmente nas mais félsicas. Geralmente há poucas modificações dos padrões de ETR durante o metamorfismo, o que permite estudar os padrões de ETR como referentes ao protólito (Cullers *et al.*, 1974; Muecke *et al.*, 1979).

Figura 102: A), B), C), D) Diagramas de variação multi-elementar para as rochas charnockíticas, normalizados para o ORG (*ocean ridge granites*) de Pearce *et al.* (1984).

O modelamento geoquímico realizado por Duarte *et al.*, (2004) aponta que o processo petrogenético associado com a formação das rochas do Complexo Mantiqueira é a fusão parcial. Os processos de fusão parcial típicos de contextos tectônicos associados com a geração de rochas cálcio-alcalinas tendem a envolver condições oxidantes, o que é corroborado nos resultados obtidos no modelamento geoquímico de Duarte *et al.*, (2004). Segundo Figueiredo *et al.*, (1992) e Figueiredo & Teixeira (1996), o Complexo Mantiqueira é constituído de duas suítes cálcio-alcalinas distintas: uma suíte cálcio-alcalina de baixo-K que inclui rochas básicas a ácidas, possivelmente resultantes do retrabalhamento do embasamento arqueano; e uma suíte cálcio-alcalina de alto-K, rica em elementos (LILE), que inclui rochas intermediárias a ácidas, componentes de um arco magmático maduro do Paleoproterozóico.

Os dados geoquímicos (diagramas de variação multi-elementares, de ETR e diagramas de Pearce & Cann (1973)) apontam fontes do tipo E-MORB (basalto de

cadeia meso oceânica enriquecido) para grande parte das rochas metabásicas inseridas nos ortognaisses e rochas charnockíticas do Complexo Mantiqueira, embora sempre com enriquecimento em ETR maior, o que é sugestivo de fontes mais enriquecidas. O granada-clinopiroxênio anfibolito simplectítico (NLD-9A) apresenta assinaturas geoquímicas bastante distintas das demais rochas metabásicas, com enriquecimento maior em elementos LILE e ETRL, o que sugere uma origem a partir de fontes OIB (basalto de ilha oceânica). Não foi possível determinar se ocorreu um magmatismo anidro, pois os processos metamórficos e magmáticos ocorrem simultaneamente durante uma orogenia e modificações da mineralogia e, conseqüentemente da geoquímica, são muitas vezes inevitáveis. Embora as evidências petrográficas (preservação de texturas magmáticas) e de campo apontem para uma origem ígnea para as rochas charnockíticas, a cristalização possivelmente se deu em níveis crustais profundos, em ambiente metamórfico de alta pressão. As rochas charnockíticas podem ter sido originadas a partir de processo de fusão parcial, conforme postulado por Duarte *et al.*, (2004). Os padrões de ETR e diagramas de variação multi-elementares de elementos traço sugerem que as rochas charnockíticas têm fontes relacionadas à ambientes de arco vulcânico, exceto o litotipo félsico de composição enderbítica (NLD-41G) que pode ter fontes relacionadas à ambiente de arco vulcânico ou intra-placa.

10. CONCLUSÕES

A *Nappe* Lima Duarte está inserida na porção oriental do Sistema Orogênico Brasília Meridional, no sul de Minas Gerais. É constituída predominantemente por paragneisses migmatíticos com granada, sillimanita, biotita e muscovita, e ortoquartzitos grossos, com intercalações esparsas de anfíbolitos e gnaisses calciossilicáticos. O Complexo Mantiqueira, infra-estrutura alóctone da *nappe*, ocorre na forma de lascas tectonicamente imbricadas na mesma. É constituído por ortogneisses migmatíticos e polimetamórficos, tipo TTG, com diferentes gerações de leucossoma. Apresentam intercalações de rochas metabásicas de dimensões e composições variadas, na forma de enclaves máficos alongados e *boudins*, geralmente concordantes com a foliação principal. Também ocorrem rochas charnockíticas associadas aos ortogneisses, que são aparentemente intrusivas nos mesmos, porém estão afetadas por zonas de cisalhamento, que localmente definem o contato com os ortogneisses do Complexo Mantiqueira e com a seqüência metassedimentar da *Nappe* Lima Duarte. As rochas charnockíticas apresentam estrutura maciça a foliada e são comumente cortadas por injeções tonalíticas de dimensões variadas (milimétrica a decimétrica) e possuem rochas metabásicas associadas, tanto na forma de *boudins* ou enclaves máficos.

A associação mineral observada nos paragneisses (Grt + Bt + Sil + Pl + Rt + Ilm + Qtz $\pm$ Ms $\pm$ Kfs $\pm$ Ky) é relacionada a um metamorfismo progressivo de fácies anfíbolito superior. Sob a klippe quartzítica da Serra Negra ocorrem paragneisses com raras inclusões de cianita associada com feldspato potássico em porfiroblastos intercinemáticos de granada (OL-II-112B) e também paragneisses com cianita e sillimanita na matriz (NLD-61). O metamorfismo progressivo nos paragneisses é caracterizado pelas reações de quebra da muscovita, localmente com a geração de feldspato potássico (Le Breton & Thompson, 1988; Vielzeuf & Holloway, 1988). A ocorrência de inclusões de feldspato potássico com aspecto de filme nos porfiroblastos de granada, aparentemente mimetizando um líquido silicático (Holness & Sawyer, 2008) e envolvendo as inclusões de Ky, Sil, Bt, Ms, Ilm e Zrc sugere que a cristalização do porfiroblasto de granada se deu em presença de feldspato potássico e líquido. Nos paragneisses, a ocorrência de conteúdos mais elevados em grossulária no porfiroblasto de granada, nas proximidades de inclusão de cianita sugere que as condições do pico bórico foram atingidas no campo de estabilidade da cianita, que seguido de

descompressão, atingiu o campo de estabilidade da sillimanita. As condições de pico bórico foram obtidas no THERMOCALC (Powell & Holland, 1988) através da realização de cálculos envolvendo a associação com cianita, com pressão máxima de 10 ± 0.6 kbar, para temperatura de $807 \pm 25^\circ\text{C}$.

O pico térmico de $827 \pm 44^\circ\text{C}$, para pressão de 8.2 ± 1.8 , no limite da curva de quebra da dumortierita (Werding & Schreyer, 1996), foi obtido no THERMOCALC (Powell & Holland, 1988) com a associação mineral envolvendo sillimanita. A temperatura máxima obtida com o geotermômetro de Zr-em-rutilo (Watson *et al.*, 2006; Tomkins *et al.*, 2007) foi de 748.5°C , no núcleo do porfiroblasto de granada da amostra OL-II-112B, possivelmente registrando uma etapa de descompressão no limite Ky/Sil. No retrometamorfismo ocorreu a substituição parcial a total de porfiroblastos de granada por intercrescimentos de Bt + Sil (Le Breton & Thompson, 1988), além da substituição da sillimanita, cianita (quando presente) e feldspatos por muscovita, representando a volta das reações de quebra da muscovita (Le Breton & Thompson, 1988; Vielzeuf & Holloway, 1988). No metamorfismo retrógrado também ocorre a formação de sillimanita fibrosa pseudomorfizando sillimanita prismática. Os paragneisses da *Nappe* Lima Duarte apresentam uma trajetória metamórfica no sentido horário, saindo do campo de estabilidade da cianita e passando para o campo da sillimanita.

As rochas metabásicas inseridas nos ortogneisses do Complexo Mantiqueira e as rochas charnockíticas associadas apresentam a associação granada + clinopiroxênio + plagioclásio + quartzo $\pm$ ortopiroxênio + hornblenda, que é diagnóstica de metamorfismo de fácies granulito de alta pressão (>9 kbar) (Green & Ringwood, 1967; Rushmer, 1993). As rochas metabásicas e as rochas charnockíticas são caracterizadas pela presença de texturas coroníticas progressivas constituídas por Grt + Cpx $\pm$ Qtz ou de Grt $\pm$ Qtz nos contatos entre ortopiroxênio, plagioclásio e/ou opacos, aparentemente de origem ígnea, que marca a passagem do campo dos granulitos de pressão intermediária para o campo dos granulitos de alta pressão (Green & Ringwood, 1967; Baldwin *et al.*, 2003; O'Brien & Rötzler, 2003).

Nos metagabronoritos, as condições máximas de metamorfismo estão preservadas nos veios constituídos por Grt + Cpx + Qtz + opacos (NLD-42D) com temperatura máxima de 831.79°C (Sengupta *et al.*, 1989), a 10 kbar. As condições de pressão máxima foram obtidas através do geobarômetro Grt-Cpx-Pl de Eckert *et al.*

(1991), que forneceram pressões em torno de 10.89 ± 1.9 kbar, a 780°C . As condições calculadas através do THERMOCALC são $794 \pm 167^{\circ}\text{C}$ a 8.8 ± 2.0 kbar.

O granada granulito também preserva as condições relacionadas ao pico metamórfico. As condições calculadas através do THERMOCALC são $890 \pm 41^{\circ}\text{C}$, a 9.26 ± 1.93 kbar. Cálculos realizados através do TWEEQU forneceram condições de equilíbrio de 801°C a 9.6kbar para a associação de fácies granulito Grt+Cpx+Opx+Pl+Qtz na amostra NLD-7D, onde ocorre o ponto de intersecção entre as reações. A temperatura máxima no granada granulito obtida através do geotermômetro Grt-Cpx é de 799.6°C (Ganguly, 1979) e 768.6°C (Sengupta *et al.*, 1989), a 10 kbar, e a pressão é da ordem de 9.4 ± 1.9 kbar, a 785°C (Eckert *et al.*, 1991). No hornblenda-metagabro da amostra NLD-20A, a temperatura máxima obtida é da ordem de 750.3°C , a 9 kbar (Ganguly, 1979) e a pressão é da ordem de 9.1 ± 1.9 Kbar, a 750°C (Eckert *et al.*, 1991).

As condições mais próximas ao pico metamórfico nas rochas charnockíticas foram obtidas através de cálculos envolvendo a associação mineral Grt-Cpx-Pl, que forneceram pressão máxima de 14.36 ± 1.9 kbar, a 680°C (Eckert *et al.*, 1991). As temperaturas máximas registradas são da ordem de 885.17°C (Ganguly, 1979) e 901.06°C (Sengupta *et al.*, 1989). Cálculos realizados no THERMOCALC forneceram temperatura de $771 \pm 166^{\circ}\text{C}$, a 11.8 ± 2.4 kbar. São bastante comuns nas rochas charnockíticas as reações de quebra de biotita, acompanhadas pela formação de feldspato potássico lobado, aparentemente mimetizando um líquido silicático e aproximadamente contemporâneo ao desenvolvimento das coronas. Essa textura ocorre tanto nas rochas charnockíticas, de composição intermediária, como nas rochas metabásicas. Propõe-se no presente trabalho uma trajetória anti-horária para as rochas charnockíticas e para as rochas metabásicas, seguida de resfriamento quase isobárico, porém com pressões ligeiramente mais elevadas nas rochas charnockíticas, em nível crustal mais profundo.

As rochas metabásicas intercaladas nos ortognaisses e rochas charnockíticas do Complexo Mantiqueira apresentam baixas concentrações de elementos LILE, possivelmente associadas com o empobrecimento destes elementos durante o metamorfismo, através de perdas por reações de desidratação. Somente o clinopiroxênio-granada anfibolito simplectítico é enriquecido em elementos LILE e incompatíveis. Os dados geoquímicos apontam fontes do tipo E-MORB (basalto de cadeia meso oceânica enriquecido) para grande parte das rochas metabásicas inseridas

nos ortognaisses e rochas charnockíticas do Complexo Mantiqueira, embora sempre com enriquecimento em ETR maior, o que é sugestivo de fontes mais enriquecidas. O granada-clinopiroxênio anfibolito simplectítico (NLD-9A) apresenta assinaturas geoquímicas bastante distintas das demais rochas metabásicas, com enriquecimento maior em elementos LILE e ETRL, o que sugere uma origem a partir de fontes OIB (basalto de ilha oceânica). Os padrões de ETR e diagramas de variação multi-elementares de elementos traço sugerem que as rochas charnockíticas têm fontes relacionadas à ambientes de arco vulcânico, exceto o litotipo félsico de composição enderbítica (NLD-41G) que pode ter fontes relacionadas à ambiente de arco vulcânico ou intra-placa.

Os paragnaisses registram uma trajetória inicial horária, descompressiva ao campo da sillimanita, que se distingue da trajetória inicial anti-horária exibida pelas rochas metabásicas e charnockíticas. A freqüente presença de texturas coroníticas de Grt-Cpx-Qtz nas rochas metabásicas e charnockíticas registra o metamorfismo progressivo, de fácies granulito de alta pressão. Sugere-se que esse relativo aumento de pressão tenha sido condicionado pela colocação dos metassedimentos da *Nappe* Lima Duarte sobre as rochas do Complexo Mantiqueira, porém no mesmo campo de temperatura. Desta forma, o avanço da *nappe* metassedimentar pode ter sido responsável pelo soterramento das rochas metabásicas e charnockíticas relacionadas ao Complexo Mantiqueira, o que justifica pressões mais elevadas nestes litotipos. A etapa de exumação foi compartilhada por ambas, o que é evidenciado através das condições semelhantes de metamorfismo entre os paragnaisses da *Nappe* Lima Duarte e rochas do Complexo Mantiqueira, que registram uma trajetória de resfriamento quase isobárico, porém com os metassedimentos em nível crustal mais raso.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, P., Condie, K.C. & Narayana, B.L. 1984. The geochemistry of prograde and retrograde charnockite-gneiss reactions in southern India. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **49**: 323-336.
- Almeida, F.F.M. 1978. Regimes tectônicos arqueanos na evolução proterozóica e mineralização do leste brasileiro. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, **50(4)**: 601-602.
- Almeida, F.F.M.; Hasui, Y., Davino, A.; Haraly, N.L.E. 1980. Informações geofísicas do oeste mineiro e seu significado tectônico. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, **52(1)**: 49-60.
- Andreis, R.R., Ribeiro, A. & Paciullo, F.V.P. 1989. Ciclos deposicionais no proterozóico das folhas Barbacena e Divinópolis (setor sul), 1:250.000. In: Simp. Geol. Sudeste, I, Rio de Janeiro, 1989, Bol. Res., p.97-98.
- Appleyard, C.M., Bell, D.R., Le Roux, A.P. 2007. Petrology and geochemistry of eclogite xenoliths from the Rietfontein Kimberlite, Northern Cape, South Africa. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **154**: 309-333.
- Ashworth, J.R., Sheplev, V.S., Bryxina, N.A., Kolobov, V.Y. & Reverdatto, V.V. 1998. Diffusion-controlled corona reaction and overstepping of equilibrium in a garnet granulite, Yenisey Ridge, Siberia. *Journal of metamorphic Geology*, **16**: 231-246.
- Ashworth, J.R., Sheplev, V.S., Khlestov, V.V. & Ananyev, A. A. 2001. Geothermometry using minerals at non-equilibrium: a corona example. *European Journal of Mineralogy*, **13**: 1153-1161.
- Baldwin, J.A., Bowring, S.A. & Williams, M.L. 2003. Petrological and geochronological constraints on high pressure, high temperature metamorphism in the Snowbird tectonic zone, Canada. *Journal of metamorphic Geology*, **21**: 81-98.
- Barbosa, A.L.M. & Grossi Sad, J.H. 1983a. Reinterpretação das “séries” Juiz de Fora e Paraíba, em Minas Gerais e Rio de Janeiro. In: SBG, Simpósio Geologia de Minas Gerais, 2, Belo Horizonte, *Anais*, **3**: 1-15.
- Barbosa, A.L.M. & Grossi Sad, J.H. 1983b. Petrografia dos charnockitos e rochas afins ao longo da divisa Minas Gerais-Rio de Janeiro. In: SBG, Simpósio Geologia de Minas Gerais, 2, Belo Horizonte, *Anais*, **3**: 63-74.

- Barbosa, A.L.M. & Grossi Sad, J.H. 1983c. Geoquímica e Petrologia dos charnockitos e rochas afins do Complexo Juiz de Fora, MG-RJ. In: SBG, Simpósio Geologia de Minas Gerais, 2, Belo Horizonte, *Anais*, **3**: 75-82.
- Barbosa, O. 1954. Evolution du Geosynclinal Espinhaço. In: Congress Geol. Inter., 19, Alger, *Comptes Rendus*, **14**: 17-36.
- Bard, J.P. 1986. Microtextures of igneous and metamorphic rocks (Petrology and Structural geology). D. Reidel Publishing Company. 264 p.
- Beard, J.S. & Lofgren, G.E. 1991. Dehydration melting and water-saturated melting of basaltic and andesitic greenstones and amphibolites at 1, 3 and 6.9 kbar. *Journal of Petrology*, **32**: 365-401.
- Bendoraitis, D.P. 2007. De nappe sin-metamórfica a sistema de cavalgamento: evolução estrutural de uma seção da Nappe Lima Duarte, sul do cráton do São Francisco. *Monografia de Trabalho de Formatura, IGc-USP*, 48p.
- Berman, R.G. 1988. Internally-consistent thermodynamic data for minerals in the system $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{FeO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{TiO}_2-\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$. *Journal of Petrology*, **29**: 445-522.
- Berman, R.G. 1990. Mixing properties of Ca-Mg-Fe-Mn garnets. *American Mineralogist*, **75**: 328-344.
- Berman, R.G. 1991. Thermobarometry using multi-equilibrium calculations: a new technique, with petrological applications. *Canadian Mineralogist*, **29**: 833-855.
- Bhattacharya, S. 2010. Review: the charnockite problem, a twenty first century perspective. *Natural Science*, **2**: 402-408.
- Bhowmik, S.K., Saha, L., Dasgupta, S. & Fukuoka, M. 2009. Metamorphic phase relations in orthopyroxene-bearing granitoids: implication for high-pressure metamorphism and prograde melting in the continental crust. *Journal of metamorphic Geology*, **27**: 295-315.
- Binns, R.A. 1969. Hydrothermal investigations of the amphibolite-granulite facies boundary. *Special Publication of the Geological Society of Australia*, **2**: 341-344.
- Bohlen, S.R., Wall, V.J. & Boettcher, A.L. 1983. Geobarometry in granulites. In: *Advances in Physical Geochemistry*, 3 (ed. Saxena, S.K.), pp. 141-171. Springer-Verlag, New York.
- Bohlen, S.R. 1987. Pressure-Temperature-time paths and a tectonic model for the evolution of granulites. *Journal of Geology*, **95**: 617-632.

- Bohlen, S.R. & Mezger, K. 1989. Origin of granulite terranes and the formation of the lowermost continental crust. *Science*, **244**: 326-329.
- Bohlen, S.R. 1991. On the formation of granulites. *Journal of metamorphic Geology*, **9**: 223-229.
- Brito Neves, B.B., Campos Neto, M.C. & Fuck, R.A., 1999. From Rodinia to Western Gondwana: An approach to the Brasiliano-Pan African cycle and orogenic collage. *Episodes*, **22** (3): 155-166.
- Campos Neto, M.C., Basei, M.A.S., Siga Junior, O., Bergmann, M., Figueiredo, M.C.H., Lima, G.A., Almeida, L.E.G., Braghi, A., Miller, A.D., Mayerhofer, C.E.S., Foz Neto, C.R., Shimizu, D., Cagnon, F.A., Bazzon, F., Fernandes, F., Franzaglia, G.C., Moragas, G.M., Vilela, L.G.G., Marcelino, M.B., Galvão, M.C.S., Rondani, M.E., Santos Filho, M.G., Ando, M.H., Espindola, R.S. & Torres, S.I. 1996a. Mapa geológico 1:50 000 da região de Lima Duarte (MG). In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 39, Salvador, *Anais*, 1: 70-71.
- Campos Neto, M.C., Lima, G.A., Basei, M.A.S., Siga Junior, O., Figueiredo, M.C.H. 1996b. Controle metamórfico e estrutural entre terrenos da borda SE do cráton do São Francisco e os terrenos Juiz de Fora: região de Lima Duarte – Rio Preto - Valença (MG-RJ). In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 39, Salvador, *Anais*, 6: 95-97.
- Campos Neto, M.C. & Caby, R., 1999. Neoproterozoic high-pressure metamorphism and tectonic constraint from the *nappe* system south of the São Francisco craton, southeast Brazil. *Precambrian Research*, **97**: 3-26
- Campos Neto, M.C. & Caby, R., 2000. Terrane accretion and upward extrusion of high-pressure granulites in the Neoproterozoic nappes of Southeast Brazil: Petrological and structural constraints. *Tectonics*, **14** (4): 669-687.
- Campos Neto, M.C., 2000. Orogenic System from Southwestern Gondwana: An approach to Brasiliano-Pan African cycle and orogenic collage in Southeastern Brazil. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A. e Campos, D.A. TECTONIC EVOLUTION OF SOUTH AMERICA, 31ST International Geological Congress: 335-365.
- Campos Neto, M.C., Basei, M.A., Vlach, S.R.F., Caby, R., Szabó, A.J. & Vasconcelos, P., 2004. Migração de orógenos e superposição de orogêneses: um esboço da colagem brasileira no sul do Cráton do São Francisco, SE-Brasil, 2004. *Geologia USP, Série Científica*, **4** (1): 13-40.

- Campos Neto, M.C., Janasi, V.A., Basei, M.A.S. & Siga Junior, O. 2007. Sistema de *Nappes* Andrelândia, setor oriental: litoestratigrafia e posição estratigráfica. *Revista Brasileira de Geociências*, **37** (suplemento nº4): 47-60.
- Campos Neto, M.C., Cioffi, C.R., Moraes, R., Motta, R.G., Siga Jr., O. & Basei, M.A.S. 2010. Structural and metamorphic control on the exhumation of high-P granulites: The Carvalhos Klippe example, from the oriental Andrelândia Nappe System, southern portion of the Brasília Orogen, Brazil. *Precambrian Research*, **180**: 125-142.
- Carswell, D.A. & O'Brien, P.J. 1993. Thermobarometry and geotectonic significance of high-pressure granulites: Examples from the Moldanubian zone of the Bohemian Massif in lower Austria. *Journal of Petrology*, **119**: 30-42.
- Choudhuri, A. & Winkler, H.G.F. 1967. Anthophyllit und Hornblende in einigen metamorphen Reaktionen. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **14**: 293-315.
- Clemens, J.D. 1992. Partial melting and granulitic genesis: a partisan overview. *Precambrian Research*, **55**: 297-301.
- Condie, K.C. & Allen, P. 1984. Origin of Archean charnockites from southern India. In: Archean Geochemistry (eds. A. Kroner, A.M. Goodwin and G.M. Hanson), Springer-Verlag, Berlin.
- Conrad, W.K., Nicholls, I.A. & Wall, V.J. 1988. Water-saturated and undersaturated melting of metaluminous and peraluminous crustal compositions at 10 kbar: evidence for the origin of silicic magmas in the Taupo Volcanic Zone, New Zealand, and other occurrences. *Journal of Petrology*, **29**: 765-803.
- Costa, A.G. 1998. The granulite-facies rocks of the northern segment of the Ribeira Belt, eastern Minas Gerais, SE Brazil. *Gondwana Research*, **1**: 367-372.
- Cox, K.G., Bell, J.D. & Pankhurst, R.J. 1979. The interpretation of igneous rocks. London, Allen & Unwin, 450 p.
- Cox, R.A. & Indares, A. 1999. Transformation of Fe-Ti gabbro to coronite, eclogite and amphibolite in the Baie Du Nord segment, Manicouagan Imbricate Zone, eastern Grenville Province. *Journal of metamorphic Geology*, **17**: 537-555.
- Currie, C.A., Beaumont, C. & Huismans, R.S., 2007. The fate of subducted sediments: A case for backarc intrusion and underplating. *Geology*, **35**, (12): 1111-1114.
- De Waard, D. 1965a. A proposed subdivision of the granulite fácies. *American Journal of Science*, **263**: 455-461.

- De Waard, D. 1965b. The occurrence of garnet in the granulite-facies terrane of the Adirondack Highlands. *Journal of Petrology*, **6(1)**: 165-191.
- De Waard, D. 1969. The occurrence of charnockite in the Adirondacks: a note on the origin and definition of charnockite. *Am. J. Sci.*, **267**: 983-987.
- Duarte, B.P., Figueiredo, M.C.H., Campos Neto, M.C. & Heilbron, M. 1997. Geochemistry of granulite fácies orthogneisses of the Juiz de Fora Complex, Central Segment of the Ribeira Belt, Southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, **27(1)**: 67-82.
- Duarte, B.P. 1998. Evolução tectônica dos ortogneisses dos complexos Juiz de Fora e Mantiqueira na região de Juiz de Fora, MG: geologia, petrologia e geoquímica. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 280p.
- Duarte, B.P., Valente, S.C., Heilbron, M. & Campos Neto, M.C. 2004. Petrogenesis of the Orthogneisses of the Mantiqueira Complex, Central Ribeira Belt, SE Brazil: An Archaean to Paleoproterozoic Basement Unit Reworked During the Pan-African Orogeny. *Gondwana Research*, **7**: 437-450.
- Duarte, B.P., Heilbron, M., Ragatky, D. & Valente, S.C. 2005. Mantiqueira and Juiz de Fora Complexes: reworked basement units within a Western Gondwana mobile belt in Brazil. In: Abstracts, Gondwana 12. Academia Nacional de Ciências, Mendoza, Argentina, p. 142.
- Earle, M.M. 1980. A note on the relationship between inclined isothermal surfaces and subduction-zone metamorphism. *Bulletin of the Geological Society of America*, **68**: 313-324.
- Ebert, H. 1954. Relatório de Atividades. Relatório Anual do Diretor, DGM, DNPM, ano 1953, Rio de Janeiro, p.55-57.
- Ebert, H. 1955. Relatório de Atividades. Relatório Anual do Diretor, DGM, DNPM, ano 1954, Rio de Janeiro, p.79-89.
- Ebert, H. 1956a. Relatório de Atividades. Relatório Anual do Diretor, DGM, DNPM, ano 1955, Rio de Janeiro, p.62-81.
- Ebert, H. 1956b. Relatório de Atividades. Relatório Anual do Diretor, DGM, DNPM, ano 1956, Rio de Janeiro, p.97-107.
- Ebert, H. 1958. Discordâncias precambrianas em Carandaí (MG). *Boletim* 183, DGM, DNPM, Rio de Janeiro, 48p.

- Ebert, H. 1968. Ocorrência da fácies granulítica no sul de Minas Gerais e em áreas adjacentes, em dependência de sua estrutura orgânica: Hipótese sobre sua origem. *Anais da Academia Brasileira de Ciências(suplemento)*, Rio de Janeiro, **40**: 215-229.
- Ebert, H. 1971. Os Paraibides entre São João Del Rey, Minas Gerais, e Itapira, São Paulo, e a bifurcação entre Paraibides e Araxaides. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 25, São Paulo, *Resumo das Comunicações*, **1**: 177-178.
- Eckert, J.O. Jr., Newton, R.C. & Kleppa, O. J. 1991. The ΔH of reaction and recalibration of garnet-pyroxene-plagioclase-quartz geobarometers in the CMAS system by solution calorimetry: *American Mineralogist*, **76**: 148-160.
- Elderfield, H. & Greaves, M.J. 1981. Negative cerium anomalies in the rare earth element patterns of oceanic ferromanganese nodules. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **55**: 163-170.
- Elderfield, H. & Greaves, M.J. 1982. The rare earth element elements in seawater. *Nature*, **296**: 214-219.
- Ellis, D.J. & Green, D.H. 1985. Garnet-forming reactions in mafic granulites from Enderby Land, Antarctica – Implications for geothermometry and geobarometry. *Journal of Petrology*, **26**: 633-662.
- Ellis, D.J. & Thompson, A.B. 1986. Subsolvus and partial melting reactions in the quartz-excess $\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ system under water-excess and water-deficient conditions to 10 kb: some implications for the origin of peraluminous melts from mafic rocks. *Journal of Petrology*, **27**: 91-121.
- England, P.C. & Richardson, S.W. 1977. The influence of erosion upon the mineral facies of rocks from different metamorphic environments. *Journal of the Geological Society of London*, **134**: 201-213.
- England, P.C. & Thompson, A.B. 1984a. Pressure-Temperature-Time Paths of Regional Metamorphism I. Heat Transfer during the Evolution of Regions of Thickened Continental Crust. *Journal of Petrology*, **25** (4): 894-928.
- England, P.C. & Thompson, A.B. 1984b. Pressure-Temperature-Time Paths of Regional Metamorphism II. Their inference and interpretation using mineral assemblages in metamorphic rocks. *Journal of Petrology*, **25** (4): 929-955.
- Essene, E.J. 1989. The current status of thermobarometry in metamorphic rocks. In: Daly, J.S., Cliff, R.A. & Yardley, B.W.D. (eds). *Evolution of Metamorphic Belts*, Geological Society Special Publication, **43**: 1-44.

- Ferry, J.M. & Spear, F.S. 1978. Experimental calibration of the partitioning of Fe and Mg between biotite and garnet. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **66**: 113-117.
- Figueiredo, M.C.H. & Teixeira, W. 1996. The Mantiqueira metamorphic complex, eastern Minas Gerais State: preliminary geochronological and geochemical results. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **68**: 223-246.
- Fischel, D.P., Pimentel, M.M., Fuck, R.A., Costa, A.G & Rosière, C.A. 1998. Geology and Sm-Nd isotopic data for the Mantiqueira and Juiz de Fora complex (Ribeira Belt) in the Abre Campo-Manhuaçu region, Minas Gerais, Brazil. In: *14th International Conference on Basement Tectonics*, 1998, Ouro Preto, Brazil, Abstracts, 21-23.
- Fodor, R.V., Bauer, G.R., Jacobs, R.S. & Bornhorst, T.J. 1987. Kahoolawe Island, Hawaii: tholeiitic, alkalic and unusual hydrothermal (?) “enrichment” characteristics. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **31**: 171-176.
- Frey, F.A. & Roy, S.D. 1978. Integrated models of basalts petrogenesis: a study of quartz tholeiites to olivine melilitites from South Eastern Australia utilizing geochemical and experimental petrological data. *Journal of Petrology*, **19**: 463-513.
- Frost, B.R. & Chacko, T. 1989. The granulite uncertainty principle: limitations on thermobarometry in granulites. *Journal of Geology*, **97**: 435-450.
- Frost, B.R., Frost, C.D., Hulsebosch, T.P. & Swapp, S.M. 2000. Origin of the Charnockites of the Louis Lake Batholith, Wind River Range, Wyoming. *Journal of Petrology*, **41(12)**: 1759-1776.
- Frost, B.R. & Frost, C.D. 2008. On charnockites. *Gondwana Research*, **13**: 30-44.
- Fuhrman, M.L. & Lindsley, D.H. 1988. Ternary-feldspar modeling and thermometry. *American Mineralogist*, **73**: 201-215.
- Ganguly, J. 1979. Garnet and clinopyroxene solid solutions, and geothermometry based on Fe-Mg distribution coefficient. *Geochem. Cosmochim. Acta*, **43**: 1021-1029.
- Guiraud, M., Powell, R. & Rebay, G. 2001. H₂O in metamorphism and unexpected behavior in the preservation of metamorphic mineral assemblages. *Journal of metamorphic Geology*, **19**: 445-454.
- Glikson, J.A. 1979. Primitive archean element distribution patterns: chemical evidence and geotectonic significance. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **12**: 309-320.

- Green, D. H & Lambert, I. B. 1965. Experimental crystalization of anhydrous granite at high pressure and temperatures. *Journal of Geophysical Research*, **70**: 5259-5268.
- Green, D.H. & Ringwood, A.E. 1967. An experimental investigation of the gabbro to eclogite transformation and its petrological applications. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **31**: 767-833.
- Green, D.H. & Ringwood, A.E. 1972. A comparison of recent experimental data on the gabbro-garnet granulite-eclogite transition. *Journal of Geology*, **80**: 277-288.
- Green, T.H. 1978. Rare earth geochemistry of basalts from Norfolk Island and implications for mantle inhomogeneity in the rare earth elements. *Geochemical Journal*, **12**: 165-172.
- Hansen, B. 1981. The transition from pyroxene granulite facies to garnet clinopyroxene granulite facies: Experiments in the system CaO-MgO-Al₂O₃-SiO₂. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **76**: 234-242.
- Haraly, N.L.E., Hasui, Y., Mito, J.A., Hamza, V.M. & Rodrigues, C.R. 1985. Ensaio sobre a estruturação crustal do Estado de Minas Gerais com base na informação geofísica. *Boletim Especial da Sociedade Brasileira de Geologia*, Belo Horizonte: 71-93.
- Harley, S.L. 1989. The origins of granulite: a metamorphic perspective. *Geological Magazine*, **126 (3)**: 215-247.
- Hasui, Y. 1982. The Mantiqueira Province: Archean structure and Proterozoic evolution. *Revista Brasileira de Geociências (International Symposium of Archean and Early Proterozoic Geological Evolution and Metallogenesis, Salvador, Anais)*, **12(1-3)**: 167-171.
- Hawthorne, F.C. & Oberti, R. 2007. Classification of the Amphiboles. *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*, **67**: 55-88.
- Heilbron, M., 1985. O metamorfismo da área de Itutinga- Madre de Deus de Minas - MG. In: SBG, 3º Simpósio de Geologia de Minas Gerais, *Anais*, 219-233.
- Heilbron, M. 1993. Evolução tectono-metamórfica da seção Bom Jardim de Minas-MG – Barra do Piraí-RJ, setor central da Faixa Ribeira. Tese de Doutorado, IG/USP. 268p.
- Heilbron, M., Valeriano, C.M., Valladares, C.S. & Machado, N. 1995. A Orogênese Brasileira no segmento central da Faixa Ribeira, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, **25(4)**: 249-266.

- Heilbron, M., Machado, N. & Duarte, B.P. 2001. Evolution of the Paleoproterozoic Transamazonian Orogen in SE Brazil: a view from the Neoproterozoic Ribeira Belt. In: Abstracts, GAC-MAC Joint Annual Meeting, St. Johns, Canada, **26**: p.61.
- Hofmann, A.W. & White, W.M. 1982. Mantle plumes from ancient oceanic crust. *Earth and Planetary Science Letters*, **57**: 421-436.
- Holland, T.H. 1900. The charnockite series, a group of Archaean hypersthene rocks in Peninsular India. *Memoirs of the Geological Survey of India*, **28**: 119-249.
- Holland, T.J.B. & Richardson, S.W. 1979. Amphibole zonation in metabasites as a guide to the evolution of metamorphic conditions. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **70**: 143-148.
- Hollister, L.S., Burruss, R.C., Henry, D.L. & Hendel, E.-M. 1979. Physical conditions during uplift of metamorphic terranes, as recorded by fluid inclusions. *Bulletin of the Geological Society of America*, **80**: 2465-2494.
- Holness, M.B. & Sawyer, E.W. 2008. On the pseudomorphing of melt-filled pores during the crystallization of migmatites. *Journal of Petrology*, **49**: 1343-1363.
- Howie, R.A. 1954. The geochemistry of the charnockite series of Madras, India. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, **62**: 725-768.
- Indares, A. & Martignole, J. 1985. Biotite-garnet geothermometry in granulite-facies rocks: evaluation of equilibrium criteria. *Canadian Mineralogist*, **23**: 187-193.
- Indares, A. & Rivers, T. 1995. Textures, metamorphic reactions and thermobarometry of eclogitized metagabbros: a Proterozoic example. *European Journal of Mineralogy*, **7**: 43-56.
- Indares, A. 1995. Metamorphic interpretation of high-pressure-temperature metapelites with preserved growth zoning in garnet, eastern Greenville Province, Canadian Shield. *Journal of metamorphic Geology*, **13**: 475-486.
- Indares, A. & Dunning, G. 1997. Coronitic metagabbro and eclogite from the Greenville Province of western Quebec; interpretation of U-Pb geochronology and metamorphism. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **34**: 891-901.
- Indares, A. & Dunning, G. 2001. Partial melting of high P-T metapelites from the Tshenukutish terrane (Greenville Province): Petrology and U-Pb geochronology. *Journal of Petrology*, **42**: 1547-1565.
- Irvine, T.N. & Baragar, W.R.A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Science*, **8**: 523-548.

- Ito, K. & Kennedy, G. C. 1971. An experimental study of the basalt-garnet granulite-eclogite transition. In: *The Structure and Physical properties of the Earth's Crust, Monograph no.14* (ed. Heacock, J. G.), pp. 303-314. American Geophysical Union, Washington DC.
- Johannes, W. 1978. Melting of plagioclase in the system Ab-An-H₂O and Qz-Ab-An-H₂O at $P_{H_2O} = 5$ kbar, an equilibrium problem. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **66**: 295-303.
- Johannes, W. & Holtz, F. 1996. *Petrogenesis and Experimental Petrology of Granitic Rocks*. Springer-Verlag, Heidelberg.
- Koziol, A.M. & Newton, R.C. 1988. Redetermination of the anorthite breakdown reaction improvement of the plagioclase-garnet-Al₂SiO₅-quartz geobarometer. *American Mineralogist*, **73**: 216-223.
- Koziol, A.M. 1989. Recalibration of the garnet-plagioclase-Al₂SiO₅-quartz (GASP) geobarometer and applications to natural parageneses. *EOS*, **70**: p. 493.
- Kröner, A., O'Brien, P.J., Nemchin, A.A. & Pidgeon, R.T. 2000. Zircon ages for high pressure granulites from South Bohemia, Czech Republic, and their connection to Carboniferous high temperature processes. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **138**: 127-142.
- 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.A., Maresch, W.V., Nickel, E.H., Rock, N.M.S., Schumacher, J.C., Smith, D.C., Stephenson, N.C.N., Ungaretti, L., Whittaker, E.J.W. & Youzhi, G. 1997. Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association, commission on new minerals and mineral names. *The Canadian Mineralogist*, **35**: 219-246.
- Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A.A. & Zanettin, B. 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, **27**: 745-750.
- Le Breton, N. & Thompson, A.B. 1988. Fluid-absent (dehydration) melting of biotite in metapelites in early stages of crustal anatexis. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **99**: 226-237.
- Le Maitre, R.W. (Ed.) 1989. *A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms. Recommendations of the IUGS Commission on the Systematics of Igneous Rocks*. Blackwell Scientific Publications, Oxford.

