UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**AVALIAÇÃO DE MÉTODOS PARA CÁLCULO E INFERÊNCIA DE
CONDIÇÕES *P-T* EM ROCHAS DA FÁCIES GRANULITO:
INVESTIGAÇÃO DAS ROCHAS DAS *NAPPES* TRÊS PONTAS-
VARGINHA E SOCORRO-GUAXUPÉ**

Renato Bezner Martinez

Orientador: Prof. Dr. Renato de Moraes

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
VERSÃO CORRIGIDA

Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrologia

SÃO PAULO
2015

Renato Bezner Martinez

AVALIAÇÃO DE MÉTODOS PARA CÁLCULO E INFERÊNCIA DE CONDIÇÕES
P-T EM ROCHAS DA FÁCIES GRANULITO: INVESTIGAÇÃO DAS ROCHAS DAS
NAPPES TRÊS PONTAS-VARGINHA E SOCORRO-GUAXUPÉ

Dissertação apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo para
obtenção do título de Mestre em Geologia

Orientador: Prof. Dr. Renato de Moraes

Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrologia

SÃO PAULO
2015

Martinez, Renato Bezner

Avaliação de métodos para cálculo e inferência de condições P-T em rochas da fácies granulito: investigação das rochas das nappes Três Pontas-Varginha e Socorro-Guaxupé. / Renato Martinez. -- São Paulo, 2015.

163 p. : il. + anexos

Dissertação (Mestrado) : IGc/USP

Orient.: Moraes, Renato de

1. Geotermobarometria 2. Granulitos I. Título

AGRADECIMENTOS

Um trabalho de mais de dois anos não poderia ser realizado sem a ajuda de muita gente, portanto, gostaria de agradecer em primeiro lugar minha família, principalmente meus pais, Ricardo de Aragão Martinez e Marilda Bezner Martinez, e meu irmão, Mauricio Bezner Martinez, por todo apoio em tudo na minha vida.

Agradeço à FAPESP pela bolsa processo 2012/23665-5 e pelo auxílio do projeto temático de processo 2013/04007-0.

A todo o pessoal dos laboratórios do IGc-USP: Paulinho e Renato da laminação, Marcos e Leandro da microsonda eletrônica, Samuca na preparação de amostras, Angélica da microscopia óptica. Agradeço a todos da biblioteca e da gráfica, sempre muito atenciosos.

Ao Professor Thomas Zack da Universidade de Gotemburgo e seus orientados, Firat Sengun e Andreas Karlsson, por todo o apoio durante as análises de *laser ablation* e pela convivência sempre muito acolhedora e respeitosa.

A todos que me auxiliaram nas viagens de campo: Professor Edward William Sawyer da Universidade de Quebec à Chicoutimi por todo ensinamento e incrível visão não só sobre migmatitos, mas sobre geologia geral, Rafael Gonçalves Motta (Vivi) e Caio Arthur Santos (Fofona). Ao Mauricio Pavan (Pavão) pelas discussões e auxílio com as pseudosseções.

Ao Professor David Kelsey da Universidade de Adelaide pela ajuda com as pseudosseções. Sem esse auxílio provavelmente jamais teria terminado como planejado.

Ao pessoal do Laboratório de microsonda eletrônica da UnB, Professor Nilson Botelho, técnicos e estudantes de pós graduação que me ajudaram enquanto estive lá. Mesmo com todos os problemas sou muito grato a vocês.

A todos os professores do IGc-USP com quem convivi principalmente nesses anos de mestrado: Professores Ulbrich, Rogério, Adriana, Gaston, Excelso e Gergely.

Ao professor, mestre, doutor, conhecedor de músicas loucas, orientador e amigo Renato de Moraes, sempre muito atencioso durante todos esses anos de convívio. Muito obrigado por todo aprendizado que você me proporcionou. É nós!

À Carolina Cavanha (Cacá) pelo companheirismo e apoio no que escolho e faço em tudo da minha vida.

Por fim, mas não menos importantes, agradeço aos meus amigos de longa data Fabinho e Gabriel, e meus colegas de geologia: Marcelo (Bucetauro), Sérgio (Craca), Clóvis (Funério), Paulo (Kuprólito), Caio (Mocinha), Guilherme (Pirigüete), Giuseppe (Peluda), Camila (Planária), Víctor (Sheila), Guilherme (Sífilis), Renato (Tassolto) e Daílson (Vaselina). Sempre muito presentes em minha vida.

“A pergunta que constantemente nos faziam na civilização era e ainda é: “De que serve todo esse esforço? Há ouro? Ou há carvão?”. O espírito comercial dos dias atuais não vê vantagens na ciência pura. O fabricante inglês não está interessado em pesquisa que não lhe dê um retorno financeiro em um ano. O habitante das cidades vê na ciência pura apenas muita energia gasta em trabalho improdutivo. Na verdade, estão presos à roda da vida convencional.”

Apsley Cherry-Garrard, “A Pior Viagem do Mundo”

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo investigar e determinar condições P - T de rochas metamórficas da fácies granulito em altas pressões, usando diversos métodos geotermobarométricos. Foram usados termobarometria convencional, com os geotermômetros: granada-clinopiroxênio e granada-ortopiroxênio; e os geobarômetros: granada-clinopiroxênio-plagioclásio, granada-clinopiroxênio-ortopiroxênio-plagioclásio e granada-ortopiroxênio-plagioclásio; métodos otimizados como o THERMOCALC, e método que, por meio de correções nas composições de ortopiroxênio e granada, tenta calcular condições P - T de pico metamórfico; pseudosseções e métodos que usam elementos traço na composição dos minerais, tais como Zr-rutilo e Ti-quartzo.

Para o estudo foram escolhidas rochas da *Nappe* Três Pontas-Varginha e da *Nappe* Socorro-Guaxupé, que constituem a porção meridional do Orógeno Brasília. Na primeira ocorrem granulitos de alta pressão de composição pelítica, máfica e calciossilicática. Dois conjuntos de granulitos de alta pressão foram analisados, um representado por amostras de rutilo-cianita-granada granulito, com quartzo e feldspato potássico abundantes, e o outro de rocha calciossilicática com clinopiroxênio, granada, quartzo, raro plagioclásio e hornblenda retrometamórfica. O granulito félsico da *Nappe* Socorro-Guaxupé é constituído de granada, dois feldspatos, quartzo, orto- e clinopiroxênio e ilmenita, com hornblenda e biotita retrometamórficas. Em todas as rochas é comum a presença de leucossoma, indicando que todas as rochas sofreram maior ou menor grau de fusão parcial.

Para o rutilo-cianita-granada granulito da *Nappe* Três Pontas-Varginha, condições P - T do pico metamórfico foram calculadas com o par Zr-rutilo e Ti-quartzo e com pseudosseções e condições de ~850 °C a 15 kbar foram determinadas, com geração de pelo menos 25% de fundido. Os diversos geotermobarômetros usados, baseados em granada, clinopiroxênio e plagioclásio, apresentam resultados compatíveis, da ordem de 850 °C e pressões entre 14 e 16 kbar.

Para o granulito félsico, termobarometria convencional e THERMOCALC forneceram condições de temperatura ultra-alta para o pico metamórfico, em 950 °C e 11 – 13 kbar. Um método baseado no recálculo das composições dos minerais não gerou bons resultados, diminuindo as condições P - T .

Os resultados indicam que as rochas da *Nappe* Três Pontas-Varginha foram metamorfizadas em condições da fácies eclogito e cavalgadas pelo granulito basal da *Nappe* Socorro-Guaxupé, que foi metamorfizado em regime de temperaturas mais elevadas.

PALAVRAS-CHAVE: geotermobarometria; granulito; métodos; Três Pontas-Varginha; Socorro-Guaxupé;

ABSTRACT

The aim of the present work is to investigate and determine P - T conditions of high pressures metamorphic rocks at granulite facies, using a variety of geothermobarometric methods. There were used conventional thermobarometry with thermometers: garnet-clinopyroxene and garnet-orthopyroxene; and barometers: garnet-clinopyroxene-plagioclase, garnet-clinopyroxene-orthopyroxene-plagioclase and garnet-orthopyroxene-plagioclase; optimized methods as THERMOCALC, and a method that with corrections in orthopyroxene and garnet compositions try to re-calculate P - T conditions of metamorphic peak; pseudosections; and methods that use trace elements in mineral compositions, such as Zr in rutile and Ti in quartz.

For this study rocks of Três Pontas-Varginha and Socorro-Guaxupé nappes were chosen, which are part of southern portion of the Brasília Orogen. In the first unit, there are high-pressure granulites of pelitic composition, mafic and calc-silicate rocks. Two sets of high-pressure granulites were analyzed, one is represented by rutile-kyanite-garnet granulite samples, with abundant quartz and potassium feldspar, and the other is a calc-silicate rock with clinopyroxene, garnet, sphene, quartz, rare plagioclase and retrograde hornblende. The Socorro-Guaxupé nappe felsic granulite consists of garnet, two feldspars, quartz, ortho- and clinopyroxene and ilmenite, with retrograde hornblende and biotite. Leucosome is present in all rocks, indicating that those underwent some degree of partial melting.

For the rutile-kyanite-garnet granulite of Três Pontas-Varginha nappe, metamorphic peak conditions were calculated with Zr-rutile and Ti-quartz pair and pseudosections, resulting in $\sim 850^{\circ}\text{C}$ at 15 kbar with generation of at least 25% of melt. Conventional geothermobarometers based on garnet, clinopyroxene and plagioclase, present compatible results of 850°C and pressures between 14 and 16 kbar.

For the felsic granulite of the Socorro-Guaxupé nappe, conventional geothermobarometry and THERMOCALC provide ultra-high temperature conditions for the metamorphic peak, with 950°C and 11-13 kbar. A method based on mineral compositions recalculation did not produced good results, with lower final P - T conditions.

The results of this work indicate that Três Pontas-Varginha nappe was metamorphosed under eclogite facies conditions and was thrust by hotter basal granulites of the Socorro-Guaxupé nappe.

KEYWORDS: geothermobarometry; granulite; methods; Três Pontas-Varginha; Socorro-Guaxupé;

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros e padrões utilizados nas análises de química mineral por microsonda eletrônica.	98
Tabela 2 – Fórmulas estruturais aproximadas e proporções moleculares (médias) de granada para cada amostra analisada	100
Tabela 3 – Valores médios dos membros finais de granada das três amostras da <i>Nappe</i> Três Pontas-Varginha. Número subscrito entre parênteses = número de análises. Maiores proporções médias em negrito.	101
Tabela 4 – Valores médios dos membros-finais de granada da <i>Nappe</i> Socorro-Guaxupé e das três amostras da <i>Nappe</i> Três Pontas-Varginha. Número subscrito entre parênteses = número de análises. Maiores proporções médias em negrito.	106
Tabela 5 – Fórmulas estruturais aproximadas (médias) de piroxênio para cada amostra analisada.	110
Tabela 6 – Valores médios dos elementos (em a.p.f.u.) analisados em clinopiroxênio e ortopiroxênio de cada amostra de ambas as unidades; Número subscrito entre parênteses = número de análises. Maiores proporções médias entre amostras de clinopiroxênio da <i>Nappe</i> Três Pontas-Varginha em negrito.	111
Tabela 7 – Valores médios dos elementos (em a.p.f.u.) analisados em clinopiroxênio e ortopiroxênio de cada amostra de ambas as unidades; Número subscrito entre parênteses = número de análises. Maiores proporções médias em negrito.	117
Tabela 8 – Fórmulas estruturais aproximadas (médias) de plagioclásio para cada amostra analisada.	120
Tabela 9 – Valores médios dos elementos (em a.p.f.u.) analisados em plagioclásio de cada amostra de ambas as unidades; Número subscrito entre parênteses = número de análises. Maiores proporções médias em negrito (apenas para as amostras da <i>Nappe</i> Três Pontas-Varginha).	121
Tabela 10 – Valores médios dos elementos (em a.p.f.u.) analisados em plagioclásio de cada amostra de ambas as unidades; Número subscrito entre parênteses = número de análises. Maiores proporções médias em negrito (apenas para as amostras da <i>Nappe</i> Socorro-Guaxupé).	124
Tabela 11 – Padrões de ablação utilizados para cada mineral durante as análises de Laser Ablation	127
Tabela 12 – Temperaturas em °C calculadas pelo geotermômetro de Ellis & Green (1979) para pressões de 10, 15 e 20 kbar. Número entre parênteses indica a análise do grão.	134
Tabela 13 – Pressões em kbar calculadas pelo geobarômetro de Eckert <i>et al.</i> (1991) utilizando as temperaturas calculadas a 15 kbar. Número entre parênteses indica a análise do grão.	135
Tabela 14 – Temperaturas em °C calculadas pelo geotermômetro de Ellis & Green (1979) para pressões de 12, 15 e 20 kbar. Número entre parênteses indica a análise do grão.	136
Tabela 15 – Temperaturas em °C calculadas pelo geotermômetro de Harley (1984) para pressão de 12 kbar. Número entre parênteses indica a análise do grão.	136

Tabela 16 – Pressões em kbar calculadas pelo geobarômetro de Eckert <i>et al.</i> (1991) utilizando as respectivas temperaturas à 12kbar calculadas para cada par mineral pelo geotermômetro de Ellis & Green (1979) encontradas na Tabela 14.	137
Tabela 17 – Pressões calculadas com os geobarômetros de Newton & Perkins (1982), Perkins & Chipera (1985), Paria <i>et al.</i> (1988) e Eckert <i>et al.</i> (1991). Valores em kbar.	138
Tabela 18 – Valores <i>P-T</i> para o granulito félsico da <i>Nappe</i> Socorro-Guaxupé determinados por THERMOCALC. Correl. = Correlação entre os valores de pressão e temperatura calculados conjuntamente.	139
Tabela 19 – Valores <i>P-T</i> iniciais e ajustados para o granulito félsico da <i>Nappe</i> Socorro-Guaxupé determinados por RCLC.	140
Tabela 20 – Composições químicas utilizadas nos cálculos das pseudosseções, e do filito original (SC-07) de Pavan (2010). Valores em proporções molares.	141

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da área de estudo. Estrela azul indica a localização da pedreira abandonada “Niemeyer” estudada em detalhe e a estrela preta a pedreira “Grupo Santo Antônio” em Varginha.....	27
Figura 2 – Mapa simplificado de Gondwana. Áreas cratônicas em coloração cinza e faixas móveis como tracejados. Imagem retirada de Reno et al. 2009	30
Figura 3 – Província Tocantins com suas principais estruturas e domínios tectônicos (Delgado et al. 2003).....	31
Figura 4 – Mapa esquemático da porção meridional da Faixa Brasília com as pedreiras estudadas assinaladas (modificado de Campos Neto & Caby 1999, 2000).....	33
Figura 5 – Exemplo de pseudosseção P-T com contornos de % de líquido. A intensidade da cor indica a variância do campo, com maior variância e menor número de fases nos campos escuros e menor variância e maior número de fases nos campos claros. Retirado de Powell et al. (2005).....	41
Figura 6 – Diferentes amostras utilizadas por Zack et al. (2004) nos diferentes campos de pressão e temperatura, sugerindo a não dependência da pressão na assimilação de Zr pelo rutilo. Retirado de Zack et al. (2004).....	45
Figura 7 – Fórmulas para cálculo de temperatura de Zack et al. (2004). Em (a) são utilizados valores médios de Zr para cada amostra e em (b) apenas os máximos. Retirado de Zack et al. (2004).....	45
Figura 8 – a) Termômetro Zr em rutilo de Watson et al. (2006); círculos abertos e quadrados pretos representam respectivamente cristais de rutilo sintéticos e naturais. b) Comparação entre as calibrações de Zack et al. (2004a), Watson et al. (2006) e Degeling (2003). Retirado de Watson et al. (2006).	46
Figura 9 – Termômetro Zr em rutilo de Tomkins et al. (2007). Retirado de Tomkins et al. (2007).	47
Figura 10 – Termômetro Ti em zircão de Watson et al. (2006); quadrados e reta de regressão fina, e triângulos e linha tracejada representam respectivamente cristais de zircão sintéticos e naturais. Reta de regressão grossa é a global. Retirado de Watson et al. (2006).....	49
Figura 11 – Concentrações de Ti em quartzo x 1/T. Símbolos fechados na reta de 10 kbar são de Wark & Watson (2006). Incertezas são menores que os símbolos a não ser quando há barra de erro.	50
Figura 12 – Isopletras de a) Ti-quartzo e Zr-rutilo e b) Ti-quartzo e Zr-titanita com aproximação das fácies a partir de Spear (1993) e Philpotts (1990). A curva WSS é a sólido saturada em água (water-saturated solidus) para composições “mínimas” de referências listadas em Holtz & Johannes (1994). Retirado de Thomas et al (2010).	52
Figura 13 – Diagramas P-T produzidos pelo software TWQ (Berman 1991) e retirados de Pattison et al. (2003) para análise de granulito ilustrando as reações de equilíbrio na associação mineral granada – ortopiroxênio – plagioclásio – quartzo. Figura 13a indica curvas e resultados não corrigidos pelo método; Figura 13b apresenta a distribuição das curvas e resultado P-T após correção Fe-Mg-Al.	57

Figura 14 – Afloramento TPR-31. Metatexito estromático apresentando grande estiramento com indicadores cinemáticos indicando movimentação de topo para Leste. Bolsões centimétricos de fundido demarcados.....	64
Figura 15 – Afloramento TPR-26. Metatexito estromático com leucossoma de espessura centimétrica (1-3 cm), quartzo-feldspático, em granulação média, e resíduo finamente bandado com leitos félsicos e máficos, composto por quartzo, feldspato, biotita e granada.	64
Figura 16 – Afloramento TPR-27. Metatexito estromático com dobras intrafoliais centimétricas e finos leitos de biotita nas bordas de leucossoma.....	65
Figura 17 – Afloramento TPR-28. Metatexito estromático com leucossoma de granulação grossa em aspecto pegmatoide. Estrutura schollen, demarcada na porção inferior da foto, com bloco angular centimétrico de resíduo em meio ao leucossoma.....	65
Figura 18 – Afloramento TPR-20. Quartzito típico da área de cor cinza a tons amarronzados, acamadado, de granulação fina.	66
Figura 19 – TPR-19B. Biotita gnaiss milonítico com alternância de leitos escuros e sinuosos ricos em biotita e outros claros quartzo-feldspáticos.	67
Figura 20 – Visão geral da pedreira de Três Pontas (TPR-01). Intrusão de rocha metabásica metatexítica (MB), representada predominantemente por “resíduo” rico em hornblenda, em metapelito migmatítico/ cianita granulito migmatíticos (MP). Orientação ENE-WSW.....	69
Figura 21 – TPR-01. Detalhe do contato abrupto entre rocha residual máfica e metapelítica. Metapelito: leucossoma (L) em leitos contínuos, melanossoma (M) maciço, por vezes como leitos centimétricos, contínuos e boudinados; Leucossoma (LB) tonalítico paralelo à foliação, in-situ e in-source, resíduo (R) melanocrático, rico em hornblenda e leucossoma rosado (LI) grosso, rico em feldspato potássico. Notar dobramentos recumbentes com topo para ENE. Orientação ENE-WSW.....	69
Figura 22 – Fotomicrografias. a) TPR-01-O. Granada com aspecto esquelético repleta de inclusões de quartzo e plagioclásio no resíduo do rt-ky-grt granulito (Polarizador inferior; largura 12,0 mm); b) TPR-01-Z. Granada com inclusões arredondadas de quartzo e muito finas de rutilo, monazita e zircão, no resíduo do rt-ky-grt granulito (Polarizador inferior; largura 1,5 mm); c) TPR-01-U. Associação retrometamórfica de biotita, plagioclásio e granada (granada = biotita + plagioclásio) no resíduo do rt-ky-grt granulito (Polarizadores cruzados; largura 1,5 mm); d) TPR-01-Z. Cianita prismática orientada junto à granada do resíduo do rt-ky-grt granulito (Polarizador inferior; largura 3,5 mm); e) TPR-01-X1. Biotita retrometamórfica alterando bordas e fraturas de granada do resíduo do rt-ky-grt granulito (Polarizador inferior; largura 3,5 mm); f) TPR-01-K. Biotita e plagioclásio retrometamórficos substituindo granada. Na área inferior da imagem, biotita e cianita como cristais subidioblásticos orientados na foliação do resíduo do rt-ky-grt granulito (Polarizador inferior; largura 3,5 mm).....	71
Figura 23 – TPR-01. Cianita-granada granulito migmatítico com veios de leucossoma, o que gera estrutura estromática (L1), dobras assimétricas vergentes para ENE e selvedge (S) de biotita. Leucossoma grosso (L2) em porção entre camadas mais competentes ricas em biotita. Orientação ENE-WSW.....	72
Figura 24 – Fotomicrografias. a) TPR-01-Q. Indicador cinemático quartzo-feldspático tipo fish amoldado por biotita no resíduo do rt-ky-grt granulito (Polarizador inferior; largura 3,5 mm); b) TPR-01-I. Ribbon de quartzo em leucossoma do rt-ky-grt granulito deformado. Notar os contatos arredondados e suturados com os demais minerais (Polarizadores cruzados; largura 3,5 mm); c) TPR-01-I. Exsoluções de microclínio em megacristais de plagioclásio de	

leucossoma do rt-ky-grt granulito (Polarizadores cruzados; largura 3,5 mm); d) TPR-01-U. Inclusões de rutilo prismático em granada do leucossoma (Polarizador inferior; largura 3,5 mm); e) TPR-01-X2. Cristais prismáticos de cianita orientados e inclusos em granada no leucossoma do rt-ky-grt granulito (Polarizadores cruzados; largura 3,5 mm); f) TPR-01-A. Rocha protomilonítica: porção de granulação fina rica em biotita com quartzo e plagioclásio e porfiroclastos médios de apatita (Polarizador inferior; largura 3,5 mm).74

Figura 25 – TPR-01. Cianita-granada granulito migmatítico apresentando contato difuso entre melanossoma (M) e leucossoma (L); leito contínuo de espessura centimétrica composto por biotita retrometamórfica/ selvedge (S) entre leucossoma (L) e melanossoma (M). O melanossoma é formado por aglomerado de granada, cianita rutilo e feldspato potássico. Na porção central da foto é possível perceber o contato transicional entre o melanossoma e leucossoma, o que permite inferir a segregação do último a partir do primeiro. Orientação ENE-WSW.75

Figura 26 – TPR-01. Boudin em melanossoma no interior de leucossoma. Notar contato superior retilíneo e inferior difuso, indicando diferença nas reologias do melanossoma, com o topo mais competente que a base. Orientação ENE-WSW76

Figura 27 – Fotomicrografias. a) TPR-01-D. Rocha protomilonítica: porção de granulação fina rica em biotita com quartzo e plagioclásio e porfiroclastos médios de escapolita e hornblenda (Polarizadores cruzados; largura 3,5 mm); b) TPR-01-A. Rocha protomilonítica: porção de granulação fina com menor proporção de biotita comparada a de menor granulação. No centro da foto, sigmoide policristalino composto por plagioclásio (70%) e quartzo (30%). No canto inferior esquerdo, porfiroclasto médio de plagioclásio manteado por porção policristalina do mesmo mineral em menor granulação (Polarizadores cruzados; largura 12,0 mm); c) TPR-01-D. Visível bimodalidade de bandas, ambas lepidogranoblásticas, com a inferior de granulação muito fina a fina, rica em biotita com porfiroclastos de apatita, granada e escapolita, e a superior de granulação fina e menor proporção de biotita (Polarizadores cruzados; largura 12,0 mm); d) TPR-01-A. Porfiroblasto de granada com inclusões de cianita e biotita (metamorfismo progressivo) (Polarizador inferior; largura 3,5 mm); e) TPR-01-T. Foliação (biotita) oblíqua à principal (Polarizador inferior; largura 3,5 mm); f) TPR-01-E2. Rocha residual máfica: cristal de ortopiroxênio com inclusões de minerais opacos envoltos por hornblenda. Esta também ocorre alterando clivagem de ortopiroxênio (Polarizador inferior; largura 3,5 mm).78

Figura 28 – Fotomicrografias. a) TPR-01-E1. Rocha residual máfica com filmes de quartzo de terminações em cúspide (Polarizador inferior; largura 1,5 mm); b) TPR-01-N. Rocha residual máfica: Em cor rosa na porção central superior ocorrem filmes de quartzo com continuidade ótica entre cristais de hornblenda (fusão parcial in-situ) (Polarizadores cruzados + acessório; largura 1,5 mm); c) TPR-01-G2. Retrometamorfismo na rocha residual máfica com geração de biotita (marrom), plagioclásio (rosa), carbonato (lilás) e opacos (preto) a partir de hornblenda (cristal verde desmembrado) + fluido rico em CO₂ (presença de carbonato, e escapolita no leucossoma) (Polarizadores cruzados + acessório; largura 1,5 mm); d) TPR-01-S1. Biotita e opaco xenoblástico coroados por titanita em porção de resíduo próxima a leucossoma (Polarizador inferior; largura 3,5 mm); e) TPR-01-L. Inclusões de opacos e rutilo coroados por titanita em ortopiroxênio com hornblenda associada (opaco+hbl±opx=titanita) (Polarizador inferior; largura 1,5 mm); f) TPR-01-M. Intercrescimento de hornblenda e plagioclásio próximo a leucossomas in-situ no resíduo máfico (Polarizador inferior; largura 1,5 mm).80

Figura 29 – TPR-01. Rocha residual máfica composta essencialmente pelo resíduo melanocrático (hornblenda) e diferentes veios de leucossoma: in-situ (L1), in-source (L2) e em

veios (L3). O desenvolvimento de L1 leva à geração de L2, e com o aumento da fusão parcial, L3 em regiões de alívio de pressão. Notar orientação do veio L3 concordante à das dobras do ri-ky-grt granulito migmatítico. Orientação ENE-WSW. 82

Figura 30 – TPR-01. Contato interdigitado/ penetrativo entre leucossoma (L) e resíduo máfico. Banda de espessura centimétrica de resíduo menos alterado portador de plagioclásio (R2). Notar contatos também interdigitados entre resíduo com e sem plagioclásio, com plagioclásio concentrado em pequenos veios de leucossoma in-situ (L2). 82

Figura 31 – TPR-01. Boudins centimétricos na rocha residual básica com zonas surreíticas preenchidas por leucossoma tonalítico. Veios de leucossoma in-situ e in-source. Orientação ENE-WSW. 83

Figura 32 – TPR-01. Bloco rotacionado de rocha máfica residual com movimento indicando topo para leste. A evolução da fusão parcial aumenta a quantidade de leucossoma, que envolve e movimenta pedaços maiores de resíduo. A evolução desse quadro leva a estruturas do tipo schollen. Notar penetrações de material fundido no bloco em direção perpendicular à foliação. Orientação ENE-WSW. 83

Figura 33 – TPR-01. Leucossoma com porfiroblasto centimétrico de clinopiroxênio envolto por coroa de hornblenda retrometamórfica. 84

Figura 34 – TPR-01. Bandamento centimétrico que alterna leitos de resíduo (M), leucossoma com porfiroblastos de clinopiroxênio (L) e de hornblenda retrometamórfica/ selvedge (S)... 84

Figura 35 – TPR-01. Fotomicrografias. a) TPR-01-E1. Rocha residual máfica bem preservada com clinopiroxênio abundante e alterado a partir das bordas por hornblenda. Minerais opacos granulares a alongados e intersticiais são associados (Polarizador inferior; largura 3,5 mm); b) TPR-01-E2. Clinopiroxênio alterado nas bordas por hornblenda em leucossoma de rocha residual máfica (Polarizador inferior; largura 3,5 mm); c) TPR-01-M. Cristais subidioblásticos a xenoblásticos de hornblenda acompanhados por opacos em leucossoma de rocha residual máfica (Polarizador inferior; largura 3,5 mm); d) TPR-01-N. Veio fino de leucossoma composto por plagioclásio e quartzo em textura ígnea (Polarizadores cruzados); e) TPR-01-P. Porção rica em escapolita em leucossoma de rocha residual máfica. Notar junções triplas de 120° (Polarizadores cruzados; largura 3,5 mm); f) TPR-01-P. No contato leucossoma-resíduo máfico ocorre biotita xenoblástica (Polarizador inferior; largura 3,5 mm). 87

Figura 36 – TPR-01. Leucossoma intrusivo (LI) grosso em rocha residual, rico em feldspato potássico. Em contato abrupto há rocha metamáfica (B2) distinta, característica por grande quantidade de leucossoma in-situ e in-source, e ainda portar quantidade considerável de plagioclásio. Notar dobras assimétricas no leucossoma intrusivo com movimentação de topo para ENE. Orientação ENE-WSW. 88

Figura 37 – TPR-01. Diferentes veios de leucossoma em rocha residual máfica: (L1) leucossoma tonalítico gerado a partir da rocha máfica original; (L2) material fundido portador de feldspato potássico, resultante da interação de L1 com material de fusão parcial de metapelito. Notar orientação dos veios de leucossoma que indica movimentação com topo para ENE. Orientação ENE-WSW. 89

Figura 38 – TPR-01. Rocha máfica distinta (B2 na Figura 36) com menor mobilização do material fundido. Leucossoma in-situ (L1) e in-source (L2). 89

Figura 39 – TPR-01. Fotomicrografias. a) TPR-01-F1. Banda cinza claro de rocha calciossilicática composta por granada, quartzo intersticial e titanita orientada paralelamente ao bandamento (Polarizador inferior; largura 3,5 mm); b) TPR-01-C. Inclusões muito finas de

monazita/ zircão em granada de banda cinza escura em rocha calciossilicática. Notar fino filme de quartzo abaixo da granada (Polarizadores cruzados; largura 1,5 mm); c) TPR-01-F1. Banda cinza escura de rocha calciossilicática diferenciada da anterior pela presença de hornblenda e clinopiroxênio e quase total ausência de quartzo e baixa de titanita. Os contatos entre os minerais são retos com raros exemplos arredondados quando quartzo está envolvido (Polarizador inferior; largura 3,5 mm); d) TPR-01-R. Visão geral do resíduo internamente bandado em rocha calciossilicática. Extremo inferior esquerdo ocorre banda com as maiores proporções de hornblenda e granada. A banda central, mais espessa, apresenta menores proporções de granada e hornblenda e maiores de quartzo, plagioclásio e biotita, em maior granulação relativa (ainda fina). A passagem de resíduo para leucossoma ocorre de maneira abrupta por meio de leito fino lepidogranoblástico, com espessura de 1-2mm na porção superior da foto, composto por biotita muito fina a fina e quartzo (Polarizador inferior; largura 12,0 mm); e) TPR-01-R. Granada xenoblástica com aspecto esquelético na banda rica em hornblenda de rocha calciossilicática. Sua textura sugere consumo durante o metamorfismo (Polarizador inferior; largura 3,5 mm); f) TPR-01-R. Cianita inclusa parcial e totalmente em granada no leucossoma de rocha calciossilicática (Polarizadores cruzados; largura 3,5 mm).

.....92

Figura 40 – IC-06-R. Granulito félsico da Nappe Socorro-Guaxupé bandado, característico por apresentar resíduo mesocrático alternado por leucossoma tonalítico de espessura milimétrica (leitos de coloração clara).94

Figura 41 – IC-06-R. Diferentes gerações de leucossoma no granulito félsico. Leucossoma em leito de espessura milimétrica paralelo à foliação (L1; mais abundante); Leucossoma em finos bolsões estirados ricos em plagioclásio (L2); Leucossoma in-situ, oblíquo à foliação (L3).95

Figura 42 – Fotomicrografias. a) IC-06-R. Ortopiroxênio, clinopiroxênio e hornblenda no leucossoma do granulito félsico. Notar cristal de clinopiroxênio substituído na borda por hornblenda na porção inferior central da imagem (Polarizador inferior; largura 3,5 mm); b) IC-06-R. Inclusão de fundido composto por plagioclásio, quartzo e biotita em granada de resíduo do granulito félsico (Polarizadores cruzados; largura 3,5 mm).95

Figura 43 – Dados estruturais do granulito metapelítico. A. Atitudes de foliação (polares) indicando mergulhos de baixo ângulo com rumo S-SW. n=34; B. Atitudes de lineações mostram predominância de caimento para W-SW. n=12.....96

Figura 44 – Perfis composicionais de granada das amostras TPR-01-C, -B e -F1 (eixo X representa as análises pontuais plotadas na imagem de elétrons retro-espalhados).102

Figura 45 – Mapas composicionais da granada 3 da amostra TPR-01-C para Fe, Mn, Ca e Mg.103

Figura 46 – Mapas composicionais da granada 3 da amostra TPR-01-B para Fe, Mn, Ca e Mg.104

Figura 47 – Mapas composicionais da granada 3 da amostra TPR-01-F1 para Fe, Mn, Ca e Mg.105

Figura 48 – Perfis composicionais de granada da amostra IC-06-R (eixo X representa as análises pontuais plotadas na imagem de elétrons retro-espalhados).107

Figura 49 – Mapas composicionais da granada 2 da amostra IC-06-R para Fe, Mn, Ca e Mg108

Figura 50 – Perfis composicionais de clinopiroxênio das amostras TPR-01-C e -B (eixo X representa as análises pontuais plotadas na imagem de elétrons retroespalhados.	112
Figura 51 – Perfis composicionais de clinopiroxênio das amostras TPR-01-C e -F1 (eixo X representa as análises pontuais plotadas na imagem de elétrons retroespalhados.	113
Figura 52 – Mapas composicionais dos clinopiroxênios 2 e 3 da amostra TPR-01-C para Fe, Al, Ca e Mg. Cristais 2 e 3 são os analisados nos perfis composicionais da Figura 51.	114
Figura 53 – Mapas composicionais do clinopiroxênio 7 da amostra TPR-01-B para Fe, Al, Ca e Mg.	115
Figura 54 – Mapas composicionais do clinopiroxênio 5 da amostra TPR-01-F1 para Fe, Al, Ca e Mg.	116
Figura 55 – Perfis composicionais de clinopiroxênio e ortopiroxênio da amostra IC-06-R (eixo X representa as análises pontuais plotadas na imagem de elétrons retroespalhados.	118
Figura 56 – Mapas composicionais do ortopiroxênio 4 da amostra IC-06-R para Fe, Al, Ca e Mg.....	119
Figura 57 – Perfis composicionais de plagioclásio das amostras TPR-01-F1 e TPR-01-C (eixo X representa as análises pontuais plotadas na imagem de elétrons retroespalhados.	122
Figura 58 – Mapas composicionais de plagioclásio 5 e 6 da amostra TPR-01-F1 para Ca e Na	123
Figura 59 – Mapas composicionais de plagioclásio 3 e 4 da amostra TPR-01-C para Ca e Na.	123
Figura 60 – Perfis composicionais de plagioclásio da amostra IC-06-R (eixo X representa as análises pontuais plotadas na imagem de elétrons retroespalhados).....	125
Figura 61 – Mapas composicionais de plagioclásio 6 da amostra IC-06-R para Ca e Na... ..	126
Figura 62 – Diagrama PT modificado de Thomas et al. (2010) que relaciona os geotermômetros Zr-rutilo e Ti-quartzo.....	128
Figura 63 – a) Teores de Zr em rutilo com campo delimitando faixa com os maiores valores; b) Respectivas temperaturas Zr-rutilo através do termômetro quartzo β , a 15 kbar, de Tomkins et. al. (2007).	129
Figura 64 – a) Teores de Ti em quartzo com campo delimitando faixa com os maiores valores; b) Respectivas temperaturas Ti-quartzo através do termômetro de Thomas et. al. (2010) a 15 kbar.....	130
Figura 65 – Diagrama modificado de Thomas et al. (2010) com os resultados obtidos a partir do cálculo pareado utilizando os termômetros Zr-rutilo (Tomkins et al. 2007) e Ti-quartzo (Thomas et al. 2010) para os 37 pares minerais.	131
Figura 66 – Pseudosseção 1 P-T no sistema química NCKFMASHTO com ilmenita e quartzo em excesso. Paragênese do rt-ky-grt granulito demarcada pelo retângulo preto. Curvas em vermelho indicam proporção de fusão parcial produzida na rocha. Composição química calculada a partir da proporção molar normalizada.	142
Figura 67 – Pseudosseção 2 P-T no sistema química NCKFMASHTO com ilmenita e quartzo em excesso. Paragênese do rt-ky-grt granulito demarcada pelo retângulo preto. Curvas em	

amarelo indicam proporção de fundido na rocha. Composição química calculada a partir da proporção molar normalizada.144

Figura 68 – Sobreposição das pseudosseções 1 e 2 com apenas as curvas univariantes e as isopletras de fusão parcial indicadas. Curvas grossas e isopletras vermelhas são do diagrama 1, e curvas finas e isopletras amarelas do 2. Índices nos minerais indicam a respectiva pseudosseção.....145

Figura 69. Fotomicrografia. Amostra TPR-01-ZF3. Porfiroblasto de granada rico em inclusões de quartzo e rutilo. Notação utilizada: Q7 = identificação da análise de quartzo; (23) = teor de Ti. O mesmo padrão de notação foi utilizado nas análises de rutilo. Feições arredondadas nas áreas sinalizadas são os locais analisados por laser. Polarizador inferior.148

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	25
1.1. Localização e acesso	26
1.2. Objetivos	27
1.3. Relevância	27
2. MATERIAIS E MÉTODOS	28
2.1. Trabalhos de campo	28
2.2. Confeção de mapa geológico	28
2.3. Descrição petrográfica	28
2.4. Química mineral (microsonda eletrônica e LA-ICP-MS)	28
2.5. Confeção de pseudosseções	29
2.6. Geotermobarometria	29
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	30
3.1. Contexto Tectônico	30
3.2. Geologia Regional	32
3.3. Breve conceituação sobre granulitos	36
3.4. Geoermobarometria	37
3.4.1. Conceito	37
3.4.2. Geotermômetros convencionais	41
3.4.3. Geotermômetros alternativos	44
3.4.4. Geobarômetros	52
3.4.5. Fatores Controladores	57
3.4.6. Estimativas de temperatura	59
3.4.7. Importância de um meio intergranular	60
4. RESULTADOS	62
4.1. Geologia local	62
4.1.1. Rutilo-cianita-granada granulito	62
4.1.2. Metatexito estromático	63
4.1.3. Quartzito	66
4.1.4. Biotita gnaiss milonítico	66
4.2. Pedreira de Três Pontas	67
4.2.1. Rutilo-cianita-granada granulito	68
4.2.2. Rocha residual máfica	79

4.2.3.	Rochas calciossilicáticas.....	90
4.3.	Pedreira de Varginha	93
4.3.1.	Granulito Félsico	93
4.4.	Geologia Estrutural	95
4.5.	Química mineral.....	97
4.5.1.	Análises por Microsonda Eletrônica	97
4.5.1.1.	Considerações gerais	97
4.5.1.2.	Granada.....	99
4.5.1.3.	Piroxênio.....	109
4.5.1.4.	Plagioclásio	119
4.5.2.	Análises por <i>Laser Ablation (LA-ICP-MS)</i>	126
4.5.2.1.	Considerações Gerais	126
4.5.2.2.	Rutilo	128
4.5.2.3.	Quartzo	129
4.5.2.4.	Zircão	130
4.5.2.5.	Cálculo pareado Zr-rutilo – Ti-quartzo.....	130
4.6.	Geotermobarometria	132
4.6.1.	Geotermobarometria convencional	132
4.6.1.1.	Considerações gerais	132
4.6.1.2.	<i>Nappe Três Pontas-Varginha</i>	132
4.6.1.3.	<i>Nappe Socorro-Guaxupé</i>	135
4.6.2.	Geotermobarometria otimizada.....	138
4.6.2.1.	<i>Nappe Socorro-Guaxupé</i>	138
4.6.3.	Pseudosseções	140
5.	DISCUSSÃO	146
5.1.	<i>Nappe Três Pontas-Varginha</i>	146
5.2.	<i>Nappe Socorro-Guaxupé</i>	149
6.	CONCLUSÕES	151
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	153
8.	APÊNDICES	163
	Apêndice 1 – Mapa e perfil geológico e mapa de pontos	163
	Apêndice 2 – Tabelas de análises químicas e fórmulas estruturais de granada, clinopiroxênio, ortopiroxênio e plagioclásio, e Geotermometria Zr-rutilo e Ti-quartzo.....	163

1. INTRODUÇÃO

A geotermobarometria é a ferramenta dentro da petrologia que investiga as condições P - T nas quais determinada associação mineral foi formada/ esteve em equilíbrio. Muitos minerais que possuem variação composicional, isto é, são soluções-sólidas, têm suas composições químicas relacionadas e dependentes das variações de temperatura e pressão, e quando em equilíbrio com outras fases que oferecem potencial troca iônica, como Fe e Mg entre granada e clinopiroxênio, e ao utilizar modelos apropriados de atividade e consequentemente determinar a constante de equilíbrio da reação entre seus membros finais, é possível indicar as condições P - T nas quais essa associação mineral foi formada/ era estável. Esse tipo de método é considerado convencional e utiliza apenas uma reação mineral. Métodos mais recentes, como o utilizado pelo *software* THERMOCALC, calcula o equilíbrio químico das fases minerais desejadas utilizando um conjunto de reações linearmente independentes de seus membros finais. Valores de entalpia, entropia e volume, necessários nos cálculos, são retirados de um banco de dados internamente consistente. Assim, calculadas as reações, uma barra de erro é ajustada no sentido de se obter seu menor valor considerando o maior número de reações.

Métodos mais recentes utilizam elementos traços em apenas uma fase mineral, como é o caso de Zr-rutilo (Zack *et al.* 2004a, Watson *et al.* 2006, Tomkins *et al.* 2007) e Ti-quartzo (Wark & Watson 2006, Thomas *et al.* 2010). Nesses trabalhos foram realizadas calibrações experimentais e empíricas onde foi determinada forte dependência em relação à temperatura, e menor com a pressão, nas concentrações desses elementos nos respectivos minerais. Outro método preciso e moderno é o cálculo de pseudosseções, que são diagramas P - T calculados para determinado sistema químico e composição química de rocha total em que ocorrem campos de associações minerais, separados por curvas univariantes, que indicam quais fases minerais estariam estáveis nos intervalos desejados.

A aplicação desses métodos em rochas de fácies granulito teoricamente deve ser ideal, pois essas rochas são formadas nas mesmas janelas P - T em que a maior parte dos experimentos das calibrações experimentais de termômetros e barômetros é feita. Deste modo, as correções de inferências fora da janela P - T deveriam ser menores ou inexistentes e os erros deveriam estar apenas relacionados com os modelos e cálculos de atividade. Entretanto, vários fatores petrológicos, geológicos e tectônicos inerentes à formação e evolução dos granulitos fazem com que a tarefa do cálculo P - T para a sua formação seja no mínimo desafiadora. Fatores como a comum relação entre granulitos e material silicático resultante de fusão parcial que oblitera a composição inicial da rocha dificulta sobremaneira a aplicação da maioria dos métodos.

No sul de Minas Gerais estão expostos granulitos associados a várias unidades, sendo que na *Nappe* Três Pontas-Varginha, na região entre Três Pontas e Carmo da Cachoeira, ocorrem granulitos de alta pressão (Trouw & Castro 1996; Campos Neto & Caby 1999, 2000; Garcia & Campos Neto 2003), representados por granulito migmatítico de composição pelítica, com paragênese residual de cianita + ortoclásio + granada + rutilo + quartzo, e por rocha residual máfica, com paragênese residual com camadas de hornblenda + diopsídio + rutilo $\pm$ granada $\pm$ ortopiroxênio. Leucossoma granítico e tonalítico são observados, respectivamente, associados a cada tipo de granulito. Ambas rochas apresentam associações típicas de alta temperatura e pressão, mas os cálculos para a determinação desses parâmetros são dificultados, pois em ambas rochas o plagioclásio foi em grande parte exaurido durante a fusão, dificultando a aplicação dos barômetros clássicos. Na mesma região ocorre granulito basal da *Nappe* Socorro-Guaxupé com paragênese granada-ortopiroxênio-clinopiroxênio-plagioclásio-ortoclásio-quartzo-ilmenita. O objetivo da presente dissertação é a determinação das condições *P-T* dos granulitos das *nappes* Três Pontas-Varginha e Socorro-Guaxupé com a aplicação de métodos termobarométricos convencionais, otimizados e alternativos.

1.1. Localização e acesso

A área estudada encontra-se no Município de Três Pontas, região sul do Estado de Minas Gerais. Foi mapeada área de aproximadamente 156 km², situada a sul de Três Pontas, que engloba o município de Boa Vista, e está contida nas cartas topográficas de Três Pontas e Ribeirão da Espera (coordenadas UTM: 23K 7634000/435000; 7628000/435000; 7634000/461000; 7628000/461000). O acesso a Três Pontas a partir da cidade de São Paulo se dá pela rodovia Fernão Dias (BR-381) até o Município de Três Corações, e de lá, pela rodovia Claudionor Vasconcelos (MG-167) até Três Pontas. Dentro dessa área foi estudada em detalhe a pedreira abandonada “Niemeyer” (coordenadas UTM: 7632035/450716). O acesso à pedreira se dá, a partir da região sudeste do Município de Três Pontas, pela Rodovia Claudionor Vasconcelos (MG-167). Em outra pedreira, “Grupo Santo Antônio”, a noroeste de Varginha (UTM: 7619887/451711), acessada pela mesma rodovia anterior, foram coletadas e estudadas algumas amostras. A Figura 1 ilustra a localização da área mapeada e das pedreiras estudadas.

Figura 1 – Localização da área de estudo. Estrela azul indica a localização da pedra abandonada “Niemeyer” estudada em detalhe e a estrela preta a pedra “Grupo Santo Antônio” em Varginha.

1.2. Objetivos

A presente dissertação teve por objetivo testar e comparar a aplicação de métodos convencionais e não convencionais de termobarometria em rochas da fácies granulito das *nappes* Três Pontas – Varginha e Socorro - Guaxupé. A presença de rochas félsicas, pelíticas e máficas metamorizadas nas condições da fácies granulito em altas pressões em pedreiras nas regiões entre Três Pontas e Varginha, MG, é ideal para a aplicação de vários métodos termobarométricos, para avaliação e comparação dos resultados obtidos e discussão da confiabilidade dos métodos.

1.3. Relevância

Frente à dificuldade recorrente encontrada no estudo de geotermobarometria de rochas de fácies granulito, este trabalho tentou por meio da mais ampla variedade de métodos, convencionais ou não, avaliar e estabelecer qual ou quais aqueles são mais confiáveis e precisos. Além do caráter analítico, com novos dados tanto de geologia de campo, como de condições *P-T*, auxilia no refinamento e entendimento da geologia de uma região bastante estudada, mas para a qual os dados disponíveis são conflitantes.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Trabalhos de campo

Foram realizadas duas etapas de trabalhos de campo durante o período do projeto. A primeira ocorreu entre os dias 3 e 7 de setembro de 2013, na região entre Três Pontas e Varginha, MG. O objetivo do trabalho foi visitar a pedreira abandonada “Niemeyer” em Três Pontas, a fim de descrever os litotipos presentes, mineralogia, estruturas e relações de contato, e a pedreira Grupo Santo Antônio, a leste de Varginha, para descrição e amostragem. Já a segunda, entre os dias 12 e 16 de abril de 2014, teve como objetivo a confecção de um mapa geológico na escala 1:50.000 de uma área de aproximadamente 156 km², situada a sul da cidade de Três Pontas, que engloba o município de Boa Vista, sul do Estado de Minas Gerais, e está contida nas cartas topográficas de Três Pontas e Ribeirão da Espera (coordenadas UTM: 7634000/435000; 7628000/435000; 7634000/461000; 7628000/461000). Esse mapeamento teve como objetivo obter maiores informações a respeito da geologia local nos arredores da pedreira Niemayer (tema central deste estudo).

2.2. Confecção de mapa geológico

Com base nas viagens de campos, descrições petrográficas, compilação de dados de Maciel (1986) e utilizando o *software* ArcGIS® (versão 10.1) foi confeccionado mapa geológico citado acima (Apêndice 1).

2.3. Descrição petrográfica

Após as etapas de campo foram produzidas, pelo Laboratório de Laminação do Instituto de Geociências, 32 lâminas petrográficas dos principais litotipos atentando para as diferentes texturas em cada um deles. Foi usado microscópio da marca Olympus, modelo BX40, nas descrições. A aquisição das fotomicrografias foi realizada com microscópio Olympus, modelo BX50, câmera “Infinity 1” e, *software* “analySIS starter”. Toda aparelhagem utilizada é pertencente ao Laboratório de Microscopia Óptica do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

2.4. Química mineral (microsonda eletrônica e LA-ICP-MS)

Com a descrição petrográfica feita, foram selecionadas amostras que contivessem fases essenciais em equilíbrio para a geotermobarometria. Para as análises de microsonda eletrônica foram confeccionadas (IGc – USP) e analisadas quatro seções polidas pelo equipamento JEOL, modelo JXA-FE-8530, *Field Emission Electron Probe Microanalyser (FE-EPMA)* no Instituto de Geociências da USP. As análises pontuais foram feitas com corrente de 20 nA e voltagem de 15 kV, enquanto que os mapas composicionais foram feitos com

condições de 100 e 150 nA e 15 kv. Foram usados padrões de minerais naturais para a calibração da máquina. Entre os dias 28/07/2014 e 08/08/2014 foi realizada viagem para a cidade de Gotemburgo, Suécia, com o objetivo de trabalhar em conjunto com o Professor Thomas Zack, da Universidade de Gotemburgo, em análises de LA-ICP-MS em rutilo, quartzo e zircão. Para essas análises, outras quatro seções polidas de 80 µm foram confeccionadas (IGc – USP) e analisadas pelo equipamento Laser-Ablation NWR213 (*ESI*) acoplado a ICP-MS 8800 *Triple Quadruple* (*Agilent Technologies*) na Universidade de Gotemburgo, Suécia. Grãos de minerais ou materiais sintéticos foram usados como padrões para o levantamento da curva de calibração.

2.5. Confeção de pseudosseções

Com análise química de outros trabalhos (e.g. Pavan 2010) foram sugeridas composições químicas para as rochas desse trabalho e confeccionadas duas pseudosseções no sistema NCKFMASHTO, utilizando o *software* THERMOCALC, v.333 (Holland & Powell 2011) e banco de dados termodinâmicos atualizados em 6 de fevereiro de 2012. Ambos diagramas foram calculados na janela de 2 a 20 kbar e de 650 a 1000 °C.

2.6. Geotermobarometria

Com as análises de química mineral em mãos, os dados de granada, clinopiroxênio, ortopiroxênio e plagioclásio obtidos por microsonda eletrônica foram tratados pelo *software* “AX”, de Tim Holland (<http://www.esc.cam.ac.uk/research/research-groups/research-projects/tim-hollands-software-pages/ax>) e, utilizados na geotermobarometria convencional pelos geotermômetros de Ellis & Green (1979) e Harley (1984), e pelos barômetros de Newton & Perkins (1982), Perkins & Chipera (1985), Paria *et al.* (1988) e Eckert *et al.* (1991). Os métodos otimizados utilizados foram os de Pattison *et al.* (2003) com o *software* RCLC e de Holland & Powell (2011) com THERMOCALC. Já os dados de rutilo, quartzo e zircão obtidos por LA-ICP-MS foram tratados pelo *software* GLITTER, versão 4.4.4 (<http://www.glitter-gemoc.com>) e, utilizados para a geotermobarometria não convencional com os geotermômetros de Watson *et al.* (2006), Tomkins *et al.* (2007) e Thomas *et al.* (2010).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Contexto Tectônico

Na região sudeste brasileira ocorrem rochas arqueanas a paleoproterozóicas pertencentes ao Cráton São Francisco e bordejadas por outras neoproterozóicas, relacionadas ao Evento Brasileiro – Pan Africano, que levou à formação do supercontinente Gondwana, representadas por faixas móveis (Figura 2). A Faixa Brasília (Marini *et al.* 1981; Fuck 1994; Dardenne 2000), situada na Província Tocantins (Figura 3) entre os Crátons São Francisco e Amazônico e que ainda engloba as Faixas Araguaia e Paraguai (Almeida *et al.* 1981), é composta de leste para oeste por metassedimentos parautoctones do Grupo Bambuí na zona de antepaís, metassedimentos alóctones da margem passiva neoproterozóica e rochas de seu embasamento, o Maciço Goiano e o Arco Magmático de Goiás. O orógeno pode ser dividido em Setentrional e Meridional devido à localização e orientação geográficas, deformação e metamorfismo distintos (Valeriano *et al.* 2000).

Figura 2 – Mapa simplificado de Gondwana. Áreas cratônicas em coloração cinza e faixas móveis como tracejados. Imagem retirada de Reno *et al.* 2009

A Faixa Brasília Setentrional apresenta orientação N-NE e é formada por diversos compartimentos com diferentes materiais (Figura 3), de diferentes idades, graus metamórficos e estilos estruturais. Os seguintes domínios tectônicos são reconhecidos: porção externa, em que ocorrem rochas de cobertura cratônica, não deformadas e sem metamorfismo, até leve deformação e metamorfismo, na sua porção oeste; domínio interno, o núcleo metamórfico em que rochas das fácies xisto verde até granulito são observadas, com migmatitos e eclogitos e grande volume de intrusões de corpos ígneos máficos a félsicos; domínio de Arco Magmático; em Goiás ocorre terreno com núcleo antigo, onde predominam rochas do Paleoproterozóico

e do Arqueano (Fuck 1994; Seer 1999; Dardenne 2000; Pimentel *et al.* 2000; Valeriano *et al.* 2000;).

Figura 3 – Província Tocantins com suas principais estruturas e domínios tectônicos (Delgado *et al.* 2003)

A Faixa Brasília Meridional apresenta orientação EW e diferencia-se da Setentrional por apresentar outro estilo tectônico, determinado por empilhamento de *nappes* formadas por rochas da margem passiva (conforme indicado por faciologia sedimentar e características geoquímicas/ geocronológicas) sanfranciscana, empurradas contra o Cráton São Francisco em ca. 640 Ma. Cada terreno formador da pilha é limitado entre si por superfícies de

cavalcamento sub-horizontais, sendo formado por unidades litoestratigráficas metassedimentares, como os grupos Canastra, Ibiá, Paranoá e Araxá-Andrelândia, ordenados em posição estratigráfica inferior a superior. Descontinuidades metamórficas ocorrem entre terrenos vizinhos e indicam que o empilhamento tectônico foi posterior aos respectivos picos metamórficos (Valeriano *et al.* 2004).

O metamorfismo da porção meridional é característico por ser de baixo grau em fácies xisto verde nas *nappes* inferiores e de médio a alto grau, fácies anfibolito a granulito, nas superiores (e.g. *nappes* Três Pontas – Varginha e Socorro-Guaxupé). Rochas de alta pressão nas porções superiores são relacionadas à subducção parcial de margem continental distal sanfranciscana sob a placa e/ou terrenos vindos de oeste, posteriormente extrudida sobre as *nappes* nas proximidades do antepaís, e conferindo ao pacote um padrão metamórfico invertido (Campos Neto & Caby 1999, 2000, Pavan 2010). A maior parte do padrão invertido se dá pela sobreposição das *nappes*, mas algumas delas apresentam sequência normal de metamorfismo dentro (Motta 2009).

O encontro das porções setentrional e meridional do orógeno, na altura do paralelo de Brasília, forma a chamada Flexura dos Pirineus (Costa & Angeiras 1971), caracterizada por lineamentos de direção E-W. Nessa região, estruturas da Faixa Brasília Meridional são superpostas por feições deformacionais da Setentrional, conferindo ao orógeno como um todo um caráter diacrônico.

Além da Faixa Brasília, o Cráton São Francisco na região sudeste brasileira é bordejado pelas faixas móveis de Araçuaí, a nordeste, e Ribeira-Búzios, a sul, pertencentes à Província Mantiqueira, sendo relacionadas ao fechamento do paleoceanos Adamastor, entre a margem leste do Cráton São Francisco e o Cráton do Congo, e que resultou em pelo menos um arco magmático (Arco Mágmatco do Rio Negro); (e.g. Machado *et al.* 1996, Schmitt *et al.* 1999, Heilbron & Machado 2003, Schmitt *et al.* 2004, 2008, Alkmim *et al.* 2006; Heilbron *et al.* 2008).

3.2. Geologia Regional

No sul de Minas Gerais estão expostas rochas do Cráton São Francisco e da porção meridional do Orógeno Brasília. Na região esta unidade é representada por vários sistemas de *nappes*, que de oeste para leste estão empilhados do topo para a base: Socorro-Guaxupé, Três Pontas-Varginha e *klippen* relacionadas, Liberdade e Carmo da Cachoeira ou Andrelândia, que representam, respectivamente, rochas intermediárias a máficas em fácies granulito de alta pressão derivadas de arco magmático, cianita granulitos de alta pressão de

prisma acrescionário subductado e metapelitos em fácies anfibolito relacionados a bacia de *foreland* (Campos Neto & Caby 1999, 2000; Figura 4).

Figura 4 – Mapa esquemático da porção meridional da Faixa Brasília com as pedreiras estudadas assinaladas (modificado de Campos Neto & Caby 1999, 2000).

A *Nappe* Socorro-Guaxupé apresenta em sua base, em camada com cerca de 3 km de espessura, granulito enderbítico bandado com granada, clinopiroxênio, ortopiroxênio, plagioclásio e quartzo, e leucossoma grosso charnoquítico interpretado como fusão anidra *in-situ*. Acima dessa porção, em camada de ~ 6 km de espessura, essa rocha grada para biotita-hornblenda diatexitó leucocrático, de granulação grossa na porção intermediária, e migmatitos semi-pelíticos a pelíticos, representados por granada-sillimanita-biotita metatexitó com leucossoma portador de biotita e granada no topo (grau de anatexia diminui para as porções

superiores), com lentes de quartzito, rochas calciossilicáticas, mármore e metabásicas intrusivas sin-metamórficas (Campos Neto & Caby 1999; 2000).

Isócrona Sm-Nd feita com granada, biotita e rocha total produziu idade neoproterozóica de 629 ± 14 Ma para o metamorfismo de fácies granulito. Em relação ao protolito dos granulitos enderbíticos, idades modelo Sm-Nd T_{dm} de 1290 Ma, com ϵ_{Nd} (0.640) = -1,2, são obtidos e relacionados ao Arco Mara Rosa localizado no interior da Faixa Brasília (Campos Neto & Caby 1999), enquanto que, para a unidade migmatítica superior, dados U/Pb (intercepto superior) de zircões fornecem idades entre 1,9 e 2,1 Ga (Ebert *et al.* 1996), interpretadas como valores de grãos herdados no sedimento.

Trabalhos anteriores, como o de Del Lama *et al.* (1994), apontam altas pressões e temperaturas iniciais de metamorfismo, com P de 12,5 kbar e T de 900 °C. Reequilíbrio metamórfico parcial a 7,5 kbar e 850°C é descrito por Oliveira & Ruberti (1979).

Estruturalmente, a *Nappe* Socorro-Guaxupé é caracterizada por apresentar foliação subhorizontal com lineações ENE, e indicadores cinemáticos com sentidos de transporte para E. Fatores que sugerem seu transporte para leste por pelo menos 200 km. Ao sul é limitada por zona de cisalhamento de direção NE (Campos Neto & Caby 1999).

Na região de entre Três Pontas e Carmo da Cachoeira, MG, ocorrem rochas metassedimentares do Grupo Andreilândia (Ebert 1956, 1984, Trouw *et al.* 1986) formadas sob condições de altas temperaturas e pressões, provavelmente relacionadas a ambientes de margens ativas (Janasi 1999; Trouw *et al.* 2000, 2006; Campos Neto & Caby 1999, 2000). Estruturalmente, a unidade é dividida na *Nappe* Três Pontas – Varginha, superior, formada por cianita e sillimanita granulitos, e *Nappe* Carmo da Cachoeira, inferior, constituída por xistos e gnaisses com granada e cianita (Campos Neto & Caby 2000).

A *Nappe* Três Pontas – Varginha, com cerca de 5 km de espessura, é formada por rochas de fácies granulito com cianita na base e sillimanita no topo, com intercalações de leitos de rochas calciossilicáticos, cianita quartzitos, quartzitos impuros, quartzitos ricos em granada e rochas máficas. O rutilo-granada-cianita granulito é de granulação média a grossa, foliação interpretada como o acamamento sedimentar original, e apresenta-se comumente *boudinado*, com bandamento composicional que apresenta camadas centimétricas ricas em granada, outras milimétricas compostas por maior quantidade de cianita e, mais raramente, finos leitos micáceos (Campos Neto & Caby 1999). É composto por quartzo, feldspato potássico, granada, cianita, biotita, plagioclásio, rutilo e ilmenita, com apatita, zircão, titanita, monazita e minerais opacos como acessórios. São comuns as feições de fusão parcial com geração de leucossoma com feldspato potássico, cianita e granada, minerais característicos de fusão por quebra da biotita, e melanossoma rico neste último mineral. Ainda há rochas com

foliação milonítica, com aumento no grau de milonitização nas proximidades do contato basal da sequência (Garcia 2001).

No topo do pacote a rocha apresenta sillimanita. Como mineralogia principal ocorre sillimanita, quartzo, biotita, microclínio, plagioclásio e ilmenita, com rutilo, zircão, minerais opacos, epidoto, apatita, titanita e turmalina como acessórios. Assim como no cianita granulito, feições de fusão parcial por quebra de biotita e porções com foliação milonítica são comuns (Garcia, 2001). Esse metamorfismo invertido, com cianita na base e sillimanita no topo, tem sua gênese provavelmente relacionada ao calor advectivo derivado da colocação da *nappe* Socorro-Guaxupé, acima e mais quente (Campos Neto & Caby 1999).

Rochas calciossilicáticas ocorrem na forma de leitos de espessuras milimétricas a decimétricas, comumente boudinados, concordantes com a foliação das encaixantes. São rochas bandadas de granulação média a grossa, textura granoblástica e composição variada, apresentando como tipos básicos metamargas aluminosas e mármore calciossilicáticos (Garcia, 2001).

Idades modelo Sm-Nd de rocha total para os protolitos dos granulitos com cianita e sillimanita são proterozóicas de cerca de 1,4 e 1,55 Ga, respectivamente, e ϵ_{Nd} (0.625) de -3,6 e -2,1 (Campos Neto & Caby 1999). Tais valores diferem dos da cobertura terrígena do Cráton São Francisco, e possuem características de ambiente de margem continental ativa, como caracterizado em outras regiões (McLennan *et al.* 1990).

Campos Neto & Caby (1999) realizaram trabalhos pioneiros com resultados termobarométricos na área. Estimativas de temperatura utilizando a partição de Fe e Mg entre biotita e granada, e levando em consideração a presença de Al^{VI} e Ti em biotita de fácies granulito (Indares & Martignole 1985), colocam a formação dos granulitos com cianita entre 690 °C e 780 °C, e dos com sillimanita em aproximadamente 890 °C. A partir desses valores, Campo Neto & Caby (1999) obtém valores de pressões de cerca de 12 kbar pela reação GRAIL usando a composição de granada rica em piropo (Alm48-Prp47). Já valores na ordem de 13 kbar são sugeridos pela coexistência de mesopertita e plagioclásio primário, através da reação GRIPS com a atividade de ilmenita na matriz = 0.93 (Bohlen & Liotta 1986). A partir disso foram gerados mais dados termobarométricos com os trabalhos de Campos Neto & Caby (2000), Garcia & Campos Neto (2003) e Reno *et al.* (2009), apontando temperaturas entre 700 °C e 900 °C (este próximo ao topo, mas ainda com cianita) e pressões entre 10 e 16kbar para o cianita granulito, 800°C a 960°C e 11 a 15kbar para o sillimanita granulito de topo.

O padrão estrutural apresentado pelas rochas da *Nappe* Três Pontas-Varginha é comparável ao da Socorro-Guaxupé, com foliação subhorizontal, lineação mineral, e lineação

de estiramento mineral de cianita, rutilo, muscovita e quartzo (*ribbons*), com direção ENE. *Klippen* de cianita granulito localizadas a sul da *nappe* indicam que seu transporte ocorreu por pelo menos 100 km para leste (Campos Neto & Caby 1999).

A *Nappe* Carmo da Cachoeira é unidade composta por quartzito, xisto e gnaiss, com intercalações de anfibolito e gondito (Garcia 2001). As rochas paraderivadas são xisto, xisto feldspático e quartzito com cianita, granada e rutilo. A variação entre elas ocorre devido à ocorrência ou não de plagioclásio, biotita e cianita e à proporção de quartzo, com gradação entre os três tipos, normalmente apresentando bandamento sedimentar reliquiar. A granulação varia de fina a grossa, de textura lepidogranoblástica a granolepidoblástica e composição mineralógica quartzo, plagioclásio, cianita, granada, biotita, muscovita, e rutilo, zircão, apatita, turmalina e minerais opacos como acessórios (Garcia 2001). Ocorre ainda granada-biotita-plagioclásio gnaiss, de granulação fina e nem sempre apresentam bandamento composicional. A composição mineralógica é formada por quartzo, plagioclásio (oligoclásio), biotita, muscovita, granada, cianita, e apatita, zircão, turmalina e minerais opacos como acessórios. São comuns feições miloníticas nessas rochas (Garcia 2001). Lentes de anfibolito com ou sem granada ocorrem com espessuras variáveis junto ao xisto, quartzito e gnaiss, em geral com foliação concordante à das encaixantes. Como mineralogia apresentam hornblenda, plagioclásio, quartzo, granada e $\pm$ clinopiroxênio ou $\pm$ epidoto, e ainda com rutilo, zircão, biotita, apatita, actinolita, clorita, carbonato, clinozoizita, titanita, e minerais opacos como acessórios (Garcia 2001). Gondito ocorre localmente, sendo rocha maciça, de granulação fina, de textura granoblástica e composta por quartzo e granada, mas apresenta como mineralogia acessória rutilo, por vezes em grandes quantidades, biotita, apatita, zircão e turmalina (Garcia 2001).