- Liu, Y. & Zhong, D. 1997. Petrology of high-pressure granulites from the eastern Himalayan syntaxis. *Journal of metamorphic Geology*, **15**: 451-466.
- Machado, N., Valladares, C., Heilbron, M. & Valeriano, C. 1996. U-Pb geochronology of the central Ribeira belt (Brazil) and implications for the evolution of the Brazilian Orogeny. *Precambrian Research*, **69**: 347-361.
- Mc Donough, W.F. & Sun, S-s. 1985. Isotopic and geochemical systematics in Tertiary-Recent basalts from south eastern Australia and implications for the evolution of the sub-continental lithosphere. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **49**: 2051-2067.
- Meschede, M. 1986. A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental toleites with the Nb – Zr – Y diagram. *Chem. Geol.*, **56**: 207-218.
- Miyashiro, A. 1974. Classification, characteristics and origin of ophiolites. *Journal of Geology*, **83** (2): 249-81.
- Mongkoltip, P. & Ashworth, J.P. 1983. Quantitative estimation of an open-system symplectite-forming reaction: restricted diffusion of Al and Si in coronas around olivine. *Journal of Petrology*, **24**: 635-661.
- Mora, J.M.G. 2010. Metamorfismo das rochas ultramáficas de Olaria e Lima Duarte, Minas Gerais. *Dissertação de Mestrado, IG-USP*: 102 pp.
- Mori, P.E., Reeves, S., Correia, C.T. & Haukka, M. 1999. Development of fused glass disc XRF facility and comparison with pressed powder pellet technique at Instituto de Geociências, São Paulo University. *Revista Brasileira de Geociências*, **29** (3): 441-446.
- Morimoto, N., Fabries, J., Ferguson, A.K., Ginzburg, I.V., Ross, M., Seifert, F.A., Zussman, J., Aoki, K. & Gottardi, G. 1988. Nomenclature of pyroxenes. *American Mineralogist*, **73**: 1123-1133.
- Nair, R. & Chacko, T. 2000. Fluid-absent melting of two high grade amphibolites: constraints on the conditions required for orthopyroxene formation. *Geological Association of Canada – Mineralogical Association of Canada Annual Meeting, Abstracts with program*, **24**: 2121-2042.
- Nair, R. & Chacko, T. 2002. Fluid-absent melting of High-grade Semi-pelites: P-T Constraints on Orthopyroxene Formation and Implications for Granulite Genesis. *Journal of Petrology*, **43**: 2121-2142.

- Newson, H.E., White, W.M., Jochum, K.P. & Hofmann, A.W. 1986. Siderophile and chalcophile elements abundances in oceanic basalts, Pb isotope evolution and growth of the Earth's core. *Earth and Planetary Science Letters*, **80**: 299-313.
- Newton, R.C., & Haselton, H.T. 1981. Thermodynamics of the Garnet-Plagioclase- Al_2SiO_5 -Quartz geobarometer. In: Newton, R.C., Navrotsky, A. & Wood, B.J. (eds). *Thermodynamics of minerals and melts*. Springer, Berlin: p.129-145.
- Newton, R.C. & Perkins, D. 1982. Thermodynamic calibration of geobarometers based on the assemblages garnet-plagioclase-orthopyroxene (clinopyroxene)-quartz. *American Mineralogist*, **67**: 203-222.
- Newton, R.C. 1983. Geobarometry of high-grade metamorphic rocks. *American Journal of Science*, **283-A**: 1-28.
- Newton, R.C. 1992a. An overview of charnockite. *Precambrian Research*, **55**: 399-405.
- Nicollet, C. & Goncalves, P. Two contrasted P-T-time paths of coronitic metanorites of the French Massif Central: are reaction textures reliable guides to metamorphic histories? *Journal of metamorphic Geology*, **23**: 97-105.
- Noce, C.M.; Pedrosa-Soares, A. C.; Silva, L.C.; Armstrong, R. & Piuzeana, D. 2007. Evolution of polycyclic basement complexes in the Araçuaí Orogen, based on U-Pb SHRIMP data: Implications for Brazil-Africa links in Paleoproterozoic time. *Precambrian Research*, **159**: 60-78.
- Nummer, A.R. 1990. Estratigrafia e estruturas do Grupo Andrelândia na região de Santa Rita do Ibitipoca – Lima Duarte (sul de MG). In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 36, Natal, *Anais*, 6: 2786-2787.
- Nummer, A.R. 1992. Modelamento de uma megaestrutura do Grupo Andrelândia na região de Santa Rita do Ibitipoca - Lima Duarte (sul de MG). In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 37, São Paulo, *Boletim de Resumos Expandidos*, 2: 341-343.
- O'Brien, P.J. & Rötzler, J. 2003. High-pressure granulites: formation, recovery of peak conditions and implications for tectonics. *Journal of metamorphic Geology*, **21**: 3-20.
- O'Brien, P.J. 2008. Challenges in high-pressure granulite metamorphism in the era of pseudosections: reaction textures, compositional zoning and tectonic interpretation with examples from the Bohemian Massif. *Journal of metamorphic Geology*, **26**: 235-251.

- Paciullo, F.V.P., Trouw, R.A.J. & Ribeiro, A. 2002. *Geologia da Folha Andrelândia*. In: Pedrosa-Soares, A.C., Noce, C.M., Trouw, R.A.J., Heilbron, M. (orgs.) *Geologia e Recursos Minerais do Sudeste Mineiro*, Projeto Sul de Minas, **1**: 84-120.
- Paciullo, F.V.P., Trouw, R.A.J., Ribeiro, A., Simões, L.A., Lopes, M. 2003a. *Mapa Geológico – Folha Andrelândia*. Escala 1:100 000. Pedrosa-Soares, A.C., Noce, C.M., Trouw, R.A.J., Heilbron, M. (coord.) *Geologia e Recursos Minerais do Sudeste Mineiro*, 1, Belo Horizonte, COMIG, 1 CD-ROM.
- Paterson, S.R., Vernon, R.H. & Tobisch, O.T. 1989: A review of criteria for the identification of magmatic and tectonic foliations in granitoids. *Journal of Structural Geology*, **11**: 349-363.
- Patiño Douce, A.E. & Beard, J.S. 1995. Dehydration-melting of Biotite Gneiss and Quartz Amphibolite from 3 to 15 Kbar. *Journal of Petrology*, **36**: 707-738.
- Pattison, D.R.M. 2003. Petrogenetic significance of orthopyroxene-free garnet+clinopyroxene+plagioclase±quartz-bearing metabasites with respect to the amphibolite and granulite facies. *Journal of metamorphic Geology*, **21**: 21-34.
- Pattison, D.R.M., Chacko, T., Farquhar, J. & McFarlane, C.R.M. 2003. Temperatures of granulite-facies metamorphism; constraints from experimental phase equilibria and thermobarometry corrected for retrograde exchange. *Journal of Petrology*, **44**: 867-900.
- Pearce, J.A. & Cann, J.R. 1971. Ophiolites origin investigated by discriminant analysis using Ti, Zr and Y. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **12**: 339-349.
- Pearce, J.A. & Cann, J.R. 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace elements analysis. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **19**: 290-300.
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W & Tindle, A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, **25**: 956-983.
- Pedrosa-Soares, A.C. & Noce, C.M., 1998. Where is the suture zone of the Neoproterozoic Araçuaí-West Congo Orogen. In: *14th International Conference on Basement Tectonics*, 1998, Ouro Preto, Brazil, Abstracts, 35-37.
- Perkins, D. & Newton, R.C. 1981. Charnockite geobarometers based on coexisting garnet – pyroxene – plagioclase – quartz. *Nature*, **292**: 144-146.

- Petrelli, M., Poli, G., Perugini, D. & Pecerrillo, A. 2005. PetroGraph: a new software to visualize, model, and present geochemical data in igneous petrology. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, **6**: 1-15.
- Pichamuthu, C.S. 1960. Charnockite in the making. *Nature*, **188**: 135-136.
- Pinto, C.P. (org.), Brandalise, L.A., Souza, H.A., Vasconcellos, R.M., Barreto, E.L., Dias Gomes, R.A.A., Carvalhaes, J.B., Padilha, A.V., Heineck, C.A. & Grossi Sad, J.H. 1991. Lima Duarte, Folha SF-23-X-C-VI, Estado de Minas Gerais, Escala 1:100 000. MIE-DNPM, *Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil*, CPRM, Belo Horizonte, Mapas e texto explicativo, 224p.
- Piwinskii, A.J. 1968. Experimental studies of igneous rocks series central Sierra Nevada Batholith, California. *Journal of Geology*, **76**: 548-570.
- Powell, R. & Holland, T.J.B. 1988. An internally consistent thermodynamic dataset with uncertainties and correlations. III. Applications methods, worked example and a computer program. *Journal of metamorphic Geology*, **6 (2)**: 173-204.
- Powell, R. & Holland, T.J.B. 2008. On thermobarometry. *Journal of metamorphic Geology*, **26**: 155-179.
- Proyer, A. 2003. The preservation of high-pressure rocks during exhumation: metagranites and metapelites. *Lithos*, **70**: 183-194.
- Quéméneur, J. J.G., Ribeiro, A., Paciullo, F.V.P., Heilbron, M., Trouw, R.A.J., Valença, J.G. & Noce, C.M. 2002. Mapa Geológico-Folha Lavras, escala 1:100.000. *COMIG, UFRJ, UFMG, Projeto Sul de Minas—Etapa I*.
- Ravich, M.G. 1972. The charnockite problem. In: Adie, R.J., ed., *Antarctic Geology and Geophysics*, Scandinavian University Books, Oslo, 523-526.
- Reche, J. & Martinez, F.J. 1996. GPT: an Excel spreadsheet for thermobarometric calculations in metapelitic rocks. *Computers & Geosciences*, **22(7)**: 775-784.
- Ribeiro, A. & Heilbron, M. 1982. Estratigrafia e metamorfismo dos Grupos Carrancas e Andrelândia, sul de Minas Gerais. In : SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 32, Salvador, *Anais*, 1: 177-186.
- Ribeiro, A., Trouw, R.A.J., Andreis, R.R., Paciullo, F.V.P. & Valença, J. 1995. Evolução das bacias Proterozóicas e o termo-tectonismo Brasileiro na margem sul do cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, **25**: 235-248.
- Ribeiro, A., Paciullo, F.V.P., Noce, C.M., Valeriano, C.M., Valença, J.G., Ávila, C. A., Trouw, R.A.J. & Silva, M.A., 2002. Mapa Geológico-Folha São João Del Rei, escala 1:100.000. *COMIG, UFRJ, UFMG, Projeto Sul de Minas—Etapa I*.

- Richard, L. 1995. *Minpet for Windows*. Version 2.02 (software).
- Rieder, M., Cavazzini, G., D'Yakonov, Y.S., 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.P., Takeda, H., Weiss, Z. & Wones, D.R. 1998. Nomenclature of the micas. *The Canadian Mineralogist*, **36**: 905-912.
- Rocha, B.C., 2007. Assinaturas metamórficas contrastantes: granulitos máficos de alta pressão e metatexitos pelíticos da *Nappe* Lima Duarte, sul do Cráton do São Francisco, MG. *Monografia de Trabalho de Formatura, IGc-USP*, 74p.
- Rocha, B.C., Campos Neto, M.C. & Bendoraitis, D.P. 2007. Assinaturas metamórficas contrastantes: granulitos máficos e paragneisses da *Nappe* Lima Duarte, borda sul do cráton do São Francisco, MG. In: XIV Simpósio de Geologia de Minas Gerais e X Simpósio de Geologia do Sudeste, 2007, Diamantina. Boletim de Resumos, Diamantina: Sociedade Brasileira de Geologia - Núcleos Minas Gerais, Rio de Janeiro-Espírito Santo e São Paulo, 2007, p. 23-23.
- Rocha, B.C. & Campos Neto, M.C. 2008. Condições metamórficas da *Nappe* Lima Duarte, borda sul do cráton do São Francisco. In: 44º Congresso Brasileiro de Geologia, 2008, Curitiba. XLIV CBG Anais. Curitiba-Paraná: Sociedade Brasileira de Geologia – Núcleo Paraná, 2008, v. único, p. 8-8.
- Rollinson, H.R. & Windley, B.F. 1980. Selective elemental depletion during metamorphism of Archaean granulites, Scourie, NW Scotland. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **72**: 257-263.
- Rollinson, H.R. 1993. Using geochemical data. Essex, England: Longman Scientific & Technical, New York: John Willey & Sons, Inc., 352p.
- Rosier, G.F. 1965. Pesquisa geológica na parte oriental do RJ e a parte vizinha de MG. Boletim 222, DGM, DNPM, 41p.
- Rudnick, R.L., Mc Lennan, S.M. & Taylor, S.R. 1985. Large ion lithophile elements in rocks from high-pressure granulite facies terrains. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **49**: 1645-1655.
- Rubie, D.C. 1983. Reaction-enhanced ductility: the role of solid-solid invariant reactions in deformation of the crust and mantle. *Tectonophysics*, **96**: 331-352.
- Rudnick, R.L. 1992. Restites, Eu anomalies and the lower continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **56**: 963-970.

- Rushmer, T. 1991. Partial melting of two amphibolites: contrasting experimental results under fluid-absent conditions. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **107**: 41-59.
- Rushmer, T. 1993. Experimental high pressure granulites: some applications to natural mafic xenolith suites and Archean granulite terranes. *Geology*, **21**: 411-414.
- Schumacher, J.C., Hollocher, K.T., Robinson, P. & Tracy, R.J. 1990. Progressive reactions and melting in the Acadian metamorphic high of central Massachusetts and southwestern New Hampshire, USA. In: Ashworth, J.R. & Brown, M. (eds.): *High-temperature Metamorphism and Crustal Anatexis*. London: Unwin Hyman, p.198-234.
- Selverstone, J., Spear, F.S., Franz, G. & Morteani, G. 1984. High-pressure metamorphism in the SW Tauern Window, Austria: P-T paths from hornblende-kyanite-staurolite schists. *Journal of Petrology*, **25**: 501-531.
- Sem, C. & Dunn, T. 1994. Dehydration melting of a basaltic composition amphibolite at 1.5 and 2.0 GPa: implications for the origin of adakites. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **117**: 394-409.
- Sengupta, P., Dasgupta, S., Bhattacharya, P. K. & Hariya, Y. 1989. Mixing behavior in quaternary garnet solid solution and an extended Ellis and Green garnet-clinopyroxene geothermometer. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **103**: 223-227.
- Shaw, D.M. 1968. A review of K-Rb fractionation trends by covariance analysis. *Geochem. Cosmochim. Acta*, **32**: 573-601.
- Sighinolfi, G.P., Figueiredo, M.C.H., Fyfe, W.S., Kronberg, B.I. & Tanner Oliveira, M.A.F. 1981. Geochemistry and petrology of the Jequié granulitic complex (Brazil): an Archean basement complex. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **78**: 263-271.
- Silva, L.C., Armstrong, R., Noce, C.M., Carneiro, M.A., Pimentel, M.M., Pedrosa-Soares, A.C., Leite, C.A., Vieira, V.S., Silva, M.A, Paes, V.J.C. & Cardoso-Filho, J.M. 2002. Reavaliação da evolução geológica em terrenos pré-cambrianos brasileiros com base em novos dados U-Pb SHRIMP. Parte II. Orógeno Araçuaí, Cinturão Mineiro e Cráton São Francisco Meridional. *Revista Brasileira de Geociências*, **32**: 513-528.
- Silva, L.C., Mc Naughton, N.J., Armstrong, R., Hartmann, L.A. & Fletcher, I.R. 2005a. The Neoproterozoic Mantiqueira Province and its African connections: a zircon

- based U-Pb geochronology subdivision for the Brasiliano/Pan-African systems of orogens. *Precambrian Research*, **136**: 203-240.
- Soto, J.I. & Soto, V.M. 1995. PTMAFIC: Software package for thermometry, barometry and activity calculations in mafic rocks using an IBM-compatible computer. *Computers & Geosciences*, **21**: 619-652.
- Spear, F.S., Selverstone, J., Hickmott, D., Crowley, P. & Hodges, K.V. 1984. P-T paths from garnet zoning: A new technique for deciphering tectonic processes in crystalline terranes. *Geology*, **12**: 87-90.
- Spear, F.S. 1981. An experimental study of hornblende stability and compositional variability in amphibolite. *American Journal of Science*, **281**: 697-734.
- Spear, F.S. 1995. Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time Paths. *Mineralogical Society of America*, Washington, D.C. Second edition, Book Crafters, 799p.
- Sun, S-s. & Mc Donough. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle compositions and processes. In: A.D. Saunders and M.J. Norry (editors). *Magmatism in the ocean basins*. Geological Society. London. 313-345.
- Taylor, S.R. & McLennan, S.M. 1985. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Blackwell.
- 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 (4)**: 929-955.
- Tomkins, H.S., Powell, R. & Ellis, D.J. 2007. The pressure dependence of the zirconium-in-rutile thermometer. *Journal of metamorphic Geology*, **25**: 703-713.
- Trouw, R.A.J., Paciullo, F.V.P., Chrispim, S.J. & Dayan, H. 1982. Análise da deformação numa area a SE de Lavras, Minas Gerais. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 32, Salvador, *Anais*, 1: 187-198.
- Trouw, R.A.J., Ribeiro, A. & Paciullo, F.V.P. 1983. Geologia estrutural dos Grupos São João del Rei, Carrancas e Andrelândia, Sul de Minas Gerais. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **55 (1)**: 71-85.
- Trouw, R.A.J., Ribeiro, A. & Paciullo, F.V.P. 1986. Contribuição à geologia da Folha Barbacena – 1:250.000. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 34, Goiânia, *Anais*: 974-986.

- Trouw, R.A.J. 1992. Evolução tectônica ao sul do cráton do São Francisco, baseada em análise metamórfica. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 37, São Paulo, Boletim de Resumos Expandidos, 1, p.327.
- Trouw, R.A.J., Heilbron, M., Ribeiro, A., Paciullo, F., Valeriano, C.M., Almeida, J.C.H., Tupinambá, M. & Andreis, R.R. 2000. The central segment of Ribeira Belt. *Tectonic Evolution of South America*, Rio de Janeiro, 2000: 287-310.
- Trouw, R.A.J., Paciullo, Ribeiro, F.V.P., Bittar, S. & Almeida, J.C.H. 2002. Mapa Geológico Folha Caxambu, escala 1:100.000. *COMIG, UFRJ, UFMG, Projeto Sul de Minas—Etapa I*.
- Trouw, R.A.J., Trouw, C.C., Peternel, R. & Tohver, E. 2008. Novas idades SHRIMP de zircões da zona de interferência entre as faixas Brasília e Ribeira. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 44, Curitiba, *Anais*, p.29.
- Vernon, R.H. 1982. Isobaric cooling of two regional metamorphic complexes related to igneous intrusions in southeastern Australia. *Geology*, **10**: 76-81.
- Vernon, R.H. 1996. Problems with inferring P-T-t paths in low-P granulite facies rocks. *Journal of metamorphic Geology*, **14**: 143-153.
- Vernon, R.H. 2000a. Review of microstructural evidence of magmatic and solid-state flow. *Electronic Geosciences*, **5**: 2.
- Vernon, R.H. 2004. *A Practical Guide to Rock Microstructure*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Vernon, R.H., White, R.W. & Clarke, G.L. 2008. False metamorphic events inferred from misinterpretation of microstructural evidence and P-T data. *Journal of metamorphic Geology*, **26**: 437-449.
- Vernon, R.H. & Clarke, G.L. 2008. *Principles of Metamorphic Petrology*. Cambridge University Press, New York, 446p.
- Vielzeuf, D. & Holloway, J.R. 1988. Experimental determination of the fluid-absent melting relations in the pelitic system. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **98**: 257-276.
- Vielzeuf, D. & Pin, C. 1989. Geodynamic implications of granulite rocks in the Hercynian Belt. *Geological Society Special Publications*, **43**: 343-348.
- Vielzeuf, D. & Montel, J.M. 1994. Partial melting of metagreywackes. Fluid-absent experiments and phase relationships. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **117**: 375-393.

- Vilela, L.G.G. 2000. Petrografia, geotermobarometria e evolução metamórfica de granulitos básicos de alta pressão e rochas transicionais para fácies eclogito na região de Lima Duarte, MG. *Dissertação de Mestrado, IG-USP*: 180 pp.
- Waters, D.J. 2001. The significance of prograde and retrograde quartz-bearing intergrowth microstructures in partially melted granulite-facies rocks. *Lithos*, **56**: 97-110.
- Watson, E.B., Wark, D.A. & Thomas, J.B. 2006. Crystallization thermometers for zircon and rutile. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **151**: 413-433.
- Werding, G. & Schreyer, W. 1996. Experimental studies on borosilicates and selected borates. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, **33**: 117-163.
- Whitney, P.R. & McLelland, J.M. 1973. Origin of Coronas in Metagabbros of the Adirondacks Mts., N.Y. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **39**: 81-98.
- Winther, K.T. & Newton, R.C. 1991. Experimental melting of hydrous low-K tholeiite: evidence on the origin of Archaean cratons. *Bulletin of the Geological Society of Denmark*, **39**: 213-228.
- Wolf, M.B. & Wyllie, P.J. 1994. Dehydration-melting of amphibole at 10kbar: the effects of temperature and time. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **115**: 369-383.
- Wyllie, P.J. & Wolf, M.B. 1993. Amphibolite dehydration-melting: sorting out the solidus. In: *Magmatic Processes and Plate Tectonics. Special Publication*, 76, (Prichard, H.M., Alabaster, T., Harris, N.B.W. & Neary, C.R., eds), 405-416. Geological Society, London.
- Zhao, G.C., Cawood, P.A., Wilde, S.A. & Lu, L.Z. 2001. High-pressure granulites (retrograded eclogites) from the Hengsham Complex, North China Craton: Petrology and tectonic implications. *Journal of Petrology*, **42**: 1141-1170.
- Zingg, A. 1990. The Ivrea crustal cross-section (northern Italy and southern Switzerland). Exposed cross-sections of the continental crust; proceedings. *NATO Advanced Study Institute on Exposed Cross-Sections of the Continental Crust*, **317**: 1-19.

ANEXOS

ANEXO I

MAPA GEOLÓGICO

MAPA GEOLÓGICO DA NAPPE LIMA DUARTE

Organização Tectono-Litoestratigrafica

Neógeno

- Aluvião
- Talus

Neoproterozóico

Nappe Andreiândia

- Granada-biotita gnaiss
- Granada-sillimanita-muscovita-biotita-quartzto xisto

Nappe Lima Duarte

- Biotita-granita-gnaiss porfiroblástico
- Granada-biotita gnaiss metatextilico
- Sillimanita-granada-biotita gnaiss metatextilico
- Ortoquartzito muito grosso, localmente com muscovita, sillimanita ou feldspato
- Sillimanita-muscovita-biotita-quartzto gnaiss e Granada-sillimanita-biotita-muscovita-quartzto gnaiss
- Sequência metassedimentar indivisa, metabásicas, gnaisses calciossilicáticos, micaixistos pelíticos, metaultramáficas

Paleoproterozóico

- Granada enderbita gnaisses
- Metaultramáfica
- Hornblenda-biotita granodiorito-tonalito-trochymilto gnaiss metatextilico com boudins de metamáficas; biotita-tonalito gnaiss metatextilico; indivisos

Convenções Cartográficas

- Sedes Municipais

Convenções Geológicas

- Foliação metamórfica
- Lineação de estiramento mineral e lineação mineral
- Contato geológico normal, inferido onde tracejado
- Falha ou zona de cisalhamento normal, hachuras no bloco abatido
- Falha ou zona de cisalhamento compressional, inferida onde tracejado (triângulos no bloco superior)
- Falha ou zona de cisalhamento transcorrente dextral
- Falha ou zona de cisalhamento transcorrente sinistral

0 1 2 4 Km

1:100.000

Bases plani-altimétricas 1:50.000 - IBGE
Folhas: Ewbank da Câmara (SF.23-X-C-VI-2)
Lima Duarte (SF.23-X-C-VI-3),
Santa Bárbara do Monte Verde (SF.23-X-C-VI-4)
Equidistância das curvas de nível: 20m
Projeção UTM (Transversa de Mercator)
Referência Horizontal: Córrego Alegre, MG, fuso 23K

Geologia por

Mário da Costa Campos Neto, Renato de Moraes, Oswaldo Siga Júnior,
Marcos Egidio Silva, Maria da Glória Motta Garcia, Gergely Szabó,
Daina Popic Bendoricic, Brenda Chung da Rocha, Cauê Rodrigues Cioffi,
Vinicius Teppo Meira, Bruno Oliveira Galvão, Rafael Gonçalves Motta,
John Guevara e estudantes da disciplina 0440420
Mapeamento Geológico 2006 e 2007

Situação da Área no Estado

Declinação magnética 2010
Variação anual 5° para oeste

ARTICULAÇÃO DAS FOLHAS

SANTANA DO GARAMBÉU	SANTA RITA DO IBITIPOCA	EWBANK DA CÂMARA	JUIZ DE FORA
BOM JARDIM DE MINAS	LIMA DUARTE	SANTA BÁRBARA DO MONTE VERDE	MATIAS BARBOSA
SANTA RITA DE JACUTINGA	RIO PRETO	VALENÇA	PARAÍBA DO SUL

NNE

SSW

Cota (m)

Cota (m)

A

A'

ANEXO II

TABELA DE PONTOS

RELAÇÃO DAS AMOSTRAS ANALISADAS

Relação de amostras - Paragneisses					
	Petrografia	Microsonda	MEV	FRX	ICP-MS
OL-II-112B	x	x	x		
OL-III-39A	x	x			

Relação de amostras - Rochas metabásicas					
	Petrografia	Microsonda	MEV	FRX	ICP-MS
NLD-7A	x			x	
NLD-7B	x			x	x
NLD-7D	x	x			
NLD-7E	x			x	x
NLD-8A	x			x	x
NLD-9A	x			x	x
NLD-20A	x	x		x	x
NLD-22A	x			x	x
NLD-42A	x			x	
NLD-42C	x	x	x	x	x
NLD-42D	x	x	x		
NLD-42E	x			x	

Relação de amostras - Rochas charnockíticas					
	Petrografia	Microsonda	MEV	FRX	ICP-MS
NLD-41A	x			x	
NLD-41F	x			x	x
NLD-41G	x			x	x
NLD-44A	x			x	
NLD-45A	x			x	x
NLD-45B	x	x	x		
NLD-45D	x	x	x	x	x

ANEXO III

TABELAS DE ANÁLISES QUÍMICAS

QUÍMICA MINERAL DOS PARAGNAISSES

Amostras OL-II-112B e OL-III-39A

(Granada, feldspato, biotita, rutilo)

Nappe Lima Duarte (Amostra OL-III-39A)

GRANADA

Sample	g	Grt6-18 g	Grt6-19 g	Grt6-20 g	Grt6-21 g	Grt6-22 g	Grt6-23 g	Grt6-24 g	Grt6-25g	Grt6-26g	Grt12-27	Grt12-28	Grt12-29	Grt12-30	Grt12-31	Grt12-32	Grt12-33	Grt12-34
SiO2	37.59	37.89	37.68	37.84	38.48	37.66	38.33	38.16	37.93	37.26	37.8	38.05	37.9	37.91	37.56	37.91	37.66	
TiO2	0	0.06	0	0.02	0.05	0	0.06	0.05	0.04	0.07	0.05	0	0.05	0.04	0.14	0	0.05	
Al2O3	21.91	22.06	22.04	22.23	22.37	22.28	22.23	22.31	22.22	22.14	22.03	22.22	22.05	22.26	22.07	22.14	21.92	
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
FeO	30.66	32.4	31.03	31.4	30.99	32.32	31.4	31.06	31.11	31.86	31.48	31	31.42	31.32	30.92	31.29	31.14	
MnO	4.34	4.16	4.27	4.4	4.25	4.28	4.17	4.25	4.1	3.78	4.33	4.49	4.61	4.57	4.6	2.16	2.16	
MgO	2.3	2.29	2.26	2.32	2.3	2.23	2.24	2.2	2.21	2.63	2.24	2.09	2.17	2.06	2.15	4.74	4.61	
CaO	1.33	1.36	1.36	1.37	1.46	1.41	1.46	1.36	1.41	1.25	1.27	1.31	1.28	1.24	1.29	1.28	1.34	
Na2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
K2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Totals	98.13	100.22	98.65	99.59	99.89	100.18	99.88	99.38	99.01	98.99	99.2	99.15	99.47	99.4	98.73	99.53	98.88	
Oxygens	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
Si	3.045	3.024	3.04	3.028	3.056	3.009	3.051	3.05	3.045	3.003	3.038	3.051	3.039	3.039	3.031	3.004	3.006	
Ti	0	0.003	0	0.001	0.003	0	0.003	0.003	0.002	0.004	0.003	0	0.003	0.002	0.008	0	0.003	
Al	2.093	2.076	2.096	2.097	2.094	2.098	2.086	2.102	2.103	2.104	2.087	2.101	2.084	2.103	2.1	2.069	2.063	
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Fe3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Fe2	2.078	2.162	2.093	2.102	2.058	2.16	2.091	2.076	2.089	2.147	2.116	2.079	2.107	2.1	2.087	2.074	2.079	
Mn	0.298	0.281	0.292	0.298	0.286	0.29	0.281	0.288	0.279	0.258	0.295	0.305	0.313	0.311	0.315	0.145	0.146	
Mg	0.278	0.272	0.272	0.277	0.273	0.265	0.266	0.262	0.264	0.316	0.268	0.25	0.259	0.246	0.258	0.56	0.548	
Ca	0.116	0.116	0.118	0.118	0.125	0.121	0.124	0.116	0.121	0.108	0.11	0.112	0.11	0.107	0.112	0.109	0.114	
Na	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Sum	7.908	7.935	7.912	7.922	7.894	7.942	7.902	7.896	7.90	7.94	7.92	7.90	7.92	7.91	7.91	7.96	7.96	
Alm	75.02	76.37	75.42	75.21	75.05	76.16	75.71	75.71	75.88	75.89	75.87	75.71	75.55	75.98	75.29	71.81	72.01	
Prp	10.04	9.61	9.80	9.91	9.96	9.34	9.63	9.56	9.59	11.17	9.61	9.10	9.29	8.90	9.31	19.39	18.98	
Grs	4.19	4.10	4.25	4.22	4.56	4.27	4.49	4.23	4.40	3.82	3.94	4.08	3.94	3.87	4.04	3.77	3.95	
Sps	10.76	9.93	10.52	10.66	10.43	10.23	10.17	10.50	10.13	9.12	10.58	11.11	11.22	11.25	11.36	5.02	5.06	
	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

Nappe Lima Duarte (Amostra OL-III-39A)
GRANADA

Sample	g Grt6-1	g Grt6-2	g Grt6-3	g Grt6-4	g Grt6-5	g Grt6-6	g Grt6-7	g Grt6-8	g Grt6-9	g Grt6-10	g Grt6-11	g Grt6-12	g Grt6-13	g Grt6-14	g Grt6-15	g Grt6-16	g Grt6-17
SiO2	37.95	37.76	37.9	37.95	38.06	37.99	37.73	37.4	37.34	37.6	37.79	37.95	38.02	37.22	37.51	37.87	37.26
TiO2	0.01	0.07	0	0.03	0.01	0	0	0	0	0.06	0	0.03	0	0	0	0	0
Al2O3	22.15	22.16	22.25	22.07	21.98	22.22	22.23	22.06	22.05	22.09	22	22.08	21.97	21.88	22.06	21.87	21.68
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	31.84	31.41	31.72	31.98	32.23	31.41	31.56	31.32	31.29	31.89	31.84	31.73	31.62	30.8	31.49	31.72	31.1
MnO	2.62	2.31	2.23	2.33	2.33	2.34	2.34	2.38	2.28	2.35	2.31	2.38	2.22	2.21	4.42	4.37	4.09
MgO	3.99	4.28	4.28	4.34	4.43	4.36	4.22	4.38	4.28	4.05	4.14	4.09	4.16	4.26	2.29	2.29	2.38
CaO	1.28	1.22	1.26	1.29	1.22	1.28	1.34	1.54	1.7	1.69	1.72	1.69	1.74	1.71	1.47	1.43	1.54
Na2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totals	99.83	99.2	99.65	99.98	100.27	99.59	99.43	99.07	98.93	99.73	99.8	99.94	99.73	98.1	99.23	99.56	98.06
Oxygens	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Si	3.011	3.007	3.006	3.005	3.008	3.011	3.001	2.988	2.988	2.991	3.002	3.007	3.016	2.998	3.019	3.038	3.031
Ti	0.001	0.004	0	0.002	0.001	0	0	0	0	0.003	0	0.002	0	0	0	0	0
Al	2.072	2.08	2.081	2.061	2.048	2.077	2.085	2.078	2.08	2.072	2.06	2.063	2.054	2.078	2.093	2.068	2.079
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2	2.113	2.091	2.104	2.118	2.13	2.082	2.099	2.093	2.094	2.121	2.115	2.103	2.097	2.075	2.12	2.128	2.116
Mn	0.176	0.156	0.15	0.156	0.156	0.157	0.157	0.161	0.154	0.158	0.155	0.16	0.149	0.151	0.301	0.297	0.282
Mg	0.472	0.508	0.506	0.512	0.522	0.515	0.501	0.521	0.51	0.48	0.49	0.483	0.492	0.512	0.275	0.274	0.288
Ca	0.109	0.104	0.107	0.109	0.104	0.109	0.114	0.132	0.146	0.144	0.146	0.143	0.148	0.148	0.126	0.123	0.134
Na	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	7.953	7.95	7.954	7.963	7.968	7.951	7.957	7.973	7.972	7.97	7.969	7.96	7.957	7.962	7.934	7.928	7.93
Alm	73.62	73.14	73.39	73.16	73.15	72.72	73.11	72.00	72.11	73.06	72.78	72.79	72.66	71.90	75.12	75.41	75.04
Prp	16.45	17.77	17.65	17.69	17.93	17.99	17.45	17.92	17.56	16.53	16.86	16.72	17.05	17.74	9.74	9.71	10.21
Grs	3.80	3.64	3.73	3.77	3.57	3.81	3.97	4.54	5.03	4.96	5.02	4.95	5.13	5.13	4.46	4.36	4.75
Sps	6.13	5.46	5.23	5.39	5.36	5.48	5.47	5.54	5.30	5.44	5.33	5.54	5.16	5.23	10.67	10.52	10.00
	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Nappe Lima Duarte (Amostra OL-III-39A)

GRANADA

Sample	Grt12-35	Grt12-36	Grt12-37	Grt12-38	Grt12-39	Grt12-40	Grt12-41	Grt12-42	Grt12-43	Grt12-44	Grt12-45	Grt12-46	Grt12-47	Grt12-48	Grt12-49	Grt12-50
SiO2	37.87	38.02	37.42	38.28	37.98	38.13	38.37	37.86	37.97	37.2	38.08	37.8	37.42	37.71	37.84	37.56
TiO2	0	0	0.07	0.04	0.08	0	0.04	0	0	0.04	0.07	0.09	0.15	0.07	0	0
Al2O3	21.93	22.27	21.93	22.19	21.82	22.12	22.05	22.02	21.96	21.77	22.06	21.87	21.75	21.94	21.69	22.04
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	31.01	31.24	30.65	31.59	31.09	30.58	31.58	31.14	30.52	29.66	31.61	30.75	31.57	31.56	30.86	31
MnO	2.05	2.14	2.12	2.07	2.01	2.14	2.14	2.02	2.19	2.19	2.25	2.22	2.43	2.29	2.19	2.2
MgO	4.52	4.55	4.58	4.49	4.62	4.76	4.7	4.5	4.43	4.54	4.36	4.31	3.97	4.32	4.65	4.16
CaO	1.47	1.36	1.38	1.42	1.41	1.34	1.32	1.47	1.33	1.41	1.35	1.31	1.32	1.39	1.34	1.29
Na2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totals	98.85	99.58	98.16	100.07	99.01	99.07	100.2	99.01	98.4	96.81	99.78	98.36	98.61	99.27	98.57	98.25
Oxygens	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Si	3.02	3.009	3.004	3.017	3.023	3.024	3.021	3.015	3.034	3.018	3.015	3.027	3.007	3.005	3.026	3.015
Ti	0	0	0.004	0.002	0.005	0	0.002	0	0	0.002	0.004	0.006	0.009	0.004	0	0
Al	2.061	2.078	2.076	2.062	2.048	2.069	2.047	2.067	2.069	2.083	2.059	2.065	2.061	2.061	2.045	2.086
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2	2.068	2.068	2.058	2.083	2.07	2.029	2.079	2.074	2.039	2.013	2.093	2.059	2.122	2.103	2.064	2.082
Mn	0.138	0.143	0.144	0.138	0.136	0.144	0.143	0.136	0.148	0.151	0.151	0.151	0.165	0.155	0.148	0.15
Mg	0.537	0.537	0.548	0.527	0.548	0.562	0.551	0.533	0.527	0.549	0.515	0.514	0.475	0.513	0.554	0.498
Ca	0.126	0.116	0.119	0.12	0.12	0.114	0.111	0.126	0.114	0.123	0.114	0.113	0.114	0.119	0.115	0.111
Na	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	7.95	7.95	7.95	7.95	7.95	7.94	7.95	7.95	7.93	7.94	7.95	7.94	7.95	7.96	7.95	7.94
Alm	72.08	72.21	71.73	72.63	72.03	71.22	72.09	72.29	72.10	70.98	72.85	72.58	73.78	72.77	71.64	73.28
Prp	18.72	18.75	19.10	18.38	19.07	19.73	19.11	18.58	18.64	19.36	17.93	18.12	16.52	17.75	19.23	17.53

Nappe Lima Duarte (Amostra OL-III-39A) GRANADA

Amostra	g Grt1-1	g Grt1-2	g Grt1-3	g Grt1-4	g Grt1-5	g Grt1-6	g Grt1-7	g Grt1-8	g Grt1-9	g Grt1-10	g Grt1-11	g Grt1-12	g Grt1-13	g Grt1-14	g Grt1-15	g Grt1-16	g Grt1-17
SiO2	37.77	37.97	37.5	37.62	37.38	37.69	37.48	37.33	37.26	36.77	37.08	37.39	37.05	37.3	37.45	37.21	37.36
TiO2	0.03	0.1	0.04	0	0.03	0	0.05	0.03	0.08	0.01	0	0.05	0.02	0	0.07	0.05	0.07
Al2O3	21.94	21.96	21.98	22.03	21.93	22.08	21.98	22.03	22.06	21.97	22.04	21.84	21.73	21.95	21.71	22.05	21.95
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	34.39	34.62	34.2	33.53	34.09	33.37	33.63	33.21	33.34	32.47	33.74	33.31	32.61	34.37	34.19	33.96	33.77
MnO	1.84	1.51	1.31	1.3	1.23	1.22	1.27	1.23	1.16	1.16	1.46	1.2	1.41	1.69	0.83	1.02	0.84
MgO	2.36	2.44	2.89	2.76	2.69	2.61	2.63	2.53	2.54	2.6	2.5	2.55	2.52	2.41	2.72	2.73	2.77
CaO	1.27	1.91	1.98	2.18	2.59	3.21	2.77	2.9	3.01	2.89	2.03	2.96	2.55	1.64	2.67	2.72	2.38
Na2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totals	99.6	100.52	99.9	99.43	99.94	100.18	99.82	99.26	99.44	97.86	98.84	99.31	97.89	99.36	99.63	99.72	99.15
Oxygens	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Si	3.03	3.02	2.999	3.014	2.992	3.001	2.998	2.999	2.99	2.991	2.996	3.005	3.014	3.006	3.004	2.982	3.003
Ti	0.002	0.006	0.002	0	0.002	0	0.003	0.002	0.005	0.001	0	0.003	0.001	0	0.004	0.003	0.004
Al	2.075	2.06	2.072	2.08	2.07	2.073	2.073	2.087	2.087	2.107	2.1	2.069	2.084	2.084	2.053	2.083	2.08
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2	2.307	2.303	2.287	2.247	2.282	2.223	2.25	2.231	2.238	2.209	2.28	2.239	2.219	2.316	2.294	2.276	2.27
Mn	0.125	0.102	0.088	0.088	0.084	0.082	0.086	0.084	0.079	0.08	0.1	0.081	0.097	0.115	0.057	0.069	0.057
Mg	0.282	0.29	0.345	0.33	0.321	0.31	0.314	0.302	0.304	0.315	0.301	0.306	0.305	0.289	0.325	0.326	0.332
Ca	0.109	0.163	0.169	0.187	0.222	0.274	0.238	0.25	0.259	0.252	0.176	0.255	0.222	0.141	0.229	0.233	0.205
Na	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	7.93	7.94	7.96	7.95	7.97	7.96	7.96	7.96	7.96	7.95	7.95	7.96	7.94	7.95	7.97	7.97	7.95
Alm	81.72	80.58	79.16	78.79	78.45	76.95	77.91	77.82	77.71	77.35	79.80	77.72	78.05	80.95	78.97	78.37	79.26
Prp	9.99	10.15	11.94	11.57	11.03	10.73	10.87	10.53	10.56	11.03	10.54	10.62	10.73	10.10	11.19	11.23	11.59
Grs	3.86	5.70	5.85	6.56	7.63	9.48	8.24	8.72	8.99	8.82	6.16	8.85	7.81	4.93	7.88	8.02	7.16
Sps	4.43	3.57	3.05	3.09	2.89	2.84	2.98	2.93	2.74	2.80	3.50	2.81	3.41	4.02	1.96	2.38	1.99
	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Nappe Lima Duarte (Amostra OL-III-39A)
GRANADA

Amostra	g Grt1-18	g Grt1-19	g Grt1-20	g Grt1-21	g Grt1-22	g Grt1-23	g Grt1-24	g Grt1-25	g Grt1-26	g Grt1-27	g Grt1-28	g Grt1-29	g Grt1-30	g Grt1-31	g Grt1-32	g Grt1-33	g Grt1-34
SiO2	37.74	37.19	37.04	37.53	37.18	37.27	37.66	37.31	36.99	37.24	37.36	37.32	37.3	37.34	37.49	36.83	37.52
TiO2	0.07	0	0	0.08	0	0.08	0.02	0	0.1	0	0.05	0.07	0.02	0	0.1	0.01	0.07
Al2O3	22.07	21.95	21.98	21.93	21.88	21.9	21.76	22.05	21.91	21.86	21.93	21.86	21.86	21.79	21.98	21.76	21.95
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	33.85	34.53	34.45	34.44	34.68	34.34	34.6	34.85	35.65	34.29	35.03	33.95	33.07	34.78	32.91	33.8	32.52
MnO	0.92	1.63	1.74	1.53	1.43	1.06	1.07	1.37	1.82	1.78	1.45	1.39	1.29	1.52	1.25	1.28	1.35
MgO	2.9	2.31	2.21	2.5	2.58	2.84	2.99	2.69	2.3	2.4	2.67	2.62	2.68	2.5	2.54	2.57	2.45
CaO	2.39	1.78	1.46	1.87	1.85	1.97	1.72	1.59	0.86	1.32	1.49	2.02	2.72	1.49	3.28	3.15	3.21
Na2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totals	99.93	99.39	98.88	99.88	99.6	99.47	99.82	99.87	99.63	98.9	99.97	99.23	98.94	99.42	99.56	99.41	99.06
Oxygens	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Si	3.008	2.999	3.002	3.007	2.992	2.994	3.013	2.992	2.987	3.013	2.996	3.005	3.005	3.009	3.001	2.972	3.014
Ti	0.004	0	0	0.005	0	0.005	0.001	0	0.006	0	0.003	0.004	0.001	0	0.006	0.001	0.004
Al	2.073	2.087	2.1	2.071	2.076	2.074	2.053	2.084	2.086	2.085	2.073	2.075	2.076	2.07	2.075	2.07	2.078
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe2	2.256	2.329	2.334	2.307	2.334	2.308	2.316	2.337	2.41	2.32	2.35	2.29	2.23	2.34	2.20	2.28	2.19
Mn	0.062	0.111	0.119	0.104	0.097	0.072	0.073	0.093	0.13	0.12	0.10	0.09	0.09	0.10	0.09	0.09	0.09
Mg	0.345	0.278	0.266	0.299	0.31	0.34	0.356	0.321	0.28	0.29	0.32	0.31	0.32	0.30	0.30	0.31	0.29
Ca	0.204	0.154	0.127	0.16	0.16	0.17	0.148	0.137	0.07	0.12	0.13	0.17	0.24	0.13	0.28	0.27	0.28
Na	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	7.95	7.96	7.95	7.95	7.97	7.96	7.96	7.97	7.96	7.94	7.97	7.95	7.96	7.96	7.96	7.99	7.94
Alm	78.69	81.09	82.01	80.38	80.46	79.86	80.06	80.92	83.50	81.49	81.20	79.71	77.55	81.50	76.68	77.30	76.77
Prp	12.03	9.68	9.35	10.42	10.69	11.76	12.31	11.11	9.60	10.19	10.99	10.95	11.21	10.43	10.55	10.47	10.30
Grs	7.12	5.36	4.46	5.57	5.52	5.88	5.12	4.74	2.57	4.04	4.42	6.07	8.18	4.45	9.82	9.25	9.70
Sps	2.16	3.86	4.18	3.62	3.34	2.49	2.52	3.22	4.33	4.29	3.39	3.28	3.06	3.62	2.96	2.98	3.23
	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Nappe Lima Duarte (Amostra OL-III-39A)
GRANADA

	Sample	g Grt1-35	g Grt1-36	g Grt1-37	g Grt1-38	g Grt1-39	g Grt1-40	g Grt1-41	g Grt1-42	g Grt1-43	g Grt1-44	g Grt1-45	g Grt1-46	g Grt1-47	g Grt1-48
	SiO2	37.53	37.37	37.32	37.54	37.51	37.74	37.43	37.85	37.62	37.39	36.83	37.36	37.17	37.01
	TiO2	0	0.02	0.01	0	0	0.04	0	0.02	0	0.12	0	0	0.04	0.06
	Al2O3	21.82	21.79	21.94	21.87	22.14	21.82	22.02	21.74	22.11	21.86	22.05	21.83	21.89	21.78
	Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	FeO	33.08	33.45	32.61	33.23	33.89	33.6	34.83	33.84	34.31	34.43	35.45	34.58	35	35.72
	MnO	1.2	1.26	1.3	1.16	1.18	1.2	1.27	1.17	1.38	1.42	1.41	1.6	1.7	1.76
	MgO	2.63	2.42	2.59	2.5	2.5	2.55	2.92	2.73	2.88	2.82	2.67	2.57	2.4	2.46
	CaO	3.24	3.11	3.14	3.23	3.17	3.06	1.83	2.51	1.78	1.66	1.4	1.27	1.1	0.8
	Na2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	K2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Totals	99.5	99.42	98.91	99.53	100.39	100.01	100.3	99.87	100.07	99.7	99.81	99.22	99.3	99.59
Oxygens	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	Si	3.008	3.004	3.005	3.009	2.988	3.013	2.988	3.023	3.002	2.999	2.966	3.013	3.002	2.99
	Ti	0	0.001	0.001	0	0	0.002	0	0.001	0	0.007	0	0	0.002	0.004
	Al	2.062	2.065	2.082	2.067	2.079	2.053	2.072	2.048	2.08	2.067	2.094	2.076	2.084	2.074
	Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fe3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Fe2	2.22	2.25	2.20	2.23	2.26	2.24	2.33	2.26	2.29	2.31	2.39	2.33	2.36	2.41
	Mn	0.08	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.09	0.08	0.09	0.10	0.10	0.11	0.12	0.12
	Mg	0.32	0.29	0.31	0.30	0.30	0.30	0.35	0.33	0.34	0.34	0.32	0.31	0.29	0.30
	Ca	0.28	0.27	0.27	0.28	0.27	0.26	0.16	0.21	0.15	0.14	0.12	0.11	0.10	0.07
	Na	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sum	7.96	7.96	7.95	7.96	7.97	7.96	7.98	7.95	7.96	7.96	7.99	7.95	7.95	7.97
	Alm	76.66	77.74	76.62	77.27	77.73	77.61	79.73	78.53	79.56	80.04	81.67	81.51	82.54	83.27
	Prp	10.89	10.02	10.82	10.34	10.22	10.52	11.93	11.29	11.89	11.68	10.94	10.80	10.09	10.21
	Grs	9.61	9.26	9.46	9.65	9.29	9.07	5.38	7.43	5.32	4.95	4.10	3.84	3.32	2.38
	Sps	2.84	2.97	3.11	2.74	2.75	2.80	2.95	2.74	3.23	3.33	3.28	3.84	4.05	4.14
	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

[illegible][illegible]

Nappe Lima Duarte (Amostra OL-II-112B)
BIOTITA

SiO2	34.5	34.48	34.84	35.08	34.42	35.33	34.07	34.79	35.12	33.89	34.46	34.63	35.08	34.38	35.12	35.65	34.9	34.86	34.53	34.39
TiO2	4.72	4.72	3.91	3.69	4.19	4.1	3.91	3.59	3.69	3.63	5.1	3.46	4.02	2.37	2.69	2.86	3.86	3.48	3.34	3.89
Al2O3	18.48	18.46	19	18.85	19.46	19.4	20.69	18.96	18.98	18.96	19.28	19.72	19.17	19.06	19.84	20.2	18.93	19.21	19.11	18.73
FeO	20.47	20.48	20.64	20.36	20.28	20.54	20.57	21.45	19.94	20.11	20.12	20.86	20.8	20.5	20.77	20.24	21.55	22.39	21.93	23.55
MnO	0.03	0.03	0	0.02	0.03	0.03	0.05	0.03	0.04	0.05	0.03	0.01	0.03	0.03	0.01	0.04	0.02	0.05	0.01	0.04
MgO	7.55	7.55	7.62	7.68	7.17	7.53	7.9	7.08	7.39	7.55	8.05	7.55	7.56	8.49	7.57	7.63	6.55	6.68	6.4	6
CaO	0	0	0	0	0.01	0	0.01	0	0	0	0.01	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0
Na2O	0.07	0.07	0.12	0.08	0.18	0.1	0.28	0.18	0.16	0.12	0.24	0.34	0.18	0.29	0.11	0.17	0.11	0.19	0.13	0.14
K2O	9.77	9.77	9.92	9.99	9.83	9.85	9.46	9.73	9.59	9.34	9.34	9.35	9.4	9.03	9.62	9.87	9.6	9.51	9.53	9.67
Totals	95.6	95.57	96.05	95.77	95.58	96.87	96.95	95.84	94.92	93.65	96.64	95.94	96.25	94.16	95.74	96.67	95.52	96.37	95	96.43
Si	2.645	2.645	2.657	2.68	2.635	2.663	2.568	2.668	2.695	2.645	2.601	2.639	2.662	2.665	2.678	2.684	2.683	2.665	2.675	2.65
Ti	0.272	0.272	0.224	0.212	0.241	0.232	0.222	0.207	0.213	0.213	0.29	0.198	0.229	0.138	0.154	0.162	0.223	0.2	0.195	0.226
Al	1.671	1.669	1.709	1.698	1.757	1.724	1.839	1.715	1.717	1.745	1.716	1.771	1.715	1.742	1.784	1.793	1.715	1.731	1.746	1.702
Fe2	1.313	1.314	1.317	1.301	1.298	1.295	1.297	1.376	1.28	1.312	1.27	1.329	1.32	1.329	1.324	1.275	1.385	1.432	1.421	1.518
Mn	0.002	0.002	0	0.001	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.003	0.002	0.001	0.002	0.002	0.001	0.003	0.001	0.003	0.001	0.002
Mg	0.863	0.863	0.867	0.875	0.818	0.846	0.887	0.81	0.846	0.878	0.906	0.858	0.855	0.981	0.86	0.856	0.75	0.761	0.739	0.689
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.01	0.01	0.017	0.012	0.026	0.014	0.04	0.027	0.024	0.019	0.036	0.05	0.026	0.044	0.016	0.024	0.016	0.028	0.02	0.021
K	0.955	0.956	0.965	0.974	0.96	0.948	0.91	0.952	0.939	0.93	0.899	0.909	0.91	0.893	0.935	0.948	0.942	0.928	0.942	0.951
Sum	7.731	7.732	7.756	7.753	7.739	7.724	7.767	7.757	7.715	7.745	7.72	7.757	7.72	7.795	7.753	7.744	7.716	7.748	7.738	7.76
XMg	0.40	0.40	0.40	0.40	0.39	0.40	0.41	0.37	0.40	0.40	0.42	0.39	0.39	0.42	0.39	0.40	0.35	0.35	0.34	0.31

Nappe Lima Duarte (Amostra OL-III-39A)
BIOTITA

SiO2	35.32	35.76	35.4	35.51	35.5	35.8	35.7	35.82	36.43	36.11	37.03	35.65	36.22	36.44	36.18	36.29	35.8
TiO2	2.86	2.95	2.7	2.66	2.83	2.86	2.68	2.75	2.72	3.02	2.92	2.43	3.37	2.79	3.12	2.36	2.47
Al2O3	19.06	19.26	19.13	18.91	19.23	19.12	19.18	19.09	19.23	19.22	19.24	19.25	19.33	19.33	19.34	19.85	20.03
FeO	17.02	17.31	17.01	17.3	17.14	17.23	17.26	17.08	17.16	17.44	15.13	17.65	16.21	16.66	16.42	14.96	16.13
MnO	0.05	0.06	0.04	0.03	0.06	0.05	0.07	0.02	0.05	0.02	0.02	0.04	0.03	0.04	0.04	0.01	0.01
MgO	10.88	10.66	10.4	10.68	10.73	10.82	10.69	10.66	10.84	10.73	10.5	10.4	10.53	10.82	11.24	11.95	11.17
CaO	0	0	0.01	0.01	0	0	0	0	0.01	0	0.02	0.04	0	0.01	0.01	0.01	0
Na2O	0.17	0.17	0.16	0.18	0.19	0.18	0.21	0.18	0.19	0.17	0.04	0.19	0.24	0.19	0.22	0.23	0.24
K2O	9.31	9.5	9.41	9.35	9.26	9.34	9.36	9.52	9.36	9.38	9.4	9.27	9.29	9.34	9.36	9.41	9.52
Totals	94.68	95.68	94.27	94.65	94.95	95.4	95.16	95.13	95.99	96.11	94.3	94.92	95.23	95.62	95.95	95.08	95.36
Si	2.675	2.682	2.692	2.693	2.68	2.689	2.691	2.699	2.714	2.693	2.774	2.697	2.708	2.718	2.69	2.701	2.676
Ti	0.163	0.166	0.154	0.152	0.161	0.162	0.152	0.156	0.153	0.169	0.164	0.138	0.189	0.157	0.175	0.132	0.139
Al	1.702	1.703	1.715	1.691	1.711	1.694	1.704	1.696	1.689	1.69	1.699	1.717	1.704	1.699	1.695	1.742	1.765
Fe2	1.078	1.086	1.082	1.097	1.082	1.082	1.088	1.077	1.069	1.088	0.948	1.117	1.013	1.039	1.021	0.931	1.008
Mn	0.003	0.004	0.003	0.002	0.004	0.003	0.004	0.001	0.003	0.001	0.001	0.003	0.002	0.002	0.003	0.001	0
Mg	1.228	1.192	1.179	1.207	1.207	1.211	1.201	1.198	1.203	1.193	1.172	1.172	1.174	1.203	1.246	1.325	1.244
Ca	0	0	0.001	0.001	0	0	0	0	0.001	0	0.002	0.003	0	0.001	0.001	0.001	0
Na	0.025	0.025	0.024	0.027	0.028	0.026	0.031	0.027	0.027	0.025	0.006	0.028	0.035	0.027	0.032	0.034	0.034
K	0.9	0.909	0.913	0.904	0.892	0.895	0.899	0.915	0.889	0.893	0.898	0.894	0.886	0.888	0.888	0.893	0.908
Sum	7.774	7.767	7.765	7.775	7.764	7.764	7.771	7.769	7.748	7.752	7.664	7.769	7.712	7.734	7.749	7.76	7.775
XMg	0.53	0.52	0.52	0.52	0.53	0.53	0.52	0.53	0.53	0.52	0.55	0.51	0.54	0.54	0.55	0.59	0.55

Nappe Lima Duarte (Amostra OL-III-39A)
BIOTITA

SiO2	36.52	36.47	36.07	36.31	36.34	35.7	36.22	36.31	35.45	35.41
TiO2	2.62	2.12	2.69	2.71	2.17	3.04	2.79	3.06	2.95	2.84
Al2O3	19.51	20.04	19.28	19.55	19.89	19.67	19.63	19.66	19.75	18.98
FeO	14.97	14.48	16.59	16.4	14.07	16.2	15.38	14.79	13.72	16.84
MnO	0.01	0.03	0.02	0.02	0.02	0.05	0.02	0.03	0.02	0.07
MgO	12.4	12.67	11.04	10.95	12.7	10.71	11.44	12.03	11.7	10.48
CaO	0	0.04	0.02	0	0	0.01	0.01	0	0.02	0.02
Na2O	0.32	0.33	0.22	0.16	0.32	0.24	0.24	0.25	0.18	0.21
K2O	9.21	9.09	9.12	9.44	9.28	9.5	9.3	9.37	9.62	9.16
Totals	95.57	95.27	95.06	95.55	94.81	95.14	95.04	95.52	93.41	94.02
Si	2.702	2.697	2.705	2.708	2.7	2.678	2.702	2.689	2.68	2.696
Ti	0.146	0.118	0.152	0.152	0.121	0.172	0.157	0.171	0.168	0.162
Al	1.702	1.747	1.705	1.719	1.742	1.74	1.727	1.716	1.76	1.704
Fe2	0.926	0.896	1.041	1.023	0.874	1.017	0.96	0.916	0.867	1.072
Mn	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.003	0.001	0.002	0.001	0.004
Mg	1.368	1.396	1.233	1.217	1.406	1.198	1.272	1.328	1.318	1.189
Ca	0	0.003	0.002	0	0	0.001	0.001	0	0.001	0.001
Na	0.046	0.048	0.033	0.023	0.046	0.035	0.035	0.036	0.026	0.031
K	0.869	0.858	0.872	0.898	0.879	0.909	0.885	0.886	0.928	0.89
Sum	7.76	7.765	7.744	7.742	7.771	7.753	7.739	7.744	7.749	7.75
XMg	0.60	0.61	0.54	0.54	0.62	0.54	0.57	0.59	0.60	0.53

Nappe Lima Duarte (Amostra OL-III-39A)
BIOTITA

SiO2	36.52	36.47	36.07	36.31	36.34	35.7	36.22	36.31	35.45	35.41
TiO2	2.62	2.12	2.69	2.71	2.17	3.04	2.79	3.06	2.95	2.84
Al2O3	19.51	20.04	19.28	19.55	19.89	19.67	19.63	19.66	19.75	18.98
FeO	14.97	14.48	16.59	16.4	14.07	16.2	15.38	14.79	13.72	16.84
MnO	0.01	0.03	0.02	0.02	0.02	0.05	0.02	0.03	0.02	0.07
MgO	12.4	12.67	11.04	10.95	12.7	10.71	11.44	12.03	11.7	10.48
CaO	0	0.04	0.02	0	0	0.01	0.01	0	0.02	0.02
Na2O	0.32	0.33	0.22	0.16	0.32	0.24	0.24	0.25	0.18	0.21
K2O	9.21	9.09	9.12	9.44	9.28	9.5	9.3	9.37	9.62	9.16
Totals	95.57	95.27	95.06	95.55	94.81	95.14	95.04	95.52	93.41	94.02
Si	2.702	2.697	2.705	2.708	2.7	2.678	2.702	2.689	2.68	2.696
Ti	0.146	0.118	0.152	0.152	0.121	0.172	0.157	0.171	0.168	0.162
Al	1.702	1.747	1.705	1.719	1.742	1.74	1.727	1.716	1.76	1.704
Fe2	0.926	0.896	1.041	1.023	0.874	1.017	0.96	0.916	0.867	1.072
Mn	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.003	0.001	0.002	0.001	0.004
Mg	1.368	1.396	1.233	1.217	1.406	1.198	1.272	1.328	1.318	1.189
Ca	0	0.003	0.002	0	0	0.001	0.001	0	0.001	0.001
Na	0.046	0.048	0.033	0.023	0.046	0.035	0.035	0.036	0.026	0.031
K	0.869	0.858	0.872	0.898	0.879	0.909	0.885	0.886	0.928	0.89
Sum	7.76	7.765	7.744	7.742	7.771	7.753	7.739	7.744	7.749	7.75
XMg	0.60	0.61	0.54	0.54	0.62	0.54	0.57	0.59	0.60	0.53

Nappe Lima Duarte (Amostra OL-II-112B)
RUTILO

	Rt5 - 1	Rt5 - 2	Rt12 - 3	Rt12 - 4	Rt7 - 5	Rt7 - 6	Rt7 - 7	Rt9 - 8	Rt9 - 9	Rt9 - 10
TiO2	97.432	97.785	96.135	97.259	98.559	97.558	99.446	98.684	89.557	95.562
SiO2	0.009	0.006	0.013	0.052	0.009	0.016	0.02	0.019	0.023	0.037
Cr2O3	0.063	0.066	0.072	0.069	0.098	0.098	0.101	0.107	0.072	0.087
Al2O3	0.098	0.11	0.091	0.138	0.087	0.1	0.107	0.077	8.39	0.081
Nb2O5	0.37	0.398	0.377	0.372	0.472	0.479	0.488	0.354	0.35	0.328
FeO	0.687	0.545	0.599	0.732	0.698	0.714	0.913	0.706	1.234	1.448
V2O5	0.402	0.41	0.44	0.432	0.55	0.545	0.521	0.463	0.436	0.444
ZrO2	0.044	0.036	0.054	0.039	0.117	0.114	0.115	0.096	0.123	0.104
Total	99.106	99.357	97.78	99.093	100.591	99.624	101.71	100.506	100.185	98.091

	Rt9 - 11	Rt11 - 12	Rt14 - 13	Rt14 -14	Rt13 -15	Rt19 - 16	Rt19 - 17
TiO2	96.5	97.139	94.909	95.55	98.501	94.879	94.548
SiO2	0.036	0.022	0.025	0.012	0.021	0.017	0.007
Cr2O3	0.075	0.075	0.064	0.089	0.085	0.045	0.073
Al2O3	0.101	0.064	0.116	0.093	0.101	0.078	0.097
Nb2O5	0.335	0.328	0.405	0.509	0.424	0.331	0.389
FeO	1.302	0.877	1.112	0.746	1.032	0.674	0.532
V2O5	0.437	0.547	0.453	0.439	0.393	0.378	0.398
ZrO2	0.109	0.046	0.123	0.066	0.031	0.044	0.043
Total	98.896	99.098	97.208	97.505	100.589	96.446	96.087

Nappe Lima Duarte (Amostra OL-III-39A)
RUTILO

	Rt9 - 1	Rt22 - 2	Rt20 - 3	Rt20 - 4	Rt1 - 5
TiO2	94.502	97.088	94.752	98.642	96.469
SiO2	0.028	0.038	0.024	0.017	0.024
Cr2O3	0.078	0.059	0.292	0.289	0.062
Al2O3	0.099	0.083	0.097	0.082	0.082
Nb2O5	0.557	0.437	1.244	1.222	1.106
FeO	0.791	0.608	0.785	0.901	0.998
V2O5	0.591	0.535	0.568	0.531	0.544
ZrO2	0.045	0.063	0.044	0.039	0.051
Total	96.691	98.911	97.807	101.725	99.335

QUÍMICA MINERAL DAS ROCHAS METABÁSICAS

**Amostras NLD-7D, NLD-20A, NLD-42C
e NLD-42D**

**(Granada, feldspato, ortopiroxênio,
clinopiroxênio, anfibólio)**

Complexo Mantiqueira - Rochas metabásicas (Amostra NLD-7D)
GRANADA

NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D
37.7	37.79	38.13	37.68	37.7	37.6	37.66	38.14	37.25	37.59	37.55	37.76	37.39	37.97	37.71
0.03	0.07	0.05	0.09	0.01	0.04	0.01	0	0.03	0.05	0.03	0.05	0.07	0.01	0.01
21.4	21.54	21.39	21.36	21.8	21.36	21.64	21.71	21.67	21.4	21.87	21.51	21.43	21.75	21.8
0.51	0.89	0.21	0.87	1.55	0.78	0.03	0	1.17	2.38	0.84	0.83	1.08	0.86	1.18
27.82	27.81	28.29	27.72	27.45	27.18	27.56	26.96	27.17	27.38	27.56	27.38	27.18	27.91	27.51
2.03	2.17	2.1	2.22	2.12	2.05	2.26	2.18	2.08	2.19	2.18	2.36	2.19	2.15	2.23
3.65	3.56	3.62	3.49	3.56	3.67	3.43	3.61	3.56	3.52	3.42	3.53	3.58	3.55	3.49
6.81	6.95	6.85	6.98	7.14	7.18	7.08	7.19	6.98	7.1	7.08	7.13	7.03	7.02	7.1
99.95	100.79	100.65	100.43	101.33	99.87	99.66	99.79	99.92	101.63	100.54	100.55	99.96	101.21	101.03
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
2.984	2.971	2.999	2.974	2.949	2.977	2.987	3.008	2.951	2.94	2.958	2.974	2.962	2.971	2.957
0.002	0.004	0.003	0.006	0.001	0.002	0	0	0.002	0.003	0.002	0.003	0.004	0	0
1.998	1.996	1.983	1.988	2.01	1.994	2.024	2.019	2.024	1.974	2.031	1.997	2.002	2.007	2.015
0.03	0.053	0.013	0.052	0.091	0.046	0.002	0	0.07	0.14	0.05	0.049	0.064	0.051	0.069
1.842	1.828	1.861	1.83	1.795	1.8	1.829	1.778	1.8	1.791	1.815	1.803	1.801	1.826	1.804
0.136	0.145	0.14	0.148	0.14	0.138	0.152	0.146	0.139	0.145	0.145	0.158	0.147	0.142	0.148
0.431	0.417	0.424	0.411	0.415	0.433	0.405	0.424	0.421	0.411	0.402	0.414	0.422	0.414	0.408
0.578	0.586	0.578	0.591	0.599	0.61	0.602	0.608	0.593	0.596	0.598	0.603	0.597	0.589	0.597
8	8	8	8	8	8	8	7.983	8	8	8	8	8	8	8
61.67	61.42	61.97	61.41	60.87	60.38	61.21	60.15	60.95	60.86	61.32	60.54	60.70	61.46	61.01
14.43	14.01	14.12	13.79	14.07	14.53	13.55	14.34	14.26	13.97	13.58	13.90	14.22	13.93	13.80
19.35	19.69	19.25	19.83	20.31	20.46	20.15	20.57	20.08	20.25	20.20	20.25	20.12	19.82	20.19
4.55	4.87	4.66	4.97	4.75	4.63	5.09	4.94	4.71	4.93	4.90	5.31	4.95	4.78	5.01

Complexo Mantiqueira - Rochas metabásicas (Amostra NLD-7D)
GRANADA

NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D
37.69	37.41	37.81	37.73	37.54	37.88	37.86	37.6	38.19	37.67	37.54	37.97	37.82	37.45	37.81
0.09	0.07	0.01	0.03	0	0.02	0.02	0.03	0	0.06	0.04	0.01	0.01	0.03	0.08
21.71	21.29	21.73	21.49	21.62	21.91	21.67	21.86	21.87	21.7	21.77	21.6	21.63	21.47	21.81
1.15	0.28	0.82	1.45	1.15	0.66	0.06	0.57	0	1.16	0.99	0.79	0.23	0	0
27.7	27.11	26.97	27.68	27.59	28.3	27.86	27.66	28.09	26.49	26.78	27.57	27.64	26.81	27.07
2.09	2.17	2.2	2.19	2.24	2.35	2.12	2.24	2.3	2.01	1.91	2.17	2.09	2.16	2.1
3.5	3.63	3.72	3.45	3.39	3.29	3.63	3.51	3.47	4.15	4.04	3.68	3.66	3.54	3.58
7.09	7.05	7.33	7.1	7.02	6.84	6.88	6.87	6.85	7.16	7.03	7.1	6.98	7.2	7.17
101.03	99.01	100.61	101.12	100.55	101.26	100.1	100.35	100.78	100.41	100.11	100.89	100.06	98.66	99.64
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
2.956	2.986	2.969	2.961	2.961	2.967	2.988	2.965	2.995	2.958	2.957	2.977	2.986	2.993	2.99
0.005	0.004	0.001	0.002	0	0.001	0.001	0.002	0	0.003	0.002	0.001	0.001	0.002	0.005
2.008	2.003	2.012	1.989	2.011	2.024	2.017	2.033	2.022	2.008	2.022	1.997	2.013	2.022	2.033
0.068	0.017	0.049	0.085	0.068	0.039	0.003	0.034	0	0.069	0.059	0.046	0.014	0	0
1.818	1.809	1.771	1.817	1.82	1.854	1.84	1.824	1.842	1.739	1.764	1.808	1.825	1.792	1.79
0.139	0.146	0.147	0.146	0.149	0.156	0.142	0.15	0.153	0.134	0.127	0.144	0.14	0.146	0.141
0.409	0.431	0.435	0.403	0.398	0.384	0.427	0.412	0.406	0.486	0.475	0.43	0.431	0.422	0.422
0.597	0.603	0.617	0.597	0.594	0.575	0.583	0.581	0.576	0.603	0.594	0.597	0.591	0.617	0.608
8	8	8	8	8	8	8	8	7.994	8	8	8	8	7.994	7.989
61.36	60.52	59.63	61.32	61.47	62.45	61.50	61.48	61.87	58.71	59.59	60.69	61.10	60.19	60.45
13.80	14.42	14.65	13.60	13.44	12.93	14.27	13.89	13.64	16.41	16.05	14.43	14.43	14.18	14.25
20.15	20.17	20.77	20.15	20.06	19.37	19.49	19.58	19.35	20.36	20.07	20.04	19.79	20.73	20.53
4.69	4.88	4.95	4.93	5.03	5.25	4.75	5.06	5.14	4.52	4.29	4.83	4.69	4.90	4.76

Complexo Mantiqueira - Rochas metabásicas (Amostra NLD-7D)
GRANADA

NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D
38.21	37.79	35.51	37.22	37.9	37.61	38.14	37.9	37.43	37.69	37.72	37.99	37.6	37.78	37.3
0	0.04	0.01	0.05	0.04	0.12	0.08	0.08	0.11	0.03	0.07	0.06	0.08	0.01	0.08
21.93	21.82	22.44	21.28	21.69	21.69	21.53	21.57	21.82	21.27	21.48	21.57	21.38	21.74	21.6
0	0.74	3.05	1.21	0.75	1.38	1.32	0.53	0.57	0	1.2	0.47	0.34	0.15	0
28.05	27.41	25.08	26.73	27.57	26.72	27.12	27.35	26.76	26.55	27.15	27.93	27.5	28.02	27.48
2.23	2.24	2.2	2.14	2.17	1.99	2.16	1.95	2.13	2.14	2.06	2.08	2.23	2.25	2.12
3.48	3.57	3.44	3.61	3.61	3.75	3.64	3.77	3.75	3.57	3.65	3.55	3.38	3.52	3.41
7.11	7.17	7.04	7.2	7.14	7.53	7.71	7.3	7.23	7.69	7.35	7.11	7.22	6.72	6.76
101.02	100.78	98.78	99.45	100.88	100.8	101.7	100.46	99.8	98.94	100.69	100.76	99.73	100.2	98.74
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
2.99	2.966	2.847	2.962	2.972	2.95	2.969	2.98	2.959	3.003	2.965	2.984	2.984	2.983	2.983
0	0.002	0.001	0.003	0.002	0.007	0.005	0.005	0.007	0.002	0.004	0.004	0.005	0.001	0.005
2.023	2.019	2.121	1.997	2.005	2.005	1.976	1.999	2.034	1.998	1.99	1.997	2.001	2.024	2.037
0	0.043	0.184	0.073	0.044	0.081	0.077	0.031	0.034	0	0.071	0.028	0.02	0.009	0
1.836	1.799	1.681	1.779	1.808	1.752	1.765	1.798	1.769	1.769	1.785	1.835	1.825	1.851	1.838
0.148	0.149	0.149	0.144	0.144	0.132	0.143	0.13	0.142	0.144	0.137	0.138	0.15	0.15	0.144
0.405	0.418	0.411	0.428	0.422	0.439	0.423	0.442	0.442	0.424	0.428	0.416	0.4	0.414	0.407
0.597	0.603	0.605	0.614	0.601	0.634	0.643	0.616	0.613	0.657	0.62	0.599	0.615	0.569	0.58
7.999	8	8	8	8	8	8	8	8	7.997	8	8	8	8	7.993
61.49	60.59	59.07	60.00	60.77	59.25	59.35	60.21	59.64	59.08	60.10	61.41	61.04	62.03	61.91
13.56	14.08	14.44	14.44	14.18	14.85	14.22	14.80	14.90	14.16	14.41	13.92	13.38	13.87	13.71
19.99	20.31	21.26	20.71	20.20	21.44	21.62	20.63	20.67	21.94	20.88	20.05	20.57	19.07	19.54
4.96	5.02	5.24	4.86	4.84	4.46	4.81	4.35	4.79	4.81	4.61	4.62	5.02	5.03	4.85

Complexo Mantiqueira - Rochas metabásicas (Amostra NLD-7D)
GRANADA

NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D	NLD7D
38.01	37.77	38.16	37.65	38.69	38.06	37.71	38.27	38.27	38.28	37.48
0	0.16	0.02	0.08	0	0.08	0.04	0.08	0.09	0.03	0.07
21.99	21.78	21.68	21.59	21.91	22.29	21.7	21.98	22.02	21.8	21.63
0.31	0.12	0.51	0.49	0.13	0	0.58	0	0	0	0.52
28.36	27.8	28.39	27.88	29.15	28.41	27.62	27.81	27.84	28.3	27.49
2.23	2.36	2.3	2.27	2.43	2.35	2.17	2.28	2.4	2.27	2.2
3.49	3.46	3.54	3.54	3.33	3.11	3.49	3.36	3.5	3.38	3.27
6.72	6.99	6.72	6.71	6.8	6.87	7.1	7.02	6.85	6.98	7.29
101.12	100.44	101.33	100.21	102.45	101.19	100.4	100.81	100.98	101.04	99.96
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
2.976	2.975	2.984	2.975	2.996	2.977	2.972	2.997	2.992	2.997	2.97
0	0.01	0.001	0.005	0	0.005	0.002	0.005	0.005	0.002	0.004
2.03	2.023	1.999	2.011	2	2.055	2.017	2.029	2.029	2.012	2.02
0.018	0.007	0.03	0.029	0.008	0	0.034	0	0	0	0.031
1.857	1.832	1.857	1.842	1.888	1.858	1.82	1.821	1.821	1.853	1.821
0.148	0.157	0.152	0.152	0.16	0.156	0.145	0.151	0.159	0.15	0.147
0.407	0.406	0.413	0.417	0.384	0.363	0.41	0.392	0.408	0.395	0.386
0.564	0.59	0.564	0.569	0.565	0.577	0.6	0.59	0.575	0.586	0.62
8	8	8	8	8	7.99	8	7.984	7.989	7.995	8
62.40	61.37	62.19	61.81	63.00	62.90	61.18	61.65	61.46	62.10	61.23
13.68	13.60	13.83	13.99	12.81	12.29	13.78	13.27	13.77	13.24	12.98
18.95	19.77	18.89	19.09	18.85	19.53	20.17	19.97	19.41	19.64	20.85
4.97	5.26	5.09	5.10	5.34	5.28	4.87	5.11	5.37	5.03	4.94

Complexo Mantiqueira - Rochas metabásicas (Amostra NLD-20A)
GRANADA

Sample	NLD20A	NLD20A	NLD20A	NLD20A	NLD20A	NLD20A	NLD20A
SiO2	38.04	37.35	37.93	37.52	38.43	34.77	37.71
TiO2	0.04	0.02	0.05	0.01	0.05	0	0.03
Al2O3	21.69	21.72	21.95	21.81	21.69	26.44	21.61
Fe2O3	0.12	0	0	0	0	0.2	0
FeO	27.31	26.3	26.52	26.89	25.62	24.61	26.57
MnO	1.86	2.35	2.32	2.55	2.35	2.59	2.64
MgO	3.57	3.32	3.19	3.16	3.04	2.76	3.04
CaO	7.78	7.58	8.02	7.28	8.75	7.36	8.15
Totals	100.4	98.65	99.99	99.22	99.93	98.73	99.76
Si	2.989	2.984	2.99	2.986	3.022	2.758	2.989
Ti	0.002	0.001	0.003	0.001	0.003	0	0.002
Al	2.009	2.046	2.039	2.046	2.011	2.472	2.019
Fe3	0.007	0	0	0	0	0.012	0.001
Fe2	1.795	1.757	1.748	1.79	1.685	1.632	1.76
Mn	0.124	0.159	0.155	0.172	0.156	0.174	0.177
Mg	0.418	0.395	0.375	0.374	0.356	0.326	0.36
Ca	0.656	0.649	0.678	0.621	0.738	0.626	0.692
Sum	7.993	7.991	7.988	7.99	7.97	8	8
Alm	59.97	59.36	59.13	60.53	57.41	59.17	58.88
Prp	13.97	13.34	12.69	12.65	12.13	11.82	12.04
Grs	21.92	21.93	22.94	21.00	25.14	22.70	23.15
Sps	4.14	5.37	5.24	5.82	5.32	6.31	5.92