3.3. Breve conceituação sobre granulitos

Granulitos são rochas formadas em altas temperaturas ($T > 750-800$ °C) e em amplo intervalo de pressão, condições essas relacionadas à perturbação da geoterma nas porções médias e inferiores da crosta continental, em ambientes continentais colisionais (Harley 1989) ou extensionais (Sandiford & Powell 1986). A exumação dessas rochas geradas em grandes profundidades só é possível através de um posterior evento tectônico como por um sistema de *nappes*, fatias em terrenos colisionais (Harley 1989), através de colisão oblíqua (Thompson *et al.* 1997) ou por tectônica de fluxo de canal (Jamieson *et al.* 2004).

Na composição mineralógica apresentam tipicamente feldspato e minerais anidros, como piroxênios, principalmente ortopiroxênio, granada e quartzo. Em rochas aluminosas é comum a presença de cordierita, sillimanita e espinélio. A textura predominante é a

granoblástica, variando para tipos orientados e estirados (texturas *flaser* e milonítica), e estrutura maciça a bandada/ gnáissica (Harley 1989).

As altas temperaturas existentes durante esse metamorfismo podem levar a rocha à fusão parcial, a partir da quebra de minerais como biotita e hornblenda, o que implica coexistência com líquido silicático. A eficiência com que esse material fundido é mobilizado e segregado se torna um importante fator na preservação da paragênese de pico metamórfico da rocha residual, isto é, o granulito (White & Powell 2002, 2010). A rápida retirada do líquido evita maiores reações de difusão fundido-rocha, caso contrário, se o material fundido não for segregado com eficiência, as altas taxas de difusão podem alterar desde teores de determinados elementos em minerais, como diminuição de Ca em granada para cristalização de plagioclásio (Moraes *et al.* 2002), até a paragênese de mais alto grau da rocha por completo (White & Powell 2002), dificultando sobremaneira a obtenção das composições minerais de pico metamórfico e consequentemente dados termobarométricos precisos.

3.4. Geoermobarometria

3.4.1. Conceito

Muitos minerais apresentam variações composicionais caracterizadas como soluções-sólidas. Quando em coexistência em associação mineral, suas composições químicas são relacionadas e dependentes das variações de temperatura e pressão. Ao analisar, por exemplo, os teores de Fe e Mg de minerais em equilíbrio de uma mesma rocha, utilizar modelos apropriados de atividade e assim determinar a constante de equilíbrio de uma reação entre os membros finais desses minerais, é possível estabelecer valores de temperatura e pressão para as quais a associação mineral, ou paragênese, foi formada.

A reação de troca Fe-Mg entre minerais é exemplificada por Philpotts & Ague (2009) através do par estaurolita-clorita, que podem ser relacionados por duas reações, 1 e 2:

Pela subtração 2 – 1, é alcançada a reação de troca Fe-Mg entre estaurolita e clorita: $10\text{Mg-estaurolita} + 4\text{Fe-clorita} = 10\text{Fe-estaurolita} + 4\text{Mg-clorita}$.

A composição de ambos os minerais no equilíbrio é relacionada à constante de equilíbrio da reação, a qual pode ser recalculada em função da energia livre de Gibbs ($G = \sum_i n_i \mu_i$):

$$10\mu_{\text{MgSt}} + 4\mu_{\text{FeChl}} = 10\mu_{\text{FeSt}} + 4\mu_{\text{MgChl}} \rightarrow 10(\mu_{\text{FeSt}} + \mu_{\text{MgSt}}) - 4(\mu_{\text{FeChl}} + \mu_{\text{MgChl}}) = 0$$

Em termos de atividade (a), por exemplo:

$\mu_{\text{FeSt}} = \mu_{\text{FeSt}}^* + RT \ln a_{\text{FeSt}}$, em que μ_{FeSt}^* é o potencial químico de Fe-estauroлита em determinada pressão e temperatura, assim:

$$10(\mu_{\text{FeSt}}^* - \mu_{\text{MgSt}}^*) - 4(\mu_{\text{FeChl}}^* - \mu_{\text{MgChl}}^*) = -10RT \ln \frac{a_{\text{FeSt}}}{a_{\text{MgSt}}} + 4RT \ln \frac{a_{\text{FeChl}}}{a_{\text{MgChl}}}$$

Como $\mu_{\text{FeSt}}^* = G_{\text{FeSt}}$, o lado esquerdo da reação é simplesmente a variação da energia livre de Gibbs (ΔG) da reação de troca Fe-Mg em determinada pressão e temperatura, assim:

$$\Delta G = -RT \ln \frac{a_{\text{FeSt}}^{10} a_{\text{MgChl}}^4}{a_{\text{MgSt}}^{10} a_{\text{FeChl}}^4}$$

Essa mudança de energia livre é chamada de potencial de troca Fe-Mg. Para relacionar o potencial com a composição dos minerais é preciso saber a relação entre as atividades em frações molares dos membros finais dos minerais ($a_i = X_i^n$; onde n é o número de sítios no mineral, com $n = 2$ no caso da estauroлита e $n = 5$ para a clorita):

$$\Delta G = -RT \ln \frac{X_{\text{FeSt}}^{20} X_{\text{MgChl}}^{20}}{X_{\text{MgSt}}^{20} X_{\text{FeChl}}^{20}} \rightarrow -\Delta G = 20RT \ln \frac{X_{\text{FeSt}} X_{\text{MgChl}}}{X_{\text{MgSt}} X_{\text{FeChl}}}$$

A razão entre as frações molares de Fe e Mg das fases coexistentes, nesse caso estauroлита e clorita, é conhecida como *coeficiente de distribuição* (K_D), e pode ser determinada por análises químicas minerais com o uso de microsonda eletrônica.

Como a energia livre de Gibbs (ΔG) pode ser explicada em função de temperatura e pressão, o *coeficiente de distribuição* (K_D) pode ser utilizado para a obtenção de valores das variáveis intensivas para as quais minerais coexistentes se formaram em determinada rocha. Dessa maneira:

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S + (P - 10^5) \Delta V$$

$$\Delta G = - mRT \ln K_D$$

Então,

$$\ln K_D = - \frac{\Delta H}{mRT} + \frac{\Delta S}{mR} - (P - 10^5) \frac{\Delta V}{mRT}$$

Onde:

K_D - constante de equilíbrio de uma reação - determinada pela composição química dos minerais obtida na microsonda eletrônica;

ΔH - variação da entalpia da reação em relação a um estado padrão;

ΔS - variação da entropia da reação em relação a um estado padrão;

ΔV - variação do volume das fases em relação a um estado padrão;

P - em pascal;

T - em °C;

m - baseado no modelo de atividade e nos coeficientes da reação (no caso, $m = 20$).

A partir da última equação e dependendo da magnitude de cada um de seus termos é possível estimar temperaturas (geotermômetro) ou pressões (geobarômetro) metamórficas, e como pode ser visualizado, reações que envolvem pouca ou nenhuma variação de volume (ΔV) e grande variação de entropia (ΔS) são consideradas bons geotermômetros, reações entre minerais que trocam elementos de raios iônicos semelhantes, entre sítios cristalográficos de mesma coordenação; e.g. troca Fe-Mg, enquanto aquelas características por grande variação de volume (ΔV), bons geobarômetros, reações minerais que envolvem substituições acopladas entre elementos de raios iônicos diferentes e em sítios cristalográficos de coordenações diferentes; e.g. $Al_1^{VI}Al_1^{IV} Mg_{-1}Si_{-1}$ ou $Na_1Al_1^{VI} Ca_{-1}Mg_{-1}$ (Carswell & Harley 1990).

Para que a equação seja calibrada como um geotermômetro ou geobarômetro é necessário conhecer os valores das variações de entalpia (ΔH), entropia (ΔS) e volume (ΔV) da reação em questão, que podem ser determinados através de calibrações experimentais, empíricas e termodinâmicas. As experimentais são feitas em laboratório, e através de experimentos com fases sintéticas ou naturais de composições conhecidas é feita a determinação da equação de equilíbrio. Nas empíricas, os dados termodinâmicos da reação a ser calibrada são obtidos de rochas cujas condições P - T são conhecidas através de algum método termobarométrico. E por fim, as termodinâmicas são montadas com dados termodinâmicos (volume molar - V , entropia de formação - S , entalpia de formação - H° , capacidade de calor - C_p , etc) de membros finais puros disponíveis em tabelas de dados termodinâmicos e que foram determinados de modo experimental ou empírico.

Além dos cálculos P - T utilizando os tipos de calibrações descritas acima, outras formas de se obter bons resultados são os programas que usam banco de dados termodinâmicos internamente consistentes, como os *softwares* THERMOCALC (Holland & Powell, 2011) ou TWEEQU (Berman, 1988). O THERMOCALC usa um conjunto mínimo de reações linearmente independentes que combina a informação de todos os membros finais dos minerais presentes na rocha em determinado sistema químico modelo. Essas reações são deslocadas dentro de suas barras de erro até definirem uma elipse na região com o menor erro possível (Powell & Holland, 1994).

Outra forma de se utilizar o banco de dados termodinâmicos internamente consistente é através do cálculo de pseudosseção (Figura 5), isto é, um diagrama de fases produzido em determinada janela P - T , para uma determinada composição de rocha (*bulk composition*). Pode-se considerar que a pseudosseção é o mapa das associações minerais no espaço P - T , desenvolvidas para uma composição ou volume de equilíbrio. Assim, na pseudosseção são representados apenas os segmentos de reações univariantes em dado sistema químico modelo, ou faixa equivalente em sistema químico mais complexo, que a composição da rocha pode “ver” (Powell *et al.* 1998, 2005). A combinação da composição dos minerais da rocha investigada, com as variações composicionais calculadas na pseudosseção, fornece um dos modos mais precisos para a termobarometria, além de ser possível inferir trajetórias P - T pela comparação das texturas e os campos di-, tri-, tetra- ou de variância maior da pseudosseção (White *et al.* 2007; Pavan 2010). O maior problema no cálculo de pseudosseções quando rochas de alto grau metamórfico estão envolvidas, tais como migmatitos e granulitos, é que é fundamental se conhecer a composição da rocha a ser modelada. No caso dos migmatitos, a fusão com subsequente segregação, movimentação e perda de líquido impede o conhecimento da composição original da rocha e uma série de suposições deve ser feita. O modelamento só pode ser realizado levando-se em conta uma composição estimada, sendo que as condições P - T inferidas serão dependentes do quanto a composição original da rocha pode ser recuperada, seja lá qual for o método usado para isso.

Figura 5 – Exemplo de pseudosseção P-T com contornos de % de líquido. A intensidade da cor indica a variância do campo, com maior variância e menor número de fases nos campos escuros e menor variância e maior número de fases nos campos claros. Retirado de Powell *et al.* (2005).

3.4.2. Geotermômetros convencionais

Granada-Clinopiroxênio

Geotermômetro utilizado para rochas de alto grau como granulitos básicos e intermediários a eclogitos, de diferentes ambientes, portadores de clinopiroxênio e granada.

Os primeiros trabalhos a estudar a troca Fe-Mg entre esses minerais (e.g. Coleman *et al.* 1965, Lovering & White 1969, Banno 1970, Mysen & Heier 1972 e Raheim & Green 1974) mostram que diferentes valores de K_D $[(Fe/Mg)^{Grt}/(Fe/Mg)^{Cpx}]$ em rochas geradas em diferentes ambientes, são relacionados a distintas condições *P-T* em suas gerações. O papel da pressão nessa relação não era bem explicada e quantificada, até que, Ellis & Green (1979) resolveram essa questão e mostraram através de calibração experimental no sistema CMFAS (CaO, MgO, FeO, Al₂O₃ e SiO₂), em associações com clinopiroxênio e granada, a pressões

entre 24 e 30 kbar e temperaturas entre 750 e 1300 °C, que o K_D é também dependente do conteúdo de Ca na granada, provavelmente relacionado à substituição Ca-Mg não ideal entre os dois minerais.

A partir da equação de troca Fe-Mg entre granada e piroxênio,

foi desenvolvido o seguinte geotermômetro (Ellis & Green 1979):

$$T(K) = \frac{3104X_{Ca}^{Grt} + 3030 + 10.86P}{\ln K_D + 1.9034}$$

Onde, K_D é o coeficiente de distribuição de Fe e Mg entre granada e clinopiroxênio

$$\left(\frac{(X_{Fe}^{Grt})}{(X_{Mg}^{Grt})} \times \frac{(X_{Mg}^{Cpx})}{(X_{Fe}^{Cpx})} \right), X_{Ca}^{Grt} \text{ é a fração molar do Ca na granada e } P \text{ em kbar.}$$

Como esse geotermômetro é dependente da pressão, é necessária uma boa estimativa dessa variável para obtenção de valores confiáveis de temperatura. Incertezas nos resultados podem ser geradas, por exemplo, pelas substituições de Ca e Mn em granada, pois alteram as atividades de Fe e Mg nos membros finais (e.g. Berman 1991).

Após o trabalho de Ellis & Green (1979), o termômetro foi revisado com novas calibrações ou modelos de atividade (e.g. Powell 1985, Krogh 1988, Pattison & Newton 1989, Ai 1994, Berman *et al.* 1995, Ravna 2000), porém a calibração de Ellis & Green (1979) parece ainda ser a que produz resultados de maior confiabilidade.

GARB

A reação de troca catiônica (Fe – Mg) entre granada e biotita em paragênese é geotermômetro importante e amplamente utilizado, devido ao fato desses minerais ocorrerem em larga faixa de condições metamórficas, do baixo ao alto grau, e por não envolver significativa variação de volume molar durante a troca Fe-Mg desses minerais. A reação GARB pode ser escrita da seguinte maneira (Ferry & Spear 1978):

Nela observa-se que as composições de biotita, com o aumento de temperatura, tornam-se cada vez mais enriquecidas em Fe (anita) enquanto que as de granada em Mg (piropo).

Ferry & Spear (1978) calibraram experimentalmente essa reação e produziram o seguinte geotermômetro:

$$\ln K_D = -\frac{52108}{3R} \frac{1}{T} + \frac{19.51}{3R} - (P - 10^5) \frac{0.238 \times 10^{-5}}{3RT}$$

Onde, K_D é o coeficiente de distribuição de Fe e Mg entre granada e biotita, T em °C, P em kbar e R é a constante de gás 0.0083144 kJ K⁻¹.

Como a variação de volume na troca entre Fe e Mg é pequena (0.238×10^{-5}) e mesmo que os valores de pressão já obtidos não sejam tão bem definidos, as estimativas de temperatura com esse termômetro podem apresentar incerteza de $\pm 50^\circ\text{C}$. Assim como no termômetro granada-clinopiroxênio, substituições de Ca e Mn em granada, e aqui de Ti em biotita, alteram as atividades de Fe e Mg nos membros finais (e.g. Berman 1991), e maiores concentrações de Fe³⁺, Ti, F e Cl, comum em rochas de alto grau, também provocam erros significativos (Essene 1982). A aplicabilidade do termômetro é limitada em rochas da fácies granulito, pois dependendo dos mecanismos reacionais durante o retrometamorfismo, pode ocorrer a destruição da composição desses minerais por dissolução da granada ou difusão tardia nos dois minerais (Spear & Florence, 1992).

Granada-Ortopiroxênio

Geotermômetro calibrado experimentalmente por Harley (1984) para granada peridotito e granulito que relaciona a troca Fe-Mg entre granada e ortopiroxênio aluminoso, sob condições P - T de 5 a 30 kbar e 800 a 1200 °C, nos sistemas FeO – MgO – Al₂O₃ – SiO₂ (FMAS) e CaO – FeO – MgO – Al₂O₃ – SiO₂ (CFMAS). Assim como no geotermômetro de Ellis & Green (1979), Ca efetua papel importante na partição Fe-Mg entre os minerais pareados, podendo ser atribuído à substituição Ca-Mg não ideal na granada e descrita pelo fator de interação

$$W_{CaMg}^{grt} - W_{CaFe}^{grt} = 1400 \pm 500 \frac{\text{cal}}{\text{mol}}$$

assim, por meio de redução dos dados experimentais, com os volumes molares dos membros-finais das fases envolvidas, o geotermômetro pode ser escrito como:

$$T(^{\circ}\text{C}) = \left[\frac{3740 + 1400X_{grs}^{grt} + 22,26P(\text{kbar})}{R \ln K_D + 1,96} \right] - 273$$

onde, $K_D = \frac{\left(\frac{Fe}{Mg}\right)^{grt}}{\left(\frac{Fe}{Mg}\right)^{opx}}$ e $X_{grs}^{grt} = \left[\frac{Ca}{Ca+Mg+Fe} \right]^{grt}$

Ao comparar resultados desse método com o de Ellis & Green (1979) em suítes de granada lherzolitos e granulitos de alta pressão, Harley (1984) obtém temperaturas inferiores, entre 50 e 130 °C em rochas acima de 1000 °C, e entre 0 e 50 °C nas de temperaturas mais baixas. Para essas discrepâncias, o autor apresenta quatro hipóteses: 1) Erros em um ou ambos termômetros; 2) Equilíbrio Fe-Mg é mais rápido entre granada e ortopiroxênio do que entre granada e clinopiroxênio; 3) Como Fe³⁺ não é considerado nesse método, as temperaturas encontradas são mínimas; 4) O termômetro de Ellis & Green (1979) superestima as temperaturas de rochas de alto grau.

3.4.3. Geotermômetros alternativos

No final da década de 1990 e início da de 2000, o estudo da composição química de elementos traço de fases metamórficas essenciais e acessórias (Bea, 1996), com o uso de LA-ICP-MS permitiu a investigação de equilíbrio químico durante o metamorfismo envolvendo essas fases e elementos traço. Em trabalhos pioneiros, Pyle & Spear (2000) e Pyle *et al.* (2001) calibraram termômetros envolvendo as fases monazita, xenotima e granada e a partição dos elementos Y, Gd e Dy entre esses minerais, obtendo excelentes resultados.

Iniciando com calibração empírica (Zack *et al.* 2004a), sendo seguida por calibrações experimentais (Watson *et al.* 2006), com experimentos que envolvem reversibilidade e demonstrando a sua dependência com a pressão (Tomkins *et al.* 2007), o termômetro Zr em rutilo apresenta resultados confiáveis e é passível de ser aplicado em grande quantidade de rochas em todo o campo de estabilidade do rutilo. Em conjunto com esse termômetro, outro foi desenvolvido a partir da dependência da temperatura e a partição de Ti no zircão (Watson *et al.* 2006), e quando usados conjuntamente na mesma rocha pode produzir cálculo *P-T* (Zack *et al.* 2006).

Um dos mais novos termômetros calibrados usa a partição de Ti no quartzo em altas temperaturas (Wark & Watson 2006; Thomas *et al.* 2010), elemento que deve ser analisado com LA-ICP-MS. O maior problema para a aplicação desse termômetro em rochas de alto grau que sofreram resfriamento lento é a rápida exsolução do Ti formando agulhas de rutilo dificultando sobremaneira a sua aplicação.

Zr em rutilo

Estudos existentes sobre geoquímica de rutilo indicam que o mineral é um importante portador/carregador de elementos de alto potencial iônico (HFSE), tais como Zr, Nb, Mo, Sn, Sb, Hf, Ta, W (e.g. Saunders *et al.* 1980). O fato, aliado à dependência da temperatura na incorporação de Zr pelo rutilo, fazem do mineral uma poderosa ferramenta no estudo do metamorfismo de rochas portadoras de quartzo, zircão e rutilo em equilíbrio, formadas sob condições de fácies xisto verde a eclogito, mas em especial nas de mais altas temperaturas e pressões (e.g. Zack *et al.* 2004a; Watson *et al.* 2006; Ferry & Watson 2007; Tomkins *et al.* 2007; Ewing *et al.* 2012).

Um dos primeiros trabalhos sobre a calibração do termômetro Zr em rutilo foi elaborado por Zack *et al.* (2004a), que realizaram calibrações empíricas utilizando a associação quartzo-rutilo-zircão de amostras já estudadas e que abrangem amplo intervalo de temperaturas (430 – 1100 °C) e de pressões. A partir dos resultados obtidos foram apresentadas duas fórmulas para cálculo de temperatura e foi considerado que os cálculos são independentes de influência de pressão (Figura 6 e Figura 7).

Figura 6 – Diferentes amostras utilizadas por Zack *et al.* (2004) nos diferentes campos de pressão e temperatura, sugerindo a não dependência da pressão na assimilação de Zr pelo rutilo. Retirado de Zack *et al.* (2004).

Figura 7 – Fórmulas para cálculo de temperatura de Zack *et al.* (2004). Em (a) são utilizados valores médios de Zr para cada amostra e em (b) apenas os máximos. Retirado de Zack *et al.* (2004).

Watson *et al.* (2006), utilizando calibrações experimentais e análises de cristais de amostras naturais de diversas origens (0.35 – 30 kbar e 470 – 1070 °C), sugerem a existência

da dependência na assimilação de Zr por rutilo com a pressão. Ao comparar seus resultados aos apresentados por Zack *et al.* (2004a), é evidente a concordância de resultados apenas em aproximadamente 540 °C. Já em relação às curvas de Degeling (2003), produzidas por calibrações experimentais e onde a pressão foi levada em consideração, é possível observar boa adequação nos resultados apresentados com a curva para 1 GPa (Figura 8).

As diferenças encontradas entre os termômetros de Zack *et al.* (2004a) e Watson *et al.* (2006) não são facilmente explicadas, mas provavelmente estão relacionadas ao modo de escolha dos cristais a serem analisados (apenas rutilo como inclusão no primeiro e aleatoriamente no segundo) e à influência da pressão desprezada por Zack *et al.* (2004a), como sugerido por Watson *et al.* (2006).

Figura 8 – a) Termômetro Zr em rutilo de Watson *et al.* (2006); círculos abertos e quadrados pretos representam respectivamente cristais de rutilo sintéticos e naturais. b) Comparação entre as calibrações de Zack *et al.* (2004a), Watson *et al.* (2006) e Degeling (2003). Retirado de Watson *et al.* (2006).

Tomkins *et al.* (2007) relacionam o fato de haver diferença significativa entre os raios iônicos do Zr^{4+} (0.72 Å; Shannon 1976) e do íon substituído Ti^{4+} (0.61 Å), o que contraria a premissa de não haver variação de volume em geotermômetros. Assim, sob altas pressões, cátions de Zr^{4+} (maiores) são menos capazes de substituir Ti^{4+} na estrutura do rutilo.

Deste modo, de acordo com a pressão assumida para cada caso (campos do quartzo α , quartzo β ou da coesita; 10, 20 e 30 kbar, respectivamente), foram realizadas calibrações experimentais e desenvolvidos três diferentes geotermômetros com incertezas médias de $\pm 30^\circ\text{C}$ (Figura 9; Tomkins *et al.* 2007):

- Campo do quartzo α (10 kbar):

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

- Campo do quartzo β (20 kbar):

$$T(^{\circ}\text{C}) = \frac{85.7 + 0.473P}{0.1453 - R \ln \phi} - 273$$

- Campo da coesita (30 kbar):

$$T(^{\circ}\text{C}) = \frac{88.1 + 0.206P}{0.1412 - R \ln \phi} - 273$$

Onde, ϕ é Zr em ppm, P é em kbar e R é a constante dos gases $0.0083144 \text{ kJ K}^{-1}$.

Figura 9 – Termômetro Zr em rutilo de Tomkins *et al.* (2007). Retirado de Tomkins *et al.* (2007).

Um fator que dificulta a utilização do método é a difusão do Zr no rutilo, que é dependente, entre muitos fatores, da velocidade de resfriamento da rocha. Trabalhos pioneiros como o de Zack *et al.* (2004a) mostram que os maiores teores de Zr ocorrem em cristais de rutilo inclusos em porfiroblastos de granada e ortopiroxênio, comparados àqueles da matriz. Esse fato é explicado pelo isolamento criado entre rutilo e matriz, mantendo a inclusão longe da ação de fluidos, recristalização e pela lenta difusão de íons altamente carregados (Zr^{4+}) entre rutilo e granada (van Orman *et al.* 2002). Assim, estes cristais proveriam os valores de temperatura mais próximos aos vivenciados pela rocha durante o pico metamórfico, com pouca ou nenhuma influência de eventos retrometamórficos.

Manchester *et al.* (2007) caracterizaram a difusão de Zr no rutilo e calcularam temperaturas de fechamento T_c (Dodson, 1973) para diferentes taxas de resfriamento. Para cristais com 500 μm , sua T_c é ~670 °C, 770 °C e 890 °C para taxas de resfriamento de 1 °C, 10 °C e 100 °C/ m.a., respectivamente. Já para grãos com 100 μm , T_c é ~560 °C, 635 °C e 730 °C para as mesmas taxas. Com esses dados é possível observar que a difusão do Zr é rápida o suficiente para alterar os valores de pico metamórfico em alguns casos, porém em outros, fatores como isolamento do cristal por fase pobre em Zr ou Ti e/ou baixa eficiência na capacidade de transporte iônico entre minerais adjacentes, podem preservar teores de Zr mesmo durante lento resfriamento.

A possibilidade de difusão com alteração no teor de Zr no rutilo sob condições de altas temperaturas pode complicar a interpretação das temperaturas obtidas. Portanto, na análise por microsonda eletrônica, recomenda-se evitar estudar cristais que sugiram qualquer tipo de possível difusão de Zr, como por exemplo, inclusões em porfiroblastos de granada fraturados ou em minerais com estruturas cristalinas mais “abertas”, como quartzo e cianita (Zack *et al.* 2004a), e quando houver exsolução de agulhas de zircão ou badeleíta (Ewing *et al.* 2012). Por uma maior acuracidade nos resultados, torna-se necessária análise do maior número possível de grãos.

Ti em zircão

Zircão é mineral acessório comum em rocha de todos os tipos. Assim como o rutilo, tem facilidade em concentrar elementos traço, terras raras, isótopos radioativos, além de possuir grande resistência a fatores físicos e químicos e a reequilíbrio por difusão. Além de sua utilização nos campos da geocronologia e geoquímica, a partir de trabalhos realizados nos últimos anos (*e.g.* Watson *et al.* 2006; Ewing *et al.* 2012) vem sendo utilizado como importante ferramenta na geotermobarometria.

Entre os elementos presentes na estrutura do zircão, o titânio (Ti^{4+}) é bastante comum e ocorre principalmente por substituição do silício (Si^{4+}), em troca isovalente sem a necessidade de balanço de cargas. Seu conteúdo é fortemente controlado pela temperatura e, em relação ao rutilo, é relativamente imune a variações de pressão (Watson *et al.* 2006).

Para a calibração do termômetro, Watson *et al.* (2006) utilizaram condições em saturação de rutilo, situação bastante usual em exemplos reais vide a comum coexistência das fases rutilo e zircão, alta atividade de TiO_2 em rochas crustais e a substituição de Si^{4+} por Ti^{4+} na estrutura do zircão. Quando o rutilo é ausente, é possível utilizar outras fases portadoras de Ti, como titanita e ilmenita, além de silicatos (em metapelitos a_{TiO_2} é próxima

de 1; em metabasitos $a_{\text{TiO}_2} \sim 0.6$; Ghent & Stout 1984). Desta maneira, foi calculado o seguinte termômetro Ti em zircão (Figura 10):

$$T(^{\circ}\text{C}) = \frac{5080 \pm 30}{(6.01 \pm 0.03) - \log(\text{Ti})} - 273$$

Onde, Ti é em ppm.

Figura 10 – Termômetro Ti em zircão de Watson *et al.* (2006); quadrados e reta de regressão fina, e triângulos e linha tracejada representam respectivamente cristais de zircão sintéticos e naturais. Reta de regressão grossa é a global. Retirado de Watson *et al.* (2006).

Assim como no termômetro Zr em rutilo, aqui se utiliza como instrumentação a microsonda eletrônica, mas a microsonda iônica pode ser utilizada em casos em que se quer obter melhor limite de detecção e/ou melhor precisão nos teores de Ti em grãos de zircão. A escolha dos locais a serem analisados em cada cristal deve ser criteriosa, vide o comum zoneamento núcleo-borda por sobrecrecimento e possíveis inclusões de fases relativamente ricas em Ti. Dúvidas em relação ao último problema podem ser sanadas através de imagens eletrônicas com elétrons retroespalhados (Watson *et al.* 2006).

Ti em quartzo

Quartzo é um dos minerais mais abundantes na crosta da Terra. Está presente tanto em rochas ígneas como metamórficas, geradas em amplo intervalo de pressão e temperatura. Quando ocorre em coexistência com minerais portadores de titânio, como ilmenita, titanita, e em especial o rutilo, pode sofrer em sua estrutura formada por SiO_2 a substituição de Si^{4+} por

Ti⁴⁺, e se tratando de dois íons de valência 4+, nenhum balanço de cargas é necessário (Wark & Watson 2006; Thomas *et al.* 2010). O trabalho pioneiro de Wark & Watson (2006) desenvolveu o termômetro TitaniQ através de calibrações experimentais conduzidas sob pressão constante de 10 kbar em amplo campo de temperatura. A partir de Ostapenko *et al.* (2007) é sugerida uma importante influência da pressão na solubilidade do titânio no quartzo. Sob pressões crustais a substituição de Si por Ti ocorre sem problemas, porém, com o aumento da pressão Ti tende a substituir o sítio maior do Zr na estrutura do zircão (Ferris *et al.* 2008). Essa dependência da pressão na solubilidade do Ti no quartzo ocorre devido à diferença do raio iônico entre os cátions, com o Ti⁴⁺, ~38% maior que o sítio tetraédrico ocupado pelo Si⁴⁺ na estrutura do quartzo, além do fato de o quartzo ser anormalmente compressível (e.g. Levien *et al.* 1980). Assim, Thomas *et al.* (2010) através de calibrações experimentais realizadas a pressões entre 5 e 20 kbar e sob as mesmas condições de temperatura utilizadas em Wark & Watson (2006), apresentam a atualização do geotermômetro, com o anterior podendo ser usado com precisão para rochas formadas a pressões próximas a 10 kbar.

O rutilo é principal mineral necessário para a obtenção de bons dados geotermométricos nesse método, pois como se trata de uma fase praticamente pura em TiO₂, sua atividade é fixa e próxima ao valor máximo ($a_{\text{TiO}_2} \sim 1$), assim, durante as calibrações, Thomas *et al.* (2010) fixaram esse valor em 1. A seguir, é apresentado o geotermômetro Ti-quartzo nas diversas pressões (Thomas *et al.* 2010, Figura 11):

Figura 11 – Concentrações de Ti em quartzo x 1/T. Símbolos fechados na reta de 10 kbar são de Wark & Watson (2006). Incertezas são menores que os símbolos a não ser quando há barra de erro.

$$5 \text{ kbar: } \ln X_{\text{TiO}_2}^{\text{Quartzo}} = -1.44(\pm 1.39) - \frac{6541(\pm 1429)}{T(K)}$$

$$R^2=0.91$$

$$10 \text{ kbar: } \ln X_{\text{TiO}_2}^{\text{Quartzo}} = -0.08(\pm 0.2) - \frac{9132(\pm 219)}{T(K)}$$

$$R^2=0.99$$

$$15 \text{ kbar: } \ln X_{\text{TiO}_2}^{\text{Quartzo}} = 0.53(\pm 0.37) - \frac{10991(\pm 405)}{T(K)}$$

$$R^2=0.99$$

$$20 \text{ kbar: } \ln X_{\text{TiO}_2}^{\text{Quartzo}} = 4.03(\pm 1.3) - \frac{15784(\pm 1475)}{T(K)}$$

$$R^2=0.95$$

A partir das isóbaras apresentadas acima é visível uma maior inclinação na de 20 kbar. Isso provavelmente deve-se à diferença no comportamento da solubilidade do Ti no quartzo

sob altas pressões devido a sua compressibilidade anômala anteriormente comentada (Levien *et al.* 1980).

O termômetro Ti em quartzo pode ser aplicado em vasta variedade de rochas crustais. Em termos de temperatura, o limite superior de análise corresponde a sistemas anidros, onde o quartzo ainda é estável em temperaturas acima de 1000 °C, já em sistemas com excesso de água sua estabilidade é reduzida a temperaturas de fusão de granito (~ 650 °C). O limite inferior para a aplicação do método é definido pelos métodos analíticos, pois em microsonda eletrônica são analisados teores de Ti a partir de aproximadamente 10 ppm, que correspondem a quartzo em equilíbrio sob temperaturas na ordem de 600 °C (com $a_{\text{TiO}_2} \sim 1$). Já com o uso de microsonda iônica, esse limite inferior é reduzido em por volta de 400 °C em razão da melhor capacidade de detecção do método. Em relação à pressão, o limite superior, como já mencionado, é de aproximadamente 20 kbar devido à mudança no comportamento da solubilidade do Ti no quartzo (Wark & Watson 2006, Thomas *et al.* 2010).

Wark & Watson (2006) calculam para o método a incerteza de ± 5 °C. Esse valor é dependente da precisão e das incertezas de cada análise, sendo influenciado por erros de calibração, erros laboratoriais, condições analíticas, qualidade das amostras e dos padrões. Em relação às condições analíticas, a incerteza depende sobremaneira da escolha nos valores de corrente de feixe e tempo de contagem, tanto de pico como de *background*, podendo variar, por exemplo, nas mesmas condições em microsonda eletrônica ($i = 200$ nA e $t = 240$ s), entre ± 6 °C (~ 100 ppm de Ti) e ± 20 °C (22 ppm). Utilizando microsonda iônica as incertezas são ainda menores, apresentando valores na ordem de 1-2 °C para quartzo cristalizado entre 450 e 800 °C.

As principais limitações do termômetro Ti em quartzo são devido à ausência do rutilo e à difusão do Ti no quartzo. Cherniak *et al.* (2007) calculam a difusão a diferentes temperaturas e obtêm os valores relativos de distância característica de transporte. Para períodos de 0,001, 1,0 e 10,0 m.a., a 500 °C a difusão é de ~0,05 μm , ~2 μm e 5 μm , respectivamente, já a 800 °C, essa distância aumenta para 16 μm , 500 μm e 1600 μm nos mesmos intervalos de tempo. Assim, a depender das dimensões do cristal analisado, apenas suas bordas apresentarão os teores de pico metamórfico, salvo exemplos onde condições de máxima temperatura perduraram por dezenas de milhões de anos e havendo consequente homogeneização de Ti. Para rochas de fácies granulito, com $T > 900$ °C, as distâncias chegam a ~ 2 mm e aumentam a probabilidade de preservação de teores de pico metamórfico nos núcleos do cristal. Essa alta difusão em rochas de alto grau pode iniciar exsolução com cristalização de agulhas de rutilo, gerando outra dificuldade analítica.

O uso deste método junto ao Zr-rutilo mostra-se eficiente para determinação conjunta de temperatura e pressão. Thomas *et al.* (2010) exploram essa relação onde $a_{\text{TiO}_2} \sim 1$ e também quando $a_{\text{TiO}_2} < 1$ (nesse caso, a_{TiO_2} deve ser bem definida). Para isso, utilizam o geotermômetro Zr-rutilo de Tomkins *et al.* (2007). O cálculo pareado é ilustrado a seguir na Figura 12.

Figura 12 – Isopletas de a) Ti-quartzo e Zr-rutilo e b) Ti-quartzo e Zr-titanita com aproximação das fácies a partir de Spear (1993) e Philpotts (1990). A curva WSS é a *sólidus* saturada em água (*water-saturated solidus*) para composições “mínimas” de referências listadas em Holtz & Johannes (1994). Retirado de Thomas *et al.* (2010).

Para a utilização desse cálculo pareado é vital que seja confirmada, na medida do possível, a geração contemporânea do quartzo e da fase de Ti, assim, deve-se parear quartzo de matriz com rutilo de matriz e quartzo com rutilo da mesma inclusão, por exemplo (Thomas *et al.* 2010).

3.4.4. Geobarômetros

GASP

Principal geobarômetro para rochas metapelíticas, desenvolvido por Ghent (1976), que utiliza a assembleia plagioclásio + granada + Al_2SiO_5 + quartzo e baseia-se na seguinte reação:

Através da reação acima é calculada a expressão de equilíbrio entre o componente grossulária na granada e anortita no plagioclásio, visto que, em um metamorfismo progressivo as composições de granada tornam-se mais ricas em Ca (grossulária) e as de plagioclásio mais pobres neste mesmo elemento e, conseqüentemente, enriquecidas em Na (albita). Essa expressão é definida através das atividades daqueles componentes, encontradas em bancos

de dados termodinâmicos, em seus respectivos minerais, e considera Al_2SiO_5 e quartzo como fases puras:

$$\ln \frac{aG_{gms}}{(aPl_{an})^3} = - \left(\frac{-40770}{R} \right) \frac{1}{T} + \frac{(-136.5)}{R} - (P - 10^5) \times \frac{(-6.605 \times 10^{-5})}{RT}$$

Onde a é atividade, R é a constante universal dos gases de gás $0.0083144 \text{ kJ K}^{-1}$, T é em $^{\circ}\text{C}$ e P em kbar.

Como a variação de volume na troca catiônica é relativamente grande (-6.605×10^{-5}), tal expressão pode ser considerada um bom geobarômetro, porém dados de temperatura já devem ser conhecidos e precisos. Erros consideráveis também podem ocorrer em função das baixas proporções dos componentes nas respectivas fases, que dificultam a determinação de suas atividades, particularmente a de grossulária em granada (menos de 10 mol % em granada de rocha pelítica típica).

GRAIL

Geobarômetro praticamente independente de temperatura que utiliza a assembleia granada + rutilo + Al_2SiO_5 + ilmenita + quartzo, sendo utilizado para fases puras geradas em pressões acima de 1 GPa. Abaixo a constante de equilíbrio da reação é descrita (Bohlen *et al.* 1983):

$$K = \frac{(a_{Ilm_s}^{Ilm_s})^3 (a_{Al_2SiO_5}^{K,A,S}) (a_{SiO_2}^Q)^2}{(a_{Alm}^{G_s}) (a_{TiO_2}^{Ru})^3}$$

Onde a é a atividade dos componentes em seu respectivo mineral.

Minerais como quartzo, rutilo e polimorfos de Al_2SiO_5 em rochas metapelíticas são característicos por normalmente serem fases puras, com atividades unitárias. Porém ilmenita e almandina formam soluções sólidas não ideais em hematita e granada, respectivamente, com grande *solvus* separando-as sob baixas temperaturas. Ilmenita, como na maioria dos metapelitos, está presente com menos de 15 mol% em hematita e pode ser tratada como uma solução sólida ideal. Já no caso da almandina, podem ser encontradas na literatura (*e.g.* Bohlen *et al.* 1983) diversas curvas de $\log_{10}K$ em diagrama P - T que variam de acordo com sua dependência com a temperatura.

Plagioclásio-granada-piroxênio-quartzo

Utilizam a assembleia plagioclásio + piroxênio + granada + quartzo, dois dos principais geobarômetros para metabasaltos e metapelitos em fácies granulito a partir das seguintes reações:

Newton & Perkins (1982) calculam para GAPES a expressão (kbar): $3,94 + 0,013077T(K) + 0,003504 \ln K_A (\pm 1,5 \text{ kbar})$; e para GADS (kbar): $0,675 + 0,017187T(K) + 0,003596 \ln K_B (\pm 1,6 \text{ kbar})$.

$$\text{Onde, } K_A = \frac{(a_{Ca} \times a_{Mg}^2)^{grt}}{(a_{Ca}^{pl}) \times (a_{Mg_2}^{cpx})} \quad K_B = \frac{(a_{Ca}^2 \times a_{Mg})^{grt}}{(a_{Ca}^{pl}) \times (a_{CaMg}^{cpx})}$$

Os valores obtidos pelo primeiro geobarômetro são considerados mais precisos que os do segundo, e ajuste empíricos de $-0,6 \text{ kbar}$ e $+1,6 \text{ kbar}$ são sugeridos para os respectivos cálculos.

Perkins & Chipera (1985) calculam geobarômetros GAPES para membros finais $-\text{Fe}$ e $-\text{Mg}$ nas associações minerais grossulária + almandina + quartzo = anortita + ferrossilita e grossulária + piropo + quartzo = anortita + enstatita, respectivamente. Foram utilizados os modelos de atividades de anortita de Newton & Perkins (1982), de enstatita e ferrossilita de Wood & Banno (1973) e de granada de Ganguly & Saxena (1984). A seguir são apresentados ambos geobarômetros:

$$P_{Fe}(\text{kbar}) = 0,0630 - 0,3482 \ln K_A + 0,0143T(^{\circ}\text{C}) - 0,000997T(^{\circ}\text{C}) \ln K_A$$

$$P_{Mg}(\text{kbar}) = 6,1346 - 0,3471 \ln K_B + 0,0136T(^{\circ}\text{C}) - 0,001140T(^{\circ}\text{C}) \ln K_B$$

$$\text{Onde, } K_A = \frac{a_{Fs}^3 \times a_{An}^3}{a_{Gr} \times a_{Alm}^2} \quad K_B = \frac{a_{En}^3 \times a_{An}^3}{a_{Gr} \times a_{Pr}^2}$$

É considerado erro de $\pm 1 \text{ kbar}$. Para rochas com $\frac{Fe^{2+}}{(Fe^{2+} + Mg)} > 0,5$ são obtidos resultados mais confiáveis com o geobarômetro de Fe como membro final, assim, para as rochas do presente trabalho, apenas essa equação será utilizada.

Eckert *et al.* (1991) compilam dados anteriores de entropia e volume (Holland & Powell 1985; Newton & Perkins 1982), calculam os de entalpia para ambas reações e obtém as seguintes equações geobarométricas:

$$\text{GAPES } (\pm 1,55 \text{ kbar}) \rightarrow P(\text{kbar}) = 3,47 + 0,01307T(K) + 0,003504T(K)\ln K_A$$

$$\text{GADS } (\pm 1,90 \text{ kbar}) \rightarrow P(\text{kbar}) = 2,60 + 0,01718T(K) + 0,003596T(K)\ln K_B$$

$$\text{Onde, } K_A = \frac{\alpha_{Py}^2 \times \alpha_{Gr} \times \alpha_{Qtz}}{\alpha_{An} \times \alpha_{En}} \quad K_B = \frac{\alpha_{Py} \times \alpha_{Gr}^2 \times \alpha_{Qtz}}{\alpha_{An} \times \alpha_{Di}}$$

Paria *et al.* (1988) propuseram geobarômetros que envolvem clino- e ortopiroxênio, baseados na equação granada + clinopiroxênio + quartzo = 2 ortopiroxênio + anortita, de acordo com os membros finais de ferro e de magnésio. Os valores dos membros finais foram tomados de Helgeson *et al.* (1978) e Saxena & Erikson (1983). Os de atividade dos componentes de piroxênio, e de anortita em plagioclásio foram modelados segundo Wood & Banno (1973) e Newton & Perkins (1982), respectivamente. Já as atividades de piropo e almandina foram retiradas de Saxena & Erikson (1983). Os geobarômetros para os membros finais de Fe e Mg são:

$$P_{Fe}(\text{bar}) = 32,097T(K) - 26385 - 22,79 \left(T - 848 - T \ln \left(\frac{T}{848} \right) \right)$$

$$- (3,655 + 0,0138T) \left(\frac{(T - 848)^2}{T} \right) - 3,123T \ln K_A$$

$$P_{Mg}(\text{bar}) = 9,270T(K) + 4006 - 0,9305 \left(T - 848 - T \ln \left(\frac{T}{848} \right) \right)$$

$$- (1,1963 - 6,0128 \times 10^{-3}T) \left(\frac{(T - 848)^2}{T} \right) - 3,489T \ln K_B$$

$$\text{Onde, } K_A = \frac{(a_{an}^{pl})(a_{fs}^{opx})^2}{(a_{alm}^{grt})(a_{hed}^{cpx})} \quad K_B = \frac{(a_{an}^{pl})(a_{en}^{opx})^2}{(a_{pir}^{grt})(a_{di}^{cpx})}$$

Os cálculos de pressão realizados pelo geobarômetro de membro final-Fe aparentemente apresentam valores mais confiáveis quando comparados aos –Mg, e serão utilizados aqui. É provável que essas diferenças sejam resultado de misturas não ideais nas fases minerais, especialmente em granada (Paria *et al.* 1988).

Assim como em outros métodos geobarométricos, valores confiáveis de temperatura em todos os casos acima devem ser utilizados, e como as análises são pontuais, realizadas

por microsonda eletrônica, critérios devem ser definidos na escolha dos locais para cada mineral. Desse modo, os resultados obtidos serão os mais precisos possíveis.

RCLC (“*Thermobarometry Corrected for Retrograde Exchange*”)

Geotermobarômetro de Pattison *et al.* (2003) que utiliza a associação mineral granada – ortopiroxênio – plagioclásio – quartzo no sistema Ca-Fe-Mg-Al-Si (CFMAS), dados termodinâmicos do *software* “TWQ2.02b” baseados no conjunto de dados de Berman & Aranovich (1996), além de modificações referentes à solubilidade de Al em ortopiroxênio em equilíbrio com granada em sistema de membro final –Fe de Aranovich & Berman (1997). Esse método é baseado na solubilidade de Al no ortopiroxênio em equilíbrio com granada, corrigindo efeitos de troca Fe-Mg tardia. Como o conteúdo de Al no ortopiroxênio é pouco alterado durante o retrometamorfismo devido à sua baixa velocidade de difusão, os efeitos da troca tardia de Fe-Mg entre os minerais são corrigidos pelo ajuste de razão Grt/ Opx, na tentativa de se chegar a um equilíbrio interno entre as duas fases. A Figura 13 apresenta dois diagramas produzidos pelo *software* TWQ (Berman 1991) para determinada amostra de granulito. As curvas 7, 8 e 9 são linearmente independentes, onde a primeira representa a reação de troca Fe-Mg entre granada e ortopiroxênio em equilíbrio, a segunda indica o equilíbrio baseado na solubilidade de Al no ortopiroxênio num sistema de membros finais –Fe (Aranovich & Berman 1997), e a terceira o barômetro granada – ortopiroxênio – plagioclásio – quartzo. Os vértices A e B representam o cálculo geotermobarométrico clássico de troca Fe-Mg sem correções, e o cálculo Fe-Al levando em consideração a solubilidade do Al no opx porém sem correções tardias de Fe-Mg, respectivamente (Figura 13a). Na Figura 13b são ilustradas as curvas de equilíbrio corrigidas e o vértice C, com valores P-T superiores aos anteriores e provavelmente representando condições mais próximas às do pico metamórfico. De modo geral, os valores corrigidos de 414 granulitos máficos, intermediários e aluminosos são em média 100 °C maiores que os obtidos inicialmente, e colocam a maioria das amostras de granulito acima dos 850 °C, temperatura tida como início do fácies granulito pela entrada de ortopiroxênio. Em poucos exemplos o ajuste reduz as condições P-T, e nesse caso, os autores optaram por utilizar os não reequilibrados.

Figura 13 – Diagramas P - T produzidos pelo *software* TWQ (Berman 1991) e retirados de Pattison *et al.* (2003) para análise de granulito ilustrando as reações de equilíbrio na associação mineral granada – ortopiroxênio – plagioclásio – quartzo. Figura 13a indica curvas e resultados não corrigidos pelo método; Figura 13b apresenta a distribuição das curvas e resultado P - T após correção Fe-Mg-Al.

3.4.5. Fatores Controladores

Reações retrometamórficas

As reações retrometamórficas são aquelas que ocorrem entre os minerais durante o resfriamento, podendo ou não afetar suas proporções modais. De maneira geral, as principais reações retrometamórficas são as de troca de cátions como Fe, Mg e Mn entre duas fases minerais, onde não há variação expressiva nas proporções modais, e as por “transferência total” (*net transfer reactions*), que dissolvem e geram/ desenvolvem fases minerais (Kohn & Spear 2000), basicamente envolvem a destruição do retículo cristalino de um mineral, ou seja seu consumo, para produção de outra fase.

As reações mais comuns na termometria são as de troca catiônica, como por exemplo, de Fe e Mg entre granada e biotita, com as composições de biotita tornando-se cada vez mais ricas em Mg, enquanto que as de granada, em Fe. Apenas ocorrendo esse tipo de reação retrometamórfica, as temperaturas obtidas serão inferiores às de pico. Já as reações por “transferência total”, quando ocorrem, causam mudanças nas composições minerais na

mesma direção, com granada e biotita se enriquecendo em ferro, por exemplo, e os dados termométricos gerados serão supervalorizados (Kohn & Spear 2000).

Minerais zonados

Zoneamento químico mineral é um dos fatores que mais influenciam na metodologia empregada durante a análise e nos resultados obtidos. Entre os minerais utilizados na termobarometria granada, piroxênios e plagioclásio são aqueles que comumente apresentam esta característica. Deste modo, a escolha do local de análise em cada cristal deve ser realizada de maneira particular.

Kohn & Spear (2000) estudando rochas de fácies anfibolito notaram, através de mapas composicionais de raio-X, um claro zoneamento composicional em granada, com os maiores teores de Fe/ (Fe + Mg) e Mn nos núcleos e fina auréola na borda enriquecida em Mn, além de dois padrões de biotita, sendo as mais próximas aos cristais de granada, mais ricas em Fe, e as mais distantes, menos ricas. Esses dados sugerem a ação de reações retrometamórficas do tipo *net transfer*, as quais promovem a dissolução de granada e liberação de Fe, Mg, Ca e Mn para a matriz. Embora a biotita e plagioclásio possam assimilar a maior parte dos elementos, o Mn permanece na granada criando bordas ricas nesse elemento, totalmente diferentes da composição do pico metamórfico. A utilização de cristais de granada e biotita para termometria, que tenham passado por essas mudanças químicas, gera resultados superestimados. Assim, a fim de evitar erros, mapas composicionais de raio-X são extremamente eficazes, e em qualquer sinal de reações desse tipo, deve-se utilizar os menores valores de Mn, próximos a borda enriquecida e cristais de biotita distantes.

Pattison & Bégin (1994) discutem este assunto com foco em rochas de fácies granulito, onde pela confecção de mapas composicionais de vários minerais, incluindo granada, ortopiroxênio, plagioclásio e biotita, indicam clara evidência de troca de Fe e Mg, principalmente entre grãos de granada e ortopiroxênio em contato mútuo, o que não ocorre com grãos separados por quartzo e plagioclásio. As trocas dependem do tamanho dos grãos, dos minerais em contato físico, e até da presença de um meio intergranular.

Granada

O conteúdo de cálcio na granada apresenta aumento nas concentrações em direção às bordas, sendo que, no núcleo, ocorre ligeiro aumento com a diminuição do tamanho do cristal. Em relação ao Fe/ (Fe + Mg), as variações ocorrem principalmente devido aos minerais vizinhos e ao tamanho do cristal. Composições de bordas em contato com biotita e/ou ortopiroxênio não mostram quaisquer variações com o tamanho do cristal, já no núcleo,

ocorrem padrões mais ricos em ferro quanto menor for o grão. A granulação para o reequilíbrio de $Fe / (Fe + Mg)$ é incerto, porém aparentemente, para cristais menores que 1mm, há claras evidência de reajuste, com casos extremos em cristais com menos de 0,3mm. Granada apenas em contato com plagioclásio e/ou quartzo apresenta evidências para reajuste mínimo.

Ortopiroxênio

O ortopiroxênio apresenta padrões complementares aos de granada. Seu conteúdo de alumínio é maior no núcleo que nas bordas. Nestas, ocorre pouca ou nenhuma variação com o tamanho do cristal e minerais adjacentes, enquanto que para o núcleo, há diminuição desse elemento quanto menor for o grão. Proporções de $Fe / (Fe + Mg)$ em bordas de ortopiroxênio em contato com granada mostram pouca relação com o tamanho do cristal, já no núcleo, ocorrem maiores concentrações de Mg (menor temperatura) quanto menor for o grão. O reajuste de Fe – Mg em decorrência da granulação, assim como na granada, é incerto, porém cristais de 0,5mm já apresentam alteração significativa nos teores. Ortopiroxênio em contato com quartzo, plagioclásio e/ou biotita não demonstra variação nesses elementos, e quando em menor granulação, possui teores de núcleo semelhantes aos de cristais maiores sem necessariamente estarem em contato com essas fases. A falta de reajuste da razão Fe/Mg entre ortopiroxênio e granada está relacionada ao fato que ambos minerais apresentam valores muito similares de X_{Mg} .

3.4.6. Estimativas de temperatura

Temperaturas de troca de Fe – Mg

Como visto anteriormente, cristais de granada em contato com minerais como ortopiroxênio e/ou biotita apresentam significativa alteração nos teores de Fe e Mg, sendo estes tão menores quanto menor for a granulação do grão analisado, enquanto que, quando em contato com quartzo e/ou plagioclásio, estes teores são pouco alterados (temperaturas de núcleo para granada pequena em contato com quartzo e/ou plagioclásio $\approx$ para granada grande em contato com biotita e/ou ortopiroxênio). Variações nas concentrações destes elementos também são evidentes quando comparadas as de núcleo e borda de um mesmo cristal. Pattison & Bégin (1994) mostram, através de análises de granulitos, que temperaturas de bordas de granada, em contato com ortopiroxênio, são de 200 a 215°C mais baixas que as de núcleo. Assim, é possível afirmar que, de acordo com a assembleia de minerais em contato, as estimativas de temperatura serão controladas pela quantidade de possíveis trocas Fe – Mg durante o retrometamorfismo.

Temperaturas de solubilidade de Al

De maneira geral os teores de Al e as consequentes temperaturas encontradas são tão maiores quanto maior for o cristal, sendo que os resultados mais altos são encontrados nos núcleos de ortopiroxênio, sendo inclusive superiores aos valores encontrados através da troca Fe – Mg, tanto para as análises de borda como para as de núcleo.

Esses maiores resultados para estas análises são consistentes, visto que os gradientes de Al deixam de existir sob temperaturas onde ainda ocorrem trocas intracristalinas de Fe – Mg (Al presente em sítios tetraédricos é menos móvel que Fe e Mg nos octaédricos).

3.4.7. Importância de um meio intergranular

A existência desse meio é importante principalmente sob altas temperaturas, pois facilita o equilíbrio intergranular de Fe – Mg em granada e ortopiroxênio, de cálcio nas bordas de granada e de alumínio nas de ortopiroxênio. Quando removido, as trocas Fe – Mg se restringem aos contatos entre minerais específicos, como granada, ortopiroxênio e biotita.

O meio intergranular pode ser um fluido supercrítico e/ou um fundido silicático. A presença do primeiro é menos comum principalmente em rochas de alto grau, visto que a maioria dos voláteis, como H₂O e CO₂, é absorvida pelo fundido (Burnham, 1979; Peterson & Newton, 1990). Nessas rochas, mesmo na ausência de fases fluidas, líquidos silicáticos podem ser gerados pela desidratação de minerais hidratados como muscovita, biotita e hornblenda.

Um fator bastante importante para a obtenção de resultados confiáveis é o tempo de residência desse meio. Se o líquido silicático for expulso da rocha ainda sob altas temperaturas, é provável que os valores de temperatura encontrados sejam os mais próximos do pico metamórfico real, ao passo que, se esse meio permanecer nos interstícios da rocha durante o resfriamento, esses resultados provavelmente serão inferiores. Bégin & Pattison (1994) indicam, através de minerais e texturas, a possível existência desses eventos distintos em rochas de fácies granulito: a ausência de biotita sugere que a rocha não foi reidratada durante o retrometamorfismo em decorrência da expulsão do fundido ou da liberação de fluidos apenas após a cristalização. Já a presença de biotita grossa e/ou poiquiloblástica indica reidratação, provavelmente devido à liberação de água de leucossoma quartzo-feldspático na rocha.

No estudo de rochas de fácies granulito, comumente associadas a líquidos, as temperaturas de fechamento são provavelmente relacionadas às temperaturas nas quais

esses líquidos foram extraídos ou cristalizados, inferiores as de pico metamórfico e as de quebras minerais (Pattison & Bégin 1994).

A fim de reconhecer o local de composição mais refratária em cada cristal a ser analisado, é fundamental a produção de mapas composicionais, visto que núcleos nem sempre possuem os maiores valores de Fe e Mg, e a relação entre borda e núcleo varia dependendo do elemento e do mineral (Ca em granada e Al em ortopiroxênio). Quando a produção desses mapas não for possível, deve-se optar por analisar cristais de granada, ortopiroxênio e clinopiroxênio cercados por quartzo e/ou feldspato, ou quando em contato com minerais de possível troca Fe-Mg, os de maior granulação (Pattison & Bégin 1994).

4. RESULTADOS

4.1. Geologia local

A região setentrional da área mapeada apresenta as maiores altitudes, com morros que chegam próximo de 1200m, orientados, grosso modo, na direção leste-oeste e limitados comumente por drenagens afluentes da represa de Furnas e do Rio Verde. A região mais a sul, com altitudes inferiores a 900m, apresenta relevo menos acidentado com ocorrência comum de áreas alagadas e várzeas, e pequeno número de afloramentos. Outra razão para a baixa frequência de afloramentos no restante da área é o extenso cultivo de café. Por toda área ocorrem principalmente rochas metassedimentares de fácies granulito de alta pressão (rutilo-cianita-granada granulito; *Nappe Três Pontas – Varginha*; Orógeno Brasília Meridional), e quartzitos subordinados, os quais são atribuídos ao Grupo Carrancas (Trouw *et al.* 2000). Em contato tectônico com as rochas de alto grau, na forma de lentes, estão presentes rochas metatexíticas de provável protolito ígneo (Apêndice 1).

4.1.1. *Rutilo-cianita-granada granulito*

O litotipo representante da *Nappe Três Pontas – Varginha* aflora na maior parte da região, principalmente nas porções central e oeste, na forma de barrancos ou cortes de estrada bastante alterados, por vezes como saprolitos, ou como pavimento de estradas e blocos rolados. Trata-se de rocha bandada rica em quartzo, em que leitos escuros ricos em granada, com cianita e rutilo, estão alternados com leitos claros, félsicos e quartzo-feldspáticos, ambos com granulação que varia de fina a grossa. Granada e rutilo podem se apresentar como porfiroblastos milimétricos a centimétricos e bem formados. A rocha é rica em veios de quartzo de espessura milimétrica a centimétrica, dispostos paralelos à foliação, por vezes com bolsões ou lentes quartzo-feldspáticos associados, caracterizado como leucossoma. Biotita é alteração retrometamórfica comum de granada, ocorrendo na borda irregular de alguns cristais. Em porções mais deformadas pelo cisalhamento há maior proporção de veios de quartzo em granulação fina a média, ou grossa quando também apresentam feldspato, veios que são de leucossoma deformado; muscovita ocorre raramente, na foliação, mas principalmente disposta de maneira aleatória na rocha. Bandas ricas em biotita e porfiroblastos de granada estirados e rotacionados com sombras de pressão preenchidas por quartzo e feldspato, leucossoma, são comuns. Há variação para rocha xistosa quando a proporção de muscovita aumenta, com sillimanita associada, quando ocorre diminuição na quantidade de feldspato, o que indica retrometamorfismo relacionado à deformação/ cisalhamento. É comum a intercalação de rocha máfica, como bandas centimétricas marrom avermelhadas a ocre, bastante alteradas. Em alguns locais há núcleos

mais bem preservados onde é possível identificar cristais finos a médios de granada e clinopiroxênio.

4.1.2. *Metatextito estromático*

O metatextito estromático ocorre como corpos lenticulares orientados leste-oeste nos extremos leste e oeste da área mapeada. A forma de afloramento se dá através de barrancos de rocha bastante alterada, blocos rolados, em campos de matacões e em lajes em morros. A estrutura varia bastante, com tipos desde aparente granito deformado e orientado, biotita gnaisse protomilonítico, ao predominante metatextito estromático. Os exemplos deformados apresentam foliação protomilonítica e porfiroclastos centimétricos, tabulares e orientados de feldspato, indicadores cinemáticos, matriz fina a média quartzo-feldspática rica em biotita, com a característica presença de granada milimétrica entre cristais de biotita e feldspato alcalino. Em locais com maior deformação há leitos descontínuos, de coloração clara, formados por feldspato bastante estirado que por vezes indica cinemática (Figura 14). Mesmo nessas rochas bastante estiradas ocorrem porções aparentemente fundidas, com leitos quartzo-feldspáticos mais espessos na forma de bolsões paralelos a foliação (Figura 14). Há interação com xenólito angular, cinza escuro, de granulação fina e com bordas de reação. Os tipos onde predomina a fusão parcial são bandados e alternam leucossoma de espessura centimétrica (1-3 cm), quartzo-feldspático com granada, em granulação média, de resíduo finamente bandado, com leitos félsicos e máficos, composto por quartzo, feldspato, biotita e granada (Figura 15). Biotita ocorre em finos leitos nas bordas de fundido (Figura 16). Em locais com maior desenvolvimento de fusão parcial, o leucossoma adquire aspecto pegmatoide, com granulação grossa, e apresenta estrutura *schollen* com blocos angulares centimétricos de resíduo (Figura 17). A alta porcentagem de fusão parcial em alguns locais é tamanha, que apenas devido a proeminente deformação associada com instalação de leitos paralelizados, não houve geração de diatextito. Dobras intrafoliais centimétricas são recorrentes (Figura 16).

Figura 14 – Afloramento TPR-31. Metatexito estromático apresentando grande estiramento com indicadores cinemáticos indicando movimentação de topo para Leste. Bolsões centimétricos de fundido demarcados.

Figura 15 – Afloramento TPR-26. Metatexito estromático com leucossoma de espessura centimétrica (1-3 cm), quartzo-feldspático, em granulação média, e resíduo finamente bandado com leitos félsicos e máficos, composto por quartzo, feldspato, biotita e granada.

Figura 16 – Afloramento TPR-27. Metatextito estromático com dobras intrafoliais centimétricas e finos leitos de biotita nas bordas de leucossoma.

Figura 17 – Afloramento TPR-28. Metatextito estromático com leucossoma de granulação grossa em aspecto pegmatoide. Estrutura *schollen*, demarcada na porção inferior da foto, com bloco angular centimétrico de resíduo em meio ao leucossoma.

4.1.3. Quartzito

Litotipo com pequeno número de afloramentos na área mapeada, o quartzito ocorre na porção nordeste como morro orientado NE-SW e limitado a sul pelo Córrego do Tabuão. Aflora nas encostas de morros como em perfis de erosão como ravinas. Trata-se de rocha bastante pura, cinza claro a tons amarronzados, com acamadamento milimétrico e de granulação fina (Figura 18). Turmalina fina prismática ocorre em pequena quantidade e dispersa e orientada na rocha. Lâminas com por volta de 1 mm de espessura de óxidos são comuns. Há porções em que o quartzito se encontra extremamente recristalizado, maciço, em granulação muito fina. Intercalações centimétricas a decimétricas de xisto cinza claro rico em muscovita são recorrentes, e comumente apresentam porções alteradas de coloração marrom avermelhado que sugerem presença de clorita.

Figura 18 – Afloramento TPR-20. Quartzito típico da área de cor cinza a tons amarronzados, acamadado, de granulação fina.

4.1.4. *Biotita gnaiss milonítico*

Litotipo aflorante em apenas um ponto na região (TPR-19) na forma de pavimento de estrada bastante alterado e como blocos frescos rolados em drenagem. Trata-se de rocha cinza, com forte foliação milonítica, que alterna leitos milimétricos (1-2 mm) e sinuosos de biotita de outros quartzo-feldspáticos em maior proporção e de mesma espessura. Feldspato e granada ocorrem como porfiroclastos milimétricos. Características texturais e mineralógicas

sugerem tal rocha tratar-se do Xisto Santo Antônio existente extensamente a norte da área mapeada, porém aqui, em maior grau de metamorfismo e estiramento (Figura 19).

Figura 19 – TPR-19B. Biotita gnaiss milonítico com alternância de leitos escuros e sinuosos ricos em biotita e outros claros quartzo-feldspáticos.

4.2. Pedreira de Três Pontas (TPR-01)

No trabalho de campo realizado na pedreira abandonada “Niemeyer” em Três Pontas, teve como objetivo descrever os litotipos presentes, mineralogia, estruturas e relações de contato. O acesso à pedreira se dá, a partir da região sudeste do Município de Três Pontas, através da Rodovia – MG 167 – Claudionor Vasconcelos.

Além da descrição detalhada, foi realizada coleta de 24 amostras representativas dos principais litotipos e de feições texturais características, como leucossoma, melanossoma, resíduo e paleossoma. Foi visitada também a pedreira de Varginha onde foi amostrado granulito félsico da *Nappe* Socorro-Guaxupé. A nomenclatura para migmatitos segue a proposta de Sawyer (2008).

Na pedreira abandonada “Niemeyer” ocorrem três rochas distintas, com diferentes protolitos, reologia, mineralogia, estrutura e textura. A mais abundante em toda a pedreira, característica e representativa do cianita-granada granulito migmatítico da *Nappe* Três Pontas-Varginha. Quando não deformada, a rocha é diatexito nebulítico, com resíduo

granulítico formado por cianita + granada + rutilo + quartzo + ortoclásio. Intercalado ao cianita-granada granulito migmatítico ocorre lente concordante de rocha residual máfica rica em hornblenda, com granada, clinopiroxênio e raro ortopiroxênio subordinados e com leucossoma de composição tonalítica. A distribuição dos litotipos na pedreira, da base para o topo, ocorre com o metapelito, em camada que varia de 2 a 3 metros, rocha residual máfica com espessura semelhante a anterior, e predominância metapelítica até o topo da pedreira, com aproximadamente 50 m (Figura 20). Em meio aos litotipos principais ocorrem rochas calciossilicáticas que apenas foram observadas e amostradas em exemplares soltos na pedreira de Três Pontas, nunca *in-situ*. O motivo talvez seja sua provável ocorrência em grandes alturas da frente de lavra.