Complexo Mantiqueira - Rochas metabásicas (Amostra NLD-20A)
GRANADA

NLD20A	NLD20A	NLD20A	NLD20A	NLD20A	NLD20A	NLD20A	NLD20A	NLD20A	NLD20A	NLD20A	NLD20A	NLD20A	NLD20A	NLD20A
37.84	37.75	37.75	37.81	37.75	37.94	37.47	37.87	39.29	37.38	37.89	40.08	37.01	46.23	37.44
0	0.03	0.06	0	0.03	0	0.03	0.06	0.07	0	0.05	0.01	0.03	0	0.03
22.01	21.86	21.92	21.73	21.67	21.63	21.77	21.43	21.27	21.65	21.66	20.86	24.09	19.83	21.62
0	0.69	0.51	0	0.18	0.16	0.22	0.05	0	0.04	0	0	0	0	0
27.02	27.23	27.59	27.07	26.41	25.9	25.87	26.71	26.41	26.03	25.62	24.62	25.74	23.35	26.55
1.87	2.45	2.96	3.13	2.75	2.87	2.88	2.81	2.94	3	3.02	2.91	2.98	2.85	2.93
3.32	3.16	3.09	2.9	2.77	2.67	2.73	2.88	2.85	2.65	2.49	2.52	2.33	1.92	2.77
7.74	7.66	7.1	7.18	8.62	9.21	8.73	8.31	7.73	8.51	9.05	8.88	7.92	8.75	8.05
99.81	100.85	100.97	99.84	100.17	100.4	99.7	100.14	100.57	99.26	99.78	99.9	100.12	102.94	99.41
2.987	2.965	2.966	2.997	2.983	2.99	2.973	2.995	3.073	2.981	3	3.135	2.909	3.431	2.983
0	0.002	0.003	0	0.002	0	0.002	0.004	0.004	0	0.003	0.001	0.002	0	0.002
2.048	2.024	2.031	2.031	2.019	2.01	2.036	1.998	1.961	2.036	2.022	1.924	2.232	1.735	2.031
0	0.041	0.03	0	0.01	0.009	0.013	0.003	0	0.002	0	0	0	0	0.001
1.784	1.789	1.813	1.795	1.746	1.707	1.717	1.767	1.727	1.736	1.697	1.61	1.692	1.449	1.769
0.125	0.163	0.197	0.21	0.184	0.192	0.194	0.188	0.195	0.203	0.203	0.193	0.199	0.179	0.197
0.391	0.37	0.362	0.343	0.326	0.314	0.322	0.34	0.332	0.315	0.293	0.294	0.273	0.212	0.329
0.655	0.645	0.598	0.611	0.731	0.778	0.743	0.705	0.649	0.728	0.768	0.745	0.668	0.696	0.688
7.989	8	8	7.987	8	8	8	8	7.942	8	7.986	7.902	7.973	7.702	8
60.37	60.30	61.04	60.66	58.45	57.07	57.69	58.90	59.49	58.22	57.31	56.65	59.75	57.14	59.30
13.23	12.47	12.19	11.59	10.91	10.50	10.82	11.33	11.44	10.56	9.90	10.34	9.64	8.36	11.03
22.17	21.74	20.13	20.65	24.47	26.01	24.97	23.50	22.36	24.41	25.94	26.21	23.59	27.44	23.06
4.23	5.49	6.63	7.10	6.16	6.42	6.52	6.27	6.72	6.81	6.86	6.79	7.03	7.06	6.60

Complexo Mantiqueira - Rochas metabásicas (Amostra NLD-20A)
GRANADA

NLD20A	NLD20A	NLD20A	NLD20A	NLD20A	NLD20A	NLD20A	NLD20A	NLD20A	NLD20A	NLD20A	NLD20A	NLD20A	NLD20A	NLD20A
37.96	37.97	37.67	37.64	37.73	37.74	37.43	33.91	37.44	37.67	37.34	37.68	37.46	37.81	37.46
0	0.03	0.04	0	0.06	0.05	0	0.04	0	0.04	0.02	0.03	0	0.01	0.01
21.85	22.34	21.88	21.88	22	21.73	21.44	26.91	21.84	21.92	21.65	21.84	22.08	21.64	21.76
0	0	0	0	0	0	0	0	0.17	0	0	0	0	0	0.66
26.88	24.85	25.11	26.03	24.04	25.13	24.54	21.85	25.18	26.48	26.2	25.08	25.54	26.43	26.62
2.67	2.66	2.91	2.96	2.74	3.01	2.83	2.61	2.98	2.75	2.92	2.95	2.88	2.84	2.71
3.05	2.85	2.78	2.82	2.5	2.85	2.52	2.31	2.67	2.98	2.98	2.88	2.88	2.9	3.09
7.45	8.33	8.84	8.38	10.78	8.67	9.77	9.27	9.22	7.93	7.95	8.9	8.7	8.3	7.75
99.87	99.03	99.24	99.73	99.85	99.19	98.53	96.91	99.51	99.78	99.06	99.37	99.55	99.93	100.07
3	3.004	2.99	2.983	2.975	2.997	2.996	2.725	2.973	2.982	2.98	2.988	2.969	2.992	2.964
0	0.002	0.003	0	0.003	0.003	0	0.002	0	0.002	0.001	0.002	0	0.001	0.001
2.036	2.083	2.048	2.044	2.046	2.034	2.023	2.55	2.044	2.046	2.037	2.042	2.063	2.019	2.03
0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0.001	0	0	0	0.039
1.777	1.644	1.667	1.725	1.586	1.669	1.642	1.468	1.672	1.754	1.749	1.663	1.693	1.749	1.762
0.179	0.178	0.195	0.199	0.183	0.203	0.192	0.178	0.201	0.185	0.197	0.198	0.193	0.19	0.182
0.359	0.336	0.328	0.333	0.294	0.338	0.301	0.276	0.316	0.351	0.354	0.341	0.341	0.342	0.365
0.631	0.707	0.753	0.713	0.911	0.739	0.838	0.799	0.785	0.673	0.68	0.757	0.74	0.705	0.658
7.982	7.953	7.984	7.996	7.999	7.983	7.992	7.998	8	7.993	8	7.99	7.999	7.998	8
60.32	57.38	56.64	58.08	53.33	56.60	55.23	53.95	56.22	59.20	58.69	56.20	57.06	58.57	59.39
12.19	11.73	11.15	11.21	9.89	11.46	10.12	10.14	10.63	11.85	11.88	11.52	11.49	11.45	12.30
21.42	24.68	25.59	24.01	30.63	25.06	28.19	29.36	26.40	22.71	22.82	25.58	24.94	23.61	22.18
6.08	6.21	6.63	6.70	6.15	6.88	6.46	6.54	6.76	6.24	6.61	6.69	6.50	6.36	6.13

Complexo Mantiqueira - Rochas metabásicas (Amostra NLD-20A)
GRANADA

NLD20A	NLD20A	NLD20A	NLD20A	NLD20A	NLD20A	NLD20A	NLD20A	NLD20A	NLD20A	NLD20A	NLD20A	NLD20A	NLD20A	NLD20A
37.74	37.83	43.66	38.02	37.22	37.61	37.82	37.63	37.85	37.78	36.8	37.94	37.71	37.81	37.82
0.03	0.02	1.02	0.04	0.04	0	0	0.03	0.03	0.04	0.03	0.07	0.03	0	0.03
21.45	21.52	12.02	21.65	21.73	21.55	21.6	21.64	21.68	21.52	21.32	21.73	21.55	21.85	21.89
0.08	0	0	0	0.33	0.37	0.26	0	0	0	0	0	0	0	0
26.75	26.01	15.88	24.66	26.67	26.83	26.86	25.67	26.05	26.4	26.34	28.53	27.64	27.2	27.1
2.73	2.72	0.19	2.74	2.89	2.79	2.83	2.87	2.72	2.66	2.7	2.05	2.59	2.48	1.82
3.1	3.01	9.82	2.44	3.05	3.12	2.97	2.85	2.88	3.21	2.95	3.77	3.08	3.12	3.58
7.9	8.28	11.83	10.27	7.42	7.62	7.96	8.39	8.54	7.66	7.15	5.63	7.13	7.11	7.75
99.8	99.4	94.43	99.83	99.36	99.9	100.31	99.09	99.75	99.27	97.3	99.72	99.74	99.59	99.99
2.993	3.003	3.473	3.002	2.967	2.982	2.987	2.996	2.996	3.002	2.989	3.002	2.994	2.997	2.981
0.002	0.001	0.061	0.002	0.003	0	0	0.002	0.002	0.003	0.002	0.004	0.002	0	0.002
2.005	2.014	1.127	2.015	2.042	2.014	2.011	2.031	2.023	2.017	2.041	2.027	2.018	2.042	2.034
0.005	0	0	0	0.02	0.022	0.015	0	0	0	0	0	0	0	0.002
1.774	1.727	1.056	1.629	1.778	1.779	1.774	1.709	1.724	1.754	1.79	1.888	1.835	1.803	1.784
0.184	0.183	0.013	0.183	0.195	0.188	0.189	0.193	0.182	0.179	0.186	0.137	0.174	0.167	0.121
0.366	0.356	1.164	0.287	0.362	0.368	0.35	0.338	0.339	0.38	0.357	0.445	0.364	0.369	0.421
0.672	0.705	1.009	0.87	0.635	0.648	0.674	0.717	0.725	0.653	0.623	0.477	0.607	0.605	0.655
8	7.989	7.903	7.988	8	8	8	7.987	7.991	7.987	7.988	7.981	7.994	7.983	7.998
59.21	58.13	32.57	54.87	59.87	59.64	59.39	57.80	58.05	59.14	60.55	64.07	61.58	61.24	59.85
12.22	11.98	35.90	9.67	12.19	12.34	11.72	11.43	11.41	12.81	12.08	15.10	12.21	12.53	14.12
22.43	23.73	31.12	29.30	21.38	21.72	22.56	24.25	24.41	22.02	21.08	16.19	20.37	20.55	21.97
6.14	6.16	0.40	6.16	6.57	6.30	6.33	6.53	6.13	6.04	6.29	4.65	5.84	5.67	4.06

Rochas metabásicas (Amostra NLD-42C) GRANADA

Sample	T1-GRT1-1	T1-GRT1-2	T1-GRT1-3	T1-GRT2-4	T1-GRT2-5	T1-GRT2-6	T1-GRT3-7	T1-GRT4-8	T1-GRT4-9	T1-GRT4-10	T1-GRT5-11	T1-GRT6-12	T1-GRT6-13	T1-GRT6-14	T2-GRT7-15
Mineral	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
SiO2	37.37	37.23	37.92	37.68	37.18	37.09	37.16	37.23	37.11	37.36	37.47	37.18	37.05	37.72	37.57
TiO2	0.20	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.09	0.20	0.00	0.00	0.00	0.02	0.04	0.00	0.00
Al2O3	21.40	21.52	21.88	21.36	21.86	21.43	21.49	21.31	21.12	21.53	21.33	21.01	21.65	21.54	21.70
Cr2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.01	0.03	0.00	0.00	0.01	0.02
Fe2O3	1.16	2.14	1.29	1.62	1.83	1.02	1.46	1.86	0.83	1.25	1.73	1.70	2.66	0.38	1.46
FeO	28.28	27.46	28.17	28.22	27.51	27.17	27.73	28.28	27.93	28.28	27.71	27.96	27.25	28.30	27.91
MnO	1.89	2.16	2.05	2.00	1.87	1.86	2.26	2.06	2.01	2.00	2.04	2.11	2.08	1.98	1.82
MgO	2.94	3.03	3.12	3.09	3.10	3.10	3.05	2.89	2.96	2.96	3.25	2.97	3.17	3.21	3.28
CaO	7.35	7.38	7.46	7.24	7.42	7.63	7.06	7.16	7.12	7.10	7.21	7.08	7.28	7.09	7.28
Na2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.58	100.91	101.95	101.22	100.77	99.31	100.30	100.99	99.10	100.47	100.77	100.03	101.18	100.23	101.04
Oxygens	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
Si	2.96	2.94	2.96	2.96	2.93	2.96	2.95	2.94	2.98	2.96	2.96	2.96	2.92	2.98	2.95
Ti	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	2.00	2.00	2.01	1.98	2.03	2.02	2.01	1.99	2.00	2.01	1.98	1.97	2.01	2.01	2.01
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe3	0.07	0.13	0.08	0.10	0.11	0.06	0.09	0.11	0.05	0.07	0.10	0.10	0.16	0.02	0.09
Fe2	1.87	1.81	1.84	1.86	1.81	1.81	1.84	1.87	1.87	1.87	1.83	1.86	1.79	1.87	1.83
Mn	0.13	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.15	0.14	0.14	0.13	0.14	0.14	0.14	0.13	0.12
Mg	0.35	0.36	0.36	0.36	0.37	0.37	0.36	0.34	0.35	0.35	0.38	0.35	0.37	0.38	0.38
Ca	0.62	0.62	0.62	0.61	0.63	0.65	0.60	0.61	0.61	0.60	0.61	0.61	0.61	0.60	0.61
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sum	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Alm	63.07	61.72	62.10	62.68	61.89	61.28	62.33	63.29	62.97	63.32	61.85	62.91	61.45	62.77	62.13
Prp	11.66	12.13	12.24	12.23	12.45	12.43	12.20	11.51	11.86	11.80	12.92	11.88	12.75	12.67	13.01
Grs	20.99	21.25	21.06	20.60	21.39	22.03	20.33	20.52	20.56	20.35	20.60	20.42	21.04	20.14	20.77
Sps	4.28	4.90	4.60	4.49	4.26	4.26	5.15	4.67	4.60	4.53	4.63	4.79	4.76	4.42	4.10
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Rochas metabásicas (Amostra NLD-42C) GRANADA

Sample	T2-GRT7-16	T2-GRT7-17	T2-GRT7-18	T2-GRT7-19	T2-GRT7-20	T2-GRT7-21	T2-GRT8-22	T2-GRT8-23	T2-GRT8-24	T2-GRT8-25	T2-GRT8-26	T2-GRT9-27	T2-GRT9-28	T2-GRT9-29	T3-GRT10-30
Mineral	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
SiO2	37.18	37.52	37.52	37.75	37.57	37.22	37.92	37.30	37.44	37.70	37.75	37.82	37.65	37.43	37.59
TiO2	0.00	0.00	0.11	0.09	0.00	0.02	0.04	0.00	0.15	0.04	0.07	0.00	0.07	0.00	0.13
Al2O3	21.47	21.59	21.66	21.63	21.39	21.39	21.11	21.94	21.54	21.32	21.55	21.65	21.57	21.70	21.65
Cr2O3	0.00	0.01	0.01	0.00	0.04	0.00	0.00	0.03	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
Fe2O3	2.01	0.71	1.01	0.22	0.03	1.51	0.00	1.28	1.07	0.46	0.33	0.45	0.73	1.86	1.04
FeO	27.66	28.17	28.50	28.13	28.36	27.58	28.38	27.90	28.10	28.43	28.25	28.27	28.17	27.88	28.19
MnO	1.59	1.90	1.63	1.84	1.64	1.79	1.62	1.71	1.78	1.69	1.70	1.70	1.78	1.81	1.84
MgO	3.25	3.15	3.16	3.11	3.15	3.22	2.96	3.26	3.19	3.20	3.06	3.05	3.28	3.19	3.17
CaO	7.32	7.14	7.15	7.55	7.24	7.33	7.68	7.14	7.27	7.23	7.62	7.63	7.22	7.30	7.30
Na2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.49	100.19	100.75	100.32	99.42	100.07	99.72	100.55	100.54	100.08	100.33	100.56	100.46	101.18	100.93
Oxygens	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
Si	2.94	2.97	2.96	2.98	2.99	2.95	3.01	2.94	2.96	2.99	2.98	2.98	2.97	2.94	2.96
Ti	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Al	2.00	2.02	2.01	2.01	2.01	2.00	1.98	2.04	2.01	1.99	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe3	0.12	0.04	0.06	0.01	0.00	0.09	0.00	0.08	0.06	0.03	0.02	0.03	0.04	0.11	0.06
Fe2	1.83	1.87	1.88	1.86	1.89	1.83	1.89	1.84	1.86	1.89	1.87	1.86	1.86	1.83	1.86
Mn	0.11	0.13	0.11	0.12	0.11	0.12	0.11	0.11	0.12	0.11	0.11	0.11	0.12	0.12	0.12
Mg	0.38	0.37	0.37	0.37	0.37	0.38	0.35	0.38	0.38	0.38	0.36	0.36	0.39	0.37	0.37
Ca	0.62	0.61	0.60	0.64	0.62	0.62	0.65	0.60	0.62	0.61	0.65	0.64	0.61	0.61	0.62
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sum	8	8	8	8	8	8	7.995	8	8	8	8	8	8	8	8
Alm	62.24	62.83	63.43	62.24	63.18	61.98	62.87	62.60	62.61	63.02	62.54	62.53	62.52	62.31	62.58
Prp	13.03	12.53	12.52	12.25	12.46	12.86	11.70	13.02	12.64	12.64	12.05	12.04	12.97	12.72	12.55
Grs	21.09	20.37	20.38	21.39	20.65	21.09	21.80	20.50	20.73	20.53	21.59	21.60	20.50	20.88	20.75
Sps	3.64	4.28	3.68	4.12	3.71	4.06	3.63	3.88	4.01	3.81	3.82	3.82	4.00	4.08	4.12
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Rochas metabásicas (Amostra NLD-42C) GRANADA

Sample	T3-GRT10-31	T3-GRT10-32	T3-GRT10-33	T3-GRT10-34	T3-GRT10-35	T3-GRT10-36	T3-GRT10-37	T3-GRT11-38	T3-GRT11-39	T3-GRT11-40	T3-GRT12-41	T3-GRT13-42	T3-GRT14-43	T7-GRT15-44	T7-GRT15-45
Mineral	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
SiO2	37.65	37.96	37.87	37.46	37.52	37.12	37.66	37.59	37.37	43.20	37.26	37.40	37.47	37.49	37.82
TiO2	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.11	0.35	0.04	0.04	0.00	0.00
Al2O3	21.34	21.57	21.44	21.48	21.44	21.57	21.53	21.31	21.43	20.00	21.50	21.15	21.43	21.26	21.41
Cr2O3	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00
Fe2O3	1.10	0.76	0.94	1.26	1.17	0.88	1.79	1.05	1.94	0.00	0.39	2.05	1.35	0.62	0.58
FeO	27.99	28.63	28.26	27.81	28.00	27.90	28.01	28.36	27.55	25.79	29.11	27.39	28.18	28.43	28.60
MnO	1.84	1.75	1.75	1.78	1.67	1.84	1.98	1.88	1.74	1.69	1.67	1.87	1.99	1.77	1.82
MgO	3.18	3.19	3.18	3.28	3.14	2.99	3.16	3.04	3.25	2.84	2.91	3.19	3.01	3.06	3.05
CaO	7.41	7.35	7.48	7.27	7.47	7.24	7.31	7.22	7.52	6.78	6.92	7.64	7.24	7.13	7.28
Na2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.52	101.33	100.91	100.35	100.43	99.55	101.45	100.49	100.86	100.41	100.10	100.75	100.72	99.77	100.56
Oxygens	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
Si	2.97	2.97	2.98	2.96	2.97	2.96	2.95	2.97	2.94	3.31	2.96	2.95	2.96	2.98	2.99
Ti	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	1.99	1.99	1.99	2.00	2.00	2.03	1.99	1.99	1.99	1.81	2.01	1.97	2.00	2.00	1.99
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe3	0.07	0.04	0.06	0.07	0.07	0.05	0.11	0.06	0.11	0.00	0.02	0.12	0.08	0.04	0.03
Fe2	1.85	1.88	1.86	1.84	1.85	1.86	1.84	1.88	1.82	1.65	1.94	1.81	1.86	1.89	1.89
Mn	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.12	0.13	0.13	0.12	0.11	0.11	0.13	0.13	0.12	0.12
Mg	0.38	0.37	0.37	0.39	0.37	0.36	0.37	0.36	0.38	0.32	0.35	0.38	0.35	0.36	0.36
Ca	0.63	0.62	0.63	0.62	0.63	0.62	0.61	0.61	0.64	0.56	0.59	0.65	0.61	0.61	0.62
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sum	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7.776	8	8	8	8	8
Alm	62.17	62.94	62.42	62.12	62.44	62.87	62.23	63.11	61.60	62.51	64.92	61.20	62.86	63.46	63.27
Prp	12.61	12.47	12.49	13.07	12.47	12.03	12.53	12.04	12.92	12.24	11.57	12.69	11.95	12.17	12.02
Grs	21.08	20.69	21.16	20.80	21.31	20.91	20.80	20.61	21.54	21.09	19.75	21.89	20.70	20.38	20.62
Sps	4.14	3.89	3.93	4.02	3.78	4.19	4.44	4.24	3.93	4.16	3.76	4.23	4.49	3.99	4.08
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Rochas metabásicas (Amostra NLD-42C) GRANADA

Sample	T7-GRT15-46	T6-GRT16-47	T6-GRT17-48	T6-GRT18-49	T6-GRT18-50	T6-GRT18-51	T6-GRT19-52	T6-GRT20-53	T6-GRT20-54	T6-GRT20-55	T6-GRT21-56	T6-GRT22-57	T6-GRT22-58	T6-GRT22-59
Mineral	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
SiO2	37.85	36.65	36.96	36.54	37.02	37.21	37.08	36.90	36.71	37.41	37.38	36.95	36.98	37.17
TiO2	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.04	0.02	0.07	0.00	0.00	0.02	0.13	0.07	0.13
Al2O3	21.29	20.84	21.07	21.14	21.12	21.45	21.49	21.07	20.99	21.65	20.92	21.32	21.15	21.21
Cr2O3	0.00	0.03	0.03	0.00	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	0.03	0.03	0.00
Fe2O3	0.00	1.32	2.21	2.77	2.59	2.07	1.56	2.77	3.29	2.15	2.06	2.77	2.42	0.85
FeO	28.27	27.57	27.57	27.20	27.50	28.00	28.25	27.58	27.55	28.33	28.40	27.24	27.54	28.12
MnO	1.73	1.72	1.62	1.51	1.61	1.55	1.57	1.64	1.62	1.59	1.65	1.70	1.63	1.67
MgO	3.10	3.07	3.14	3.01	3.22	3.16	3.08	3.13	3.09	3.08	2.90	3.19	3.20	3.06
CaO	7.46	7.07	7.32	7.48	7.35	7.27	7.05	7.29	7.16	7.25	7.38	7.53	7.32	7.26
Na2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	99.70	98.28	99.92	99.66	100.45	100.79	100.10	100.45	100.41	101.47	100.76	100.86	100.33	99.46
Oxygens	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
Si	3.01	2.96	2.94	2.92	2.93	2.94	2.95	2.93	2.92	2.94	2.96	2.92	2.93	2.97
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01
Al	1.99	1.99	1.98	1.99	1.97	2.00	2.01	1.97	1.97	2.00	1.95	1.98	1.98	2.00
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe3	0.00	0.08	0.13	0.17	0.15	0.12	0.09	0.17	0.20	0.13	0.12	0.16	0.14	0.05
Fe2	1.88	1.87	1.84	1.82	1.82	1.85	1.88	1.83	1.83	1.86	1.88	1.80	1.83	1.88
Mn	0.12	0.12	0.11	0.10	0.11	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
Mg	0.37	0.37	0.37	0.36	0.38	0.37	0.36	0.37	0.37	0.36	0.34	0.38	0.38	0.36
Ca	0.64	0.61	0.63	0.64	0.62	0.62	0.60	0.62	0.61	0.61	0.63	0.64	0.62	0.62
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sum	7.996	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Alm	62.66	62.89	62.40	62.29	62.11	62.89	63.71	62.47	62.80	63.33	63.53	61.50	62.22	63.12
Prp	12.25	12.47	12.67	12.26	12.95	12.65	12.36	12.62	12.55	12.29	11.58	12.82	12.87	12.23
Grs	21.19	20.66	21.23	21.95	21.26	20.92	20.37	21.15	20.91	20.77	21.14	21.78	21.20	20.86
Sps	3.90	3.98	3.70	3.49	3.68	3.54	3.56	3.75	3.74	3.61	3.75	3.90	3.71	3.80
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Rochas metabásicas (Amostra NLD-42D) GRANADA

Sample	T1-GRT1-1	T1-GRT2-2	T1-GRT2-3	T1-GRT2-4	T1-GRT2-5	T1-GRT3-6	T1-GRT4-7	T1-GRT4-8	T1-GRT4-9	T1-GRT5-10	T1-GRT5-11	T1-GRT5-12	T1-GRT3-13	T1-GRT6-14	T1-GRT6-15
Mineral	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
SiO2	37.68	37.44	37.83	37.38	37.66	37.19	37.45	37.40	37.94	37.62	37.62	37.93	37.31	36.96	37.57
TiO2	0.04	0.00	0.04	0.07	0.07	0.04	0.00	0.04	0.07	0.00	0.00	0.00	0.09	0.04	0.02
Al2O3	21.45	21.29	21.72	21.72	21.11	21.68	21.21	21.40	21.61	21.57	21.62	21.91	21.49	21.23	21.27
Cr2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.04	0.00	0.03	0.00	0.01	0.01	0.01	0.04	0.03
Fe2O3	0.58	1.73	0.40	1.25	0.23	1.02	1.34	0.56	0.37	1.15	0.46	0.00	1.82	1.22	1.01
FeO	28.49	28.53	29.31	28.18	28.89	28.29	28.28	28.54	29.11	28.62	28.54	28.98	28.26	27.71	29.46
MnO	1.36	1.28	1.17	1.45	1.43	1.17	1.19	1.21	1.31	1.38	1.17	1.23	1.26	1.13	1.11
MgO	3.36	3.32	3.32	3.37	3.27	3.07	3.22	3.16	3.18	3.23	3.24	3.20	3.28	3.08	2.86
CaO	7.20	7.05	6.92	7.09	6.96	7.46	7.46	7.30	7.27	7.17	7.40	6.97	7.26	7.70	7.21
Na2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.17	100.63	100.71	100.51	99.64	99.92	100.18	99.62	100.89	100.75	100.06	100.23	100.79	99.12	100.54
Oxygens	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
Si	2.98	2.958	2.978	2.949	2.998	2.952	2.968	2.977	2.983	2.964	2.978	2.992	2.942	2.958	2.975
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Al	2.00	1.98	2.02	2.02	1.98	2.03	1.98	2.01	2.00	2.00	2.02	2.04	2.00	2.00	1.99
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe3	0.03	0.10	0.02	0.07	0.01	0.06	0.08	0.03	0.02	0.07	0.03	0.00	0.11	0.07	0.06
Fe2	1.89	1.89	1.93	1.86	1.92	1.88	1.88	1.90	1.91	1.89	1.89	1.91	1.86	1.86	1.95
Mn	0.09	0.09	0.08	0.10	0.10	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Mg	0.40	0.39	0.39	0.40	0.39	0.36	0.38	0.38	0.37	0.38	0.38	0.38	0.39	0.37	0.34
Ca	0.61	0.60	0.58	0.60	0.59	0.63	0.63	0.62	0.61	0.61	0.63	0.59	0.61	0.66	0.61
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sum	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	7,989	8,000	8,000	8,000
Alm	63.21	63.73	64.77	63.01	64.09	63.61	63.17	63.76	64.08	63.64	63.45	64.59	63.27	62.65	65.57
Prp	13.28	13.18	13.05	13.41	12.92	12.29	12.80	12.58	12.49	12.82	12.83	12.74	13.07	12.43	11.35
Grs	20.46	20.18	19.56	20.29	19.79	21.46	21.33	20.91	20.52	20.44	21.10	19.90	20.81	22.32	20.56
Sps	3.05	2.91	2.62	3.29	3.20	2.64	2.70	2.75	2.91	3.10	2.62	2.77	2.85	2.60	2.52
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Rochas metabásicas (Amostra NLD-42D) GRANADA

Sample	T1-GRT6-16	T1-GRT6-17	T1-GRT6-18	T2-GRT7-19	T2-GRT7-20	T2-GRT7-21	T2-GRT7-22	T2-GRT7-23	T2-GRT8-24	T2-GRT9-25	T2-GRT9-26	T2-GRT9-27	T2-GRT9-28	T2-GRT9-29	T2-GRT9-30
Mineral	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
SiO2	37.93	37.75	37.59	37.40	37.24	37.27	37.64	37.29	37.30	37.73	37.29	37.86	37.57	37.41	37.23
TiO2	0.09	0.22	0.00	0.04	0.04	0.11	0.04	0.13	0.28	0.02	0.02	0.13	0.00	0.15	0.00
Al2O3	21.12	23.66	21.37	21.20	21.39	21.74	21.45	21.70	21.39	21.16	21.39	21.08	21.36	20.93	21.45
Cr2O3	0.02	0.03	0.01	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02	0.05	0.00
Fe2O3	0.00	0.00	1.30	1.47	1.45	1.25	0.66	0.51	1.12	0.57	1.83	1.50	0.31	0.30	1.20
FeO	29.24	28.46	28.71	27.90	28.33	28.60	28.89	28.52	29.33	28.68	28.15	28.30	28.40	28.15	27.86
MnO	1.00	1.03	1.05	1.10	1.17	1.17	1.14	1.16	1.15	1.29	1.23	1.17	1.25	1.31	1.25
MgO	2.85	2.88	3.24	3.06	3.27	3.24	3.31	3.36	3.00	3.45	3.45	3.54	3.43	3.50	3.47
CaO	7.30	6.86	7.33	8.02	7.20	7.11	7.09	7.04	7.04	7.01	7.06	7.47	7.14	7.14	7.18
Na2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	99.55	100.89	100.60	100.22	100.10	100.48	100.24	99.71	100.63	99.92	100.42	101.06	99.48	98.94	99.63
Oxygens	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
Si	3.019	2.941	2.967	2.963	2.954	2.944	2.977	2.961	2.952	2.992	2.948	2.972	2.989	2.994	2.959
Ti	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
Al	1.98	2.17	1.99	1.98	2.00	2.02	2.00	2.03	2.00	1.98	1.99	1.95	2.00	1.97	2.01
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe3	0.00	0.00	0.08	0.09	0.09	0.07	0.04	0.03	0.07	0.03	0.11	0.09	0.02	0.02	0.07
Fe2	1.95	1.85	1.90	1.85	1.88	1.89	1.91	1.90	1.94	1.90	1.86	1.86	1.89	1.88	1.85
Mn	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09	0.08	0.08	0.08	0.09	0.08
Mg	0.34	0.34	0.38	0.36	0.39	0.38	0.39	0.40	0.35	0.41	0.41	0.42	0.41	0.42	0.41
Ca	0.62	0.57	0.62	0.68	0.61	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.63	0.61	0.61	0.61
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sum	7,984	7,959	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Alm	65.42	65.51	63.90	62.35	63.58	64.05	64.16	63.80	65.41	63.56	63.14	62.36	63.23	62.76	62.60
Prp	11.36	11.84	12.84	12.20	13.09	12.91	13.12	13.40	11.89	13.63	13.77	13.92	13.62	13.89	13.89
Grs	20.93	20.25	20.90	22.95	20.70	20.40	20.17	20.17	20.11	19.91	20.28	21.10	20.34	20.39	20.68
Sps	2.28	2.40	2.36	2.49	2.64	2.64	2.55	2.63	2.59	2.91	2.81	2.62	2.81	2.96	2.84
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Rochas metabásicas (Amostra NLD-42D) GRANADA

Sample Mineral	T2-GRT9-31	T2-GRT9-32	T2-GRT9-33	T7-GRT10-34	T7-GRT10-35	T7-GRT10-36	T7-GRT10-37	T7-GRT10-38	T7-GRT10-39	T7-GRT10-40	T7-GRT11-41	T7-GRT11-42	T7-GRT12-43	T7-GRT12-44	T7-GRT12-45
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
SiO2	37.63	37.40	37.40	37.28	37.51	37.58	37.27	37.26	36.98	37.39	37.50	37.26	37.63	37.46	37.49
TiO2	0.28	0.13	0.20	0.00	0.04	0.15	0.39	0.22	0.09	0.00	0.31	0.11	0.04	0.15	0.07
Al2O3	21.13	20.89	21.10	21.49	21.27	21.19	21.26	21.14	21.09	21.46	21.20	21.63	21.57	21.50	21.69
Cr2O3	0.04	0.00	0.04	0.00	0.01	0.03	0.02	0.02	0.03	0.00	0.00	0.05	0.01	0.02	0.01
Fe2O3	1.56	1.32	1.72	1.28	0.54	1.62	1.86	0.81	1.81	0.35	0.90	1.08	0.41	0.76	1.14
FeO	28.75	28.23	28.09	28.18	28.07	27.99	27.44	27.47	27.23	28.31	28.42	28.31	29.31	28.61	28.85
MnO	1.20	1.31	1.25	1.03	1.05	0.99	0.99	1.05	1.02	0.99	1.06	1.06	0.94	1.01	1.01
MgO	3.35	3.35	3.47	2.85	2.89	3.03	3.09	3.06	3.09	2.86	3.34	3.23	3.13	3.23	3.21
CaO	7.26	7.25	7.30	8.03	8.28	8.33	8.56	8.40	8.21	8.03	7.55	7.42	7.18	7.44	7.25
Na2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	101.19	99.89	100.56	100.13	99.65	100.91	100.89	99.42	99.54	99.40	100.28	100.14	100.23	100.19	100.72
Oxygens	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
Si	2.958	2.974	2.954	2.958	2.984	2.959	2.935	2.969	2.948	2.981	2.967	2.95	2.979	2.965	2.955
Ti	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00
Al	1.96	1.96	1.96	2.01	2.00	1.97	1.97	1.99	1.98	2.02	1.98	2.02	2.01	2.01	2.02
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe3	0.09	0.08	0.10	0.08	0.03	0.10	0.11	0.05	0.11	0.02	0.05	0.06	0.02	0.05	0.07
Fe2	1.89	1.88	1.86	1.87	1.87	1.84	1.81	1.83	1.82	1.89	1.88	1.88	1.94	1.89	1.90
Mn	0.08	0.09	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.07	0.07
Mg	0.39	0.40	0.41	0.34	0.34	0.36	0.36	0.36	0.37	0.34	0.39	0.38	0.37	0.38	0.38
Ca	0.61	0.62	0.62	0.68	0.71	0.70	0.72	0.72	0.70	0.69	0.64	0.63	0.61	0.63	0.61
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sum	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Alm	63.56	63.00	62.58	63.22	62.56	62.13	61.10	61.41	61.51	63.37	63.02	63.42	65.09	63.69	64.28
Prp	13.21	13.32	13.79	11.39	11.45	11.96	12.27	12.17	12.42	11.37	13.17	12.88	12.37	12.81	12.74
Grs	20.54	20.73	20.84	23.06	23.61	23.69	24.40	24.04	23.73	23.01	21.44	21.30	20.42	21.22	20.68
Sps	2.69	2.95	2.80	2.33	2.38	2.22	2.23	2.38	2.34	2.25	2.38	2.40	2.11	2.29	2.30
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Rochas metabásicas (Amostra NLD-42D) GRANADA

Sample Mineral	T3-GRT13-46	T3-GRT13-47	T3-GRT13-48	T3-GRT13-49	T3-GRT13-50	T3-GRT13-51	T5-GRT14-52	T5-GRT14-53	T5-GRT14-54	T5-GRT15-55	T5-GRT15-56	T5-GRT15-57	T5-GRT15-58	T5-GRT15-59	T5-GRT15-60
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
SiO2	37.40	37.95	37.55	37.84	37.13	37.52	36.75	37.21	37.85	37.63	37.13	37.12	37.51	37.55	36.82
TiO2	0.00	0.07	0.07	0.00	0.11	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.09
Al2O3	21.18	21.47	21.37	21.45	21.46	21.03	21.53	21.46	21.59	21.44	21.35	21.68	21.59	21.28	21.29
Cr2O3	0.01	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.05	0.00	0.01	0.04	0.01
Fe2O3	1.07	0.10	0.71	0.07	1.71	0.37	1.31	1.74	0.00	0.64	1.10	1.37	0.00	0.55	0.87
FeO	27.72	28.44	28.15	28.40	27.72	28.44	27.92	27.69	28.18	28.50	27.29	27.82	28.59	28.83	27.94
MnO	1.90	1.86	1.87	1.79	1.77	1.74	1.79	1.76	1.75	1.75	1.78	1.74	1.75	1.77	1.83
MgO	3.24	3.19	3.26	3.25	3.23	3.19	3.09	3.24	3.27	3.14	3.40	3.35	2.88	3.02	3.09
CaO	7.26	7.34	7.11	7.22	7.19	7.00	6.92	7.21	7.25	7.13	7.20	6.99	7.02	6.94	6.85
Na2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	99.77	100.45	100.09	100.00	100.34	99.29	99.53	100.34	99.91	100.21	99.32	100.20	99.34	99.97	98.81
Oxygens	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
Si	2.975	2.994	2.977	2.997	2.941	2.998	2.935	2.946	2.997	2.98	2.962	2.94	2.993	2.986	2.959
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
Al	1.99	2.00	2.00	2.00	2.00	1.98	2.03	2.00	2.02	2.00	2.01	2.02	2.03	1.99	2.02
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe3	0.06	0.01	0.04	0.00	0.10	0.02	0.08	0.10	0.00	0.04	0.07	0.08	0.00	0.03	0.05
Fe2	1.84	1.88	1.88	1.88	1.84	1.90	1.87	1.83	1.87	1.89	1.82	1.84	1.91	1.92	1.88
Mn	0.13	0.12	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.13
Mg	0.38	0.38	0.39	0.38	0.38	0.38	0.37	0.38	0.39	0.37	0.41	0.40	0.34	0.36	0.37
Ca	0.62	0.62	0.60	0.61	0.61	0.60	0.59	0.61	0.62	0.61	0.62	0.59	0.60	0.59	0.59
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sum	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	7,996	8,000	8,000	8,000	7,992	8,000	8,000
Alm	61.98	62.63	62.80	62.78	62.31	63.42	63.28	62.23	62.51	63.36	61.48	62.52	64.29	64.20	63.37
Prp	12.91	12.51	12.85	12.78	12.96	12.67	12.49	13.00	12.93	12.42	13.67	13.40	11.52	11.99	12.51
Grs	20.81	20.72	20.17	20.43	20.69	19.97	20.12	20.77	20.60	20.30	20.80	20.12	20.22	19.83	19.90
Sps	4.30	4.14	4.17	4.01	4.04	3.93	4.11	4.00	3.95	3.93	4.05	3.97	3.98	3.99	4.22
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Rochas metabásicas (Amostra NLD-42D) GRANADA

[illegible]

Rochas metabásicas (Amostra NLD-42D) GRANADA

[illegible]