4.2.1. *Rutilo-cianita-granada granulito*

O cianita-granada granulito migmatítico é produto de metamorfismo e fusão de rocha pelítica, é bastante heterogêneo, apresenta bandamento composicional centimétrico a decimétrico, onde leitos de leucossoma e resíduo se alternam, além de porção finamente bandada, mesocrática, com aspecto de gnaiss, rica em biotita. O melanossoma é maciço, forma leitos contínuos de espessuras centimétricas a decimétricas, descontínuos e até *boudinados* (Figura 21). Possui textura nematogranoblástica, granulação média a grossa, é formado por proporções variadas de microclínio, plagioclásio, quartzo, granada, cianita e rutilo. Minerais opacos, apatita, monazita e zircão são frequentes acessórios, e biotita, muscovita, clorita e calcita, secundários.

Figura 20 – Visão geral da pedreira de Três Pontas (TPR-01). Intrusão de rocha metabásica metatexítica (MB), representada predominantemente por “resíduo” rico em hornblenda, em metapelito migmatítico/ cianita granulito migmatíticos (MP). Orientação ENE-WSW.

Figura 21 – TPR-01. Detalhe do contato abrupto entre rocha residual máfica e metapelítica. Metapelito: leucossoma (L) em leitos contínuos, melanossoma (M) maciço, por vezes como leitos centimétricos, contínuos e boudinados; Leucossoma (LB) tonalítico paralelo à foliação, in-situ e in-source, resíduo (R) melanocrático, rico em hornblenda e leucossoma rosado (LI) grosso, rico em feldspato potássico. Notar dobramentos recumbentes com topo para ENE. Orientação ENE-WSW.

O feldspato potássico é subidioblástico a xenoblástico/ intersticial, possui bordas retas a arredondadas refletindo assim a variação dos contatos entre os minerais, forma junções tríplices de 120° , apresenta comumente exsoluções de plagioclásio chegando a exemplos mesoperitíticos. Plagioclásio é bastante semelhante ao feldspato potássico em relação à textura, é subidioblástico e forma contatos retos com junções tríplices de 120° , a arredondados principalmente junto ao quartzo, ocorre também como cristais xenoblásticos/ intersticiais de terminações afinadas em cúspide. Em rochas mais deformadas se apresenta como porfiroclastos rodeados por porções policristalinas granoblásticas ou junto a quartzo em agregados sigmoidais de mesma textura. Quartzo forma cristais longos de bordas arredondadas e orientados paralelamente ao bandamento, pode apresentar bordas suturadas e subgrãos característicos de recristalização por migração de borda, e ocorre como finos filmes intersticiais de terminações afinadas em cúspide. Texturas em fitas ocorrem nos exemplares mais deformados. Granada é subidioblástica a xenoblástica, principalmente porfiroblástica, pode ser arredondada e alongada segundo o bandamento ou apresentar bordas bastantes irregulares com intenso fraturamento e reentrâncias exibindo um aspecto esqueletal (Figura 22a). Possui inclusões de quartzo arredondado (comumente em trilhas), plagioclásio, cianita, rutilo, biotita, estauroлита, monazita e zircão (Figura 22a e b), e por vezes de “micro granito” composto por quartzo, feldspato e biotita. É alterada em fraturas e bordas por biotita e carbonato. É recorrente associação com biotita e plagioclásio xenoblásticos que indica reação retrometamórfica (Figura 22c). Cianita ocorre como prismas subidioblásticos orientados concordantemente ao bandamento, próximos uns aos outros e junto a granada (Figura 22d) e biotita, pode estar inclusa parcial ou totalmente em granada, possuir inclusões de rutilo e feldspato potássico e ser substituída parcial a totalmente por muscovita. Rutilo é prismático subidioblástico a xenoblástico e granular, ocorre disperso pelo resíduo, mas principalmente junto à granada e incluso. Biotita é o principal mineral de alteração de granada em bordas e fraturas (Figura 22e), mas ocorre também subidioblástica a xenoblástica orientada na foliação ou aleatória (Figura 22f) e amoldando porfiroblastos de granada e indicadores cinemáticos tipo *fish* quartzo-feldspáticos (Figura 24a); apresenta inclusões de zircão com halo pleocróico. Em rochas com maior proporção de biotita (até 30%) ela se concentra em bandas de granulação inferior à geral, é subidioblástica e orientada na foliação comumente amoldando porfiroblastos de granada.

Figura 22 – Fotomicrografias. a) TPR-01-O. Granada com aspecto esquelético repleta de inclusões de quartzo e plagioclásio no resíduo do rt-ky-grt granulito (Polarizador inferior; largura 12,0 mm); b) TPR-01-Z. Granada com inclusões arredondadas de quartzo e muito finas de rutilo, monazita e zircão, no resíduo do rt-ky-grt granulito (Polarizador inferior; largura 1,5 mm); c) TPR-01-U. Associação retrometamórfica de biotita, plagioclásio e granada (granada = biotita + plagioclásio) no resíduo do rt-ky-grt granulito (Polarizadores cruzados; largura 1,5 mm); d) TPR-01-Z. Cianita prismática orientada junto à granada do resíduo do rt-ky-grt granulito (Polarizador inferior; largura 3,5 mm); e) TPR-01-X1. Biotita retrometamórfica alterando bordas e fraturas de granada do resíduo do rt-ky-grt granulito (Polarizador inferior; largura 3,5 mm); f) TPR-01-K. Biotita e plagioclásio retrometamórficos substituindo granada. Na área inferior da imagem, biotita e cianita como cristais subidioblásticos orientados na foliação do resíduo do rt-ky-grt granulito (Polarizador inferior; largura 3,5 mm).

O leucossoma, porção mais abundante do pacote, forma leitos contínuos ou, por vezes, discordantes do bandamento composicional, de espessura centimétrica a decimétrica, textura granoblástica e granulação fina à grossa, é composto por proporções variadas de feldspato potássico, plagioclásio, quartzo, granada porfiroblástica, rutilo e rara cianita (Figura 21). Apatita, monazita e zircão são minerais acessórios, enquanto muscovita/ sericita, clorita e biotita, secundários. Apresenta estrutura tanto maciça quanto orientada. São comuns dobras assimétricas que indicam vergência para leste (Figura 23). O leucossoma é branco, mas veios de granulação grossa (superior à sua granulação característica) são comuns entre camadas mais competentes compostas predominantemente por biotita. Esse tipo de textura pode ser explicado devido à relativa segregação do material fundido, conferindo-lhe maior período de cristalização (Figura 23).

Figura 23 – TPR-01. Cianita-granada granulito migmatítico com veios de leucossoma, o que gera estrutura estromática (L1), dobras assimétricas vergentes para ENE e *selvedge* (S) de biotita. Leucossoma grosso (L2) em porção entre camadas mais competentes ricas em biotita. Orientação ENE-WSW.

O microclínio é subidioblástico com bordas retas a irregulares que formam entre si contatos retos, por vezes junções tríplices de 120°, interlobados e/ou suturados, podendo também apresentar exsoluções de plagioclásio. Muitas vezes ocorre como mega cristais. Quartzo apresenta extinção ondulante, eventualmente bordas irregulares, e em amostras deformadas forma fitas (*ribbons*) alongadas paralelamente ao bandamento em contatos arredondados e irregulares/ suturados com os outros minerais (Figura 24b). Plagioclásio, nem sempre presente no leucossoma, se mostra semelhante ao microclínio, é subidioblástico, pode ocorrer como mega cristal, forma comuns junções triplas de 120°, e se concentra em pequenos agregados monominerálicos. Quando em cristais maiores são características as exsoluções de microclínio (Figura 24c). Granada é principalmente porfiroblástica com cristais que chegam a 1cm, porém às vezes é ausente, subidioblástica com bordas arredondadas, possui inclusões finas de quartzo (arredondadas e angulosas) que podem ser orientadas em trilhas ou formarem agregados poligonizados, de microclínio (angulosos), rutilo (Figura 24d), plagioclásio, monazita e zircão. O rutilo no leucossoma é mais bem formado quando comparado ao do resíduo, fino e subidioblástico a xenoblástico, apresenta comumente bordas retas e associa-se à granada em suas bordas ou incluso. Cianita é rara, porém quando presente é fina e tabular, e ocorre junto à granada (Figura 24e). Biotita altera granada em bordas e fraturas, e muscovita/ sericita (-%) é alteração de microclínio e biotita.

Figura 24 – Fotomicrografias. a) TPR-01-Q. Indicador cinemático quartzo-feldspático tipo fish amoldado por biotita no resíduo do rt-ky-grt granulito (Polarizador inferior; largura 3,5 mm); b) TPR-01-I. Ribbon de quartzo em leucossoma do rt-ky-grt granulito deformado. Notar os contatos arredondados e suturados com os demais minerais (Polarizadores cruzados; largura 3,5 mm); c) TPR-01-I. Exsoluções de microclínio em megacristais de plagioclásio de leucossoma do rt-ky-grt granulito (Polarizadores cruzados; largura 3,5 mm); d) TPR-01-U. Inclusões de rutilo prismático em granada do leucossoma (Polarizador inferior; largura 3,5 mm); e) TPR-01-X2. Cristais prismáticos de cianita orientados e inclusos em granada no leucossoma do rt-ky-grt granulito (Polarizadores cruzados; largura 3,5 mm); f) TPR-01-A. Rocha protomilonítica: porção de granulação fina rica em biotita com quartzo e plagioclásio e porfiroclastos médios de apatita (Polarizador inferior; largura 3,5 mm).

O contato entre leucossoma e melanossoma é retilíneo quando há leitos contínuos de espessura milimétrica de biotita retrometamórfica (*selvedge*) separando-os (Figura 23), ou gradual/ difuso quando é possível observar a segregação do material fundido (Figura 25). Estruturas *boudinadas* (Figura 21 e Figura 26) ocorrem em melanossoma dentro de leucossoma, possuem espessuras centimétricas, e se adelgaçam até desaparecer. O contato superior entre melanossoma e leucossoma é retilíneo, enquanto que o inferior, difuso, indicando uma diferença de reologia entre as diferentes porções do melanossoma, com o topo mais competente (local de maior atuação da deformação dútil) e a base plástica (Figura 26). Esse contato também indica a segregação do leucossoma a partir do resíduo peritético rico em granada, ou aqui denominado de melanossoma.

Figura 25 – TPR-01. Cianita-granada granulito migmatítico apresentando contato difuso entre melanossoma (M) e leucossoma (L); leito contínuo de espessura centimétrica composto por biotita retrometamórfica/ selvedge (S) entre leucossoma (L) e melanossoma (M). O melanossoma é formado por aglomerado de granada, cianita rutilo e feldspato potássico. Na porção central da foto é possível perceber o contato transicional entre o melanossoma e leucossoma, o que permite inferir a segregação do último a partir do primeiro. Orientação ENE-WSW.

Figura 26 – TPR-01. *Boudin* em melanossoma no interior de leucossoma. Notar contato superior retilíneo e inferior difuso, indicando diferença nas reologias do melanossoma, com o topo mais competente que a base. Orientação ENE-WSW.

A princípio, toda a biotita existente na rocha metapelítica é interpretada como produto de retrometamorfismo. Além de substituir porfiroblastos de granada pode se concentrar em leitos de espessuras centimétricas a decimétricas, contínuos a descontínuos, podendo ser confundido com o paleossoma (Figura 25). Localmente ocorrem porções em que a biotita foi completamente exaurida pelas reações de fusão.

Em locais restritos essa rocha encontra-se em foliação protomilonítica, é rica em biotita (25-40%) com matriz de quartzo e plagioclásio, apatita, e porfiroclastos de escapolita, hornblenda e granada, rara cianita, com monazita e zircão de minerais acessórios. Varia de porções com granulação muito fina a fina, lepidogranoblásticas, ricas em biotita, com quartzo e plagioclásio, e porfiroclastos de apatita, escapolita, hornblenda e granada, subidioblásticos em granulação fina à média (Figura 24f e Figura 27a), a porções de mesma textura, porém de maior granulação geral (fina), que diminuem na proporção de biotita e aumentam nas de plagioclásio e quartzo, com porfiroclastos médios (1-3mm) subidioblásticos e alongados de granada, paralelos a orientação da rocha, de plagioclásio subidioblástico comumente manteado pelo mesmo mineral mas em porções policristalinas (Figura 27b), e fitas de quartzo (Figura 27c). Há leitos granoblásticos formados por plagioclásio (70%) e quartzo (30%), que comumente se afinam ou formam sigmóides policristalinos (Figura 27b). Cristais de plagioclásio são subidioblásticos a idioblásticos e formam entre si contatos retos com comuns junções triplas de 120°. Quartzo possui formas alongadas segundo a foliação, constitui fitas,

apresenta bordas suturadas e ocorre como subgrãos arredondados gerados por recrystalização por migração de borda. Há inclusões finas e orientadas em granada de prismas de rutilo, quartzo arredondado a alongado, biotita lamelar e raramente de cianita e plagioclásio (Figura 27d). Biotita além de fornecer a marcada foliação da rocha, amolda e cria sombras de pressão em porfiroclastos de granada, forma foliação oblíqua a principal com pares S-C (Figura 27e), e altera granada em bordas e fraturas. Monazita e zircão ocorrem distribuídos pela rocha e inclusos em granada.

Figura 27 – Fotomicrografias. a) TPR-01-D. Rocha protomilonítica: porção de granulação fina rica em biotita com quartzo e plagioclásio e porfiroclastos médios de escapolita e hornblenda (Polarizadores cruzados; largura 3,5 mm); b) TPR-01-A. Rocha protomilonítica: porção de granulação fina com menor proporção de biotita comparada a de menor granulação. No centro da foto, sigmoide policristalino composto por plagioclásio (70%) e quartzo (30%). No canto inferior esquerdo, porfiroclasto médio de plagioclásio manteado por porção policristalina do mesmo mineral em menor granulação (Polarizadores cruzados; largura 12,0 mm); c) TPR-01-D. Visível bimodalidade de bandas, ambas lepidogranoblásticas, com a inferior de granulação muito fina a fina, rica em biotita com porfiroclastos de apatita, granada e escapolita, e a superior de granulação fina e menor proporção de biotita (Polarizadores cruzados; largura 12,0 mm); d) TPR-01-A. Porfiroblasto de granada com inclusões de cianita e biotita (metamorfismo progressivo) (Polarizador inferior; largura 3,5 mm); e) TPR-01-T. Foliação (biotita) oblíqua à principal (Polarizador inferior; largura 3,5 mm); f) TPR-01-E2. Rocha residual máfica: cristal de ortopiroxênio com inclusões de minerais opacos envolvidos por hornblenda. Esta também ocorre alterando clivagem de ortopiroxênio (Polarizador inferior; largura 3,5 mm).

4.2.2. Rocha residual máfica

Em contato abrupto ou interdigitado com o metapelito há rocha residual máfica. Tal rocha apresenta duas porções de diferentes cores e composições, uma melanocrática, classificada como rocha residual rica em hornblenda, com granada, clinopiroxênio e ortopiroxênio, e outra leucocrática, de composição tonalítica com fenocristais de hornblenda, clinopiroxênio e granada, como leucossoma. Uma terceira porção reconhecida em locais restritos como leitos de espessura de poucos centímetros, possui cor intermediária às duas principais (cinza) e trata-se de rocha residual relativamente preservada que ainda possui considerável proporção de clinopiroxênio e plagioclásio, além de hornblenda e quartzo.

O resíduo melanocrático é mais abundante em relação às outras rochas, possui estrutura orientada, é granonematoblástico, de granulação média a grossa. É rico em hornblenda (>80%) subidioblástica a idioblástica que forma contatos retos, comumente junções típicas de 120° ou terminações afinadas em cúspide, possui ainda clinopiroxênio e raro ortopiroxênio, ambos subidioblásticos e alterados por hornblenda nas bordas e em fraturas (no caso do ortopiroxênio essa alteração ocorre junto à clivagem e como “coroas” em inclusões de minerais opacos; $opx+opaco=hbl$ - sistema aberto; Figura 27f), quartzo e plagioclásio intersticiais, como filmes estreitos e alongados com comuns terminações afinadas em cúspide (Figura 28a), e continuidade ótica (Figura 28b). Inclusões arredondadas de quartzo em hornblenda também são comuns. Como mineralogia acessória apresenta biotita subidioblástica a xenoblástica que substitui hornblenda ou se distribui de forma aleatória ou orientada em textura lepidoblástica incipiente, minerais opacos, que além de inclusos em hornblenda podem ser intersticiais, comumente associados à hornblenda (consumida no retrometamorfismo com preenchimento principalmente de plagioclásio em suas clivagens), plagioclásio, biotita e carbonato também xenoblásticos/ intersticiais (retrometamorfismo relacionado à fusão parcial; leucossoma com considerável proporção de CO_2 , o que explica escapolita e carbonato; Figura 28c), rutilo subidioblástico a prismático idioblástico, escapolita subidioblástica, apatita arredondada e titanita intersticial e/ou envolvendo rutilo e opacos da matriz próximos a leucossoma ($opaco+plagioclásio=titanita$; Figura 28d) ou inclusos em ortopiroxênio com hornblenda associada ($opaco+hornblenda\pm opx=titanita$; Figura 28e). Em algumas porções, geralmente próximas a finos leucossomas, há intercrescimento de hornblenda e plagioclásio (Figura 28f).

Figura 28 – Fotomicrografias. a) TPR-01-E1. Rocha residual máfica com filmes de quartzo de terminações em cúspide (Polarizador inferior; largura 1,5 mm); b) TPR-01-N. Rocha residual máfica: Em cor rosa na porção central superior ocorrem filmes de quartzo com continuidade ótica entre cristais de hornblenda (fusão parcial in-situ) (Polarizadores cruzados + acessório; largura 1,5 mm); c) TPR-01-G2. Retrometamorfismo na rocha residual máfica com geração de biotita (marrom), plagioclásio (rosa), carbonato (lilás) e opacos (preto) a partir de hornblenda (cristal verde desmembrado) + fluido rico em CO₂ (presença de carbonato, e escapolita no leucossoma) (Polarizadores cruzados + acessório; largura 1,5 mm); d) TPR-01-S1. Biotita e opaco xenoblástico coroados por titanita em porção de resíduo próxima a leucossoma (Polarizador inferior; largura 3,5 mm); e) TPR-01-L. Inclusões de opacos e rutilo coroados por titanita em ortopiroxênio com hornblenda associada (opaco+hbl±opx=titanita) (Polarizador inferior; largura 1,5 mm); f) TPR-01-M. Intercrescimento de hornblenda e plagioclásio próximo a leucossomas in-situ no resíduo máfico (Polarizador inferior; largura 1,5 mm).

A rocha residual, quando mais preservada, é cinza, de granulação geral fina com cristais de até 1 mm. É composta principalmente por clinopiroxênio, plagioclásio e quartzo, com hornblenda, opacos, biotita e apatita em menores proporções. Clinopiroxênio é fino, subidioblástico, se distribui homogeneamente pela rocha e é alterado por hornblenda a partir das bordas e em fraturas (Figura 35a). Essa alteração é tão maior quanto mais próxima essa porção estiver do resíduo rico em hornblenda, sendo que este mineral raramente apresenta formas bem desenvolvidas de hábito prismático. Plagioclásio é subidioblástico a xenoblástico/intersticial, forma contatos retos entre si com comuns junções triplas de 120°, arredondados principalmente com o quartzo. Este em sua maioria é intersticial, arredondado, e apresenta-se também como subgrãos e inclusões arredondadas em clinopiroxênio e plagioclásio. Raramente com bordas bem definidas e contatos retos, ocorre também como filmes vermiformes junto a clinopiroxênio. Minerais opacos ocorrem principalmente junto aos máficos, com formas granulares a alongadas e intersticiais (Figura 35a). Biotita subidioblástica e apatita arredondada são raras e aleatórias. A transição entre os diferentes resíduos é representada por banda milimétrica de coloração pouco mais clara que a rocha rica em hornblenda (devido à maior proporção relativa de quartzo; ~25%), nematoblástica, formada principalmente por hornblenda subidioblástica a idioblástica em contatos retos entre si e quartzo intersticial de extinção ondulante, com bordas arredondadas e comuns terminações em cúspide, e como inclusões finas e arredondadas em hornblenda. A mineralogia acessória é composta por minerais opacos intersticiais e biotita subidioblástica a idioblástica, ambos em granulação fina e distribuídos aleatoriamente.

O leucossoma tonalítico se apresenta como leitos paralelos à foliação, de espessura milimétrica a centimétrica, como *patches* indicando fusão *in-situ*, ou orientados de maneira oblíqua à foliação (*in-source*), concordantes às dobras assimétricas presentes em ambas as rochas, em regiões de alívio de pressão, como região surreítica de *boudins*, e ainda alimentando os veios maiores (Figura 29). Em locais restritos o contato entre leucossoma e resíduo é interdigitado/penetrativo, indicando o evento de segregação do material fundido (Figura 30).

O material fundido ocorre em porções *boudinadas* (Figura 31) e envolve blocos do resíduo, rotacionados segundo a deformação vigente (movimentos de topo para leste; Figura 32). A evolução da fusão parcial em certos locais desmembra a rocha totalmente criando estruturas tipo *schollen*. É comum a presença de porfiroblastos de hornblenda e clinopiroxênio, sendo o último comumente apresentando coroas retrometamórficas do primeiro mineral (Figura 33). Leitos de espessuras milimétricas a centimétrica compostos por hornblenda retrometamórfica/ *selvedge* são comuns entre leucossoma e resíduo (Figura 34).

Figura 29 – TPR-01. Rocha residual máfica composta essencialmente pelo resíduo melanocrático (hornblenda) e diferentes veios de leucossoma: in-situ (L1), in-source (L2) e em veios (L3). O desenvolvimento de L1 leva à geração de L2, e com o aumento da fusão parcial, L3 em regiões de alívio de pressão. Notar orientação do veio L3 concordante à das dobras do ri-ky-grt granulito migmatítico. Orientação ENE-WSW.

Figura 30 – TPR-01. Contato interdigitado/ penetrativo entre leucossoma (L) e resíduo máfico. Banda de espessura centimétrica de resíduo menos alterado portador de plagioclásio (R2). Notar contatos também interdigitados entre resíduo com e sem plagioclásio, com plagioclásio concentrado em pequenos veios de leucossoma in-situ (L2).

Figura 31 – TPR-01. *Boudins* centimétricos na rocha residual básica com zonas surreíticas preenchidas por leucossoma tonalítico. Veios de leucossoma *in-situ* e *in-source*. Orientação ENE-WSW.

Figura 32 – TPR-01. Bloco rotacionado de rocha máfica residual com movimento indicando topo para leste. A evolução da fusão parcial aumenta a quantidade de leucossoma, que envolve e movimenta pedaços maiores de resíduo. A evolução desse quadro leva a estruturas do tipo *schollen*. Notar penetrações de material fundido no bloco em direção perpendicular à foliação. Orientação ENE-WSW.

Figura 33 – TPR-01. Leucossoma com porfiroblasto centimétrico de clinopiroxênio envolto por coroa de hornblenda retrometamórfica.

Figura 34 – TPR-01. Bandamento centimétrico que alterna leitos de resíduo (M), leucossoma com porfiroblastos de clinopiroxênio (L) e de hornblenda retrometamórfica/ *selvedge* (S).

Os minerais do resíduo no contato com o leucossoma têm bordas arredondadas e por vezes estão desagregados. O leucossoma é tonalítico, maciço ou orientado (fitas de quartzo), com textura granoblástica, composto predominantemente por plagioclásio (andesina An 30-35) fino a médio, tabular em contatos retos entre si, por vezes em junções trípticas de 120°, e comumente alterado por sericita, com quartzo fino subidioblástico a xenoblástico/ intersticial com bordas arredondadas, e médio a grosso em formas alongadas, xenoblásticas, paralelo ao bandamento, com bordas suturadas e subgrãos gerados por migração de borda, clinopiroxênio subidioblástico a xenoblástico, comumente alterado por hornblenda a partir das bordas (Figura 35b), e cristais de hornblenda subidioblásticos a xenoblásticos de bordas arredondadas com opacos associados (Figura 35c). É comum o leucossoma se apresentar como veios finos (espessura entre 1 e 3mm) com plagioclásio e quartzo de granulação fina em textura granoblástica, formando contatos retos e junções triplas de 120°. Provavelmente devido a suas menores dimensões, ficou protegido da deformação e preservou texturas ígneas (Figura 35d). Outros leucossomas são característicos por apresentar cristais grossos (0,4 a 1,4 cm) que raramente estão em contato, envoltos por porções granoblásticas de granulação fina a média de mesma composição, com hornblenda, biotita, apatita, escapolita, carbonato, feldspato potássico e titanita que juntos somam por volta de 1%. Os cristais grossos são subidioblásticos com bordas irregulares que criam contatos desde suturados e arredondados a retos, estes raros quando o quartzo está envolvido. As porções intersticiais aos cristais maiores são formadas por plagioclásio subidioblástico a idioblástico e quartzo subidioblástico a xenoblástico/ intersticial. Entre cristais de plagioclásio os contatos são retos com comuns junções triplas de 120°, e quando há quartzo, prevalecem os contatos sinuosos a suturados com geração de subgrão por migração de borda. Ocorre hornblenda subidioblástica a idioblástica comumente alterada por biotita nas bordas (biotita também ocorre em pequenas porções de cristais subidioblásticos a xenoblásticos finos desorientados). Junto à hornblenda podem ocorrer minerais opacos, titanita comumente mantendo-os e carbonato intersticial. Feldspato potássico é intersticial de granulação fina, por vezes parcialmente incluso em plagioclásio. É comum a presença de escapolita em proporções consideráveis (20-30%), em leitos granoblásticos monominerálicos bem definidos em contato abrupto com o restante do leucossoma, com cristais subidioblásticos a idioblásticos, de granulação fina à média raramente grossa, bastante fraturados principalmente nas bordas, e formando contatos minerais retos a interlobados, por vezes com junções triplas de 120° (Figura 35e).

Próximo ao contato com o resíduo há plagioclásio com terminações em cúspide, intersticial, sugerindo segregação de líquido silicático. Biotita xenoblástica fina à média aparentemente substitui o leucossoma e é acompanhada de carbonato intersticial no contato

leucossoma-resíduo (retrometamorfismo; Figura 35f). Ainda nesse tipo de contato há exemplos com alta proporção (~50%) de clinopiroxênio (melanossoma) alterado por hornblenda e acompanhado por opaco intersticial. Alteração sericítica é comum em plagioclásio.

Ocorre intrusão de leucossoma rosado de espessura decimétrica, rico em feldspato potássico de granulação grossa, na rocha máfica (Figura 21 e Figura 36). Interação entre leucossoma do metapelito e da rocha máfica ocorre nas proximidades do contato entre os dois litotipos, na forma de veios centimétricos a decimétricos alimentados por outros menores, com presença característica de feldspato potássico (Figura 37). Acima da rocha máfica e abaixo da metapelítica, em contato abrupto, há camada de litotipo metabásico distinto dos demais (Figura 36 e Figura 38), de espessura decimétrica, mesocrático, foliado, de granulação fina a média, rico em hornblenda e biotita, com plagioclásio e granada. É caracterizado por apresentar leucossomas *in situ*, por vezes *in source*, além de poucos veios paralelizados, porém em menor proporção quando comparado aos dos litotipos principais. A principal diferença entre essa rocha e as outras é a presença considerável de plagioclásio.

Figura 35 – TPR-01. Fotomicrografias. a) TPR-01-E1. Rocha residual máfica bem preservada com clinopiroxênio abundante e alterado a partir das bordas por hornblenda. Minerais opacos granulares a alongados e intersticiais são associados (Polarizador inferior; largura 3,5 mm); b) TPR-01-E2. Clinopiroxênio alterado nas bordas por hornblenda em leucossoma de rocha residual máfica (Polarizador inferior; largura 3,5 mm); c) TPR-01-M. Cristais subidioblásticos a xenoblásticos de hornblenda acompanhados por opacos em leucossoma de rocha residual máfica (Polarizador inferior; largura 3,5 mm); d) TPR-01-N. Veio fino de leucossoma composto por plagioclásio e quartzo em textura ígnea (Polarizadores cruzados); e) TPR-01-P. Porção rica em escapolita em leucossoma de rocha residual máfica. Notar junções triplas de 120° (Polarizadores cruzados; largura 3,5 mm); f) TPR-01-P. No contato leucossoma-resíduo máfico ocorre biotita xenoblástica (Polarizador inferior; largura 3,5 mm).

Figura 36 – TPR-01. Leucossoma intrusivo (LI) grosso em rocha residual, rico em feldspato potássico. Em contato abrupto há rocha metamáfica (B2) distinta, característica por grande quantidade de leucossoma *in-situ* e *in-source*, e ainda portar quantidade considerável de plagioclásio. Notar dobras assimétricas no leucossoma intrusivo com movimentação de topo para ENE. Orientação ENE-WSW.

Figura 37 – TPR-01. Diferentes veios de leucossoma em rocha residual máfica: (L1) leucossoma tonalítico gerado a partir da rocha máfica original; (L2) material fundido portador de feldspato potássico, resultante da interação de L1 com material de fusão parcial de metapelito. Notar orientação dos veios de leucossoma que indicação movimentação com topo para ENE. Orientação ENE-WSW.

Figura 38 – TPR-01. Rocha máfica distinta (B2 na Figura 36) com menor mobilização do material fundido. Leucossoma *in-situ* (L1) e *in-source* (L2).

4.2.3. Rochas calciossilicáticas

São rochas bandadas que alternam leitos centimétricos de cor cinza, granoblásticos, de granulação fina, compostos predominantemente por granada e quartzo com titanita, de leitos de mesma espessura com cor cinza escuro, em contato irregular/ difuso, granoblásticos, granulação fina, formados por principalmente por hornblenda, granada e clinopiroxênio, com titanita, quartzo e plagioclásio. Em contato abrupto com essa porção mais escura há leucossoma branco a cinza claro, granoblástico, fino a médio, composto por quartzo, plagioclásio e feldspato potássico (nem sempre presente), com granada e cianita. As bandas de cor cinza são orientadas (titanita paralela ao bandamento) e possuem granada idioblástica a subidioblástica rica em inclusões muito finas de monazita/ zircão em seu núcleo, quartzo intersticial com frequentes terminações afinadas em “cúspide” e titanita subidioblástica a prismática. Como mineralogia acessória ocorre biotita e opacos aleatórios, porém sempre em contato com granada, apatita e monazita dispersas (Figura 39a). O contato dessa banda com a de cor cinza escuro se dá pelo aparecimento de hornblenda e clinopiroxênio (juntos somam mais de 50% da moda) subidioblásticos a idioblásticos, com granada em ligeira menor proporção, porém nas mesmas texturas (Figura 39b). Quartzo e titanita têm suas proporções substancialmente reduzidas e possuem mesmas características da outra banda (quartzo ocorre também incluso em hornblenda e como finos filmes – fusão parcial; Figura 39b). Plagioclásio é raro e intersticial, e minerais opacos, também raros, se distribuem de maneira aleatória. Biotita é intersticial e se concentra em região próxima ao contato entre as bandas. Os contatos entre os minerais são retos com raros exemplos arredondados quando quartzo está envolvido (Figura 39c). Em contato abrupto ocorre leucossoma maciço, granoblástico com porfiroblastos de granada, granulação fina à média, composto principalmente por plagioclásio e quartzo, por vezes microclínio, granada, rutilo, cianita e muscovita/ sericita. Feldspatos são subidioblásticos e formam entre si contatos retos, por vezes junções tríplices de 120°, a arredondados, esses tipicamente junto ao quartzo, que é intersticial, forma fitas alongadas, subgrãos, inclusões finas e arredondadas em feldspato e granada, e possui bordas suturadas típicas de recristalização por migração de borda. Porfiroblastos de granada são médios a grossos, subidioblásticos, fraturados e com inclusões de quartzo, cianita e rutilo. Este último é fino, subidioblástico e também ocorre disperso. Biotita e muscovita/ sericita são alterações de feldspato e em bordas e fraturas de granada. A distribuição dos feldspatos é desigual. Há porções onde ocorre apenas plagioclásio e em outras, o feldspato predominante é o microclínio. Nessas últimas, rutilo é mais presente e granada é acompanhada de cianita prismática, fina a média, orientada paralelamente ao bandamento.

Uma das amostras (TPR-01-R) é bandada e característica por apresentar resíduo internamente bandado (Figura 39d) formado por hornblenda, biotita e quartzo, com pouco plagioclásio e granada, e leucossoma composto por quartzo, plagioclásio e granada, com cianita. O resíduo é orientado, granonematolepidoblástico, de granulação fina à média com porfiroblastos médios a grossos de granada. O bandamento fino dentro do resíduo é característico por apresentar leitos contínuos de espessura milimétrica, de 5 a 6mm (Figura 39d) granolepidonematoblásticos, formados por hornblenda fina à média, subidioblástica, orientada paralelamente ao bandamento, biotita fina, subidioblástica a xenoblástica, também orientada, por vezes forma leitos contínuos e sinuosos, e altera bordas de granada. Granada é fina à média, ocorre também porfiroblástica e xenoblástica, quando alongada é orientada na foliação, possui bordas arredondadas e aspectos esqueletais sugerindo consumo no metamorfismo (Figura 39e), inclusões alongadas e arredondadas de quartzo fino, biotita e hornblenda, orientadas e concordantes à foliação. Quartzo é fino, dificilmente forma contatos retos e junções tríplices de 120° com os demais minerais, e ocorre também em finos veios policristalinos com cristais de bordas suturadas. Plagioclásio é fino, subidioblástico e forma contatos retos a arredondados. Rutilo é mineral acessório, possui granulação fina, é subidioblástico alongado a arredondado, e distribui-se pela rocha regularmente e ocorre como inclusões orientadas e paralelas a foliação da rocha em granada. Apatita, monazita, zircão, opacos xenoblásticos junto a minerais máficos e carbonato junto à biotita, completam os acessórios.

Na porção próxima ao leucossoma, leito com espessura entre 5 e 10mm (Figura 39d), as proporções de hornblenda e de granada são reduzidas, e as de quartzo, plagioclásio e biotita são aumentadas, assim como a granulação (porém ainda fina). A passagem de resíduo para o leucossoma ocorre de maneira abrupta por meio de leito fino, com espessura de 1-2mm (Figura 39d), lepidogranoblástico, composto por biotita muito fina a fina, subidioblástica a xenoblástica, que comumente forma leitos contínuos e sinuosos, quartzo subidioblástico a xenoblástico fino e plagioclásio subidioblástico fino. O leucossoma possui granulação fina à média com porfiroblastos médios a grossos, é orientado, granoblástico, composto por quartzo subidioblástico a xenoblástico, que forma contatos retos e por vezes arredondados e suturados, e ocorre também como agregados em veios de bordas suturadas. Plagioclásio é subidioblástico e forma contatos retos com comum junção tripla de 120°. Granada é fina à média ou porfiroblástica grossa, subidioblástica a xenoblástica, possui bordas arredondadas e aspecto “esqueletal”, inclusões arredondadas de quartzo e de cianita. Essa é subidioblástica a xenoblástica com bordas arredondadas, ocorre inclusive parcial ou totalmente em granada (Figura 39f) e dispersa no leucossoma. Biotita associa-se à granada e cianita.

Figura 39 – TPR-01. Fotomicrografias. a) TPR-01-F1. Banda cinza claro de rocha calciossilicática composta por granada, quartzo intersticial e titanita orientada paralelamente ao bandamento (Polarizador inferior; largura 3,5 mm); b) TPR-01-C. Inclusões muito finas de monazita/ zircão em granada de banda cinza escura em rocha calciossilicática. Notar fino filme de quartzo abaixo da granada (Polarizadores cruzados; largura 1,5 mm); c) TPR-01-F1. Banda cinza escura de rocha calciossilicática diferenciada da anterior pela presença de hornblenda e clinopiroxênio e quase total ausência de quartzo e baixa de titanita. Os contatos entre os minerais são retos com raros exemplos arredondados quando quartzo está envolvido (Polarizador inferior; largura 3,5 mm); d) TPR-01-R. Visão geral do resíduo internamente bandado em rocha calciossilicática. Extremo inferior esquerdo ocorre banda com as maiores proporções de hornblenda e granada. A banda central, mais espessa, apresenta menores proporções de granada e hornblenda e maiores de quartzo, plagioclásio e biotita, em maior granulação relativa (ainda fina). A passagem de resíduo para leucossoma ocorre de maneira abrupta por meio de leito fino lepidogranoblástico, com espessura de 1-2mm na porção superior da foto, composto por biotita muito fina a fina e quartzo (Polarizador inferior; largura 12,0 mm); e) TPR-01-R. Granada xenoblástica com aspecto esquelético na banda rica em hornblenda de rocha calciossilicática. Sua textura sugere consumo durante o metamorfismo (Polarizador inferior; largura 3,5 mm); f) TPR-01-R. Cianita inclusa parcial e totalmente em granada no leucossoma de rocha calciossilicática (Polarizadores cruzados; largura 3,5 mm).

4.3. Pedreira de Varginha (IC-06-R)

Na pedreira Grupo Santo Antônio em Varginha ocorre contato entre granulito félsico basal da *Nappe* Socorro-Guaxupé e sillimanita granulito de topo da *Nappe* Três Pontas Varginha. No local foi amostrado apenas um exemplar do primeiro granulito citado.

4.3.1. *Granulito Félsico*

Rocha bandada formada por resíduo mesocrático composto por clinopiroxênio, hornblenda, plagioclásio e quartzo, alternado por milimétricos leitos de leucossoma tonalítico com clinopiroxênio, ortopiroxênio e hornblenda (Figura 40 e Figura 41), também ocorrendo como milimétricos bolsões estirados ricos em plagioclásio na foliação e *in-situ* oblíquo à foliação (Figura 41). O resíduo é granoblástico, por vezes nematogranoblástico, de granulação fina à média, composto por clinopiroxênio subidioblástico, substituído parcial a totalmente por hornblenda que chega a formar cristais prismáticos subidioblásticos a idioblásticos orientados segundo a foliação, e plagioclásio subidioblástico a intersticial com terminações afinadas. Os três minerais em proporções similares. Quartzo completa a mineralogia, é xenoblástico e intersticial com extinção ondulante. O leucossoma é paralelo à foliação, possui espessura milimétrica, textura granoblástica, e composição tonalítica com clinopiroxênio, ortopiroxênio e hornblenda. Plagioclásio é o principal mineral, subidioblástico a xenoblástico, forma contatos retos a arredondados entre si, raramente junções triplas de 120°, e apresenta alteração sericítica. Quartzo é xenoblástico com bordas comumente arredondadas e suturadas, ocorre como cristais alongados na foliação em textura *flaser*, e em porções granoblásticas junto a plagioclásio em granulação fina (inferior à geral). Clinopiroxênio e ortopiroxênio (Figura 42a) são subidioblásticos a xenoblásticos, comumente fraturados e desmembrados, alterados por hornblenda, e pinita no caso do ortopiroxênio. Ortopiroxênio apresenta pleocroísmo de cinza a rosa claro.

Uma terceira porção presente no litotipo (resíduo) é caracterizada por portar granada e biotita além dos demais minerais. É orientada, lepidogranoblástica com porfiroblastos médios a grossos de granada e granulação da matriz fina à média. Apresenta plagioclásio e quartzo como minerais principais. Plagioclásio é subidioblástico a xenoblástico, forma contatos retos entre si, por vezes junções tríplexes de 120°, à arredondados com o quartzo. Quartzo forma textura *flaser*, bordas suturadas e subgrãos. Granada é subidioblástica a xenoblástica, fragmentada/ desmembrada e fraturada, rica em inclusões arredondadas de quartzo e outras xenoblásticas de plagioclásio + quartzo + biotita (fundido; Figura 42b). Clinopiroxênio e ortopiroxênio são subidioblásticos a xenoblásticos, comumente alterados nas bordas por hornblenda. Alguns cristais são fragmentados e orientados na foliação.

Ortopiroxênio possui pleocroísmo cinza a rosa claro. Hornblenda além de substituir piroxênio ocorre subidioblástica e orientada na foliação em textura nematoblástica. Biotita fina, subidioblástica a xenoblástica ocorre orientada na foliação, substituindo granada e associada à hornblenda. Minerais opacos são xenoblásticos e por vezes apresentam coroas de biotita e hornblenda. Há leitos granoblásticos de quartzo e plagioclásio em granulação fina (menor que a geral; ~0,2mm) com subgrãos de quartzo. A maior presença desses leitos de menor granulação e de quartzo estirado (*flaser*), e ocorrência de biotita fina e orientada, sugerem uma maior deformação e retrometamorfismo para essa porção da rocha.

Figura 40 – IC-06-R. Granulito félsico da *Nappe* Socorro-Guaxupé bandado, característico por apresentar resíduo mesocrático alternado por leucossoma tonalítico de espessura milimétrica (leitos de coloração clara).

Figura 41 – IC-06-R. Diferentes gerações de leucossoma no granulito félsico. Leucossoma em leito de espessura milimétrica paralelo à foliação (L1; mais abundante); Leucossoma em finos bolsões estirados ricos em plagioclásio (L2); Leucossoma *in-situ*, oblíquo à foliação (L3).

Figura 42 – Fotomicrografias. a) IC-06-R. Ortopiroxênio, clinopiroxênio e hornblenda no leucossoma do granulito félsico. Notar cristal de clinopiroxênio substituído na borda por hornblenda na porção inferior central da imagem (Polarizador inferior; largura 3,5 mm); b) IC-06-R. Inclusão de fundido composto por plagioclásio, quartzo e biotita em granada de resíduo do granulito félsico (Polarizadores cruzados; largura 3,5 mm).

4.4. Geologia Estrutural

O padrão apresentado pelas atitudes encontradas no granulito metapelítico da *Nappe* Três Pontas-Varginha corrobora os dados já publicados (e.g. Campos Neto & Caby 1999, 2000), com foliação de baixo ângulo que mergulha para S-SW, atitude média de N104E/ 33SW (Figura 43A), e lineação mineral e de estiramento de mica branca, quartzo e turmalina com caimento para SW, atitude média de N47E/ 17SW (Figura 43B).

Figura 43 – Dados estruturais do granulito metapelítico. A. Atitudes de foliação (polares) indicando mergulhos de baixo ângulo com rumo S-SW. n=34; B. Atitudes de lineações mostram predominância de caimento para W-SW. n=12.

O metatexito estromático ocorre em porções isoladas dentro da área, com atitudes concordantes com os demais litotipos, foliação média N88E/ 56SE, que devido à orientação grosso modo leste oeste dos morros onde aflora foram interpretadas como lentes de mesma orientação colocadas em meio ao granulito de alta pressão. Estruturas comuns encontradas nesse litotipo são *ribbons* de quartzo, pares S-C, porfiroblastos de granada e porfiroclastos de feldspato como indicadores cinemáticos dos tipos *phi* e *delta* indicando movimentação de topo para E-NE (Figura 14), e dobras intrafoliais.

A geometria do corpo de quartzito na região nordeste da área foi sugerida através de observações em campo, fotos aéreas/ carta topográfica e trabalhos regionais realizados anteriormente (e.g. Maciel 1986). Esse litotipo apresenta atitude média de foliação que mergulha para S-SE, N63E /39SE distinta da apresentada por sua encaixante, o que indica geração em nível crustal diferente.

Na região central da área mapeada ocorre zona de cisalhamento (afloramento TPR-47; Ver mapa de pontos no Apêndice 1) onde a foliação passa de baixo ângulo para sub-vertical em padrão bastante conturbado. Provavelmente é a zona responsável por colocar a *Nappe* Três Pontas junto ao embasamento.

Dobras assimétricas em leucossoma do granulito metapelítico (Figura 23) e em leucossoma intrusivo na rocha residual máfica (Figura 36), veios de material fundido em regiões de alívio de pressão no último litotipo (Figura 29 e Figura 37), e porfiroclasto de feldspato no metatexito estromático (Figura 14), funcionam como Indicadores cinemáticos e indicam movimentação para E-NE, o que corrobora a teoria de movimentação dessa unidade em direção ao Cráton São Francisco (e.g. Campos Neto & Caby 1999, 2000).

4.5. Química mineral

4.5.1. *Análises por Microsonda Eletrônica*

4.5.1.1. Considerações gerais

Preparação das amostras

Para as análises em microsonda eletrônica são necessárias amostras que possuam os minerais de interesse para o estudo geotermobarométrico – granada, clinopiroxênio, plagioclásio e ortopiroxênio, este último presente em apenas uma das amostras investigadas – assim, após petrografia detalhada, três exemplares de rochas calciossilicáticas pertencentes à *Nappe* Três Pontas – Varginha (TPR-01-B, TPR-01-C e TPR-01-F1), e um de granulito félsico da *Nappe* Socorro-Guaxupé (IC-06-R), foram selecionados e a partir deles, foram produzidas no Laboratório de Laminação do IGc, quatro seções delgadas polidas de 30 µm.

Microsonda Eletrônica

As análises de microsonda eletrônica foram realizadas no Laboratório de Microsonda Eletrônica do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGc-USP), usando equipamento JEOL, modelo JXA-FE-8530, Field Emission Electron Probe Microanalyser (FE-EPMA). Todos procedimentos foram conduzidos sob voltagem de 15 kV e corrente elétrica de 20 nA, com diâmetros dos pontos de 5 µm para granada, clinopiroxênio e ortopiroxênio, e 10 µm para plagioclásio. Os dados foram reduzidos pelos procedimentos de correção ZAF. A Tabela 1 apresenta para cada mineral analisado a distribuição dos elementos nos respectivos cristais utilizados, os tempos de análises dos picos, *backgrounds*, e os minerais utilizados como padrões em cada caso.

Tabela 1 – Parâmetros e padrões utilizados nas análises de química mineral por microsonda eletrônica.

Granada					
Elemento	Linha	Cristal	Pico	Background	Padrão
Si	K α	TAP	5,0s	2,5s	grossulária
Al	K α	TAP	10,0s	5,0s	piropo
Fe	K α	LIFL	20,0s	10,0s	faialita
Mn	K α	LIFL	40,0s	20,0s	faialita
Ca	K α	PETJ	10,0s	5,0s	wollastonita
Ti	K α	LIFL	20,0s	10,0s	rutilo
Cr	K α	LIFL	30,0s	15,0s	cromita
Mg	K α	TAPH	15,0s	7,5s	diopsídio
Piroxênio					
Si	K α	TAP	20,0s	10,0s	diopsídio
Al	K α	TAP	10,0s	5,0s	anortita
Fe	K α	LIFL	10,0s	5,0s	faialita
Mn	K α	LIFL	40,0s	5,0s	faialita
K	K α	PETJ	10,0s	5,0s	ortoclásio
Ca	K α	PETJ	10,0s	5,0s	wollastonita
Ti	K α	LIFL	10,0s	5,0s	rutilo
Cr	K α	LIFL	10,0s	5,0s	cromita
Na	K α	TAPH	10,0s	5,0s	NaAlSi ₃ O ₈
Mg	K α	TAPH	10,0s	5,0s	diopsídio
Plagioclásio					
Si	K α	TAP	5,0s	2,5s	anortoclásio
Al	K α	TAP	10,0s	5,0s	anortita
Fe	K α	LIFL	20,0s	10,0s	faialita
Mn	K α	LIFL	40,0s	20,0s	faialita
Ca	K α	PETJ	10,0s	5,0s	wollastonita
K	K α	PETJ	20,0s	10,0s	ortoclásio
Sr	L α	PETJ	40,0s	20,0s	estroncianita
Ti	K α	LIFL	10,0s	5,0s	rutilo
Ba	L α	LIFL	30,0s	15,0s	benitoíta
Na	K α	TAPH	10,0s	5,0s	albita
Mg	K α	TAPH	10,0s	5,0s	diopsídio

Os cristais escolhidos para análise foram aqueles sem sinais de alteração e com menor quantidade de inclusões e, no caso do plagioclásio, os que apresentam textura de equilíbrio com os outros minerais, que são considerados protegidos e preservados da fusão parcial, possivelmente preservando composições de pico metamórfico. A fim de se avaliar a variação dos teores dos elementos em cada cristal, as análises foram realizadas na forma de perfis tentando sempre cobrir o grão de uma borda à outra e passando pelo núcleo, evitando fraturas, alterações e inclusões com o auxílio de imagens de elétrons retroespalhados. Assim, do total de 73 cristais selecionados (25 cristais de clinopiroxênio, 24 de granada, 20 de plagioclásio e 4 de ortopiroxênio), foram realizados 791 pontos de análises (260 em clinopiroxênio, 359 em granada, 132 em plagioclásio e 40 em ortopiroxênio) com uma média de 10,83 análises por cristal. As análises foram tratadas com o *software* “A-X” para obtenção de fórmulas estruturais, proporções catiônicas e atividades dos membros finais.

Mapas composicionais de granada, clino- e ortopiroxênio foram confeccionados para Fe, Mg, Ca, Al e Mn, enquanto que para plagioclásio apenas Ca e Na foram feitos. A seleção dos cristais mapeados foi feita entre os já analisados através dos perfis previamente mencionados, assim, em cada amostra foi escolhido um cristal de cada fase mineral, salvo na amostra TPR-01-B em que plagioclásio é ausente, perfazendo um total de onze minerais analisados com 38 mapas produzidos. Todos procedimentos foram conduzidos sob voltagem de aceleração de 15 kV, corrente de 100 nA para plagioclásio e 150 nA para granada e piroxênio, e tempo de permanência (*dwelltime*) de 40s. O principal motivo de utilizar correntes altas e tempo de permanência elevado é a baixa proporção de Mn em granada.

4.5.1.2. Granada

A granada pertence à classe dos nesossilicatos, é característica de rochas metamórficas distribuindo-se em amplo campo *P-T*, como também ocorre em rochas ígneas e sedimentares, nas últimas como grãos detríticos. Apresenta a fórmula química fundamental $X_3Y_2Si_3O_{12}$, na qual, tetraedros de SiO_4 compartilham vértices com octaedros de YO_6 (sítio Y ocupado pelos cátions trivalentes Fe, Al, Ti e/ou Cr) e formam uma rede tridimensional. No interior dessa rede são geradas locais de coordenação 12 (sítio X, preenchidos pelos cátions divalentes Fe, Mg, Mn ou Ca, com oito oxigênios compartilhados) descritas como cubos distorcidos. De acordo com o preenchimento do sítio X, e com o Y ocupado por Al, ocorrem quatro membros-finais: almandina ($Fe_3Al_2Si_3O_{12}$), piropo ($Mg_3Al_2Si_3O_{12}$), espessartita ($Mn_3Al_2Si_3O_{12}$) e grossulária ($Ca_3Al_2Si_3O_{12}$). Já variando a ocupação do sítio Y, com o X ocupado por Ca existem mais três membros-finais: andradita ($Ca_3(Fe,Ti)_2Si_3O_{12}$), uvarovita ($Ca_3Cr_2Si_3O_{12}$) e ainda hidrogrossulária ($Ca_3Al_2Si_3O_{12}(SiO_4)_{1-m}(OH)_{4m}$), que é de ocorrência restrita (Deer *et al.*, 1982). Devido a sua ampla distribuição dentro da janela *P-T* no

metamorfismo, com mudança composicional sistemática e, participar em reações dependentes de pressão e/ ou temperatura, a granada é o mineral mais importante para o cálculo dessas variáveis intensivas (Deer *et al.* 1982).

A granada das rochas calciossilicáticas ocorre tanto no resíduo como no leucossoma, principalmente como porfiroblastos. As analisadas são todas de cristais do resíduo, idioblásticos a subidioblásticos, em granulação fina, ricos em inclusões muito finas de monazita ou zircão, nos núcleos, finas de titanita e, por vezes, de quartzo e plagioclásio. Já a granada do granulito félsico da *Nappe* Socorro-Guaxupé forma porfiroblastos subidioblásticos, muitas vezes em aspecto esquelético, com bordas arredondadas, ricos em inclusões de quartzo e/ou plagioclásio e até de intercrescimentos de quartzo, plagioclásio e biotita, interpretados como produto de cristalização de fundido aprisionado. Foram analisados 24 grãos, sendo 18 da *Nappe* Três Pontas-Varginha e 6 da *Nappe* Socorro-Guaxupé. A Tabela 2 apresenta as médias das fórmulas estruturais e proporções moleculares para da granada de cada amostra.

Tabela 2 – Fórmulas estruturais aproximadas e proporções moleculares (médias) de granada para cada amostra analisada

Unidade	Amostra	Fórmula estrutural e proporções moleculares (médias)
Nappe Três Pontas-Varginha (calciossilicáticas)	TPR-01-C	(Fe ²⁺ _{1,40-1,53} , Mn _{0,03-0,05} , Mg _{0,62-0,79} , Ca _{0,68-0,90}) Ti _{0-0,01} , Fe ³⁺ _{0-0,08} , Al _{1,92-2,00} (Al _{0-0,04} , Si _{2,96-3,00}) O ₁₂ Alm _{47,00-51,32} Prp _{20,75-26,48} Sps _{0,96-1,80} Grs _{20,49-28,55} And _{0,11-3,63} Uv _{0-0,20}
	TPR-01-B	(Fe ²⁺ _{1,43-1,56} , Mn _{0,03-0,04} , Mg _{0,69-0,79} , Ca _{0,68-0,78}) Ti _{0-0,01} , Fe ³⁺ _{0-0,04} , Al _{1,94-2,00} (Al _{0-0,02} , Si _{2,98-3,00}) O ₁₂ Alm _{47,94-51,99} Prp _{23,03-26,42} Sps _{1,01-1,27} Grs _{21,13-25,42} And _{0-2,03} Uv _{0-0,17}
	TPR-01-F1	(Fe ²⁺ _{1,27-1,38} , Mn _{0,03-0,04} , Mg _{0,71-0,84} , Ca _{0,82-0,87}) Ti _{0-0,01} , Fe ³⁺ _{0-0,05} , Al _{1,95-2,00} (Al _{0-0,03} , Si _{2,97-3,00}) O ₁₂ Alm _{42,44-46,20} Prp _{23,86-28,20} Sps _{0,97-1,28} Grs _{25,62-28,54} And _{0-2,59} Uv _{0,04-0,35}
Nappe Socorro-Guaxupé	IC-06-R	(Fe ²⁺ _{1,51-1,66} , Mn _{0,08-0,10} , Mg _{0,74-0,87} , Ca _{0,47-0,57}) Ti _{0-0,01} , Fe ³⁺ _{0-0,07} , Al _{1,92-1,99} (Al _{0-0,03} , Si _{2,97-3,00}) O ₁₂ Alm _{50,48-55,29} Prp _{24,68-29,24} Sps _{2,77-3,43} Grs _{13,19-17,56} And _{0,16-3,54} Uv _{0-0,13}

Nappe Três Pontas-Varginha

A granada das rochas calciossilicáticas é rica na molécula almandina (41,92% a 54,02%), com proporções intermediárias de grossulária (19,27% a 31,93%) e piropo (16,71% a 28,50%), e baixas de espessartita (0,90% a 2,66%), andradita (0% a 4,05%) e uvarovita (0% a 0,40%). Entre as amostras analisadas, são os grãos de TPR-01-B com os maiores valores de almandina, com média de 49,38%. Em relação às moléculas de piropo, grossulária e uvarovita, os grãos de TPR-01-F1 são os mais ricos, com 26,82%, 27,41% e 0,19%,

respectivamente. TPR-01-C apresenta os maiores valores médios de espessartita e andradita, com 1,33% e 1,52%. A Tabela 3 compara e resume os valores médios de todas análises de cada amostra.

Tabela 3 – Valores médios dos membros finais de granada das três amostras da *Nappe* Três Pontas-Varginha. Número subscrito entre parênteses = número de análises. Maiores proporções médias em negrito.

Membro-final	<i>Nappe</i> Três Pontas-Varginha			<i>Nappe</i> S-G
	TPR-01-C ₍₉₆₎	TPR-01-B ₍₁₀₂₎	TPR-01-F1 ₍₆₆₎	IC-06-R ₍₉₅₎
alm	48,70%	49,38%	43,72%	52,08%
pir	23,68%	25,27%	26,82%	27,88%
sps	1,33%	1,12%	1,11%	2,96%
grs	24,69%	23,57%	27,41%	15,16%
andr	1,52%	0,59%	0,76%	1,88%
uvr	0,07%	0,07%	0,19%	0,04%
TOTAL	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Pela análise dos perfis composicionais é típico o padrão plano de almandina com ligeiro enriquecimento nas bordas. Também plano, porém por vezes com núcleo relativamente mais rico (TPR-01-C) é o perfil de espessartita. Piropo e grossulária apresentam perfis de valores intermediários com padrões opostos, com aumento ligeiro de teores de grossulária nas bordas com respectiva diminuição de piropo. Contraste também observado em núcleo de granada de TPR-01-C, rico em grossulária e pobre em piropo (Figura 44).

Figura 44 – Perfis composicionais de granada das amostras TPR-01-C, -B e -F1 (eixo X representa as análises pontuais plotadas na imagem de elétrons retro-espalhados).

As relações observadas da variação composicional núcleo-borda descritas nos perfis sugerem distribuição dos membros-finais de maneira concêntrica, o que é confirmado pelos mapas composicionais. A granada da amostra TPR-01-C tem claro enriquecimento de Fe em borda, de Mn em núcleo e discreto em borda em algumas porções superiores do grão, e padrões opostos de grossulária e piropo, com forte enriquecimento em núcleo e discreto em borda de Ca e forte empobrecimento em núcleo e borda de Mg (Figura 45).

Figura 45 – Mapas composicionais da granada 3 da amostra TPR-01-C para Fe, Mn, Ca e Mg.

Como visto nos perfis composicionais, os mapas dos grãos das amostras TPR-01-B (Figura 46) e TPR-01-F1 (Figura 47) apresentam a mesma relação de enriquecimento de Fe nas bordas, homogeneidade de Mn da granada da amostra TPR-01-B e ligeiro aumento de teor apenas no extremo da borda esquerda do grão da amostra TPR-01-F1 (feição não observada no perfil composicional), e caráter de oposição entre Mg e Ca, com suaves enriquecimento de Ca e empobrecimento de Mg nas bordas de ambos cristais.

Figura 46 – Mapas composicionais da granada 3 da amostra TPR-01-B para Fe, Mn, Ca e Mg.

Figura 47 – Mapas composicionais da granada 3 da amostra TPR-01-F1 para Fe, Mn, Ca e Mg.

Nappe Socorro-Guaxupé

A granada do granulito félsico da *Nappe Socorro-Guaxupé*, amostra IC-06-R, é rica no membro almandina (49,21% a 57,62%) apresenta proporções intermediárias de piropo (22,33% a 31,17%) e grossulária (12,28% a 20,05%) e baixas de espessartita (2,34% a 3,71%), andradita (0% a 4,91%) e uvarovita (0% a 0,15%). Quando comparada à granada das rochas calciossilicáticas da *Nappe Três Pontas-Varginha* apresenta valores médios superiores nos membros almandina (52,08%), piropo (27,88%), espessartita (2,96%) e andradita (1,88%). Proporções médias dos membros-finais de todos os grãos analisados são apresentadas na Tabela 4, assim como valores das amostras da *Nappe Três Pontas-Varginha* para efeito comparativo.

Tabela 4 – Valores médios dos membros-finais de granada da *Nappe* Socorro-Guaxupé e das três amostras da *Nappe* Três Pontas-Varginha. Número subscrito entre parênteses = número de análises. Maiores proporções médias em negrito.

Membro-final	<i>Nappe</i> Socorro-Guaxupé	<i>Nappe</i> Três Pontas-Varginha		
	IC-06-R ₍₉₅₎	TPR-01-C ₍₉₆₎	TPR-01-B ₍₁₀₂₎	TPR-01-F1 ₍₆₆₎
alm	52,08%	48,70%	49,38%	43,72%
pir	27,88%	23,68%	25,27%	26,82%
sps	2,96%	1,33%	1,12%	1,11%
grs	15,16%	24,69%	23,57%	27,41%
andr	1,88%	1,52%	0,59%	0,76%
uvr	0,04%	0,07%	0,07%	0,19%
TOTAL	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Perfis composicionais realizados para cinco grãos da amostra apresentam padrões planos dos membros-finais ao longo dos mesmos. Almandina e espessartita, salvo as discrepantes concentrações locais, têm perfis uniformes e planos com leves enriquecimentos de borda e raramente de núcleo. Piropo, o segundo membro-final mais abundante, assim como para a granada das rochas da *Nappe* Três Pontas-Varginha, apresenta perfil com leve descréscimo para as bordas, o que é simétrico à da grossulária. Nos perfis composicionais da granada nos cristais 4 e 3 há enriquecimento diferenciado de borda nos membros almandina e grossulária, e inverso no piropo (análises 19 e 1, respectivamente) muito provavelmente relacionados ao contato com biotita (Figura 48).

Figura 48 – Perfis composicionais de granada da amostra IC-06-R (eixo X representa as análises pontuais plotadas na imagem de elétrons retroespalhados).

Novamente o padrão de enriquecimento/ empobrecimento núcleo-borda sugere haver distribuição concêntrica dos membros-finais, o que é confirmado pelos mapas composicionais (Figura 49).

Figura 49 – Mapas composicionais da granada 2 da amostra IC-06-R para Fe, Mn, Ca e Mg

Como descrito no perfil composicional, a granada 2 da amostra IC-06-R apresenta núcleo relativamente rico em Fe e Mn com empobrecimento em direção às bordas e enriquecimento de borda externa, principalmente nos contatos com biotita. O mapa de Ca reforça enriquecimento núcleo-borda já mencionado, porém mostra decréscimos nos teores em regiões próximas às inclusões e em borda quando em contato com plagioclásio e clinopiroxênio externos. Os maiores valores são observados na área superior do mapa em

local livre de inclusões. Já o mapa de Mg informa uma distribuição inversa a do Ca, também concêntrica, com decréscimo de teores em direção à borda, mostrando valores inferiores nos contatos com clinopiroxênio e ainda menores junto à biotita (Figura 49).

4.5.1.3. Piroxênio

O piroxênio pertence ao grupo dos inossilicatos de cadeia simples e é mineral ferromagnesiano importante constituinte de rochas ígneas e metamórficas. É dividido em minerais do sistema ortorrômbico, ortopiroxênio, com a simples série química $(\text{Mg,Fe})\text{SiO}_3$, e minerais do sistema monoclinico, clinopiroxênios, com maior variação na composição química. Os membros-finais que descrevem as duas séries são $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ - $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$ - $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ - $\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_6$, diopsídio – hedembergita – enstatita -ferrossilita. A fórmula geral é $[(\text{M2})(\text{M1})(\text{Si,Al})_2\text{O}_6]$, em que M1 e M2 correspondem à sítios com coordenação octaédrica regular e distorcida, respectivamente e define três sub-grupos principais. Piroxênios de ferro e magnésio, onde outros cátions ocupam menos de 10% M1 e M2: enstatita-ferrossilita $[(\text{Mg,Fe})_2\text{Si}_2\text{O}_6]$, clinoenstatita-clinoferrossilita $[(\text{Mg,Fe})_2\text{Si}_2\text{O}_6]$ e pigeonita $[(\text{Mg,Fe}^{2+},\text{Ca})(\text{Mg,Fe}^{2+})\text{Si}_2\text{O}_6]$. Piroxênios cálcicos, nos quais mais de dois terços de M2 é ocupado por Ca: diopsídio-hedembergita $[\text{Ca}(\text{Mg,Fe})\text{Si}_2\text{O}_6]$, e sódicos, onde Na ocupa quase que totalmente M2, e Al, Fe^{3+} ou Cr ocorrem em M1: jadeíta ($\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$), egirina ($\text{NaFe}^{3+}\text{Si}_2\text{O}_6$) e cosmoclora ($\text{NaCrSi}_2\text{O}_6$), respectivamente. A substituição tschermak é importante em todas as séries (Deer *et al.* 1982).

Nas rochas calciossilicáticas da *Nappe* Três Pontas-Varginha ocorre apenas clinopiroxênio de granulação fina, subidioblástico a idioblástico, nas porções residuais da rocha. Possui fraturamento mais intenso que a granada, sendo parcialmente alterado por hornblenda em suas bordas ou substituído totalmente. Já o granulito félsico da *Nappe* Socorro-Guaxupé apresenta clino- e ortopiroxênio, ambos com as mesmas características texturais, granulação fina, subidioblásticos a idioblásticos, e fraturados. Ortopiroxênio apresenta por vezes lamelas de exsolução de clinopiroxênio (Figura 56) e alteração nas bordas para material marrom-avermelhado, e o clinopiroxênio ocorre principalmente junto à granada. Foram analisados 25 cristais de clinopiroxênio, sendo 22 de rocha calciossilicática da *Nappe* Três Pontas- Varginha e 3 do granulito félsico da *Nappe* Socorro-Guaxupé, e 4 de ortopiroxênio da última unidade. A Tabela 5 apresenta as médias das fórmulas estruturais para o piroxênio de cada amostra.

Tabela 5 – Fórmulas estruturais aproximadas (médias) de piroxênio para cada amostra analisada.