Rochas metabásicas (Amostra NLD-7D)
PLAGIOCLÁSIO

Sample	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D
SiO2	56.78	57.73	56.71	57.43	57.14	54.86	57.06	57.64	58.38	56.59	57.51	55.15	57.66	56.27	56.87	57.22	51.05
TiO2	26.95	27.23	27	27.14	26.98	27.7	26.96	27.04	26.92	26.23	26.99	27.29	26.97	27.1	27.19	27.21	31.05
Al2O3	0.02	0.04	0.05	0	0.04	0.01	0.03	0.01	0.01	0.03	0.05	0	0.02	0	0	0	0.01
Fe2O3	0.26	0.09	0	0.1	0	0.17	0.18	0.17	0.2	0.55	0.08	0.14	0.01	0.35	0.15	0.09	0.6
MnO	0	0.01	0	0	0	0.01	0	0	0	0.01	0	0	0	0.01	0	0	0
MgO	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0	0	0.04	0.01	0.02	0	0	0	0	0.11
CaO	9.09	9.13	9.13	9.22	8.93	8.81	9.04	8.81	8.71	8.63	9.05	9.1	9.15	9.02	9.34	9.42	8.44
Na2O	6.41	6.38	6.31	6.21	6.39	6.3	6.44	6.46	6.31	6.5	6.52	6.25	6.34	6.54	6.22	6.36	5.17
K2O	0.18	0.16	0.19	0.2	0.21	0.18	0.18	0.19	0.16	0.17	0.18	0.2	0.2	0.22	0.19	0.2	0.2
Totals	99.7	100.76	99.38	100.31	99.7	98.05	99.89	100.31	100.69	98.75	100.39	98.14	100.36	99.52	99.97	100.5	96.62
Si	2.664	2.675	2.667	2.674	2.676	2.624	2.67	2.681	2.699	2.678	2.676	2.635	2.682	2.65	2.661	2.664	2.493
Ti	0.951	0.949	0.955	0.95	0.95	0.996	0.949	0.946	0.936	0.934	0.945	0.98	0.943	0.96	0.957	0.953	1.14
Al	0.001	0.002	0.003	0	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.003	0	0.001	0	0	0	0
Fe3	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0.003	0	0.001	0	0	0	0	0.008
Ca	0.457	0.453	0.46	0.46	0.448	0.451	0.453	0.439	0.431	0.438	0.451	0.466	0.456	0.455	0.468	0.47	0.441
Na	0.583	0.573	0.576	0.561	0.58	0.584	0.584	0.583	0.566	0.596	0.588	0.578	0.572	0.598	0.564	0.574	0.489
K	0.011	0.01	0.011	0.012	0.013	0.011	0.011	0.011	0.01	0.01	0.011	0.012	0.012	0.013	0.011	0.012	0.012
Sum	4.676	4.665	4.671	4.661	4.669	4.674	4.675	4.667	4.649	4.68	4.676	4.678	4.666	4.689	4.667	4.675	4.606
An	43.5	43.7	43.9	44.5	43.0	43.1	43.2	42.5	42.8	42.0	43.0	44.1	43.8	42.7	44.9	44.5	46.8
Ab	55.5	55.3	55.0	54.3	55.7	55.8	55.7	56.4	56.2	57.1	56.0	54.7	55.0	56.1	54.1	54.4	51.9
Or	1.1	1.0	1.1	1.2	1.3	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.1	1.1	1.3

Rochas metabásicas (Amostra NLD-7D)
PLAGIOCLÁSIO

Sample	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D
SiO ₂	57.31	56.86	57.24	56.48	56.34	56.44	57.21	56.98	57.02	58.01
TiO ₂	27.33	27.01	27.07	27.02	26.93	26.9	27.43	27.18	27.02	26.99
Al ₂ O ₃	0.01	0	0	0	0.02	0.03	0	0.03	0.01	0
Fe ₂ O ₃	0.24	0.17	0.07	0.09	0.36	0.07	0.07	0	0.06	0.25
MnO	0.03	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0	0.01	0.02	0
MgO	0	0.01	0	0	0.01	0.01	0.01	0	0	0
CaO	9.22	8.81	9.07	9.21	9.04	9.3	9.36	9.39	9.31	9
Na ₂ O	6.3	6.51	6.25	6.22	6.29	6.07	6.22	6.16	6.17	6.2
K ₂ O	0.21	0.22	0.16	0.16	0.19	0.17	0.17	0.19	0.17	0.2
Totals	100.67	99.6	99.86	99.19	99.19	98.97	100.47	99.93	99.78	100.65
Si	2.663	2.669	2.675	2.662	2.658	2.665	2.662	2.665	2.67	2.688
Ti	0.955	0.953	0.952	0.958	0.956	0.955	0.96	0.956	0.951	0.94
Al	0.001	0	0	0	0.001	0.001	0	0.001	0.001	0
Fe ₃	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0	0.001	0	0	0.001	0	0	0	0	0
Ca	0.459	0.443	0.454	0.465	0.457	0.471	0.467	0.471	0.467	0.447
Na	0.568	0.592	0.567	0.569	0.576	0.555	0.561	0.558	0.56	0.557
K	0.013	0.013	0.01	0.01	0.011	0.01	0.01	0.012	0.01	0.012
Sum	4.668	4.678	4.66	4.668	4.673	4.661	4.663	4.663	4.662	4.652
An	44.1	42.3	44.0	44.5	43.8	45.5	45.0	45.2	45.0	44.0
Ab	54.6	56.5	55.0	54.5	55.2	53.6	54.0	53.6	54.0	54.8
Or	1.3	1.3	1.0	1.0	1.1	1.0	1.0	1.2	1.0	1.2

Rochas metabásicas (Amostra NLD-20A)
PLAGIOCLÁSIO

Sample	NLD-20A	NLD-20A	NLD-20A	NLD-20A	NLD-20A	NLD-20A	NLD-20A	NLD-20A	NLD-20A	NLD-20A	NLD-20A	NLD-20A	NLD-20A	NLD-20A	NLD-20A	NLD-20A	NLD-20A
SiO2	54.72	55.04	54.58	57.17	53.28	50.47	53.45	53.58	55.29	54.72	53.84	55.88	54.72	54.86	55.46	52.03	50.99
TiO2	28.31	28.31	28.59	26.89	28.91	30.91	29.14	28.53	28.32	28.62	28.93	27.55	27.34	27.25	27.72	30.26	29.47
Al2O3	0.01	0.03	0.01	0.07	0	0.01	0.02	0.01	0	0	0.01	0.01	0.07	0	0.02	0.06	0
Fe2O3	0.16	0.11	0	0.06	0.05	0.12	0.05	0	0.13	0.13	0.13	0.17	0.04	0.27	0.27	0.23	0.36
MnO	0	0.01	0	0.03	0.02	0	0.04	0	0	0	0.01	0	0.01	0.01	0	0	0.02
MgO	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0	0.03
CaO	10.56	10.7	11.09	9.04	11.41	11.05	11.67	11.57	10.68	11.03	11.54	9.85	10.06	9.77	10.14	12.74	11.51
Na2O	5.51	5.35	5.13	6.28	4.96	4.56	4.89	4.92	5.59	5.11	5.07	5.61	5.55	5.79	5.82	4.14	4.08
K2O	0.12	0.1	0.09	0.14	0.1	0.07	0.11	0.03	0.11	0.14	0.07	0.15	0.14	0.11	0.16	0.12	0.34
Totals	99.4	99.64	99.48	99.69	98.72	97.21	99.37	98.63	100.12	99.75	99.59	99.23	97.92	98.06	99.6	99.59	96.79
Si	2.591	2.597	2.582	2.677	2.549	2.463	2.543	2.563	2.598	2.583	2.553	2.637	2.621	2.625	2.616	2.482	2.498
Ti	1.008	1.004	1.017	0.947	1.04	1.135	1.042	1.026	1.001	1.016	1.032	0.978	0.985	0.981	0.984	1.086	1.086
Al	0	0.002	0.001	0.004	0	0.001	0.001	0.001	0	0	0	0	0.004	0	0.001	0.003	0
Fe3	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
Mn	0	0	0	0.001	0.001	0	0.002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001
Mg	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0	0.002
Ca	0.536	0.541	0.562	0.454	0.585	0.578	0.595	0.593	0.538	0.558	0.586	0.498	0.516	0.501	0.513	0.651	0.604
Na	0.506	0.49	0.47	0.57	0.46	0.432	0.451	0.456	0.509	0.468	0.466	0.514	0.515	0.537	0.532	0.383	0.388
K	0.007	0.006	0.005	0.008	0.006	0.00	0.01	0.002	0.006	0.009	0.004	0.009	0.009	0.007	0.01	0.007	0.021
Sum	4.655	4.644	4.638	4.663	4.643	4.62	4.64	4.64	4.657	4.637	4.647	4.643	4.653	4.661	4.666	4.622	4.614
An	51.1	52.2	54.2	44.0	55.7	57.0	56.5	56.4	51.1	53.9	55.5	48.8	49.6	47.9	48.6	62.5	59.6
Ab	48.2	47.3	45.3	55.2	43.8	42.6	42.8	43.4	48.3	45.2	44.1	50.3	49.5	51.4	50.4	36.8	38.3
Or	0.7	0.6	0.5	0.8	0.6	0.4	0.7	0.2	0.6	0.9	0.4	0.9	0.9	0.7	0.9	0.7	2.1

Rochas metabásicas (Amostra NLD-20A)
PLAGIOCLÁSIO

Sample	NLD-20A	NLD-20A	NLD-20A	NLD-20A	NLD-20A	NLD-20A	NLD-20A	NLD-20A	NLD-20A	NLD-20A	NLD-20A	NLD-20A	NLD-20A	NLD-20A	NLD-20A	NLD-20A
SiO2	54.71	52.13	51.74	52.45	54.33	53.47	53.33	51.45	51.92	52.12	52.22	52.9	50.58	55.73	55.38	56.22
TiO2	28.15	30.64	30.24	29.76	28.66	29.25	29.53	30.37	30.39	30.22	29.89	29.42	29.16	27.72	27.81	27.76
Al2O3	0.01	0	0	0.01	0	0	0.01	0	0.01	0.03	0.05	0.04	0.04	0.01	0.01	0
Fe2O3	0.14	0.08	0.14	0.11	0.21	0.1	0.15	0.12	0.09	0.01	0.12	0.04	0.14	0.11	0.18	0.1
MnO	0.03	0.04	0	0.05	0	0.01	0	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0.02	0
MgO	0.02	0.01	0	0	0	0.01	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0	0
CaO	10.76	13.26	12.78	12.54	11.03	11.87	12.29	13.24	13.1	12.97	12.76	12.03	12.16	10.12	10.1	10.24
Na2O	5.54	4.05	4.12	4.33	5.25	4.82	4.72	3.83	3.96	4.1	4.49	4.31	4.29	5.75	5.77	5.77
K2O	0.16	0.04	0.08	0.07	0.09	0.1	0.07	0.09	0.1	0.1	0.07	0.08	0.1	0.15	0.14	0.16
Totals	99.51	100.26	99.1	99.33	99.59	99.63	100.09	99.12	99.57	99.57	99.63	98.84	96.47	99.61	99.41	100.24
Si	2.59	2.473	2.481	2.504	2.572	2.538	2.524	2.469	2.478	2.486	2.491	2.529	2.49	2.625	2.616	2.63
Ti	1.002	1.093	1.09	1.069	1.021	1.044	1.051	1.096	1.091	1.084	1.072	1.058	1.08	0.982	0.988	0.977
Al	0.001	0	0	0.001	0	0	0	0	0.001	0.002	0.003	0.002	0.002	0.001	0.001	0
Fe3	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
Mn	0.001	0.002	0	0.002	0	0	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0.001	0
Mg	0.001	0.001	0	0	0	0.001	0	0	0	0.001	0.001	0.001	0.001	0	0	0
Ca	0.546	0.674	0.656	0.642	0.56	0.604	0.623	0.681	0.67	0.663	0.652	0.616	0.642	0.511	0.511	0.513
Na	0.509	0.373	0.383	0.401	0.482	0.444	0.433	0.356	0.366	0.379	0.415	0.4	0.409	0.525	0.529	0.524
K	0.01	0.003	0.005	0.005	0.005	0.006	0.004	0.005	0.006	0.006	0.005	0.005	0.006	0.009	0.008	0.01
Sum	4.664	4.62	4.621	4.627	4.647	4.641	4.641	4.613	4.615	4.621	4.644	4.613	4.635	4.658	4.661	4.657
An	51.3	64.2	62.8	61.3	53.5	57.3	58.8	65.4	64.3	63.3	60.8	60.3	60.7	48.9	48.8	49.0
Ab	47.8	35.5	36.7	38.3	46.0	42.1	40.8	34.2	35.1	36.2	38.7	39.2	38.7	50.2	50.5	50.0
Or	0.9	0.3	0.5	0.5	0.5	0.6	0.4	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.9	0.8	1.0

Rochas metabásicas (Amostra NLD-42C) FELDSPATO

Sample Mineral	T6-PL1-1 fsp	T6-PL1-2 fsp	T6-PL1-3 fsp	T6-PL1-4 fsp	T6-PL2-5 fsp	T6-PL2-6 fsp	T6-PL3-7 fsp	T6-PL3-8 fsp	T6-PL3-9 fsp	T6-PL4-10 fsp	T6-PL5-11 fsp	T6-PL5-12 fsp	T6-PL5-13 fsp	T6-PL6-14 fsp	T2-KFS1-15 fsp
SiO2	57.56	57.16	57.43	56.61	56.81	58.64	58.09	57.44	58.83	59.63	58.41	59.36	58.04	57.95	63.07
TiO2	0	0.09	0	0	0.12	0	0.02	0	0.02	0	0.02	0	0.07	0.07	0
Al2O3	26.41	26.77	26.74	26.44	26.54	26.7	27.1	27.16	26.98	26.06	26.16	25.61	26.63	27.26	19.2
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0	0	0	0.03	0.01	0	0	0.01	0	0.01	0.02	0	0	0	0.02
MgO	0.01	0	0	0.11	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0.03
CaO	7.83	8.36	8.22	8.24	7.99	8.33	8.47	8.67	8.39	7.63	7.84	6.99	8	8.39	0.13
Na2O	6.94	6.4	6.49	6.38	6.54	6.56	6.52	6.41	6.69	7.13	6.9	6.96	6.64	6.47	0.39
K2O	0.17	0.18	0.17	0.18	0.28	0.28	0.25	0.23	0.28	0.32	0.26	0.31	0.3	0.34	16.2
Total	98.91	98.97	99.05	97.98	98.31	100.51	100.46	99.94	101.2	100.77	99.61	99.22	99.68	100.47	99.03
Oxygens	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Si	2.6	2.58	2.588	2.577	2.582	2.604	2.584	2.571	2.596	2.638	2.617	2.658	2.598	2.576	2.948
Ti	0	0.003	0	0	0.004	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.002	0.002	0
Al	1.406	1.424	1.42	1.419	1.422	1.398	1.421	1.433	1.404	1.359	1.381	1.352	1.405	1.428	1.058
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0.002	0.005	0.006	0.014	0.005	0.005	0.004	0.005	0.006	0.006	0.006	0.007	0.007	0.009	0.004
Fe2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mn	0	0	0	0.001	0.001	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0.001
Mg	0.001	0	0	0.007	0.001	0	0	0.001	0.001	0	0	0	0	0	0.002
Ca	0.379	0.404	0.397	0.402	0.389	0.396	0.404	0.416	0.397	0.361	0.376	0.335	0.384	0.4	0.007
Na	0.608	0.56	0.567	0.563	0.577	0.565	0.562	0.556	0.573	0.612	0.599	0.604	0.576	0.557	0.035
K	0.01	0.011	0.01	0.01	0.016	0.016	0.014	0.013	0.016	0.018	0.015	0.018	0.017	0.02	0.966
Sum	5.005	4.987	4.987	4.993	4.996	4.984	4.991	4.995	4.992	4.994	4.996	4.973	4.99	4.991	5.021
An	38.01	41.44	40.76	41.23	39.61	40.53	41.22	42.23	40.26	36.43	37.98	35.01	39.30	40.94	0.69
Ab	60.98	57.44	58.21	57.74	58.76	57.83	57.35	56.45	58.11	61.76	60.51	63.11	58.96	57.01	3.47
Or	1.00	1.13	1.03	1.03	1.63	1.64	1.43	1.32	1.62	1.82	1.52	1.88	1.74	2.05	95.83
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Rochas metabásicas (Amostra NLD-42C) FELDSPATO

Sample	T2-PL7-16	T2-PL7-17	T2-PL7-18	T2-PL7-19	T2-PL7-20	T3-PL8-21	T3-PL8-22	T3-PL8-23	T3-PL8-24	T3-PL8-25	T3-PL8-26	T3-PL8-27	T3-PL8-28	T3-PL8-29	T3-PL8-30
Mineral	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp
SiO2	57.25	57.19	57.17	57.04	56.87	57.87	58.07	58.08	57.34	57.56	58.42	57.94	58.05	57.53	57.48
TiO2	0	0	0.05	0.09	0.02	0.16	0.07	0.16	0.05	0	0	0.02	0	0	0
Al2O3	26.84	26.63	27.11	26.89	27.02	27	27.27	27.04	26.99	26.87	26.61	26.97	26.96	27.03	26.99
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0.02	0	0	0.04	0.04	0	0	0.02	0.02	0	0.01	0.01	0	0.01	0
MgO	0	0	0.03	0	0.01	0.01	0	0.02	0	0.01	0	0	0.01	0	0
CaO	8.55	8.39	8.61	8.66	8.73	8.76	8.57	8.63	8.8	8.75	8.19	8.72	8.5	8.38	8.76
Na2O	6.59	6.56	6.41	6.32	6.56	6.57	6.47	6.62	6.31	6.62	6.86	6.74	6.74	6.46	6.36
K2O	0.29	0.34	0.31	0.35	0.32	0.31	0.39	0.34	0.34	0.34	0.35	0.3	0.29	0.31	0.33
Total	99.55	99.1	99.69	99.39	99.57	100.69	100.84	100.9	99.83	100.15	100.44	100.71	100.54	99.71	99.93
Oxygens	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Si	2.576	2.583	2.568	2.57	2.561	2.575	2.579	2.578	2.572	2.575	2.603	2.577	2.583	2.58	2.574
Ti	0	0	0.002	0.003	0.001	0.005	0.002	0.005	0.002	0	0	0.001	0	0	0
Al	1.424	1.418	1.435	1.428	1.435	1.416	1.427	1.415	1.427	1.417	1.398	1.414	1.414	1.429	1.425
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0.001	0.003	0.003	0.004	0.003	0.003	0	0.002	0.003	0.006	0.001	0.006	0.005	0.004	0.005
Fe2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mn	0.001	0	0	0.002	0.002	0	0	0.001	0.001	0	0	0.001	0	0	0
Mg	0	0	0.002	0	0.001	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0
Ca	0.412	0.406	0.414	0.418	0.421	0.418	0.408	0.411	0.423	0.419	0.391	0.415	0.405	0.403	0.421
Na	0.575	0.575	0.558	0.552	0.573	0.567	0.557	0.57	0.549	0.574	0.593	0.581	0.581	0.562	0.552
K	0.016	0.02	0.018	0.02	0.019	0.018	0.022	0.019	0.019	0.019	0.02	0.017	0.016	0.018	0.019
Sum	5.006	5.004	5	4.997	5.015	5.002	4.995	5.002	4.995	5.01	5.004	5.011	5.006	4.994	4.996
An	41.08	40.56	41.82	42.22	41.56	41.67	41.34	41.10	42.68	41.40	38.94	40.97	40.42	41.00	42.44
Ab	57.33	57.44	56.36	55.76	56.56	56.53	56.43	57.00	55.40	56.72	59.06	57.35	57.98	57.17	55.65
Or	1.60	2.00	1.82	2.02	1.88	1.79	2.23	1.90	1.92	1.88	1.99	1.68	1.60	1.83	1.92
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Rochas metabásicas (Amostra NLD-42C) FELDSPATO

Sample	T3-PL8-31	T3-PL8-32	T3-PL8-33	T3-PL8-34	T1-PL9-35	T1-PL9-36	T1-PL9-37	T1-PL10-38	T1-PL10-39	T1-PL10-40	T1-PL10-41	T1-PL10-42	T1-PL10-43	T1-PL10-44	T2-PL7-45
Mineral	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp
SiO2	56.98	57.43	57.8	56.76	57.86	57.81	57.92	57.26	57.3	57.83	57.03	57.65	57.3	57.7	58.55
TiO2	0.05	0.02	0.07	0.05	0	0	0	0	0	0	0.07	0	0.02	0.05	0
Al2O3	27.09	26.81	27.37	26.38	27	27.09	27	27.16	26.86	26.92	26.99	26.98	26.93	26.91	26.18
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0	0.01	0	0.01	0	0.01	0	0	0.02	0	0	0	0.01	0	0
MgO	0.01	0	0	0.21	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.16	0	0.01
CaO	8.71	8.59	8.61	8.16	8.77	8.77	8.37	8.79	8.52	8.55	8.54	8.59	8.57	8.56	7.93
Na2O	6.48	6.61	6.65	6.51	6.49	6.39	6.49	6.28	6.55	6.35	6.44	6.42	6.41	6.37	6.94
K2O	0.33	0.33	0.27	0.3	0.34	0.35	0.32	0.37	0.3	0.33	0.35	0.35	0.32	0.36	0.31
Total	99.65	99.81	100.78	98.38	100.45	100.43	100.1	99.86	99.56	99.99	99.43	100	99.73	99.95	99.92
Oxygens	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Si	2.563	2.577	2.567	2.567	2.579	2.577	2.587	2.567	2.578	2.586	2.569	2.579	2.567	2.583	2.617
Ti	0.002	0.001	0.002	0.002	0	0	0	0	0	0	0.002	0	0.001	0.002	0
Al	1.436	1.419	1.433	1.407	1.419	1.424	1.422	1.435	1.425	1.419	1.434	1.423	1.422	1.42	1.379
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0.004	0.003	0.005	0.033	0.004	0.003	0.002	0.005	0	0.002	0.001	0.003	0.014	0.002	0.005
Fe2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mn	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0.001	0	0
Mg	0.001	0	0	0.014	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0.011	0	0.001
Ca	0.42	0.413	0.41	0.395	0.419	0.419	0.401	0.422	0.411	0.41	0.412	0.412	0.411	0.41	0.38
Na	0.565	0.575	0.572	0.571	0.56	0.552	0.562	0.546	0.572	0.55	0.563	0.557	0.557	0.553	0.601
K	0.019	0.019	0.015	0.017	0.02	0.02	0.018	0.021	0.017	0.019	0.02	0.02	0.018	0.021	0.018
Sum	5.008	5.008	5.005	5.004	5	4.996	4.991	4.996	5.004	4.987	5.002	4.996	5.001	4.991	5
An	41.83	41.01	41.12	40.18	41.94	42.28	40.88	42.67	41.10	41.88	41.41	41.66	41.68	41.67	38.04
Ab	56.27	57.10	57.37	58.09	56.06	55.70	57.29	55.21	57.20	56.18	56.58	56.32	56.49	56.20	60.16
Or	1.89	1.89	1.50	1.73	2.00	2.02	1.83	2.12	1.70	1.94	2.01	2.02	1.83	2.13	1.80
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Rochas metabásicas (Amostra NLD-42D) FELDSPATO

[illegible]

Rochas metabásicas (Amostra NLD-42D) FELDSPATO

T4-PL3-16	T5-PL4-17	T5-PL4-18	T5-PL4-19	T5-PL5-20	T5-PL6-21	T1-PL2-22	T1-KFS2-23	T1-PL2-24	T6-PL7-25	T6-KFS4-2	T8-PL8-27	T8-PL8-28	T8-PL8-29	T8-PL8-30	T8-PL8-31
fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp
57.59	57.1	57.55	58.3	76	57.67	59.1	77.35	58.8	63.2	64.29	58.67	58.59	58.22	57.93	57.74
0	0	0.07	0	0.02	0	0	0.12	0.02	0	0	0	0	0	0	0.02
26.35	26.45	26.5	26.41	12.51	26.28	26.01	12.11	25.96	18.91	18.86	26.63	26.12	26.17	26.19	26.41
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.03	0.01	0.01	0.01	0.03	0	0.03	0	0	0.01	0	0	0	0.01	0	0
0.03	0	0.01	0.01	0.03	0	0.01	0.02	0	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0	0.01
7.26	7.44	7.76	7.7	0.03	7.73	7.39	1.35	7.36	0.04	0.06	7.93	7.88	7.95	7.93	7.87
6.68	6.84	6.7	6.92	0.33	7.04	7.07	1.12	6.9	0.59	0.54	6.6	6.81	6.66	6.78	6.67
0.36	0.23	0.25	0.28	10.78	0.23	0.32	6.59	0.39	16.32	15.71	0.37	0.37	0.35	0.35	0.34
98.3	98.07	98.86	99.63	99.73	98.96	99.92	98.66	99.43	99.08	99.47	100.22	99.78	99.37	99.18	99.06
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
2.61	2.594	2.597	2.611	3.342	2.604	2.631	3.372	2.634	2.954	2.978	2.611	2.621	2.617	2.611	2.604
0	0	0.002	0	0.001	0	0	0.004	0.001	0	0	0	0	0	0	0.001
1.408	1.416	1.41	1.394	0.649	1.399	1.365	0.622	1.371	1.042	1.03	1.398	1.378	1.387	1.391	1.404
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.005	0.012	0.007	0.006	0.013	0.004	0.015	0.014	0.006	0.008	0.005	0.004	0.005	0.002	0.002	0.002
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.001	0	0	0	0.001	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.002	0	0.001	0.001	0.002	0	0.001	0.002	0	0	0	0.001	0.001	0	0	0.001
0.353	0.362	0.375	0.369	0.001	0.374	0.352	0.063	0.353	0.002	0.003	0.378	0.377	0.383	0.383	0.38
0.587	0.603	0.586	0.601	0.028	0.617	0.61	0.095	0.599	0.054	0.048	0.57	0.591	0.58	0.592	0.583
0.021	0.014	0.015	0.016	0.605	0.014	0.018	0.366	0.022	0.973	0.929	0.021	0.021	0.02	0.02	0.02
4.987	5	4.992	4.997	4.641	5.01	4.992	4.535	4.987	5.035	4.993	4.983	4.993	4.989	4.999	4.994
36.73	36.98	38.42	37.42	0.16	37.21	35.92	12.02	36.24	0.19	0.31	39.01	38.12	38.96	38.49	38.66
61.08	61.59	60.04	60.95	4.42	61.39	62.24	18.13	61.50	5.25	4.90	58.82	59.76	59.00	59.50	59.31
2.19	1.43	1.54	1.62	95.43	1.39	1.84	69.85	2.26	94.56	94.80	2.17	2.12	2.03	2.01	2.03
100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Rochas metabásicas (Amostra NLD-7D)
PIROXÊNIO

sample	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D
SiO2	50.805	51.173	51.824	51.039	50.773	51.45	50.729	51.325	51.397	50.886	51.011	51.366	54.914	49.431	51.545
TiO2	0.042	0.014	0.065	0.019	0.056	0.042	0.023	0.056	0.028	0	0.079	0.037	0	0.079	0.037
Al2O3	0.951	0.866	0.738	0.819	0.812	0.877	3.562	1.106	0.958	0.92	1.04	1.14	0.823	3.316	0.879
FeO	29.179	30.66	30.098	30.32	29.766	30.777	29.305	30.439	30.231	29.87	30.121	29.212	27.295	28.834	29.304
MnO	0.726	0.697	0.698	0.639	0.744	0.656	0.74	0.714	0.832	0.807	0.781	0.748	0.679	0.65	0.738
MgO	17.213	16.821	16.535	16.942	16.868	16.802	15.433	16.982	16.516	16.628	16.145	16.624	15.279	16.174	16.766
CaO	0.435	0.426	0.326	0.425	0.433	0.456	0.601	0.473	0.516	0.597	0.453	1.116	0.358	0.42	0.427
Na2O	0.003	0	0.015	0.052	0.013	0.018	0.021	0	0	0.013	0.016	0.012	0	0	0
K2O	0	0.018	0.044	0.025	0.036	0	0.008	0	0	0.002	0	0.009	0	0.003	0.018
Total	99.35	100.68	100.34	100.28	99.5	101.08	100.42	101.1	100.48	99.72	99.65	100.26	99.35	98.91	99.71
TSi	1.971	1.968	2.001	1.968	1.972	1.972	1.955	1.964	1.982	1.974	1.986	1.979	2.144	1.927	1.998
TAI	0.029	0.032	0	0.032	0.028	0.028	0.045	0.036	0.018	0.026	0.014	0.021	0	0.073	0.002
M1Al	0.014	0.008	0.034	0.005	0.009	0.011	0.117	0.013	0.026	0.016	0.034	0.031	0.038	0.079	0.038
M1Ti	0.001	0	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001	0	0.002	0.001	0	0.002	0.001
M1Fe2	0	0.027	0.013	0.021	0.012	0.028	0	0.016	0.024	0.022	0.027	0.013	0.073	0	0
M1Mg	0.984	0.965	0.952	0.974	0.977	0.96	0.882	0.969	0.95	0.962	0.937	0.955	0.889	0.919	0.961
M2Mg	0.011	0	0	0	0	0	0.004	0	0	0	0	0	0	0.021	0.007
M2Fe2	0.947	0.959	0.959	0.956	0.955	0.959	0.945	0.957	0.951	0.948	0.954	0.928	0.818	0.94	0.95
M2Mn	0.024	0.023	0.023	0.021	0.024	0.021	0.024	0.023	0.027	0.027	0.026	0.024	0.022	0.021	0.024
M2Ca	0.018	0.018	0.013	0.018	0.018	0.019	0.025	0.019	0.021	0.025	0.019	0.046	0.015	0.018	0.018
M2Na	0	0	0.001	0.004	0.001	0.001	0.002	0	0	0.001	0.001	0.001	0	0	0
M2K	0	0.001	0.002	0.001	0.002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001
Sum_cat	4	3.999	3.998	3.999	3.998	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3.999
Ca	0.911	0.882	0.688	0.882	0.907	0.943	1.32	0.977	1.081	1.252	0.963	2.343	0.824	0.914	0.904
Mg	50.173	48.443	48.56	48.938	49.178	48.326	47.16	48.794	48.125	48.518	47.75	48.553	48.918	48.982	49.412
Fe2_Mn	48.915	50.675	50.751	50.18	49.915	50.731	51.52	50.229	50.794	50.231	51.287	49.104	50.259	50.104	49.684
JD1	0.012	0.045	0.17	0.241	0.141	0.068	0.105	0	0	0.055	0.062	0.069	0	0.008	0.046
AE1	0	0	0	0.018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CTTS1	0.063	0.021	0	0.028	0.083	0.062	0.036	0.082	0.042	0	0.119	0.055	0	0.119	0.056
CATS1	0.724	0.341	0	0	0.336	0.502	2.345	0.684	0.864	0.787	0.594	1.016	0	3.637	0.069
WO1	0.136	0.53	0.695	0.861	0.498	0.388	0	0.222	0.19	0.481	0.262	1.299	0.834	0	0.791
EN1	50.778	48.98	49.049	49.328	49.721	48.817	47.218	49.37	48.798	49.148	48.355	49.13	49.529	48.117	50.007
FS1	48.288	50.083	50.086	49.523	49.221	50.163	50.298	49.642	50.107	49.528	50.608	48.431	49.637	48.121	49.032
Q	1.96	1.968	1.937	1.969	1.962	1.965	1.856	1.962	1.946	1.956	1.937	1.942	1.796	1.897	1.936
J	0	0	0.002	0.008	0.002	0.003	0.003	0	0	0.002	0.002	0.002	0	0	0
WO	0.911	0.882	0.688	0.882	0.907	0.943	1.32	0.977	1.081	1.252	0.963	2.343	0.824	0.914	0.904
EN	50.173	48.443	48.56	48.938	49.178	48.326	47.16	48.794	48.125	48.518	47.75	48.553	48.918	48.982	49.412
FS	48.915	50.675	50.751	50.18	49.915	50.731	51.52	50.229	50.794	50.231	51.287	49.104	50.259	50.104	49.684
WEF	99.977	100	99.886	99.611	99.902	99.866	99.833	100	100	99.901	99.877	99.909	100	100	100
JD	0.023	0	0.114	0.389	0.098	0.134	0.167	0	0	0.099	0.123	0.091	0	0	0

Rochas metabásicas (Amostra NLD-7D)
PIROXÊNIO

NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D
51.544	51.347	50.849	51.02	51.225	51.088	50.847	52.084	51.429	52.162	52.714	52.436	51.847	52.349	51.94	52.066	52.069
0.028	0.033	0.051	0.06	0.037	0.131	0.065	0.056	0.061	0.218	0.094	0.074	0.124	0.069	0.212	0.188	0.153
1.093	1.041	0.966	0.877	1.071	0.981	1.03	0.914	0.941	2.136	2.104	1.906	1.815	1.947	1.893	2.138	2.216
30.194	29.482	31.135	30.612	29.557	29.077	29.471	29.91	30.005	11.108	11.751	12.112	10.756	11.64	12.247	11.495	11.456
0.77	0.73	0.788	0.913	0.773	0.83	0.694	0.668	0.734	0.245	0.296	0.318	0.308	0.305	0.315	0.352	0.28
16.647	16.599	16.509	16.462	16.638	16.949	16.716	16.624	16.567	11.992	11.851	11.978	12.172	11.983	12.059	11.652	11.719
0.755	1	0.518	0.444	0.593	0.466	0.477	0.442	0.491	22.276	22.31	21.941	22.924	22.15	21.977	22.186	22.131
0.017	0.021	0.022	0.001	0.021	0	0	0.014	0	0.551	0.578	0.453	0.535	0.479	0.469	0.512	0.571
0.017	0.005	0.03	0	0	0.1	0.007	0.012	0	0	0.013	0.019	0	0.004	0	0	0.014
101.07	100.26	100.87	100.39	99.92	99.62	99.31	100.72	100.23	100.69	101.71	101.24	100.48	100.93	101.11	100.59	100.61
1.974	1.98	1.956	1.972	1.982	1.979	1.979	2.002	1.987	1.947	1.951	1.953	1.937	1.953	1.937	1.951	1.948
0.026	0.02	0.044	0.028	0.018	0.021	0.021	0	0.013	0.053	0.049	0.047	0.063	0.047	0.063	0.049	0.052
0.023	0.027	0	0.012	0.031	0.024	0.026	0.041	0.03	0.041	0.043	0.036	0.017	0.039	0.02	0.045	0.046
0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.004	0.002	0.002	0.002	0.006	0.003	0.002	0.003	0.002	0.006	0.005	0.004
0.025	0.018	0.052	0.038	0.008	0	0.002	0.005	0.014	0.285	0.3	0.296	0.302	0.293	0.304	0.299	0.296
0.951	0.954	0.947	0.949	0.96	0.972	0.97	0.952	0.954	0.667	0.654	0.665	0.678	0.666	0.67	0.651	0.654
0	0	0	0	0	0.006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.942	0.933	0.95	0.952	0.949	0.942	0.957	0.957	0.956	0.061	0.064	0.081	0.034	0.07	0.078	0.061	0.062
0.025	0.024	0.026	0.03	0.025	0.027	0.023	0.022	0.024	0.008	0.009	0.01	0.01	0.01	0.01	0.011	0.009
0.031	0.041	0.021	0.018	0.025	0.019	0.02	0.018	0.02	0.891	0.885	0.876	0.918	0.885	0.878	0.891	0.887
0.001	0.002	0.002	0	0.002	0	0	0.001	0	0.04	0.041	0.033	0.039	0.035	0.034	0.037	0.041
0.001	0	0.001	0	0	0.005	0	0.001	0	0	0.001	0.001	0	0	0	0	0.001
3.999	4	3.999	4	4	3.995	4	3.999	4	4	3.999	3.999	4	4	4	4	3.999
1.57	2.097	1.07	0.926	1.25	0.983	1.009	0.932	1.033	46.578	46.281	45.415	47.267	46.002	45.254	46.561	46.494
48.161	48.434	47.446	47.754	48.814	49.752	49.185	48.75	48.485	34.888	34.206	34.496	34.92	34.627	34.55	34.025	34.256
50.269	49.469	51.484	51.321	49.935	49.265	49.806	50.318	50.482	18.534	19.513	20.089	17.813	19.37	20.197	19.414	19.251
0.107	0.093	0	0.004	0.081	0.254	0.018	0.084	0	2.051	2.165	1.723	0.844	1.787	1.013	1.919	2.168
0	0	0.158	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.123	0	0.713	0	0
0.041	0.049	0.075	0.089	0.055	0.196	0.098	0	0.091	0.315	0.135	0.106	0.177	0.099	0.303	0.273	0.222
1.097	0.982	0	0.604	0.858	0.878	0.989	0	0.568	0.064	0.058	0.147	0	0.191	0	0.398	0.182
0.45	1.09	1.007	0.247	0.352	0	0	0.941	0.386	45.429	45.308	44.613	46.394	45.118	44.399	45.265	45.295
48.726	48.982	47.989	48.481	49.411	50.281	49.72	49.258	49.084	34.312	33.629	34.08	34.406	34.18	34.128	33.568	33.67
49.579	48.804	50.771	50.575	49.242	48.391	49.175	49.717	49.87	17.83	18.706	19.332	17.056	18.626	19.444	18.577	18.464
1.949	1.946	1.97	1.956	1.941	1.94	1.949	1.932	1.944	1.905	1.903	1.918	1.931	1.915	1.93	1.901	1.899
0.003	0.003	0.003	0	0.003	0	0	0.002	0	0.08	0.083	0.065	0.078	0.069	0.068	0.074	0.083
1.57	2.097	1.07	0.926	1.25	0.983	1.009	0.932	1.033	46.578	46.281	45.415	47.267	46.002	45.254	46.561	46.494
48.161	48.434	47.446	47.754	48.814	49.752	49.185	48.75	48.485	34.888	34.206	34.496	34.92	34.627	34.55	34.025	34.256
50.269	49.469	51.484	51.321	49.935	49.265	49.806	50.318	50.482	18.534	19.513	20.089	17.813	19.37	20.197	19.414	19.251
99.872	99.841	99.836	99.992	99.84	100	100	99.893	100	95.997	95.841	96.718	96.161	96.524	96.623	96.256	95.839
0.128	0.159	0	0.008	0.16	0	0	0.107	0	4.003	4.159	3.282	3.839	3.476	3.377	3.744	4.161

Rochas metabásicas (Amostra NLD-7D)
PIROXÊNIO

NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D	NLD-7D
51.048	51.826	52.096	51.829	52.64	51.978	52.056	52.686	52.395	52.041	52.533	52.416	52.093	52.121	52.519	52.645
0.508	0.183	0.094	0.124	0.049	0.148	0.188	0.148	0.089	0.178	0.158	0.128	0.153	0.133	0.099	0.129
1.037	1.936	1.786	2.061	1.736	2.199	2.463	1.869	1.894	1.904	1.582	1.827	1.962	1.857	1.817	1.889
30.285	11.285	13.02	11.536	14.509	11.592	11.366	11.575	10.912	10.876	10.714	13.034	11.157	11.879	11.671	10.929
0.778	0.304	0.329	0.334	0.395	0.303	0.323	0.274	0.361	0.283	0.301	0.373	0.245	0.294	0.286	0.288
16.358	11.813	12.371	11.998	12.67	11.905	11.876	12.27	12.197	12.07	12.222	12.158	11.998	12.201	12.191	12.124
0.496	22.447	20.702	21.899	18.723	22.005	22.081	22.43	22.631	22.702	22.986	20.966	22.405	21.999	21.865	22.844
0.044	0.44	0.474	0.546	0.509	0.507	0.507	0.51	0.498	0.509	0.458	0.524	0.543	0.458	0.453	0.565
0	0.003	0	0	0.015	0.025	0	0.026	0.007	0	0	0.007	0	0	0	0.017
100.55	100.24	100.87	100.33	101.25	100.66	100.86	101.79	100.98	100.56	100.95	101.43	100.56	100.94	100.9	101.43
1.97	1.947	1.948	1.943	1.965	1.944	1.942	1.947	1.949	1.944	1.955	1.95	1.947	1.944	1.959	1.95
0.03	0.053	0.052	0.057	0.035	0.056	0.058	0.053	0.051	0.056	0.045	0.05	0.053	0.056	0.041	0.05
0.017	0.033	0.027	0.034	0.042	0.04	0.05	0.028	0.032	0.028	0.025	0.031	0.034	0.026	0.039	0.032
0.015	0.005	0.003	0.003	0.001	0.004	0.005	0.004	0.002	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.004
0.027	0.3	0.281	0.292	0.252	0.292	0.284	0.292	0.289	0.294	0.293	0.291	0.293	0.292	0.28	0.295
0.941	0.662	0.69	0.671	0.705	0.664	0.66	0.676	0.676	0.672	0.678	0.674	0.669	0.678	0.678	0.669
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.951	0.054	0.126	0.07	0.201	0.071	0.071	0.066	0.05	0.045	0.041	0.114	0.055	0.078	0.084	0.043
0.025	0.01	0.01	0.011	0.012	0.01	0.01	0.009	0.011	0.009	0.009	0.012	0.008	0.009	0.009	0.009
0.021	0.904	0.829	0.88	0.749	0.882	0.883	0.888	0.902	0.909	0.917	0.836	0.897	0.879	0.874	0.906
0.003	0.032	0.034	0.04	0.037	0.037	0.037	0.037	0.036	0.037	0.033	0.038	0.039	0.033	0.033	0.041
0	0	0	0	0.001	0.001	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0.001
4	4	4	4	3.999	3.999	4	3.999	4	4	4	4	4	4	4	3.999
1.044	46.831	42.828	45.755	39.015	45.981	46.26	46.007	46.754	47.091	47.304	43.362	46.676	45.378	45.398	47.129
47.906	34.291	35.61	34.88	36.735	34.612	34.618	35.017	35.06	34.836	34.996	34.987	34.778	35.017	35.219	34.802
51.05	18.878	21.563	19.365	24.25	19.407	19.121	18.976	18.186	18.073	17.7	21.651	18.546	19.605	19.384	18.069
0.169	1.649	1.353	1.752	1.932	1.951	1.896	1.431	1.639	1.441	1.258	1.563	1.727	1.31	1.681	1.63
0	0	0.399	0.281	0	0	0	0.496	0.216	0.443	0.427	0.389	0.287	0.379	0	0.485
0.756	0.265	0.135	0.179	0.071	0.214	0.273	0.21	0.127	0.256	0.226	0.183	0.22	0.19	0.143	0.184
0.72	0.04	0	0	0.204	0.131	0.699	0	0	0	0	0	0	0	0.331	0
0	45.985	42.17	44.894	38.237	44.966	44.656	45.111	46.031	46.164	46.51	42.593	45.701	44.636	44.371	46.166
48.247	33.895	35.175	34.36	36.262	34.108	34.145	34.496	34.614	34.339	34.576	34.514	34.216	34.592	34.79	34.227
50.109	18.165	20.768	18.533	23.295	18.631	18.332	18.255	17.372	17.358	17.003	20.757	17.849	18.893	18.684	17.308
1.939	1.92	1.926	1.912	1.907	1.908	1.898	1.922	1.918	1.921	1.928	1.916	1.915	1.928	1.916	1.914
0.007	0.064	0.069	0.079	0.074	0.074	0.073	0.073	0.072	0.074	0.066	0.076	0.079	0.066	0.066	0.081
1.044	46.831	42.828	45.755	39.015	45.981	46.26	46.007	46.754	47.091	47.304	43.362	46.676	45.378	45.398	47.129
47.906	34.291	35.61	34.88	36.735	34.612	34.618	35.017	35.06	34.836	34.996	34.987	34.778	35.017	35.219	34.802
51.05	18.878	21.563	19.365	24.25	19.407	19.121	18.976	18.186	18.073	17.7	21.651	18.546	19.605	19.384	18.069
99.666	96.784	96.572	96.035	96.303	96.307	96.298	96.352	96.41	96.319	96.701	96.225	96.067	96.694	96.708	95.952
0.334	3.216	3.428	3.965	3.697	3.693	3.702	3.648	3.59	3.681	3.299	3.775	3.933	3.306	3.292	4.048

QUÍMICA MINERAL DAS ROCHAS CHARNOCKÍTICAS

Amostras NLD-45B e NLD-45D

**(Granada, feldspato, ortopiroxênio,
clinopiroxênio, biotita, anfibólio)**

Complexo Mantiqueira - Rochas charnockíticas (Amostra NLD-45B)
GRANADA

Sample	T1-GRT1-1	T1-GRT2-2	T1-GRT2-3	T1-GRT2-4	T1-GRT2-5	T1-GRT2-6	T1-GRT2-7	T1-GRT2-8	T1-GRT2-9	T1-GRT2-10	T1-GRT2-11	T1-GRT2-12	T1-GRT2-13	T1-GRT2-14	T1-GRT2-15
Mineral	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
SiO2	37.73	37.46	37.95	37.81	37.68	37.49	37.64	40.08	38.2	37.96	37.97	37.99	38.89	37.88	37.83
TiO2	0.01	0.1	0	0.09	0.12	0	0	0.04	0.07	0	0.03	0.04	0.07	0	0.06
Al2O3	21.46	21.27	21.34	21.33	21.43	21.64	21.29	21.12	21.47	21.88	21.46	21.63	21.25	21.54	21.48
Cr2O3	0.04	0.02	0.05	0.02	0.04	0.02	0.02	0	0.04	0.06	0	0.01	0.01	0.02	0.01
Fe2O3	1.07	0.01	0.16	0.17	0.06	0.1	0.23	0	0.03	0	0.06	0.48	0	0.24	0
FeO	27.77	28.54	28.96	28.1	28.55	28.3	28.56	28.06	28.87	28.91	28.62	28.97	28.32	28.76	28.41
MnO	1.46	1.5	1.4	1.62	1.68	1.42	1.53	1.53	1.73	1.63	1.59	1.57	1.76	1.71	1.64
MgO	3.6	3.09	3.14	3.28	3.37	3.32	3.28	3.3	3.47	3.37	3.42	3.32	3.39	3.31	3.32
CaO	7.38	7.27	7.33	7.57	6.95	7.16	7.05	6.82	6.96	6.84	7.1	7	7.17	6.94	7.01
Na2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	100.52	99.26	100.33	99.99	99.87	99.45	99.61	100.94	100.83	100.65	100.26	101.02	100.85	100.4	99.75
Oxygens	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Si	2.971	2.992	3	2.994	2.989	2.982	2.994	3.112	3	2.985	2.998	2.982	3.043	2.99	2.999
Ti	0.001	0.006	0	0.005	0.007	0	0	0.003	0.004	0	0.002	0.003	0.004	0	0.003
Al	1.992	2.003	1.989	1.991	2.003	2.029	1.997	1.933	1.988	2.029	1.997	2.002	1.96	2.005	2.008
Cr	0.002	0.001	0.003	0.001	0.002	0.001	0.002	0	0.002	0.004	0	0.001	0.001	0.001	0
Fe3	0.063	0	0.009	0.01	0.003	0.006	0.013	0	0.001	0	0.003	0.028	0	0.014	0
Fe2	1.829	1.905	1.915	1.861	1.894	1.883	1.901	1.822	1.897	1.901	1.89	1.903	1.853	1.9	1.884
Mn	0.097	0.102	0.094	0.109	0.113	0.096	0.103	0.1	0.115	0.109	0.106	0.105	0.116	0.114	0.11
Mg	0.423	0.368	0.37	0.387	0.398	0.393	0.389	0.382	0.406	0.395	0.403	0.389	0.396	0.389	0.392
Ca	0.622	0.622	0.621	0.642	0.591	0.61	0.601	0.567	0.586	0.576	0.601	0.589	0.601	0.587	0.596
Na	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	8	8	8	8	8	8	8	7.919	8	7.999	8	8	7.973	8	7.993
Alm	61.56	63.56	63.83	62.05	63.22	63.15	63.49	63.46	63.15	63.77	63.00	63.73	62.47	63.55	63.18
Prp	14.24	12.28	12.33	12.90	13.28	13.18	12.99	13.31	13.52	13.25	13.43	13.03	13.35	13.01	13.15

Complexo Mantiqueira - Rochas charnockíticas (Amostra NLD-45B)
GRANADA

Sample	T1-GRT2-16	T1-GRT2-17	T1-GRT2-18	T1-GRT3-19	T1-GRT3-20	T1-GRT3-21	T1-GRT3-22	T1-GRT3-23	T1-GRT3-24	T1-GRT3-25	T1-GRT3-26	T1-GRT3-27	T1-GRT4-28	T1-GRT4-29	T1-GRT4-30
Mineral	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
SiO2	37.82	38.53	37.95	38.01	38.11	37.7	37.67	37.93	38.35	37.86	37.76	37.93	38.18	37.5	38.21
TiO2	0.04	0	0.08	0.03	0.09	0.07	0	0.13	0	0.01	0.02	0.04	0.01	0	0
Al2O3	21.52	21.5	21.52	21.2	21.52	21.48	21.85	21.61	21.39	21.49	21.64	21.55	21.27	21.38	21.24
Cr2O3	0.07	0.01	0.02	0.04	0	0.01	0.03	0.04	0.08	0.06	0.02	0	0.1	0.04	0.03
Fe2O3	0.09	0	0.04	0	0	0	0.03	0	0	0	0.21	0	0	0.23	0
FeO	28.46	28.71	28.95	28.82	28.93	28.55	28.45	28.47	28.07	28.89	28.3	28.69	28	28.23	28.49
MnO	1.76	1.72	1.33	1.68	1.64	1.64	1.69	1.6	1.72	1.66	1.54	1.67	1.73	1.6	1.57
MgO	3.38	3.3	3.26	3.06	3.43	3.26	3.37	3.34	3.11	3.18	3.45	3.12	3.26	3.38	3.3
CaO	7.01	7.1	7.27	7.3	6.79	7	6.92	6.95	6.79	6.93	7.14	7.23	6.95	6.99	7.2
Na2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	100.15	100.87	100.42	100.15	100.51	99.7	100.02	100.07	99.51	100.08	100.08	100.24	99.5	99.36	100.04
Oxygens	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Si	2.99	3.02	2.993	3.01	3.001	2.994	2.98	2.996	3.039	2.998	2.984	2.998	3.028	2.988	3.02
Ti	0.003	0	0.005	0.002	0.005	0.004	0	0.008	0	0.001	0.001	0.003	0.001	0	0
Al	2.006	1.986	2.001	1.98	1.998	2.011	2.037	2.012	1.997	2.006	2.016	2.008	1.989	2.008	1.98
Cr	0.004	0.001	0.001	0.003	0	0	0.002	0.003	0.005	0.004	0.001	0	0.006	0.003	0.002
Fe3	0.005	0	0.002	0	0	0	0.001	0	0	0	0.012	0	0	0.013	0
Fe2	1.883	1.883	1.91	1.909	1.905	1.896	1.882	1.881	1.86	1.913	1.871	1.896	1.857	1.882	1.883
Mn	0.118	0.114	0.089	0.112	0.109	0.11	0.113	0.107	0.115	0.111	0.103	0.112	0.116	0.108	0.105
Mg	0.398	0.386	0.384	0.362	0.402	0.386	0.397	0.393	0.367	0.375	0.407	0.367	0.385	0.401	0.389
Ca	0.594	0.596	0.615	0.62	0.573	0.595	0.587	0.589	0.577	0.588	0.605	0.612	0.591	0.597	0.61
Na	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	8	7.986	8	7.997	7.995	7.997	8	7.989	7.96	7.997	8	7.996	7.974	8	7.989
Alm	62.91	63.21	63.71	63.57	63.73	63.48	63.18	63.33	63.72	64.04	62.66	63.48	62.97	62.99	63.04
Prp	13.30	12.96	12.81	12.05	13.45	12.92	13.33	13.23	12.57	12.55	13.63	12.29	13.06	13.42	13.02

Complexo Mantiqueira - Rochas charnockíticas (Amostra NLD-45B) GRANADA

T1-GRT5-31	T1-GRT5-32	T1-GRT5-33	T1-GRT5-34	T1-GRT5-35	T1-GRT5-36	T1-GRT5-37	T1-GRT5-38	T1-GRT5-39	T1-GRT5-40	T1-GRT5-41	T1-GRT5-42	T1-GRT5-43	T1-GRT5-44	T1-GRT5-45	T1-GRT5-46
g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
37.44	37.93	37.79	37.92	37.61	37.94	38.1	37.93	37.86	37.87	38.05	37.71	37.87	38.03	38.06	37.95
0.03	0	0	0.1	0.07	0	0	0.01	0	0.1	0.04	0	0.04	0	0.01	0
21.38	21.33	21.31	21.29	21.05	21.31	21.24	21.38	21.26	21.48	21.38	21.18	21.37	21.17	21.21	21.26
0.03	0	0.02	0	0.07	0.07	0.06	0.09	0.03	0.1	0	0.09	0.09	0.12	0.03	0.01
0.62	0.53	0.83	0	0	0.01	0	0	0	0	0.08	0.35	0	0.02	0	0.32
27.66	28.65	28.26	28.37	28.26	28.65	28.29	28.47	28.62	28.22	29.04	28.94	28.6	29.11	28.34	28.96
1.82	1.69	1.61	1.72	1.83	1.8	1.85	1.88	1.64	1.63	1.64	1.69	1.88	1.82	1.83	1.75
3.37	3.31	3.4	3.2	3.23	3.21	3.08	3.03	3.14	3.22	3.27	3.13	3.06	2.97	3.22	3.07
7.24	7.1	7.21	6.92	7.02	7.16	6.96	6.88	6.86	6.94	7.03	6.91	7.06	7.19	7.29	7.15
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
99.59	100.54	100.43	99.53	99.13	100.14	99.58	99.67	99.41	99.56	100.52	99.99	99.97	100.43	100	100.47
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
2.977	2.993	2.983	3.013	3.006	3.004	3.026	3.013	3.014	3.005	3.001	2.996	3.003	3.009	3.014	3
0.002	0	0	0.006	0.004	0	0	0.001	0	0.006	0.003	0	0.003	0	0.001	0
2.004	1.984	1.983	1.995	1.984	1.989	1.988	2.002	1.996	2.009	1.988	1.983	1.998	1.975	1.98	1.981
0.002	0	0.001	0	0.004	0.004	0.004	0.006	0.002	0.006	0	0.005	0.005	0.007	0.002	0
0.037	0.031	0.049	0	0	0	0	0	0	0	0.004	0.02	0	0.001	0	0.018
1.84	1.891	1.866	1.885	1.889	1.897	1.879	1.891	1.906	1.873	1.917	1.923	1.897	1.927	1.877	1.915
0.122	0.113	0.108	0.116	0.124	0.121	0.124	0.126	0.111	0.109	0.11	0.114	0.126	0.122	0.123	0.117
0.4	0.389	0.4	0.379	0.384	0.379	0.365	0.358	0.373	0.381	0.384	0.371	0.362	0.35	0.38	0.362
0.617	0.6	0.61	0.589	0.601	0.607	0.592	0.586	0.586	0.59	0.594	0.588	0.6	0.61	0.619	0.605
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	8	8	7.984	7.996	8	7.978	7.983	7.987	7.981	8	8	7.993	8	7.995	8
61.77	63.18	62.53	63.49	63.01	63.15	63.48	63.86	64.05	63.43	63.79	64.19	63.55	64.04	62.59	63.85
13.43	13.00	13.40	12.77	12.81	12.62	12.33	12.09	12.53	12.90	12.78	12.38	12.13	11.63	12.67	12.07
20.71	20.05	20.44	19.84	20.05	20.21	20.00	19.79	19.69	19.98	19.77	19.63	20.10	20.27	20.64	20.17
4.10	3.78	3.62	3.91	4.14	4.03	4.19	4.26	3.73	3.69	3.66	3.81	4.22	4.05	4.10	3.90
100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Complexo Mantiqueira - Rochas charnockíticas (Amostra NLD-45B)
GRANADA

T1-GRT5-47	T1-GRT5-48	T1-GRT5-49	T1-GRT5-50	T1-GRT5-51	T1-GRT5-52	T1-GRT5-53	T1-GRT5-54	T1-GRT5-55	T1-GRT5-56	T1-GRT5-57	T1-GRT5-58	T1-GRT5-59	T1-GRT5-60	T1-GRT6-61	T1-GRT6-62
g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
38.05	37.81	37.9	37.76	38.2	37.51	38.26	37.63	37.9	37.88	37.91	38.15	38.08	38.19	37.69	37.86
0	0	0.09	0.07	0.04	0	0.03	0	0.03	0.06	0	0	0	0.04	0	0.06
21.45	21.14	21.72	21.08	21.36	21.67	21.49	21.29	21.24	21.25	21.35	21.47	21.43	21.35	21.3	21.29
0.06	0	0	0.02	0	0.01	0.05	0.1	0	0.03	0.06	0.02	0.02	0	0.14	0.09
0	0	0	0	0	0.55	0	0	0	0	0.08	0	0.24	0.06	0.01	0.22
28.18	28.43	28.14	28.23	28.38	27.73	28.24	28.36	27.7	28.03	28.03	28.27	28.81	28.95	28.87	28.7
1.66	1.79	1.68	1.62	1.51	1.56	1.64	1.55	1.61	1.72	1.83	1.66	1.8	1.67	1.72	1.59
3.1	3.05	3.27	3.35	3.26	3.31	3.04	3.17	3.32	3.35	3.41	3.27	3.33	3.35	3.21	3.39
7.1	7.11	7.24	7.04	7.26	7.52	7.52	7.18	7.31	7.06	7.31	7.29	6.98	7.09	6.8	6.99
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
99.6	99.34	100.05	99.17	100.01	99.86	100.28	99.28	99.12	99.38	99.96	100.12	100.7	100.71	99.74	100.19
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
3.018	3.015	2.993	3.012	3.018	2.972	3.016	3.001	3.018	3.012	3	3.012	2.998	3.005	2.997	2.995
0	0	0.005	0.004	0.003	0	0.002	0	0.002	0.003	0	0	0	0.003	0	0.003
2.005	1.988	2.022	1.982	1.99	2.024	1.997	2.002	1.994	1.992	1.992	1.998	1.989	1.981	1.997	1.986
0.004	0	0	0.002	0	0.001	0.003	0.006	0	0.002	0.003	0.001	0.001	0	0.009	0.006
0	0	0	0	0	0.032	0	0	0	0	0.004	0	0.014	0.003	0	0.013
1.869	1.896	1.859	1.883	1.875	1.838	1.862	1.892	1.844	1.864	1.856	1.866	1.898	1.906	1.921	1.899
0.112	0.121	0.112	0.11	0.101	0.105	0.11	0.105	0.109	0.116	0.122	0.111	0.12	0.111	0.116	0.107
0.366	0.363	0.385	0.398	0.383	0.391	0.358	0.376	0.394	0.397	0.402	0.385	0.391	0.393	0.381	0.4
0.603	0.607	0.613	0.602	0.615	0.638	0.636	0.614	0.624	0.602	0.62	0.616	0.589	0.598	0.58	0.592
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.978	7.991	7.99	7.993	7.985	8	7.982	7.995	7.984	7.988	8	7.989	8	8	8	8
63.36	63.48	62.61	62.91	63.05	61.84	62.78	63.34	62.07	62.57	61.87	62.66	63.31	63.36	64.08	63.34
12.41	12.15	12.97	13.30	12.88	13.16	12.07	12.59	13.26	13.33	13.40	12.93	13.04	13.07	12.71	13.34
20.44	20.32	20.65	20.11	20.68	21.47	21.44	20.56	21.00	20.21	20.67	20.69	19.65	19.88	19.35	19.75
3.80	4.05	3.77	3.68	3.40	3.53	3.71	3.52	3.67	3.89	4.07	3.73	4.00	3.69	3.87	3.57
100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

**Complexo Mantiqueira - Rochas charnockíticas (Amostra NLD-45B)
GRANADA**

T1-GRT6-63	T1-GRT7-64	T1-GRT7-65	T1-GRT7-66	T1-GRT7-67	T1-GRT7-68	T1-GRT7-69	T1-GRT7-70
g	g	g	g	g	g	g	g
38.14	38.06	38.22	38.09	37.68	37.67	38.17	37.82
0.14	0.09	0.01	0.01	0.06	0.12	0.1	0.15
21.44	21.38	21.53	21.47	21.44	21.06	21.41	21.26
0.07	0.02	0.02	0.02	0.09	0.13	0.1	0.11
0	0.41	0	0	0	0.94	0	0
28.41	29	28.42	28.07	28.25	28.25	28.16	28.43
1.68	1.48	1.47	1.71	1.44	1.25	1.42	1.33
3.46	3.27	3.2	3.35	3.12	3.07	3.32	3.18
6.75	7.23	7.26	7.21	7.63	7.92	7.42	7.3
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
100.1	100.93	100.14	99.95	99.7	100.41	100.09	99.58
12	12	12	12	12	12	12	12
3.01	2.992	3.015	3.01	2.992	2.98	3.011	3.004
0.008	0.005	0.001	0.001	0.003	0.007	0.006	0.009
1.995	1.981	2.002	2	2.007	1.964	1.991	1.991
0.004	0.001	0.001	0.001	0.006	0.008	0.006	0.007
0	0.024	0	0	0	0.055	0	0
1.875	1.907	1.875	1.855	1.876	1.869	1.858	1.889
0.112	0.098	0.098	0.115	0.097	0.084	0.095	0.089
0.407	0.383	0.376	0.395	0.369	0.362	0.39	0.376
0.57	0.609	0.614	0.611	0.649	0.672	0.628	0.621
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
7.982	8	7.983	7.989	7.999	8	7.985	7.988
63.26	63.63	63.28	62.33	62.72	62.57	62.54	63.50
13.73	12.78	12.69	13.27	12.34	12.12	13.13	12.64
19.23	20.32	20.72	20.53	21.70	22.50	21.14	20.87
3.78	3.27	3.31	3.86	3.24	2.81	3.20	2.99
100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

**Rochas charnockíticas (Amostra NLD-45D)
GRANADA**

T2-GRT4-16	T2-GRT4-17	T1-GRT5-18	T1-GRT5-19	T1-GRT5-20
g	g	g	g	g
37.48	37.46	36.98	37.49	37.51
0.00	0.00	0.13	0.00	0.07
21.96	22.03	22.07	22.26	22.26
0.01	0.01	0.09	0.02	0.07
1.68	1.54	3.19	1.73	1.72
27.46	27.01	26.91	27.16	27.37
1.48	1.58	1.30	1.40	1.21
4.16	4.00	3.87	4.11	3.91
6.58	7.06	7.18	6.95	7.29
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100.82	100.68	101.72	101.13	101.41
12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
2.94	2.94	2.88	2.93	2.92
0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
2.03	2.04	2.03	2.05	2.04
0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
0.10	0.09	0.19	0.10	0.10
1.80	1.77	1.76	1.77	1.78
0.10	0.11	0.09	0.09	0.08
0.49	0.47	0.45	0.48	0.45
0.55	0.59	0.60	0.58	0.61
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
61.31	60.32	60.73	60.62	60.97
16.55	15.91	15.54	16.34	15.52
18.80	20.20	20.76	19.86	20.78
3.34	3.58	2.98	3.18	2.73
100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Complexo Mantiqueira - Rochas charnockíticas (Amostra NLD-45D)
GRANADA

Sample	T1-GRT1-1	T1-GRT1-2	T1-GRT1-3	T1-GRT2-4	T1-GRT2-5	T1-GRT2-6	T1-GRT2-7	T1-GRT2-8	T1-GRT2-9	T2-GRT3-10	T2-GRT3-11	T2-GRT3-12	T2-GRT3-13	T2-GRT3-14	T2-GRT4-15
Mineral	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
SiO2	37.11	37.39	37.37	37.42	37.88	38.07	37.03	37.78	37.99	37.64	37.44	37.25	37.50	37.85	37.77
TiO2	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.07	0.02	0.09	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.07
Al2O3	21.56	21.80	21.73	22.03	21.91	21.87	22.22	22.06	22.05	21.82	21.97	22.10	21.80	21.96	21.71
Cr2O3	0.13	0.04	0.00	0.00	0.05	0.00	0.03	0.00	0.00	0.06	0.03	0.01	0.00	0.04	0.01
Fe2O3	2.00	2.04	2.06	1.52	0.81	0.20	1.05	1.51	1.36	0.08	1.35	2.33	2.11	1.44	0.46
FeO	27.10	27.56	26.86	27.14	27.29	27.32	26.49	26.94	26.87	27.83	27.32	26.89	27.16	27.69	27.53
MnO	1.58	1.45	1.60	1.42	1.34	1.44	1.43	1.30	1.16	1.60	1.55	1.60	1.68	1.50	1.49
MgO	3.85	4.11	4.00	4.09	4.13	4.37	4.22	4.23	4.31	3.84	4.04	4.04	4.07	3.97	3.98
CaO	6.87	6.53	7.07	7.00	7.25	6.98	6.92	7.33	7.62	6.79	6.81	6.88	6.81	6.99	7.08
Na2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.20	100.92	100.70	100.73	100.66	100.26	99.47	101.18	101.44	99.65	100.58	101.09	101.13	101.45	100.09
Oxygens	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
Si	2.93	2.93	2.93	2.93	2.98	2.93	2.93	2.94	2.95	2.98	2.94	2.91	2.93	2.95	2.98
Ti	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	2.01	2.02	2.01	2.04	2.02	2.02	2.07	2.03	2.02	2.04	2.03	2.04	2.01	2.02	2.02
Cr	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe3	0.12	0.12	0.12	0.09	0.05	0.01	0.06	0.09	0.08	0.00	0.08	0.14	0.12	0.08	0.03
Fe2	1.79	1.81	1.76	1.78	1.79	1.79	1.75	1.76	1.74	1.84	1.79	1.76	1.78	1.81	1.81
Mn	0.11	0.10	0.11	0.09	0.09	0.10	0.10	0.09	0.08	0.11	0.10	0.11	0.11	0.10	0.10
Mg	0.45	0.48	0.47	0.48	0.48	0.51	0.50	0.49	0.50	0.45	0.47	0.47	0.47	0.46	0.47
Ca	0.58	0.55	0.60	0.59	0.61	0.59	0.59	0.61	0.63	0.58	0.57	0.58	0.57	0.58	0.60
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sum	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Alm	61.12	61.65	60.12	60.57	60.26	60.02	59.75	59.65	59.06	61.85	60.98	60.38	60.59	61.21	60.91
Prp	15.45	16.38	15.95	16.24	16.23	17.12	16.98	16.69	16.90	15.21	16.04	16.17	16.16	15.63	15.68
Grs	19.82	18.70	20.28	19.99	20.51	19.64	19.99	20.77	21.47	19.34	19.48	19.81	19.47	19.80	20.08
Sps	3.62	3.28	3.65	3.20	3.00	3.22	3.27	2.89	2.57	3.59	3.50	3.64	3.78	3.36	3.32
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Rochas charnockíticas (Amostra NLD-45B) FELDSPATO

Sample Mineral	T7-PL1-1 fsp	T7-PL1-2 fsp	T7-PL2-3 fsp	T7-PL2-4 fsp	T7-PL2-5 fsp	T7-PL2-6 fsp	T7-PL2-7 fsp	T7-PL2-8 fsp	T7-PL2-9 fsp	T7-PL2-10 fsp	T7-PL2-11 fsp	T7-PL2-12 fsp	T7-PL2-13 fsp	T7-PL2-14 fsp	T7-PL2-15 fsp
SiO2	56.86	58.38	56.55	56.82	57.56	57.55	56.79	58.12	57.78	57.3	57.72	57.86	57.94	58.33	57.87
TiO2	0.06	0	0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0.02	0
Al2O3	26.72	26.07	26.62	26.39	26.4	26.28	26.23	26.4	26.46	26.15	26.12	25.96	26.16	26.17	26.11
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0.03	0.01	0.06	0.04	0.04	0.06	0.01	0.05	0.04	0.04	0.07	0.03	0.04	0.04	0.04
MgO	0	0	0	0.02	0	0.01	0.01	0.02	0.01	0	0	0.01	0.01	0	0.03
CaO	8.57	7.86	8.78	8.58	8.31	8.67	8.35	8.25	8.15	8.27	8.28	7.98	8.08	7.99	7.82
Na2O	6.41	7.03	6.49	6.54	6.8	6.55	6.73	6.7	6.75	6.67	7.04	6.85	6.79	6.84	6.83
K2O	0.32	0.3	0.24	0.3	0.35	0.33	0.38	0.32	0.34	0.34	0.39	0.36	0.37	0.35	0.47
Total	98.97	99.66	98.8	98.69	99.47	99.45	98.5	99.86	99.53	98.77	99.63	99.05	99.41	99.73	99.16
Oxygens	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Si	2.57	2.615	2.564	2.578	2.589	2.59	2.583	2.601	2.595	2.595	2.596	2.612	2.605	2.613	2.606
Ti	0.002	0	0.002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0
Al	1.424	1.377	1.423	1.412	1.4	1.395	1.406	1.393	1.401	1.396	1.385	1.381	1.387	1.382	1.386
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0.009	0.008	0.007	0.006	0.009	0.007	0.006	0.006	0.006	0.007	0.006	0.004	0.007	0.004	0.011
Fe2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mn	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001	0.002	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001
Mg	0	0	0	0.001	0	0.001	0.001	0.001	0.001	0	0	0.001	0	0	0.002
Ca	0.415	0.377	0.426	0.417	0.401	0.418	0.407	0.396	0.392	0.401	0.399	0.386	0.389	0.383	0.377
Na	0.562	0.61	0.571	0.575	0.593	0.572	0.593	0.582	0.588	0.586	0.614	0.6	0.592	0.594	0.596
K	0.019	0.017	0.014	0.017	0.02	0.019	0.022	0.018	0.02	0.02	0.022	0.021	0.021	0.02	0.027
Sum	5.001	5.006	5.01	5.009	5.012	5.004	5.018	4.999	5.004	5.006	5.026	5.006	5.004	4.999	5.006
An	41.67	37.55	42.14	41.33	39.55	41.43	39.82	39.76	39.20	39.82	38.55	38.33	38.82	38.42	37.70
Ab	56.43	60.76	56.48	56.99	58.48	56.69	58.02	58.43	58.80	58.19	59.32	59.58	59.08	59.58	59.60
Or	1.91	1.69	1.38	1.68	1.97	1.88	2.15	1.81	2.00	1.99	2.13	2.09	2.10	2.01	2.70
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Rochas charnockíticas (Amostra NLD-45B) FELDSPATO

	T7-PL2-16	T7-PL2-17	T7-PL2-18	T7-PL2-19	T7-PL2-20	T7-PL2-21	T7-PL2-22	T7-PL2-23	T7-PL2-24	T7-PL2-25	T7-PL2-26	T7-PL2-27	T7-PL2-28	T7-PL2-29	T7-PL2-30
Mineral	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp
SiO2	58.19	57.51	57.08	57.94	57.25	57.29	58.1	57.78	57.85	57.13	58.16	57.79	57.57	56.86	56.94
TiO2	0.01	0.01	0	0	0.04	0	0	0.07	0	0.05	0	0.01	0	0	0.02
Al2O3	26.31	26.06	26.37	26.42	26.61	26.94	26.55	26.44	26.42	26.35	26.42	26.61	26.74	27.39	26.81
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0.07	0.03	0.06	0.03	0.04	0.02	0.03	0.01	0.01	0.04	0.06	0.03	0.04	0.04	0.06
MgO	0.03	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0.02	0	0.01	0.02	0.03
CaO	8.13	8.16	8.36	8.27	8.37	8.58	8.3	7.92	8.16	8.25	8.32	8.16	8.35	9.07	8.76
Na2O	6.66	6.74	6.71	6.83	6.84	6.71	6.73	7.02	6.8	6.74	6.81	6.79	6.46	6.43	6.36
K2O	0.4	0.36	0.32	0.36	0.29	0.27	0.33	0.3	0.35	0.37	0.29	0.31	0.3	0.33	0.33
Total	99.8	98.88	98.9	99.83	99.43	99.81	100.05	99.55	99.61	98.92	100.07	99.7	99.47	100.14	99.32
Oxygens	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Si	2.605	2.6	2.584	2.597	2.578	2.571	2.596	2.595	2.598	2.587	2.601	2.591	2.587	2.548	2.567
Ti	0	0	0	0	0.001	0	0	0.002	0	0.002	0	0	0	0	0.001
Al	1.389	1.389	1.408	1.396	1.413	1.425	1.398	1.4	1.399	1.406	1.393	1.407	1.417	1.447	1.425
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0.008	0.009	0.005	0.005	0.007	0.005	0.008	0.006	0.004	0.004	0.003	0.006	0.004	0.005	0.007
Fe2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mn	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001	0.002	0.002
Mg	0.002	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0.001	0	0.001	0.001	0.002
Ca	0.39	0.395	0.406	0.397	0.404	0.413	0.397	0.381	0.392	0.4	0.399	0.392	0.402	0.435	0.423
Na	0.578	0.591	0.589	0.593	0.597	0.584	0.583	0.612	0.593	0.591	0.59	0.59	0.563	0.559	0.556
K	0.023	0.021	0.018	0.02	0.017	0.015	0.019	0.017	0.02	0.021	0.017	0.018	0.017	0.019	0.019
Sum	4.996	5.006	5.012	5.009	5.017	5.013	5.002	5.014	5.007	5.013	5.005	5.005	4.993	5.015	5.002
An	39.35	39.23	40.08	39.31	39.69	40.81	39.74	37.72	39.00	39.53	39.66	39.20	40.94	42.94	42.38
Ab	58.32	58.69	58.14	58.71	58.64	57.71	58.36	60.59	59.00	58.40	58.65	59.00	57.33	55.18	55.71
Or	2.32	2.09	1.78	1.98	1.67	1.48	1.90	1.68	1.99	2.08	1.69	1.80	1.73	1.88	1.90
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Rochas charnockíticas (Amostra NLD-45B) FELDSPATO

Sample	T7-PL2-31	T7-PL2-32	T7-PL3-33	T7-PL3-34	T7-PL3-35	T7-PL3-36	T7-PL3-37	T1-PL4-38	T1-PL4-39	T1-PL4-40	T1-PL4-41	T1-KFS1-42	T1-KFS1-43	T1-PL4-44	T1-PL4-45
Mineral	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp
SiO2	57.31	57.01	57.63	56.66	56.27	56.15	56.35	58	57.56	58.02	57.96	62.59	61.77	57.83	57.05
TiO2	0	0.04	0.04	0	0.07	0.05	0	0.01	0.06	0	0.01	0	0.12	0	0
Al2O3	26.37	26.57	26.52	26.92	26.71	26.64	26.53	26.04	26.53	26.4	26.18	19.27	20.15	26.39	26.52
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0.03	0.06	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05	0.03	0.04	0.03	0.03	0.05	0.05	0.05	0.06
MgO	0.02	0.01	0.03	0	0.01	0.27	0.27	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0
CaO	8.31	8.26	8.53	8.57	8.58	8.55	8.47	7.96	8	8.01	8.01	0.44	1.27	7.74	7.91
Na2O	6.45	6.65	6.51	6.71	6.58	6.35	6.42	6.95	7.01	7.11	7.08	1.3	2.12	7.08	7.21
K2O	0.32	0.33	0.26	0.28	0.3	0.27	0.23	0.17	0.15	0.15	0.15	15.02	13.38	0.15	0.17
Total	98.8	98.93	99.54	99.19	98.56	98.32	98.32	99.17	99.35	99.74	99.43	98.68	98.88	99.25	98.92
Oxygens	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Si	2.593	2.579	2.587	2.561	2.559	2.548	2.554	2.609	2.587	2.598	2.601	2.925	2.874	2.598	2.579
Ti	0	0.001	0.001	0	0.002	0.002	0	0	0.002	0	0	0	0.004	0	0
Al	1.406	1.417	1.404	1.434	1.432	1.425	1.418	1.381	1.406	1.393	1.385	1.061	1.105	1.397	1.413
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0.004	0.005	0.01	0.006	0.007	0.027	0.03	0.011	0.011	0.01	0.014	0.018	0.017	0.014	0.011
Fe2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mn	0.001	0.002	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002
Mg	0.001	0.001	0.002	0	0	0.018	0.018	0	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0
Ca	0.403	0.4	0.41	0.415	0.418	0.416	0.411	0.384	0.385	0.384	0.385	0.022	0.064	0.372	0.383
Na	0.566	0.584	0.566	0.588	0.58	0.558	0.564	0.607	0.611	0.617	0.616	0.118	0.191	0.617	0.632
K	0.018	0.019	0.015	0.016	0.018	0.016	0.013	0.01	0.008	0.009	0.008	0.895	0.794	0.009	0.01
Sum	4.993	5.009	4.995	5.021	5.018	5.01	5.009	5.002	5.012	5.013	5.01	5.042	5.053	5.009	5.029
An	40.83	39.88	41.37	40.73	41.14	42.02	41.60	38.36	38.35	38.02	38.16	2.13	6.10	37.27	37.37
Ab	57.35	58.23	57.11	57.70	57.09	56.36	57.09	60.64	60.86	61.09	61.05	11.40	18.21	61.82	61.66
Or	1.82	1.89	1.51	1.57	1.77	1.62	1.32	1.00	0.80	0.89	0.79	86.47	75.69	0.90	0.98
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Rochas charnockíticas (Amostra NLD-45B) FELDSPATO