Unidade	Amostra	Fórmula estrutural(média)
Nappe Três Pontas-Varginha	TPR-01-C	Na _{0,05-0,07} , Ca _{0,84-0,88} , Fe ²⁺ _{0,22-0,26} , Mg _{0,69-0,74} , Ti _{0,01} , Al _{0,09-0,12} (Al _{0,05-0,07} , Si _{1,93-1,95}) O ₆
	TPR-01-B	Na _{0,05-0,07} , Ca _{0,84-0,87} , Fe ²⁺ _{0,23-0,25} , Mg _{0,69-0,73} , Ti _{0,01} , Al _{0,10-0,12} (Al _{0,04-0,06} , Si _{1,94-1,96}) O ₆
	TPR-01-F1	Na _{0,04-0,07} , Ca _{0,87-0,90} , Fe ²⁺ _{0,19-0,20} , Mg _{0,71-0,74} , Ti _{0,01} , Al _{0,11-0,14} (Al _{0,06-0,09} , Si _{1,91-1,94}) O ₆
Nappe Socorro-Guaxupé	IC-06-R (cpx)	Na _{0,06-0,07} , Ca _{0,76-0,85} , Fe ²⁺ _{0,28-0,36} , Mg _{0,64-0,69} , Fe ³⁺ _{0,01-0,04} , Ti _{0,01} , Al _{0,09-0,10} (Al _{0,06-0,09} , Si _{1,91-1,94}) O ₆
	IC-06-R (opx)	Ca _{0,02-0,04} , Fe ²⁺ _{0,77-0,81} , Mg _{1,08-1,13} , Fe ³⁺ _{0-0,02} , Al _{0,04-0,05} (Al _{0,04-0,06} , Si _{1,94-1,96}) O ₆

Nappe Três Pontas-Varginha

O clinopiroxênio das rochas calciossilicáticas da *Nappe Três Pontas-Varginha* apresenta Ca na ordem de 0,83 a 0,91 a.p.f.u., Mg entre 0,68 e 0,78 a.p.f.u., Fe²⁺ entre 0,18 e 0,27 a.p.f.u., Al entre 0,11 e 0,24 a.p.f.u., e quantidades mais baixas de Na, entre 0,04 e 0,09 a.p.f.u. e Fe³⁺ entre 0 e 0,04 a.p.f.u. Por apresentar diferença nas quantidades de Mg e Fe²⁺, o #Mg é alto e encontra-se entre 71,5 e 81,7. Entre as três amostras analisadas, os cristais de TPR-01-C e TPR-01-B apresentam composições semelhantes (Tabela 5), até em relação a cada elemento, ambas apresentando 0,17 a.p.f.u. de Al, 0,24 a.p.f.u. de Fe²⁺, 0,70 a.p.f.u. de Mg e 0,86 e 0,85 a.p.f.u. de Ca, respectivamente. As análises de piroxênio da amostra TPR-01-F1 apresentam maiores valores médios de Al, Mg e Ca, com 0,20, 0,72 e 0,88 a.p.f.u., respectivamente, e de #mg (78,34). Todos esses valores médios são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores médios dos elementos (em a.p.f.u.) analisados em clinopiroxênio e ortopiroxênio de cada amostra de ambas as unidades; Número subscrito entre parênteses = número de análises. Maiores proporções médias entre amostras de clinopiroxênio da *Nappe Três Pontas-Varginha* em negrito.

Elemento	<i>Nappe Três Pontas-Varginha</i>			<i>Nappe Socorro-</i>	
	TPR-01-C ₍₆₉₎	TPR-01-B ₍₈₀₎	TPR-01-F1 ₍₇₈₎	IC-06-R ₍₆₉₎	
	cpx	cpx	cpx	cpx ₍₂₉₎	opx ₍₄₀₎
Si	1,94	1,95	1,92	1,92	1,95
Ti	0,01	0,01	0,01	0,01	0
Al	0,17	0,17	0,2	0,18	0,1
Cr	0	0	0	0	0
Fe ³⁺	0	0	0	0,04	0,01
Fe ²⁺	0,24	0,24	0,2	0,31	0,79
Mn	0	0	0	0,01	0,02
Mg	0,7	0,7	0,72	0,66	1,11
Ca	0,86	0,85	0,88	0,8	0,02
Na	0,06	0,06	0,05	0,07	0
K	0	0	0	0	0
#mg	74,18	74,44	78,34	67,85	58,4

Nos perfis composicionais é visível a semelhança entre as análises de piroxênio das amostras TPR-01-C e TPR-01-B, indicando composição homogênea no litotipo. Em ambas amostras, os cristais apresentam perfis homogêneos e planos, sem muita diferença entre núcleo e bordas, com paralelismo de Ca e #Mg em valores entre 0,7 e 0,9, respectivamente, bordas enriquecidas e sempre com o primeiro superior ao segundo. Comportamento inverso ocorre em Al e Fe²⁺, com valores entre 0,1 e 0,3 e bordas empobrecidas em relação ao núcleo (TPR-01-C-clinopiroxênio 2 e 3; TPR-01-B-clinopiroxênio 7; Figura 51). As análises de piroxênio da amostra TPR-01-F1 apresentam as mesmas relações entre os pares Ca-#Mg e Al-Fe²⁺, com o primeiro entre 0,75 e acima de 0,9 e o segundo com valores que comumente se sobrepõe em aproximadamente 0,2 (TPR-01-F1-clinopiroxênio 5; Figura 51). Análise de borda em contato com granada tem variações acentuadas, com aumento em #Mg e decréscimo em Al e Fe²⁺ (TPR-01-C-clinopiroxênio 4: análise 1; Figura 51 e TPR-01-B-clinopiroxênio 7: análise 10; Figura 50).

Figura 50 – Perfis composicionais de clinopiroxênio das amostras TPR-01-C e -B (eixo X representa as análises pontuais plotadas na imagem de elétrons retroespalhados).

Figura 51 – Perfis composicionais de clinopiroxênio das amostras TPR-01-C e -F1 (eixo X representa as análises pontuais plotadas na imagem de elétrons retroespalhados).

Os resultados obtidos nos perfis composicionais com teores diferenciados na relação núcleo-borda sugerem suave zoneamento químico concêntrico em todos os grãos analisados. Com os mapas composicionais é possível ratificar tal sugestão, com Ca e Mg apresentando leve enriquecimento na borda enquanto que o oposto ocorre com Al e Fe. Também é possível observar as interações da borda dos grãos com a granada, caracterizadas por intensificação nos teores de Mg e diminuição nos de Al e Fe^{2+} . No contato com hornblenda é comum o aumento na proporção de Mg e diminuição na de Al, indicando que a hornblenda é retrometamórfica. Já com titanita, fase acessória comum na rocha, não há indícios de qualquer influência (Figura 52, Figura 53 e Figura 54).

Figura 52 – Mapas composicionais dos clinopiroxênios 2 e 3 da amostra TPR-01-C para Fe, Al, Ca e Mg. Cristais 2 e 3 são os analisados nos perfis composicionais da Figura 51.

Figura 53 – Mapas composicionais do clinopiroxênio 7 da amostra TPR-01-B para Fe, Al, Ca e Mg.

Figura 54 – Mapas composicionais do clinopiroxênio 5 da amostra TPR-01-F1 para Fe, Al, Ca e Mg.

Nappe Socorro-Guaxupé

No granulito félsico da *Nappe Socorro-Guaxupé* foram analisados clino- e ortopiroxênio. O clinopiroxênio apresenta proporções de Ca entre 0,71 e 0,86 a.p.f.u., com média de 0,80, e Mg entre 0,63 e 0,70 a.p.f.u. e média de 0,66, enquanto as de Fe^{2+} estão entre 0,27 e 0,39 a.p.f.u. com média de 0,31. Proporções menores de outros elementos ocorrem, com Al entre 0,14 e 0,19 a.p.f.u. e média de 0,18, Na entre 0,06 e 0,08 a.p.f.u. e Fe^{3+} entre 0 e 0,06 a.p.f.u., com média de 0,04, concentração calculada por balanço de cargas, usando quatro cátions e seis átomos de oxigênio. O #Mg fica entre 63,8 e 72,3, com 67,85 de média. Ao comparar esses valores médios com os das rochas calciossilicáticas da *Nappe Três Pontas-Varginha*, o clinopiroxênio da unidade é mais rico em Fe_{Tot} e Na. O ortopiroxênio é característico por apresentar altas proporções de Mg, entre 1,06 e 1,16 a.p.f.u. com média

de 1,11, e Fe^{2+} , entre 0,76 e 0,82 a.p.f.u. com média de 0,79, e moderadas de Al, 0,08 a 0,12 a.p.f.u. e média de 0,10. Os valores médios dos elementos analisados, assim como a comparação entre as duas unidades estudadas estão na Tabela 7.

Tabela 7 – Valores médios dos elementos (em a.p.f.u.) analisados em clinopiroxênio e ortopiroxênio de cada amostra de ambas as unidades; Número subscrito entre parênteses = número de análises. Maiores proporções médias em negrito

Elemento	Nappe Socorro-Guaxupé		Nappe Três Pontas-Varginha		
	IC-06-R ₍₆₉₎		TPR-01-C ₍₆₉₎	TPR-01-B ₍₈₀₎	TPR-01-F1 ₍₇₈₎
	cpx ₍₂₉₎	opx ₍₄₀₎	cpx	cpx	cpx
Si	1,92	1,95	1,94	1,95	1,92
Ti	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01
Al	0,18	0,10	0,17	0,17	0,20
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe^{3+}	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00
Fe^{2+}	0,31	0,79	0,24	0,24	0,20
Mn	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00
Mg	0,66	1,11	0,70	0,70	0,72
Ca	0,80	0,02	0,86	0,85	0,88
Na	0,07	0,00	0,06	0,06	0,05
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
#Mg	67,85	58,40	74,18	74,44	78,34

Nos perfis composicionais de clinopiroxênio são observados os mesmos padrões apresentados na unidade anterior, ou seja, perfis praticamente planos, mas variando apenas em relação aos diferentes teores. Ca e #Mg são paralelos com valores entre 0,6 e 0,9, respectivamente, e bordas relativamente enriquecidas, enquanto que Fe^{2+} e Al apresentam padrões semelhantes, entre 0,1 e 0,4, porém com bordas empobrecidas. Tais valores sugerem distribuição concêntrica dos elementos (IC-06-R clinopiroxênio 1; Figura 55). Os perfis de ortopiroxênio indicam homogeneidade nos teores ao longo do grão, em que Mg se situa entre 1,0 e 1,2 com leve aumento nas bordas, Fe^{2+} com valores em torno de 0,8, por vezes com borda também apresentando suave enriquecimento (IC-06-R ortopiroxênio 4, análise 1: aumento de Fe^{2+} gera correspondente diminuição em #Mg; Figura 55), #mg em 0,6, Al em 0,1 com ligeira diminuição nas bordas e Ca constante em 0,02 com poucos pequenos saltos até 0,06 (IC-06-R-ortopiroxênio 2 e 4; Figura 55). De maneira geral, suave distribuição concêntrica também é determinada para o ortopiroxênio nos perfis composicionais (Figura 55).

Figura 55 – Perfis composicionais de clinopiroxênio e ortopiroxênio da amostra IC-06-R (eixo X representa as análises pontuais plotadas na imagem de elétrons retroespalhados).

A aparente homogeneidade de Mg e Fe^{2+} , com suave enriquecimento de borda, a constância de Ca com saltos nos teores, o empobrecimento em Al nas bordas, e a distribuição concêntrica em certos elementos, são postos a prova na confecção e análise de mapas composicionais (Figura 56).

Figura 56 – Mapas composicionais do ortopiroxênio 4 da amostra IC-06-R para Fe, Al, Ca e Mg.

A partir dos mapas composicionais de Fe^{2+} e Al é verificado o predomínio de teores nas bordas, mostrando que os perfis não são tão representativos da variação composicional. Para o Ca, a constância nos teores é confirmada e os saltos podem ser explicados pelas exsoluções de clinopiroxênio ricas no elemento. O de magnésio confirma o enriquecimento de borda previamente indicado na descrição dos perfis, e por fim, é verificada suave distribuição concêntrica, positiva no caso do Mg, com aumento do teor em direção às bordas, e negativa nos de Fe^{2+} e Al.

4.5.1.4. Plagioclásio

Feldspato é o mineral mais abundante da crosta terrestre. Está presente na grande maioria das rochas ígneas e em muitas metamórficas e sedimentares. Quimicamente, o grupo dos feldspatos pode ser classificado como membros do sistema ternário albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) – feldspato potássico (KAlSi_3O_8) – anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$). Membros com composições químicas entre albita e feldspato potássico são chamados de feldspato alcalino, e aqueles entre albita e anortita de plagioclásio, que embora estejam distantes do termo potássico, apresentam até

5 moles por cento de ortoclásio, com tendência de aumento em direção ao termo rico em Na da série. Íons de Ti, Fe³⁺, Fe²⁺, Mn, Mg, Ba e Sr podem estar presentes em menores proporções (Deer *et al.* 1982).

Nas rochas calciossilicáticas da *Nappe* Três Pontas-Varginha há quantidade restrita de plagioclásio. São raros os exemplos existentes junto ao resíduo, sendo mais comum no leucossoma. Para o estudo geotermobarométrico, a fim de se obter temperaturas e pressões mais próximas possíveis das condições de pico metamórfico, é necessário analisar grãos do resíduo e evitar os de leucossoma, pois estes teoricamente foram cristalizados durante o resfriamento e suas composições não estão em equilíbrio com os minerais do pico metamórfico. O plagioclásio nessas rochas é subidioblástico, por vezes intersticial, de granulação fina. Quando mais bem formado ocorre isolado em meio ou incluso em minerais máficos, e indica tratar-se de exemplo de mais alto grau, e quando sem forma/ intersticial, junto a quartzo, sugere ser resultado de cristalização de líquido aprisionado. Já o plagioclásio no granulito félsico da *Nappe* Socorro-Guaxupé é bastante abundante. No leucossoma apresenta proporções superiores a 60%, granulação fina, é subidioblástico a xenoblástico com terminações afinadas e raramente formam junções tríplices de 120°. O resíduo também apresenta proporções significativas, acima dos 20%, sendo difícil a determinação de sua origem, se do metamorfismo progressivo ou cristalização de líquido aprisionado. Ocorre principalmente na matriz, subidioblástico ou intersticial, acompanhado por quartzo e minerais máficos, e em inclusões em granada junto a quartzo. Este sugere tratar-se de resultado de cristalização de líquido aprisionado.

Em ambas as unidades preferiu-se analisar cristais com texturas indicativas de mais alto grau, ou seja grãos com formato mais regular e de contatos retos. Mas devido a sua escassez e com fins comparativos, foram estudados conjuntamente grãos texturalmente de cristalização tardia. Dos 20 grãos analisados, 10 são de rochas calciossilicáticas da *Nappe* Três Pontas-Varginha e 10 são do granulito félsico da *Nappe* Socorro-Guaxupé. A Tabela 8 apresenta as fórmulas estruturais médias.

Tabela 8 – Fórmulas estruturais aproximadas (médias) de plagioclásio para cada amostra analisada

Unidade	Amostra	Fórmula estrutural (média)
<i>Nappe</i> Três Pontas- Varginha	TPR-01-C	K _{0,02} , Ca _{0,32-0,37} , Na _{0,55-0,62} , Fe ³⁺ _{0-0,01} , Al _{1,34-1,42} , Si _{2,60-2,68} , O ₈
	TPR-01-F1	K _{0,01-0,02} , Ca _{0,42-0,63} , Na _{0,35-0,51} , Fe ³⁺ _{0-0,01} , Al _{1,42-1,63} , Si _{2,33-2,54} , O ₈
<i>Nappe</i> Socorro- Guaxupé	IC-06-R (inclusão)	K _{0,02-0,03} , Ca _{0,30-0,32} , Na _{0,60-0,63} , Fe ³⁺ _{0,01-0,02} , Al _{1,34-1,35} , Si _{2,64-2,68} , O ₈
	IC-06-R (matriz)	K _{0,02} , Ca _{0,29-0,32} , Na _{0,62-0,64} , Fe ³⁺ _{0-0,01} , Al _{1,33-1,35} , Si _{2,66-2,69} , O ₈

Nappe Três Pontas-Varginha

O plagioclásio das rochas calciossilicáticas da *Nappe* Três Pontas-Varginha apresenta Al em teores entre 1,33 e 1,79 a.p.f.u., Ca entre 0,29 e 0,72 a.p.f.u., Na na faixa de 0,22 a 0,65 a.p.f.u. e teor de anortita entre 30,7 e 76,4. Os grãos da amostra TPR-01-C, em média, são os mais ricos em Na (0,60 a.p.f.u.), enquanto que os da TPR-01-F1 possuem as maiores médias de Al (1,51 a.p.f.u.), Ca (0,47 a.p.f.u.) e consequentemente de teor de anortita (49,62). A Tabela 9 resume os teores médios (em a.p.f.u.) de cada amostra.

Tabela 9 – Valores médios dos elementos (em a.p.f.u.) analisados em plagioclásio de cada amostra de ambas as unidades; Número subscrito entre parênteses = número de análises. Maiores proporções médias em negrito (apenas para as amostras da *Nappe* Três Pontas-Varginha).

Elemento	<i>Nappe</i> Três Pontas-Varginha		<i>Nappe</i> Socorro-Guaxupé	
	TPR-01-C ₍₁₈₎	TPR-01-F1 ₍₅₆₎	IC-06-R ₍₂₀₎	IC-06-R ₍₂₃₎
			inclusão	matriz
Si	2,64	2,50	2,66	2,68
Ti	0,00	0,01	0,00	0,00
Al	1,38	1,51	1,35	1,34
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ³⁺	0,00	0,00	0,01	0,00
Fe ²⁺	0,00	0,00	0,00	0,00
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,00	0,00	0,01	0,00
Ca	0,34	0,47	0,31	0,30
Na	0,60	0,48	0,62	0,64
K	0,02	0,02	0,02	0,02
Anortita	36,43	49,62	33,51	32,26

Os perfis composicionais de plagioclásio de ambas amostras mostram a mesma simetria, com bordas mais ricas em anortita em relação ao núcleo, variando apenas nos teores em cada caso, com os grãos de TPR-01-F1 mais ricos que TPR-01-C. Esses padrões nos perfis sugerem distribuição de Ca e Na de maneira concêntrica, sendo o primeiro com maiores valores na borda do que no núcleo. Os perfis composicionais de plagioclásio 5 e 6 da amostra TPR-01-F1 foram plotados em apenas um gráfico devido à continuidade das análises, e mesmo dessa maneira, é possível verificar através do pico nos teores entre as análises 10 e 11 que o contato entre ambos ocorre nessa posição (Figura 57).

Figura 57 – Perfis composicionais de plagioclásio das amostras TPR-01-F1 e TPR-01-C (eixo X representa as análises pontuais plotadas na imagem de elétrons retroespalhados).

A partir de mapas composicionais é verificada suave distribuição concêntrica para Ca e Na. Os grãos 5 e 6 de plagioclásio da amostra TPR-01-F1 exibem enriquecimento de Ca em direção às bordas, principalmente nos contatos com outro plagioclásio, hornblenda e clinopiroxênio. Para Na ocorre o inverso, com empobrecimento de teor em direção às bordas que predomina nos contatos com os mesmos minerais do caso anterior. Em ambos exemplos o contato com granada parece não surtir qualquer efeito na composição do plagioclásio (Figura 58).

Figura 58 – Mapas composicionais de plagioclásio 5 e 6 da amostra TPR-01-F1 para Ca e Na

Os grãos 3 e 4 da amostra TPR-01-C mostram distribuição concêntrica de Ca e Na de maneira mais nítida, principalmente devido à presença de hornblenda circundante. O padrão de Ca e Na na relação plagioclásio-hornblenda apresentado nos exemplos anteriores ocorre da mesma maneira nessa amostra (Figura 59).

Figura 59 – Mapas composicionais de plagioclásio 3 e 4 da amostra TPR-01-C para Ca e Na.

Nappe Socorro-Guaxupé

O plagioclásio do granulito félsico da *Nappe Socorro-Guaxupé* foi dividido de acordo com a característica textural, em matriz ou incluso em outros minerais. O incluso em granada e ortopiroxênio possui teor de Na de 0,58 a 0,65 a.p.f.u., Ca entre 0,29 e 0,34 a.p.f.u., K entre 0,01 e 0,06 a.p.f.u., Fe^{3+} de 0 e 0,06 a.p.f.u., e teor de anortita que varia entre 30,9 e 35,6. Os grãos da matriz apresentam valores bastante semelhantes, com Na entre 0,61 e 0,65 a.p.f.u., Ca de 0,29 a 0,34 a.p.f.u., K entre 0,01 e 0,03 a.p.f.u., Fe^{3+} de 0 a 0,02 a.p.f.u., e teor de anortita entre 30,8 e 36,0. Ao compará-los pelos teores médios a semelhança prossegue. Com o plagioclásio de inclusão sendo pouco mais rico em Ca (0,31 a.p.f.u.) que o de matriz (0,30 a.p.f.u.), mais pobre em Na (0,62 a.p.f.u. contra 0,64 a.p.f.u.), e consequentemente com

maior teor de anortita (33,51 contra 32,26). Ao comparar o mineral dessa unidade com o das rochas calciossilicáticas da *Nappe* Três Pontas-Varginha é verificada forte correlação com os da amostra TPR-01-C, enquanto que os de TPR-01-F1 são relativamente enriquecidos em Ca, empobrecidos em Na, e apresentam maior teor de anortita médio, com 49,62. A Tabela 10 apresenta os teores médios de plagioclásio incluso e de matriz da *Nappe* Socorro-Guaxupé, e também os valores da unidade anterior para efeito comparativo.

Tabela 10 – Valores médios dos elementos (em a.p.f.u.) analisados em plagioclásio de cada amostra de ambas as unidades; Número subscrito entre parênteses = número de análises. Maiores proporções médias em negrito (apenas para as amostras da *Nappe* Socorro-Guaxupé).

Elemento	<i>Nappe</i> Socorro-Guaxupé		<i>Nappe</i> Três Pontas-Varginha	
	IC-06-R ₍₂₀₎	IC-06-R ₍₂₃₎	TPR-01-C ₍₁₈₎	TPR-01-F1 ₍₅₆₎
	inclusão	matriz		
Si	2,66	2,68	2,64	2,50
Ti	0,00	0,00	0,00	0,01
Al	1,35	1,34	1,38	1,51
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ³⁺	0,01	0,00	0,00	0,00
Fe ²⁺	0,00	0,00	0,00	0,00
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,01	0,00	0,00	0,00
Ca	0,31	0,30	0,34	0,47
Na	0,62	0,64	0,60	0,48
K	0,02	0,02	0,02	0,02
Anortita	33,51	32,26	36,43	49,62

Os perfis composicionais de anortita do plagioclásio da unidade, independente do aspecto textural, apresentam os mesmos padrões de enriquecimento de borda e por vezes, com suave sinuosidade (a sinuosidade do plagioclásio 6, análise 6, é explicada por sua localização na borda do grão, local de maior teor de anortita). Esse enriquecimento de borda por anortita sugere distribuição concêntrica de Ca e Na, com o primeiro apresentando maiores teores em borda e o segundo em núcleo (Figura 60).

Figura 60 – Perfis composicionais de plagioclásio da amostra IC-06-R (eixo X representa as análises pontuais plotadas na imagem de elétrons retroespalhados).

A distribuição concêntrica nos teores de Ca e Na, assim como o pico de anortita na análise 6 do plagioclásio 6 relacionado com enriquecimento de Ca e empobrecimento de Na em borda, indicados previamente através dos perfis composicionais são confirmados por mapas composicionais dos elementos (Figura 61).

Figura 61 – Mapas composicionais de plagioclásio 6 da amostra IC-06-R para Ca e Na.

Os mapas composicionais do plagioclásio 6 da amostra IC-06-R (Figura 61) apresentam claro enriquecimento de borda em Ca, inclusive nos contatos internos entre grãos, com o inverso ocorrendo para o Na. No mapa de Ca ocorrem estreitas porções ricas no elemento, e é provável que sejam bordas de alteração do ortopiroxênio circundante para clinopiroxênio.

4.5.2. *Análises por Laser Ablation (LA-ICP-MS)*

4.5.2.1. Considerações Gerais

Preparação das amostras

A partir de três amostras do rt-ky-grt granulito da *nappe* Três Pontas-Varginha (TPR-01-E, TPR-01-F e TPR-01-G), escolhidas por apresentarem textura e mineralogia mais refratárias, foram confeccionadas nove seções polidas de 80 μm de espessura (IGc-USP), das quais quatro foram escolhidas para análises de quartzo e rutilo por apresentarem os melhores grãos (TPR-01-E2, TPR-01-F3, TPR-01-G1 e TPR-01-G2). Antes das análises foram produzidas imagens sob luz refletida em microscópio petrográfico a fim de identificar os grãos aflorantes e obter controle sobre cada análise. Para as análises de zircão, duas amostras (TPR-01-E e TPR-01-F) foram moídas e peneiradas nas frações de 100 e 150 *mesh* no Laboratório de Tratamento de Amostras do IGc-USP. Esse material foi enviado a Universidade de Brasília (UnB) para separação mineral. Com o concentrado mineral, foram selecionados manualmente à lupa os cristais de zircão e confeccionadas as montagens de grãos em discos de resina de 2.5 cm, os quais foram polidos a fim de alcançar exposição satisfatória para análise. Imagens de catodo-luminescência (CL) foram produzidas para identificar domínios de crescimento.

LA-ICP-MS

As análises de elementos traço de quartzo, rutilo e zircão foram realizadas através de equipamento Laser-Ablation NWR213 (*ESI*) acoplado a ICP-MS 8800 *Triple Quadruple* (*Agilent Technologies*) na Universidade de Gotemburgo, Suécia. Como padrões para todos os minerais foram utilizados os vidros BCR-2 e GSD-1G do *United States Geological Survey* (USGS, 1996), e NIST SRM 610. Para quartzo (^{49}Ti), cristais naturais de quartzo bastante puros de Varberg (Suécia) e do Brasil, vidro de sílica Herasil 102 (bastante puro) e Heraeus Ti 50, 100 e 600 (com concentrações variadas de Ti), da *Heraeus Company*, Hanau, Alemanha. Para rutilo (^{90}Zr) foi utilizado o padrão natural R10, de Gjerstad, sul da Noruega, e rutilo sintético bastante puro. E por fim, para zircão (^{49}Ti) foram utilizados os padrões 91500 (Harvard), GJ, M257, MT (Carbonatito *Mud Tank*, Austrália), BR266, M127, SRI, Temora e KVT. Para a acuracidade nos resultados, os padrões foram analisados a cada uma hora de funcionamento do equipamento. A ablação foi efetuada em atmosfera de argônio. Os cálculos das concentrações dos elementos traço foram conduzidos com o uso do *Software* GLITTER (versão 4.4.4), bastante eficiente na interpretação dos dados e nas correções necessárias devido a análises de “impurezas” como inclusões imperceptíveis e borda de granada em análise de inclusão de dimensões próximas ao diâmetro do feixe. Os padrões de ablação utilizados para cada mineral são apresentados na Tabela 11:

Tabela 11 – Padrões de ablação utilizados para cada mineral durante as análises de *Laser Ablation*

Mineral	Diâmetro do raio	Taxa de repetição	Energia (mJ)	Densidade de energia	Tempo de ablação	Aquisição de <i>background</i>
Quartzo (Ti)	30 μm	4 Hz	0.213	31 J/cm ²	~ 50 – 52 s	~18 – 20 s
Rutilo (Zr)	15 μm	5 Hz	0.011	6.1 J/cm ²	~30 – 40s	~18 – 20 s
Zircão (Ti)	20 μm	5 Hz	0.023	7.3 J/cm ²	~40 s	~18 s

Deu-se preferência a cristais de quartzo e rutilo inclusos em porfiroblastos de granada, principalmente quando próximos uns aos outros (provavelmente em equilíbrio químico desde o início da blastese), porém grãos da matriz e inclusos em cianita também foram analisados. Para as inclusões de quartzo foram escolhidas preferencialmente as monocristalinas e arredondadas localizadas longe de fraturas. Quando isso não foi possível, exemplares policristalinos e/ ou próximos a fraturas foram analisados. Em porfiroblastos de granada com muitas inclusões, analisou-se grãos localizados desde núcleo até as bordas a fim de verificar possíveis padrões/ diferenças nos teores dos elementos traço em questão. Múltiplas análises em um mesmo grão também foram feitas com o objetivo de avaliar possíveis gradientes de

teores, como núcleo-borda de rutilo. Em relação aos isótopos de titânio, foi escolhido o de massa 49 para os cálculos devido a possíveis interferências do 47 com sílica e do 48 com cálcio. No total foram realizadas 212 análises, das quais 88 em quartzo, 100 em rutilo e 24 em zircão. Valores de temperatura foram calculados através do termômetro Zr-rutilo de Tomkins *et al.* (2007) sob condições de pressão de quartzo β a 15 kbar, Ti-quartzo de Thomas *et al.* (2010) a 15 kbar e Ti-zircão de Watson *et al.* (2006). O cálculo pareado envolvendo os dois minerais, utilizado em Thomas *et al.* (2010), foi aqui utilizado para obter resultados mais precisos de temperatura e pressão (Figura 62). Para todos os casos foi assumido e interpretado por relações texturais que rutilo, quartzo e zircão cresceram em equilíbrio.

Figura 62 – Diagrama PT modificado de Thomas *et al.* (2010) que relaciona os geotermômetros Zr-rutilo e Ti-quartzo.

4.5.2.2. Rutilo

As concentrações de 15 elementos traço (e.g. Cr, Nb, Ta, W, Al, Hf, Fe), além do Ti, foram determinadas em cada uma das 100 análises de rutilo do rutilo-cianita-granada granulito de alta pressão da *nappe* Três Pontas-Varginha. Os grãos contêm 14 – 3806 ppm Cr, 257 – 38225 ppm Nb, 20 – 4536 ppm Ta, 2 – 328 ppm W, 16 – 400 ppm Al, 14 – 57 ppm Hf e <

64.71 – 5929 pp Fe. Resultados discrepantes nesses elementos, como alta de Fe e Al, provavelmente são relacionados à contaminação por análise de granada hospedeira da inclusão e/ou lamelas de ilmenita no rutilo. Valores de $\log(\text{Cr/Nb})$ ocorrem entre -2,4 e 0,2. Os resultados de $\log(\text{Cr/Nb}) < 0$, em 93 grãos, indicam protolito pelítico (Zack *et al.* 2004b; Triebold *et al.* 2007), por outro lado, valores de $\log(\text{Cr/Nb}) > 0$ que sugerem protolito máfico (Zack *et al.* 2004b; Triebold *et al.* 2007), por apenas ocorrerem em sete grãos, isto é, uma baixa proporção do total de resultados (7%) e por possuírem valores pouco acima de zero, tiveram essa sugestão desconsiderada. O conteúdo de Zr dos grãos de rutilo varia entre 374 e 1518 ppm, e produz temperaturas entre 693 °C e 826,4 °C (Figura 63). Utilizando apenas a média dos maiores teores (faixa azul na Figura 63; 1433 ppm) é obtida temperatura de ca. $820 \pm 30^\circ\text{C}$. A distribuição dos grãos de diferentes teores não se apresenta uniforme, porém, de maneira geral os maiores valores são encontrados em cristais inclusos em granada quando comparados aos da matriz. Não foi verificada diferença nos teores em relação à posição da inclusão dentro da granada (núcleo-manto-borda). Análises de núcleo e borda em um cristal de rutilo não apresentaram variação considerável de teores.

Figura 63 – a) Teores de Zr em rutilo com campo delimitando faixa com os maiores valores; b) Respectivas temperaturas Zr-rutilo através do termômetro quartzo β , a 15 kbar, de Tomkins *et al.* (2007).

4.5.2.3. Quartzo

Foram determinadas as concentrações de 7 elementos traço, além de três isótopos de Ti (Li, Al, Si, Ca, Mn, Fe, Ge, ^{47}Ti , ^{48}Ti e ^{49}Ti), em cada uma das 88 análises de quartzo do rutilo-cianita-granada granulito de alta pressão da *nappe* Três Pontas-Varginha. Os grãos contêm < 0,113 a 11 ppm Li, 24 a 162 ppm Al, < 231,59 a 513,51 ppm Ca, 24 a 75 ppm ^{47}Ti , 25 a 71 ppm ^{48}Ti , 23 a 72 ppm ^{49}Ti , < 0,70 a 1,1 ppm Mn, < 8,54 a 264 ppm Fe e < 0,30 a 1,23 ppm Ge. Valores altos e discrepantes de Al, Ca, Mn e Fe são provavelmente resultado de contaminação por análise de granada hospedeira da inclusão. O conteúdo de ^{49}Ti apresentado produz temperaturas entre 727,6 °C e 843,7 °C (Figura 64). Utilizando a média dos maiores valores (faixa azul na Figura 64; 68,1 ppm) é produzida temperatura de ca. $837 \pm 20^\circ\text{C}$. Foi verificado em algumas das inclusões de granada o aumento do teor de titânio em

direção às localizadas nas bordas da granada. O teor de Ti em inclusão policristalina apresenta variação de no máximo 23 ppm. Não foi verificada diferença entre os teores encontrados em inclusões e em cristais de matriz.

Figura 64 – a) Teores de Ti em quartzo com campo delimitando faixa com os maiores valores; b) Respectivas temperaturas Ti-quartzo através do termômetro de Thomas et. al. (2010) a 15 kbar.

4.5.2.4. Zircão

Zircão foi analisado para 21 elementos (e.g. Y, La, Ce, Nd, Sm, Eu), além de dois isótopos de Ti (^{48}Ti e ^{49}Ti), em cada uma das 24 análises de zircão do rutilo-cianita-granada granulito de alta pressão da *nappe* Três Pontas-Varginha. Devido às diminutas dimensões dos grãos, semelhantes ao diâmetro do feixe (20 μm), não foi possível analisar os diferentes domínios de crescimento observados em imagens de CL, sendo os resultados apresentados aqui **não** confiáveis para interpretações. O teor de ^{49}Ti varia entre 4,4 e 12,5 ppm e fornece temperaturas de 673,4 °C a 760,8 °C.

4.5.2.5. Cálculo pareado Zr-rutilo – Ti-quartzo

A partir cálculo pareado utilizando os termômetros Zr-rutilo (Tomkins *et al.* 2007) e Ti-quartzo (Thomas *et al.* 2010) é possível obter tanto valores de temperatura como de pressão. Dentre as 212 análises realizadas em rutilo, quartzo e zircão, 34 de quartzo e 35 de rutilo (os números de análises não coincidem, pois um mesmo grão pode ser pareado mais de uma vez) foram utilizadas para o cálculo de 37 pares, isto é, cristais separados por pequenas distâncias ($\sim 0,75$ mm) e por vezes em contato físico. Esses pares foram divididos entre inclusos em granada, levando em consideração sua posição (núcleo, manto e borda), e na matriz. Dessa maneira, entre o total de pares, trinta são de inclusões em granada (seis em núcleo, onze em manto e treze em borda) e sete são de matriz. Neste, as condições variam de 736 °C e 11,3 kbar a 805,6 °C e 17,6 kbar, com média de 754,7 °C e 13,9 kbar. Para os inclusos em granada são obtidos: 692 °C e 9 kbar a 837 °C e 21,4 kbar, com média de 763 °C e 14 kbar para inclusões em núcleo; 713,3 °C e 10,9 kbar a 844 °C e 21 kbar, com média

de 776,5 °C e 14,4 kbar nas de manto; e 660 °C e 8,3 kbar a 837,4 °C e 18,6 kbar, com média de 759 °C e 12,8 kbar para as de borda. A Figura 65 apresenta todos os 37 pares rutilo-quartzo calculados e plotados em diagrama *P-T*.

Figura 65 – Diagrama modificado de Thomas *et al.* (2010) com os resultados obtidos a partir do cálculo pareado utilizando os termômetros Zr-rutilo (Tomkins *et al.* 2007) e Ti-quartzo (Thomas *et al.* 2010) para os 37 pares minerais.

4.6. Geotermobarometria

Para comparação com os resultados obtidos com o cálculo pareado Zr-rutilo – Ti-quartzo, outros métodos de geotermobarometria são aplicados usando rocha calciossilicática da *Nappe* Três Pontas-Varginha e granulito félsico da *Nappe* Socorro-Guaxupé.

4.6.1. Geotermobarometria convencional

4.6.1.1. Considerações gerais

Para os cálculos geotermobarométricos foram selecionadas análises de núcleo de granada e piroxênio com o intuito de se obter valores o mais próximo da composição dos minerais no pico metamórfico, e de borda de plagioclásio, característica por apresentar os maiores teores de anortita. Nas quatro amostras foi utilizado o geotermômetro de Ellis & Green (1979) através do cálculo pareado granada-clinopiroxênio e o geobarômetro GADS de Eckert *et al.* (1991) com granada-clinopiroxênio-plagioclásio, exceto pela amostra TPR-01-B que não apresenta plagioclásio e impossibilita determinação de pressão. Ainda foram utilizados os geobarômetros de Newton & Perkins (1982), Perkins & Chipera (1985), Paria *et al.* (1988) e Eckert *et al.* (1991) e o geotermômetro de Harley (1984) para a amostra IC-06-R, portadora de ortopiroxênio, e pertencente à *Nappe* Socorro-Guaxupé.

4.6.1.2. Nappe Três Pontas-Varginha

Na química mineral, como já apresentado, verificam-se semelhanças composicionais dos minerais das amostras TPR-01-C e TPR-01-B, com granada e clinopiroxênio relativamente ricos em Fe quando comparados aos cristais de TPR-01-F1, que por sua vez, apresentam maiores teores de Mg e Ca (granada) e Al, Ca, Mg e #mg (clinopiroxênio). Essas diferenças composicionais, mesmo que pequenas, resultam em diferentes valores de T e P , bastante semelhantes nos dois primeiros casos, porém, ao considerar os respectivos erros, podem ser situados na mesma janela P - T .

Para os cálculos de temperatura foram utilizadas seis análises de granada e seis de clinopiroxênio de TPR-01-C, cinco de granada e seis de clinopiroxênio de TPR-01-B e cinco de granada e sete de clinopiroxênio de TPR-01-F1. Foram pareadas análises de grãos localizados em uma mesma região/ banda/ textura em cada amostra, o que totalizou dezoito cálculos para a primeira amostra, quinze para a segunda e dezessete para a terceira. Os cálculos de temperatura foram feitos para 10, 15 e 20 kbar. Sob condições de pressão de 15 kbar, os valores de temperatura de TPR-01-C situam-se entre 768,73 °C e 862,06 °C, média de 821,08 °C, de TPR-01-B bem semelhantes à anterior, entre 791,00 °C e 853,80 °C, média

de 821,99 °C, e de TPR-01-F1 entre 833,47 e 876,72, média de 851,38 °C. Todas as temperaturas calculadas sob as três condições de pressão estão listadas na Tabela 12.

Utilizando-se os valores de temperatura anteriores para os cálculos geobarométricos, seis pares minerais de TPR-01-C foram combinados com duas análises de plagioclásio e forneceram doze valores de pressão. Os cálculos com análise do plagioclásio 3 (An₄₀) indicam pressões entre 13,60 kbar e 15,37 kbar, com 14,54 kbar de média, e com o plagioclásio 4 (An₃₉), entre 13,85 kbar a 15,64 kbar, e 14,78 kbar de média. Para a amostra TPR-01-F1 os oito pares minerais foram utilizados com quatro análises de plagioclásio, sendo realizados trinta e dois cálculos de pressão. Os valores obtidos com o plagioclásio 1 (An₅₅) estão entre 12,77 kbar e 13,21 kbar, com média de 12,98 kbar, com o plagioclásio 3 (An₇₆) entre 10,35 kbar e 10,78 kbar, média de 10,56 kbar, com o grão 5 (An₆₅) entre 11,52 kbar e 11,96 kbar, média de 11,73 kbar, e com o plagioclásio 6 (An₅₁) entre 13,23 kbar e 13,67 kbar e média de 13,44 kbar. Os valores produzidos a partir das combinações com os grãos 1, 5 e 6 situam-se dentro da mesma janela de pressão ao se considerar o erro de $\pm 1,9$ kbar. Já aqueles com o grão 3 são realmente inferiores e explicados pelo caráter tardio do plagioclásio em questão, provavelmente resultado de cristalização tardia de fundido aprisionado (Figura 57). Todos os valores de pressão calculados estão listados na Tabela 13.

Tabela 12 – Temperaturas em °C calculadas pelo geotermômetro de Ellis & Green (1979) para pressões de 10, 15 e 20 kbar. Número entre parênteses indica a análise do grão.

Geotermômetro de Ellis & Green (1979)					
NAPPE TRÊS PONTAS-VARGINHA	TPR-01-C	Minerais	T (°C) a 10 kbar	T (°C) a 15 kbar	T (°C) a 20 kbar
		grt1 ₍₆₎ -cpx1 ₍₅₎	811,63	826,24	840,86
		grt1 ₍₆₎ -cpx2 ₍₄₎	832,96	847,86	862,76
		grt1 ₍₆₎ -cpx3 ₍₅₎	809,19	823,77	832,36
		grt2 ₍₇₎ -cpx1 ₍₅₎	817,12	831,96	846,79
		grt2 ₍₇₎ -cpx2 ₍₄₎	838,89	854,02	869,15
		grt2 ₍₇₎ -cpx3 ₍₅₎	814,63	829,44	844,24
		grt3 ₍₉₎ -cpx1 ₍₅₎	778,29	792,30	806,30
		grt3 ₍₉₎ -cpx2 ₍₄₎	798,09	812,36	826,63
		grt3 ₍₉₎ -cpx3 ₍₅₎	776,03	790,00	803,98
		grt4 ₍₇₎ -cpx5 ₍₄₎	795,45	810,28	825,11
		grt4 ₍₇₎ -cpx6 ₍₇₎	813,10	828,17	843,25
		grt4 ₍₇₎ -cpx7 ₍₆₎	816,68	831,80	846,93
		grt5 ₍₈₎ -cpx5 ₍₄₎	755,23	768,73	782,22
		grt5 ₍₈₎ -cpx6 ₍₇₎	770,66	784,37	798,07
		grt5 ₍₈₎ -cpx7 ₍₆₎	773,79	787,53	801,28
		grt6 ₍₉₎ -cpx5 ₍₄₎	825,45	840,15	854,84
	grt6 ₍₉₎ -cpx6 ₍₇₎	843,43	858,37	873,30	
	grt6 ₍₉₎ -cpx7 ₍₆₎	847,08	862,06	877,05	
	Média	806,54	821,08	835,28	
	TPR-01-B	Minerais	T (°C) a 10 kbar	T (°C) a 15 kbar	T (°C) a 20 kbar
		grt1 ₍₈₎ -cpx1 ₍₅₎	819,93	835,20	850,47
		grt1 ₍₈₎ -cpx2 ₍₆₎	797,14	812,09	827,04
		grt1 ₍₈₎ -cpx4 ₍₃₎	797,59	812,54	827,50
		grt2 ₍₆₎ -cpx1 ₍₅₎	822,93	837,51	852,09
		grt2 ₍₆₎ -cpx2 ₍₆₎	801,09	815,38	829,67
		grt2 ₍₆₎ -cpx4 ₍₃₎	801,52	815,81	830,11
		grt3 ₍₅₎ -cpx1 ₍₅₎	817,95	833,37	848,80
		grt3 ₍₅₎ -cpx2 ₍₆₎	794,97	810,08	825,18
		grt3 ₍₅₎ -cpx4 ₍₃₎	795,42	810,53	825,64
		grt4 ₍₆₎ -cpx5 ₍₅₎	818,95	834,42	849,90
		grt4 ₍₆₎ -cpx7 ₍₄₎	804,07	819,34	834,60
		grt4 ₍₆₎ -cpx8 ₍₅₎	776,13	791,00	805,87
		grt5 ₍₇₎ -cpx5 ₍₅₎	838,53	853,80	869,08
		grt5 ₍₇₎ -cpx7 ₍₄₎	823,58	838,65	853,72
		grt5 ₍₇₎ -cpx8 ₍₅₎	795,49	810,18	824,86
Média		807,02	821,99	836,97	
TPR-01-F1	Minerais	T (°C) a 10 kbar	T (°C) a 15 kbar	T (°C) a 20 kbar	
	grt1 ₍₆₎ -cpx5 ₍₆₎	851,66	866,88	882,10	
	grt1 ₍₆₎ -cpx6 ₍₇₎	841,26	856,34	871,42	
	grt1 ₍₆₎ -cpx7 ₍₆₎	848,63	863,81	878,99	
	grt2 ₍₅₎ -cpx5 ₍₆₎	840,86	855,90	870,94	
	grt2 ₍₅₎ -cpx6 ₍₇₎	830,68	845,58	860,49	
	grt2 ₍₅₎ -cpx7 ₍₆₎	837,90	852,90	867,90	
	grt3 ₍₆₎ -cpx5 ₍₆₎	861,42	876,72	892,02	
	grt3 ₍₆₎ -cpx6 ₍₇₎	850,88	866,03	881,19	
	grt3 ₍₆₎ -cpx7 ₍₆₎	858,35	873,61	888,87	
	grt4 ₍₄₎ -cpx1 ₍₆₎	822,48	837,33	852,18	
	grt4 ₍₄₎ -cpx2 ₍₈₎	822,30	837,15	852,00	
	grt4 ₍₄₎ -cpx3 ₍₆₎	829,21	844,15	859,09	
	grt4 ₍₄₎ -cpx4 ₍₅₎	831,76	846,74	861,71	
	grt5 ₍₉₎ -cpx1 ₍₆₎	819,03	833,64	848,26	
	grt5 ₍₉₎ -cpx2 ₍₈₎	818,85	833,47	848,08	
	grt5 ₍₉₎ -cpx3 ₍₆₎	825,63	840,33	855,03	
	grt5 ₍₉₎ -cpx4 ₍₅₎	828,13	842,87	857,60	
	Média	836,41	851,38	866,35	

Tabela 13 – Pressões em kbar calculadas pelo geobarômetro de Eckert *et al.* (1991) utilizando as temperaturas calculadas a 15 kbar. Número entre parênteses indica a análise do grão.

Geobarômetro de Eckert <i>et al.</i> (1991)					
NAPPE TRÊS PONTAS-VARGINHA	TPR-01-C	Minerais	P (kbar)	Minerais	P (kbar)
		grt5 ₍₈₎ -cpx5 ₍₄₎ -pl3 ₍₁₎	13,60	grt5 ₍₈₎ -cpx5 ₍₄₎ -pl4 ₍₅₎	13,85
		grt5 ₍₈₎ -cpx6 ₍₇₎ -pl3 ₍₁₎	13,97	grt5 ₍₈₎ -cpx6 ₍₇₎ -pl4 ₍₅₎	14,22
		grt5 ₍₈₎ -cpx7 ₍₆₎ -pl3 ₍₁₎	14,04	grt5 ₍₈₎ -cpx7 ₍₆₎ -pl4 ₍₅₎	14,30
		grt6 ₍₉₎ -cpx5 ₍₄₎ -pl3 ₍₁₎	14,96	grt6 ₍₉₎ -cpx5 ₍₄₎ -pl4 ₍₅₎	15,13
		grt6 ₍₉₎ -cpx6 ₍₇₎ -pl3 ₍₁₎	15,28	grt6 ₍₉₎ -cpx6 ₍₇₎ -pl4 ₍₅₎	15,55
		grt6 ₍₉₎ -cpx7 ₍₆₎ -pl3 ₍₁₎	15,37	grt6 ₍₉₎ -cpx7 ₍₆₎ -pl4 ₍₅₎	15,64
		Média	14,54	Média	14,78
	TPR-01-F1	Minerais	P (kbar)	Minerais	P (kbar)
		grt4 ₍₄₎ -cpx1 ₍₆₎ -pl1 ₍₁₎	12,77	grt4 ₍₄₎ -cpx1 ₍₆₎ -pl3 ₍₁₀₎	10,35
		grt4 ₍₄₎ -cpx2 ₍₈₎ -pl1 ₍₁₎	12,79	grt4 ₍₄₎ -cpx2 ₍₈₎ -pl3 ₍₁₀₎	10,37
		grt4 ₍₄₎ -cpx3 ₍₆₎ -pl1 ₍₁₎	13,02	grt4 ₍₄₎ -cpx3 ₍₆₎ -pl3 ₍₁₀₎	10,58
		grt4 ₍₄₎ -cpx4 ₍₅₎ -pl1 ₍₁₎	13,06	grt4 ₍₄₎ -cpx4 ₍₅₎ -pl3 ₍₁₀₎	10,62
		grt5 ₍₉₎ -cpx1 ₍₆₎ -pl1 ₍₁₎	12,91	grt5 ₍₉₎ -cpx1 ₍₆₎ -pl3 ₍₁₀₎	10,50
		grt5 ₍₉₎ -cpx2 ₍₈₎ -pl1 ₍₁₎	12,93	grt5 ₍₉₎ -cpx2 ₍₈₎ -pl3 ₍₁₀₎	10,52
		grt5 ₍₉₎ -cpx3 ₍₆₎ -pl1 ₍₁₎	13,16	grt5 ₍₉₎ -cpx3 ₍₆₎ -pl3 ₍₁₀₎	10,74
		grt5 ₍₉₎ -cpx4 ₍₅₎ -pl1 ₍₁₎	13,21	grt5 ₍₉₎ -cpx4 ₍₅₎ -pl3 ₍₁₀₎	10,78
		Média	12,98	Média	10,56
		grt4 ₍₄₎ -cpx1 ₍₆₎ -pl5 ₍₁₎	11,52	grt4 ₍₄₎ -cpx1 ₍₆₎ -pl6 ₍₁₀₎	13,23
		grt4 ₍₄₎ -cpx2 ₍₈₎ -pl5 ₍₁₎	11,54	grt4 ₍₄₎ -cpx2 ₍₈₎ -pl6 ₍₁₀₎	13,25
		grt4 ₍₄₎ -cpx3 ₍₆₎ -pl5 ₍₁₎	11,76	grt4 ₍₄₎ -cpx3 ₍₆₎ -pl6 ₍₁₀₎	13,48
		grt4 ₍₄₎ -cpx4 ₍₅₎ -pl5 ₍₁₎	11,80	grt4 ₍₄₎ -cpx4 ₍₅₎ -pl6 ₍₁₀₎	13,53
		grt5 ₍₉₎ -cpx1 ₍₆₎ -pl5 ₍₁₎	11,67	grt5 ₍₉₎ -cpx1 ₍₆₎ -pl6 ₍₁₀₎	13,38
		grt5 ₍₉₎ -cpx2 ₍₈₎ -pl5 ₍₁₎	11,69	grt5 ₍₉₎ -cpx2 ₍₈₎ -pl6 ₍₁₀₎	13,40
		grt5 ₍₉₎ -cpx3 ₍₆₎ -pl5 ₍₁₎	11,92	grt5 ₍₉₎ -cpx3 ₍₆₎ -pl6 ₍₁₀₎	13,63
		grt5 ₍₉₎ -cpx4 ₍₅₎ -pl5 ₍₁₎	11,96	grt5 ₍₉₎ -cpx4 ₍₅₎ -pl6 ₍₁₀₎	13,67
		Média	11,73	Média	13,44

4.6.1.3. Nappe Socorro-Guaxupé

Como visto nas análises de química mineral, granada e clinopiroxênio desta unidade são relativamente ricos em Fe e Mg, e Fe, respectivamente, em comparação às análises das amostras da *Nappe Varginha-Três Pontas*. Essas características na interpretação geotermométrica indicam condições de temperaturas mais altas. Foram calculados quinze valores de temperatura com cinco análises de granada e três de clinopiroxênio da amostra IC-06-R com o geotermômetro granada - clinopiroxênio de Ellis & Green (1979) para pressões de 12, 15 e 20 kbar (Tabela 14). Já com a equação de Harley (1984) foram pareadas cinco análises de granada com duas de ortopiroxênio, à 12 kbar, resultando em dez valores de temperatura calculada (Tabela 15). Assim, sob condições de 12 kbar, para o primeiro geotermômetro obtém-se temperaturas entre 814,35 °C e 891,17 °C, média de 856,32 °C, enquanto que para o segundo, entre 821,06 °C e 890, 05 °C, média de 855,29 °C. Vale notar que em ambas as equações as maiores temperaturas são calculadas para a análises dos grãos 2 e 5 de granada, as quais estão marcadas em negrito nas tabelas.

Tabela 14 – Temperaturas em °C calculadas pelo geotermômetro de Ellis & Green (1979) para pressões de 12, 15 e 20 kbar. Número entre parênteses indica a análise do grão.

Geotermômetro de Ellis & Green (1979)				
IC-06-R	Associação Mineral	T (°C) a 12 kbar	T (°C) a 15 kbar	T (°C) a 20 kbar
	grt2(10)-cpx1(4)	832,47	842,48	859,16
	grt2(10)-cpx2(6)	872,80	883,18	900,47
	grt2(10)-cpx3(7)	883,45	893,93	911,38
	grt3(6)-cpx1(4)	814,35	823,96	839,99
	grt3(6)-cpx2(6)	852,40	862,36	878,95
	grt3(6)-cpx3(7)	862,44	872,48	889,22
	grt4(13)-cpx1(4)	817,70	827,43	843,72
	grt4(13)-cpx2(6)	856,45	866,56	883,40
	grt4(13)-cpx3(7)	866,68	876,88	893,87
	grt5(8)-cpx1(4)	840,89	850,70	867,04
	grt5(8)-cpx2(6)	880,67	890,83	907,76
	grt5(8)-cpx3(7)	891,17	901,42	918,50
	grt6(5)-cpx1(4)	828,34	838,07	854,28
	grt6(5)-cpx2(6)	867,34	877,41	894,19
	grt6(5)-cpx3(7)	877,62	887,79	904,72
	Média	856,32	864,84	883,11

Tabela 15 – Temperaturas em °C calculadas pelo geotermômetro de Harley (1984) para pressão de 12 kbar. Número entre parênteses indica a análise do grão.

Geotermômetro de Harley (1984)	
Associação Mineral	T (°C) a 12 kbar
grt2(10)-opx2(6)	897,73
grt2(10)-opx4(7)	890,05
grt3(6)-opx2(6)	827,79
grt3(6)-opx4(7)	821,06
grt4(13)-opx2(6)	850,94
grt4(13)-opx4(7)	843,89
grt5(8)-opx2(6)	867,74
grt5(8)-opx4(7)	860,53
grt6(5)-opx2(6)	850,09
grt6(5)-opx4(7)	843,09
Média	855,29

Ao utilizar os valores de temperatura calculados à 12 kbar e as mesmas associações minerais de granada e clinopiroxênio com 3 análises de plagioclásio, dois de matriz e um de inclusão em granada, foram calculados quarenta e cinco valores de pressão, quinze para cada análise de plagioclásio usando o geobarômetro de Eckert *et al.* (1991), sendo que os

resultados são apresentados na Tabela 16. Para as associações minerais com o plagioclásio 5 da matriz (An₃₆) são obtidas pressões entre 11,34 kbar e 13,88 kbar, média de 12,73 kbar, com o plagioclásio 8, também da matriz (An₃₃), valores entre 11,80 kbar e 14,36 kbar, média de 13,19 kbar, e com o plagioclásio 6, que é a inclusão (An₃₆), pressões entre 11,38 kbar e 13,92 kbar, e média de 12,77 kbar. Cálculos de pressão utilizando análise do plagioclásio 6 (An₃₆) foram realizadas para fins comparativos, visto que é provavelmente produto de cristalização tardia de fundido aprisionado, e não serão utilizadas (Tabela 16).

Tabela 16 – Pressões em kbar calculadas pelo geobarômetro de Eckert *et al.* (1991) utilizando as respectivas temperaturas à 12kbar calculadas para cada par mineral pelo geotermômetro de Ellis & Green (1979) encontradas na Tabela 14.

Geobarômetro de Eckert <i>et al.</i> (1991)					
Associação Mineral	P (kbar)	Associação Mineral	P (kbar)	Associação Mineral	P (kbar)
grt ₂₍₁₀₎ -cpx ₁₍₄₎ -pl ₅₍₁₎	11,34	grt ₂₍₁₀₎ -cpx ₁₍₄₎ -pl ₈₍₁₀₎	11,80	grt ₂₍₁₀₎ -cpx ₁₍₄₎ -pl ₆₍₁₎	11,38
grt ₂₍₁₀₎ -cpx ₂₍₆₎ -pl ₅₍₁₎	12,20	grt ₂₍₁₀₎ -cpx ₂₍₆₎ -pl ₈₍₁₀₎	12,67	grt ₂₍₁₀₎ -cpx ₂₍₆₎ -pl ₆₍₁₎	12,24
grt ₂₍₁₀₎ -cpx ₃₍₇₎ -pl ₅₍₁₎	12,35	grt ₂₍₁₀₎ -cpx ₃₍₇₎ -pl ₈₍₁₀₎	12,83	grt ₂₍₁₀₎ -cpx ₃₍₇₎ -pl ₆₍₁₎	12,39
grt ₃₍₆₎ -cpx ₁₍₄₎ -pl ₅₍₁₎	12,14	grt ₃₍₆₎ -cpx ₁₍₄₎ -pl ₈₍₁₀₎	12,59	grt ₃₍₆₎ -cpx ₁₍₄₎ -pl ₆₍₁₎	12,18
grt ₃₍₆₎ -cpx ₂₍₆₎ -pl ₅₍₁₎	13,01	grt ₃₍₆₎ -cpx ₂₍₆₎ -pl ₈₍₁₀₎	13,47	grt ₃₍₆₎ -cpx ₂₍₆₎ -pl ₆₍₁₎	13,05
grt ₃₍₆₎ -cpx ₃₍₇₎ -pl ₅₍₁₎	13,16	grt ₃₍₆₎ -cpx ₃₍₇₎ -pl ₈₍₁₀₎	13,63	grt ₃₍₆₎ -cpx ₃₍₇₎ -pl ₆₍₁₎	13,20
grt ₄₍₁₃₎ -cpx ₁₍₄₎ -pl ₅₍₁₎	11,71	grt ₄₍₁₃₎ -cpx ₁₍₄₎ -pl ₈₍₁₀₎	12,16	grt ₄₍₁₃₎ -cpx ₁₍₄₎ -pl ₆₍₁₎	11,75
grt ₄₍₁₃₎ -cpx ₂₍₆₎ -pl ₅₍₁₎	12,57	grt ₄₍₁₃₎ -cpx ₂₍₆₎ -pl ₈₍₁₀₎	13,04	grt ₄₍₁₃₎ -cpx ₂₍₆₎ -pl ₆₍₁₎	12,61
grt ₄₍₁₃₎ -cpx ₃₍₇₎ -pl ₅₍₁₎	12,72	grt ₄₍₁₃₎ -cpx ₃₍₇₎ -pl ₈₍₁₀₎	13,19	grt ₄₍₁₃₎ -cpx ₃₍₇₎ -pl ₆₍₁₎	12,76
grt ₅₍₈₎ -cpx ₁₍₄₎ -pl ₅₍₁₎	12,81	grt ₅₍₈₎ -cpx ₁₍₄₎ -pl ₈₍₁₀₎	13,27	grt ₅₍₈₎ -cpx ₁₍₄₎ -pl ₆₍₁₎	12,85
grt ₅₍₈₎ -cpx ₂₍₆₎ -pl ₅₍₁₎	13,71	grt ₅₍₈₎ -cpx ₂₍₆₎ -pl ₈₍₁₀₎	14,19	grt ₅₍₈₎ -cpx ₂₍₆₎ -pl ₆₍₁₎	13,76
grt ₅₍₈₎ -cpx ₃₍₇₎ -pl ₅₍₁₎	13,88	grt ₅₍₈₎ -cpx ₃₍₅₎ -pl ₈₍₁₀₎	14,36	grt ₅₍₈₎ -cpx ₃₍₇₎ -pl ₆₍₁₎	13,92
grt ₆₍₅₎ -cpx ₁₍₄₎ -pl ₅₍₁₎	12,45	grt ₆₍₅₎ -cpx ₁₍₄₎ -pl ₈₍₁₀₎	12,91	grt ₆₍₅₎ -cpx ₁₍₄₎ -pl ₆₍₁₎	12,49
grt ₆₍₅₎ -cpx ₂₍₆₎ -pl ₅₍₁₎	13,34	grt ₆₍₅₎ -cpx ₂₍₆₎ -pl ₈₍₁₀₎	13,81	grt ₆₍₅₎ -cpx ₂₍₆₎ -pl ₆₍₁₎	13,38
grt ₆₍₅₎ -cpx ₃₍₇₎ -pl ₅₍₁₎	13,50	grt ₆₍₅₎ -cpx ₃₍₇₎ -pl ₈₍₁₀₎	13,97	grt ₆₍₅₎ -cpx ₃₍₇₎ -pl ₆₍₁₎	13,54
Média	12,73	Média	13,19	Média	12,77

A partir dos maiores valores de temperatura, calculados com as composições das granadas 2 e 5, à 12 kbar (Tabela 14), que provavelmente indicam as condições do pico metamórfico, com o uso das duas análises de plagioclásio de matriz, análise 1 do plagioclásio 5 e análise 10 do plagioclásio 8, e de duas análises de ortopiroxênio, análise 6 do grão 2 e análise 7 do grão 4, foram calculados quarenta valores de pressão com outros quatro geobarômetros. Utilizando a associação granada-ortopiroxênio-plagioclásio obteve-se oito valores de pressão para cada uma das três calibrações: Newton & Perkins (1982), entre 12,95 kbar e 13,78 kbar, média de 13,37 kbar, Perkins & Chipera (1985), entre 11,22 kbar a 12,26 kbar, média de 11,74 kbar, e Eckert *et al.* (1991), entre 13,38 kbar e 14,24 kbar, média de 13,81 kbar. Já com a associação granada-clinopiroxênio-ortopiroxênio-plagioclásio foi utilizado o geobarômetro calibrado por Paria *et al.* (1988) com o qual obteve-se dezesseis

valores de pressão, entre 12,28 kbar e 12,70 kbar, média de 12,49 kbar. Todos os valores de pressão calculados com geobarômetros que utilizam ortopiroxênio estão listados na Tabela 17.

Tabela 17 – Pressões calculadas com os geobarômetros de Newton & Perkins (1982), Perkins & Chipera (1985), Paria *et al.* (1988) e Eckert *et al.* (1991). Valores em kbar.

Associação Mineral	Newton & Perkins(1982)	Perkins & Chipera (1985)	Paria <i>et al.</i> (1988)	Eckert <i>et al.</i> (1991)
grt ₂₍₁₀₎ -opx ₂₍₆₎ -pl ₅₍₁₎	13,02	11,22	-	13,45
grt ₅₍₈₎ -opx ₂₍₆₎ -pl ₅₍₁₎	13,35	11,96	-	13,77
grt ₂₍₁₀₎ -opx ₂₍₆₎ -pl ₈₍₁₀₎	13,45	11,49	-	13,91
grt ₅₍₈₎ -opx ₂₍₆₎ -pl ₈₍₁₀₎	13,78	12,24	-	14,24
grt ₂₍₁₀₎ -opx ₄₍₇₎ -pl ₅₍₁₎	12,95	11,25	-	13,38
grt ₅₍₈₎ -opx ₄₍₇₎ -pl ₅₍₁₎	13,28	11,99	-	13,70
grt ₂₍₁₀₎ -opx ₄₍₇₎ -pl ₈₍₁₀₎	13,38	11,52	-	13,84
grt ₅₍₈₎ -opx ₄₍₇₎ -pl ₈₍₁₀₎	13,71	12,26	-	14,17
grt ₂₍₁₀₎ -cpx ₂₍₆₎ -opx ₂₍₆₎ -pl ₅₍₁₎	-	-	12,31	-
grt ₂₍₁₀₎ -cpx ₃₍₇₎ -opx ₂₍₆₎ -pl ₅₍₁₎	-	-	12,36	-
grt ₅₍₈₎ -cpx ₂₍₆₎ -opx ₂₍₆₎ -pl ₅₍₁₎	-	-	12,28	-
grt ₅₍₈₎ -cpx ₃₍₇₎ -opx ₂₍₆₎ -pl ₅₍₁₎	-	-	12,33	-
grt ₂₍₁₀₎ -cpx ₂₍₆₎ -opx ₂₍₆₎ -pl ₈₍₁₀₎	-	-	12,60	-
grt ₂₍₁₀₎ -cpx ₃₍₇₎ -opx ₂₍₆₎ -pl ₈₍₁₀₎	-	-	12,65	-
grt ₅₍₈₎ -cpx ₂₍₆₎ -opx ₂₍₆₎ -pl ₈₍₁₀₎	-	-	12,56	-
grt ₅₍₈₎ -cpx ₃₍₇₎ -opx ₂₍₆₎ -pl ₈₍₁₀₎	-	-	12,61	-
grt ₂₍₁₀₎ -cpx ₂₍₆₎ -opx ₄₍₇₎ -pl ₅₍₁₎	-	-	12,36	-
grt ₂₍₁₀₎ -cpx ₃₍₇₎ -opx ₄₍₇₎ -pl ₅₍₁₎	-	-	12,41	-
grt ₅₍₈₎ -cpx ₂₍₆₎ -opx ₄₍₇₎ -pl ₅₍₁₎	-	-	12,33	-
grt ₅₍₈₎ -cpx ₃₍₇₎ -opx ₄₍₇₎ -pl ₅₍₁₎	-	-	12,38	-
grt ₂₍₁₀₎ -cpx ₂₍₆₎ -opx ₄₍₇₎ -pl ₈₍₁₀₎	-	-	12,65	-
grt ₂₍₁₀₎ -cpx ₃₍₇₎ -opx ₄₍₇₎ -pl ₈₍₁₀₎	-	-	12,70	-
grt ₅₍₈₎ -cpx ₂₍₆₎ -opx ₄₍₇₎ -pl ₈₍₁₀₎	-	-	12,61	-
grt ₅₍₈₎ -cpx ₃₍₇₎ -opx ₄₍₇₎ -pl ₈₍₁₀₎	-	-	12,66	-
Média	13,37	11,74	12,49	13,81

4.6.2. Geotermobarometria otimizada

4.6.2.1. Nappe Socorro-Guaxupé

As condições *P-T* também foram calculadas por métodos otimizados com o uso de *softwares* como THERMOCALC (Holland & Powell 2011) e RCLC (Pattison *et al.* 2003). No primeiro caso, os cálculos de *T* e *P* foram feitos separadamente e no modo “*avPT*”, seguindo recomendações de Powell & Holland (1994). As associações minerais utilizadas foram as mesmas daquelas dos cálculos feitos com o geobarômetro de Paria *et al.* (1988), e obteve-se

dezesseis valores de pressão e de temperatura, e outros dezesseis de maneira conjunta (*avPT*). Todos os resultados estão dispostos na Tabela 18.

Tabela 18 – Valores *P-T* para o granulito félsico da *Nappe* Socorro-Guaxupé determinados por THERMOCALC. Correl. = Correlação entre os valores de pressão e temperatura calculados conjuntamente.

THERMOCALC - Holland & Powell (2011)				
Associação mineral	<i>P</i> (kbar)	<i>T</i> (°C)	<i>P</i> (kbar)/ <i>T</i> (°C)	correl.
grt ₂₍₁₀₎ -cpx ₂₍₆₎ -opx ₂₍₆₎ -pl ₅₍₁₎	11,90 ± 0,69	885 ± 53	11,8 ± 1,4/ 937 ± 105	0,82
grt ₂₍₁₀₎ -cpx ₃₍₇₎ -opx ₂₍₆₎ -pl ₅₍₁₎	11,87 ± 0,65	948 ± 49	11,8 ± 1,3/ 941 ± 98	0,83
grt ₅₍₈₎ -cpx ₂₍₆₎ -opx ₂₍₆₎ -pl ₅₍₁₎	11,67 ± 0,62	923 ± 42	11,6 ± 1,1/ 896 ± 81	0,830
grt ₅₍₈₎ -cpx ₃₍₇₎ -opx ₂₍₆₎ -pl ₅₍₁₎	11,66 ± 0,61	825 ± 44	11,7 ± 1,1/ 901 ± 82	0,831
grt ₂₍₁₀₎ -cpx ₂₍₆₎ -opx ₂₍₆₎ -pl ₈₍₁₀₎	11,64 ± 0,68	929 ± 50	12,1 ± 1,4/ 941 ± 106	0,83
grt ₂₍₁₀₎ -cpx ₃₍₇₎ -opx ₂₍₆₎ -pl ₈₍₁₀₎	11,62 ± 0,64	872 ± 52	12,1 ± 1,3/ 946 ± 99	0,83
grt ₅₍₈₎ -cpx ₂₍₆₎ -opx ₂₍₆₎ -pl ₈₍₁₀₎	11,97 ± 0,61	869 ± 45	12,0 ± 1,1/ 901 ± 82	0,84
grt ₅₍₈₎ -cpx ₃₍₇₎ -opx ₂₍₆₎ -pl ₈₍₁₀₎	11,95 ± 0,61	903 ± 45	12,0 ± 1,1/ 905 ± 83	0,84
grt ₂₍₁₀₎ -cpx ₂₍₆₎ -opx ₄₍₇₎ -pl ₅₍₁₎	11,33 ± 0,66	913 ± 49	11,6 ± 1,4/ 926 ± 104	0,83
grt ₂₍₁₀₎ -cpx ₃₍₇₎ -opx ₄₍₇₎ -pl ₅₍₁₎	11,31 ± 0,62	887 ± 48	11,6 ± 1,3/ 931 ± 97	0,83
grt ₅₍₈₎ -cpx ₂₍₆₎ -opx ₄₍₇₎ -pl ₅₍₁₎	11,65 ± 0,61	883 ± 45	11,5 ± 1,1/ 883 ± 81	0,83
grt ₅₍₈₎ -cpx ₃₍₇₎ -opx ₄₍₇₎ -pl ₅₍₁₎	11,63 ± 0,61	886 ± 44	11,5 ± 1,1/ 888 ± 82	0,83
grt ₂₍₁₀₎ -cpx ₂₍₆₎ -opx ₄₍₇₎ -pl ₈₍₁₀₎	11,62 ± 0,66	863 ± 51	12,0 ± 1,4/ 929 ± 105	0,83
grt ₂₍₁₀₎ -cpx ₃₍₇₎ -opx ₄₍₇₎ -pl ₈₍₁₀₎	11,60 ± 0,62	837 ± 55	12,0 ± 1,3/ 935 ± 98	0,84
grt ₅₍₈₎ -cpx ₂₍₆₎ -opx ₄₍₇₎ -pl ₈₍₁₀₎	11,94 ± 0,61	850 ± 44	11,8 ± 1,1/ 887 ± 82	0,84
grt ₅₍₈₎ -cpx ₃₍₇₎ -opx ₄₍₇₎ -pl ₈₍₁₀₎	11,92 ± 0,61	884 ± 78	11,8 ± 1,1/ 892 ± 83	0,84

Os resultados de pressão calculados separadamente indicam excelente homogeneidade, com valores entre 11,31 ± 0,62 e 11,97 ± 0,61 kbar, já os de temperatura apresentam maior variação, entre 825 ± 44 e 948 ± 49 °C. No cálculo com o método *avP-T*, em que pressão e temperatura são calculadas simultaneamente, as condições vão de 11,5 ± 1,1 kbar e 883 ± 81 °C a 12,1 ± 1,3 kbar e 946 ± 99 °C, com correlações por volta de 0,83. A grande similaridade dos resultados, aliada à alta correlação em todos os casos, indica valores confiáveis de pressão e temperatura para essas rochas calculados com esse método.

Para o segundo método otimizado, RCLC, foram combinadas entre si as mesmas análises de granada, ortopiroxênio e plagioclásio usadas no método anterior, e calculados oito valores de pressão e temperatura conjuntamente. O objetivo desse método é tentar recalculas as composições dos minerais, por meio de balanço de massas, às prováveis existentes durante o pico metamórfico, excluindo/ amenizando assim, trocas Fe-Mg entre granada e ortopiroxênio e alterações no teor de Al da última fase, ocorridas durante a resfriamento/ exumação da rocha. Assim, foram obtidos valores iniciais, isto é, sem correções, e ajustados. Os iniciais situam-se acima dos 960 °C e 12 kbar, variando entre 968 °C e 13,49 kbar e 989

°C e 13,54 kbar, já os ajustados são inferiores, entre 845 °C e 11,36 kbar e 922 °C e 13,27 kbar. A Tabela 19 sintetiza todos os valores de *P* e *T* calculados com esse método.

Tabela 19 – Valores P-T iniciais e ajustados para o granulito félsico da *Nappe* Socorro-Guaxupé determinados por RCLC.

RCLC - Pattison <i>et al.</i> (2003)		
Associação Mineral	Inicial	Ajustado
grt ₂₍₈₎ -opx ₂₍₆₎ -pl ₅₍₁₎	986 °C/ 13,08 kbar	845 °C/ 11,36 kbar
grt ₅₍₈₎ -opx ₂₍₆₎ -pl ₅₍₁₎	980 °C/ 13,67 kbar	896 °C/ 12,56 kbar
grt ₂₍₈₎ -opx ₂₍₆₎ -pl ₈₍₈₎	989 °C/ 13,54 kbar	856 °C/ 11,84 kbar
grt ₅₍₈₎ -opx ₂₍₆₎ -pl ₈₍₈₎	984 °C/ 14,13 kbar	908 °C/ 13,10 kbar
grt ₂₍₈₎ -opx ₄₍₇₎ -pl ₅₍₁₎	973 °C/ 12,90 kbar	858 °C/ 11,49 kbar
grt ₅₍₈₎ -opx ₄₍₇₎ -pl ₅₍₁₎	968 °C/ 13,49 kbar	910 °C/ 12,73 kbar
grt ₂₍₈₎ -opx ₄₍₇₎ -pl ₈₍₈₎	977 °C/ 13,36 kbar	870 °C/ 11,99 kbar
grt ₅₍₈₎ -opx ₄₍₇₎ -pl ₈₍₈₎	972 °C/ 13,95 kbar	922 °C/ 13,27 kbar

4.6.3. Pseudosseções

Foram construídas duas pseudosseções no intervalo de 2,0 a 20,0 kbar e 650 a 1000 °C, campo *P-T* que extrapola a janela das reações metamórficas e campos de estabilidade observados no rutilo-cianita-granada granulito da *Nappe* Três Pontas-Varginha, porém ajuda a entender as possíveis paragêneses e reações ocorridas durante o metamorfismo, fusão parcial e o retrometamorfismo. Para o cálculo de pseudosseções é necessário conhecer a composição da rocha, pré-fusão parcial, mas o fato dessas rochas sempre serem observadas com leucossoma associado, indica que a sua composição original não pode ser determinada nos locais em que aflora. Foram pesquisadas diversas composições químicas de folhelhos, sempre restringindo pelos mais ricos em Ca e Na para produção líquido rico nesses componentes com cristalização de plagioclásio no leucossoma. Assim, foi utilizada como base a composição de um filito bandado porfiroblástico da transição da fácies xisto-verde para anfibolito (amostra SC-07, de Pavan 2010) da *Klippe* Carrancas em que algum CaO e Na₂O foram adicionados

A pseudosseção 1 tem composição semelhante à SC-07 de Pavan (2010) salvo a diminuição da porcentagem de água. A pseudosseção 2 foi calculada com ajustes na proporção de água e na razão CaO/ Na₂O numa tentativa de se aproximar dos prováveis valores das rochas em estudo. Ambas composições foram calculadas em proporções molares a 100%, no sistema químico modelo NCKFMASHTO (Na₂O – CaO – K₂O – FeO_T – MgO – Al₂O₃ – SiO₂ – H₂O – TiO₂ – O₂), um dos mais completos, a fim de tentar aproximar o máximo possível as condições calculadas das existentes nas rochas reais investigadas. Como ilmenita e quartzo estão presentes durante todos os cálculos, salvo o último, ausente apenas em

temperaturas altas e pressões muito baixas, foram considerados em excesso. Em cada exemplo foram determinadas sete isopletras de proporção de fundido, de 5% a 60% na pseudosseção 1 e entre 20% e 80% na 2. A partir da confecção dos dois diagramas é possível realizar comparações principalmente a respeito do campo de estabilidade do plagioclásio, mineral fundamental nessas rochas, limitante no avanço das reações de fusão. A Tabela 20 apresenta as composições químicas em proporções molares do filito original e das utilizadas nesse trabalho.

Tabela 20 – Composições químicas utilizadas nos cálculos das pseudosseções, e do filito original (SC-07) de Pavan (2010). Valores em proporções molares.

Amostra	H ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	O	Total
SC-07 (Pavan 2010)	13,95	60,21	13,89	5,34	2,11	0,04	0,99	2,69	0,78	-	100,00
Pseudosseção 1	5,67	65,93	15,20	5,84	2,32	0,05	1,09	2,95	0,85	0,10	100,00
Pseudosseção 2	6,89	63,15	14,57	5,60	2,22	1,74	2,11	2,82	0,82	0,10	100,00

A pseudosseção 1 é apresentada na Figura 66. Devido ao grande número componentes e fases a ao amplo campo *P-T*, apresenta abrangente conjunto de campos de diferentes variâncias, desde octavariante a divariante. No total, incluindo campos ínfimos não sinalizados no diagrama, aparecem um campo octavariante, quatro heptavariantes, nove hexavariantes, dezessete pentavariantes, dezesseis tetravariantes, cinco trivariantes e um divariante, totalizando 53 campos de paragéneses minerais. De maneira geral, maiores variâncias ocorrem na porção de alta temperatura e baixa pressão, variâncias médias na região central e de média a alta pressão e baixa temperatura, e menores variâncias nos estreitos campos onde líquido e muscovita coexistem. Como a composição usada para o cálculo do diagrama possui baixa proporção de CaO, o campo de estabilidade de plagioclásio é restrito, com o mineral totalmente consumido antes da quebra da muscovita em altas pressões e temperaturas, e a paragénesse encontrada nas rochas da *Nappe Três Pontas-Varginha* é representada pelo campo da associação quartzo, ortoclásio, granada, cianita, rutilo e ilmenita, ocupando temperaturas maiores que 830 °C e pressões maiores que 10,6 kbar. Dentro do campo, ocorre mínimo de 20% de fusão parcial e máximo de 40%.

Figura 66 – Pseudosseção 1 P - T no sistema químico NCKFMASHTO com ilmenita e quartzo em excesso. Paragênese do rt-ky-grt granulito demarcada pelo retângulo preto. Curvas em vermelho indicam proporção de fusão parcial produzida na rocha. Composição química calculada a partir da proporção molar normalizada.

A pseudosseção 2 é apresentada na Figura 67. Assim como o diagrama anterior, devido ao grande número componentes e fases e ao amplo campo P - T calculado, apresenta campos de diferentes variâncias, desde octavariante a divariante. Entre os 57 campos de estabilidade mineral ocorre apenas um octavariante, três heptavariantes, cinco hexavariantes, dezoito pentavariantes, dezenove tetravariantes, nove trivariantes e dois divariantes. Da mesma maneira como apresentado na pseudosseção 1, aqui os campos de maior variância também ocorrem na porção de alta temperatura e baixa pressão, variâncias intermediárias em baixas pressão e temperatura e altas pressões, e baixas variâncias em campos estreitos com maior variação de pressão que de temperatura, como o 24. Com os ajustes de composição, o campo de estabilidade do plagioclásio é ampliado e ocorre na maior parte do diagrama, sendo “quebrado” sob altas pressões, entre ~ 15 e 16,7 kbar e a partir de ~840 °C, assim, a paregenese encontrada no granulito metapelítico da *Nappe Três Pontas-Varinha*, liq-kfs-ky-grt-rt-ilm-qtz, é representada e ocorre no campo pentavariante entre ~ 840 – 1000 °C e pressão maior que ~ 15 kbar, com proporção de fusão parcial entre > 20% e ~50%.

A Figura 68 é a sobreposição das duas pseudosseções na qual as curvas univariantes grossas representam a pseudosseção 1, enquanto as finas, a 2. A partir dela, fica claro que para a composição do diagrama 1, com menos H₂O, CaO e Na₂O, as reações de quebra de biotita e aparecimento de rutilo ocorrem em maiores temperaturas e pressões (20 – 30 °C e 0,7 – 1 kbar) quando comparadas às do diagrama 2. Plagioclásio e ortoclásio também têm comportamentos bastante distintos, com campo de estabilidade do primeiro mineral muito maior no segundo diagrama, estável 1000 °C e ~15 kbar, enriquecido em H₂O, CaO e N₂O, enquanto o oposto ocorre com o outro mineral, praticamente ausente na pseudosseção 1, ocorrendo somente em pequeno campo triangular, entre 650 e 765 °C e 4 e 11 kbar. Outro comportamento diferenciado em relação às duas composições é a proporção de fusão parcial na pseudosseção 2, com início da produção de líquido em menores temperaturas mesmo em altas pressões, porcentagens que chegam à ordem de 80% em alta temperatura e baixa pressão, contra 60% no outro caso e, na maioria das condições P - T , fundindo ~10% ou mais que a pseudosseção 1, demonstrando a importância de plagioclásio e água na produção de fundido.

Figura 67 – Pseudosseção 2 *P-T* no sistema química NCKFMASHTO com ilmenita e quartzo em excesso. Paragênese do rt-ky-grt granulito demarcada pelo retângulo preto. Curvas em amarelo indicam proporção de fundido na rocha. Composição química calculada a partir da proporção molar normalizada.

Figura 68 – Sobreposição das pseudosseções 1 e 2 com apenas as curvas univariantes e as isopletas de fusão parcial indicadas. Curvas grossas e isopletas vermelhas são do diagrama 1, e curvas finas e isopletas amarelas do 2. Índices nos minerais indicam a respectiva pseudosseção.

5. DISCUSSÃO

5.1. *Nappe* Três Pontas-Varginha

As condições P - T calculadas para as amostras de rocha calciossilicática da *Nappe* Três Pontas-Varginha, TPR-01-C e TPR-01-B, apresentam resultados semelhantes, haja visto a composição dos minerais não variar muito entre as amostras. Em ambas amostras são obtidas condições P - T para o pico metamórfico entre ~ 850 e 860 °C a $\sim 15,5$ kbar. As análises de química mineral de TPR-01-F1, com granada ligeiramente mais rica em Mg e clinopiroxênio com maior #Mg, resultam em condições P - T superiores às das outras amostras, com pico metamórfico por volta dos 876 °C e $13,5$ kbar. Ao considerar os erros de ± 50 °C e $1,9$ kbar, todos os valores calculados são concordantes e corroboram o metamorfismo de alto grau e de alta pressão. Os cálculos geobarométricos efetuados com análises da última amostra, que relacionam o plagioclásio 3 (An_{76}), mineral cristalizado a partir de líquido silicático aprisionado, posterior ao pico metamórfico, apresentam valores em torno dos 10 kbar, e foram calculados para exemplificar o resultado de um pareamento mineral incorreto, relacionando minerais que não estiveram em equilíbrio no auge do metamorfismo. É importante atentar para perfis de química mineral comumente planos, característica comum para rochas de alto grau que tiveram equilíbrio químico completo e pouco modificados durante o resfriamento.

Em relação à geotermobarometria não convencional com os termômetros Zr-rutilo e Ti-quartzo, como já mencionado, não foram verificadas diferenças significativas entre teores dos elementos traço nos grãos de inclusões e de matriz. São encontrados valores altos e baixos em ambos casos. No caso de Zr em rutilo, é comum a presença de cristais com menores variações quando inclusos em granada. É recorrente a presença de finos cristais de zircão junto aos cristais de rutilo que apresentam os menores teores de Zr, o que sugere mobilização do Zr durante resfriamento. Por vezes, foi verificada gradação nos teores de Ti em quartzo de inclusões, com aumento do teor em direção a borda, possivelmente indicando enriquecimento durante o crescimento do porfiroblasto com fechamento do sistema quando o grão foi englobado pelo porfiroblasto. Em relação à coloração do rutilo, que varia de tons amarelados a amarronzados, não foi verificada relação com seu teor de Zr.

A grande variação nos teores de Zr em rutilo, entre 374 e 1518 ppm, o que implica temperaturas entre 693 °C e $826,4$ °C, e nos de Ti em quartzo, de 23 a 72 ppm, com temperaturas entre $727,6$ °C e $843,7$ °C, mostra a necessidade de análise do maior número possível de grãos. De maneira geral, quando feitos separadamente os cálculos de temperatura, os obtidos com o termômetro de Ti-Quartzo são maiores em relação aos do Zr-rutilo, com média de $805,4$ °C contra $765,4$ °C, respectivamente, mostrando talvez a maior capacidade de retenção do elemento em questão durante exumação por parte do quartzo. A

partir dos cálculos das médias dos maiores teores encontrados para cada mineral (faixas demarcadas na Figura 63a e Figura 64a) obtêm-se temperaturas de $\sim 820 \pm 30$ e 837 ± 20 °C para o pico metamórfico, nos termômetros de rutilo e quartzo, respectivamente.

Para os cálculos pareados, a projeção dos pares no diagrama P - T apresenta correlação que sugere exumação das rochas com diminuição conjunta de temperatura e pressão em trajetória horária e estágio de descompressão isothermal. Não há distinção entre os resultados de pares de diferentes localizações, distribuindo-se ao longo de uma linha (Figura 65). Este fato pode ser verificado pelos valores médios bastante semelhantes: temperaturas entre 754,7 °C e 776,5 °C e pressões de 12,8 kbar a 14,4 kbar. Ao utilizar os maiores teores encontrados nos dois minerais, 1518 ppm de Zr no rutilo e 72 ppm de Ti no quartzo, independente das amostras em que se encontram, são obtidas condições de 825,2 °C e 14,8 kbar.

Os maiores valores de pressão calculados, acima dos 20 kbar, possivelmente são superestimados. Na Figura 69, por exemplo, é ilustrado o resultado de grãos de quartzo e rutilo analisados dentro de porfiroblasto de granada. O par quartzo-rutilo (Q7-R7) é responsável por fornecer condições de 837 °C e 21,4 kbar. O fator determinante para tamanha pressão é o baixo teor de Ti no quartzo (23 ppm). O mesmo cristal de quartzo, policristalino, foi analisado em outros dois locais, região superior da imagem, e apresenta em ambas as análises teores na ordem de 68 ppm, indicando assim possível obliteração do conteúdo de Ti na análise utilizada para o cálculo, talvez relacionada ao grande fraturamento na região ou pelo contato com o cristal de rutilo. Vale ressaltar que, nesse mesmo porfiroblasto de granada, apenas essa análise de quartzo apresenta teor abaixo de 30 ppm, sendo o restante bastante superior, com média de 54,9 ppm em 24 análises e valores que chegam a 72 ppm, o maior encontrado entre todas as amostras.

Figura 69. Fotomicrografia. Amostra TPR-01-ZF3. Porfiroblasto de granada rico em inclusões de quartzo e rutilo. Notação utilizada: Q7 = identificação da análise de quartzo; (23) = teor de Ti. O mesmo padrão de notação foi utilizado nas análises de rutilo. Feições arredondadas nas áreas sinalizadas são os locais analisados por *laser*. Polarizador inferior.

A partir dos dados apresentados na Figura 65, e dos discutidos acima, é possível sugerir para o pico metamórfico valores na ordem de 805 a 845 °C e 15,7 a 18,6 kbar. Em todos os resultados aqui apresentados é possível afirmar que essas rochas alcançaram condições de fácies eclogito. Ao comparar todos os resultados apresentados até aqui, da geotermobarometria convencional e de Ti-quartzo e Zr-rutilo, é possível observar boa concordância nos valores *P-T*. O mesmo ocorre com a pseudosseção 1. Nela, a paragênese existente nas rochas metapelíticas da *Nappe* Três Pontas-Varginha é representada pelo campo pentavariante, liq-kfs-ky-grt-rt-ilrn-qtz, entre 830 – 1000 °C e acima de 10,6 kbar, com proporção de fusão parcial entre > 20% e 40%. Provavelmente as rochas desse estudo encontram-se próximas aos maiores valores de pressão dessa janela, acima das temperaturas de quebra do plagioclásio, mineral limitante no processo de fusão parcial e não encontrado nas porções residuais. Ao localizar as condições de 850 – 876 °C no respectivo campo, é possível sugerir proporção de fusão parcial em torno dos 25%, contudo, observações de campo, como grandes leitos de leucossoma e de melanossoma, este

constituído por granada + cianita + rutilo, indicam proporções maiores de fusão parcial, superiores aos modelados na pseudosseção, em torno dos 35 – 40%. Assim, é possível que a quantidade de água utilizada nos cálculos tenha sido subestimada ou que a composição da rocha fosse mais fértil que a do filito utilizado.

5.2. *Nappe Socorro-Guaxupé*

O granulito félsico, representativo da unidade basal da *Nappe Socorro-Guaxupé*, teve suas condições *P-T* estudadas com conhecidos e amplamente utilizados geotermobarômetros convencionais, e pelos métodos otimizados e menos usuais. Os valores de temperatura, a 12 kbar, obtidos com o geotermômetro granada-clinopiroxênio de Ellis & Green (1979) e granada-ortopiroxênio de Harley (1984) apresentam boa homogeneidade, com valores médios próximos, por volta dos 855 °C, e máximos provavelmente relacionados ao pico metamórfico entre 891,17 e 897,73 °C, respectivamente. Pressões entre 12 e 13 kbar foram produzidas pelo barômetro GADS de Eckert *et al.* (1991) e GAPES de Newton & Perkins (1982), Perkins & Chipera (1985) e Eckert *et al.* (1991). Valores acima de 13 kbar na primeira e terceira calibração referida do GAPES, e abaixo de 12 kbar na segunda, ao considerar as respectivas incertezas podem ser considerados no intervalo citado anteriormente. O geobarômetro de Paria *et al.* (1988) apresenta boa consistência, com resultados na ordem de 12,5 kbar, no mesmo intervalo dos demais.

A geotermobarometria otimizada com o método de Pattison *et al.* (2003), que tenta corrigir as composições de granada e ortopiroxênio para as existentes no auge do metamorfismo, apresenta resultados curiosos, com os valores corrigidos inferiores aos iniciais, em até mais de 100 °C. Esse fato indica que os cálculos de correção não conseguem reintegrar as composições químicas, pois não consideram as exsoluções ricas em cálcio abundantes no ortopiroxênio. Assim, da mesma maneira que os autores do método em todos os casos apenas consideram os maiores valores calculados, independente de corrigidos ou não, serão utilizados aqui os iniciais não corrigidos, que sugerem pico metamórfico em torno de 989 °C a 13,67 kbar, indicando que a unidade foi submetida a metamorfismo de temperatura ultra-alta, como definido por Harley (1998), com temperaturas superiores a 900 °C, e verificado em regiões próximas em trabalhos anteriores (Del Lama *et al.* 1994; Silva 2013). Os resultados obtidos com o THERMOCALC são concordantes com todos os apresentados até aqui, com valores para pico na ordem de 948 °C a 11,87 kbar. Nesse método, as condições *P-T* foram calculadas de maneira separada e conjunta. Em ambas condições os resultados são coerentes, entre si com alta correlação, e com os demais. Assim, optou-se por utilizar os calculados pela primeira forma pois apresentam incertezas inferiores às da segunda opção.

Os maiores valores de temperatura produzidos com os métodos convencionais são no mínimo 50 °C inferiores aos dos otimizados, fato consistente com a observação feita por Harley (1984) de que seus resultados são inferiores em relação aos outros métodos de forma recorrente (e.g. Ellis & Green 1979; neste caso, semelhantes) em até 50 °C. As pressões calculadas variam desde 11 kbar a superiores a 14 kbar, porém é possível considerar tais rochas nos valores intermediários entre 12 e 13 kbar devido à maior consistência desses resultados.

6. CONCLUSÕES

Com base nos métodos geotermobarométricos convencionais utilizados nas rochas calciossilicáticas, e os alternativos, Zr-rutilo e Ti-quartzo, no granulito metapelítico, e pelas pseudosseções da *Nappe* Três Pontas-Varginha, podem ser indicadas para o pico metamórfico temperaturas de pelo menos 850 °C a pressões em torno de 15 kbar, condições condizentes com a literatura (e.g. Campos Neto & Caby 2000, Garcia & Campos Neto 2003, Reno *et al.* 2009).

Para o granulito félsico basal da *Nappe* Socorro-Guaxupé são indicadas condições de temperaturas ultra-altas, salvo pelo uso dos métodos convencionais com temperaturas próximas ao valor mínimo de 900 °C, os métodos otimizados produziram valores de pico de pelo menos 950 °C. As pressões encontradas são predominantemente inferiores às determinadas para a unidade inferior, sempre girando em torno de 12 e 13 kbar. Tais condições *P-T* são condizentes com a literatura (e.g. Del Lama *et al.* 1994; Silva 2013).

O uso de pseudosseções como método geotermobarométrico se mostra bastante útil e preciso, inclusive para rochas da fácies granulito, recorrentemente relacionadas à altas proporções de material fundido, nas quais a determinação de composições de protolito pode se tornar inviável. Deve-se haver critério rigoroso na escolha da proporção de água e da composição inicial, afim de se obter mínima precisão nos cálculos, tanto das associações minerais em equilíbrio como das proporções de líquido produzido durante o evento de metamorfismo e fusão parcial.

Os métodos otimizados THERMOCALC E RCLC apresentam resultados mais homogêneos e precisos, quando comparados com outras calibrações disponíveis, principalmente no primeiro, com utilização de um conjunto de reações linearmente independentes, que difere dos métodos convencionais, os quais utilizam uma única reação, como a troca Fe-Mg entre granada e clinopiroxênio de Ellis & Green (1979).

Os métodos alternativos e as calibrações recentes dos geotermômetros Zr-rutilo e Ti-quartzo apresentam bons resultados e se colocam como métodos investigativos precisos para rochas de fácies granulito. Quando utilizados em parceria podem fornecer resultados completos com temperatura e pressão (Thomas *et al.* 2010). O lado positivo desses métodos, além de apresentarem boas precisões nos resultados, é que dependem de análise química de apenas uma fase mineral em cada caso, desde que haja equilíbrio quartzo-rutilo-zircão na rocha, e não de uma associação mineral. Fatores que podem dificultar o uso do método são a aparelhagem utilizada nas análises químicas, preferencialmente *LA-ICP-MS* devido ao

menor limite de detecção necessário pelas baixas proporções dos elementos analisados, na ordem de ppm, e a mobilização tardia de Zr e Ti durante o resfriamento com cristalização de zircão e rutilo.

A partir dos resultados apresentados nesse trabalho é possível concluir:

- As rochas da *Nappe* Socorro-Guaxupé são mais quentes (*UHT*) que as da *Nappe* Três Pontas-Varginha, inferior, e sofreram metamorfismo em profundidades menores na crosta continental.
- A unidade dos metapelitos, com pressões na ordem de 15 kbar, foi metamorfozado em grandes profundidades, entre 10 e 12 km (~3 kbar), abaixo da unidade superior.
- Além das condições *P-T* bastante distintas em ambas unidades, critérios petrográficos e composicionais corroboram a teoria de geração em diferentes níveis crustais.

Assim, todos os fatos listados acima, aliados às características estruturais como lineações minerais orientadas W-SW, levam à ideia de grande transporte tectônico por meio de *nappes*, defendida em diversos trabalhos (e.g. Campos Neto & Caby 1999, 2000, Campos Neto 2004, Garcia & Campos Neto 2003), com cavalgamento da unidade Socorro-Guaxupé, mais quente, sobre a unidade Três Pontas-Varginha, mais profunda, em ambiente tectônico em que grande aporte de calor foi envolvido durante o metamorfismo regional.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ai Y. 1994. A revision of the garnet-clinopyroxene Fe^{2+} -Mg exchange geothermometer. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, **115**, 467-473.
- Alkmim F. F., Marshak S., Pedrosa-Soares A. C., Peres G. G., Cruz S. C. P. & Whittington A. 2006. Kinematic evolution of the Araçuaí–West Congo orogen in Brazil and Africa: Nutcracker tectonics during the Neoproterozoic assembly of Gondwana. *Precambrian Research*, **149**, 43–64.
- Almeida F. F. M. de., Hasui Y., Brito Neves B. B. de., Fuck R. A. 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth-Science Reviews*, **17**, 1-21.
- Aranovich L. Ya. & Berman R. G. 1997. A new garnet-orthopyroxene thermometer based on reversed Al_2O_3 solubility in $\text{FeO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ orthopyroxene. *American Mineralogist*, **82**, 345-353.
- Banno S. 1970. Classification of eclogites in terms of their physical conditions of origin. *Phys. Earth Planet. Inter.* **3**, 405-421
- Bea F. 1996. Residence of REE, Y, Th and U in Granites and Crustal Protoliths; Implications for the Chemistry of Crustal Melts. *Journal of Petrology*, **37(3)**, 521-552.
- Bégin, N. J. & Pattison D. R. M. 1994. Metamorphic evolution of granulites in the Minto Block, northern Quebec: extraction of peak *P-T* conditions taking account of late Fe-Mg exchange. *Journal of Metamorphic Geology*, **12**, 411-428.
- Berman, R.G. 1988. Internally-consistent thermodynamic data for minerals in the system $\text{Na}_2\text{O-K}_2\text{O-CaO-MgO-FeO-Fe}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-TiO}_2\text{-H}_2\text{O-CO}_2$. *Journal of Petrology*, **29**, 445-522.
- Berman R. G. 1991. Thermobarometry using multi-equilibrium calculations: a new technique, with petrological applications. *Canadian Mineralogist*, **29**, 833-855.
- Berman R. G. & Aranovich L. Y. 1996. Optimized standard state and mixing properties of minerals: I. Model calibration for olivine, orthopyroxene, cordierite, garnet and ilmenite in the system $\text{FeO-MgO-CaO-Al}_2\text{SiO}_3\text{-SiO}_2\text{-TiO}_2$. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **126**, 1-24.
- Berman R. G. Aranovich L. Ya, Pattison D. R. M. 1995. Reassessment of the garnet-clinopyroxene Fe-Mg exchange thermometer: II. Thermodynamic analysis. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, **119**, 30-42.
- Bohlen S. R. & Liotta J. J. 1986 A barometer for garnet amphibolites and garnet granulites. *Journal of Petrology*, **27**, 1025-1034.
- Bohlen S. R., Wall V. J., Boettcher A. L. 1983. Experimental investigations and geological applications of equilibria in the system $\text{FeO-TiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$. *American Mineralogist*, **68**, 1049-1058.
- Burnham, C. W. 1979. The importance of volatile constituents. In: *The Evolution of the Igneous Rock – Fiftieth Anniversary Perspectives*. Princeton University Press, Princeton, NY. 439-482.

- Campos Neto M. C. & Caby R. 1999. Tectonic constrain on Neoproterozoic high-pressure metamorphism and nappe system south of São Francisco craton, southeast Brazil. *Precambrian Research*, **97**, 3-26.
- Campos Neto M. C. & Caby R. 2000. Lower crust extrusion and terrane accretion in the Neoproterozoic nappes of southeast Brazil. *Tectonics*, **19**, 669-687.
- Carswell D. A. & Harley S. L. 1990. Mineral barometry and thermometry. In Carswell, D.A. (Ed) *Eclogite Facies Rocks*. Chapman & Hall, New York, 82-110.
- Cherniak D. J., Watson E. B., Wark D. A. 2007. Ti diffusion in quartz. *Chemical Geology*, **236**, 65-74.
- Coleman R. G., Lee D. E., Beany L. B., Brannock W.W. 1965. Eclogites and eclogites: their differences and similarities. *Geology Society American Bulletin* **76**, 483-504.
- Costa L. A. M. & Angeiras A. G. 1971. Geosynclinal Evolution in the Epi-Baikalian Plataform of Central Brazil: *Geologische Rundschau*, **60(2)**, 1024-1050
- Dardenne M. A. 2000. The Brasilia Fold Belt. In: Cordani U. G., Milani E. J., Thomaz Filho A., Campos D. A. (Eds.). *Tectonic Evolution of South America*. 31st International Geology Congress, Rio de Janeiro, p. 231-263.
- Deer W. A., Howie R. A., Zussman J. 1982. Rock-forming minerals. Longman Group Limited, London.
- Degeling H. S. 2003. Zr equilibria in metamorphic rocks. Unpublished PhD Thesis, Australian National University, 231p.
- Delgado I. M., Souza J. D., Silva L. C., Silveira Filho N. C., Santos R. G., Pedreira A. J., Guimarães J. T., Angelim L. A. A., Vasconcelos A. M., Gomes I. P., Lacerda Filho J. V., Valente C. R., Perrota M. M., Heineck C. A. 2003. Geotectônica do Escudo Atlântico. In.: Bizzi L. A., Schobbenhaus C., Vidotti R. M., Golçalves J. H. (Eds.). *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas & SIG*. CPRM, p. 227-334.
- Del Lama E. A., Oliveira M. A. F., Zanardo A. 1994. Geotermobarometria em rochas do Complexo Campos Gerais ao norte da zona de cisalhamento Varginha. *Revista Brasileira de Geociências*, **24**, 233-239.
- Dodson M. H. 1973. Closure temperature in cooling geochronological and petrological systems. *Contributions in Mineralogy and Petrology*, **40**, 259-274.
- Ebert H. 1956. Relatório Anual do Diretor (DGM/DNPM). *Relatório Anual DGM/DNPM*, Ano de 1955:62-81.
- Ebert H. 1984. Os Paraibides entre São Joao del Rei e Itapira e a bifurcação entre Paraibides e Araxáides. *Publicação Especial SBG*, **12**, 72-103.
- Ebert H. D., Chemale jr. F., Babinsky M., Artur A. C., van Schmus W. R. 1996. Tectonic setting and U/Pb zircon dating of the plutonic Socorro Complex in the Transpressive Rio Paraíba do Sul Shear Belt, SE Brazil. *Tectonics*, **15(3)**, 688-699.
- Eckert J. O., 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.

- Ellis D. J. & Green D. H. 1979. An experimental study of the effect of Ca upon garnet-clinopyroxene Fe-Mg exchange equilibria. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **71**, 13-22.
- Essene E. J. 1982. Geologic thermometry and barometry. In: FERRY, J. M. (ed.) *Characterization of Metamorphism Through Mineral Equilibria, Reviews in Mineralogy, Mineralogical Society of America*, **10**, 153-206.
- Ewing T. A., Hermann J., Rubatto D. 2012. The robustness of the Zr-in-rutile and Ti-in-zircon thermometers during high-temperature metamorphism (Ivrea-Verbano Zone, northern Italy). *Contributions in Mineralogy and Petrology*, **165**, 757-779.
- Ferris E. D. A., Essene E. J., Becker U. 2008. Computational study of the effect of pressure on the Ti-in-zircon geothermometer. *European Journal of Mineralogy*, **20**, 745-755.
- Ferry J. M. & Spear F. S. 1978. Experimental Calibration of the Partitioning of Fe and Mg Between Biotite and Garnet. *Contributions in Mineralogy and Petrology*, **66**, 113-117.
- Ferry J. M. & Watson E. B. 2007. New thermodynamic models and revised calibrations for the Ti-in-zircon and Zr-in-rutile thermometers. *Contributions in Mineralogy and Petrology*, **154**, 429-437.
- Fuck R. A. 1994. A Faixa Brasília e a compartimentação tectônica na Província Tocantins. In. SBG, Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, 4, Brasília, 1994. *Atas...*, Brasília, p. 184-187.
- Ganguly J. & Saxena S. K. 1984. Mixing properties of aluminosilicate garnets: constraints from natural and experimental data, and applications to geothermobarometry. *American Mineralogist*, **69**, 88-97.
- Garcia M. G. M. 2001. *Associações metamórficas de alta pressão: Nappes Neoproterozóicas a sul do Cráton São Francisco*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 199p.
- Garcia M. G. M. & Campos Neto M. C. 2003. Contrasting metamorphic conditions in the Neoproterozoic collision-related nappes, south of São Francisco Craton, SE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **15(8)**, 853-870.
- Ghent E. D. 1976. Plagioclase-garnet- Al_2SiO_5 -quartz: a potential geobarometer-geothermometer. *American Mineralogist*, **61**, 700-714.
- Ghent E. D. & Stout M. Z. 1984. TiO_2 activity in metamorphosed pelitic and basic rocks – principles and applications to metamorphism in southeastern Canadian cordillera. *Contributions in Mineralogy and Petrology*, **86**, 248-255.
- Harley S. L. 1984. An experimental study of the partitioning of Fe and Mg between garnet and orthopyroxene. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **86**, 359-373.
- Harley S. L. 1989. The origins of granulites: a metamorphic perspective. *Geological Magazine*, **126(3)**, 215-247.
- Heilbron M. & Machado N. 2003. Timing of terrane accretion in the Neoproterozoic-Eopaleozoic Ribeira orogen (SE Brazil). *Precambrian Research*, **125**, 87-112.

- Heilbron M., Valeriano C. M., Tassinari C. C. G., Almeida J. C. H., Tupinamba M., Siga O., Trouw R.A.J. 2008. Correlation of Neoproterozoic terranes between the Ribeira Belt, SE Brazil and its African counterpart: comparative tectonic evolution and open questions. *In*: Pankhurst R. J., Trouw R. A. J., Brito Neves B. B. de, de Wit M. J. (eds) *West Gondwana: Pre-Cenozoic Correlations Across the South Atlantic Region*. Geological Society, London. Special Publications, **294**, 211-238.
- Helgeson H. C., Delany J. M., Nesbitt H. W., Bird D. K. 1978. Summary and critique of the thermodynamic properties of rock-forming minerals. *American Journal of Science*. **278A**, 1-229.
- Holland T. J. B. & Powell R. 1985. An internally consistent thermodynamic dataset with uncertainties and correlations: 2. Data and results. *Journal of Metamorphic Geology*, **3**, 343-370.
- Holland T. J. B. & Powell R. 2011. An improved and extended internally consistent thermodynamic dataset for phases of petrological interest, involving a new equation of state for solids. *Journal of Metamorphic Geology* **29**, 333–383.
- Holtz F. & Johannes W. 1994. Maximum and minimum water contents of granitic melts: implications for chemical and physical properties of ascending magmas. *Lithos*, **32**, 149-159.
- Indares A. & Martignole J. 1985. Biotite-garnet geothermometry in the granulite facies: the influence of Ti and Al in biotite. *American Mineralogy*, **70**, 272-278.
- Jamieson R. A., Beaumont C., Medvedev S. & Nguyen M. H. 2004. Crustal channel flows: 2. Numerical models with implications for metamorphism in the Himalayan-Tibetan orogen. *Journal of Geophysical Research*, **109**, B06407, 24p.
- Janasi V. A. 1999. *Petrogênese de granitos crustais na Nappe de Empurrão Socorro Guaxupé (SP-MG): uma contribuição da geoquímica elemental e isotópica*. Tese de Livre Docência, IG/USP, 200p.
- Kohn M. J. & Spear F. 2000. Retrograde net transfer reaction insurance for pressure-temperature estimates. *Geology*. December 2000, **28** (12); 1127-1130.
- Krogh E. J. 1988. The garnet-clinopyroxene Fe-Mg geothermometer - a reinterpretation of existing experimental data. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, **99**, 44-48.
- Levien L., Prewitt C. T., Weidner D. J. 1980. Structure and elastic properties of quartz at pressure. *American Mineralogy*, **65**, 920-930.
- Lovering J. F. & White A. J. R. 1969. Granulitic and eclogitic inclusions in basic pipes at Delegate, Australia. *Journal of Petrology*, **21**, 9-52.
- 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*, **79**, 347-361.
- Maciel R. R. 1986. *Mapeamento geológico-estrutural de uma área a leste da cidade de Três Pontas, MG*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 102p.

- Manchester J. E., Cherniak D. J., Watson E. B. 2007. Diffusion of Zr and Hf in rutile. *Earth and Planetary Science Letters*, **261**, 267-279.
- Marini O. J., Fuck R. A., Danni J. C., Dardenne M. A. 1981. A evolução geotectônica da Faixa Brasília e do seu embasamento. *In*. Simpósio Sobre o Cráton do São Francisco e suas faixas marginais, 1, Salvador. *Anais...*, Salvador, p. 100-105.
- McLennan S. M., Taylor S. R., McCulloch M. T., Maynard J. B. 1990. Geochemical and Nd–Sr isotopic composition of deep-sea turbidites: crustal evolution and plate tectonic associations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **54**: 2015–2050.
- Moraes R., Brown M., Fuck R. A., Camargo M. A. & Lima T. M. 2002. Characterization and *P-T* evolution of melt-bearing ultrahigh-temperature granulites: an example from the Anápolis-Itaúçu Complex of the Brasília Fold Belt, Brazil. *Journal of Petrology*, **43**, 1673-1705.
- Motta R. G. 2009. *Evolução tectono-metamórfica do Domínio Serra da Natureza, Terreno Andrelândia, MG*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. São Paulo. 158p.
- Mysen B. & Heier K. S. 1972. Petrogenesis of eclogites in high grade metamorphic gneisses exemplified by the Hareidland Eclogite, Western Norway. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **36**, 73-94
- Newton R. C. & Perkins D. III. 1982. Thermodynamic calibration of geobarometers based on the assemblages garnet-plagioclase-orthopyroxene(clinopyroxene)-quartz. *American Mineralogist*, **67**, 203-222.
- Oliveira M. A. F. & Ruberti E. 1979. Granada-cordierita gnaisses do Complexo Granulítico-Migmatítico São José do Rio Pardo, Caconde, SP: Indicações sobre pressão e temperatura de formação. *Boletim Mineral*, **6**, 15-29.
- van Orman J. A., Grove T. L., Shimizu N., Layne G. D. 2002. Rare earth element diffusion in a natural pyrope single crystal at 2.8 GPa. *Contributions in Mineralogy and Petrology*, **142**, 416-424.
- Ostapenko G. T., Tarashchan A. N., Mitsyuk B. M. 2007. Rutile-quartz geothermobarometer. *Geochemistry International*, **45**, 506-508.
- Paria P., Bhattacharya A., Sen S. K. 1988. The reaction garnet + clinopyroxene + quartz = 2 orthopyroxene + anorthite: A potential geobarometer for granulites. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **99**, 126-133.
- Pattison D. R. M. & Newton R. C. 1989. Reversed experimental calibration of the garnet-clinopyroxene Fe-Mg exchange thermometer. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, **101**, 87-103.
- Pattison D. R. M. & Bégin N. J. 1994. Zoning patterns in orthopyroxene and garnet in granulites: implications for geothermometry. *Journal of Metamorphic Geology*, **12**, 387-410.
- Pattison D. R. M., Chacko T., Farquhar J., McFarlane C. R. M. 2003. Temperatures of Granulite-facies Metamorphism: Constrains from Experimental Phase Equilibria and

Thermobarometry Corrected for Retrograde Exchange. *Journal of Petrology*, **44**(5), 867-900.

- Pavan M. 2010. Modelamento metamórfico de rochas das fácies xisto-verde e anfibolito com o uso de pseudosseções: Exemplo das rochas da *Klippe* Carrancas, sul de Minas gerais. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. 147p.
- Perkins D. III & Chipera S. J. 1985. Garnet-orthopyroxene-plagioclase-quartz barometry: refinement and application to the English River subprovince and the Minnesota River Valley. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **89**, 69-80.
- Peterson, J. W. & Newton, R. C. 1990. Experimental biotite-quartz melting in the KMASH-CO₂ system and the role of CO₂ in the petrogenesis of granites and related rocks. *American Mineralogists*, **75**, 1029-1042.
- Philpotts A. R. 1990. *Principles of Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- Philpotts A. R. & Ague J. J. 2009. *Principles of Igneous and Metamorphic Petrology*, 2nd Ed., Cambridge University Press, 667p.
- Pimentel M. M., Fuck R. A., Jost H., Ferreira-Filho C. F., Araújo S. M. 2000. The Basement of the Brasília Belt and the Goiás Magmatic Arc. In: Cordani U. G., Milani E. J., Thomaz Filho A., Campos D. A. (Eds.). *Tectonic Evolution of South America*. 31st International Geology Congress, Rio de Janeiro, p. 195-229.
- Powell R. 1985. Regression diagnostics and robust regression in geothermometer/geobarometer calibration: the garnet-clinopyroxene geothermometer revisited. *Journal of Metamorphic Geology*, **3**, 231-243.
- Powell R. & Holland T. J. B. 1994. Optimal geothermometry and geobarometry. *American Mineralogist*, **79**, 120-133.
- Powell R., Holland T. J. B., Worley B. 1998. Calculating phase diagrams involving solid solutions via non-linear equations, with examples using THERMOCALC. *Journal of Metamorphic Geology*, **16**, 577-588.
- Powell R., Guiraud M. & White R. W. 2005. Truth and beauty in metamorphic phase equilibria: Conjugate variables and phase diagrams. *The Canadian Mineralogist*, **43**, 21-33.
- Pyle J. M. & Spear F. S. 2000. An empirical garnet (YAG)-xenotime thermometer. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **138**, 51-58.
- Pyle J. M., Spear, F. S., Rudnick, R. L. & McDonough, W. F. 2001. Monazite-xenotime-Garnet equilibrium in metapelites and a new monazite-garnet thermometer. *Journal of Petrology*, **11**, 2083-2107.
- Raheim A. & Green D. H. 1974. Experimental determination of the temperature and pressure dependence of the Fe-Mg partition coefficient for coexisting clinopyroxene and garnet. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **48**, 179-203.
- Ravna E. K. 2000. The garnet-clinopyroxene Fe²⁺-Mg geothermometer: an updated calibration. *Journal of Metamorphic Geology*, **18**, 211-219.

- Reno B. L., Brown M., Kobayashi K., Nakamura E., Piccoli P. M., Trouw R. A. J. 2009. Eclogite-high-pressure granulite metamorphism records early collision in West Gondwana: new data from the Southern Brasília Belt, Brazil. *Journal of the Geological Society, London*, **166**, 1013-1032.
- Sandiford M. & Powell R. 1986. Deep crustal metamorphism during continental extension; modern and ancient examples. *Earth and Planetary Science Letters*, **79(1-2)**, 151-158.
- Saunders A. D., Tarney J., Weaver S. D. 1980. Transverse geochemical variations across the Antarctic Peninsula: implications for the genesis of calc-alkaline magmas. *Earth Planet Science Letture*, **46**, 344-360.
- Sawyer E. W. 2008. Working with migmatites: Nomenclature for the constituent parts, *Short Course Ser. Mineral. Assoc. Canada*, Quebec City, Quebec, Canada. **38**, 1–28.
- Saxena S. K. & Erikson G. 1983. Theoretical computation of mineral assemblages in pyrolite and lherzolite. *Journal of Petrology*, **24**, 538-555.
- Schmitt R. S., Trouw R. A. J., Van Schmus W. R. 1999. The characterisation of a Cambrian (~520 Ma) tectonometamorphic event in the Coastal domain using U/Pb in syntectonics veins. In: SEGEMAR, South America Symposium on Isotope Geology, 2, 1999, Cordoba, Argentina. *Atas...*, 363-366.
- Schmitt R. S., Trouw R. A. J., Van Schmus W. R., Pimentel M. M. 2004. Late amalgamation in the central part of Western Gondwana: new geochronological data and the characterization of a Cambrian collision orogeny in the Ribeira belt (SE Brazil). *Precambrian Research*, **133**, 29-61.
- Schmitt R. D., Trouw R. A. J., Medeiros S. R. & Dantas E. L. 2008. Age and geotectonic setting of Late Neoproterozoic juvenile mafic gneisses and associated paragneisses from the Ribeira belt (SE Brazil) based on geochemistry and Sm–Nd data—Implications on Gondwana assembly. *Gondwana Research*, **13**, 502–515.
- Seer H. J. 1999. *Evolução tectônica dos grupos Araxá, Ibiá e Canastra na sinforma de Araxá, Minas Gerais*. Tese de Doutorado. Brasília, IG-UnB, 267p.
- Shannon R. D. 1976. Revised effective ionic radii and systematic studies of interatomic distances in halides and chalcogenides. *Acta Crystallographica*, **A32**, 751-767.
- Silva B. Y. B. 2013. *Termobarometria das rochas da Nappe Socorro-Guaxupé, na região de Varginha, MG*. Monografia de Trabalho de Formatura. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, 36p.
- Spear F. S. 1993. Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time Paths. Mineralogical Society of America Monograph. Chelsea, Michigan. p 799.
- Spear F. S. & Florence F. P. 1992. Thermobarometry in Granulites: pitfalls and new approaches. *Precambrian Research*, **55**, 209-241.
- Thomas J. B., Spear F. S., Nayak S. K. 2010. Titanite under pressure: the effect of pressure and temperature on the solubility of Ti in quartz. *Contribution to Mineral Petrology*, **160**, 743-759.

- Thompson A. B., Schulmann K., Jezek J. 1997. Thermal Evolution and exhumation in obliquely convergent (transpressive) orogens. *Tectonophysics*, **280**, 171-184.
- Tomkins H. S., Powell R., Ellis D. J. 2007. The pressure dependence of the zirconium-in-rutile thermometer. Accepted by *Journal of Metamorphic Geology*, **25(6)**, 703-713.
- Triebold S., von Eynatten H., Luvizotto G. L., Zack T. 2007. Deducing source rock lithology from detrital rutile geochemistry: an example from the Erzgebirge, Germany. *Chemical Geology*, **244(3-4)**, 421-436.
- Trouw R. A. J., Ribeiro A., Paciullo F. V. P. 1986. Contribuição à geologia da Folha Barbacena 1:250.000. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 34, Goiânia, 1986. *Anais...*, SBG/Núcleo Centro-Oeste, **2**, 974-984.
- Trouw R. A. J. & Castro E. M. 1996. O significado tectônico dos granulitos brasileiros de alta pressão no Sul de Minas Gerais. XXIX Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador, **6**, 14-151.
- Trouw R. A. J., Moraes R., Reno B. L., Brown M. 2006. The high-pressure granulites of the Andrelândia nappe complex, Minas Gerais, Brazil. Guia de Excursão Pré-conferência – Granulites & Granulites 2006. 45pp.
- Trouw R. A. J., Ribeiro A., Paciullo F., Heilbron M. 2000. Interference between the Neoproterozoic Brasília and Ribeira Belts, with special emphasis on high pressure granulites. 31st International Geological Congress. Field Trip Guide. Rio de Janeiro, Brazil. p. 45.
- USGS. 1996. Microbeam standard Columbia River basalt (Glass) BCR-2G. United States Geological Survey, Special Bulletin (Reference Materials Project), Preliminary report, 10p
- Valeriano C. M., Simões L. S. A., Teixeira W., Heilbron M. 2000. Southern Brasília Belt (SE Brazil): tectonic discontinuities, K-Ar data and evolution during the Neoproterozoic Brasileiro Orogeny. *Revista Brasileira de Geociências*, **30**, 195-199.
- Valeriano C. M., Dardenne M. A., Fonseca M. A., Simões L. S. A., Seer H. J. 2004. A evolução tectônica da Faixa Brasília. In: Mantesso-Neto V., Bartorelli A., Carneiro C. D. R., Brito-Neves B. B. de (Eds.) *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques De Almeida*, São Paulo, 575-592. Ed. Beca
- Wark D. A. & Watson E. B. 2006. TitanQ: a titanium-in-quartz geothermometer. *Contributions in Mineralogy and Petrology*, **152**, 743-754.
- Watson E. B., Wark, D. A., Thomas J. B. 2006. Crystallization thermometers for zircon and rutile. *Contributions in Mineralogy and Petrology*, **151**, 413-433.
- White R. W. & Powell R. 2002. Melt loss and the preservation of granulite facies mineral assemblages. *Journal of Metamorphic Geology*, **20**, 621-632.
- White R. W. & Powell R. 2010. Retrograde melt–residue interaction and the formation of near-anhydrous leucosomes in migmatites, *Journal of Metamorphic Geology*, **28**, 579–597.
- White R. W., Powell R., Holland T. J. B. 2007. Progress relating to calculation of partial melting equilibria for metapelites. *Journal of Metamorphic Geology*, **25**, 511-527.

- Wood B. J. & Banno S. 1973. Garnet-orthopyroxene and orthopyroxene-clinopyroxene relationships in simple and complex systems. *Contribution to Mineralogy and Petrology* **42**:109-124.
- Zack T., Moraes R., Kronz A. 2004a. Temperature dependence of Zr in rutile: empirical calibration of a rutile thermometer. *Contributions in Mineralogy and Petrology*, **148**, 471-488.
- Zack T., von Eynatten H., Kronz A. 2004b. Rutile geochemistry and its potential use in quantitative provenance studies. *Sediment Geology*, **171(1-4)**, 37-58.
- Zack T., Luvizotto G. L., Moraes R., Möller A., Kronz A. 2006. Rutile and Zircon Thermometry of Granulites: Premetamorphic Relicts, Prograde Growth, Disequilibrium and Diffusional Resetting. In Brown & Piccoli (Eds.) *Granulites & Granulites 2006*, Abstracts and Program. Universidade de Brasília, Brasília, Brasil. 98.

8. APÊNDICES

Apêndice 1 – Mapa e perfil geológico e mapa de pontos

Apêndice 2 – Tabelas de análises químicas e fórmulas estruturais de granada, clinopiroxênio, ortopiroxênio e plagioclásio, e Geotermometria Zr-rutilo e Ti-quartzo.

APÊNDICE 1

MAPA E PERFIL GEOLÓGICO E MAPA DE PONTOS

APÊNDICE 2

QUÍMICA MINERAL E GEOTERMOMETRIA ZR-RUTILO E TI-QUARTZO

APÊNDICE 2

Tabela 1 – Análises químicas de granada da *Nappe* Três Pontas-Varginha

TPR-01-C												
Grão-Análise	grt1-1	grt1-2	grt1-3	grt1-4	grt1-5	grt1-6	grt1-7	grt1-8	grt1-9	grt1-10	grt1-11	grt1-12
SiO ₂	39,42	39,13	39,37	39,45	38,75	39,17	39,07	39,04	38,69	39,21	39,01	39,61
TiO ₂	0,03	0,11	0,05	0,05	0,07	0,08	0,11	0,10	0,08	0,12	0,12	0,06
Al ₂ O ₃	22,60	22,12	22,32	22,24	22,36	22,16	21,75	22,04	22,17	22,19	22,05	22,32
Cr ₂ O ₃	0,04	0,02	0,03	0,01	0,03	0,01	0,04	0,00	0,08	0,05	0,02	0,00
Fe ₂ O ₃	0,00	0,22	0,07	0,11	1,26	0,57	0,81	0,53	0,81	0,27	0,67	0,00
FeO	24,06	23,27	22,97	22,93	21,98	22,43	22,31	22,26	21,99	22,83	22,58	23,46
MnO	0,50	0,48	0,53	0,61	0,65	0,69	0,77	0,77	0,70	0,59	0,54	0,50
MgO	6,22	6,65	6,55	6,49	6,08	5,79	5,54	5,63	5,77	6,37	6,68	6,60
CaO	8,83	8,80	9,32	9,44	10,09	10,51	10,81	10,69	10,42	9,54	9,15	8,91
Na ₂ O	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 ₂ O	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	101,70	100,80	101,20	101,33	101,26	101,40	101,20	101,06	100,72	101,17	100,83	101,46
Oxigênios	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	2,991	2,990	2,994	2,998	2,954	2,984	2,989	2,985	2,967	2,987	2,980	3,004
Ti	0,002	0,006	0,003	0,003	0,004	0,004	0,006	0,006	0,005	0,007	0,007	0,003
Al	2,021	1,993	2,001	1,992	2,010	1,990	1,962	1,987	2,004	1,993	1,986	1,996
Cr	0,002	0,001	0,002	0,000	0,002	0,000	0,002	0,000	0,005	0,003	0,001	0,000
Fe ³⁺	0,000	0,013	0,004	0,006	0,072	0,033	0,046	0,030	0,047	0,016	0,039	0,000
Fe ²⁺	1,527	1,488	1,461	1,458	1,401	1,429	1,428	1,424	1,410	1,454	1,443	1,488
Mn	0,032	0,031	0,034	0,039	0,042	0,044	0,050	0,050	0,046	0,038	0,035	0,032
Mg	0,703	0,757	0,742	0,735	0,691	0,657	0,632	0,642	0,659	0,723	0,761	0,746
Ca	0,718	0,721	0,759	0,769	0,824	0,858	0,886	0,876	0,856	0,779	0,749	0,724
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	7,996	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	7,994
Membros-finais												
Almandina	51,24%	49,65%	48,77%	48,58%	47,36%	47,82%	47,66%	47,59%	47,46%	48,56%	48,29%	49,77%
Piropo	23,59%	25,26%	24,77%	24,49%	23,36%	21,99%	21,09%	21,46%	22,18%	24,15%	25,47%	24,95%
Grossulária	24,00%	23,36%	25,03%	25,32%	24,31%	27,08%	27,18%	27,79%	26,28%	25,07%	23,09%	24,21%
Espessartita	1,07%	1,03%	1,13%	1,30%	1,42%	1,47%	1,67%	1,67%	1,55%	1,27%	1,17%	1,07%
Andradita	0,00%	0,65%	0,20%	0,30%	3,45%	1,63%	2,29%	1,49%	2,29%	0,80%	1,92%	0,00%
Uvarovita	0,10%	0,05%	0,10%	0,00%	0,10%	0,00%	0,10%	0,00%	0,24%	0,15%	0,05%	0,00%

Tabela 2– Análises químicas de granada da *Nappe* Três Pontas-Varginha

Grão-Análise	TPR-01-C														
	grt2-1	grt2-2	grt2-3	grt2-4	grt2-5	grt2-6	grt2-7	grt2-8	grt2-9	grt2-10	grt2-11	grt2-12	grt2-13	grt2-14	grt2-15
SiO ₂	39,16	39,20	38,88	39,19	38,97	38,98	39,26	39,17	39,30	39,02	39,09	39,15	39,03	39,29	38,81
TiO ₂	0,06	0,05	0,07	0,09	0,07	0,08	0,09	0,12	0,16	0,08	0,17	0,07	0,11	0,11	0,08
Al ₂ O ₃	22,35	22,15	22,01	22,06	22,34	21,95	22,07	21,79	21,62	22,16	21,78	22,17	22,13	22,14	22,08
Cr ₂ O ₃	0,01	0,07	0,00	0,01	0,04	0,05	0,03	0,01	0,03	0,03	0,01	0,00	0,05	0,00	0,00
Fe ₂ O ₃	0,11	0,19	0,93	0,82	0,93	1,00	0,13	0,52	0,49	0,48	1,14	0,63	1,15	0,34	1,10
FeO	23,73	23,42	22,56	22,22	22,22	22,05	22,57	22,55	22,73	22,72	22,59	23,00	22,94	23,77	23,34
MnO	0,51	0,49	0,49	0,53	0,58	0,60	0,58	0,57	0,57	0,49	0,52	0,48	0,44	0,42	0,49
MgO	6,27	6,95	6,72	6,58	6,29	6,12	6,15	6,17	6,34	6,44	6,81	6,95	7,15	7,08	6,59
CaO	8,94	8,29	8,99	9,72	9,87	10,24	10,07	10,01	9,78	9,40	9,09	8,59	8,30	8,01	8,51
Na ₂ O	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 ₂ O	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	101,14	100,81	100,66	101,23	101,30	101,08	100,96	100,90	101,00	100,82	101,22	101,05	101,26	101,21	101,00
Oxigênios	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	2,988	2,993	2,976	2,982	2,966	2,977	2,997	2,996	3,003	2,982	2,978	2,982	2,969	2,990	2,968
Ti	0,003	0,003	0,004	0,005	0,004	0,005	0,005	0,007	0,009	0,005	0,010	0,004	0,006	0,006	0,005
Al	2,010	1,994	1,986	1,979	2,005	1,976	1,986	1,965	1,947	1,997	1,956	1,991	1,984	1,986	1,991
Cr	0,001	0,004	0,000	0,001	0,002	0,003	0,002	0,000	0,000	0,002	0,002	0,001	0,000	0,003	0,000
Fe ³⁺	0,006	0,011	0,054	0,047	0,053	0,058	0,008	0,030	0,028	0,028	0,065	0,036	0,066	0,019	0,063
Fe ²⁺	1,514	1,495	1,444	1,414	1,414	1,408	1,441	1,442	1,452	1,452	1,439	1,465	1,459	1,512	1,493
Mn	0,033	0,032	0,032	0,034	0,037	0,039	0,038	0,037	0,037	0,032	0,034	0,031	0,028	0,027	0,031
Mg	0,713	0,791	0,767	0,746	0,713	0,697	0,700	0,703	0,722	0,734	0,773	0,789	0,810	0,803	0,751
Ca	0,731	0,678	0,737	0,792	0,805	0,838	0,824	0,820	0,801	0,770	0,742	0,701	0,676	0,653	0,697
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	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
Membros-finais															
Almandina	50,62%	49,90%	48,46%	47,35%	47,63%	47,22%	47,99%	48,03%	48,21%	48,59%	48,16%	49,06%	49,08%	50,48%	50,24%
Piropo	23,84%	26,40%	25,74%	24,98%	24,01%	23,37%	23,31%	23,42%	23,97%	24,56%	25,87%	26,42%	27,25%	26,81%	25,27%
Grossulária	24,09%	21,88%	22,08%	24,16%	24,44%	25,11%	26,94%	25,81%	25,18%	24,29%	21,52%	21,65%	19,52%	20,71%	20,39%
Espessartita	1,10%	1,07%	1,07%	1,14%	1,25%	1,31%	1,27%	1,23%	1,23%	1,07%	1,14%	1,04%	0,94%	0,90%	1,04%
Andradita	0,30%	0,55%	2,65%	2,32%	2,57%	2,85%	0,40%	1,50%	1,42%	1,38%	3,21%	1,78%	3,22%	0,95%	3,07%
Uvarovita	0,05%	0,20%	0,00%	0,05%	0,10%	0,15%	0,10%	0,00%	0,00%	0,10%	0,10%	0,05%	0,00%	0,15%	0,00%