Sample	T1-PL4-46	T1-PL4-47	T1-PL4-48	T1-PL4-49	T1-PL4-50	T1-PL4-51	T1-PL4-52	T1-PL5-53	T1-PL5-54	T1-PL5-55	T1-PL5-56	T1-PL5-57	T1-PL5-58	T1-PL5-59	T1-PL6-60
Mineral	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp
SiO2	58.64	57.81	57.94	57.06	63.55	56.79	59.34	56.67	56.53	57.32	57.32	57.61	57.72	57.47	56.9
TiO2	0.02	0.06	0.04	0	0	0.01	0.06	0.06	0	0.07	0	0.02	0	0.05	0
Al2O3	25.91	26.47	26.54	26.5	18.86	26.25	25.44	26.78	26.7	26.51	26.6	26.75	26.52	26.79	27.1
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0.03	0.05	0.05	0.03	0.01	0.01	0.03	0.05	0.04	0.05	0.03	0	0.02	0.01	0.04
MgO	0.01	0.26	0	0.12	0.03	0	0.08	0.01	0	0	0	0	0	0.01	0.03
CaO	7.09	7.6	7.98	7.78	0.3	7.69	6.6	8.21	8.46	8.05	8.21	8.11	7.98	8.22	8.45
Na2O	7.39	6.84	7.03	7.1	1.17	7.15	7.41	6.97	6.82	6.92	6.95	7.03	6.91	6.67	6.69
K2O	0.13	0.12	0.15	0.14	15.35	0.14	0.13	0.3	0.24	0.28	0.27	0.27	0.23	0.18	0.26
Total	99.24	99.21	99.72	98.73	99.27	98.05	99.07	99.05	98.8	99.2	99.37	99.79	99.38	99.41	99.46
Oxygens	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Si	2.629	2.581	2.59	2.572	2.952	2.583	2.651	2.564	2.565	2.585	2.583	2.582	2.594	2.583	2.557
Ti	0.001	0.002	0.001	0	0	0	0.002	0.002	0	0.002	0	0.001	0	0.002	0
Al	1.369	1.393	1.398	1.408	1.033	1.407	1.34	1.429	1.428	1.409	1.413	1.414	1.405	1.419	1.436
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0.013	0.041	0.019	0.028	0.014	0.018	0.024	0.006	0.005	0.006	0.005	0.007	0.007	0.007	0.015
Fe2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mn	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.001	0	0.001	0.001	0.001
Mg	0.001	0.018	0	0.008	0.002	0	0.005	0.001	0	0	0	0	0	0.001	0.002
Ca	0.341	0.363	0.382	0.376	0.015	0.375	0.316	0.398	0.412	0.389	0.396	0.39	0.384	0.396	0.407
Na	0.643	0.592	0.609	0.621	0.105	0.63	0.642	0.611	0.6	0.605	0.607	0.611	0.603	0.581	0.583
K	0.008	0.007	0.009	0.008	0.91	0.008	0.008	0.017	0.014	0.016	0.016	0.015	0.013	0.011	0.015
Sum	5.004	4.997	5.008	5.022	5.032	5.022	4.987	5.03	5.025	5.015	5.02	5.019	5.007	4.998	5.015
An	34.38	37.73	38.20	37.41	1.46	37.02	32.71	38.79	40.16	38.51	38.86	38.39	38.40	40.08	40.50
Ab	64.82	61.54	60.90	61.79	10.19	62.19	66.46	59.55	58.48	59.90	59.57	60.14	60.30	58.81	58.01
Or	0.81	0.73	0.90	0.80	88.35	0.79	0.83	1.66	1.36	1.58	1.57	1.48	1.30	1.11	1.49
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Rochas charnockíticas (Amostra NLD-45B) FELDSPATO

[illegible]

Rochas charnockíticas (Amostra NLD-45D) FELDSPATO

Sample	T12-PL1-1	T12-PL1-2	T12-PL1-3	T12-PL1-4	T12-PL1-5	T12-PL1-6	T12-PL2-7	T12-PL2-8	T12-PL2-9	T12-PL3-10	T12-PL3-11	T12-PL3-12	T5-PL4-13	T1-PL5-14	T1-PL6-15
Mineral	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp
SiO2	58.34	58.52	58.34	58.95	58.32	57.5	58.87	58.12	57.83	58.49	57.77	58.76	57.94	58.46	57.87
TiO2	0.07	0.07	0.14	0	0	0.05	0	0.05	0.12	0	0	0	0.07	0	0.02
Al2O3	26.97	26.8	26.81	25.92	27.01	26.84	26.97	26.97	27.11	26.65	26.7	26.88	26.68	26.84	27.11
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0	0.02	0.02	0	0	0	0	0.03	0.01
MgO	0	0.01	0	0.03	0	0.01	0.05	0	0	0	0	0.05	0.01	0.01	0
CaO	8.5	8.15	7.74	7.39	8.5	8.5	8.42	8.38	8.64	8.33	8.33	8.36	8.27	8.6	8.53
Na2O	6.94	6.69	7	7.23	6.93	6.56	6.74	6.67	6.67	6.69	6.71	6.95	6.8	6.77	6.64
K2O	0.31	0.29	0.32	0.37	0.3	0.27	0.28	0.26	0.23	0.19	0.23	0.2	0.2	0.23	0.2
Total	101.14	100.55	100.35	99.89	101.06	99.72	101.33	100.48	100.61	100.36	99.73	101.21	99.97	100.94	100.39
Oxygens	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Si	2.585	2.601	2.599	2.635	2.586	2.581	2.597	2.588	2.574	2.603	2.589	2.594	2.591	2.592	2.58
Ti	0.002	0.002	0.005	0	0	0.002	0	0.002	0.004	0	0	0	0.002	0	0.001
Al	1.409	1.404	1.408	1.366	1.412	1.42	1.402	1.416	1.423	1.399	1.411	1.399	1.407	1.403	1.425
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0.001	0	0	0.001	0	0.002	0.004	0	0.002	0.003	0.005	0.008	0.003	0.002	0.001
Fe2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mn	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0	0	0	0	0.001	0
Mg	0	0.001	0	0.002	0	0	0.003	0	0	0	0	0.003	0.001	0.001	0
Ca	0.403	0.388	0.37	0.354	0.404	0.409	0.398	0.4	0.412	0.397	0.4	0.396	0.396	0.409	0.407
Na	0.597	0.577	0.604	0.627	0.596	0.571	0.577	0.576	0.576	0.577	0.583	0.595	0.59	0.582	0.574
K	0.017	0.016	0.018	0.021	0.017	0.015	0.016	0.015	0.013	0.011	0.013	0.011	0.011	0.013	0.012
Sum	5.015	4.991	5.004	5.006	5.015	4.999	4.996	4.998	5.004	4.99	5.001	5.005	5.002	5.003	5
An	39.63	39.55	37.30	35.33	39.72	41.11	40.16	40.36	41.16	40.30	40.16	39.52	39.72	40.74	40.99
Ab	58.70	58.82	60.89	62.57	58.60	57.39	58.22	58.12	57.54	58.58	58.53	59.38	59.18	57.97	57.80
Or	1.67	1.63	1.81	2.10	1.67	1.51	1.61	1.51	1.30	1.12	1.31	1.10	1.10	1.29	1.21
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Rochas charnockíticas (Amostra NLD-45D) FELDSPATO

Sample	T1-PL6-16	T1-PL6-17	T1-PL6-18	T1-PL6-19	T3-PL7-20	T3-PL7-21	T2-PL8-22	T2-PL8-23	T2-PL8-24	T2-KFS1-25	T2-PL8-26	T2-PL8-27	T2-PL9-28	T2-PL9-29	T2-PL9-30
Mineral	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp
SiO2	58.99	58.29	58.05	58.81	57.8	57.59	56.44	56.73	56.48	63.25	58.7	59.57	58.22	57.81	56.72
TiO2	0	0	0	0.05	0	0.09	0.01	0	0.09	0.01	0	0	0.06	0.02	0.04
Al2O3	26.61	26.41	26.37	26.71	26.31	25.92	27	27.3	27.26	18.73	26.78	25.77	26.51	26.92	27.07
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0.01	0	0.01	0.01	0	0.03	0.02	0.06	0.02	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
MgO	0.01	0	0.29	0.04	0.25	0.46	0	0.01	0.01	0.02	0.01	0.03	0.03	0	0
CaO	7.8	7.98	7.82	8.2	7.33	7.56	8.56	8.43	8.38	0	7.7	7.13	7.95	8.74	8.53
Na2O	6.98	6.87	6.83	6.97	6.85	6.65	6.66	6.43	6.55	0.84	7.06	7.51	7.08	6.51	6.68
K2O	0.26	0.24	0.34	0.21	0.35	0.34	0.23	0.23	0.28	16.04	0.13	0.2	0.26	0.3	0.32
Total	100.66	99.79	99.72	101	98.89	98.66	98.93	99.2	99.07	98.93	100.4	100.23	100.13	100.33	99.38
Oxygens	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Si	2.616	2.609	2.585	2.602	2.596	2.585	2.555	2.558	2.552	2.957	2.605	2.644	2.598	2.58	2.559
Ti	0	0	0	0.002	0	0.003	0	0	0.003	0	0	0	0.002	0.001	0.001
Al	1.391	1.394	1.384	1.394	1.393	1.371	1.441	1.451	1.452	1.032	1.401	1.348	1.394	1.417	1.44
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0.001	0.002	0.037	0.003	0.027	0.048	0.007	0.006	0.007	0.012	0.01	0.013	0.008	0.003	0.004
Fe2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mn	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0	0.001	0.001	0.001	0.001
Mg	0.001	0	0.02	0.002	0.016	0.031	0	0.001	0	0.002	0.001	0.002	0.002	0	0
Ca	0.371	0.383	0.373	0.389	0.353	0.364	0.415	0.407	0.406	0	0.366	0.339	0.38	0.418	0.412
Na	0.6	0.596	0.59	0.598	0.596	0.579	0.585	0.563	0.574	0.077	0.608	0.646	0.613	0.563	0.585
K	0.015	0.013	0.019	0.012	0.02	0.02	0.014	0.013	0.016	0.956	0.008	0.011	0.015	0.017	0.019
Sum	4.995	4.998	5.006	5.002	5	4.999	5.018	5.001	5.01	5.037	4.997	5.004	5.012	4.999	5.02
An	37.63	38.61	37.98	38.94	36.43	37.80	40.93	41.40	40.76	0.00	37.27	34.04	37.70	41.88	40.55
Ab	60.85	60.08	60.08	59.86	61.51	60.12	57.69	57.27	57.63	7.45	61.91	64.86	60.81	56.41	57.58
Or	1.52	1.31	1.93	1.20	2.06	2.08	1.38	1.32	1.61	92.55	0.81	1.10	1.49	1.70	1.87
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Rochas charnockíticas (Amostra NLD-45D) FELDSPATO

Sample	T2-PL9-31	T2-PL9-32	T2-PL9-33	T2-PL9-34	T2-PL9-35	T2-PL10-36	T2-PL10-37	T2-PL10-38	T2-PL10-39	T2-PL11-40	T2-PL11-41	T2-PL11-42	T2-PL11-43	T2-PL12-44	T12-PL13-45
Mineral	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp	fsp
SiO2	57.33	57.52	57.75	58.45	57.72	58.64	58.11	58.48	59.03	58.46	58.6	58.44	58	58.05	56.4
TiO2	0.06	0	0	0	0.04	0.04	0	0.01	0	0	0	0.05	0.01	0	0.01
Al2O3	26.86	26.89	26.5	26.41	27.02	26.33	26.79	25.18	26.55	26.18	25.58	26.01	26.01	26.33	26.37
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0.02	0.06	0.03	0.06	0	0.03	0.03	0.06	0.01	0.04	0.04	0.03	0.03	0.01	0.04
MgO	0.02	0	0	0	0	0.01	0	0.49	0.15	0	0.25	0.01	0	0.07	0
CaO	8.29	8.1	7.89	7.98	8.23	7.78	7.99	6.96	7.7	7.78	7.49	7.88	7.69	7.86	7.78
Na2O	6.63	6.69	6.86	6.95	6.57	7.24	7.25	7.06	6.88	7.29	7.03	7.13	6.96	6.75	7.04
K2O	0.33	0.36	0.35	0.36	0.27	0.16	0.23	0.25	0.19	0.34	0.41	0.25	0.33	0.22	0.35
Total	99.53	99.62	99.38	100.2	99.85	100.23	100.39	98.5	100.51	100.09	99.41	99.8	99.03	99.3	98
Oxygens	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Si	2.577	2.581	2.598	2.607	2.582	2.611	2.587	2.62	2.61	2.611	2.622	2.613	2.615	2.604	2.577
Ti	0.002	0	0	0	0.001	0.001	0	0	0	0	0	0.002	0	0	0
Al	1.423	1.423	1.405	1.389	1.425	1.382	1.406	1.33	1.384	1.378	1.349	1.371	1.383	1.392	1.42
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0.005	0.007	0.003	0.006	0.005	0.008	0.009	0.054	0.019	0.008	0.026	0.012	0.006	0.014	0.007
Fe2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mn	0.001	0.002	0.001	0.002	0	0.001	0.001	0.002	0	0.002	0.002	0.001	0.001	0	0.002
Mg	0.001	0	0	0	0	0.001	0	0.033	0.01	0	0.017	0.001	0	0.005	0
Ca	0.399	0.389	0.38	0.382	0.395	0.371	0.381	0.334	0.365	0.372	0.359	0.377	0.371	0.378	0.381
Na	0.578	0.582	0.599	0.601	0.57	0.625	0.626	0.613	0.59	0.631	0.61	0.618	0.608	0.587	0.624
K	0.019	0.02	0.02	0.02	0.015	0.009	0.013	0.014	0.011	0.019	0.024	0.014	0.019	0.013	0.02
Sum	5.005	5.005	5.007	5.006	4.994	5.009	5.024	4.998	4.987	5.021	5.006	5.009	5.003	4.992	5.031
An	40.06	39.25	38.04	38.09	40.31	36.92	37.35	34.76	37.78	36.40	36.15	37.36	37.17	38.65	37.17
Ab	58.03	58.73	59.96	59.92	58.16	62.19	61.37	63.79	61.08	61.74	61.43	61.25	60.92	60.02	60.88
Or	1.91	2.02	2.00	1.99	1.53	0.90	1.27	1.46	1.14	1.86	2.42	1.39	1.90	1.33	1.95
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Rochas charnockíticas (Amostra NLD-45B)
PIROXÊNIO

Sample Mineral	T1-PX1-1 cpx	T1-PX1-2 cpx	T1-PX1-3 cpx	T1-PX1-4 cpx	T1-PX1-5 cpx	T1-PX2-6 cpx	T1-PX2-7 cpx	T1-PX3-8 opx	T1-PX3-9 opx	T1-PX3-10 opx	T1-PX3-11 opx	T1-PX3-12 opx	T1-PX3-13 opx	T1-PX3-14 opx	T1-PX3-15 opx
SiO2	52.52	52.26	52.52	52.37	52.25	52.02	51.9	50.81	50.13	50.52	50.28	50.92	50.82	51.3	50.21
TiO2	0.09	0.23	0.14	0.12	0.09	0.05	0.07	0.02	0.04	0.07	0.09	0	0.11	0.11	0
Al2O3	0.96	0.98	1.03	0.87	0.96	1.11	1.01	0.67	0.68	0.67	0.67	0.62	0.64	0.65	0.62
Cr2O3	0.08	0.1	0.06	0.03	0.02	0.08	0.05	0.04	0.04	0.05	0.07	0.05	0.02	0.03	0.06
Fe2O3	0.85	0.55	0.76	1.18	1.07	1.01	0.91	0	2.03	2.42	2.19	1	0.12	0.94	0.32
FeO	9.77	10.57	10.21	9.74	9.49	10.25	10.2	30.49	29.24	29.2	28.08	28.93	29.16	29.23	28.81
MnO	0.17	0.23	0.23	0.19	0.19	0.19	0.19	0.61	0.56	0.53	0.57	0.56	0.47	0.45	0.48
MgO	12.55	12.54	12.59	12.82	12.73	12.47	12.52	16.12	16.4	16.72	16.74	16.9	16.37	17.41	16.77
CaO	22.52	21.95	22	22.22	22.3	21.89	21.72	0.52	0.62	0.6	1.19	0.88	1.5	0.5	0.61
Na2O	0.37	0.31	0.39	0.32	0.33	0.33	0.34	0.01	0.03	0.01	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01
K2O	0	0	0.02	0	0.03	0.01	0.01	0	0	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Total	99.88	99.72	99.95	99.84	99.46	99.4	98.92	99.3	99.78	100.83	99.91	99.9	99.25	100.64	97.91
Oxygens	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Si	1.977	1.974	1.976	1.972	1.973	1.97	1.974	1.986	1.954	1.948	1.951	1.972	1.981	1.969	1.98
Ti	0.003	0.007	0.004	0.003	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.002	0.003	0	0.003	0.003	0
Al	0.042	0.044	0.046	0.039	0.043	0.05	0.045	0.031	0.031	0.031	0.03	0.028	0.029	0.029	0.029
Cr	0.002	0.003	0.002	0.001	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.002
Fe3	0.024	0.016	0.022	0.033	0.03	0.029	0.026	0	0.06	0.07	0.064	0.029	0.004	0.027	0.01
Fe2	0.307	0.334	0.321	0.307	0.3	0.325	0.325	0.997	0.953	0.942	0.911	0.937	0.951	0.938	0.95
Mn	0.005	0.007	0.007	0.006	0.006	0.006	0.006	0.02	0.019	0.017	0.019	0.018	0.016	0.015	0.016
Mg	0.704	0.706	0.706	0.72	0.717	0.704	0.71	0.939	0.953	0.961	0.968	0.975	0.951	0.996	0.986
Ca	0.908	0.888	0.887	0.896	0.902	0.888	0.885	0.022	0.026	0.025	0.049	0.037	0.062	0.02	0.026
Na	0.027	0.023	0.028	0.023	0.024	0.024	0.025	0.001	0.002	0.001	0.003	0.002	0.002	0.001	0.001
K	0	0	0.001	0	0.001	0	0	0	0	0.002	0	0.001	0.001	0.001	0
Sum	4	4	4	4	4	4	4	3.997	4	4	4	4	4	4	4
X(Fe)	0.304	0.321	0.313	0.299	0.295	0.316	0.314	0.515	0.500	0.495	0.485	0.490	0.500	0.485	0.491
Mg#	69.63	67.88	68.74	70.11	70.50	68.42	68.60	48.50	50.00	50.50	51.52	50.99	50.00	51.50	50.93

Rochas charnockíticas (Amostra NLD-45B)
PIROXÊNIO

T1-PX3-16	T1-PX3-17	T1-PX4-18	T1-PX5-19	T1-PX6-20	T1-PX7-21	T1-PX7-22	T1-PX7-23	T1-PX8-24	T1-PX8-25	T1-PX8-26	T1-PX9-27	T1-PX9-28	T1-PX9-29	T1-PX10-30
opx	opx	cpx	cpx	cpx	opx	opx	opx	cpx	cpx	cpx	cpx	cpx	cpx	cpx
51.22	50.55	52.03	52.12	52.16	51.26	50.74	50.75	52.05	51.61	60.71	49.92	52.2	49.43	51.51
0.04	0.04	0.05	0.02	0.09	0	0.15	0	0	0.12	0.02	0.14	0.09	0.04	0.02
0.64	0.57	0.98	1.09	0.88	0.67	0.76	0.7	0.91	0.99	0.66	2.56	0.76	4.9	0.98
0.03	0.02	0	0.12	0	0.04	0.08	0.08	0.04	0.09	0.06	0.07	0.05	0.04	0.05
1.27	1.53	1.48	0.58	2.12	0.61	1.44	1.57	1.16	2.64	0	4.28	1.92	2.51	2.26
29.81	29.34	9.77	10.44	8.42	29.19	29.18	28.75	9.07	7.95	8.04	7.76	8.07	11.6	8.59
0.49	0.45	0.22	0.21	0.14	0.53	0.58	0.54	0.16	0.18	0.2	0.39	0.2	0.48	0.21
17.07	16.89	12.69	12.43	13.29	16.84	16.81	16.54	12.72	12.93	10.41	12.61	13.15	11.48	12.82
0.44	0.41	21.84	21.82	22.43	1.15	0.8	1.31	22.45	22.84	19.1	21.7	23.05	19.76	22.47
0	0.01	0.36	0.34	0.31	0.02	0.01	0.05	0.34	0.3	0.17	0.3	0.27	0.27	0.25
0	0.01	0	0.01	0.01	0	0	0	0.01	0	0.01	0	0	0.01	0
101.02	99.82	99.41	99.17	99.87	100.31	100.56	100.29	98.89	99.64	99.39	99.72	99.77	100.52	99.16
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
1.965	1.964	1.969	1.978	1.959	1.976	1.957	1.962	1.975	1.947	2.198	1.888	1.962	1.864	1.954
0.001	0.001	0.001	0.001	0.003	0	0.004	0	0	0.003	0.001	0.004	0.003	0.001	0.001
0.029	0.026	0.044	0.049	0.039	0.03	0.035	0.032	0.041	0.044	0.028	0.114	0.034	0.218	0.044
0.001	0.001	0	0.004	0	0.001	0.002	0.002	0.001	0.003	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001
0.037	0.045	0.042	0.016	0.06	0.018	0.042	0.046	0.033	0.075	0	0.122	0.054	0.071	0.065
0.957	0.953	0.309	0.331	0.265	0.941	0.941	0.93	0.288	0.251	0.244	0.245	0.254	0.366	0.273
0.016	0.015	0.007	0.007	0.005	0.017	0.019	0.018	0.005	0.006	0.006	0.013	0.006	0.015	0.007
0.976	0.978	0.715	0.703	0.744	0.968	0.966	0.953	0.719	0.727	0.562	0.711	0.737	0.645	0.724
0.018	0.017	0.886	0.887	0.903	0.047	0.033	0.054	0.913	0.923	0.741	0.879	0.929	0.798	0.913
0	0.001	0.027	0.025	0.022	0.001	0.001	0.004	0.025	0.022	0.012	0.022	0.02	0.02	0.019
0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3.793	4	4	4	4
0.495	0.494	0.302	0.320	0.263	0.493	0.493	0.494	0.286	0.257	0.303	0.256	0.256	0.362	0.274
50.49	50.65	69.82	67.99	73.74	50.71	50.66	50.61	71.40	74.34	69.73	74.37	74.37	63.80	72.62

Rochas charnockíticas (Amostra NLD-45B)
PIROXÊNIO

T1-PX11-31	T1-PX11-32	T1-PX11-33	T1-PX11-34	T1-PX12-35	T1-PX12-36	T1-PX12-37	T1-PX12-38	T1-PX12-39	T1-PX13-40	T1-PX14-41	T1-PX15-42	T1-PX15-43	T1-PX15-44	T1-PX15-45
cpx	cpx	cpx	cpx	cpx	cpx	cpx	cpx	cpx	cpx	cpx	cpx	cpx	cpx	cpx
51.7	50.65	51.79	51.39	51.7	51.85	52.07	51.31	51.82	52.38	51.19	51.32	51.92	51.38	51.59
0.04	0.2	0.12	0.01	0.09	0.09	0.13	0.05	0.08	0.06	0.07	0.06	0.02	0.1	0.07
0.94	3.26	0.95	0.99	0.78	0.85	0.71	1.11	0.88	0.82	1.09	0.98	1.04	0.89	0.8
0.07	0.03	0.07	0.11	0.07	0.05	0.02	0.04	0.04	0.05	0.11	0.06	0.08	0.06	0.07
2.03	1.61	1.62	2.59	2.22	1.9	2.21	3.3	3.04	1.44	3.87	3.19	2.29	2.94	2.69
8.88	8.48	8.92	8.06	8.98	9.07	8.36	8.76	7.07	9.13	7.72	7.78	8.6	8.73	9.47
0.2	0.23	0.21	0.24	0.17	0.21	0.22	0.21	0.15	0.19	0.19	0.19	0.21	0.22	0.23
12.57	12.31	12.63	12.55	12.74	12.7	12.82	12.64	13.43	12.96	12.79	12.83	12.93	12.7	12.69
22.32	22.25	22.62	22.8	22.44	22.36	23.08	22.27	23.16	22.44	22.53	22.57	22.4	22.23	21.81
0.39	0.34	0.3	0.34	0.28	0.31	0.29	0.29	0.26	0.32	0.37	0.35	0.34	0.31	0.32
0	0	0.01	0	0	0.02	0	0	0	0.02	0	0.01	0	0.01	0
99.11	99.36	99.24	99.1	99.46	99.43	99.92	99.98	99.93	99.8	99.92	99.33	99.83	99.57	99.74
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
1.962	1.911	1.963	1.951	1.958	1.962	1.96	1.937	1.944	1.971	1.931	1.943	1.955	1.946	1.953
0.001	0.006	0.003	0	0.003	0.003	0.004	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.003	0.002
0.042	0.145	0.042	0.044	0.035	0.038	0.032	0.05	0.039	0.036	0.048	0.044	0.046	0.04	0.036
0.002	0.001	0.002	0.003	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
0.058	0.046	0.046	0.074	0.063	0.054	0.062	0.094	0.086	0.041	0.11	0.091	0.065	0.084	0.076
0.282	0.268	0.283	0.256	0.284	0.287	0.263	0.277	0.222	0.287	0.244	0.246	0.271	0.276	0.3
0.006	0.007	0.007	0.008	0.005	0.007	0.007	0.007	0.005	0.006	0.006	0.006	0.007	0.007	0.007
0.711	0.692	0.713	0.71	0.719	0.716	0.719	0.711	0.751	0.727	0.719	0.724	0.725	0.717	0.716
0.908	0.9	0.919	0.928	0.91	0.907	0.931	0.901	0.931	0.905	0.911	0.916	0.904	0.902	0.884
0.028	0.025	0.022	0.025	0.021	0.023	0.022	0.021	0.019	0.023	0.027	0.026	0.024	0.023	0.024
0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0.001	0	0.001	0	0	0
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
0.284	0.279	0.284	0.265	0.283	0.286	0.268	0.280	0.228	0.283	0.253	0.254	0.272	0.278	0.295
71.60	72.08	71.59	73.50	71.68	71.39	73.22	71.96	77.18	71.70	74.66	74.64	72.79	72.21	70.47

Rochas charnockíticas (Amostra NLD-45B)
PIROXÊNIO

T1-PX15-46	T1-PX15-47	T1-PX16-48	T1-PX16-49	T1-PX16-50	T1-PX7-51	T1-PX7-52	T1-PX7-53	T1-PX7-54	T1-PX7-55	T1-PX7-56	T1-PX7-57	T1-PX7-58	T1-PX7-59	T1-PX7-60
cpx	cpx	cpx	cpx	cpx	opx	opx	opx	opx	opx	opx	opx	opx	opx	opx
51.9	51.26	52	51.39	51.21	50.14	50	50.12	49.93	50.12	50.26	50.05	49.63	49.94	50.13
0.01	0.05	0.04	0.06	0.05	0	0	0.01	0.01	0.06	0	0.04	0.12	0.11	0.15
0.83	0.92	1.04	1.1	1.13	0.69	0.62	0.54	0.72	0.72	0.71	0.72	0.8	0.78	0.77
0.03	0.03	0.09	0.13	0.18	0.1	0.01	0.05	0.05	0.06	0.05	0.06	0	0.05	0.05
2.45	3.92	0.91	2.29	2.05	2.17	2.1	2.01	1.79	1.96	1.43	1.91	2.47	1.3	1.99
9.31	7.96	9.83	9.08	8.8	28.09	28.47	28.4	28.7	28.25	28.64	28.99	28.5	28.84	28.94
0.22	0.26	0.21	0.25	0.25	0.53	0.57	0.49	0.66	0.56	0.55	0.56	0.54	0.53	0.55
12.66	12.73	12.41	12.4	12.45	16.89	16.97	16.97	16.59	16.58	16.44	16.58	16.31	16.64	16.43
22.21	22.58	22.11	22.13	22.05	0.94	0.34	0.38	0.61	1.08	1.19	0.62	0.94	0.6	0.87
0.33	0.33	0.37	0.37	0.38	0	0.01	0.06	0	0.04	0.02	0	0.03	0	0.03
0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0	0.02	0	0	0	0	0.01
99.95	100.02	99.02	99.2	98.56	99.55	99.1	99.05	99.06	99.45	99.28	99.53	99.34	98.78	99.93
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
1.958	1.934	1.975	1.953	1.955	1.951	1.955	1.959	1.956	1.954	1.962	1.953	1.943	1.959	1.95
0	0.001	0.001	0.002	0.001	0	0	0	0	0.002	0	0.001	0.004	0.003	0.005
0.037	0.041	0.046	0.049	0.051	0.032	0.029	0.025	0.033	0.033	0.033	0.033	0.037	0.036	0.035
0.001	0.001	0.003	0.004	0.005	0.003	0	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0	0.001	0.002
0.07	0.111	0.026	0.065	0.059	0.063	0.062	0.059	0.053	0.058	0.042	0.056	0.073	0.038	0.058
0.294	0.251	0.312	0.288	0.281	0.914	0.931	0.928	0.94	0.921	0.935	0.946	0.933	0.946	0.941
0.007	0.008	0.007	0.008	0.008	0.017	0.019	0.016	0.022	0.018	0.018	0.019	0.018	0.018	0.018
0.712	0.716	0.703	0.702	0.708	0.979	0.989	0.989	0.968	0.963	0.957	0.964	0.952	0.973	0.952
0.898	0.913	0.9	0.901	0.902	0.039	0.014	0.016	0.026	0.045	0.05	0.026	0.04	0.025	0.036
0.024	0.024	0.027	0.027	0.028	0	0.001	0.004	0	0.003	0.001	0	0.002	0	0.003
0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0.001	0	0	0	0	0.001
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
0.292	0.260	0.307	0.291	0.284	0.483	0.485	0.484	0.493	0.489	0.494	0.495	0.495	0.493	0.497
70.78	74.04	69.26	70.91	71.59	51.72	51.51	51.59	50.73	51.11	50.58	50.47	50.50	50.70	50.29

Rochas charnockíticas (Amostra NLD-45B)
PIROXÊNIO

T1-PX7-61	T1-PX7-62	T1-PX7-63	T1-PX7-64	T1-PX7-65	T1-PX7-66	T1-PX7-67	T1-PX7-68	T1-PX7-69	T1-PX7-70	T1-PX17-71	T1-PX18-72	T1-PX18-73	T10PX18-74	T1-PX18-75
opx	opx	opx	opx	opx	opx	opx	opx	opx	opx	cpx	cpx	cpx	cpx	cpx
49.9	50.06	50.36	49.88	49.61	50.46	50.8	50.74	50.54	50.01	51.15	51.45	51.15	51.3	51.86
0.04	0.04	0	0	0.04	0.03	0.14	0	0.01	0.07	0.1	0.14	0.12	0.16	0.12
0.66	0.7	0.71	0.74	0.66	0.71	0.66	0.59	0.65	0.61	0.92	1.09	0.95	1.11	1.11
0.05	0.01	0.1	0.01	0.09	0.05	0.04	0.02	0.07	0.02	0.04	0.05	0.06	0.02	0.06
2.02	0.74	1.64	3.06	3.42	2.45	1.6	1.61	1.66	3.02	2.74	2.76	2.9	2.11	1.77
28.68	29.16	28.3	28.56	28.28	27.42	28.33	28.63	27.39	27.74	8.9	9.01	8.71	8.74	8.93
0.56	0.58	0.56	0.57	0.6	0.53	0.46	0.47	0.49	0.48	0.21	0.24	0.27	0.18	0.16
16.68	16.56	16.47	16.62	16.68	16.91	17.02	17.31	17.44	17.31	12.37	12.5	12.62	12.37	12.49
0.55	0.5	1.37	0.59	0.55	1.62	1.31	0.44	1.14	0.46	22.26	22.14	22.27	22.35	22.64
0	0	0.05	0.03	0	0.04	0.01	0.01	0.01	0.03	0.34	0.38	0.27	0.39	0.37
0.01	0	0	0	0.01	0	0	0.03	0	0.02	0	0	0	0.03	0.01
99.16	98.36	99.55	100.07	99.96	100.22	100.37	99.86	99.38	99.78	99.03	99.76	99.31	98.75	99.5
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
1.953	1.971	1.96	1.939	1.932	1.948	1.958	1.964	1.96	1.941	1.949	1.945	1.943	1.955	1.96
0.001	0.001	0	0	0.001	0.001	0.004	0	0	0.002	0.003	0.004	0.003	0.005	0.003
0.03	0.032	0.032	0.034	0.03	0.032	0.03	0.027	0.03	0.028	0.041	0.049	0.043	0.05	0.049
0.002	0	0.003	0	0.003	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.002
0.059	0.022	0.048	0.09	0.1	0.071	0.046	0.047	0.048	0.088	0.078	0.079	0.083	0.061	0.05
0.939	0.96	0.921	0.929	0.921	0.886	0.913	0.927	0.888	0.9	0.284	0.285	0.277	0.278	0.282
0.019	0.019	0.018	0.019	0.02	0.017	0.015	0.015	0.016	0.016	0.007	0.008	0.009	0.006	0.005
0.973	0.972	0.955	0.963	0.968	0.973	0.977	0.999	1.008	1.001	0.703	0.705	0.714	0.702	0.704
0.023	0.021	0.057	0.025	0.023	0.067	0.054	0.018	0.047	0.019	0.909	0.897	0.906	0.913	0.917
0	0	0.004	0.002	0	0.003	0.001	0.001	0	0.002	0.025	0.028	0.02	0.029	0.027
0.001	0	0	0	0.001	0	0	0.001	0	0.001	0	0	0	0.002	0.001
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
0.491	0.497	0.491	0.491	0.488	0.477	0.483	0.481	0.468	0.473	0.288	0.288	0.280	0.284	0.286
50.89	50.31	50.91	50.90	51.24	52.34	51.69	51.87	53.16	52.66	71.23	71.21	72.05	71.63	71.40

Rochas charnockíticas (Amostra NLD-45D)
PIROXÊNIO

(Amostra NLD-45D)

Sample Mineral	T1-PX1-1 opx	T1-PX1-2 opx	T1-PX1-3 opx	T1-PX1-4 opx	T1-PX1-5 opx	T1-PX1-6 opx	T1-PX1-7 opx	T1-PX1-8 opx	T1-PX1-9 opx	T1-PX1-10 opx	T1-PX18-76 cpx	T3-PX18-77 cpx	T3-PX18-78 cpx	T3-PX18-79 cpx
SiO2	51.51	52.29	51.68	52.56	52.12	51.07	52.16	52.3	52.34	52.01	51.13	51.74	51.17	51.61
TiO2	0.13	0	0.04	0.04	0.04	0.07	0.07	0	0.09	0	0.04	0.04	0.02	0.05
Al2O3	0.6	0.59	0.62	0.66	0.61	0.69	0.7	0.62	0.68	0.51	1.03	1.22	1.05	1.09
Cr2O3	0.03	0.03	0.03	0.02	0.06	0.07	0.05	0.01	0.04	0.03	0.08	0.07	0.09	0.06
Fe2O3	0	0	0	0	0	1.04	0	0	0	0	3.28	2.81	3.41	1.71
FeO	28.87	28.68	28.85	28.79	28.74	28.44	28.77	29.14	28.4	28.28	8.22	8.77	8.23	9.07
MnO	0.33	0.41	0.41	0.44	0.37	0.47	0.39	0.46	0.43	0.36	0.2	0.22	0.23	0.16
MgO	17.75	17.69	17.44	17.59	17.52	17.31	17.79	17.68	17.73	17.89	12.51	12.62	12.69	12.64
CaO	0.51	1.05	0.7	0.79	0.94	0.94	1.01	0.4	0.54	0.47	22.51	22.38	22.33	22.25
Na2O	0.03	0.01	0.03	0.04	0.02	0.02	0.04	0	0	0.01	0.35	0.38	0.32	0.32
K2O	0	0.01	0	0	0	0.03	0.01	0.03	0	0.02	0	0	0.01	0
Total	99.76	100.75	99.8	100.93	100.41	100.14	100.98	100.63	100.25	99.58	99.34	100.24	99.55	98.95
Oxygens	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Si	1.984	1.992	1.99	1.997	1.993	1.968	1.984	1.995	1.998	1.999	1.941	1.945	1.938	1.961
Ti	0.004	0	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0	0.003	0	0.001	0.001	0.001	0.001
Al	0.027	0.027	0.028	0.029	0.027	0.032	0.031	0.028	0.03	0.023	0.046	0.054	0.047	0.049
Cr	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0	0.001	0.001	0.002	0.002	0.003	0.002
Fe3	0	0	0	0	0	0.03	0	0	0	0	0.094	0.079	0.097	0.049
Fe2	0.93	0.914	0.929	0.915	0.919	0.916	0.915	0.93	0.907	0.909	0.261	0.276	0.261	0.288
Mn	0.011	0.013	0.013	0.014	0.012	0.015	0.012	0.015	0.014	0.012	0.006	0.007	0.007	0.005
Mg	1.019	1.004	1.001	0.996	0.998	0.994	1.008	1.005	1.009	1.025	0.708	0.707	0.716	0.716
Ca	0.021	0.043	0.029	0.032	0.038	0.039	0.041	0.017	0.022	0.019	0.915	0.901	0.906	0.906
Na	0.002	0.001	0.002	0.003	0.001	0.001	0.003	0	0	0.001	0.026	0.027	0.023	0.023
K	0	0	0	0	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0	0.001	0
Sum	3.999	3.995	3.995	3.988	3.992	4	4	3.991	3.984	3.99	4	4	4	4
X(Fe)	0.477	0.477	0.481	0.479	0.479	0.480	0.476	0.481	0.473	0.470	0.269	0.281	0.267	0.287
Mg#	52.28	52.35	51.87	52.12	52.06	52.04	52.42	51.94	52.66	53.00	73.07	71.92	73.29	71.31

Rochas charnockíticas (Amostra NLD-45D)
PIROXÊNIO

T1-PX1-11	T1-PX1-12	T1-PX1-13	T1-PX1-14	T1-PX1-15	T1-PX2-16	T1-PX3-17	T1-PX3-18	T1-PX4-19	T1-PX4-20	T2-PX5-21	T2-PX5-22	T2-PX5-23	T2-PX5-24	T2-PX5-25
opx	opx	opx	opx	opx	cpx	cpx	cpx	opx	opx	opx	opx	opx	opx	opx
51.55	52.47	52.01	52	52.3	52.63	53.02	53.56	51.83	52.06	52.07	52.12	50.97	51.48	51.69
0.11	0	0	0	0	0.18	0	0.12	0.13	0.17	0	0.09	0.42	0.09	0.09
0.57	0.61	0.66	0.65	0.62	0.83	0.82	0.98	0.57	0.55	0.61	0.61	0.67	0.64	0.69
0.02	0	0.02	0.06	0.02	0.09	0.03	0.02	0.03	0.04	0.02	0.03	0.02	0.08	0.06
1.5	0	0	0	0.31	1.67	0	0	0.4	0	0.02	0.08	1.15	0.02	0.15
29	29.34	28.68	29.3	29.28	17.08	9.64	9.33	29.86	29.94	29.76	30.27	28.64	29.03	30.05
0.43	0.45	0.38	0.39	0.33	0.26	0.12	0.14	0.43	0.46	0.52	0.57	0.53	0.52	0.51
17.7	17.7	17.76	17.65	17.72	15.57	12.99	13.22	17.4	17.35	17.53	17.38	16.9	17.07	16.92
0.46	0.53	1.04	0.53	0.94	13.27	22.49	22.86	0.57	0.47	0.53	0.38	1.42	1.16	0.73
0.02	0	0.01	0	0.03	0.21	0.32	0.32	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.03	0.04
0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0	0	0.01	0	0.01	0	0	0.06	0	0.03
101.4	101.1	100.59	100.59	101.54	101.81	99.44	100.57	101.23	101.06	101.07	101.54	100.76	100.13	100.94
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
1.963	1.994	1.986	1.988	1.983	1.96	1.995	1.99	1.978	1.987	1.986	1.983	1.958	1.983	1.981
0.003	0	0	0	0	0.005	0	0.003	0.004	0.005	0	0.002	0.012	0.003	0.003
0.026	0.027	0.03	0.029	0.028	0.036	0.037	0.043	0.026	0.025	0.028	0.027	0.03	0.029	0.031
0.001	0	0.001	0.002	0	0.003	0.001	0.001	0.001	0.001	0	0.001	0.001	0.002	0.002
0.043	0	0	0	0.009	0.047	0	0	0.011	0	0.001	0.002	0.033	0.001	0.004
0.924	0.932	0.916	0.937	0.928	0.532	0.303	0.29	0.953	0.956	0.949	0.963	0.92	0.935	0.963
0.014	0.014	0.012	0.013	0.011	0.008	0.004	0.004	0.014	0.015	0.017	0.018	0.017	0.017	0.017
1.005	1.002	1.011	1.006	1.001	0.864	0.728	0.732	0.989	0.987	0.997	0.986	0.968	0.98	0.966
0.019	0.022	0.043	0.022	0.038	0.53	0.907	0.91	0.023	0.019	0.022	0.016	0.058	0.048	0.03
0.002	0	0.001	0	0.002	0.015	0.023	0.023	0.001	0	0.001	0.001	0.001	0.002	0.003
0.001	0.001	0.001	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0.003	0	0.001
4	3.993	4	3.997	4	4	3.998	3.997	4	3.995	4	4	4	4	4
0.479	0.482	0.475	0.482	0.481	0.381	0.294	0.284	0.491	0.492	0.488	0.494	0.487	0.488	0.499
52.10	51.81	52.46	51.78	51.89	61.89	70.61	71.62	50.93	50.80	51.23	50.59	51.27	51.17	50.08

Rochas charnockíticas (Amostra NLD-45D)
PIROXÊNIO

T2-PX5-26	T2-PX5-27	T2-PX6-28	T2-PX7-29	T2-PX7-30	T8-PX8-31	T8-PX8-32	T8-PX8-33	T11-PX9-34	T11-PX9-35	T3-PX10-36	T3-PX10-37	T3-PX10-38	T3-PX10-39	T8-PX11-40
opx	opx	cpx	cpx	cpx	opx	opx	opx	opx	opx	opx	opx	opx	opx	opx
52.04	52.18	47.94	53.76	53.6	51.83	52.24	51.85	52.38	52.34	52.42	52.39	52.55	51.75	51.92
0	0.11	1.03	0.05	0.02	0.04	0.09	0	0.04	0.09	0.04	0.09	0	0.15	0
0.63	0.67	10.33	0.88	1.04	0.64	0.63	0.63	0.64	0.64	0.57	0.63	0.7	0.63	0.59
0.08	0	0.12	0.06	0.08	0.04	0	0.05	0	0.02	0.06	0.03	0.05	0.06	0.02
0.12	0.5	0	0	0	0.45	0.28	0.02	0	0.31	0	0	0	0	0.36
29.68	29.67	14.55	9.78	10.5	28.69	29.11	28.59	29.23	28.43	29.44	29.58	30.29	28.02	30.08
0.5	0.52	0.1	0.09	0.23	0.38	0.42	0.37	0.32	0.28	0.5	0.52	0.54	0.43	0.46
16.99	17.59	11.07	13.47	12.66	18.07	18.12	18.12	18.2	18.65	17.21	17.03	17.32	16.95	17.29
1.22	0.6	11.09	22.46	22.53	0.55	0.52	0.55	0.41	0.48	0.52	0.82	0.52	0.83	0.47
0.05	0.01	0.98	0.24	0.34	0.01	0	0	0	0.01	0.01	0	0.02	0	0.02
0	0.04	1.25	0	0	0	0.01	0	0	0.03	0	0	0.01	0.01	0
101.3	101.89	98.45	100.8	101	100.71	101.42	100.2	101.22	101.26	100.77	101.09	101.99	98.85	101.23
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
1.984	1.976	1.818	1.993	1.992	1.978	1.98	1.985	1.986	1.98	2	1.996	1.988	2.005	1.982
0	0.003	0.029	0.001	0.001	0.001	0.003	0	0.001	0.003	0.001	0.003	0	0.005	0
0.029	0.03	0.462	0.039	0.046	0.029	0.028	0.029	0.028	0.028	0.026	0.028	0.031	0.029	0.027
0.002	0	0.003	0.002	0.002	0.001	0	0.002	0	0.001	0.002	0.001	0.002	0.002	0.001
0.004	0.014	0	0	0	0.013	0.008	0	0	0.009	0	0	0	0	0.01
0.946	0.94	0.462	0.303	0.326	0.916	0.923	0.916	0.927	0.899	0.94	0.942	0.958	0.908	0.96
0.016	0.017	0.003	0.003	0.007	0.012	0.014	0.012	0.01	0.009	0.016	0.017	0.017	0.014	0.015
0.965	0.993	0.626	0.744	0.701	1.028	1.024	1.034	1.028	1.051	0.979	0.967	0.977	0.979	0.984
0.05	0.024	0.451	0.892	0.897	0.023	0.021	0.022	0.017	0.019	0.021	0.034	0.021	0.035	0.019
0.003	0.001	0.072	0.017	0.024	0	0	0	0	0	0.001	0	0.001	0	0.002
0	0.002	0.061	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0.001	0
4	4	3.986	3.994	3.996	4	4	4	3.998	4	3.985	3.987	3.996	3.976	4
0.495	0.486	0.425	0.289	0.317	0.471	0.474	0.470	0.474	0.461	0.490	0.493	0.495	0.481	0.494
50.50	51.37	57.54	71.06	68.26	52.88	52.59	53.03	52.58	53.90	51.02	50.65	50.49	51.88	50.62

Rochas charnockíticas (Amostra NLD-45D)
PIROXÊNIO

T8-PX11-41	T3-PX11-42	T12-PX12-43	T12-PX12-44	T12-PX12-45	T12-PX12-46	T12-PX12-47	T12-PX12-48	T12-PX12-49	T2-PX5-50	T2-PX13-51	T2-PX14-52	T2-PX14-53	T2-PX15-54	T2-PX5-55
opx	opx	opx	opx	opx	opx	opx	opx	opx	opx	cpx	cpx	cpx	cpx	opx
52.16	51.61	51.46	52.21	51.83	50.3	52.11	51.92	51.68	50.58	51.86	51.59	51.63	52.17	50.64
0.13	0.04	0.17	0	0	1.76	0.02	0	0.09	0	0.14	0.06	0.1	0.01	0
0.65	0.6	0.51	0.64	0.68	0.64	0.62	0.6	0.64	0.6	0.98	1.01	0.8	0.95	0.65
0.05	0.01	0.02	0.04	0.01	0.04	0.04	0.04	0.01	0.02	0.04	0.06	0.02	0.01	0.02
0	1.38	0	0	0	0.41	0	0	0	1.79	2.4	2.47	2.94	2.73	2.49
29.33	29.35	29.67	30.1	30.36	30.57	30.46	29.88	29.77	28.69	9.1	10.39	7.72	7.17	28.15
0.51	0.51	0.55	0.65	0.67	0.59	0.56	0.57	0.58	0.54	0.24	0.24	0.2	0.23	0.51
17.18	17.31	16.56	16.68	16.63	16.11	16.66	16.97	16.75	17.18	12.83	13.89	13.22	13.41	17.49
0.84	0.65	0.43	0.52	0.69	1.23	0.64	0.86	0.61	0.47	22.17	19.54	22.49	23	0.48
0	0.03	0	0	0	0.04	0	0.03	0.01	0.01	0.33	0.28	0.32	0.35	0.02
0.02	0.02	0	0	0	0.02	0	0	0	0	0	0.02	0.01	0	0
100.87	101.51	99.35	100.86	100.86	101.72	101.11	100.87	100.13	99.87	100.09	99.55	99.47	100.04	100.46
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
1.991	1.967	1.998	1.998	1.989	1.93	1.993	1.988	1.992	1.96	1.952	1.95	1.949	1.953	1.95
0.004	0.001	0.005	0	0	0.051	0.001	0	0.003	0	0.004	0.002	0.003	0	0
0.029	0.027	0.023	0.029	0.031	0.029	0.028	0.027	0.029	0.027	0.043	0.045	0.036	0.042	0.029
0.002	0	0	0.001	0	0.001	0.001	0.001	0	0.001	0.001	0.002	0.001	0	0.001
0	0.04	0	0	0	0.012	0	0	0	0.052	0.068	0.07	0.084	0.077	0.072
0.936	0.936	0.964	0.964	0.974	0.981	0.975	0.957	0.96	0.93	0.287	0.328	0.244	0.224	0.906
0.016	0.017	0.018	0.021	0.022	0.019	0.018	0.018	0.019	0.018	0.008	0.008	0.006	0.007	0.017
0.977	0.983	0.958	0.952	0.951	0.922	0.95	0.969	0.962	0.992	0.719	0.783	0.744	0.748	1.004
0.034	0.027	0.018	0.021	0.028	0.051	0.026	0.035	0.025	0.019	0.894	0.791	0.91	0.923	0.02
0	0.002	0	0	0	0.003	0	0.002	0.001	0	0.024	0.02	0.023	0.025	0.002
0.001	0.001	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0	0
3.991	4	3.985	3.986	3.995	4	3.992	3.998	3.991	4	4	4	4	4	4
0.489	0.488	0.502	0.503	0.506	0.516	0.506	0.497	0.499	0.484	0.285	0.295	0.247	0.230	0.474
51.07	51.22	49.84	49.69	49.40	48.45	49.35	50.31	50.05	51.61	71.47	70.48	75.30	76.95	52.57

Rochas charnockíticas (Amostra NLD-45D)
PIROXÊNIO

T2-PX5-56	T2-PX5-57	T2-PX5-58	T2-PX5-59	T2-PX5-60	T2-PX5-61	T2-PX5-62	T2-PX5-63	T2-PX5-64
opx	opx	opx	opx	opx	opx	opx	opx	opx
50.47	49.84	50.36	50.17	50.95	50.26	50.64	50.95	50.93
0	0	0.07	0.11	0.07	0.45	0.07	0.08	0.1
0.64	0.65	0.64	0.67	0.7	0.78	0.67	0.68	0.66
0.03	0.04	0.04	0.05	0.09	0.08	0.03	0.04	0.04
3.49	4.51	2.97	2.85	0.77	1.64	2.69	1.71	1.35
27.42	26.39	27.32	27.25	28.84	27.49	28.4	29.01	29.02
0.56	0.56	0.55	0.63	0.55	0.57	0.61	0.55	0.55
17.3	17.07	16.99	17.35	17.1	17.36	17.28	17.3	17.21
1.16	1.54	1.47	0.91	0.86	1.1	0.37	0.43	0.49
0	0.05	0.05	0.03	0	0.02	0.06	0.01	0.02
0.01	0	0	0	0	0.01	0.01	0	0
101.08	100.64	100.45	100.01	99.93	99.74	100.84	100.76	100.38
6	6	6	6	6	6	6	6	6
1.935	1.921	1.942	1.94	1.97	1.945	1.946	1.957	1.963
0	0	0.002	0.003	0.002	0.013	0.002	0.002	0.003
0.029	0.029	0.029	0.031	0.032	0.035	0.03	0.031	0.03
0.001	0.001	0.001	0.002	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001
0.101	0.131	0.086	0.083	0.022	0.048	0.078	0.049	0.039
0.879	0.851	0.881	0.881	0.932	0.89	0.913	0.932	0.935
0.018	0.018	0.018	0.021	0.018	0.019	0.02	0.018	0.018
0.989	0.981	0.976	1	0.985	1.001	0.99	0.991	0.989
0.047	0.064	0.061	0.038	0.036	0.046	0.015	0.018	0.02
0	0.004	0.004	0.002	0	0.001	0.004	0.001	0.002
0.001	0	0	0	0	0	0.001	0	0
4	4	4	4	4	4	4	4	4
0.471	0.465	0.474	0.468	0.486	0.471	0.480	0.485	0.486
52.94	53.55	52.56	53.16	51.38	52.93	52.02	51.53	51.40

Rochas charnockíticas (Amostra NLD-45B)
ANFIBÓLIO

Analysis	ANF1	ANF2	ANF3	ANF4	ANF5	ANF6	ANF7	ANF8	ANF9	ANF10	ANF11	ANF12	ANF13	ANF14	ANF15
SiO2	42.857	42.188	42.616	42.417	42.797	40.904	43.172	42.989	42.968	43.051	43.496	43.016	43.248	41.593	41.888
TiO2	1.128	1.125	1.068	0.94	1.068	1.193	1.213	1.134	1.319	1.457	1.434	1.065	1.309	1.626	1.51
Al2O3	11.588	12.449	12.42	12.443	11.654	13.394	11.252	11.442	11.652	11.28	11.354	11.178	11.502	10.735	10.848
FeO	16.024	16.662	16.593	16.107	16.422	17.137	17.038	16.225	16.398	16.586	16.75	16.201	15.9	16.483	16.55
MnO	0.081	0.129	0.132	0.117	0.098	0.099	0.181	0.156	0.143	0.164	0.139	0.088	0.072	0.138	0.147
MgO	10.734	10.213	10.075	10.231	10.636	9.359	10.818	10.66	10.564	10.73	10.654	10.685	10.52	9.32	9.408
CaO	11.898	11.549	11.589	11.924	11.642	11.751	11.619	11.265	11.583	11.662	11.565	11.625	11.338	10.758	10.758
Na2O	1.12	1.175	0.965	1.213	1.211	0.934	1.26	1.281	1.077	1.247	1.296	1.274	1.276	1.472	1.517
K2O	1.511	1.607	1.584	1.578	1.499	1.909	1.43	1.453	1.482	1.42	1.457	1.468	1.456	1.166	1.239
F	0.208	0.174	0.138	0.036	0.376	0.108	0.241	0.066	0.247	0.006	0.172	0	0.245	0.134	0.137
Cl	0.184	0.268	0.249	0.201	0.223	0.345	0.178	0.188	0.162	0.176	0.133	0.203	0.159	0.133	0.178
Total	97.33	97.54	97.43	97.21	97.63	97.13	98.4	96.86	97.6	97.78	98.45	96.8	97.03	93.56	94.18
O_F_Cl	0.13	0.13	0.11	0.06	0.21	0.12	0.14	0.07	0.14	0.04	0.1	0.05	0.14	0.09	0.1
O_F	0.09	0.07	0.06	0.02	0.16	0.05	0.1	0.03	0.1	0	0.07	0	0.1	0.06	0.06
O_Cl	0.04	0.06	0.06	0.05	0.05	0.08	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.05	0.04	0.03	0.04
TSi	6.417	6.307	6.364	6.368	6.395	6.187	6.387	6.43	6.401	6.401	6.429	6.462	6.476	6.495	6.499
TAI	1.583	1.693	1.636	1.632	1.605	1.813	1.613	1.57	1.599	1.599	1.571	1.538	1.524	1.505	1.501
TFe3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TTi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum_T	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
CAI	0.46	0.498	0.548	0.567	0.446	0.573	0.348	0.446	0.445	0.376	0.405	0.44	0.504	0.469	0.481
CCr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CFe3	0.438	0.596	0.558	0.362	0.554	0.517	0.679	0.609	0.568	0.553	0.538	0.462	0.439	0.377	0.389
CTi	0.127	0.126	0.12	0.106	0.12	0.136	0.135	0.128	0.148	0.163	0.159	0.12	0.147	0.191	0.176
CMg	2.396	2.276	2.243	2.29	2.369	2.11	2.386	2.377	2.346	2.378	2.348	2.393	2.348	2.17	2.176
CFe2	1.569	1.487	1.514	1.66	1.498	1.651	1.429	1.421	1.475	1.509	1.532	1.573	1.552	1.776	1.758
CMn	0.01	0.016	0.017	0.015	0.012	0.013	0.023	0.02	0.018	0.021	0.017	0.011	0.009	0.018	0.019
CCa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BMg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BFe2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BMn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BCa	1.909	1.85	1.854	1.918	1.864	1.904	1.842	1.805	1.849	1.858	1.831	1.871	1.819	1.8	1.788
BNa	0.091	0.15	0.146	0.082	0.136	0.096	0.158	0.195	0.151	0.142	0.169	0.129	0.181	0.2	0.212
ACa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ANa	0.234	0.19	0.134	0.271	0.215	0.178	0.203	0.177	0.16	0.217	0.203	0.242	0.189	0.246	0.245
AK	0.289	0.306	0.302	0.302	0.286	0.368	0.27	0.277	0.282	0.269	0.275	0.281	0.278	0.232	0.245
Sum_A	0.523	0.497	0.435	0.573	0.501	0.547	0.473	0.454	0.442	0.487	0.478	0.524	0.468	0.478	0.49
Sum_cat	15.523	15.497	15.435	15.573	15.501	15.547	15.473	15.454	15.442	15.487	15.478	15.524	15.468	15.478	15.49
CCl	0.047	0.068	0.063	0.051	0.057	0.088	0.045	0.048	0.041	0.044	0.033	0.052	0.04	0.035	0.047
CF	0.098	0.082	0.065	0.017	0.178	0.052	0.113	0.031	0.116	0.003	0.08	0	0.116	0.066	0.067
Sum_oxy	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Mg#	60.43	60.48	59.70	57.97	61.26	56.10	62.54	62.59	61.40	61.18	60.52	60.34	60.21	54.99	55.31

Rochas charnockíticas (Amostra NLD-45B)

ANFIBÓLIO

ANF16	ANF17	ANF18	ANF19	ANF20	ANF21	ANF22	ANF23	ANF24	ANF25	ANF26	ANF27	ANF28	ANF29	ANF30
41.628	41.585	42.853	43.357	42.897	44.063	43.428	43.091	43.439	42.271	42.885	42.646	43.058	42.78	42.602
1.384	1.635	1.202	0.773	0.819	0.819	0.83	1.198	0.969	1.531	1.74	1.337	1.947	1.223	1.431
10.761	10.814	11.397	11.526	11.529	10.861	11.358	11.402	11.144	11.079	11.175	10.67	10.994	11.027	11.237
16.074	16.36	15.686	16.611	16.401	16.589	16.373	16.629	16.202	16.609	16.022	16.883	16.052	16.706	16.293
0.139	0.186	0.134	0.136	0.211	0.149	0.114	0.073	0.17	0.14	0.137	0.151	0.145	0.118	0.123
9.328	9.139	10.473	10.49	10.526	10.696	10.307	10.505	10.875	10.488	10.338	10.496	10.528	10.642	10.306
10.667	10.608	11.685	11.797	11.705	11.667	11.91	11.759	11.815	11.624	11.418	11.71	11.494	11.874	11.559
1.457	1.427	1.037	1.138	1.013	1.026	1.068	1.073	0.994	1.102	1.205	1.128	1.247	1.264	1.226
1.224	1.231	1.48	1.409	1.371	1.363	1.41	1.491	1.391	1.481	1.447	1.459	1.499	1.493	1.49
0	0.269	0.074	0.068	0.235	0.169	0.17	0.174	0.036	0.132	0.102	0.341	0.074	0.138	0
0.205	0.265	0.217	0.243	0.209	0.282	0.238	0.219	0.255	0.226	0.197	0.247	0.226	0.257	0.25
92.87	93.52	96.24	97.55	96.92	97.68	97.21	97.61	97.29	96.68	96.67	97.07	97.26	97.52	96.52
0.05	0.17	0.08	0.08	0.15	0.13	0.13	0.12	0.07	0.11	0.09	0.2	0.08	0.12	0.06
0	0.11	0.03	0.03	0.1	0.07	0.07	0.07	0.02	0.06	0.04	0.14	0.03	0.06	0
0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05	0.06	0.05	0.04	0.06	0.05	0.06	0.06
6.535	6.512	6.476	6.467	6.434	6.553	6.521	6.435	6.476	6.381	6.462	6.438	6.455	6.42	6.439
1.465	1.488	1.524	1.533	1.566	1.447	1.479	1.565	1.524	1.619	1.538	1.562	1.545	1.58	1.561
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
0.525	0.507	0.504	0.492	0.47	0.455	0.529	0.441	0.433	0.351	0.444	0.335	0.396	0.369	0.44
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.336	0.357	0.373	0.5	0.593	0.536	0.35	0.497	0.547	0.552	0.383	0.524	0.367	0.462	0.405
0.163	0.193	0.137	0.087	0.092	0.092	0.094	0.135	0.109	0.174	0.197	0.152	0.22	0.138	0.163
2.183	2.134	2.359	2.333	2.353	2.371	2.307	2.339	2.417	2.36	2.322	2.362	2.353	2.381	2.322
1.774	1.786	1.609	1.572	1.465	1.527	1.706	1.58	1.473	1.545	1.636	1.608	1.645	1.635	1.655
0.018	0.025	0.017	0.017	0.027	0.019	0.014	0.009	0.021	0.018	0.017	0.019	0.018	0.015	0.016
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.794	1.78	1.892	1.885	1.881	1.859	1.916	1.882	1.887	1.88	1.843	1.894	1.846	1.909	1.872
0.206	0.22	0.108	0.115	0.119	0.141	0.084	0.118	0.113	0.12	0.157	0.106	0.154	0.091	0.128
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.238	0.213	0.196	0.214	0.176	0.155	0.227	0.192	0.175	0.203	0.195	0.224	0.209	0.277	0.231
0.245	0.246	0.285	0.268	0.262	0.259	0.27	0.284	0.265	0.285	0.278	0.281	0.287	0.286	0.287
0.483	0.459	0.481	0.483	0.438	0.413	0.497	0.476	0.439	0.488	0.473	0.505	0.495	0.563	0.519
15.483	15.459	15.481	15.483	15.438	15.413	15.497	15.476	15.439	15.488	15.473	15.505	15.495	15.563	15.519
0.055	0.07	0.056	0.061	0.053	0.071	0.061	0.055	0.064	0.058	0.05	0.063	0.057	0.065	0.064
0	0.133	0.035	0.032	0.111	0.079	0.081	0.082	0.017	0.063	0.049	0.163	0.035	0.065	0
23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
55.17	54.44	59.45	59.74	61.63	60.83	57.49	59.68	62.13	60.44	58.67	59.50	58.85	59.29	58.39

Rochas charnockíticas (Amostra NLD-45B, NLD-45D, NLD-42C)

ANFIBÓLIO

NLD-45B	NLD-45B	NLD-45B	NLD-45B	NLD-45B	NLD-45B	NLD-45D	NLD-45D	NLD-45D	NLD-45D	NLD-45D	NLD-45D	NLD-42C	NLD-42C	NLD-42C
ANF31	ANF32	ANF33	ANF34	ANF35	ANF36	ANF16	ANF17	ANF18	ANF19	ANF20	ANF21	16	17	18
43.49	42.458	42.411	42.222	43.162	43.504	43.863	44.323	46.107	44.287	44.369	43.376	ANF	ANF	ANF
1.592	1.248	0.924	1.235	1.099	1.478	1.583	1.515	0.718	0.681	0.728	1.514	39.365	39.467	39.481
10.926	11.583	11.332	11.556	11.18	10.419	10.782	10.847	9.547	10.693	10.613	10.969	1.928	2.5	1.611
16.565	15.49	15.677	15.934	15.43	16.091	14.96	14.854	15.003	16.13	15.639	15.05	11.744	11.917	12.74
0.128	0.148	0.134	0.088	0.101	0.083	0.066	0.079	0.091	0.121	0.118	0.123	20.847	20.193	20.32
10.509	10.41	10.588	10.271	10.831	10.559	11.905	11.849	12.383	11.592	11.818	11.398	0.107	0.176	0.165
11.664	11.411	11.487	11.418	11.436	11.993	11.849	11.964	11.732	11.959	11.798	11.637	7.415	7.645	7.889
1.127	1.118	1.262	1.144	1.27	1.103	1.41	1.4	0.994	1.059	1.161	1.528	11.53	11.344	11.675
1.419	1.393	1.46	1.486	1.464	1.427	1.069	1.05	1.055	1.244	1.145	1.164	1.412	1.482	1.285
0.07	0	0.242	0.002	.	0	0.137	0.141	0.102	0.108	0.034	0.143	2.165	2.201	2.239
0.236	0.185	0.178	0.18	0.19	0.149	0.246	0.253	0.203	0.234	0.243	0.171	0.068	0.092	0.17
97.73	95.44	95.69	95.54	96.16	96.81	97.87	98.28	97.94	98.11	97.67	97.07	0.771	0.703	0.623
0.08	0.04	0.14	0.04	0.04	0.03	0.11	0.12	0.09	0.1	0.07	0.1	97.35	97.72	98.2
0.03	0	0.1	0	0	0	0.06	0.06	0.04	0.05	0.01	0.06	0.2	0.2	0.21
0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.04	0.03	0.04	0.07
6.485	6.445	6.451	6.422	6.502	6.564	6.475	6.519	6.737	6.523	6.539	6.473	6.149	6.121	6.068
1.515	1.555	1.549	1.578	1.498	1.436	1.525	1.481	1.263	1.477	1.461	1.527	1.851	1.879	1.932
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
0.404	0.516	0.482	0.492	0.486	0.416	0.349	0.398	0.379	0.377	0.381	0.401	0.309	0.298	0.373
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.432	0.443	0.456	0.457	0.418	0.209	0.471	0.382	0.575	0.638	0.646	0.402	0.37	0.345	0.52
0.179	0.143	0.106	0.141	0.125	0.168	0.176	0.168	0.079	0.075	0.081	0.17	0.227	0.292	0.186
2.336	2.356	2.401	2.329	2.433	2.375	2.62	2.598	2.697	2.545	2.596	2.536	1.727	1.768	1.807
1.634	1.524	1.539	1.57	1.526	1.822	1.376	1.445	1.259	1.348	1.281	1.477	2.353	2.274	2.092
0.016	0.019	0.017	0.011	0.013	0.011	0.008	0.01	0.011	0.015	0.015	0.016	0.014	0.023	0.021
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	5	5	5	5	5	5	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.863	1.856	1.872	1.861	1.846	1.939	1.874	1.885	1.837	1.887	1.863	1.861	1.93	1.885	1.922
0.137	0.144	0.128	0.139	0.154	0.061	0.126	0.115	0.163	0.113	0.137	0.139	0.07	0.115	0.078
0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2
0.189	0.185	0.244	0.198	0.217	0.262	0.278	0.285	0.118	0.19	0.195	0.303	0.357	0.331	0.305
0.27	0.27	0.283	0.288	0.281	0.275	0.201	0.197	0.197	0.234	0.215	0.222	0.431	0.436	0.439
0.459	0.455	0.528	0.486	0.498	0.536	0.479	0.482	0.315	0.423	0.41	0.524	0.789	0.766	0.744
15.459	15.455	15.528	15.486	15.498	15.536	15.479	15.482	15.315	15.423	15.41	15.524	15.789	15.766	15.744
0.06	0.048	0.046	0.046	0.049	0.038	0.062	0.063	0.05	0.058	0.061	0.043	0.204	0.185	0.162
0.033	0	0.116	0.001	0	0	0.064	0.066	0.047	0.05	0.016	0.067	0.034	0.045	0.083
23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
58.84	60.72	60.94	59.73	61.45	56.59	65.57	64.26	68.17	65.37	66.96	63.19	42.33	43.74	46.35

Rochas charnockíticas (Amostra NLD-45D)
ANFIBÓLIO

Analysis	ANF1	ANF2	ANF3	ANF4	ANF5	ANF6	ANF7	ANF8	ANF9	ANF10	ANF11	ANF12	ANF13	ANF14	ANF15
SiO2	44.308	44.341	44.072	44.005	43.999	44.018	44.036	46.478	43.788	44.28	43.969	44.471	41.668	43.865	43.378
TiO2	1.409	1.374	1.19	0.704	0.692	0.786	1.028	0.813	1.212	1.259	1.547	1.399	1.198	1.05	1.406
Al2O3	10.763	10.719	10.846	11.22	11.13	11.105	10.969	8.374	11.116	11.128	11.241	10.764	12.758	11.096	11.331
FeO	15.991	16.29	15.751	16.443	16.435	15.831	15.873	18.573	15.716	15.691	15.318	14.982	16.215	15.949	15.904
MnO	0.104	0.094	0.113	0.114	0.154	0.092	0.096	0.157	0.107	0.109	0.084	0.132	0.093	0.134	0.147
MgO	11.588	11.631	11.634	11.587	11.453	11.29	11.501	12.337	11.389	11.449	11.455	11.627	9.995	11.344	11.245
CaO	11.691	11.835	11.883	11.779	11.773	11.636	11.815	8.921	11.861	11.743	11.721	11.828	11.614	12.046	11.572
Na2O	1.162	1.261	1.229	1.288	1.256	1.249	1.311	0.766	1.264	1.273	1.207	1.02	1.406	1.192	1.316
K2O	1.195	1.173	1.122	1.142	1.246	1.157	1.156	0.768	1.272	1.22	1.153	1.081	1.371	1.351	1.355
F	0.21	0	0.042	0.135	0.209	0.104	0.002	0	0.066	0.068	0.275	0	0.07	0.07	0
Cl	0.27	0.272	0.27	0.243	0.294	0.297	0.277	0.191	0.318	0.277	0.245	0.253	0.437	0.236	0.269
Total	98.69	98.99	98.15	98.66	98.64	97.57	98.06	97.38	98.11	98.5	98.22	97.56	96.83	98.33	97.92
O_F_Cl	0.15	0.06	0.08	0.11	0.15	0.11	0.06	0.04	0.1	0.09	0.17	0.06	0.13	0.08	0.06
O_F	0.09	0	0.02	0.06	0.09	0.04	0	0	0.03	0.03	0.12	0	0.03	0.03	0
O_Cl	0.06	0.06	0.06	0.05	0.07	0.07	0.06	0.04	0.07	0.06	0.06	0.06	0.1	0.05	0.06
TSi	6.488	6.474	6.485	6.437	6.458	6.515	6.488	6.639	6.468	6.496	6.471	6.557	6.289	6.474	6.41
TAI	1.512	1.526	1.515	1.563	1.542	1.485	1.512	1.361	1.532	1.504	1.529	1.443	1.711	1.526	1.59
TFe3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TTi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum_T	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
CAI	0.344	0.317	0.364	0.37	0.381	0.45	0.392	0.048	0.402	0.419	0.42	0.426	0.557	0.402	0.382
CCr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CFe3	0.636	0.629	0.58	0.767	0.715	0.592	0.569	2.056	0.504	0.526	0.509	0.476	0.451	0.486	0.598
CTi	0.155	0.151	0.132	0.077	0.076	0.088	0.114	0.087	0.135	0.139	0.171	0.155	0.136	0.117	0.156
CMg	2.53	2.532	2.552	2.527	2.506	2.491	2.526	2.627	2.508	2.504	2.513	2.556	2.249	2.496	2.477
CFe2	1.322	1.36	1.358	1.244	1.302	1.367	1.386	0.163	1.438	1.399	1.376	1.372	1.596	1.483	1.368
CMn	0.013	0.012	0.014	0.014	0.019	0.012	0.012	0.019	0.013	0.014	0.01	0.016	0.012	0.017	0.018
CCa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum_C	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
BCa	1.834	1.851	1.873	1.846	1.851	1.845	1.865	1.365	1.877	1.846	1.848	1.868	1.878	1.905	1.832
BNa	0.166	0.149	0.127	0.154	0.149	0.155	0.135	0.212	0.123	0.154	0.152	0.132	0.122	0.095	0.168
Sum_B	2	2	2	2	2	2	2	1.577	2	2	2	2	2	2	2
ACa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ANa	0.164	0.208	0.224	0.211	0.209	0.204	0.24	0	0.239	0.208	0.193	0.16	0.29	0.246	0.209
AK	0.223	0.218	0.211	0.213	0.233	0.218	0.217	0.14	0.24	0.228	0.216	0.203	0.264	0.254	0.255
Sum_A	0.387	0.427	0.435	0.425	0.442	0.422	0.457	0.14	0.479	0.436	0.409	0.363	0.554	0.5	0.465
Sum_cat	15.387	15.427	15.435	15.425	15.442	15.422	15.457	14.717	15.479	15.436	15.409	15.363	15.554	15.5	15.465
CCI	0.067	0.067	0.067	0.06	0.073	0.075	0.069	0.046	0.08	0.069	0.061	0.063	0.112	0.059	0.067
CF	0.097	0	0.02	0.062	0.097	0.049	0.001	0	0.031	0.032	0.128	0	0.033	0.033	0
Sum_ox	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Mg#	65.68	65.06	65.27	67.01	65.81	64.57	64.57	94.16	63.56	64.16	64.62	65.07	58.49	62.73	64.42

Rochas charnockíticas (Amostra NLD-42C)															
ANFIBÓLIO															
SiO2	39.512	39.427	39.939	39.504	42.256	39.172	39.089	39.088	40.076	38.521	39.815	40.235	39.444	39.568	39.269
TiO2	2.592	2.28	2.302	2.058	1.116	2.061	2.06	2.142	2.002	1.674	1.886	1.784	2.021	2.256	1.993
Al2O3	11.695	11.704	11.785	11.975	15.409	12.156	12.119	12.677	11.844	13.084	12.402	12.426	12.017	11.774	11.729
FeO	20.253	21.117	21.221	21.141	16.498	21.318	21.539	20.82	20.469	21.482	20.501	20.205	20.648	21.408	21.47
MnO	0.144	0.151	0.138	0.111	0.053	0.136	0.094	0.196	0.115	0.15	0.171	0.149	0.221	0.142	0.185
MgO	7.629	7.529	7.417	7.391	5.846	7.232	7.304	6.921	7.61	6.722	7.826	7.726	7.372	7.375	7.374
CaO	11.904	11.735	11.45	11.317	10.787	11.496	11.302	11.282	11.652	11.602	11.551	11.577	11.487	11.369	11.033
Na2O	1.427	1.449	1.484	1.414	2.654	1.414	1.443	1.405	1.421	1.266	1.404	1.212	1.583	1.46	1.478
K2O	2.261	2.337	2.084	2.127	1.993	2.145	2.194	2.189	2.215	2.457	2.206	2.284	2.155	2.071	2.171
F	0.177	0.066	0.062	0.107	0	0.165	0.362	0.136	0.035	0	0.204	0.468	0.367	0	0.298
Cl	0.728	0.64	0.681	0.745	0.585	0.747	0.773	0.702	0.714	0.784	0.564	0.628	0.732	0.729	0.805
Total	98.32	98.44	98.56	97.89	97.2	98.04	98.28	97.56	98.15	97.74	98.53	98.69	98.05	98.15	97.81
O_F_Cl	0.24	0.17	0.18	0.21	0.13	0.24	0.33	0.22	0.18	0.18	0.21	0.34	0.32	0.16	0.31
O_F	0.07	0.03	0.03	0.05	0	0.07	0.15	0.06	0.01	0	0.09	0.2	0.15	0	0.13
O_Cl	0.16	0.14	0.15	0.17	0.13	0.17	0.17	0.16	0.16	0.18	0.13	0.14	0.17	0.16	0.18
TSi	6.139	6.106	6.147	6.118	6.555	6.08	6.057	6.084	6.196	6.012	6.104	6.172	6.136	6.113	6.1
TAI	1.861	1.894	1.853	1.882	1.445	1.92	1.943	1.916	1.804	1.988	1.896	1.828	1.864	1.887	1.9
TFe3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TTi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum_T	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
CAI	0.279	0.241	0.283	0.301	1.37	0.301	0.269	0.407	0.352	0.416	0.343	0.416	0.338	0.255	0.246
CCr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CFe3	0.134	0.33	0.41	0.501	0	0.464	0.573	0.386	0.264	0.427	0.474	0.388	0.318	0.499	0.64
CTi	0.303	0.266	0.266	0.24	0.13	0.241	0.24	0.251	0.233	0.197	0.217	0.206	0.237	0.262	0.233
CMg	1.767	1.738	1.702	1.706	1.352	1.673	1.687	1.606	1.754	1.564	1.789	1.767	1.71	1.699	1.708
CFe2	2.498	2.405	2.321	2.237	2.14	2.302	2.218	2.324	2.382	2.376	2.154	2.204	2.369	2.267	2.149
CMn	0.019	0.02	0.018	0.015	0.007	0.018	0.012	0.026	0.015	0.02	0.022	0.019	0.029	0.019	0.024
CCa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BMg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BFe2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BMn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BCa	1.982	1.947	1.888	1.878	1.793	1.912	1.876	1.881	1.93	1.94	1.897	1.903	1.915	1.882	1.836
BNa	0.018	0.053	0.112	0.122	0.207	0.088	0.124	0.119	0.07	0.06	0.103	0.097	0.085	0.118	0.164
Sum_B	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
ACa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ANa	0.412	0.382	0.331	0.302	0.591	0.337	0.31	0.305	0.356	0.323	0.315	0.263	0.392	0.319	0.282
AK	0.448	0.462	0.409	0.42	0.394	0.425	0.434	0.435	0.437	0.489	0.431	0.447	0.428	0.408	0.43
Sum_A	0.86	0.844	0.74	0.723	0.986	0.762	0.744	0.74	0.793	0.812	0.746	0.71	0.82	0.727	0.712
Sum_cat	15.86	15.844	15.74	15.723	15.986	15.762	15.744	15.74	15.793	15.812	15.746	15.71	15.82	15.727	15.712
CCI	0.192	0.168	0.178	0.196	0.154	0.197	0.203	0.185	0.187	0.207	0.147	0.163	0.193	0.191	0.212
CF	0.087	0.032	0.03	0.052	0	0.081	0.177	0.067	0.017	0	0.099	0.227	0.181	0	0.146
Sum_oxy	23	23	23	23	23.482	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Mg#	41.43	41.95	42.31	43.27	38.72	42.09	43.20	40.87	42.41	39.70	45.37	44.50	41.92	42.84	44.28