Tabela 3– Análises químicas de granada da *Nappe* Três Pontas-Varginha

TPR-01-C																		
Grão-Análise	grt3-1	grt3-2	grt3-3	grt3-4	grt3-5	grt3-6	grt3-7	grt3-8	grt3-9	grt3-10	grt3-11	grt3-12	grt3-13	grt3-14	grt3-15	grt3-16	grt3-17	grt3-18
SiO ₂	39,17	39,03	38,93	39,24	38,92	39,34	38,96	39,21	38,92	39,04	38,77	39,19	39,27	38,92	39,38	39,29	38,82	39,08
TiO ₂	0,12	0,15	0,19	0,13	0,08	0,06	0,16	0,11	0,10	0,07	0,09	0,08	0,09	0,19	0,16	0,12	0,08	0,05
Al ₂ O ₃	21,83	21,95	21,88	21,66	21,87	22,14	22,16	22,25	21,90	22,06	22,05	21,83	22,04	21,83	21,74	21,78	22,12	22,11
Cr ₂ O ₃	0,04	0,01	0,01	0,00	0,02	0,03	0,02	0,01	0,03	0,04	0,02	0,01	0,06	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02
Fe ₂ O ₃	0,11	0,64	1,07	0,89	0,88	0,30	0,46	0,38	0,38	0,58	1,36	0,64	0,66	0,60	0,22	0,66	1,22	0,39
FeO	23,98	22,85	22,68	22,80	22,36	22,91	22,44	22,81	22,65	22,21	21,80	22,61	22,83	22,91	23,21	22,91	22,80	23,54
MnO	0,49	0,51	0,52	0,61	0,70	0,83	0,95	1,02	1,03	0,97	0,82	0,65	0,54	0,47	0,47	0,44	0,46	0,47
MgO	6,33	6,72	6,57	6,33	5,96	5,61	5,29	5,22	4,97	5,16	5,68	6,10	6,54	6,59	6,77	6,77	7,03	6,60
CaO	8,73	8,94	9,21	9,63	10,09	10,42	10,85	10,80	10,99	11,20	10,68	9,98	9,37	9,03	8,96	9,11	8,35	8,58
Na ₂ O	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
K ₂ O	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
Total	100,80	100,80	101,06	101,30	100,88	101,63	101,29	101,82	100,97	101,33	101,27	101,10	101,40	100,56	100,93	101,11	100,92	100,84
Oxigênios	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	12,00	12,00	12,00
Si	3,002	2,984	2,973	2,993	2,982	2,994	2,978	2,984	2,990	2,984	2,962	2,994	2,986	2,985	3,006	2,995	2,964	2,989
Ti	0,007	0,008	0,011	0,008	0,005	0,003	0,009	0,006	0,006	0,004	0,005	0,005	0,005	0,011	0,009	0,007	0,005	0,003
Al	1,973	1,978	1,970	1,948	1,975	1,986	1,997	1,996	1,984	1,988	1,986	1,966	1,976	1,974	1,956	1,957	1,991	1,993
Cr	0,002	0,001	0,000	0,000	0,001	0,002	0,001	0,000	0,002	0,002	0,001	0,001	0,003	0,001	0,002	0,001	0,002	0,001
Fe ³⁺	0,007	0,037	0,062	0,051	0,051	0,017	0,027	0,022	0,022	0,033	0,078	0,037	0,038	0,035	0,013	0,038	0,070	0,022
Fe ²⁺	1,537	1,461	1,449	1,454	1,432	1,458	1,435	1,452	1,455	1,420	1,393	1,445	1,452	1,469	1,482	1,461	1,456	1,506
Mn	0,032	0,033	0,034	0,040	0,045	0,053	0,061	0,066	0,067	0,063	0,053	0,042	0,035	0,031	0,030	0,028	0,030	0,030
Mg	0,723	0,766	0,748	0,720	0,680	0,636	0,603	0,592	0,569	0,588	0,647	0,694	0,741	0,753	0,770	0,769	0,800	0,752
Ca	0,717	0,732	0,754	0,787	0,828	0,850	0,889	0,881	0,905	0,917	0,874	0,817	0,763	0,742	0,733	0,744	0,683	0,703
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	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	8,000	8,000	8,000
Membros-finais																		
Almandina	51,08%	48,83%	48,54%	48,45%	47,97%	48,65%	48,03%	48,55%	48,56%	47,52%	46,95%	48,20%	48,55%	49,05%	49,15%	48,67%	49,04%	50,35%
Piropo	24,03%	25,60%	25,06%	23,99%	22,78%	21,22%	20,18%	19,79%	18,99%	19,68%	21,81%	23,15%	24,77%	25,14%	25,54%	25,62%	26,95%	25,14%
Grossulária	23,37%	22,58%	22,21%	23,67%	25,17%	27,41%	28,37%	28,36%	29,01%	28,96%	25,63%	25,36%	23,48%	22,98%	23,55%	22,83%	19,51%	22,36%
Espessartita	1,06%	1,10%	1,14%	1,33%	1,51%	1,77%	2,04%	2,21%	2,24%	2,11%	1,79%	1,40%	1,17%	1,04%	1,00%	0,93%	1,01%	1,00%
Andradita	0,35%	1,84%	3,05%	2,55%	2,52%	0,85%	1,33%	1,09%	1,10%	1,63%	3,78%	1,85%	1,88%	1,74%	0,66%	1,90%	3,39%	1,09%
Uvarovita	0,10%	0,05%	0,00%	0,00%	0,05%	0,10%	0,05%	0,00%	0,10%	0,10%	0,05%	0,05%	0,15%	0,05%	0,10%	0,05%	0,10%	0,05%

Tabela 4– Análises químicas de granada da *Nappe* Três Pontas-Varginha

Grão-Análise	TPR-01-C																	
	grt4-1	grt4-2	grt4-3	grt4-4	grt4-5	grt4-6	grt4-7	grt4-8	grt4-9	grt4-10	grt4-11	grt4-12	grt4-13	grt4-14	grt4-15	grt4-16	grt4-17	grt4-18
SiO ₂	38,86	39,44	39,12	39,29	39,06	39,33	39,32	39,04	38,87	38,97	39,11	38,84	39,10	39,42	39,00	39,20	39,09	38,42
TiO ₂	0,07	0,11	0,14	0,05	0,15	0,09	0,12	0,12	0,04	0,11	0,04	0,10	0,08	0,10	0,10	0,13	0,11	0,09
Al ₂ O ₃	22,23	22,22	22,14	22,18	22,05	21,95	22,12	21,88	21,94	22,00	22,10	21,92	22,05	21,93	22,02	22,04	22,07	21,97
Cr ₂ O ₃	0,02	0,02	0,04	0,03	0,01	0,04	0,04	0,00	0,00	0,02	0,03	0,01	0,05	0,06	0,04	0,06	0,05	0,03
Fe ₂ O ₃	0,00	0,31	0,23	0,40	0,52	0,21	0,00	0,90	0,74	0,51	0,66	0,98	0,66	0,38	0,88	0,70	0,20	1,43
FeO	24,10	23,70	23,29	23,18	22,91	23,40	23,11	22,58	22,57	22,51	22,47	22,31	22,31	22,76	22,49	22,74	23,68	23,34
MnO	0,50	0,46	0,43	0,46	0,50	0,53	0,57	0,60	0,64	0,68	0,66	0,62	0,60	0,57	0,55	0,53	0,50	0,50
MgO	5,89	6,93	6,99	6,81	6,67	6,56	6,44	6,38	6,21	6,09	6,17	6,13	6,20	6,34	6,53	6,82	6,84	6,41
CaO	8,88	8,38	8,37	8,77	9,01	8,96	9,12	9,55	9,54	9,87	9,89	9,89	10,03	9,83	9,39	9,02	8,17	8,39
Na ₂ O	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
K ₂ O	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
Total	100,55	101,57	100,73	101,17	100,88	101,06	100,83	101,04	100,56	100,76	101,13	100,79	101,08	101,38	101,01	101,24	100,71	100,57
Oxigênios	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	12,00	12,00	12,00
Si	2,989	2,991	2,988	2,990	2,983	3,001	3,002	2,982	2,984	2,985	2,984	2,976	2,983	2,998	2,977	2,982	2,991	2,956
Ti	0,004	0,006	0,008	0,003	0,009	0,005	0,007	0,007	0,002	0,006	0,002	0,006	0,004	0,006	0,005	0,007	0,006	0,005
Al	2,016	1,987	1,994	1,990	1,985	1,974	1,991	1,970	1,985	1,987	1,988	1,980	1,984	1,967	1,982	1,977	1,991	1,993
Cr	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,000	0,000	0,001	0,002	0,001	0,003	0,004	0,003	0,004	0,003	0,002
Fe ³⁺	0,000	0,018	0,013	0,023	0,030	0,012	0,000	0,052	0,043	0,029	0,038	0,056	0,038	0,022	0,051	0,040	0,012	0,083
Fe ²⁺	1,550	1,503	1,487	1,475	1,463	1,493	1,476	1,442	1,449	1,442	1,433	1,430	1,424	1,448	1,436	1,447	1,515	1,502
Mn	0,032	0,030	0,028	0,030	0,032	0,034	0,037	0,038	0,042	0,044	0,043	0,040	0,039	0,036	0,036	0,034	0,032	0,033
Mg	0,675	0,783	0,796	0,772	0,759	0,746	0,733	0,726	0,710	0,695	0,702	0,700	0,705	0,719	0,743	0,773	0,780	0,735
Ca	0,732	0,681	0,685	0,715	0,737	0,732	0,746	0,782	0,785	0,810	0,808	0,812	0,820	0,801	0,768	0,735	0,670	0,692
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	7,999	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	7,994	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Membros-finais																		
Almandina	51,86%	50,15%	49,63%	49,30%	48,91%	49,68%	49,33%	48,26%	48,53%	48,21%	47,99%	47,95%	47,66%	48,20%	48,14%	48,41%	50,55%	50,71%
Piropo	22,58%	26,13%	26,57%	25,80%	25,38%	24,83%	24,50%	24,30%	23,78%	23,24%	23,51%	23,47%	23,59%	23,93%	24,91%	25,86%	26,03%	24,81%
Grossulária	24,44%	21,78%	22,12%	22,66%	23,10%	23,66%	24,83%	23,60%	24,17%	25,59%	25,09%	24,43%	25,42%	25,36%	23,09%	22,41%	21,61%	19,27%
Espearsita	1,07%	1,00%	0,93%	1,00%	1,07%	1,13%	1,24%	1,27%	1,41%	1,47%	1,44%	1,34%	1,31%	1,20%	1,21%	1,14%	1,07%	1,11%
Andradita	0,00%	0,90%	0,65%	1,14%	1,49%	0,60%	0,00%	2,57%	2,12%	1,44%	1,87%	2,75%	1,88%	1,10%	2,50%	1,98%	0,60%	3,99%
Uvarovita	0,05%	0,05%	0,10%	0,10%	0,05%	0,10%	0,10%	0,00%	0,00%	0,05%	0,10%	0,05%	0,15%	0,20%	0,15%	0,20%	0,15%	0,10%

Tabela 5– Análises químicas de granada da *Nappe* Três Pontas-Varginha

TPR-01-C																		
Grão-Análise	grt5-1	grt5-2	grt5-3	grt5-4	grt5-5	grt5-6	grt5-7	grt5-8	grt5-9	grt5-10	grt5-11	grt5-12	grt5-13	grt5-14	grt5-15	grt5-16	grt5-17	grt5-18
SiO ₂	38,84	38,85	39,06	39,31	38,98	38,81	38,85	38,91	38,91	38,80	38,75	38,96	38,97	39,02	38,84	39,24	39,43	39,07
TiO ₂	0,05	0,08	0,08	0,07	0,11	0,13	0,12	0,08	0,12	0,12	0,11	0,07	0,05	0,13	0,07	0,12	0,07	0,09
Al ₂ O ₃	22,01	22,17	22,00	22,06	22,15	21,87	21,54	21,81	21,68	21,61	21,88	22,16	22,06	21,92	22,11	21,99	22,22	22,02
Cr ₂ O ₃	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,05	0,03	0,03	0,03	0,06
Fe ₂ O ₃	0,12	0,65	0,27	0,12	0,27	0,68	0,14	0,13	0,39	0,86	0,68	0,00	0,36	0,49	1,47	0,07	0,18	0,16
FeO	24,14	23,29	23,03	22,63	22,42	22,01	22,39	22,58	22,55	22,12	22,22	22,78	22,90	22,77	22,39	23,53	23,54	23,66
MnO	0,47	0,50	0,52	0,68	0,87	1,02	1,21	1,20	1,23	1,18	1,00	0,85	0,72	0,65	0,53	0,46	0,45	0,46
MgO	5,95	6,80	6,49	5,97	5,35	4,80	4,41	4,39	4,41	4,36	4,79	5,40	5,90	6,28	6,83	7,00	7,07	6,12
CaO	8,79	8,28	9,09	10,23	10,83	11,65	11,77	11,69	11,69	12,03	11,44	10,44	9,75	9,49	8,90	8,24	8,29	9,19
Na ₂ O	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
K ₂ O	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
Total	100,43	100,65	100,56	101,07	100,98	100,98	100,45	100,80	101,01	101,09	100,88	100,66	100,72	100,81	101,17	100,69	101,27	100,83
Oxigênios	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	12,00	12,00	12,00
Si	2,992	2,975	2,993	3,000	2,986	2,982	3,006	3,000	2,997	2,987	2,982	2,993	2,989	2,987	2,960	2,999	2,995	2,994
Ti	0,003	0,005	0,004	0,004	0,007	0,008	0,007	0,005	0,007	0,007	0,006	0,004	0,003	0,008	0,004	0,007	0,004	0,005
Al	1,999	2,002	1,988	1,985	2,000	1,981	1,965	1,982	1,968	1,961	1,985	2,007	1,995	1,978	1,986	1,981	1,990	1,989
Cr	0,003	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,003	0,002	0,002	0,002	0,004
Fe ³⁺	0,007	0,038	0,016	0,007	0,015	0,039	0,008	0,008	0,023	0,050	0,039	0,000	0,021	0,028	0,084	0,004	0,010	0,009
Fe ²⁺	1,555	1,492	1,476	1,445	1,436	1,414	1,449	1,456	1,453	1,424	1,430	1,463	1,469	1,458	1,427	1,504	1,495	1,516
Mn	0,031	0,033	0,034	0,044	0,057	0,067	0,080	0,079	0,080	0,077	0,065	0,055	0,047	0,042	0,034	0,030	0,029	0,030
Mg	0,683	0,776	0,741	0,679	0,611	0,550	0,509	0,504	0,506	0,500	0,549	0,618	0,674	0,717	0,776	0,797	0,800	0,699
Ca	0,726	0,679	0,746	0,837	0,889	0,959	0,976	0,966	0,965	0,992	0,943	0,859	0,801	0,778	0,727	0,675	0,675	0,754
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	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	8,000	8,000	8,000
Membros-finais																		
Almandina	51,92%	50,07%	49,25%	48,09%	47,98%	47,29%	48,08%	48,45%	48,37%	47,58%	47,87%	48,85%	49,11%	48,68%	48,14%	50,03%	49,85%	50,55%
Piropo	22,80%	26,04%	24,72%	22,60%	20,41%	18,39%	16,89%	16,77%	16,84%	16,71%	18,38%	20,63%	22,53%	23,94%	26,18%	26,51%	26,68%	23,31%
Grossulária	23,74%	20,87%	24,04%	27,50%	28,96%	30,09%	31,93%	31,74%	30,92%	30,61%	29,64%	28,63%	25,74%	24,43%	20,38%	22,15%	21,91%	24,49%
Espessartita	1,04%	1,11%	1,13%	1,46%	1,90%	2,24%	2,65%	2,63%	2,66%	2,57%	2,18%	1,84%	1,57%	1,40%	1,15%	1,00%	0,97%	1,00%
Andradita	0,35%	1,86%	0,80%	0,35%	0,74%	1,93%	0,41%	0,40%	1,15%	2,49%	1,93%	0,00%	1,04%	1,39%	4,05%	0,20%	0,50%	0,45%
Uvarovita	0,15%	0,05%	0,05%	0,00%	0,00%	0,05%	0,05%	0,00%	0,05%	0,05%	0,00%	0,05%	0,00%	0,15%	0,10%	0,10%	0,10%	0,20%

Tabela 6– Análises químicas de granada da *Nappe* Três Pontas-Varginha

Grão-Análise	TPR-01-C														
	grt6-1	grt6-2	grt6-3	grt6-4	grt6-5	grt6-6	grt6-7	grt6-8	grt6-9	grt6-10	grt6-11	grt6-12	grt6-13	grt6-14	grt6-15
SiO ₂	39,15	39,04	39,44	39,27	39,03	38,81	39,35	39,29	39,22	39,34	39,04	38,94	38,70	39,16	38,44
TiO ₂	0,06	0,12	0,07	0,09	0,08	0,13	0,13	0,08	0,09	0,08	0,04	0,12	0,11	0,13	0,11
Al ₂ O ₃	22,30	22,12	22,18	22,18	22,23	21,71	22,00	21,93	22,12	22,30	22,41	22,39	21,88	21,89	22,02
Cr ₂ O ₃	0,03	0,06	0,03	0,03	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01	0,03	0,03	0,03	0,02
Fe ₂ O ₃	0,00	0,61	0,00	0,32	0,59	0,77	0,00	0,73	0,26	0,06	0,73	0,89	1,17	0,94	1,01
FeO	23,61	23,08	23,54	22,75	22,26	21,50	21,90	21,43	21,89	22,24	22,07	22,32	22,43	23,11	23,60
MnO	0,48	0,47	0,49	0,51	0,58	0,64	0,67	0,64	0,64	0,56	0,52	0,44	0,46	0,47	0,53
MgO	6,07	6,81	6,79	6,65	6,33	5,94	5,76	5,76	5,90	6,11	6,60	6,76	6,76	6,80	6,03
CaO	8,97	8,66	8,65	9,30	9,85	10,77	11,04	11,49	10,87	10,47	9,64	9,25	8,92	8,77	8,73
Na ₂ O	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 ₂ O	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	100,67	100,97	101,19	101,10	100,95	100,28	100,86	101,35	100,98	101,19	101,06	101,12	100,46	101,31	100,49
Oxigênios	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	2,999	2,979	3,000	2,990	2,978	2,985	3,005	2,990	2,993	2,993	2,971	2,963	2,969	2,982	2,963
Ti	0,003	0,007	0,004	0,005	0,005	0,008	0,008	0,005	0,005	0,005	0,002	0,007	0,006	0,008	0,006
Al	2,014	1,990	1,989	1,991	2,000	1,969	1,981	1,968	1,990	2,000	2,011	2,009	1,979	1,965	2,001
Cr	0,002	0,004	0,002	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,002	0,002	0,001
Fe ³⁺	0,000	0,035	0,000	0,018	0,034	0,045	0,000	0,042	0,015	0,004	0,042	0,051	0,067	0,054	0,059
Fe ²⁺	1,512	1,473	1,498	1,449	1,420	1,383	1,399	1,364	1,397	1,415	1,405	1,420	1,439	1,472	1,521
Mn	0,031	0,030	0,031	0,033	0,037	0,042	0,043	0,041	0,041	0,036	0,034	0,029	0,030	0,031	0,034
Mg	0,693	0,774	0,770	0,755	0,720	0,681	0,656	0,653	0,671	0,693	0,749	0,767	0,773	0,772	0,693
Ca	0,736	0,708	0,705	0,759	0,805	0,888	0,904	0,937	0,889	0,853	0,786	0,754	0,733	0,716	0,721
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	7,990	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	7,996	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Membros-finais															
Almandina	50,87%	49,35%	49,87%	48,36%	47,62%	46,19%	46,60%	45,54%	46,60%	47,21%	47,24%	47,81%	48,37%	49,21%	51,23%
Piropo	23,32%	25,93%	25,63%	25,20%	24,14%	22,75%	21,85%	21,80%	22,38%	23,12%	25,18%	25,82%	25,98%	25,81%	23,34%
Grossulária	24,67%	21,80%	23,37%	24,34%	25,32%	27,42%	30,06%	29,20%	28,90%	28,21%	24,38%	22,86%	21,27%	21,17%	21,37%
Espessartita	1,04%	1,01%	1,03%	1,10%	1,24%	1,40%	1,43%	1,37%	1,37%	1,20%	1,14%	0,98%	1,01%	1,04%	1,15%
Andradita	0,00%	1,72%	0,00%	0,90%	1,67%	2,23%	0,00%	2,09%	0,75%	0,20%	2,05%	2,47%	3,27%	2,67%	2,86%
Uvarovita	0,10%	0,20%	0,10%	0,10%	0,00%	0,00%	0,05%	0,00%	0,00%	0,05%	0,00%	0,05%	0,10%	0,10%	0,05%

Tabela 7– Análises químicas de granada da *Nappe* Três Pontas-Varginha

TPR-01-B															
Grão-Análise	grt1-1	grt1-2	grt1-3	grt1-4	grt1-5	grt1-6	grt1-7	grt1-8	grt1-9	grt1-10	grt1-11	grt1-12	grt1-13	grt1-14	grt1-15
SiO ₂	39,40	38,73	38,75	38,80	39,11	38,68	38,96	38,84	38,81	38,97	38,84	38,96	39,13	38,65	38,33
TiO ₂	0,14	0,09	0,11	0,07	0,11	0,07	0,06	0,07	0,11	0,05	0,10	0,08	0,10	0,06	0,10
Al ₂ O ₃	22,23	21,77	21,80	21,74	21,76	21,80	22,00	21,73	21,70	21,95	21,76	21,92	22,08	22,04	21,88
Cr ₂ O ₃	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,07	0,05	0,05	0,00	0,02	0,04	0,02	0,04
Fe ₂ O ₃	0,00	0,02	0,16	0,25	0,00	0,24	0,15	0,05	0,29	0,00	0,45	0,30	0,00	0,69	0,00
FeO	23,52	23,28	23,27	23,00	23,04	22,55	22,74	22,86	22,70	22,97	22,97	23,22	23,35	23,14	23,89
MnO	0,45	0,50	0,48	0,50	0,50	0,47	0,48	0,51	0,48	0,47	0,47	0,46	0,47	0,46	0,45
MgO	6,48	6,72	6,63	6,64	6,66	6,66	6,69	6,69	6,91	6,85	6,88	6,82	6,84	6,83	5,94
CaO	8,24	8,29	8,48	8,68	8,71	8,91	8,97	8,75	8,59	8,54	8,45	8,45	8,47	8,19	8,56
Na ₂ O	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 ₂ O	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	99,42	99,70	99,70	99,92	99,42	100,08	99,57	99,64	99,86	99,92	100,23	100,48	100,08	99,20
Oxigênios	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	3,014	3,000	2,995	2,998	3,011	2,993	2,994	3,002	2,996	3,000	2,993	2,993	2,997	2,976	2,988
Ti	0,008	0,005	0,006	0,004	0,006	0,004	0,003	0,004	0,007	0,003	0,006	0,005	0,006	0,004	0,006
Al	2,004	1,988	1,986	1,980	1,975	1,989	1,993	1,980	1,975	1,992	1,977	1,985	1,993	2,000	2,011
Cr	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002	0,004	0,003	0,003	0,000	0,001	0,003	0,001	0,003
Fe ³⁺	0,000	0,001	0,009	0,015	0,000	0,014	0,008	0,003	0,017	0,000	0,026	0,018	0,000	0,040	0,000
Fe ²⁺	1,504	1,508	1,504	1,486	1,484	1,460	1,462	1,478	1,466	1,479	1,480	1,492	1,495	1,490	1,557
Mn	0,029	0,033	0,031	0,033	0,033	0,031	0,031	0,033	0,031	0,031	0,031	0,030	0,031	0,030	0,030
Mg	0,739	0,776	0,764	0,765	0,764	0,768	0,766	0,771	0,795	0,786	0,790	0,781	0,781	0,784	0,690
Ca	0,675	0,688	0,702	0,719	0,719	0,739	0,739	0,725	0,711	0,704	0,698	0,696	0,695	0,676	0,715
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	7,975	8,000	8,000	8,000	7,994	8,000	8,000	8,000	8,000	7,999	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Membros-finais															
Almandina	51,03%	50,18%	50,12%	49,48%	49,47%	48,70%	48,77%	49,15%	48,82%	49,30%	49,35%	49,75%	49,80%	50,00%	52,04%
Piropo	25,08%	25,82%	25,46%	25,47%	25,47%	25,62%	25,55%	25,64%	26,47%	26,20%	26,34%	26,04%	26,02%	26,31%	23,06%
Grossulária	22,85%	22,79%	22,84%	23,09%	23,87%	23,80%	24,15%	23,76%	22,67%	23,32%	21,98%	22,26%	23,00%	20,68%	23,75%
Espessartita	0,98%	1,10%	1,03%	1,10%	1,10%	1,03%	1,03%	1,10%	1,03%	1,03%	1,03%	1,00%	1,03%	1,01%	1,00%
Andradita	0,00%	0,05%	0,45%	0,75%	0,00%	0,70%	0,40%	0,15%	0,85%	0,00%	1,30%	0,90%	0,00%	1,96%	0,00%
Uvarovita	0,05%	0,05%	0,10%	0,10%	0,10%	0,15%	0,10%	0,20%	0,15%	0,15%	0,00%	0,05%	0,15%	0,05%	0,15%

Tabela 8– Análises químicas de granada da *Nappe* Três Pontas-Varginha

Grão-Análise	TPR-01-B														
	grt2-1	grt2-2	grt2-3	grt2-4	grt2-5	grt2-6	grt2-7	grt2-8	grt2-9	grt2-10	grt2-11	grt2-12	grt2-13	grt2-14	grt2-15
SiO ₂	38,54	38,79	38,88	38,82	38,97	38,62	39,13	38,45	38,84	38,76	39,16	38,97	39,24	38,97	39,26
TiO ₂	0,07	0,09	0,08	0,11	0,10	0,08	0,10	0,12	0,11	0,09	0,13	0,04	0,08	0,06	0,05
Al ₂ O ₃	21,93	21,75	21,70	21,84	22,03	21,55	21,49	21,57	21,91	21,75	21,63	22,08	21,70	21,93	21,99
Cr ₂ O ₃	0,02	0,04	0,07	0,04	0,00	0,01	0,00	0,04	0,01	0,00	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01
Fe ₂ O ₃	0,28	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,37	0,22	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	22,81	22,77	22,64	21,67	21,65	21,73	21,89	21,66	21,88	22,10	22,34	22,27	22,95	23,13	23,23
MnO	0,47	0,48	0,54	0,58	0,71	0,83	0,83	0,79	0,70	0,67	0,59	0,52	0,54	0,47	0,49
MgO	6,57	6,60	6,43	6,09	5,86	5,38	5,46	5,63	5,96	6,20	6,37	6,52	6,57	6,74	6,34
CaO	8,70	8,93	9,15	9,94	10,60	10,95	10,91	10,60	10,40	9,83	9,46	9,01	8,91	8,55	8,63
Na ₂ O	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 ₂ O	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	99,39	99,72	99,49	99,10	99,92	99,16	99,82	99,23	100,03	99,51	99,68	99,44	100,00	99,88	99,99
Oxigênios	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	2,986	2,996	3,008	3,009	3,001	3,007	3,024	2,992	2,992	2,999	3,020	3,007	3,019	3,002	3,020
Ti	0,004	0,005	0,005	0,007	0,006	0,005	0,006	0,007	0,006	0,005	0,007	0,002	0,005	0,004	0,003
Al	2,003	1,980	1,979	1,996	2,000	1,978	1,958	1,979	1,990	1,984	1,967	2,009	1,968	1,991	1,994
Cr	0,001	0,002	0,004	0,003	0,000	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001	0,002	0,000	0,002	0,000
Fe ³⁺	0,016	0,016	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022	0,013	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	1,478	1,471	1,465	1,405	1,394	1,415	1,415	1,410	1,410	1,430	1,441	1,437	1,477	1,490	1,494
Mn	0,031	0,031	0,035	0,038	0,046	0,055	0,055	0,052	0,046	0,044	0,038	0,034	0,035	0,031	0,032
Mg	0,759	0,760	0,741	0,703	0,672	0,624	0,629	0,653	0,684	0,715	0,732	0,750	0,753	0,774	0,727
Ca	0,722	0,739	0,758	0,826	0,875	0,914	0,904	0,884	0,858	0,815	0,782	0,745	0,735	0,706	0,711
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	8,000	8,000	7,996	7,986	7,994	7,999	7,991	8,000	8,000	8,000	7,989	7,986	7,992	7,998	7,981
Membros-finais															
Almandina	49,43%	49,02%	48,85%	47,27%	46,67%	47,04%	47,12%	47,02%	47,03%	47,60%	48,15%	48,45%	49,23%	49,65%	50,40%
Piropo	25,38%	25,32%	24,71%	23,65%	22,50%	20,74%	20,95%	21,77%	22,82%	23,80%	24,46%	25,29%	25,10%	25,79%	24,53%
Grossulária	23,31%	23,72%	25,07%	27,64%	29,29%	30,34%	30,10%	28,28%	27,97%	26,83%	26,08%	25,02%	24,50%	23,43%	23,99%
Espeartita	1,04%	1,03%	1,17%	1,28%	1,54%	1,83%	1,83%	1,73%	1,53%	1,46%	1,27%	1,15%	1,17%	1,03%	1,08%
Andradita	0,79%	0,80%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1,10%	0,65%	0,30%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Uvarovita	0,05%	0,10%	0,20%	0,15%	0,00%	0,05%	0,00%	0,10%	0,00%	0,00%	0,05%	0,10%	0,00%	0,10%	0,00%

Tabela 9– Análises químicas de granada da *Nappe* Três Pontas-Varginha

TPR-01-B												
Grão-Análise	grt3-1	grt3-2	grt3-3	grt3-4	grt3-5	grt3-6	grt3-7	grt3-8	grt3-9	grt3-10	grt3-11	grt3-12
SiO ₂	38,78	38,88	39,01	38,86	38,73	39,51	38,80	38,47	38,91	38,98	38,69	38,94
TiO ₂	0,12	0,07	0,09	0,12	0,17	0,13	0,19	0,07	0,09	0,14	0,08	0,03
Al ₂ O ₃	21,85	21,84	21,74	21,70	21,72	21,64	21,69	21,81	21,91	21,79	21,77	21,67
Cr ₂ O ₃	0,05	0,04	0,04	0,06	0,05	0,02	0,00	0,03	0,04	0,05	0,07	0,07
Fe ₂ O ₃	0,00	0,18	0,00	0,28	0,37	0,00	0,10	0,78	0,00	0,01	0,83	0,00
FeO	23,45	23,11	23,12	22,88	22,78	23,22	22,79	22,58	23,19	23,53	23,11	23,87
MnO	0,46	0,46	0,45	0,44	0,45	0,45	0,46	0,45	0,46	0,48	0,47	0,49
MgO	6,51	6,87	6,82	6,85	6,91	6,90	6,91	6,85	6,84	6,92	6,92	6,34
CaO	8,49	8,38	8,52	8,62	8,52	8,50	8,58	8,45	8,37	8,11	8,13	8,43
Na ₂ O	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 ₂ O	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	99,71	99,82	99,80	99,80	99,69	100,37	99,53	99,48	99,81	100,01	100,06	99,84
Oxigênios	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	2,998	2,997	3,007	2,997	2,990	3,026	2,998	2,977	2,999	3,001	2,981	3,011
Ti	0,007	0,004	0,005	0,007	0,010	0,008	0,011	0,004	0,005	0,008	0,004	0,002
Al	1,991	1,985	1,976	1,973	1,977	1,954	1,976	1,990	1,991	1,978	1,977	1,975
Cr	0,003	0,002	0,002	0,003	0,003	0,001	0,000	0,002	0,002	0,003	0,004	0,004
Fe ³⁺	0,000	0,010	0,000	0,016	0,022	0,000	0,006	0,046	0,000	0,001	0,048	0,000
Fe ²⁺	1,516	1,490	1,491	1,475	1,470	1,487	1,473	1,461	1,495	1,515	1,489	1,544
Mn	0,030	0,030	0,030	0,029	0,029	0,029	0,030	0,029	0,030	0,031	0,031	0,032
Mg	0,750	0,789	0,784	0,787	0,795	0,787	0,796	0,790	0,786	0,794	0,795	0,731
Ca	0,703	0,692	0,704	0,712	0,705	0,697	0,710	0,701	0,691	0,669	0,671	0,698
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	7,998	8,000	7,999	8,000	8,000	7,990	8,000	8,000	7,999	8,000	8,000	7,998
Membros-finais												
Almandina	50,55%	49,65%	49,55%	49,12%	49,02%	49,57%	48,95%	49,01%	49,80%	50,35%	49,87%	51,38%
Piropo	25,01%	26,29%	26,06%	26,21%	26,51%	26,23%	26,45%	26,50%	26,18%	26,39%	26,62%	24,33%
Grossulária	23,29%	22,46%	23,30%	22,76%	22,26%	23,18%	23,29%	21,16%	22,92%	22,03%	19,91%	23,03%
Espessartita	1,00%	1,00%	1,00%	0,97%	0,97%	0,97%	1,00%	0,97%	1,00%	1,03%	1,04%	1,06%
Andradita	0,00%	0,50%	0,00%	0,80%	1,10%	0,00%	0,30%	2,26%	0,00%	0,05%	2,37%	0,00%
Uvarovita	0,15%	0,10%	0,10%	0,15%	0,15%	0,05%	0,00%	0,10%	0,10%	0,15%	0,20%	0,20%

Tabela 10– Análises químicas de granada da *Nappe* Três Pontas-Varginha

Grão-Análise	TPR-01-B														
	grt4-1	grt4-2	grt4-3	grt4-4	grt4-5	grt4-6	grt4-7	grt4-8	grt4-9	grt4-10	grt4-11	grt4-12	grt4-13	grt4-14	grt4-15
SiO ₂	38,55	38,87	38,70	39,16	39,14	38,91	39,46	39,15	38,81	39,31	39,13	39,25	39,29	38,91	39,38
TiO ₂	0,02	0,03	0,10	0,10	0,05	0,12	0,09	0,10	0,10	0,07	0,10	0,11	0,06	0,06	0,07
Al ₂ O ₃	21,92	21,98	21,81	22,18	21,88	21,91	22,04	21,89	21,91	22,07	22,05	21,95	22,03	22,14	22,15
Cr ₂ O ₃	0,02	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02
Fe ₂ O ₃	0,06	0,21	0,56	0,00	0,14	0,03	0,00	0,12	0,63	0,07	0,00	0,04	0,00	0,48	0,00
FeO	23,71	23,39	23,08	23,37	23,50	23,31	23,27	23,01	22,65	23,33	23,38	23,53	23,76	23,29	23,25
MnO	0,52	0,51	0,51	0,48	0,51	0,47	0,50	0,46	0,46	0,48	0,48	0,50	0,48	0,48	0,50
MgO	6,20	6,79	6,93	6,80	7,02	6,97	6,96	6,93	7,06	6,86	6,89	6,99	6,87	6,79	6,44
CaO	8,45	8,19	8,13	8,17	8,05	8,13	8,32	8,64	8,43	8,61	8,17	8,23	8,17	8,36	8,42
Na ₂ O	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 ₂ O	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	99,45	100,02	99,83	100,26	100,28	99,85	100,66	100,31	100,07	100,81	100,20	100,59	100,68	100,51	100,22
Oxigênios	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	2,993	2,993	2,986	3,002	3,004	2,997	3,012	3,001	2,983	3,000	3,003	3,003	3,004	2,982	3,019
Ti	0,001	0,002	0,006	0,006	0,003	0,007	0,005	0,006	0,006	0,004	0,006	0,006	0,003	0,004	0,004
Al	2,007	1,995	1,984	2,005	1,980	1,990	1,983	1,978	1,985	1,986	1,995	1,980	1,986	2,001	2,002
Cr	0,001	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,002	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001
Fe ³⁺	0,004	0,012	0,032	0,000	0,008	0,002	0,000	0,007	0,036	0,004	0,000	0,002	0,000	0,028	0,000
Fe ²⁺	1,540	1,507	1,489	1,498	1,508	1,502	1,485	1,475	1,456	1,489	1,500	1,505	1,520	1,493	1,491
Mn	0,034	0,034	0,033	0,031	0,033	0,031	0,032	0,030	0,030	0,031	0,031	0,032	0,031	0,031	0,032
Mg	0,717	0,779	0,797	0,777	0,803	0,800	0,792	0,792	0,809	0,780	0,788	0,797	0,783	0,776	0,736
Ca	0,703	0,676	0,672	0,671	0,662	0,671	0,680	0,710	0,694	0,704	0,672	0,675	0,669	0,687	0,692
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	8,000	8,000	8,000	7,990	8,000	8,000	7,991	8,000	8,000	8,000	7,994	8,000	7,999	8,000	7,976
Membros-finais															
Almandina	51,44%	50,30%	49,78%	50,32%	50,17%	50,00%	49,68%	49,05%	48,71%	49,57%	50,15%	50,02%	50,62%	49,98%	50,53%
Piropo	23,95%	26,00%	26,65%	26,10%	26,71%	26,63%	26,50%	26,34%	27,07%	25,97%	26,35%	26,49%	26,07%	25,98%	24,94%
Grossulária	23,23%	21,87%	20,83%	22,54%	21,62%	22,24%	22,70%	23,21%	21,34%	23,18%	22,47%	22,33%	22,23%	21,62%	23,40%
Espessartita	1,14%	1,13%	1,10%	1,04%	1,10%	1,03%	1,07%	1,00%	1,00%	1,03%	1,04%	1,06%	1,03%	1,04%	1,08%
Andradita	0,20%	0,60%	1,59%	0,00%	0,40%	0,10%	0,00%	0,35%	1,78%	0,20%	0,00%	0,10%	0,00%	1,38%	0,00%
Uvarovita	0,05%	0,10%	0,05%	0,00%	0,00%	0,00%	0,05%	0,05%	0,10%	0,05%	0,00%	0,00%	0,05%	0,00%	0,05%

Tabela 11– Análises químicas de granada da *Nappe* Três Pontas-Varginha

TPR-01-B													
Grão-Análise	grt5-1	grt5-2	grt5-3	grt5-5	grt5-6	grt5-7	grt5-8	grt5-10	grt5-11	grt5-12	grt5-13	grt5-14	grt5-15
SiO ₂	38,82	38,75	39,00	38,82	39,14	39,35	38,94	38,68	39,34	39,49	38,80	39,13	38,81
TiO ₂	0,06	0,10	0,06	0,11	0,11	0,07	0,10	0,07	0,07	0,06	0,12	0,11	0,13
Al ₂ O ₃	21,69	22,13	21,89	22,06	21,95	21,72	21,74	21,88	22,11	21,97	21,91	21,90	22,07
Cr ₂ O ₃	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,02	0,05	0,03	0,00	0,03	0,06	0,03	0,03
Fe ₂ O ₃	0,00	0,51	0,00	0,33	0,31	0,15	0,28	1,04	0,00	0,00	0,79	0,00	0,15
FeO	24,74	23,76	23,66	22,88	22,77	22,67	22,43	21,77	22,45	22,83	22,14	23,02	23,45
MnO	0,58	0,49	0,47	0,49	0,55	0,55	0,60	0,59	0,57	0,56	0,55	0,52	0,52
MgO	5,89	6,69	6,85	6,73	6,61	6,47	6,29	6,18	6,35	6,44	6,54	6,51	6,29
CaO	8,24	8,00	8,03	8,70	9,20	9,64	9,68	10,09	9,81	9,62	9,48	8,98	8,85
Na ₂ O	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 ₂ O	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	100,06	100,48	100,00	100,16	100,68	100,65	100,11	100,32	100,71	101,00	100,39	100,20	100,30
Oxigênios	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	3,007	2,976	3,003	2,984	2,994	3,011	2,998	2,974	3,004	3,010	2,977	3,006	2,986
Ti	0,003	0,006	0,003	0,006	0,006	0,004	0,006	0,004	0,004	0,003	0,007	0,006	0,008
Al	1,981	2,004	1,987	1,999	1,980	1,960	1,973	1,983	1,991	1,974	1,982	1,983	2,002
Cr	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	0,001	0,003	0,002	0,000	0,002	0,004	0,002	0,002
Fe ³⁺	0,000	0,030	0,000	0,019	0,018	0,009	0,016	0,060	0,000	0,000	0,046	0,000	0,009
Fe ²⁺	1,603	1,526	1,524	1,471	1,457	1,451	1,444	1,400	1,434	1,455	1,421	1,479	1,509
Mn	0,038	0,032	0,031	0,032	0,036	0,036	0,039	0,039	0,037	0,036	0,036	0,034	0,034
Mg	0,680	0,766	0,786	0,771	0,754	0,738	0,722	0,708	0,723	0,732	0,748	0,745	0,721
Ca	0,684	0,658	0,663	0,716	0,754	0,790	0,799	0,831	0,803	0,786	0,780	0,739	0,730
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	7,998	8,000	7,999	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	7,996	7,999	8,000	7,995	8,000
Membros-finais													
Almandina	53,34%	51,17%	50,73%	49,20%	48,55%	48,13%	48,07%	47,01%	47,85%	48,35%	47,60%	49,35%	50,40%
Piropo	22,63%	25,69%	26,17%	25,79%	25,12%	24,48%	24,03%	23,77%	24,12%	24,33%	25,06%	24,86%	24,08%
Grossulária	22,66%	20,49%	21,92%	22,91%	24,12%	25,69%	25,64%	24,87%	26,79%	26,02%	23,67%	24,56%	23,84%
Espessartita	1,26%	1,07%	1,03%	1,07%	1,20%	1,19%	1,30%	1,31%	1,23%	1,20%	1,21%	1,13%	1,14%
Andradita	0,00%	1,47%	0,00%	0,94%	0,90%	0,46%	0,80%	2,93%	0,00%	0,00%	2,26%	0,00%	0,45%
Uvarovita	0,10%	0,10%	0,15%	0,10%	0,10%	0,05%	0,15%	0,10%	0,00%	0,10%	0,20%	0,10%	0,10%

Tabela 12– Análises químicas de granada da *Nappe* Três Pontas-Varginha

TPR-01-B															
Grão-Análise	grt6-1	grt6-2	grt6-3	grt6-4	grt6-5	grt6-6	grt6-7	grt6-8	grt6-9	grt6-10	grt6-11	grt6-12	grt6-13	grt6-14	grt6-15
SiO ₂	38,87	38,89	39,03	39,31	39,20	39,10	39,29	39,22	39,28	39,33	39,46	38,77	39,13	38,91	38,78
TiO ₂	0,02	0,11	0,13	0,05	0,10	0,10	0,13	0,10	0,07	0,09	0,09	0,11	0,07	0,10	0,06
Al ₂ O ₃	22,22	21,81	21,81	22,38	22,12	22,19	21,82	21,78	22,00	21,89	21,86	22,03	21,84	22,11	21,84
Cr ₂ O ₃	0,00	0,01	0,04	0,00	0,02	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01
Fe ₂ O ₃	0,00	0,74	0,42	0,00	0,05	0,42	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,91	0,23	0,72	0,64
FeO	23,84	23,25	23,10	22,98	22,66	22,45	22,77	23,20	23,33	23,23	23,22	22,46	23,22	22,99	23,53
MnO	0,54	0,51	0,52	0,50	0,51	0,54	0,50	0,47	0,53	0,47	0,47	0,54	0,47	0,49	0,50
MgO	6,16	6,56	6,58	6,70	6,71	6,64	6,69	6,69	6,79	6,79	6,74	6,83	6,76	6,75	6,23
CaO	8,69	8,70	8,93	8,85	9,23	9,37	9,29	8,89	8,55	8,77	8,88	8,81	8,67	8,66	8,81
Na ₂ O	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 ₂ O	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	100,35	100,58	100,56	100,78	100,60	100,81	100,83	100,36	100,55	100,58	100,72	100,46	100,39	100,76	100,40
Oxigênios	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	2,991	2,985	2,993	2,997	2,996	2,984	3,000	3,009	3,006	3,009	3,014	2,972	3,002	2,976	2,986
Ti	0,001	0,007	0,008	0,003	0,006	0,006	0,008	0,006	0,004	0,005	0,005	0,007	0,004	0,006	0,004
Al	2,016	1,974	1,972	2,012	1,993	1,997	1,964	1,970	1,985	1,974	1,969	1,991	1,975	1,994	1,983
Cr	0,000	0,000	0,003	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,001
Fe ³⁺	0,000	0,043	0,024	0,000	0,003	0,024	0,019	0,000	0,000	0,000	0,000	0,053	0,013	0,041	0,037
Fe ²⁺	1,534	1,493	1,481	1,465	1,448	1,433	1,454	1,489	1,493	1,486	1,483	1,440	1,490	1,471	1,515
Mn	0,035	0,033	0,034	0,032	0,033	0,035	0,032	0,030	0,034	0,031	0,030	0,035	0,030	0,032	0,033
Mg	0,706	0,750	0,752	0,761	0,764	0,755	0,761	0,765	0,774	0,774	0,767	0,780	0,773	0,769	0,715
Ca	0,716	0,716	0,734	0,723	0,756	0,766	0,760	0,731	0,701	0,719	0,727	0,724	0,713	0,710	0,727
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	8,000	8,000	8,000	7,994	8,000	8,000	8,000	8,000	7,998	7,999	7,996	8,000	8,000	8,000	8,000
Membros-finais															
Almandina	51,29%	49,90%	49,35%	49,14%	48,25%	47,94%	48,35%	49,39%	49,73%	49,37%	49,32%	48,34%	49,57%	49,33%	50,67%
Piropo	23,60%	25,07%	25,06%	25,53%	25,46%	25,26%	25,31%	25,37%	25,78%	25,71%	25,51%	26,18%	25,72%	25,79%	23,91%
Grossulária	23,94%	21,80%	23,11%	24,25%	24,99%	24,44%	24,27%	24,19%	23,35%	23,89%	24,18%	21,71%	23,07%	21,70%	22,43%
Espessartita	1,17%	1,10%	1,13%	1,07%	1,10%	1,17%	1,06%	1,00%	1,13%	1,03%	1,00%	1,17%	1,00%	1,07%	1,10%
Andradita	0,00%	2,13%	1,20%	0,00%	0,15%	1,19%	0,96%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	2,59%	0,65%	2,01%	1,83%
Uvarovita	0,00%	0,00%	0,15%	0,00%	0,05%	0,00%	0,05%	0,05%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,10%	0,05%

Tabela 13– Análises químicas de granada da *Nappe* Três Pontas-Varginha

TPR-01-B															
Grão-Análise	grt7-1	grt7-2	grt7-3	grt7-4	grt7-5	grt7-6	grt7-7	grt7-8	grt7-9	grt7-10	grt7-11	grt7-12	grt7-13	grt7-14	grt7-15
SiO ₂	38,84	39,01	39,06	39,21	38,88	39,02	39,01	38,85	39,11	39,10	38,98	39,24	39,17	38,91	38,88
TiO ₂	0,06	0,09	0,10	0,11	0,07	0,11	0,08	0,10	0,11	0,09	0,06	0,08	0,11	0,07	0,11
Al ₂ O ₃	21,99	22,16	21,85	22,13	22,14	21,95	22,00	21,75	21,99	22,03	21,77	21,78	21,77	21,94	22,04
Cr ₂ O ₃	0,03	0,01	0,00	0,00	0,03	0,03	0,03	0,00	0,04	0,04	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02
Fe ₂ O ₃	0,11	0,42	0,00	0,00	0,42	0,44	0,16	0,29	0,00	0,16	0,32	0,41	0,50	0,42	0,04
FeO	25,12	23,73	23,59	23,58	22,72	22,82	22,99	22,61	22,73	22,61	22,28	22,42	22,35	22,87	24,12
MnO	0,58	0,48	0,47	0,48	0,51	0,47	0,50	0,52	0,51	0,52	0,55	0,55	0,53	0,51	0,58
MgO	5,97	6,81	6,85	6,98	6,96	6,84	6,85	6,78	6,74	6,65	6,57	6,55	6,67	6,60	6,18
CaO	7,92	8,09	8,00	8,02	8,52	8,79	8,60	8,84	9,04	9,25	9,46	9,63	9,50	8,93	8,48
Na ₂ O	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 ₂ O	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	100,61	100,80	99,93	100,51	100,26	100,48	100,22	99,75	100,28	100,44	100,03	100,68	100,63	100,27	100,45
Oxigênios	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	2,994	2,984	3,008	3,000	2,982	2,989	2,994	2,997	2,999	2,995	2,999	3,001	2,996	2,989	2,992
Ti	0,003	0,005	0,006	0,006	0,004	0,006	0,005	0,006	0,007	0,005	0,004	0,004	0,006	0,004	0,006
Al	1,998	1,998	1,984	1,996	2,002	1,982	1,991	1,978	1,988	1,989	1,974	1,964	1,963	1,987	2,000
Cr	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,002	0,000	0,003	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001
Fe ³⁺	0,006	0,024	0,000	0,000	0,024	0,025	0,010	0,017	0,000	0,009	0,019	0,024	0,029	0,024	0,002
Fe ²⁺	1,619	1,518	1,519	1,509	1,457	1,462	1,476	1,459	1,458	1,448	1,433	1,434	1,430	1,469	1,552
Mn	0,038	0,031	0,031	0,031	0,033	0,031	0,032	0,034	0,033	0,033	0,036	0,036	0,034	0,033	0,038
Mg	0,686	0,776	0,786	0,796	0,795	0,781	0,784	0,779	0,770	0,759	0,753	0,747	0,760	0,756	0,709
Ca	0,654	0,663	0,660	0,657	0,700	0,721	0,707	0,731	0,743	0,759	0,780	0,789	0,779	0,735	0,699
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	8,000	8,000	7,994	7,996	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Membros-finais															
Almandina	54,02%	50,80%	50,70%	50,42%	48,81%	48,81%	49,22%	48,58%	48,54%	48,28%	47,73%	47,70%	47,62%	49,08%	51,77%
Piropo	22,89%	25,97%	26,23%	26,60%	26,63%	26,08%	26,14%	25,94%	25,63%	25,31%	25,08%	24,85%	25,31%	25,26%	23,65%
Grossulária	21,42%	21,00%	22,03%	21,95%	22,17%	22,73%	22,98%	23,49%	24,58%	24,76%	24,93%	24,99%	24,39%	23,27%	23,17%
Espessartita	1,27%	1,04%	1,03%	1,04%	1,11%	1,04%	1,07%	1,13%	1,10%	1,10%	1,20%	1,20%	1,13%	1,10%	1,27%
Andradita	0,30%	1,19%	0,00%	0,00%	1,18%	1,24%	0,50%	0,85%	0,00%	0,45%	0,95%	1,21%	1,45%	1,19%	0,10%
Uvarovita	0,10%	0,00%	0,00%	0,00%	0,10%	0,10%	0,10%	0,00%	0,15%	0,10%	0,10%	0,05%	0,10%	0,10%	0,05%

Tabela 14– Análises químicas de granada da *Nappe* Três Pontas-Varginha

TPR-01-F1												
Grão-Análise	grt1-1	grt1-2	grt1-3	grt1-4	grt1-5	grt1-6	grt1-7	grt1-8	grt1-9	grt1-10	grt1-11	grt1-12
SiO ₂	39,68	39,50	39,71	39,48	39,78	39,62	39,38	39,46	39,58	39,75	39,24	38,92
TiO ₂	0,07	0,08	0,10	0,08	0,07	0,08	0,15	0,08	0,05	0,00	0,04	0,03
Al ₂ O ₃	22,50	22,51	22,39	22,50	22,73	22,35	22,29	22,40	22,58	22,42	22,30	22,14
Cr ₂ O ₃	0,04	0,05	0,08	0,09	0,13	0,01	0,04	0,04	0,05	0,07	0,08	0,10
Fe ₂ O ₃	0,00	0,04	0,00	0,32	0,00	0,23	0,59	0,09	0,00	0,23	0,27	1,24
FeO	21,51	20,69	20,81	20,25	20,23	20,17	19,93	20,17	20,32	20,46	20,37	19,91
MnO	0,45	0,44	0,46	0,46	0,44	0,49	0,46	0,47	0,46	0,42	0,43	0,45
MgO	6,45	7,39	7,45	7,46	7,48	7,53	7,53	7,43	7,37	7,45	7,49	7,26
CaO	10,29	10,14	10,06	10,36	10,30	10,43	10,47	10,44	10,47	10,43	9,99	10,35
Na ₂ O	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 ₂ O	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	101,00	100,85	101,07	100,98	101,16	100,91	100,84	100,57	100,88	101,23	100,22	100,40
Oxigênios	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	3,008	2,989	2,998	2,982	2,993	2,993	2,979	2,991	2,991	2,996	2,987	2,965
Ti	0,004	0,004	0,006	0,004	0,004	0,005	0,008	0,005	0,003	0,000	0,002	0,002
Al	2,011	2,008	1,993	2,004	2,016	1,991	1,988	2,002	2,011	1,992	2,001	1,989
Cr	0,002	0,003	0,005	0,005	0,008	0,001	0,003	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006
Fe ³⁺	0,000	0,003	0,000	0,018	0,000	0,013	0,034	0,005	0,000	0,013	0,016	0,071
Fe ²⁺	1,364	1,309	1,314	1,279	1,273	1,274	1,261	1,279	1,284	1,290	1,297	1,269
Mn	0,029	0,028	0,030	0,029	0,028	0,031	0,029	0,030	0,030	0,027	0,028	0,029
Mg	0,729	0,833	0,838	0,840	0,839	0,848	0,849	0,839	0,830	0,837	0,850	0,824
Ca	0,836	0,822	0,814	0,839	0,830	0,844	0,849	0,848	0,848	0,842	0,815	0,845
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	7,982	8,000	7,998	8,000	7,991	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Membros-finais												
Almandina	46,11%	43,75%	43,86%	42,82%	42,86%	42,51%	42,20%	42,69%	42,91%	43,06%	43,38%	42,77%
Piropo	24,65%	27,84%	27,97%	28,12%	28,25%	28,29%	28,41%	28,00%	27,74%	27,94%	28,43%	27,77%
Grossulária	28,16%	27,18%	26,92%	26,95%	27,55%	27,46%	26,59%	27,96%	28,19%	27,26%	26,22%	24,75%
Espsartita	0,98%	0,94%	1,00%	0,97%	0,94%	1,03%	0,97%	1,00%	1,00%	0,90%	0,94%	0,98%
Andradita	0,00%	0,15%	0,00%	0,89%	0,00%	0,65%	1,68%	0,25%	0,00%	0,65%	0,79%	3,44%
Uvarovita	0,10%	0,15%	0,25%	0,25%	0,40%	0,05%	0,15%	0,10%	0,15%	0,20%	0,25%	0,29%

Tabela 15– Análises químicas de granada da *Nappe* Três Pontas-Varginha

TPR-01-F1												
Grão-Análise	grt2-1	grt2-2	grt2-3	grt2-4	grt2-5	grt2-6	grt2-7	grt2-8	grt2-9	grt2-10	grt2-11	grt2-12
SiO ₂	39,36	39,52	39,38	39,61	39,76	39,47	39,59	39,37	39,49	39,65	39,38	38,78
TiO ₂	0,06	0,06	0,12	0,09	0,05	0,08	0,09	0,12	0,09	0,07	0,05	0,00
Al ₂ O ₃	22,40	22,41	22,36	22,46	22,38	22,33	22,34	22,29	22,33	22,36	22,21	22,14
Cr ₂ O ₃	0,09	0,11	0,12	0,02	0,12	0,13	0,06	0,05	0,08	0,05	0,13	0,13
Fe ₂ O ₃	0,00	0,05	0,24	0,00	0,00	0,51	0,56	0,12	0,00	0,00	0,03	0,98
FeO	21,87	20,83	20,12	20,18	20,29	19,99	19,87	20,08	20,64	20,71	20,90	20,68
MnO	0,50	0,47	0,45	0,48	0,47	0,48	0,46	0,46	0,45	0,44	0,47	0,50
MgO	6,38	7,21	7,42	7,34	7,26	7,42	7,58	7,48	7,37	7,37	7,24	6,72
CaO	10,30	10,27	10,46	10,37	10,47	10,59	10,59	10,39	10,19	9,96	10,03	10,31
Na ₂ O	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 ₂ O	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	100,96	100,94	100,67	100,54	100,80	101,00	101,14	100,36	100,64	100,61	100,44	100,23
Oxigênios	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	2,993	2,992	2,984	3,000	3,006	2,982	2,985	2,990	2,995	3,005	2,996	2,969
Ti	0,004	0,004	0,007	0,005	0,003	0,004	0,005	0,007	0,005	0,004	0,003	0,000
Al	2,008	2,000	1,997	2,006	1,995	1,989	1,986	1,996	1,996	1,998	1,992	1,998
Cr	0,005	0,007	0,007	0,001	0,007	0,008	0,003	0,003	0,005	0,003	0,008	0,008
Fe ³⁺	0,000	0,003	0,014	0,000	0,000	0,029	0,032	0,007	0,000	0,000	0,002	0,056
Fe ²⁺	1,391	1,319	1,275	1,278	1,283	1,263	1,253	1,275	1,309	1,313	1,330	1,324
Mn	0,032	0,030	0,029	0,031	0,030	0,031	0,029	0,029	0,029	0,028	0,030	0,032
Mg	0,723	0,813	0,838	0,829	0,818	0,836	0,852	0,847	0,833	0,832	0,821	0,767
Ca	0,839	0,833	0,849	0,842	0,848	0,857	0,855	0,846	0,828	0,809	0,818	0,846
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	7,997	8,000	8,000	7,992	7,990	8,000	8,000	8,000	8,000	7,991	8,000	8,000
Membros-finais												
Almandina	46,60%	44,04%	42,63%	42,89%	43,07%	42,28%	41,92%	42,54%	43,65%	44,03%	44,35%	44,59%
Piropo	24,22%	27,15%	28,02%	27,82%	27,46%	27,99%	28,50%	28,26%	27,78%	27,90%	27,38%	25,83%
Grossulária	27,86%	27,32%	27,34%	28,21%	28,12%	26,86%	26,87%	27,73%	27,36%	26,98%	26,78%	25,39%
Espessartita	1,07%	1,00%	0,97%	1,04%	1,01%	1,04%	0,97%	0,97%	0,97%	0,94%	1,00%	1,08%
Andradita	0,00%	0,15%	0,69%	0,00%	0,00%	1,43%	1,58%	0,35%	0,00%	0,00%	0,10%	2,72%
Uvarovita	0,25%	0,35%	0,35%	0,05%	0,35%	0,39%	0,15%	0,15%	0,25%	0,15%	0,40%	0,39%

Tabela 16– Análises químicas de granada da *Nappe* Três Pontas-Varginha

TPR-01-F1														
Grão-Análise	grt3-1	grt3-2	grt3-3	grt3-4	grt3-5	grt3-6	grt3-7	grt3-8	grt3-9	grt3-11	grt3-12	grt3-13	grt3-14	grt3-15
SiO ₂	39,46	39,53	39,66	39,61	39,76	39,53	39,62	39,53	39,61	39,15	39,38	39,29	39,71	39,36
TiO ₂	0,15	0,09	0,05	0,04	0,03	0,06	0,04	0,00	0,09	0,03	0,05	0,06	0,07	0,05
Al ₂ O ₃	22,23	22,14	22,22	22,37	22,54	22,39	22,48	22,56	22,75	22,26	22,21	22,66	22,47	22,21
Cr ₂ O ₃	0,09	0,02	0,07	0,02	0,04	0,11	0,07	0,03	0,06	0,05	0,12	0,06	0,01	0,10
Fe ₂ O ₃	0,33	0,28	0,21	0,22	0,00	0,27	0,02	0,49	0,13	0,63	0,46	0,32	0,24	0,00
FeO	21,22	20,86	20,42	20,20	20,14	19,83	20,34	20,06	20,53	20,37	20,66	20,93	20,99	21,66
MnO	0,48	0,48	0,50	0,51	0,48	0,49	0,51	0,49	0,51	0,46	0,48	0,48	0,46	0,50
MgO	6,87	7,13	7,54	7,52	7,44	7,55	7,37	7,45	7,36	7,27	7,09	6,99	7,05	6,33
CaO	10,43	10,37	10,23	10,36	10,28	10,57	10,48	10,49	10,37	10,18	10,42	10,27	10,56	10,57
Na ₂ O	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 ₂ O	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	101,26	100,90	100,90	100,85	100,71	100,81	100,92	101,10	101,40	100,40	100,87	101,07	101,55	100,78
Oxigênios	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	2,987	2,997	2,999	2,994	3,004	2,988	2,994	2,982	2,981	2,980	2,987	2,974	2,991	2,999
Ti	0,008	0,005	0,003	0,002	0,002	0,004	0,003	0,000	0,005	0,002	0,003	0,004	0,004	0,003
Al	1,984	1,979	1,981	1,994	2,008	1,995	2,003	2,006	2,018	1,998	1,986	2,022	1,995	1,995
Cr	0,005	0,001	0,004	0,001	0,003	0,007	0,004	0,002	0,003	0,003	0,007	0,004	0,001	0,006
Fe ³⁺	0,019	0,016	0,012	0,013	0,000	0,016	0,001	0,028	0,007	0,036	0,026	0,018	0,013	0,000
Fe ²⁺	1,344	1,323	1,291	1,277	1,273	1,254	1,285	1,265	1,292	1,297	1,311	1,325	1,322	1,380
Mn	0,031	0,031	0,032	0,033	0,031	0,031	0,033	0,031	0,032	0,030	0,031	0,031	0,029	0,032
Mg	0,775	0,806	0,850	0,847	0,838	0,850	0,830	0,838	0,825	0,825	0,802	0,789	0,791	0,719
Ca	0,846	0,842	0,829	0,839	0,832	0,856	0,849	0,848	0,836	0,830	0,847	0,833	0,852	0,863
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	8,000	8,000	8,000	8,000	7,989	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	7,998
Membros-finais														
Almandina	44,86%	44,07%	43,00%	42,62%	42,80%	41,93%	42,88%	42,42%	43,28%	43,49%	43,83%	44,49%	44,15%	46,09%
Piropo	25,87%	26,85%	28,31%	28,27%	28,18%	28,42%	27,69%	28,10%	27,64%	27,67%	26,81%	26,49%	26,42%	24,01%
Grossulária	27,04%	27,20%	26,81%	27,31%	27,83%	27,48%	28,08%	26,96%	27,51%	25,92%	26,68%	26,90%	27,76%	28,52%
Espeartita	1,03%	1,03%	1,07%	1,10%	1,04%	1,04%	1,10%	1,04%	1,07%	1,01%	1,04%	1,04%	0,97%	1,07%
Andradita	0,95%	0,80%	0,60%	0,65%	0,00%	0,79%	0,05%	1,38%	0,35%	1,77%	1,29%	0,88%	0,65%	0,00%
Uvarovita	0,25%	0,05%	0,20%	0,05%	0,15%	0,35%	0,20%	0,10%	0,15%	0,15%	0,35%	0,20%	0,05%	0,30%

Tabela 17 – Análises químicas de granada da *Nappe* Três Pontas-Varginha

TPR-01-F1												
Grão-Análise	grt4-1	grt4-2	grt4-3	grt4-4	grt4-5	grt4-6	grt4-7	grt4-8	grt4-9	grt4-10	grt4-11	grt4-12
SiO ₂	39,52	39,82	39,47	39,62	39,53	39,19	39,36	39,47	39,43	39,06	38,92	38,60
TiO ₂	0,00	0,04	0,08	0,03	0,04	0,06	0,08	0,01	0,10	0,12	0,08	0,07
Al ₂ O ₃	22,23	22,08	22,28	22,29	22,37	22,36	22,34	22,32	22,25	22,20	22,08	22,14
Cr ₂ O ₃	0,04	0,09	0,05	0,01	0,02	0,04	0,02	0,03	0,05	0,11	0,11	0,07
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,12	0,22	0,54	0,80	0,19	0,15	0,38	1,13	0,67	0,29
FeO	21,67	21,23	20,81	20,81	20,56	20,29	20,91	21,10	20,99	20,57	20,90	22,13
MnO	0,50	0,48	0,46	0,45	0,48	0,49	0,46	0,50	0,50	0,51	0,56	0,63
MgO	6,44	6,87	7,21	7,23	7,26	7,04	6,96	6,75	6,79	6,66	6,42	5,63
CaO	10,45	10,36	10,26	10,34	10,39	10,60	10,43	10,59	10,64	10,82	10,70	10,47
Na ₂ O	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 ₂ O	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	100,86	100,97	100,75	101,00	101,20	100,87	100,75	100,93	101,14	101,17	100,43	100,03
Oxigênios	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	3,006	3,017	2,994	2,998	2,986	2,973	2,989	2,996	2,988	2,965	2,977	2,978
Ti	0,000	0,002	0,005	0,002	0,002	0,003	0,005	0,000	0,006	0,007	0,005	0,004
Al	1,994	1,973	1,992	1,988	1,992	2,000	2,000	1,997	1,988	1,986	1,991	2,014
Cr	0,002	0,005	0,003	0,000	0,001	0,002	0,001	0,002	0,003	0,006	0,006	0,005
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,007	0,013	0,031	0,046	0,011	0,009	0,022	0,064	0,039	0,017
Fe ²⁺	1,379	1,345	1,320	1,317	1,299	1,287	1,328	1,339	1,331	1,305	1,337	1,428
Mn	0,032	0,031	0,030	0,029	0,031	0,032	0,029	0,032	0,032	0,033	0,036	0,041
Mg	0,730	0,776	0,815	0,815	0,817	0,796	0,788	0,763	0,767	0,753	0,732	0,647
Ca	0,852	0,841	0,834	0,838	0,841	0,862	0,849	0,861	0,864	0,880	0,877	0,866
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	7,996	7,991	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Membros-finais												
Almandina	46,07%	44,94%	44,01%	43,91%	43,47%	43,23%	44,36%	44,71%	44,46%	43,92%	44,84%	47,89%
Piropo	24,39%	25,93%	27,18%	27,18%	27,34%	26,74%	26,32%	25,48%	25,62%	25,35%	24,55%	21,70%
Grossulária	28,37%	27,85%	27,31%	27,29%	26,56%	26,61%	27,76%	28,20%	27,62%	26,21%	27,20%	27,96%
Espessartita	1,07%	1,04%	1,00%	0,97%	1,04%	1,07%	0,97%	1,07%	1,07%	1,11%	1,21%	1,37%
Andradita	0,00%	0,00%	0,35%	0,65%	1,53%	2,25%	0,55%	0,45%	1,09%	3,11%	1,92%	0,83%
Uvarovita	0,10%	0,25%	0,15%	0,00%	0,05%	0,10%	0,05%	0,10%	0,15%	0,29%	0,29%	0,25%

Tabela 18 – Análises químicas de granada da *Nappe* Três Pontas-Varginha

TPR-01-F1														
Grão-Análise	grt5-2	grt5-3	grt5-4	grt5-5	grt5-6	grt5-7	grt5-8	grt5-9	grt5-10	grt5-11	grt5-12	grt5-13	grt5-14	grt5-15
SiO ₂	39,57	39,41	39,53	39,33	39,16	39,55	39,24	39,33	39,26	39,53	39,42	39,48	39,47	39,10
TiO ₂	0,10	0,14	0,11	0,08	0,08	0,05	0,10	0,07	0,09	0,09	0,08	0,08	0,06	0,02
Al ₂ O ₃	22,41	22,49	22,08	22,44	22,55	22,36	22,42	22,28	22,47	22,24	22,28	22,63	22,62	21,95
Cr ₂ O ₃	0,05	0,07	0,08	0,04	0,06	0,05	0,03	0,04	0,02	0,07	0,10	0,07	0,07	0,04
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,04	0,30	0,33	0,00	0,68	0,32	0,51	0,17	0,07	0,43	0,22	0,56
FeO	20,95	20,82	20,77	20,45	20,51	20,76	20,20	20,43	20,18	20,43	20,57	20,42	20,76	20,72
MnO	0,50	0,56	0,66	0,70	0,77	0,84	0,78	0,78	0,68	0,66	0,62	0,53	0,51	0,49
MgO	7,17	7,09	6,85	6,65	6,51	6,56	6,76	6,69	6,83	6,94	7,01	7,34	7,50	6,95
CaO	10,17	10,26	10,71	11,00	10,93	10,90	10,91	10,89	10,91	10,84	10,55	10,34	9,84	10,28
Na ₂ O	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 ₂ O	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	100,92	100,83	100,84	100,99	100,90	101,08	101,12	100,83	100,95	100,96	100,69	101,30	101,04	100,10
Oxigênios	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	2,996	2,987	3,002	2,983	2,975	2,998	2,973	2,988	2,976	2,995	2,993	2,976	2,981	2,992
Ti	0,006	0,008	0,006	0,004	0,004	0,003	0,006	0,004	0,005	0,005	0,005	0,004	0,003	0,001
Al	2,000	2,010	1,977	2,006	2,019	1,998	2,002	1,995	2,008	1,986	1,995	2,011	2,014	1,980
Cr	0,003	0,004	0,005	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,001	0,004	0,006	0,004	0,004	0,002
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,002	0,017	0,019	0,000	0,039	0,018	0,029	0,010	0,004	0,024	0,013	0,032
Fe ²⁺	1,326	1,320	1,319	1,297	1,303	1,316	1,280	1,298	1,280	1,294	1,306	1,287	1,311	1,326
Mn	0,032	0,036	0,042	0,045	0,049	0,054	0,050	0,050	0,044	0,042	0,040	0,034	0,033	0,032
Mg	0,809	0,801	0,775	0,752	0,737	0,741	0,763	0,757	0,772	0,784	0,793	0,825	0,844	0,793
Ca	0,825	0,833	0,871	0,894	0,890	0,885	0,886	0,886	0,886	0,880	0,858	0,835	0,796	0,843
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	7,997	7,998	8,000	8,000	8,000	7,999	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Almandina	44,32%	44,15%	43,86%	43,41%	43,74%	43,93%	42,97%	43,40%	42,92%	43,13%	43,58%	43,17%	43,93%	44,29%
Piropo	27,04%	26,79%	25,77%	25,17%	24,74%	24,73%	25,61%	25,31%	25,89%	26,13%	26,46%	27,68%	28,28%	26,49%
Grossulária	27,42%	27,66%	28,61%	28,93%	28,80%	29,39%	27,73%	28,63%	28,24%	28,63%	28,13%	26,64%	25,84%	26,47%
Espeartita	1,07%	1,20%	1,40%	1,51%	1,64%	1,80%	1,68%	1,67%	1,48%	1,40%	1,33%	1,14%	1,11%	1,07%
Andradita	0,00%	0,00%	0,10%	0,84%	0,93%	0,00%	1,91%	0,89%	1,42%	0,50%	0,20%	1,18%	0,64%	1,59%
Uvarovita	0,15%	0,20%	0,25%	0,15%	0,15%	0,15%	0,10%	0,10%	0,05%	0,20%	0,30%	0,20%	0,20%	0,10%

Tabela 19– Análises químicas de granada da *Nappe* Socorro-Guaxupé

IC-06-R											
Grão-Análise	grt1-1	grt1-2	grt1-4	grt1-5	grt1-6	grt1-7	grt1-8	grt1-9	grt1-10	grt1-11	grt1-12
SiO ₂	39,20	38,74	38,61	39,14	38,72	39,25	38,93	38,89	38,85	38,90	38,69
TiO ₂	0,01	0,09	0,10	0,07	0,10	0,10	0,11	0,07	0,10	0,10	0,06
Al ₂ O ₃	21,94	21,61	21,42	21,69	21,36	21,63	21,59	21,49	21,68	21,69	21,44
Cr ₂ O ₃	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,05	0,00	0,03
Fe ₂ O ₃	0,00	0,89	0,96	0,83	1,24	0,78	0,49	1,20	0,88	0,75	0,64
FeO	25,37	24,18	23,33	23,92	23,55	24,43	24,39	24,24	24,17	24,81	25,53
MnO	1,50	1,47	1,36	1,42	1,44	1,45	1,45	1,47	1,45	1,51	1,66
MgO	6,86	7,21	7,26	7,19	7,26	7,32	7,14	7,13	6,95	6,86	6,34
CaO	6,05	6,15	6,72	6,79	6,59	6,31	6,30	6,34	6,65	6,27	6,09
Na ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100,96	100,35	99,79	101,07	100,29	101,29	100,44	100,87	100,78	100,90	100,48
Oxigênios	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Si	3,007	2,987	2,988	2,993	2,986	2,997	2,998	2,987	2,985	2,990	2,998
Ti	0,000	0,005	0,006	0,004	0,006	0,006	0,006	0,004	0,006	0,006	0,003
Al	1,984	1,964	1,954	1,956	1,942	1,947	1,960	1,946	1,964	1,965	1,958
Cr	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003	0,003	0,000	0,002
Fe ³⁺	0,000	0,051	0,056	0,048	0,072	0,045	0,029	0,069	0,051	0,044	0,037
Fe ²⁺	1,628	1,559	1,510	1,530	1,519	1,560	1,571	1,557	1,553	1,595	1,655
Mn	0,097	0,096	0,089	0,092	0,094	0,094	0,095	0,096	0,094	0,098	0,109
Mg	0,784	0,828	0,837	0,820	0,834	0,833	0,819	0,816	0,796	0,786	0,732
Ca	0,497	0,508	0,557	0,556	0,545	0,516	0,520	0,522	0,548	0,516	0,506
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Membros-finais											
Almandina	54,16%	52,12%	50,45%	51,03%	50,77%	51,95%	52,28%	52,06%	51,92%	53,26%	55,13%
Piropo	26,08%	27,68%	27,97%	27,35%	27,87%	27,74%	27,25%	27,28%	26,61%	26,24%	24,38%
Grossulária	16,43%	14,40%	15,78%	16,10%	14,59%	14,87%	15,75%	13,88%	15,65%	15,04%	14,90%
Essartita	3,23%	3,21%	2,97%	3,07%	3,14%	3,13%	3,16%	3,21%	3,14%	3,27%	3,63%
Andradita	0,00%	2,53%	2,78%	2,39%	3,57%	2,26%	1,46%	3,42%	2,53%	2,19%	1,85%
Uvarovita	0,10%	0,05%	0,05%	0,05%	0,05%	0,05%	0,10%	0,15%	0,15%	0,00%	0,10%

Tabela 20– Análises químicas de granada da *Nappe* Socorro-Guaxupé

IC-06-R																	
Grão-Análise	grt2-1	grt2-2	grt2-3	grt2-4	grt2-6	grt2-7	grt2-8	grt2-9	grt2-10	grt2-11	grt2-12	grt2-13	grt2-14	grt2-15	grt2-16	grt2-17	grt2-18
SiO ₂	38,92	38,68	38,77	39,10	39,06	39,30	39,04	39,12	39,03	39,16	38,82	38,81	38,94	39,25	39,20	39,09	38,77
TiO ₂	0,01	0,09	0,10	0,06	0,05	0,07	0,04	0,07	0,08	0,04	0,05	0,03	0,08	0,08	0,06	0,07	0,07
Al ₂ O ₃	21,47	21,77	21,85	21,72	21,95	22,07	22,12	22,09	22,12	21,82	21,89	21,93	21,70	21,64	21,53	21,88	21,70
Cr ₂ O ₃	0,04	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,02	0,05	0,01
Fe ₂ O ₃	0,49	0,89	0,59	0,45	0,53	0,09	0,42	0,47	0,32	0,20	0,69	0,07	0,86	0,26	0,59	0,33	0,94
FeO	24,62	23,80	23,44	24,02	23,80	24,39	24,04	24,25	24,10	24,26	23,64	23,87	23,52	24,30	24,26	24,42	24,29
MnO	1,49	1,41	1,37	1,39	1,44	1,47	1,50	1,49	1,48	1,58	1,50	1,40	1,38	1,40	1,44	1,38	1,50
MgO	7,07	7,32	7,57	7,61	7,74	8,09	8,17	8,05	8,16	7,83	7,75	7,48	7,67	7,58	7,57	7,33	7,30
CaO	6,10	6,29	6,34	6,10	6,01	5,28	5,15	5,26	5,15	5,50	5,85	6,10	6,28	6,07	6,02	6,18	5,93
Na ₂ O	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
K ₂ O	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
Total	100,20	100,25	100,05	100,46	100,57	100,76	100,50	100,80	100,44	100,40	100,20	99,71	100,45	100,59	100,68	100,73	100,51
Oxigênios	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	12,00	12,00
Si	3,007	2,980	2,985	3,001	2,991	3,000	2,987	2,988	2,988	3,005	2,985	2,997	2,988	3,010	3,006	2,996	2,984
Ti	0,000	0,005	0,006	0,004	0,003	0,004	0,003	0,004	0,005	0,002	0,003	0,002	0,004	0,005	0,003	0,004	0,004
Al	1,955	1,977	1,983	1,965	1,982	1,986	1,995	1,989	1,996	1,974	1,984	1,997	1,963	1,956	1,946	1,977	1,969
Cr	0,002	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,003	0,000
Fe ³⁺	0,029	0,052	0,034	0,026	0,030	0,005	0,024	0,027	0,018	0,012	0,040	0,004	0,050	0,015	0,034	0,019	0,055
Fe ²⁺	1,591	1,534	1,510	1,542	1,524	1,557	1,539	1,549	1,543	1,557	1,520	1,542	1,509	1,559	1,556	1,566	1,564
Mn	0,097	0,092	0,089	0,090	0,093	0,095	0,097	0,096	0,096	0,103	0,098	0,092	0,090	0,091	0,094	0,090	0,098
Mg	0,814	0,841	0,869	0,870	0,883	0,920	0,932	0,916	0,931	0,895	0,888	0,861	0,877	0,866	0,865	0,837	0,837
Ca	0,505	0,519	0,523	0,502	0,493	0,432	0,422	0,430	0,422	0,452	0,482	0,505	0,516	0,499	0,495	0,508	0,489
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	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	8,000	8,000
Membros-finais																	
Almandina	52,91%	51,37%	50,48%	51,33%	50,92%	51,83%	51,47%	51,79%	51,57%	51,78%	50,87%	51,40%	50,43%	51,71%	51,69%	52,18%	52,34%
Piropo	27,07%	28,16%	29,05%	28,96%	29,50%	30,63%	31,17%	30,63%	31,12%	29,76%	29,72%	28,70%	29,31%	28,72%	28,74%	27,89%	28,01%
Grossulária	15,23%	14,82%	15,70%	15,41%	14,98%	14,13%	12,88%	13,04%	13,21%	14,38%	14,15%	16,63%	14,71%	15,79%	14,68%	15,83%	13,65%
Espeartita	3,23%	3,08%	2,98%	3,00%	3,11%	3,16%	3,24%	3,21%	3,21%	3,43%	3,28%	3,07%	3,01%	3,02%	3,12%	3,00%	3,28%
Andradita	1,46%	2,56%	1,68%	1,31%	1,49%	0,25%	1,19%	1,34%	0,89%	0,60%	1,98%	0,20%	2,48%	0,76%	1,72%	0,95%	2,72%
Uvarovita	0,10%	0,00%	0,10%	0,00%	0,00%	0,00%	0,05%	0,00%	0,00%	0,05%	0,00%	0,00%	0,05%	0,00%	0,05%	0,15%	0,00%

Tabela 21– Análises químicas de granada da *Nappe* Socorro-Guaxupé

IC-06-R															
Grão-Análise	grt3-1	grt3-2	grt3-3	grt3-4	grt3-5	grt3-6	grt3-7	grt3-8	grt3-9	grt3-10	grt3-11	grt3-12	grt3-13	grt3-14	grt3-15
SiO ₂	39,03	38,82	38,44	38,63	39,19	38,88	38,81	38,70	38,95	38,77	38,92	38,93	39,20	38,97	38,27
TiO ₂	0,10	0,07	0,10	0,07	0,10	0,04	0,07	0,03	0,08	0,04	0,08	0,07	0,06	0,03	0,07
Al ₂ O ₃	21,81	21,34	21,71	21,54	21,77	21,55	21,74	21,22	21,52	21,61	21,50	21,74	21,48	21,47	21,25
Cr ₂ O ₃	0,03	0,01	0,04	0,03	0,04	0,00	0,00	0,05	0,03	0,00	0,01	0,04	0,00	0,02	0,03
Fe ₂ O ₃	0,00	0,64	1,49	1,75	0,89	0,86	0,88	1,54	0,76	0,70	1,25	0,75	0,50	0,57	1,27
FeO	26,73	25,36	24,35	24,07	24,72	24,37	24,28	23,90	24,51	24,48	24,39	24,78	25,20	25,09	24,76
MnO	1,70	1,58	1,45	1,45	1,43	1,42	1,44	1,39	1,41	1,45	1,50	1,45	1,48	1,53	1,65
MgO	5,81	6,69	6,96	7,14	7,11	7,22	7,00	7,22	6,84	6,71	6,73	6,59	6,52	6,57	6,39
CaO	5,92	5,93	6,11	6,24	6,33	6,13	6,44	6,34	6,65	6,63	6,80	6,73	6,72	6,46	6,25
Na ₂ O	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 ₂ O	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	101,13	100,45	100,64	100,92	101,60	100,47	100,67	100,39	100,75	100,40	101,18	101,07	101,16	100,70	99,94
Oxigênios	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	3,010	3,004	2,963	2,969	2,989	2,994	2,985	2,987	2,997	2,993	2,986	2,989	3,010	3,005	2,982
Ti	0,006	0,004	0,006	0,004	0,006	0,002	0,004	0,002	0,005	0,003	0,005	0,004	0,004	0,002	0,004
Al	1,983	1,947	1,973	1,952	1,957	1,957	1,971	1,931	1,952	1,967	1,945	1,968	1,944	1,952	1,952
Cr	0,002	0,001	0,002	0,002	0,003	0,000	0,000	0,003	0,002	0,000	0,001	0,002	0,000	0,001	0,002
Fe ³⁺	0,000	0,038	0,086	0,101	0,051	0,050	0,051	0,090	0,044	0,041	0,072	0,043	0,029	0,033	0,074
Fe ²⁺	1,724	1,641	1,570	1,547	1,577	1,570	1,562	1,543	1,577	1,581	1,565	1,591	1,618	1,618	1,613
Mn	0,111	0,104	0,095	0,094	0,092	0,093	0,094	0,091	0,092	0,095	0,097	0,094	0,096	0,100	0,109
Mg	0,668	0,771	0,800	0,818	0,808	0,829	0,802	0,830	0,784	0,772	0,770	0,754	0,746	0,755	0,742
Ca	0,489	0,492	0,505	0,514	0,517	0,506	0,531	0,524	0,548	0,549	0,559	0,554	0,553	0,534	0,522
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	7,992	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
Membros-finais															
Almandina	57,62%	54,55%	52,86%	52,03%	52,67%	52,37%	52,26%	51,64%	52,55%	52,75%	52,32%	53,16%	53,70%	53,81%	54,02%
Piropo	22,33%	25,63%	26,94%	27,51%	26,99%	27,65%	26,83%	27,78%	26,12%	25,76%	25,74%	25,19%	24,76%	25,11%	24,85%
Grossulária	16,24%	14,39%	12,73%	12,28%	14,58%	14,39%	15,24%	12,94%	15,96%	16,28%	15,07%	16,27%	16,88%	16,05%	13,73%
Espessartita	3,71%	3,46%	3,20%	3,16%	3,07%	3,10%	3,14%	3,05%	3,07%	3,17%	3,24%	3,14%	3,19%	3,33%	3,65%
Andradita	0,00%	1,91%	4,17%	4,91%	2,54%	2,49%	2,52%	4,45%	2,20%	2,04%	3,57%	2,14%	1,47%	1,66%	3,65%
Uvarovita	0,10%	0,05%	0,10%	0,10%	0,15%	0,00%	0,00%	0,15%	0,10%	0,00%	0,05%	0,10%	0,00%	0,05%	0,10%

Tabela 22– Análises químicas de granada da *Nappe* Socorro-Guaxupé

IC-06-R																				
Grão-Análise	grt4-1	grt4-2	grt4-3	grt4-4	grt4-5	grt4-6	grt4-7	grt4-8	grt4-9	grt4-10	grt4-11	grt4-12	grt4-13	grt4-14	grt4-15	grt4-16	grt4-17	grt4-18	grt4-19	grt4-20
SiO ₂	38,82	39,16	38,97	38,87	38,59	38,93	39,04	39,04	38,83	39,21	38,91	39,20	39,19	39,13	39,11	39,53	39,32	38,71	38,14	38,62
TiO ₂	0,06	0,07	0,09	0,06	0,07	0,08	0,04	0,10	0,09	0,01	0,07	0,04	0,06	0,07	0,10	0,06	0,04	0,03	0,04	0,08
Al ₂ O ₃	21,77	21,84	21,70	21,56	21,85	21,95	22,00	21,70	22,11	21,98	21,88	22,00	21,85	21,87	21,88	21,65	21,85	22,17	21,28	21,69
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,04
Fe ₂ O ₃	0,61	0,30	0,87	0,64	1,19	1,22	0,43	0,49	0,71	0,60	1,14	0,94	0,00	0,39	0,61	0,00	0,52	0,82	1,10	0,21
FeO	25,12	25,04	24,33	24,33	23,84	23,96	24,42	24,33	24,15	24,41	24,00	24,18	24,48	24,32	24,33	24,78	24,49	24,15	23,92	26,22
MnO	1,36	1,35	1,31	1,34	1,25	1,26	1,25	1,28	1,30	1,30	1,30	1,32	1,31	1,26	1,28	1,27	1,28	1,37	1,34	1,51
MgO	7,03	7,34	7,57	7,54	7,72	7,82	7,73	7,73	7,65	7,73	7,78	7,82	7,62	7,69	7,69	7,58	7,68	7,48	7,28	6,02
CaO	5,81	5,77	5,88	5,78	5,73	5,81	5,66	5,75	5,78	5,77	5,78	5,82	5,64	5,90	5,87	5,93	5,91	5,81	5,77	6,07
Na ₂ O	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
K ₂ O	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
Total	100,58	100,86	100,72	100,13	100,25	101,04	100,57	100,42	100,62	101,03	100,86	101,32	100,18	100,65	100,87	100,81	101,09	100,55	98,88	100,46
Oxigênios	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	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Si	2,990	3,001	2,989	2,998	2,970	2,972	2,992	2,998	2,976	2,993	2,976	2,984	3,012	2,997	2,991	3,023	3,000	2,971	2,984	2,996
Ti	0,004	0,004	0,005	0,003	0,004	0,005	0,002	0,005	0,005	0,000	0,004	0,002	0,003	0,004	0,006	0,004	0,002	0,002	0,002	0,005
Al	1,977	1,973	1,962	1,960	1,983	1,976	1,987	1,965	1,998	1,978	1,973	1,974	1,980	1,975	1,972	1,952	1,965	2,006	1,963	1,984
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,002
Fe ³⁺	0,035	0,017	0,050	0,037	0,069	0,070	0,025	0,028	0,041	0,035	0,066	0,054	0,000	0,023	0,035	0,000	0,030	0,048	0,065	0,012
Fe ²⁺	1,619	1,605	1,560	1,569	1,534	1,530	1,565	1,562	1,548	1,558	1,536	1,539	1,574	1,557	1,556	1,585	1,563	1,550	1,565	1,701
Mn	0,089	0,088	0,085	0,088	0,082	0,082	0,081	0,083	0,084	0,084	0,084	0,085	0,085	0,082	0,083	0,083	0,083	0,089	0,089	0,099
Mg	0,807	0,838	0,865	0,867	0,885	0,890	0,883	0,885	0,874	0,879	0,887	0,887	0,873	0,878	0,876	0,864	0,873	0,856	0,849	0,696
Ca	0,480	0,474	0,483	0,478	0,473	0,475	0,465	0,473	0,475	0,472	0,474	0,475	0,465	0,484	0,481	0,486	0,483	0,478	0,484	0,505
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	7,994	8,000	8,000	7,997	8,000	8,000	8,000	8,000
Membros-finais																				
Almandina	54,06	53,41	52,12	52,27	51,58	51,39	52,27	52,01	51,93	52,05	51,53	51,54	52,52	51,88	51,94	52,52	52,07	52,14	52,39	56,68
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Piropo	26,94	27,89	28,90	28,88	29,76	29,90	29,49	29,47	29,32	29,37	29,76	29,71	29,13	29,26	29,24	28,63	29,08	28,79	28,42	23,19
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Grossulária	14,29	14,92	13,65	14,07	12,54	12,53	14,29	14,35	13,92	13,98	12,66	13,20	15,41	14,93	14,31	16,10	14,59	13,69	12,95	16,13
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Espessartita	2,97%	2,93%	2,84%	2,93%	2,76%	2,75%	2,71%	2,76%	2,82%	2,81%	2,82%	2,85%	2,84%	2,73%	2,77%	2,75%	2,76%	2,99%	2,98%	3,30%
Andradita	1,74%	0,85%	2,49%	1,85%	3,36%	3,42%	1,24%	1,40%	2,01%	1,74%	3,24%	2,66%	0,00%	1,15%	1,74%	0,00%	1,50%	2,34%	3,20%	0,60%
Uvarovita	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,05%	0,00%	0,05%	0,10%	0,05%	0,00%	0,00%	0,00%	0,05%	0,05%	0,10%

Tabela 23 – Análises químicas de granada da *Nappe* Socorro-Guaxupé

IC-06-R															
Grão-Análise	grt5-1	grt5-2	grt5-3	grt5-4	grt5-5	grt5-6	grt5-7	grt5-8	grt5-9	grt5-10	grt5-11	grt5-12	grt5-13	grt5-14	grt5-15
SiO ₂	38,96	39,01	39,25	38,96	38,82	38,86	38,82	39,21	38,91	39,19	39,02	39,12	38,92	39,05	38,89
TiO ₂	0,08	0,09	0,01	0,04	0,10	0,06	0,07	0,08	0,07	0,06	0,10	0,08	0,07	0,08	0,03
Al ₂ O ₃	21,47	21,73	21,88	21,93	21,81	21,88	21,84	21,98	21,85	22,06	21,87	21,85	21,95	21,78	21,50
Cr ₂ O ₃	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,03
Fe ₂ O ₃	0,43	0,64	0,34	1,03	1,08	0,83	0,67	0,29	0,85	0,15	0,50	0,60	1,12	0,12	0,76
FeO	25,66	24,71	24,70	23,94	23,63	23,88	23,93	24,06	23,58	24,06	23,60	23,12	22,93	24,07	24,55
MnO	1,43	1,30	1,23	1,25	1,15	1,14	1,09	1,13	1,10	1,09	1,08	1,08	1,10	1,21	1,41
MgO	6,74	7,35	7,56	7,66	7,80	7,78	7,63	7,61	7,65	7,60	7,45	7,20	7,03	7,02	7,09
CaO	5,88	5,93	5,88	6,06	6,10	5,95	6,12	6,39	6,45	6,41	6,85	7,65	7,83	6,99	6,18
Na ₂ O	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 ₂ O	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	100,68	100,78	100,87	100,89	100,50	100,41	100,18	100,76	100,49	100,63	100,47	100,71	100,95	100,34	100,44
Oxigênios	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	3,006	2,993	3,002	2,979	2,977	2,982	2,986	2,997	2,983	2,997	2,992	2,993	2,975	3,004	2,998
Ti	0,004	0,005	0,001	0,002	0,005	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005	0,004	0,005	0,002
Al	1,953	1,966	1,973	1,977	1,972	1,979	1,981	1,980	1,975	1,989	1,977	1,971	1,978	1,975	1,954
Cr	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002
Fe ³⁺	0,025	0,037	0,019	0,059	0,063	0,048	0,039	0,017	0,049	0,008	0,029	0,034	0,065	0,007	0,044
Fe ²⁺	1,656	1,586	1,580	1,531	1,515	1,533	1,540	1,538	1,512	1,539	1,513	1,479	1,466	1,549	1,583
Mn	0,093	0,084	0,080	0,081	0,075	0,074	0,071	0,073	0,072	0,071	0,070	0,070	0,071	0,079	0,092
Mg	0,775	0,840	0,862	0,873	0,891	0,890	0,875	0,867	0,874	0,866	0,851	0,821	0,801	0,805	0,815
Ca	0,486	0,488	0,482	0,497	0,501	0,489	0,504	0,523	0,530	0,525	0,563	0,627	0,641	0,576	0,511
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	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
Membros-finais															
Almandina	55,02%	52,90%	52,60%	51,34%	50,80%	51,34%	51,51%	51,25%	50,60%	51,28%	50,48%	49,35%	49,21%	51,48%	52,75%
Piropo	25,75%	28,02%	28,70%	29,28%	29,88%	29,81%	29,26%	28,89%	29,25%	28,86%	28,40%	27,39%	26,89%	26,75%	27,16%
Grossulária	14,78%	14,38%	15,04%	13,72%	13,66%	13,96%	14,93%	16,53%	15,22%	17,09%	17,34%	19,23%	18,34%	18,74%	14,73%
Espessartita	3,09%	2,80%	2,66%	2,72%	2,52%	2,48%	2,37%	2,43%	2,41%	2,37%	2,34%	2,34%	2,38%	2,63%	3,07%
Andradita	1,26%	1,85%	0,95%	2,90%	3,09%	2,37%	1,93%	0,85%	2,42%	0,40%	1,45%	1,70%	3,18%	0,35%	2,20%
Uvarovita	0,10%	0,05%	0,05%	0,05%	0,05%	0,05%	0,00%	0,05%	0,10%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,05%	0,10%

Tabela 24– Análises químicas de granada da *Nappe* Socorro-Guaxupé

IC-06-R															
Grão-Análise	grt6-1	grt6-2	grt6-3	grt6-4	grt6-5	grt6-6	grt6-7	grt6-8	grt6-9	grt6-10	grt6-11	grt6-12	grt6-13	grt6-14	grt6-15
SiO ₂	39,02	38,91	39,15	39,09	38,98	38,98	38,53	38,98	38,89	38,87	39,08	38,91	39,05	39,02	38,78
TiO ₂	0,05	0,05	0,07	0,04	0,07	0,10	0,03	0,05	0,08	0,09	0,05	0,07	0,04	0,11	0,06
Al ₂ O ₃	21,57	21,86	21,93	21,82	21,60	21,88	22,04	22,11	21,78	22,13	21,87	22,09	21,67	21,40	21,71
Cr ₂ O ₃	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,05
Fe ₂ O ₃	0,15	0,80	0,25	0,67	0,75	0,72	1,22	0,35	0,86	0,75	0,13	0,38	0,24	0,15	0,71
FeO	25,39	24,52	24,52	24,12	24,15	23,84	23,06	23,49	23,20	23,28	23,41	23,18	24,45	25,04	25,17
MnO	1,43	1,42	1,31	1,28	1,30	1,29	1,22	1,18	1,20	1,21	1,20	1,20	1,27	1,42	1,56
MgO	6,73	7,33	7,36	7,55	7,43	7,44	7,29	7,17	7,17	7,30	7,05	7,07	6,95	6,91	6,60
CaO	6,14	5,89	6,18	6,17	6,22	6,48	6,88	7,17	7,32	7,06	7,48	7,49	6,72	6,22	6,17
Na ₂ O	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 ₂ O	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	100,51	100,79	100,78	100,75	100,50	100,72	100,28	100,52	100,50	100,69	100,28	100,39	100,38	100,27	100,81
Oxigênios	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	3,011	2,985	2,998	2,993	2,996	2,986	2,963	2,988	2,985	2,975	3,003	2,986	3,007	3,014	2,989
Ti	0,003	0,003	0,004	0,002	0,004	0,006	0,002	0,003	0,004	0,005	0,003	0,004	0,002	0,006	0,003
Al	1,962	1,977	1,980	1,970	1,957	1,976	1,998	1,998	1,971	1,997	1,981	1,998	1,967	1,949	1,972
Cr	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,003
Fe ³⁺	0,009	0,046	0,014	0,038	0,043	0,041	0,071	0,020	0,050	0,043	0,008	0,022	0,014	0,009	0,041
Fe ²⁺	1,639	1,573	1,570	1,545	1,552	1,527	1,483	1,506	1,490	1,490	1,504	1,488	1,574	1,617	1,623
Mn	0,093	0,092	0,085	0,083	0,085	0,083	0,079	0,077	0,078	0,079	0,078	0,078	0,083	0,093	0,102
Mg	0,774	0,838	0,840	0,862	0,851	0,849	0,836	0,819	0,820	0,833	0,807	0,809	0,798	0,796	0,758
Ca	0,508	0,484	0,507	0,506	0,512	0,532	0,567	0,589	0,602	0,579	0,616	0,616	0,555	0,515	0,509
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	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
Membros-finais															
Almandina	54,38%	52,66%	52,30%	51,57%	51,73%	51,05%	50,02%	50,35%	49,83%	49,98%	50,05%	49,75%	52,29%	53,53%	54,24%
Piropo	25,68%	28,05%	27,98%	28,77%	28,37%	28,39%	28,20%	27,38%	27,42%	27,94%	26,86%	27,05%	26,51%	26,35%	25,33%
Grossulária	16,35%	13,88%	16,14%	15,00%	14,92%	15,75%	15,69%	18,65%	17,66%	17,32%	20,05%	19,51%	17,73%	16,54%	14,83%
Espeartita	3,09%	3,08%	2,83%	2,77%	2,83%	2,77%	2,66%	2,57%	2,61%	2,65%	2,60%	2,61%	2,76%	3,08%	3,41%
Andradita	0,46%	2,27%	0,70%	1,89%	2,15%	2,03%	3,43%	0,99%	2,47%	2,11%	0,40%	1,09%	0,71%	0,46%	2,03%
Uvarovita	0,05%	0,05%	0,05%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,05%	0,00%	0,00%	0,05%	0,00%	0,00%	0,05%	0,15%

Tabela 25 – Fórmulas estruturais e proporções moleculares de granada das *nappes* Três Pontas-Varginha e Socorro-Guaxupé

Unidade	Amostra	Cristal	Fórmula estrutural e proporções moleculares
NAPPE TRÊS PONTAS-VARGINHA (CALCIOSILICÁTICAS)	TPR-01-C	granada 1	$(\text{Fe}^{2+}_{1,40-1,53}, \text{Mn}_{0,03-0,05}, \text{Mg}_{0,63-0,76}, \text{Ca}_{0,72-0,89}) \text{Ti}_{0-0,01}, \text{Fe}^{3+}_{0-0,07}, \text{Al}_{1,95-2,00} (\text{Al}_{0-0,05}, \text{Si}_{2,95-3,00}) \text{O}_{12}$ Alm _{47,36-51,24} Prp _{21,09-25,47} Sps _{1,03-1,67} Grs _{23,09-27,79} And _{0-3,45} Uv _{0-0,24}
		granada 2	$(\text{Fe}^{2+}_{1,41-1,51}, \text{Mn}_{0,03-0,04}, \text{Mg}_{0,70-0,81}, \text{Ca}_{0,65-0,84}) \text{Ti}_{0-0,01}, \text{Fe}^{3+}_{0,01-0,07}, \text{Al}_{1,93-2,00} (\text{Al}_{0-0,03}, \text{Si}_{2,97-3,00}) \text{O}_{12}$ Alm _{47,22-50,62} Prp _{23,31-27,25} Sps _{0,90-1,31} Grs _{19,52-26,94} And _{0,30-3,22} Uv _{0-0,20}
		granada 3	$(\text{Fe}^{2+}_{1,39-1,54}, \text{Mn}_{0,03-0,07}, \text{Mg}_{0,57-0,80}, \text{Ca}_{0,68-0,92}) \text{Ti}_{0-0,01}, \text{Fe}^{3+}_{0,01-0,08}, \text{Al}_{1,91-2,00} (\text{Al}_{0-0,04}, \text{Si}_{2,96-3,00}) \text{O}_{12}$ Alm _{46,95-51,08} Prp _{18,99-26,95} Sps _{0,93-2,24} Grs _{19,51-29,01} And _{0,35-3,78} Uv _{0-0,15}
		granada 4	$(\text{Fe}^{2+}_{1,42-1,55}, \text{Mn}_{0,03-0,04}, \text{Mg}_{0,68-0,80}, \text{Ca}_{0,67-0,82}) \text{Ti}_{0-0,01}, \text{Fe}^{3+}_{0-0,08}, \text{Al}_{1,95-2,00} (\text{Al}_{0-0,04}, \text{Si}_{2,96-3,00}) \text{O}_{12}$ Alm _{47,66-51,86} Prp _{22,58-26,57} Sps _{0,93-1,47} Grs _{19,27-25,59} And _{0-3,99} Uv _{0-0,20}
		granada 5	$(\text{Fe}^{2+}_{1,41-1,56}, \text{Mn}_{0,03-0,08}, \text{Mg}_{0,50-0,80}, \text{Ca}_{0,68-0,99}) \text{Ti}_{0-0,01}, \text{Fe}^{3+}_{0-0,08}, \text{Al}_{1,93-2,00} (\text{Al}_{0-0,04}, \text{Si}_{2,96-3,00}) \text{O}_{12}$ Alm _{47,29-51,92} Prp _{16,71-26,68} Sps _{0,97-2,66} Grs _{20,38-31,93} And _{0-4,05} Uv _{0-0,20}
		granada 6	$(\text{Fe}^{2+}_{1,36-1,52}, \text{Mn}_{0,03-0,04}, \text{Mg}_{0,65-0,77}, \text{Ca}_{0,71-0,94}) \text{Ti}_{0-0,01}, \text{Fe}^{3+}_{0-0,07}, \text{Al}_{1,93-2,00} (\text{Al}_{0-0,04}, \text{Si}_{2,96-3,00}) \text{O}_{12}$ Alm _{45,54-51,23} Prp _{21,80-25,98} Sps _{0,98-1,43} Grs _{21,17-30,06} And _{0-3,27} Uv _{0-0,20}
	TPR-01-B	granada 1	$(\text{Fe}^{2+}_{1,46-1,56}, \text{Mn}_{0,03}, \text{Mg}_{0,69-0,80}, \text{Ca}_{0,68-0,74}) \text{Ti}_{0-0,01}, \text{Fe}^{3+}_{0-0,04}, \text{Al}_{1,96-2,00} (\text{Al}_{0-0,02}, \text{Si}_{2,98-3,00}) \text{O}_{12}$ Alm _{48,70-52,04} Prp _{23,06-26,47} Sps _{0,98-1,10} Grs _{20,68-24,15} And _{0-1,96} Uv _{0-0,20}
		granada 2	$(\text{Fe}^{2+}_{1,39-1,49}, \text{Mn}_{0,03-0,06}, \text{Mg}_{0,62-0,77}, \text{Ca}_{0,71-0,91}) \text{Ti}_{0-0,01}, \text{Fe}^{3+}_{0-0,02}, \text{Al}_{1,95-2,00} (\text{Al}_{0-0,01}, \text{Si}_{2,99-3,00}) \text{O}_{12}$ Alm _{46,67-50,40} Prp _{20,74-25,79} Sps _{1,03-1,83} Grs _{23,31-30,34} And _{0-1,10} Uv _{0-0,20}
		granada 3	$(\text{Fe}^{2+}_{1,46-1,54}, \text{Mn}_{0,03}, \text{Mg}_{0,73-0,80}, \text{Ca}_{0,67-0,71}) \text{Ti}_{0-0,01}, \text{Fe}^{3+}_{0,05}, \text{Al}_{1,93-1,99} (\text{Al}_{0-0,02}, \text{Si}_{2,98-3,00}) \text{O}_{12}$ Alm _{48,95-51,38} Prp _{24,33-26,62} Sps _{0,97-1,06} Grs _{19,91-23,30} And _{0-2,37} Uv _{0-0,20}
		granada 4	$(\text{Fe}^{2+}_{1,36-1,54}, \text{Mn}_{0,03}, \text{Mg}_{0,72-0,81}, \text{Ca}_{0,66-0,71}) \text{Ti}_{0-0,01}, \text{Fe}^{3+}_{0-0,04}, \text{Al}_{1,96-2,00} (\text{Al}_{0-0,02}, \text{Si}_{2,98-3,00}) \text{O}_{12}$ Alm _{48,71-51,44} Prp _{23,95-27,07} Sps _{1,00-1,14} Grs _{20,83-23,40} And _{0-1,78} Uv _{0-0,10}
		granada 5	$(\text{Fe}^{2+}_{1,40-1,60}, \text{Mn}_{0,03-0,04}, \text{Mg}_{0,68-0,79}, \text{Ca}_{0,66-0,83}) \text{Ti}_{0-0,01}, \text{Fe}^{3+}_{0-0,06}, \text{Al}_{1,93-2,00} (\text{Al}_{0-0,03}, \text{Si}_{2,97-3,00}) \text{O}_{12}$ Alm _{47,01-53,34} Prp _{22,63-26,17} Sps _{1,03-1,31} Grs _{20,49-26,79} And _{0-2,93} Uv _{0-0,20}
		granada 6	$(\text{Fe}^{2+}_{1,43-1,53}, \text{Mn}_{0,03-0,04}, \text{Mg}_{0,71-0,78}, \text{Ca}_{0,70-0,77}) \text{Ti}_{0-0,01}, \text{Fe}^{3+}_{0-0,05}, \text{Al}_{1,93-2,00} (\text{Al}_{0-0,03}, \text{Si}_{2,97-3,00}) \text{O}_{12}$ Alm _{47,94-51,29} Prp _{23,60-26,18} Sps _{1,00-1,17} Grs _{21,70-24,99} And _{0-2,59} Uv _{0-0,15}
		granada 7	$(\text{Fe}^{2+}_{1,43-1,62}, \text{Mn}_{0,03-0,04}, \text{Mg}_{0,69-0,80}, \text{Ca}_{0,65-0,79}) \text{Ti}_{0-0,01}, \text{Fe}^{3+}_{0-0,03}, \text{Al}_{1,94-2,00} (\text{Al}_{0-0,02}, \text{Si}_{2,98-3,00}) \text{O}_{12}$ Alm _{47,62-54,02} Prp _{22,89-26,63} Sps _{1,03-1,27} Grs _{21,00-24,99} And _{0-1,45} Uv _{0-0,15}
	TPR-01-F1	granada 1	$(\text{Fe}^{2+}_{1,26-1,36}, \text{Mn}_{0,03}, \text{Mg}_{0,73-0,85}, \text{Ca}_{0,81-0,85}) \text{Ti}_{0-0,01}, \text{Fe}^{3+}_{0-0,07}, \text{Al}_{1,96-2,00} (\text{Al}_{0-0,03}, \text{Si}_{2,97-3,00}) \text{O}_{12}$ Alm _{42,20-46,11} Prp _{24,65-28,43} Sps _{0,90-1,03} Grs _{24,75-28,19} And _{0-3,44} Uv _{0,05-0,40}
		granada 2	$(\text{Fe}^{2+}_{1,25-1,39}, \text{Mn}_{0,03}, \text{Mg}_{0,72-0,85}, \text{Ca}_{0,81-0,86}) \text{Ti}_{0-0,01}, \text{Fe}^{3+}_{0-0,06}, \text{Al}_{1,96-2,00} (\text{Al}_{0-0,03}, \text{Si}_{2,97-3,00}) \text{O}_{12}$ Alm _{41,92-46,60} Prp _{24,22-28,50} Sps _{0,94-1,08} Grs _{25,39-28,21} And _{0-2,72} Uv _{0,05-0,40}
		granada 3	$(\text{Fe}^{2+}_{1,25-1,38}, \text{Mn}_{0,03}, \text{Mg}_{0,72-0,85}, \text{Ca}_{0,83-0,86}) \text{Ti}_{0-0,01}, \text{Fe}^{3+}_{0-0,04}, \text{Al}_{1,95-2,00} (\text{Al}_{0-0,03}, \text{Si}_{2,97-3,00}) \text{O}_{12}$ Alm _{41,93-46,09} Prp _{24,01-28,42} Sps _{0,97-1,10} Grs _{25,92-28,52} And _{0-1,77} Uv _{0,05-0,35}
		granada 4	$(\text{Fe}^{2+}_{1,29-1,43}, \text{Mn}_{0,03-0,04}, \text{Mg}_{0,65-0,82}, \text{Ca}_{0,83-0,88}) \text{Ti}_{0-0,01}, \text{Fe}^{3+}_{0-0,06}, \text{Al}_{1,95-2,00} (\text{Al}_{0-0,03}, \text{Si}_{2,97-3,00}) \text{O}_{12}$ Alm _{43,23-47,89} Prp _{21,70-27,34} Sps _{0,97-1,37} Grs _{26,21-28,37} And _{0-3,11} Uv _{0-0,24}
		granada 5	$(\text{Fe}^{2+}_{1,28-1,33}, \text{Mn}_{0,03-0,05}, \text{Mg}_{0,74-0,84}, \text{Ca}_{0,80-0,89}) \text{Ti}_{0-0,01}, \text{Fe}^{3+}_{0-0,04}, \text{Al}_{1,95-2,00} (\text{Al}_{0-0,03}, \text{Si}_{2,97-3,00}) \text{O}_{12}$ Alm _{42,92-44,32} Prp _{24,73-28,26} Sps _{1,07-1,80} Grs _{25,84-29,39} And _{0-1,91} Uv _{0,05-0,30}
NAPPE SOCORRO-GUAXUPÉ (GRANULITO FÉLSICO)	IC-06-R	granada 1	$(\text{Fe}^{2+}_{1,51-1,66}, \text{Mn}_{0,09-0,11}, \text{Mg}_{0,73-0,84}, \text{Ca}_{0,50-0,56}) \text{Ti}_{0-0,01}, \text{Fe}^{3+}_{0-0,07}, \text{Al}_{1,93-1,99} (\text{Al}_{0-0,01}, \text{Si}_{2,99-3,00}) \text{O}_{12}$ Alm _{50,45-55,13} Prp _{24,38-27,97} Sps _{2,97-3,63} Grs _{13,88-16,43} And _{0-3,57} Uv _{0-0,15}
		granada 2	$(\text{Fe}^{2+}_{1,51-1,59}, \text{Mn}_{0,09-0,10}, \text{Mg}_{0,81-0,93}, \text{Ca}_{0,42-0,52}) \text{Ti}_{0-0,01}, \text{Fe}^{3+}_{0-0,06}, \text{Al}_{1,93-2,00} (\text{Al}_{0-0,02}, \text{Si}_{2,98-3,00}) \text{O}_{12}$ Alm _{50,43-52,91} Prp _{27,07-31,17} Sps _{2,98-3,43} Grs _{12,88-16,63} And _{0,20-2,72} Uv _{0-0,15}
		granada 3	$(\text{Fe}^{2+}_{1,54-1,72}, \text{Mn}_{0,09-0,11}, \text{Mg}_{0,67-0,83}, \text{Ca}_{0,49-0,56}) \text{Ti}_{0-0,01}, \text{Fe}^{3+}_{0-0,01}, \text{Al}_{1,89-1,99} (\text{Al}_{0-0,04}, \text{Si}_{2,96-3,00}) \text{O}_{12}$ Alm _{51,64-57,62} Prp _{22,33-27,78} Sps _{3,05-3,71} Grs _{12,28-16,88} And _{0-4,91} Uv _{0-0,15}
		granada 4	$(\text{Fe}^{2+}_{1,53-1,70}, \text{Mn}_{0,08-0,10}, \text{Mg}_{0,70-0,89}, \text{Ca}_{0,47-0,51}) \text{Ti}_{0-0,01}, \text{Fe}^{3+}_{0-0,07}, \text{Al}_{1,92-2,00} (\text{Al}_{0-0,03}, \text{Si}_{2,97-3,00}) \text{O}_{12}$ Alm _{51,39-56,68} Prp _{23,19-29,90} Sps _{2,71-3,30} Grs _{12,53-16,13} And _{0-3,42} Uv _{0-0,10}
		granada 5	$(\text{Fe}^{2+}_{1,47-1,66}, \text{Mn}_{0,07-0,09}, \text{Mg}_{0,78-0,89}, \text{Ca}_{0,48-0,64}) \text{Ti}_{0-0,01}, \text{Fe}^{3+}_{0,01-0,07}, \text{Al}_{1,93-2,00} (\text{Al}_{0-0,02}, \text{Si}_{2,98-3,00}) \text{O}_{12}$ Alm _{49,21-55,02} Prp _{25,75-29,88} Sps _{2,34-3,09} Grs _{13,66-19,23} And _{0,35-3,18} Uv _{0-0,10}
		granada 6	$(\text{Fe}^{2+}_{1,48-1,64}, \text{Mn}_{0,08-0,10}, \text{Mg}_{0,76-0,86}, \text{Ca}_{0,48-0,62}) \text{Ti}_{0-0,01}, \text{Fe}^{3+}_{0,01-0,07}, \text{Al}_{1,91-2,00} (\text{Al}_{0-0,04}, \text{Si}_{2,96-3,00}) \text{O}_{12}$ Alm _{49,75-54,38} Prp _{25,33-28,77} Sps _{2,57-3,41} Grs _{13,88-20,05} And _{0,40-3,43} Uv _{0-0,15}

Tabela 26 – Análises químicas de clinopiroxênio da *Nappe* Três Pontas-Varginha

Grão-Análise	TPR-01-C								
	cpx1-1	cpx1-2	cpx1-4	cpx1-5	cpx1-6	cpx1-7	cpx1-8	cpx1-9	cpx1-10
SiO ₂	53,44	52,94	53,05	52,99	52,90	52,94	53,55	53,54	53,26
TiO ₂	0,35	0,38	0,36	0,34	0,37	0,30	0,27	0,39	0,25
Al ₂ O ₃	3,39	4,27	4,27	4,24	4,19	4,02	3,15	3,27	3,91
Cr ₂ O ₃	0,01	0,01	0,00	0,03	0,02	0,05	0,04	0,05	0,00
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	7,12	7,86	8,15	8,07	8,02	7,83	6,95	7,32	7,54
MnO	0,06	0,04	0,06	0,07	0,05	0,07	0,05	0,06	0,02
MgO	13,57	13,06	12,78	12,74	12,72	12,95	13,61	13,37	12,99
CaO	22,55	22,12	21,88	21,66	21,75	22,15	22,58	22,51	21,89
Na ₂ O	0,68	0,85	0,91	0,86	0,92	0,86	0,68	0,68	0,83
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Total	101,17	101,53	101,45	100,99	100,93	101,18	100,89	101,18	100,70
Oxigênios	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	1,950	1,930	1,936	1,940	1,939	1,937	1,958	1,954	1,951
Ti	0,009	0,011	0,010	0,009	0,010	0,008	0,007	0,011	0,007
Al	0,146	0,183	0,184	0,183	0,181	0,173	0,136	0,141	0,169
Cr	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	0,217	0,240	0,249	0,247	0,246	0,240	0,212	0,223	0,231
Mn	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001
Mg	0,738	0,709	0,695	0,695	0,695	0,706	0,742	0,727	0,709
Ca	0,881	0,864	0,856	0,850	0,854	0,868	0,885	0,880	0,859
Na	0,048	0,060	0,064	0,061	0,065	0,061	0,048	0,048	0,059
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	3,992	3,998	3,995	3,989	3,993	3,998	3,991	3,988	3,987
#Mg	77,277	74,710	73,623	73,779	73,858	74,630	77,778	76,526	75,426

Tabela 27 – Análises químicas de clinopiroxênio da *Nappe Três Pontas-Varginha*

TPR-01-C										
Grão-Análise	cpx2-1	cpx2-2	cpx2-3	cpx2-4	cpx2-5	cpx2-6	cpx2-7	cpx2-8	cpx2-9	cpx2-10
SiO ₂	52,89	52,68	52,55	52,77	52,58	52,74	52,87	52,71	52,65	52,91
TiO ₂	0,31	0,35	0,36	0,35	0,37	0,40	0,38	0,41	0,34	0,30
Al ₂ O ₃	3,96	4,19	4,15	4,27	4,21	4,20	4,18	4,25	4,41	3,73
Cr ₂ O ₃	0,06	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,03	0,03	0,03
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	7,99	8,23	8,36	8,43	8,66	8,80	8,67	8,50	8,31	7,95
MnO	0,03	0,09	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,10	0,05	0,06
MgO	12,82	12,46	12,43	12,39	12,44	12,41	12,45	12,53	12,38	13,05
CaO	21,75	21,44	21,14	20,96	21,07	20,93	20,96	21,39	21,14	22,05
Na ₂ O	0,94	1,05	1,08	1,13	1,15	1,17	1,19	1,05	1,03	0,82
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,03	0,00
Total	100,74	100,49	100,12	100,37	100,66	100,72	100,77	100,99	100,38	100,91
Oxigênios	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	1,943	1,941	1,943	1,945	1,938	1,942	1,944	1,935	1,941	1,942
Ti	0,009	0,010	0,010	0,010	0,010	0,011	0,010	0,011	0,010	0,008
Al	0,171	0,182	0,181	0,186	0,183	0,182	0,181	0,184	0,192	0,161
Cr	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	0,245	0,254	0,259	0,260	0,267	0,271	0,267	0,261	0,256	0,244
Mn	0,001	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002
Mg	0,702	0,684	0,685	0,681	0,683	0,681	0,682	0,686	0,680	0,714
Ca	0,856	0,847	0,838	0,828	0,832	0,826	0,826	0,842	0,835	0,867
Na	0,067	0,075	0,077	0,081	0,082	0,083	0,085	0,075	0,074	0,059
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Soma	3,995	3,995	3,995	3,992	4,000	3,998	3,997	3,998	3,991	3,998
#Mg	74,129	72,921	72,564	72,370	71,895	71,534	71,865	72,439	72,650	74,530

Tabela 28 – Análises químicas de clinopiroxênio da *Nappe* Três Pontas-Varginha

TPR-01-C										
Grão-Análise	cpx3-1	cpx3-2	cpx3-3	cpx3-4	cpx3-5	cpx3-6	cpx3-7	cpx3-8	cpx3-9	cpx3-10
SiO ₂	53,61	53,73	53,11	53,08	53,10	53,18	53,41	53,08	53,07	53,25
TiO ₂	0,29	0,23	0,39	0,41	0,40	0,36	0,31	0,32	0,39	0,26
Al ₂ O ₃	3,52	3,69	3,97	4,10	4,14	4,02	4,09	4,14	3,97	3,60
Cr ₂ O ₃	0,02	0,01	0,00	0,02	0,00	0,10	0,01	0,02	0,05	0,06
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	7,86	7,93	8,02	8,06	8,04	8,08	8,05	8,09	7,70	7,48
MnO	0,07	0,06	0,07	0,06	0,08	0,07	0,05	0,07	0,02	0,05
MgO	13,00	12,94	12,87	12,82	12,82	12,86	12,84	12,80	12,77	13,14
CaO	21,62	22,07	21,68	21,76	21,81	21,84	21,61	22,19	21,87	22,57
Na ₂ O	0,87	0,84	0,89	0,89	0,89	0,88	0,84	0,90	0,82	0,75
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Total	100,86	101,49	100,99	101,19	101,28	101,39	101,22	101,61	100,66	101,16
Oxigênios	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	1,962	1,957	1,945	1,941	1,940	1,941	1,949	1,936	1,947	1,947
Ti	0,008	0,006	0,011	0,011	0,011	0,010	0,009	0,009	0,011	0,007
Al	0,152	0,158	0,171	0,177	0,178	0,173	0,176	0,178	0,172	0,155
Cr	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,001	0,002
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	0,241	0,242	0,246	0,246	0,246	0,247	0,246	0,247	0,236	0,229
Mn	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001
Mg	0,709	0,702	0,702	0,699	0,698	0,700	0,698	0,696	0,698	0,716
Ca	0,848	0,861	0,851	0,852	0,854	0,854	0,845	0,867	0,860	0,884
Na	0,062	0,059	0,063	0,063	0,063	0,062	0,060	0,063	0,058	0,053
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Soma	3,984	3,987	3,990	3,991	3,992	3,992	3,985	3,998	3,985	3,994
#Mg	74,632	74,364	74,051	73,968	73,941	73,918	73,941	73,807	74,732	75,767

Tabela 29 – Análises químicas de clinopiroxênio da *Nappe* Três Pontas-Varginha

TPR-01-C										
Grão-Análise	cpx4-1	cpx4-2	cpx4-3	cpx4-4	cpx4-5	cpx4-6	cpx4-7	cpx4-8	cpx4-9	cpx4-10
SiO ₂	53,46	53,21	52,99	52,81	53,08	52,96	53,22	53,22	53,01	53,17
TiO ₂	0,21	0,25	0,34	0,44	0,36	0,44	0,36	0,35	0,30	0,31
Al ₂ O ₃	2,66	3,34	4,08	4,13	4,19	4,16	4,13	4,08	4,08	3,60
Cr ₂ O ₃	0,03	0,01	0,02	0,00	0,03	0,04	0,01	0,04	0,03	0,02
Fe ₂ O ₃	1,31	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	5,79	7,11	8,04	7,96	8,13	8,00	8,48	8,05	7,90	7,58
MnO	0,08	0,04	0,06	0,04	0,07	0,07	0,05	0,07	0,04	0,08
MgO	14,48	13,55	12,88	12,59	12,48	12,49	12,73	12,78	12,75	12,95
CaO	22,97	22,84	21,87	22,00	21,67	21,57	21,34	21,97	21,93	22,25
Na ₂ O	0,64	0,71	0,82	0,89	0,95	0,97	0,98	0,94	0,88	0,74
K ₂ O	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01
Total	101,63	101,49	101,11	100,86	100,97	100,71	101,30	101,53	100,94	100,71
Oxigênios	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	1,942	1,940	1,939	1,938	1,945	1,945	1,945	1,941	1,943	1,952
Ti	0,006	0,007	0,009	0,012	0,010	0,012	0,010	0,010	0,008	0,009
Al	0,114	0,144	0,176	0,179	0,181	0,180	0,178	0,175	0,176	0,156
Cr	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000
Fe ³⁺	0,036	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	0,176	0,217	0,246	0,244	0,249	0,246	0,259	0,245	0,242	0,233
Mn	0,002	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,001	0,002
Mg	0,784	0,736	0,703	0,689	0,681	0,683	0,693	0,695	0,696	0,708
Ca	0,894	0,892	0,858	0,865	0,851	0,849	0,835	0,858	0,861	0,875
Na	0,045	0,050	0,058	0,064	0,067	0,069	0,070	0,067	0,063	0,053
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000
Soma	4,000	4,000	3,992	3,992	3,988	3,988	3,991	3,995	3,992	3,988
#Mg	81,667	77,230	74,078	73,848	73,226	73,520	72,794	73,936	74,200	75,239

Tabela 30 – Análises químicas de clinopiroxênio da *Nappe* Três Pontas-Varginha

TPR-01-C										
Grão-Análise	cpx5-1	cpx5-2	cpx5-3	cpx5-4	cpx5-5	cpx5-6	cpx5-7	cpx5-8	cpx5-9	cpx5-10
SiO ₂	53,17	52,67	52,52	52,79	52,72	52,89	53,12	52,88	52,59	53,12
TiO ₂	0,35	0,29	0,32	0,32	0,38	0,34	0,31	0,31	0,32	0,35
Al ₂ O ₃	3,92	4,24	4,11	4,07	4,30	4,10	3,53	3,95	4,07	3,29
Cr ₂ O ₃	0,02	0,03	0,02	0,00	0,02	0,00	0,04	0,01	0,03	0,03
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	7,78	7,92	7,93	7,90	7,82	7,83	7,45	7,84	7,98	7,45
MnO	0,05	0,06	0,09	0,06	0,05	0,08	0,08	0,06	0,05	0,02
MgO	12,74	12,65	12,63	12,78	12,76	12,97	13,15	12,87	12,84	13,20
CaO	22,22	21,95	22,03	21,98	22,32	21,94	22,35	22,08	21,79	22,43
Na ₂ O	0,82	0,82	0,92	0,79	0,90	0,88	0,67	0,85	0,83	0,68
K ₂ O	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02
Total	101,08	100,65	100,58	100,70	101,41	101,05	100,71	100,87	100,49	100,59
Oxigênios	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	1,946	1,937	1,935	1,940	1,927	1,937	1,949	1,940	1,937	1,952
Ti	0,010	0,008	0,009	0,009	0,011	0,009	0,009	0,009	0,009	0,010
Al	0,169	0,184	0,179	0,176	0,185	0,177	0,153	0,171	0,177	0,143
Cr	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	0,238	0,244	0,244	0,243	0,239	0,240	0,229	0,241	0,246	0,229
Mn	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	0,001
Mg	0,695	0,693	0,694	0,700	0,695	0,708	0,719	0,704	0,705	0,723
Ca	0,871	0,865	0,870	0,865	0,874	0,861	0,879	0,868	0,860	0,883
Na	0,059	0,058	0,066	0,056	0,064	0,063	0,048	0,061	0,059	0,048
K	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001
Soma	3,989	3,992	4,000	3,992	4,000	3,997	3,989	3,996	3,995	3,991
#Mg	74,491	73,959	73,987	74,231	74,411	74,684	75,844	74,497	74,132	75,945

Tabela 31 – Análises químicas de clinopiroxênio da *Nappe Três Pontas-Varginha*

TPR-01-C										
Grão-Análise	cpx6-1	cpx6-2	cpx6-3	cpx6-4	cpx6-5	cpx6-6	cpx6-7	cpx6-8	cpx6-9	cpx6-10
SiO ₂	52,71	52,51	53,04	52,95	52,70	52,65	52,90	52,77	52,60	53,18
TiO ₂	0,45	0,40	0,40	0,31	0,43	0,46	0,47	0,34	0,35	0,34
Al ₂ O ₃	4,19	4,36	4,29	4,24	4,31	4,30	4,30	4,25	4,11	3,44
Cr ₂ O ₃	0,02	0,02	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	7,73	8,02	8,13	8,22	8,12	8,14	8,21	7,88	7,88	7,61
MnO	0,04	0,03	0,07	0,05	0,07	0,09	0,07	0,03	0,06	0,06
MgO	12,59	12,45	12,59	12,43	12,51	12,49	12,51	12,66	12,74	13,17
CaO	22,01	21,46	21,28	21,32	21,47	21,69	21,42	21,67	21,73	22,18
Na ₂ O	0,93	0,97	1,00	1,01	0,97	0,99	0,96	0,84	0,83	0,75
K ₂ O	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
Total	100,68	100,25	100,81	100,57	100,59	100,82	100,85	100,44	100,30	100,73
Oxigênios	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	1,937	1,938	1,944	1,947	1,938	1,935	1,940	1,941	1,940	1,952
Ti	0,012	0,011	0,011	0,009	0,012	0,013	0,013	0,009	0,010	0,009
Al	0,182	0,190	0,185	0,184	0,187	0,186	0,186	0,184	0,179	0,149
Cr	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	0,238	0,248	0,249	0,253	0,250	0,250	0,252	0,242	0,243	0,234
Mn	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002	0,001	0,002	0,002
Mg	0,689	0,685	0,688	0,681	0,686	0,684	0,684	0,694	0,700	0,720
Ca	0,867	0,849	0,836	0,840	0,846	0,854	0,842	0,854	0,859	0,872
Na	0,066	0,070	0,071	0,072	0,069	0,071	0,068	0,060	0,059	0,053
K	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	3,993	3,991	3,988	3,988	3,991	3,995	3,988	3,987	3,991	3,991
#Mg	74,326	73,419	73,426	72,912	73,291	73,233	73,077	74,145	74,231	75,472

Tabela 32 – Análises químicas de clinopiroxênio da *Nappe* Três Pontas-Varginha

TPR-01-C										
Grão-Análise	cpx7-1	cpx7-2	cpx7-3	cpx7-4	cpx7-5	cpx7-6	cpx7-7	cpx7-8	cpx7-9	cpx7-10
SiO ₂	53,76	52,65	52,87	52,66	52,84	52,92	53,08	52,95	52,90	52,97
TiO ₂	0,26	0,32	0,38	0,43	0,36	0,46	0,42	0,33	0,28	0,35
Al ₂ O ₃	2,85	4,18	4,17	4,26	4,29	4,28	4,18	4,11	4,21	3,95
Cr ₂ O ₃	0,02	0,00	0,00	0,04	0,03	0,02	0,06	0,00	0,00	0,00
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	7,03	7,80	8,18	8,36	8,63	8,31	8,36	8,61	8,38	7,54
MnO	0,08	0,05	0,05	0,05	0,08	0,06	0,07	0,04	0,08	0,04
MgO	13,87	12,88	12,67	12,57	12,53	12,51	12,55	12,66	12,61	13,13
CaO	22,78	21,93	21,54	21,34	21,27	21,36	21,37	21,27	21,31	22,16
Na ₂ O	0,58	0,86	0,94	1,00	1,05	1,02	1,03	0,96	0,94	0,78
K ₂ O	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01
Total	101,23	100,67	100,82	100,70	101,09	100,94	101,11	100,97	100,72	100,93
Oxigênios	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	1,960	1,935	1,941	1,937	1,938	1,940	1,943	1,943	1,944	1,939
Ti	0,007	0,009	0,011	0,012	0,010	0,013	0,012	0,009	0,008	0,010
Al	0,123	0,181	0,180	0,185	0,185	0,185	0,180	0,178	0,182	0,171
Cr	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	0,214	0,240	0,251	0,257	0,265	0,255	0,256	0,264	0,258	0,231
Mn	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	0,001	0,003	0,001
Mg	0,754	0,705	0,693	0,689	0,685	0,684	0,685	0,692	0,691	0,716
Ca	0,890	0,864	0,847	0,841	0,836	0,839	0,838	0,836	0,839	0,869
Na	0,041	0,061	0,067	0,071	0,075	0,072	0,073	0,068	0,067	0,055
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001
Soma	3,992	3,996	3,992	3,994	3,997	3,990	3,991	3,994	3,991	3,994
#Mg	77,893	74,603	73,411	72,833	72,105	72,843	72,795	72,385	72,813	75,607

Tabela 33 – Análises químicas de clinopiroxênio da *Nappe* Três Pontas-Varginha

TPR-01-B										
Grão-Análise	cpx1-1	cpx1-2	cpx1-3	cpx1-4	cpx1-5	cpx1-6	cpx1-7	cpx1-8	cpx1-9	cpx1-10
SiO ₂	52,78	52,70	52,62	52,55	52,60	52,96	52,76	52,83	52,59	53,01
TiO ₂	0,30	0,21	0,36	0,28	0,35	0,42	0,42	0,34	0,36	0,28
Al ₂ O ₃	3,23	3,65	3,85	4,01	4,04	4,04	4,04	3,98	3,95	4,03
Cr ₂ O ₃	0,01	0,01	0,06	0,02	0,00	0,01	0,03	0,05	0,01	0,00
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	7,59	7,84	7,96	8,00	8,17	7,92	7,84	7,52	7,51	7,36
MnO	0,07	0,04	0,06	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,07	0,07
MgO	13,14	12,90	12,70	12,62	12,48	12,37	12,48	12,80	12,83	12,75
CaO	21,84	21,42	21,10	21,29	21,11	21,19	21,22	21,58	21,96	21,63
Na ₂ O	0,83	0,92	0,87	0,94	0,93	0,90	0,95	0,88	0,83	0,86
K ₂ O	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Total	99,80	99,68	99,59	99,80	99,75	99,87	99,80	100,01	100,12	100,01
Oxigênios	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	1,956	1,954	1,952	1,947	1,950	1,957	1,952	1,949	1,941	1,954
Ti	0,008	0,006	0,010	0,008	0,010	0,012	0,012	0,009	0,010	0,008
Al	0,141	0,160	0,168	0,175	0,177	0,176	0,176	0,173	0,172	0,175
Cr	0,000	0,000	0,002	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	0,235	0,243	0,247	0,248	0,253	0,245	0,243	0,232	0,232	0,227
Mn	0,002	0,001	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002
Mg	0,726	0,713	0,702	0,697	0,689	0,681	0,688	0,704	0,706	0,700
Ca	0,867	0,851	0,839	0,845	0,838	0,839	0,841	0,853	0,869	0,854
Na	0,060	0,066	0,063	0,068	0,067	0,064	0,068	0,063	0,060	0,062
K	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	3,995	3,993	3,985	3,991	3,986	3,976	3,982	3,986	3,992	3,982
#Mg	75,546	74,582	73,973	73,757	73,142	73,542	73,899	75,214	75,267	75,512

Tabela 34 – Análises químicas de clinopiroxênio da *Nappe* Três Pontas-Varginha

TPR-01-B										
Grão-Análise	cpx2-1	cpx2-2	cpx2-3	cpx2-4	cpx2-5	cpx2-6	cpx2-7	cpx2-8	cpx2-9	cpx2-10
SiO ₂	53,10	52,67	52,56	52,52	52,51	52,33	52,24	52,22	52,45	52,61
TiO ₂	0,25	0,33	0,40	0,34	0,38	0,43	0,37	0,33	0,32	0,32
Al ₂ O ₃	3,25	3,83	3,87	3,95	3,83	4,03	4,03	4,06	4,08	3,54
Cr ₂ O ₃	0,04	0,00	0,02	0,00	0,02	0,03	0,03	0,06	0,04	0,04
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	7,42	7,60	8,07	7,88	7,44	7,75	7,84	7,74	7,68	7,41
MnO	0,07	0,09	0,05	0,04	0,08	0,03	0,04	0,07	0,01	0,04
MgO	13,15	12,77	12,64	12,60	12,82	12,79	12,57	12,61	12,62	12,92
CaO	21,72	21,53	21,34	21,55	21,74	21,76	21,45	21,41	21,20	21,68
Na ₂ O	0,77	0,84	0,88	0,86	0,88	0,92	0,88	0,88	0,91	0,82
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	99,77	99,65	99,83	99,75	99,71	100,07	99,45	99,38	99,30	99,37
Oxigênios	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	1,964	1,951	1,947	1,947	1,946	1,935	1,942	1,942	1,949	1,954
Ti	0,007	0,009	0,011	0,009	0,011	0,012	0,010	0,009	0,009	0,009
Al	0,142	0,167	0,169	0,173	0,167	0,176	0,177	0,178	0,179	0,155
Cr	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	0,229	0,235	0,250	0,244	0,231	0,240	0,244	0,241	0,239	0,230
Mn	0,002	0,003	0,002	0,001	0,003	0,001	0,001	0,002	0,000	0,001
Mg	0,725	0,705	0,698	0,696	0,708	0,705	0,697	0,699	0,699	0,715
Ca	0,861	0,855	0,847	0,856	0,863	0,862	0,855	0,853	0,844	0,863
Na	0,055	0,060	0,063	0,062	0,063	0,066	0,063	0,063	0,065	0,059
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	3,986	3,986	3,988	3,989	3,992	3,998	3,990	3,990	3,985	3,988
#Mg	75,996	75,000	73,629	74,043	75,399	74,603	74,070	74,362	74,520	75,661

Tabela 35 – Análises químicas de clinopiroxênio da *Nappe* Três Pontas-Varginha

TPR-01-B										
Grão-Análise	cpx3-1	cpx3-2	cpx3-3	cpx3-4	cpx3-5	cpx3-6	cpx3-7	cpx3-8	cpx3-9	cpx3-10
SiO ₂	52,76	52,46	52,52	52,19	52,44	52,62	52,60	53,09	52,86	52,88
TiO ₂	0,30	0,33	0,32	0,37	0,39	0,40	0,32	0,14	0,28	0,29
Al ₂ O ₃	3,35	3,98	4,17	4,22	4,29	4,19	3,79	3,22	3,46	3,79
Cr ₂ O ₃	0,04	0,00	0,07	0,03	0,00	0,05	0,02	0,02	0,00	0,01
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	7,63	7,55	7,58	7,83	7,84	7,94	7,33	7,67	7,93	7,71
MnO	0,06	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06	0,06	0,05	0,04	0,06
MgO	12,96	12,38	12,33	12,42	12,43	12,49	12,77	12,91	12,94	12,77
CaO	22,07	21,54	21,57	21,39	21,47	21,40	21,93	21,41	21,76	21,52
Na ₂ O	0,82	0,86	0,87	0,90	0,93	0,96	0,80	0,80	0,83	0,80
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
Total	99,99	99,15	99,49	99,42	99,86	100,11	99,62	99,32	100,10	99,82
Oxigênios	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	1,952	1,953	1,949	1,941	1,941	1,943	1,949	1,972	1,954	1,955
Ti	0,008	0,009	0,009	0,010	0,011	0,011	0,009	0,004	0,008	0,008
Al	0,146	0,175	0,182	0,185	0,187	0,182	0,166	0,141	0,151	0,165
Cr	0,001	0,000	0,002	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	0,236	0,235	0,235	0,244	0,243	0,245	0,227	0,238	0,245	0,238
Mn	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002
Mg	0,715	0,687	0,682	0,688	0,686	0,687	0,705	0,715	0,713	0,704
Ca	0,875	0,859	0,858	0,852	0,852	0,847	0,871	0,852	0,862	0,853
Na	0,059	0,062	0,063	0,065	0,067	0,069	0,057	0,057	0,060	0,057
K	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Soma	3,995	3,982	3,981	3,989	3,988	3,988	3,987	3,982	3,993	3,983
#Mg	75,184	74,512	74,373	73,820	73,843	73,712	75,644	75,026	74,426	74,735

Tabela 36 – Análises químicas de clinopiroxênio da *Nappe* Três Pontas-Varginha

TPR-01-B										
Grão-Análise	cpx4-1	cpx4-2	cpx4-3	cpx4-4	cpx4-5	cpx4-6	cpx4-7	cpx4-8	cpx4-9	cpx4-10
SiO ₂	52,41	52,46	52,53	52,38	51,80	52,33	52,45	52,63	52,89	53,01
TiO ₂	0,32	0,39	0,39	0,34	0,31	0,33	0,31	0,30	0,23	0,22
Al ₂ O ₃	3,57	4,02	4,07	4,08	4,03	3,99	3,94	3,77	3,31	2,86
Cr ₂ O ₃	0,02	0,00	0,00	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	7,00	7,69	7,73	8,12	7,85	7,66	7,63	7,51	7,46	7,21
MnO	0,08	0,09	0,08	0,03	0,04	0,05	0,08	0,03	0,08	0,03
MgO	13,05	12,60	12,72	12,62	12,64	12,59	12,67	12,80	13,15	13,29
CaO	21,76	21,50	21,59	21,26	20,86	21,15	21,56	21,47	21,96	22,12
Na ₂ O	0,72	0,89	0,90	0,91	0,94	0,89	0,86	0,82	0,72	0,67
K ₂ O	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,03	0,02
Total	98,93	99,64	100,04	99,76	98,51	99,01	99,50	99,33	99,85	99,43
Oxigênios	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	1,953	1,945	1,941	1,942	1,943	1,951	1,947	1,955	1,957	1,968
Ti	0,009	0,011	0,011	0,010	0,009	0,009	0,009	0,008	0,006	0,006
Al	0,157	0,176	0,177	0,178	0,178	0,175	0,172	0,165	0,144	0,125
Cr	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	0,218	0,238	0,239	0,252	0,246	0,239	0,237	0,233	0,231	0,224
Mn	0,002	0,003	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,003	0,001
Mg	0,725	0,696	0,701	0,697	0,707	0,699	0,701	0,708	0,725	0,735
Ca	0,869	0,854	0,855	0,845	0,839	0,845	0,858	0,854	0,871	0,880
Na	0,052	0,064	0,064	0,065	0,068	0,064	0,062	0,059	0,052	0,048
K	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001
Soma	3,985	3,988	3,992	3,991	3,993	3,985	3,989	3,984	3,990	3,988
#Mg	76,882	74,518	74,574	73,446	74,187	74,520	74,733	75,239	75,837	76,642

Tabela 37 – Análises químicas de clinopiroxênio da *Nappe Três Pontas-Varginha*

TPR-01-B										
Grão-Análise	cpx5-1	cpx5-2	cpx5-3	cpx5-4	cpx5-5	cpx5-6	cpx5-7	cpx5-8	cpx5-9	cpx5-10
SiO ₂	53,31	52,75	52,69	52,74	52,84	52,77	52,85	52,48	52,81	52,83
TiO ₂	0,22	0,36	0,34	0,39	0,44	0,35	0,35	0,35	0,36	0,36
Al ₂ O ₃	3,20	4,28	4,22	4,11	4,23	4,18	4,25	4,17	4,01	4,01
Cr ₂ O ₃	0,01	0,05	0,03	0,03	0,03	0,06	0,05	0,02	0,02	0,01
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	7,45	8,17	8,40	8,27	8,32	8,34	8,47	8,13	8,17	7,69
MnO	0,02	0,04	0,07	0,04	0,06	0,07	0,07	0,08	0,07	0,04
MgO	13,34	12,49	12,53	12,52	12,37	12,27	12,41	12,45	12,71	12,69
CaO	22,01	21,19	21,36	21,51	21,04	21,11	21,21	21,72	21,71	21,72
Na ₂ O	0,71	0,96	0,98	0,98	0,98	1,03	0,98	0,93	0,90	0,86
K ₂ O	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100,29	100,29	100,62	100,61	100,32	100,19	100,64	100,33	100,76	100,21
Oxigênios	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	1,962	1,944	1,940	1,941	1,947	1,949	1,944	1,938	1,941	1,947
Ti	0,006	0,010	0,009	0,011	0,012	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
Al	0,139	0,186	0,183	0,178	0,184	0,182	0,184	0,182	0,174	0,174
Cr	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,000	0,001	0,000
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	0,229	0,252	0,259	0,255	0,256	0,258	0,261	0,251	0,251	0,237
Mn	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002	0,001
Mg	0,732	0,686	0,687	0,687	0,679	0,675	0,680	0,685	0,696	0,697
Ca	0,868	0,837	0,843	0,848	0,831	0,835	0,836	0,859	0,855	0,858
Na	0,051	0,068	0,070	0,070	0,070	0,074	0,070	0,066	0,064	0,061
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	3,988	3,986	3,994	3,993	3,983	3,986	3,989	3,995	3,994	3,986
#Mg	76,171	73,134	72,622	72,930	72,620	72,347	72,264	73,184	73,495	74,625

Tabela 38 – Análises químicas de clinopiroxênio da *Nappe* Três Pontas-Varginha

TPR-01-B										
Grão-Análise	cpx6-1	cpx6-2	cpx6-3	cpx6-4	cpx6-5	cpx6-6	cpx6-7	cpx6-8	cpx6-9	cpx6-10
SiO ₂	52,88	52,79	52,68	52,63	52,69	52,55	52,87	52,51	52,98	52,98
TiO ₂	0,36	0,32	0,42	0,38	0,33	0,39	0,28	0,35	0,35	0,31
Al ₂ O ₃	4,14	4,04	4,17	4,11	4,16	3,90	3,97	3,89	3,80	3,65
Cr ₂ O ₃	0,01	0,01	0,00	0,08	0,07	0,00	0,01	0,04	0,00	0,07
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	8,07	8,00	8,11	8,02	8,14	7,93	7,93	7,84	7,91	7,63
MnO	0,06	0,05	0,08	0,08	0,07	0,02	0,08	0,07	0,08	0,04
MgO	12,66	12,77	12,64	12,75	12,70	12,76	12,79	12,82	12,94	12,94
CaO	21,52	21,51	21,35	21,71	21,85	21,67	21,43	21,57	21,59	22,18
Na ₂ O	0,95	0,91	0,93	0,91	0,90	0,81	0,91	0,87	0,89	0,78
K ₂ O	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,03	0,02	0,00
Total	100,65	100,41	100,38	100,67	100,92	100,03	100,27	99,99	100,56	100,58
Oxigênios	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	1,943	1,944	1,941	1,936	1,935	1,943	1,949	1,943	1,948	1,948
Ti	0,010	0,009	0,012	0,010	0,009	0,011	0,008	0,010	0,010	0,009
Al	0,179	0,175	0,181	0,178	0,180	0,170	0,172	0,170	0,165	0,158
Cr	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,002
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	0,248	0,246	0,250	0,247	0,250	0,245	0,244	0,243	0,243	0,235
Mn	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,003	0,002	0,002	0,001
Mg	0,693	0,701	0,694	0,699	0,695	0,703	0,703	0,707	0,709	0,709
Ca	0,847	0,849	0,843	0,856	0,860	0,859	0,846	0,855	0,851	0,874
Na	0,068	0,065	0,066	0,065	0,064	0,058	0,065	0,063	0,063	0,056
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000
Soma	3,991	3,992	3,990	3,996	3,997	3,990	3,990	3,994	3,992	3,991
#Mg	73,645	74,023	73,517	73,890	73,545	74,156	74,234	74,421	74,475	75,106

Tabela 39 – Análises químicas de clinopiroxênio da *Nappe* Três Pontas-Varginha

TPR-01-B										
Grão-Análise	cpx7-1	cpx7-2	cpx7-3	cpx7-4	cpx7-5	cpx7-6	cpx7-7	cpx7-8	cpx7-9	cpx7-10
SiO ₂	52,85	52,61	52,68	52,58	52,66	52,73	52,70	53,09	52,79	53,62
TiO ₂	0,27	0,45	0,40	0,39	0,40	0,34	0,42	0,38	0,27	0,27
Al ₂ O ₃	3,82	4,19	4,33	4,32	4,22	4,10	4,15	3,96	3,79	3,07
Cr ₂ O ₃	0,03	0,00	0,01	0,06	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	7,52	8,12	8,21	8,13	8,07	8,11	8,10	8,06	7,92	7,37
MnO	0,04	0,08	0,06	0,07	0,08	0,05	0,07	0,07	0,08	0,04
MgO	12,96	12,59	12,46	12,70	12,62	12,51	12,56	12,62	12,90	13,41
CaO	22,01	21,70	21,62	21,41	21,39	21,58	21,56	21,21	21,89	22,31
Na ₂ O	0,79	0,88	0,92	0,97	0,91	0,92	0,90	0,86	0,87	0,72
K ₂ O	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01
Total	100,29	100,62	100,68	100,63	100,36	100,35	100,48	100,28	100,55	100,88
Oxigênios	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	1,947	1,936	1,937	1,934	1,941	1,944	1,941	1,955	1,944	1,962
Ti	0,007	0,012	0,011	0,011	0,011	0,009	0,012	0,011	0,007	0,007
Al	0,166	0,182	0,188	0,187	0,183	0,178	0,180	0,172	0,165	0,132
Cr	0,001	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,002
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	0,232	0,250	0,252	0,250	0,249	0,250	0,249	0,248	0,244	0,226
Mn	0,001	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,001
Mg	0,711	0,691	0,683	0,696	0,693	0,687	0,689	0,692	0,708	0,731
Ca	0,869	0,856	0,852	0,844	0,845	0,853	0,851	0,837	0,864	0,875
Na	0,056	0,063	0,065	0,069	0,065	0,065	0,064	0,061	0,062	0,051
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	3,990	3,992	3,991	3,996	3,989	3,990	3,989	3,979	3,997	3,989
#Mg	75,398	73,433	73,048	73,573	73,567	73,319	73,454	73,617	74,370	76,385

Tabela 40 – Análises químicas de clinopiroxênio da *Nappe* Três Pontas-Varginha

TPR-01-B										
Grão-Análise	cpx8-1	cpx8-2	cpx8-3	cpx8-4	cpx8-5	cpx8-6	cpx8-7	cpx8-8	cpx8-9	cpx8-10
SiO ₂	52,97	53,07	52,63	52,76	53,13	53,12	52,77	52,85	52,80	53,19
TiO ₂	0,30	0,24	0,33	0,37	0,26	0,27	0,33	0,30	0,29	0,33
Al ₂ O ₃	3,15	3,71	3,95	3,84	3,87	3,29	3,72	3,72	3,91	3,28
Cr ₂ O ₃	0,02	0,04	0,03	0,04	0,07	0,00	0,00	0,00	0,02	0,06
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	7,36	7,55	7,60	7,60	7,50	7,44	7,86	7,83	7,60	7,36
MnO	0,06	0,07	0,06	0,06	0,10	0,08	0,05	0,03	0,03	0,07
MgO	13,20	12,78	12,84	12,77	12,89	13,14	12,91	12,84	12,87	13,42
CaO	22,36	21,64	21,66	21,63	21,54	21,97	22,14	21,70	21,73	22,22
Na ₂ O	0,75	0,76	0,83	0,88	0,85	0,77	0,81	0,77	0,84	0,72
K ₂ O	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01
Total	100,18	99,88	99,94	99,95	100,20	100,08	100,60	100,06	100,09	100,65
Oxigênios	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	1,955	1,960	1,945	1,949	1,955	1,960	1,943	1,952	1,948	1,952
Ti	0,008	0,007	0,009	0,010	0,007	0,007	0,009	0,008	0,008	0,009
Al	0,137	0,162	0,172	0,167	0,168	0,143	0,161	0,162	0,170	0,142
Cr	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	0,227	0,233	0,235	0,235	0,231	0,230	0,242	0,242	0,234	0,226
Mn	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002
Mg	0,726	0,703	0,707	0,703	0,707	0,723	0,708	0,707	0,708	0,734
Ca	0,884	0,856	0,858	0,856	0,849	0,869	0,873	0,859	0,859	0,874
Na	0,054	0,055	0,060	0,063	0,060	0,055	0,058	0,055	0,060	0,051
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001
Soma	3,995	3,980	3,989	3,987	3,983	3,989	3,997	3,987	3,989	3,993
#Mg	76,180	75,107	75,053	74,947	75,373	75,866	74,526	74,499	75,159	76,458

Tabela 41 – Análises químicas de clinopiroxênio da *Nappe* Três Pontas-Varginha

TPR-01-F1														
Grão-Análise	cpx1-2	cpx1-3	cpx1-4	cpx1-5	cpx1-6	cpx1-7	cpx1-8	cpx1-9	cpx1-10	cpx1-11	cpx1-12	cpx1-13	cpx1-14	cpx1-15
SiO ₂	52,38	52,19	52,19	52,36	52,48	51,85	52,31	52,29	52,36	52,57	52,34	52,33	51,65	52,07
TiO ₂	0,29	0,43	0,39	0,31	0,32	0,32	0,36	0,33	0,26	0,29	0,28	0,36	0,42	0,44
Al ₂ O ₃	4,21	4,53	4,50	4,21	4,28	4,36	4,24	4,08	4,30	4,30	4,45	4,63	4,98	5,16
Cr ₂ O ₃	0,00	0,06	0,03	0,02	0,00	0,04	0,01	0,05	0,05	0,07	0,04	0,04	0,03	0,04
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48	0,00	0,05	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	6,55	6,67	6,47	6,63	6,62	6,29	6,69	6,52	6,57	6,74	6,61	6,57	6,62	6,67
MnO	0,07	0,05	0,09	0,07	0,07	0,05	0,09	0,08	0,07	0,09	0,05	0,07	0,05	0,05
MgO	13,30	13,24	13,14	13,28	13,25	13,36	13,29	13,42	13,31	13,22	13,25	13,02	13,06	13,08
CaO	22,89	22,77	22,49	22,03	22,69	22,64	22,48	22,46	22,56	22,47	22,33	22,43	22,40	22,25
Na ₂ O	0,58	0,66	0,63	0,68	0,69	0,67	0,68	0,74	0,77	0,75	0,77	0,76	0,74	0,73
K ₂ O	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01	0,04	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
Total	100,28	100,60	99,92	99,61	100,40	100,06	100,16	100,05	100,35	100,50	100,13	100,22	99,96	100,50
Oxigênios	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	1,927	1,915	1,924	1,935	1,928	1,913	1,927	1,928	1,925	1,929	1,926	1,924	1,907	1,909
Ti	0,008	0,012	0,011	0,009	0,009	0,009	0,010	0,009	0,007	0,008	0,008	0,010	0,012	0,012
Al	0,183	0,196	0,196	0,183	0,185	0,190	0,184	0,177	0,186	0,186	0,193	0,201	0,217	0,223
Cr	0,000	0,002	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,002	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,013	0,000	0,001	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	0,202	0,205	0,200	0,205	0,203	0,194	0,206	0,201	0,202	0,207	0,203	0,202	0,204	0,205
Mn	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	0,001	0,003	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	0,001	0,002
Mg	0,729	0,724	0,722	0,732	0,725	0,735	0,729	0,737	0,729	0,723	0,727	0,713	0,718	0,715
Ca	0,902	0,895	0,889	0,873	0,893	0,895	0,887	0,887	0,889	0,884	0,881	0,884	0,886	0,874
Na	0,041	0,047	0,045	0,049	0,049	0,048	0,049	0,053	0,055	0,054	0,055	0,054	0,053	0,052
K	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Soma	3,995	3,997	3,989	3,989	3,995	4,000	3,996	4,000	4,000	3,995	3,996	3,992	4,000	3,993
#Mg	78,303	77,933	78,308	78,122	78,125	79,117	77,968	78,571	78,303	77,742	78,172	77,923	77,874	77,717

Tabela 42 – Análises químicas de clinopiroxênio da *Nappe* Três Pontas-Varginha

TPR-01-F1														
Grão-Análise	cpx2-1	cpx2-2	cpx2-4	cpx2-5	cpx2-6	cpx2-7	cpx2-8	cpx2-9	cpx2-10	cpx2-11	cpx2-12	cpx2-13	cpx2-14	cpx2-15
SiO ₂	53,11	52,45	52,26	52,41	52,18	52,03	52,16	52,16	52,14	52,65	52,39	52,48	52,70	52,92
TiO ₂	0,20	0,34	0,36	0,29	0,36	0,38	0,29	0,27	0,34	0,32	0,36	0,36	0,26	0,19
Al ₂ O ₃	3,11	4,04	4,46	4,34	4,39	4,83	4,37	4,25	4,23	4,39	4,56	4,28	3,66	3,71
Cr ₂ O ₃	0,06	0,08	0,07	0,05	0,00	0,09	0,10	0,04	0,03	0,06	0,07	0,02	0,06	0,05
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	6,29	6,31	6,61	6,42	6,59	6,61	6,63	6,68	6,64	6,68	6,66	6,72	6,66	6,51
MnO	0,05	0,02	0,09	0,11	0,06	0,04	0,04	0,07	0,01	0,06	0,05	0,07	0,08	0,06
MgO	13,91	13,40	13,33	13,23	13,28	13,16	13,27	13,37	13,32	13,25	13,18	13,22	13,67	13,59
CaO	23,06	22,68	22,57	22,50	22,52	22,74	22,53	22,63	22,74	22,77	22,81	22,74	22,94	22,94
Na ₂ O	0,52	0,62	0,68	0,66	0,62	0,67	0,62	0,64	0,66	0,62	0,67	0,60	0,59	0,58
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Total	100,31	99,94	100,42	100,01	100,01	100,55	100,01	100,12	100,24	100,79	100,75	100,50	100,62	100,55
Oxigênios	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	1,951	1,933	1,920	1,930	1,924	1,910	1,924	1,923	1,921	1,926	1,919	1,927	1,934	1,940
Ti	0,006	0,009	0,010	0,008	0,010	0,010	0,008	0,008	0,010	0,009	0,010	0,010	0,007	0,005
Al	0,135	0,176	0,193	0,188	0,191	0,209	0,190	0,185	0,184	0,189	0,197	0,185	0,158	0,160
Cr	0,002	0,002	0,002	0,002	0,000	0,003	0,003	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,001
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	0,193	0,194	0,203	0,198	0,203	0,203	0,204	0,206	0,205	0,204	0,204	0,206	0,204	0,200
Mn	0,001	0,001	0,003	0,003	0,002	0,001	0,001	0,002	0,000	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Mg	0,761	0,736	0,730	0,726	0,730	0,720	0,729	0,735	0,731	0,722	0,719	0,723	0,748	0,743
Ca	0,908	0,896	0,888	0,888	0,890	0,894	0,890	0,894	0,898	0,893	0,895	0,895	0,902	0,901
Na	0,037	0,044	0,048	0,047	0,045	0,048	0,044	0,046	0,047	0,044	0,047	0,043	0,042	0,041
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	3,994	3,991	3,997	3,990	3,993	3,998	3,994	4,000	4,000	3,991	3,995	3,992	4,000	3,994
#Mg	79,769	79,140	78,242	78,571	78,242	78,007	78,135	78,108	78,098	77,970	77,898	77,826	78,571	78,791

Tabela 43 – Análises químicas de clinopiroxênio da *Nappe* Três Pontas-Varginha

TPR-01-F1										
Grão-Análise	cpx3-1	cpx3-2	cpx3-3	cpx3-4	cpx3-5	cpx3-6	cpx3-7	cpx3-8	cpx3-9	cpx3-10
SiO ₂	53,52	52,62	52,62	52,71	52,45	52,23	52,09	52,13	52,25	51,94
TiO ₂	0,30	0,36	0,38	0,35	0,37	0,36	0,40	0,42	0,47	0,37
Al ₂ O ₃	3,28	4,50	4,57	4,80	4,75	5,01	5,38	5,29	5,13	5,24
Cr ₂ O ₃	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,03	0,08	0,06	0,10	0,06
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	6,52	6,70	6,62	6,78	6,70	6,62	6,62	6,52	6,66	6,47
MnO	0,05	0,06	0,09	0,04	0,05	0,08	0,06	0,04	0,05	0,07
MgO	13,48	13,16	13,03	13,14	13,14	12,95	12,88	12,82	12,86	12,98
CaO	23,16	22,25	22,46	22,50	22,68	22,29	22,09	22,25	22,28	22,12
Na ₂ O	0,53	0,68	0,66	0,71	0,69	0,74	0,70	0,76	0,78	0,80
K ₂ O	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,02
Total	100,87	100,35	100,49	101,06	100,87	100,32	100,31	100,28	100,59	100,07
Oxigênios	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	1,955	1,931	1,929	1,922	1,918	1,918	1,911	1,913	1,914	1,911
Ti	0,008	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,011	0,011	0,013	0,010
Al	0,141	0,195	0,197	0,206	0,205	0,217	0,233	0,229	0,222	0,227
Cr	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,003	0,002
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	0,199	0,206	0,203	0,207	0,205	0,203	0,203	0,200	0,204	0,199
Mn	0,002	0,002	0,003	0,001	0,002	0,003	0,002	0,001	0,002	0,002
Mg	0,734	0,720	0,712	0,714	0,716	0,709	0,704	0,701	0,702	0,712
Ca	0,907	0,875	0,882	0,879	0,889	0,877	0,868	0,875	0,874	0,872
Na	0,037	0,049	0,047	0,050	0,049	0,052	0,050	0,054	0,055	0,057
K	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001
Soma	3,984	3,986	3,986	3,990	3,994	3,990	3,985	3,987	3,989	3,993
#Mg	78,671	77,754	77,814	77,524	77,742	77,741	77,619	77,802	77,483	78,156

Tabela 44 – Análises químicas de clinopiroxênio da *Nappe* Três Pontas-Varginha

TPR-01-F1										
Grão-Análise	cpx4-1	cpx4-2	cpx4-3	cpx4-4	cpx4-5	cpx4-6	cpx4-7	cpx4-8	cpx4-9	cpx4-10
SiO ₂	53,01	52,19	52,21	51,97	52,42	52,28	52,01	52,00	52,12	51,92
TiO ₂	0,38	0,40	0,43	0,42	0,37	0,44	0,40	0,40	0,46	0,39
Al ₂ O ₃	4,49	5,20	5,34	5,38	5,06	5,14	5,08	5,24	4,82	4,65
Cr ₂ O ₃	0,06	0,08	0,07	0,05	0,04	0,05	0,14	0,07	0,04	0,07
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	6,50	6,61	6,81	6,47	6,70	6,51	6,57	6,82	6,67	6,80
MnO	0,04	0,07	0,06	0,05	0,02	0,06	0,04	0,04	0,03	0,05
MgO	13,31	13,08	12,93	12,98	13,03	13,00	12,99	13,21	12,91	13,01
CaO	22,90	22,58	22,78	22,57	22,37	22,59	22,41	22,16	22,67	22,87
Na ₂ O	0,58	0,68	0,71	0,73	0,79	0,80	0,70	0,71	0,67	0,64
K ₂ O	0,00	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,00
Total	101,28	100,92	101,36	100,61	100,80	100,86	100,35	100,67	100,40	100,40
Oxigênios	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	1,927	1,907	1,902	1,903	1,916	1,910	1,910	1,905	1,915	1,911
Ti	0,010	0,011	0,012	0,011	0,010	0,012	0,011	0,011	0,013	0,011
Al	0,192	0,224	0,229	0,232	0,218	0,221	0,220	0,226	0,209	0,202
Cr	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,004	0,002	0,001	0,002
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	0,198	0,202	0,207	0,198	0,205	0,199	0,202	0,209	0,205	0,209
Mn	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002
Mg	0,721	0,712	0,702	0,708	0,710	0,708	0,711	0,721	0,707	0,714
Ca	0,892	0,884	0,889	0,886	0,876	0,884	0,882	0,870	0,893	0,902
Na	0,041	0,048	0,050	0,052	0,056	0,057	0,050	0,050	0,047	0,046
K	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000
Soma	3,986	3,994	3,996	3,994	3,993	3,995	3,992	3,996	3,991	3,999
#Mg	78,455	77,899	77,228	78,146	77,596	78,060	77,875	77,527	77,522	77,356

Tabela 45 – Análises químicas de clinopiroxênio da *Nappe Três Pontas-Varginha*

TPR-01-F1										
Grão-Análise	cpx5-1	cpx5-2	cpx5-3	cpx5-4	cpx5-5	cpx5-6	cpx5-7	cpx5-8	cpx5-9	cpx5-10
SiO ₂	53,05	53,28	52,69	52,51	52,78	52,47	52,59	52,33	52,30	52,93
TiO ₂	0,29	0,27	0,35	0,45	0,37	0,49	0,46	0,41	0,39	0,35
Al ₂ O ₃	4,20	4,59	4,77	4,69	4,97	5,04	5,20	5,40	5,06	4,40
Cr ₂ O ₃	0,04	0,08	0,07	0,12	0,02	0,02	0,11	0,03	0,06	0,07
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	5,79	6,04	6,40	6,62	6,49	6,53	6,50	6,22	6,27	6,26
MnO	0,02	0,05	0,05	0,06	0,07	0,04	0,06	0,07	0,07	0,06
MgO	13,87	13,11	13,24	13,26	13,02	12,89	12,92	12,82	13,10	13,41
CaO	23,13	22,60	22,29	22,18	22,51	22,32	22,29	22,32	22,53	22,62
Na ₂ O	0,67	0,70	0,73	0,80	0,79	0,78	0,76	0,75	0,79	0,69
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02
Total	101,06	100,71	100,59	100,69	101,02	100,58	100,90	100,36	100,58	100,81
Oxigênios	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	1,929	1,941	1,926	1,921	1,923	1,920	1,917	1,916	1,914	1,931
Ti	0,008	0,007	0,010	0,012	0,010	0,013	0,013	0,011	0,011	0,010
Al	0,180	0,197	0,206	0,202	0,213	0,217	0,224	0,233	0,218	0,189
Cr	0,001	0,002	0,002	0,003	0,001	0,001	0,003	0,001	0,002	0,002
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	0,176	0,184	0,196	0,203	0,198	0,200	0,198	0,190	0,192	0,191
Mn	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002
Mg	0,752	0,712	0,721	0,723	0,707	0,703	0,702	0,700	0,714	0,729
Ca	0,901	0,882	0,873	0,869	0,879	0,875	0,871	0,876	0,883	0,884
Na	0,047	0,049	0,052	0,057	0,056	0,055	0,054	0,053	0,056	0,049
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Soma	3,995	3,977	3,987	3,992	3,988	3,985	3,983	3,983	3,993	3,988
#Mg	81,034	79,464	78,626	78,078	78,122	77,852	78,000	78,652	78,808	79,239

Tabela 46 – Análises químicas de clinopiroxênio da *Nappe* Três Pontas-Varginha

TPR-01-F1										
Grão-Análise	cpx6-1	cpx6-2	cpx6-3	cpx6-4	cpx6-5	cpx6-6	cpx6-7	cpx6-8	cpx6-9	cpx6-10
SiO ₂	53,09	52,63	52,46	52,37	52,45	52,33	52,39	52,34	52,52	52,30
TiO ₂	0,37	0,43	0,46	0,51	0,38	0,47	0,40	0,54	0,42	0,43
Al ₂ O ₃	4,29	4,74	5,02	5,45	5,38	5,44	5,28	5,30	5,33	5,21
Cr ₂ O ₃	0,13	0,07	0,01	0,10	0,09	0,04	0,12	0,09	0,01	0,02
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	6,02	6,07	6,23	6,30	6,45	6,38	6,36	6,45	6,29	6,35
MnO	0,06	0,03	0,03	0,06	0,04	0,07	0,08	0,03	0,07	0,04
MgO	13,48	13,48	13,08	12,87	12,96	12,98	12,96	12,97	12,83	13,13
CaO	22,89	22,50	22,40	22,12	22,28	22,27	22,34	22,08	22,20	22,31
Na ₂ O	0,65	0,67	0,71	0,80	0,78	0,84	0,83	0,82	0,83	0,81
K ₂ O	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
Total	100,99	100,62	100,42	100,58	100,81	100,82	100,76	100,61	100,53	100,62
Oxigênios	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	1,933	1,922	1,920	1,913	1,913	1,909	1,913	1,913	1,920	1,912
Ti	0,010	0,012	0,013	0,014	0,011	0,013	0,011	0,015	0,012	0,012
Al	0,184	0,204	0,217	0,235	0,231	0,234	0,227	0,228	0,230	0,225
Cr	0,004	0,002	0,000	0,003	0,003	0,001	0,003	0,002	0,000	0,001
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	0,183	0,185	0,191	0,192	0,197	0,195	0,194	0,197	0,192	0,194
Mn	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,001
Mg	0,731	0,734	0,713	0,701	0,705	0,706	0,705	0,706	0,699	0,715
Ca	0,893	0,880	0,878	0,866	0,871	0,871	0,874	0,865	0,869	0,874
Na	0,046	0,047	0,051	0,056	0,055	0,059	0,058	0,058	0,059	0,058
K	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Soma	3,986	3,987	3,985	3,982	3,987	3,990	3,990	3,986	3,984	3,992
#Mg	79,978	79,869	78,872	78,499	78,160	78,357	78,420	78,184	78,451	78,658

Tabela 47 – Análises químicas de clinopiroxênio da *Nappe* Três Pontas-Varginha

TPR-01-F1										
Grão-Análise	cpx7-1	cpx7-2	cpx7-3	cpx7-4	cpx7-5	cpx7-6	cpx7-7	cpx7-8	cpx7-9	cpx7-10
SiO ₂	52,74	52,71	52,36	52,73	53,09	52,76	52,68	53,01	52,71	52,92
TiO ₂	0,39	0,51	0,38	0,35	0,33	0,40	0,46	0,34	0,38	0,34
Al ₂ O ₃	4,81	5,09	4,82	4,54	4,61	4,62	4,78	4,47	4,71	4,00
Cr ₂ O ₃	0,07	0,06	0,08	0,04	0,00	0,03	0,04	0,06	0,00	0,07
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	6,33	6,55	6,62	6,45	6,58	6,70	6,53	6,04	6,32	5,90
MnO	0,07	0,06	0,05	0,02	0,05	0,08	0,05	0,05	0,07	0,04
MgO	13,12	13,04	13,18	13,36	13,32	13,33	13,31	13,44	13,39	13,92
CaO	22,64	22,60	22,00	22,45	22,15	22,49	22,18	22,68	22,63	23,15
Na ₂ O	0,68	0,75	0,74	0,75	0,77	0,78	0,73	0,67	0,70	0,56
K ₂ O	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,01	0,00
Total	100,85	101,37	100,24	100,70	100,90	101,19	100,78	100,79	100,92	100,90
Oxigênios	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	1,924	1,915	1,922	1,927	1,934	1,922	1,923	1,932	1,922	1,929
Ti	0,011	0,014	0,011	0,010	0,009	0,011	0,013	0,009	0,010	0,009
Al	0,207	0,218	0,209	0,196	0,198	0,198	0,206	0,192	0,202	0,172
Cr	0,002	0,002	0,002	0,001	0,000	0,001	0,001	0,002	0,000	0,002
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	0,193	0,199	0,203	0,197	0,200	0,204	0,199	0,184	0,193	0,180
Mn	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,001
Mg	0,713	0,706	0,721	0,728	0,723	0,724	0,724	0,730	0,728	0,756
Ca	0,885	0,880	0,865	0,879	0,865	0,878	0,868	0,886	0,884	0,904
Na	0,048	0,053	0,053	0,053	0,054	0,055	0,051	0,047	0,049	0,040
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000
Soma	3,985	3,988	3,988	3,992	3,985	3,995	3,987	3,986	3,991	3,994
#Mg	78,698	78,011	78,030	78,703	78,332	78,017	78,440	79,869	79,045	80,769

Tabela 48 – Análises químicas de ortopiroxênio da *Nappe* Socorro-Guaxupé

IC-06-R										
Grão-Análise	opx1-1	opx1-2	opx1-3	opx1-4	opx1-5	opx1-6	opx1-7	opx1-8	opx1-9	opx1-10
SiO ₂	51,61	51,63	52,22	52,97	51,95	51,94	51,94	52,09	51,98	51,46
TiO ₂	0,04	0,14	0,07	0,10	0,13	0,07	0,11	0,17	0,09	0,03
Al ₂ O ₃	2,24	2,21	1,97	2,43	2,17	2,13	1,88	1,82	1,78	1,83
Cr ₂ O ₃	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,05	0,03	0,03	0,03	0,01
Fe ₂ O ₃	0,00	0,71	0,21	0,00	0,25	0,20	0,33	0,27	0,52	0,00
FeO	25,67	25,05	24,84	24,62	25,05	25,15	25,34	24,93	25,17	23,94
MnO	0,72	0,60	0,61	0,60	0,60	0,59	0,55	0,62	0,61	0,56
MgO	19,13	19,74	19,97	19,11	20,07	19,86	19,86	19,85	20,02	20,37
CaO	0,52	0,61	1,02	1,31	0,52	0,75	0,63	1,00	0,50	0,47
Na ₂ O	0,02	0,03	0,02	0,07	0,02	0,02	0,02	0,05	0,03	0,02
K ₂ O	0,02	0,03	0,01	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02
Total	99,98	100,75	100,95	101,21	100,80	100,75	100,69	100,84	100,73	98,69
Oxigênios	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	1,955	1,939	1,953	1,969	1,946	1,948	1,951	1,952	1,951	1,959
Ti	0,001	0,004	0,002	0,003	0,004	0,002	0,003	0,005	0,002	0,001
Al	0,100	0,098	0,087	0,106	0,096	0,094	0,083	0,081	0,079	0,082
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000
Fe ³⁺	0,000	0,020	0,006	0,000	0,007	0,006	0,009	0,008	0,015	0,000
Fe ²⁺	0,813	0,787	0,777	0,765	0,785	0,789	0,796	0,782	0,790	0,762
Mn	0,023	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,018	0,020	0,019	0,018
Mg	1,080	1,105	1,113	1,058	1,120	1,110	1,112	1,109	1,120	1,156
Ca	0,021	0,025	0,041	0,052	0,021	0,030	0,025	0,040	0,020	0,019
Na	0,001	0,002	0,002	0,005	0,001	0,001	0,001	0,003	0,002	0,002
K	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Soma	3,995	4,000	4,000	3,978	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
#Mg	57,052	58,404	58,889	58,036	58,793	58,452	58,281	58,646	58,639	60,271

Tabela 49 – Análises químicas de ortopiroxênio da *Nappe* Socorro-Guaxupé

IC-06-R										
Grão-Análise	opx2-1	opx2-2	opx2-3	opx2-4	opx2-5	opx2-6	opx2-7	opx2-8	opx2-9	opx2-10
SiO ₂	51,76	51,73	51,79	51,62	51,63	51,58	51,58	51,17	51,74	52,10
TiO ₂	0,05	0,07	0,07	0,06	0,05	0,09	0,10	0,12	0,14	0,08
Al ₂ O ₃	1,95	2,13	2,09	2,27	2,15	2,32	2,25	2,79	2,29	1,93
Cr ₂ O ₃	0,03	0,03	0,06	0,04	0,04	0,03	0,00	0,04	0,04	0,09
Fe ₂ O ₃	0,00	0,68	0,29	0,31	0,30	0,31	0,38	0,18	0,24	0,00
FeO	25,37	24,99	25,19	25,39	25,42	25,22	25,52	25,36	24,53	25,08
MnO	0,57	0,59	0,58	0,60	0,59	0,55	0,57	0,57	0,54	0,60
MgO	19,71	19,97	19,85	19,64	19,64	19,52	19,57	19,47	20,22	20,22
CaO	0,43	0,53	0,52	0,50	0,54	0,80	0,48	0,48	0,55	0,47
Na ₂ O	0,01	0,01	0,03	0,03	0,01	0,04	0,03	0,01	0,04	0,00
K ₂ O	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01
Total	99,88	100,74	100,48	100,45	100,37	100,46	100,50	100,19	100,32	100,59
Oxigênios	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	1,958	1,941	1,948	1,944	1,947	1,942	1,943	1,932	1,943	1,954
Ti	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,003	0,003	0,003	0,004	0,002
Al	0,087	0,094	0,093	0,101	0,096	0,103	0,100	0,124	0,101	0,085
Cr	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,003
Fe ³⁺	0,000	0,019	0,008	0,009	0,009	0,009	0,011	0,005	0,007	0,000
Fe ²⁺	0,803	0,784	0,792	0,800	0,801	0,794	0,804	0,801	0,770	0,787
Mn	0,018	0,019	0,019	0,019	0,019	0,018	0,018	0,018	0,017	0,019
Mg	1,111	1,117	1,113	1,102	1,104	1,095	1,099	1,095	1,132	1,130
Ca	0,017	0,021	0,021	0,020	0,022	0,032	0,020	0,020	0,022	0,019
Na	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,003	0,002	0,000	0,003	0,000
K	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Soma	3,997	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
#Mg	58,046	58,759	58,425	57,939	57,953	57,967	57,751	57,753	59,516	58,946

Tabela 50 – Análises químicas de ortopiroxênio da *Nappe* Socorro-Guaxupé

IC-06-R										
Grão-Análise	opx3-1	opx3-2	opx3-3	opx3-4	opx3-5	opx3-6	opx3-7	opx3-8	opx3-9	opx3-10
SiO ₂	52,35	52,32	52,09	51,93	52,13	51,99	51,68	51,64	51,54	51,66
TiO ₂	0,02	0,06	0,07	0,02	0,05	0,08	0,11	0,08	0,12	0,10
Al ₂ O ₃	1,69	1,89	1,85	2,13	1,80	2,29	2,29	2,24	2,20	2,14
Cr ₂ O ₃	0,02	0,04	0,04	0,05	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,07
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	0,33	0,01	0,17	0,00
FeO	25,02	24,95	24,88	25,32	25,38	25,22	24,65	25,20	24,92	25,06
MnO	0,66	0,58	0,57	0,62	0,59	0,60	0,58	0,63	0,61	0,60
MgO	20,16	20,14	20,28	19,96	20,04	19,89	20,04	19,76	19,64	19,82
CaO	0,36	0,44	0,54	0,43	0,42	0,44	0,59	0,58	0,80	0,59
Na ₂ O	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01	0,03	0,00
K ₂ O	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00
Total	100,32	100,42	100,33	100,76	100,42	100,50	100,34	100,16	100,05	100,04
Oxigênios	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	1,967	1,962	1,957	1,948	1,960	1,951	1,943	1,948	1,946	1,950
Ti	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002	0,003	0,002	0,003	0,003
Al	0,075	0,083	0,082	0,094	0,080	0,101	0,101	0,100	0,098	0,095
Cr	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,009	0,000	0,005	0,000
Fe ²⁺	0,786	0,783	0,782	0,794	0,798	0,792	0,775	0,795	0,787	0,791
Mn	0,021	0,018	0,018	0,020	0,019	0,019	0,019	0,020	0,020	0,019
Mg	1,129	1,126	1,135	1,116	1,123	1,113	1,123	1,111	1,105	1,115
Ca	0,015	0,018	0,022	0,017	0,017	0,018	0,024	0,024	0,032	0,024
Na	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,002	0,000
K	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000
Soma	3,996	3,994	3,999	4,000	3,999	3,996	4,000	4,000	4,000	3,999
#Mg	58,956	58,984	59,207	58,429	58,459	58,425	59,168	58,290	58,404	58,499

Tabela 51 – Análises químicas de ortopiroxênio da *Nappe* Socorro-Guaxupé

IC-06-R										
Grão-Análise	opx4-1	opx4-2	opx4-3	opx4-4	opx4-5	opx4-6	opx4-7	opx4-8	opx4-9	opx4-10
SiO ₂	50,97	51,59	51,80	51,58	51,53	51,38	51,19	51,22	51,52	51,14
TiO ₂	0,09	0,14	0,07	0,08	0,05	0,10	0,07	0,09	0,11	0,04
Al ₂ O ₃	2,32	2,04	2,06	2,22	2,32	2,24	2,40	2,36	2,39	2,47
Cr ₂ O ₃	0,06	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,00	0,01	0,00
Fe ₂ O ₃	0,00	0,80	0,36	1,69	0,89	0,80	0,89	0,55	0,48	0,92
FeO	25,54	24,99	25,07	24,78	25,29	25,29	25,05	25,51	24,54	24,93
MnO	0,55	0,58	0,59	0,61	0,59	0,58	0,56	0,53	0,57	0,58
MgO	18,93	19,84	19,49	19,92	19,65	19,61	19,63	19,32	19,20	19,60
CaO	0,62	0,59	1,05	0,56	0,50	0,48	0,46	0,59	1,52	0,54
Na ₂ O	0,03	0,01	0,05	0,03	0,01	0,01	0,00	0,02	0,08	0,01
K ₂ O	0,01	0,03	0,01	0,00	0,02	0,01	0,03	0,00	0,02	0,00
Total	99,12	100,61	100,56	101,48	100,89	100,53	100,29	100,19	100,44	100,23
Oxigênios	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	1,948	1,940	1,949	1,926	1,935	1,936	1,932	1,938	1,940	1,931
Ti	0,003	0,004	0,002	0,002	0,001	0,003	0,002	0,003	0,003	0,001
Al	0,105	0,090	0,091	0,098	0,103	0,100	0,107	0,105	0,106	0,110
Cr	0,002	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000
Fe ³⁺	0,000	0,023	0,010	0,048	0,025	0,023	0,025	0,016	0,014	0,026
Fe ²⁺	0,816	0,786	0,789	0,774	0,794	0,797	0,791	0,807	0,773	0,787
Mn	0,018	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,018	0,017	0,018	0,019
Mg	1,078	1,112	1,093	1,109	1,100	1,101	1,104	1,089	1,078	1,103
Ca	0,025	0,024	0,042	0,022	0,020	0,019	0,019	0,024	0,061	0,022
Na	0,003	0,001	0,003	0,002	0,001	0,001	0,000	0,002	0,006	0,001
K	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000
Soma	3,998	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
#Mg	56,917	58,588	58,077	58,895	58,078	58,008	58,259	57,437	58,239	58,360

Tabela 52 – Análises químicas de clinopiroxênio da *Nappe* Socorro-Guaxupé

Grão-Análise	IC-06-R								
	cpx1-1	cpx1-2	cpx1-3	cpx1-4	cpx1-5	cpx1-7	cpx1-8	cpx1-9	cpx1-10
SiO ₂	52,56	52,11	51,73	51,54	51,82	52,05	51,83	51,86	52,19
TiO ₂	0,37	0,33	0,46	0,34	0,36	0,31	0,33	0,35	0,26
Al ₂ O ₃	3,12	3,53	3,81	4,12	3,83	3,65	3,80	3,69	3,17
Cr ₂ O ₃	0,03	0,09	0,10	0,03	0,07	0,00	0,02	0,03	0,00
Fe ₂ O ₃	0,53	0,41	0,82	1,21	1,16	1,04	0,71	1,04	0,48
FeO	8,64	9,94	9,98	9,05	8,81	8,73	9,68	9,12	9,47
MnO	0,22	0,28	0,24	0,25	0,21	0,23	0,24	0,23	0,21
MgO	12,65	11,99	12,02	11,84	12,15	12,38	11,76	12,14	12,40
CaO	21,76	20,85	20,53	21,11	21,21	21,17	20,87	21,09	21,13
Na ₂ O	0,80	0,93	0,93	0,97	0,95	0,94	1,01	0,93	0,82
K ₂ O	0,06	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100,74	100,45	100,62	100,46	100,58	100,50	100,25	100,48	100,13
Oxigênios	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	1,944	1,940	1,924	1,918	1,923	1,931	1,933	1,928	1,946
Ti	0,010	0,009	0,013	0,009	0,010	0,009	0,009	0,010	0,007
Al	0,136	0,155	0,167	0,181	0,168	0,160	0,167	0,162	0,139
Cr	0,001	0,003	0,003	0,001	0,002	0,000	0,001	0,001	0,000
Fe ³⁺	0,015	0,011	0,023	0,034	0,033	0,029	0,020	0,029	0,013
Fe ²⁺	0,267	0,310	0,311	0,282	0,274	0,271	0,302	0,284	0,295
Mn	0,007	0,009	0,007	0,008	0,006	0,007	0,007	0,007	0,007
Mg	0,697	0,665	0,666	0,657	0,672	0,684	0,654	0,673	0,689
Ca	0,862	0,832	0,818	0,842	0,844	0,842	0,834	0,840	0,844
Na	0,057	0,067	0,067	0,070	0,068	0,068	0,073	0,067	0,059
K	0,003	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
#Mg	72,303	68,205	68,168	69,968	71,036	71,623	68,410	70,324	70,020

Tabela 53 – Análises químicas de clinopiroxênio da *Nappe* Socorro-Guaxupé

IC-06-R										
Grão-Análise	cpx2-1	cpx2-2	cpx2-3	cpx2-4	cpx2-5	cpx2-6	cpx2-7	cpx2-8	cpx2-9	cpx2-10
SiO ₂	51,62	51,47	51,23	51,22	51,18	51,10	51,23	51,31	51,52	51,99
TiO ₂	0,25	0,28	0,39	0,35	0,46	0,37	0,36	0,39	0,35	0,30
Al ₂ O ₃	3,56	3,83	3,99	4,06	4,24	4,14	3,87	4,28	3,95	3,56
Cr ₂ O ₃	0,06	0,07	0,01	0,02	0,03	0,05	0,03	0,01	0,02	0,00
Fe ₂ O ₃	1,11	0,72	1,15	0,36	1,02	2,18	0,62	0,00	1,06	1,27
FeO	9,23	10,62	11,33	10,91	9,80	10,35	12,20	10,29	9,31	9,60
MnO	0,24	0,27	0,27	0,27	0,25	0,29	0,31	0,23	0,25	0,25
MgO	11,93	11,78	11,99	11,70	11,45	12,07	12,08	11,42	11,74	12,50
CaO	21,08	19,96	18,92	19,69	20,69	19,42	18,25	20,44	20,78	20,49
Na ₂ O	0,91	0,94	0,94	0,93	0,98	0,95	0,89	0,99	1,03	0,87
K ₂ O	0,00	0,00	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00
Total	100,00	99,94	100,22	99,51	100,14	100,91	99,85	99,37	100,02	100,83
Oxigênios	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	1,931	1,930	1,919	1,928	1,915	1,902	1,927	1,930	1,926	1,928
Ti	0,007	0,008	0,011	0,010	0,013	0,010	0,010	0,011	0,010	0,008
Al	0,157	0,169	0,176	0,180	0,187	0,182	0,172	0,190	0,174	0,156
Cr	0,002	0,002	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000
Fe ³⁺	0,031	0,020	0,032	0,010	0,029	0,061	0,017	0,000	0,030	0,035
Fe ²⁺	0,289	0,333	0,355	0,343	0,307	0,322	0,384	0,324	0,291	0,298
Mn	0,008	0,008	0,009	0,008	0,008	0,009	0,010	0,007	0,008	0,008
Mg	0,665	0,658	0,669	0,656	0,638	0,669	0,677	0,640	0,654	0,691
Ca	0,845	0,802	0,759	0,794	0,830	0,774	0,736	0,824	0,832	0,814
Na	0,066	0,068	0,068	0,068	0,071	0,068	0,065	0,072	0,074	0,063
K	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Soma	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
#Mg	69,706	66,398	65,332	65,666	67,513	67,508	63,808	66,390	69,206	69,869

Tabela 54 – Análises químicas de clinopiroxênio da *Nappe* Socorro-Guaxupé

IC-06-R										
Grão-Análise	cpx3-1	cpx3-2	cpx3-3	cpx3-4	cpx3-5	cpx3-6	cpx3-7	cpx3-8	cpx3-9	cpx3-10
SiO ₂	51,91	51,36	50,78	51,04	51,13	51,31	51,24	50,82	51,78	52,42
TiO ₂	0,28	0,38	0,39	0,39	0,38	0,38	0,35	0,36	0,30	0,27
Al ₂ O ₃	3,52	3,72	3,90	4,21	4,15	4,37	4,12	4,31	3,59	3,65
Cr ₂ O ₃	0,07	0,02	0,00	0,00	0,00	0,04	0,03	0,02	0,00	0,05
Fe ₂ O ₃	1,27	1,52	1,53	1,19	1,12	1,62	1,99	0,93	0,89	0,26
FeO	10,05	11,48	12,43	9,62	11,68	10,09	10,46	10,51	10,10	9,47
MnO	0,29	0,30	0,35	0,32	0,27	0,30	0,30	0,27	0,31	0,31
MgO	12,23	12,22	12,27	11,32	11,64	11,50	11,85	11,36	11,63	12,32
CaO	20,21	18,69	17,62	20,58	18,94	20,15	19,35	19,87	20,70	20,74
Na ₂ O	0,91	0,91	0,83	1,04	0,97	1,07	1,05	0,99	0,97	0,99
K ₂ O	0,02	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01
Total	100,76	100,62	100,09	99,73	100,29	100,84	100,75	99,44	100,28	100,48
Oxigênios	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	1,930	1,919	1,911	1,917	1,917	1,909	1,910	1,917	1,935	1,944
Ti	0,008	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,010	0,010	0,009	0,007
Al	0,154	0,164	0,173	0,186	0,183	0,192	0,181	0,192	0,158	0,160
Cr	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001
Fe ³⁺	0,035	0,043	0,043	0,034	0,031	0,045	0,056	0,026	0,025	0,007
Fe ²⁺	0,312	0,359	0,391	0,302	0,366	0,314	0,326	0,332	0,316	0,294
Mn	0,009	0,010	0,011	0,010	0,009	0,010	0,009	0,009	0,010	0,010
Mg	0,678	0,680	0,688	0,634	0,650	0,638	0,658	0,639	0,648	0,681
Ca	0,805	0,748	0,711	0,828	0,761	0,803	0,773	0,803	0,829	0,824
Na	0,066	0,066	0,060	0,076	0,070	0,078	0,076	0,072	0,071	0,071
K	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Soma	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
#Mg	68,485	65,448	63,763	67,735	63,976	67,017	66,870	65,808	67,220	69,846

Tabela 55 – Fórmulas estruturais de clinopiroxênio e ortopiroxênio das *nappes* Três Pontas-Varginha e Socorro-Guaxupé

Unidade	Amostra	Cristal	Fórmula estrutural
NAPPE TRÊS PONTAS-VARGINHA (CALCIOSSILCÁTICAS)	TPR-01-C	cpx 1	$\text{Na}_{0,05-0,07}, \text{Ca}_{0,85-0,89}, \text{Fe}^{2+}_{0,21-0,25}, \text{Mg}_{0,70-0,74}, \text{Ti}_{0,01}, \text{Al}_{0,10-0,11} (\text{Al}_{0,04-0,07}, \text{Si}_{1,93-1,96})\text{O}_6$
		cpx 2	$\text{Na}_{0,06-0,09}, \text{Ca}_{0,83-0,87}, \text{Fe}^{2+}_{0,24-0,27}, \text{Mg}_{0,68-0,71}, \text{Ti}_{0,01}, \text{Al}_{0,11-0,13} (\text{Al}_{0,05-0,06}, \text{Si}_{1,94-1,95})\text{O}_6$
		cpx 3	$\text{Na}_{0,05-0,06}, \text{Ca}_{0,85-0,88}, \text{Fe}^{2+}_{0,23-0,24}, \text{Mg}_{0,70-0,72}, \text{Ti}_{0,01}, \text{Al}_{0,11-0,12} (\text{Al}_{0,04-0,06}, \text{Si}_{1,94-1,96})\text{O}_6$
		cpx 4	$\text{Na}_{0,05-0,07}, \text{Ca}_{0,84-0,89}, \text{Fe}^{2+}_{0,18-0,26}, \text{Mg}_{0,68-0,78}, \text{Ti}_{0,01}, \text{Al}_{0,06-0,12} (\text{Al}_{0,05-0,06}, \text{Si}_{1,94-1,95})\text{O}_6$
		cpx 5	$\text{Na}_{0,05-0,07}, \text{Ca}_{0,86-0,88}, \text{Fe}^{2+}_{0,23-0,25}, \text{Mg}_{0,69-0,72}, \text{Ti}_{0,01}, \text{Al}_{0,09-0,12} (\text{Al}_{0,05-0,07}, \text{Si}_{1,93-1,95})\text{O}_6$
		cpx 6	$\text{Na}_{0,05-0,07}, \text{Ca}_{0,84-0,87}, \text{Fe}^{2+}_{0,23-0,25}, \text{Mg}_{0,68-0,72}, \text{Ti}_{0,01}, \text{Al}_{0,10-0,13} (\text{Al}_{0,05-0,06}, \text{Si}_{1,94-1,95})\text{O}_6$
		cpx 7	$\text{Na}_{0,04-0,08}, \text{Ca}_{0,84-0,89}, \text{Fe}^{2+}_{0,21-0,27}, \text{Mg}_{0,68-0,75}, \text{Ti}_{0,01}, \text{Al}_{0,08-0,13} (\text{Al}_{0,04-0,06}, \text{Si}_{1,94-1,96})\text{O}_6$
	TPR-01-B	cpx 1	$\text{Na}_{0,06-0,07}, \text{Ca}_{0,84-0,87}, \text{Fe}^{2+}_{0,23-0,25}, \text{Mg}_{0,68-0,73}, \text{Ti}_{0,01}, \text{Al}_{0,10-0,12} (\text{Al}_{0,04-0,06}, \text{Si}_{1,94-1,96})\text{O}_6$
		cpx 2	$\text{Na}_{0,06-0,07}, \text{Ca}_{0,84-0,86}, \text{Fe}^{2+}_{0,23-0,25}, \text{Mg}_{0,70-0,73}, \text{Ti}_{0,01}, \text{Al}_{0,10-0,12} (\text{Al}_{0,04-0,06}, \text{Si}_{1,94-1,96})\text{O}_6$
		cpx 3	$\text{Na}_{0,06-0,07}, \text{Ca}_{0,85-0,88}, \text{Fe}^{2+}_{0,23-0,25}, \text{Mg}_{0,68-0,72}, \text{Ti}_{0,01}, \text{Al}_{0,11-0,13} (\text{Al}_{0,03-0,06}, \text{Si}_{1,94-1,97})\text{O}_6$
		cpx 4	$\text{Na}_{0,05-0,07}, \text{Ca}_{0,84-0,88}, \text{Fe}^{2+}_{0,22-0,25}, \text{Mg}_{0,70-0,74}, \text{Ti}_{0,01}, \text{Al}_{0,10-0,12} (\text{Al}_{0,03-0,06}, \text{Si}_{1,94-1,97})\text{O}_6$
		cpx 5	$\text{Na}_{0,05-0,07}, \text{Ca}_{0,83-0,87}, \text{Fe}^{2+}_{0,23-0,26}, \text{Mg}_{0,68-0,73}, \text{Ti}_{0,01}, \text{Al}_{0,10-0,13} (\text{Al}_{0,04-0,06}, \text{Si}_{1,94-1,96})\text{O}_6$
		cpx 6	$\text{Na}_{0,06-0,07}, \text{Ca}_{0,84-0,87}, \text{Fe}^{2+}_{0,24-0,25}, \text{Mg}_{0,69-0,71}, \text{Ti}_{0,01}, \text{Al}_{0,11-0,12} (\text{Al}_{0,05-0,06}, \text{Si}_{1,94-1,95})\text{O}_6$
		cpx 7	$\text{Na}_{0,05-0,07}, \text{Ca}_{0,84-0,88}, \text{Fe}^{2+}_{0,23-0,25}, \text{Mg}_{0,68-0,73}, \text{Ti}_{0,01}, \text{Al}_{0,09-0,12} (\text{Al}_{0,04-0,07}, \text{Si}_{1,93-1,96})\text{O}_6$
		cpx 8	$\text{Na}_{0,05-0,06}, \text{Ca}_{0,85-0,88}, \text{Fe}^{2+}_{0,23-0,24}, \text{Mg}_{0,70-0,73}, \text{Ti}_{0,01}, \text{Al}_{0,10-0,11} (\text{Al}_{0,04-0,06}, \text{Si}_{1,94-1,96})\text{O}_6$
	TPR-01-F1	cpx 1	$\text{Na}_{0,04-0,06}, \text{Ca}_{0,87-0,90}, \text{Fe}^{2+}_{0,19-0,21}, \text{Mg}_{0,71-0,74}, \text{Ti}_{0,01}, \text{Fe}^{3+}_{0-0,01}, \text{Al}_{0,12-0,13} (\text{Al}_{0,06-0,09}, \text{Si}_{1,91-1,94})\text{O}_6$
		cpx 2	$\text{Na}_{0,04-0,05}, \text{Ca}_{0,89-0,91}, \text{Fe}^{2+}_{0,19-0,21}, \text{Mg}_{0,72-0,76}, \text{Ti}_{0,01}, \text{Al}_{0,09-0,12} (\text{Al}_{0,05-0,09}, \text{Si}_{1,91-1,95})\text{O}_6$
		cpx 3	$\text{Na}_{0,04-0,06}, \text{Ca}_{0,87-0,91}, \text{Fe}^{2+}_{0,20-0,21}, \text{Mg}_{0,70-0,73}, \text{Ti}_{0,01}, \text{Al}_{0,10-0,14} (\text{Al}_{0,04-0,09}, \text{Si}_{1,91-1,96})\text{O}_6$
		cpx 4	$\text{Na}_{0,04-0,06}, \text{Ca}_{0,87-0,90}, \text{Fe}^{2+}_{0,20-0,21}, \text{Mg}_{0,70-0,72}, \text{Ti}_{0,01}, \text{Al}_{0,12-0,13} (\text{Al}_{0,07-0,10}, \text{Si}_{1,90-1,93})\text{O}_6$
		cpx 5	$\text{Na}_{0,05-0,06}, \text{Ca}_{0,87-0,90}, \text{Fe}^{2+}_{0,18-0,20}, \text{Mg}_{0,70-0,75}, \text{Ti}_{0,01}, \text{Al}_{0,12-0,14} (\text{Al}_{0,06-0,09}, \text{Si}_{1,91-1,94})\text{O}_6$
		cpx 6	$\text{Na}_{0,05-0,06}, \text{Ca}_{0,87-0,89}, \text{Fe}^{2+}_{0,18-0,20}, \text{Mg}_{0,70-0,73}, \text{Ti}_{0,01}, \text{Al}_{0,11-0,15} (\text{Al}_{0,07-0,09}, \text{Si}_{1,91-1,93})\text{O}_6$
		cpx 7	$\text{Na}_{0,04-0,06}, \text{Ca}_{0,87-0,90}, \text{Fe}^{2+}_{0,18-0,20}, \text{Mg}_{0,71-0,76}, \text{Ti}_{0,01}, \text{Al}_{0,10-0,14} (\text{Al}_{0,07-0,08}, \text{Si}_{1,92-1,93})\text{O}_6$
NAPPE SOCORRO-GUAXUPÉ (GRANULITO FÉLSICO)	IC-06-R	opx 1	$\text{Na}_{0-0,01}, \text{Ca}_{0,02-0,05}, \text{Fe}^{2+}_{0,76-0,81}, \text{Mg}_{1,06-1,16}, \text{Ti}_{0-0,01}, \text{Fe}^{3+}_{0-0,02}, \text{Al}_{0,05} (\text{Al}_{0,03-0,06}, \text{Si}_{1,94-1,97})\text{O}_6$
		opx 2	$\text{Ca}_{0,02-0,03}, \text{Fe}^{2+}_{0,77-0,80}, \text{Mg}_{1,10-1,13}, \text{Fe}^{3+}_{0-0,02}, \text{Al}_{0,05} (\text{Al}_{0,04-0,07}, \text{Si}_{1,93-1,96})\text{O}_6$
		opx 3	$\text{Ca}_{0,02-0,03}, \text{Fe}^{2+}_{0,78-0,80}, \text{Mg}_{1,11-1,14}, \text{Fe}^{3+}_{0-0,01}, \text{Al}_{0,04-0,05} (\text{Al}_{0,03-0,06}, \text{Si}_{1,94-1,97})\text{O}_6$
		opx 4	$\text{Na}_{0-0,01}, \text{Ca}_{0,02-0,06}, \text{Fe}^{2+}_{0,77-0,82}, \text{Mg}_{1,08-1,11}, \text{Fe}^{3+}_{0-0,05}, \text{Al}_{0,04} (\text{Al}_{0,05-0,07}, \text{Si}_{1,93-1,95})\text{O}_6$
		cpx 1	$\text{Na}_{0,06-0,07}, \text{Ca}_{0,82-0,86}, \text{Fe}^{2+}_{0,27-0,31}, \text{Mg}_{0,65-0,70}, \text{Fe}^{3+}_{0,01-0,03}, \text{Ti}_{0,01}, \text{Al}_{0,09-0,10} (\text{Al}_{0,05-0,08}, \text{Si}_{1,92-1,95})\text{O}_6$
		cpx 2	$\text{Na}_{0,06-0,07}, \text{Ca}_{0,74-0,85}, \text{Fe}^{2+}_{0,29-0,38}, \text{Mg}_{0,64-0,69}, \text{Fe}^{3+}_{0-0,04}, \text{Ti}_{0,01}, \text{Al}_{0,09-0,11} (\text{Al}_{0,07-0,08}, \text{Si}_{1,92-1,93})\text{O}_6$
		cpx 3	$\text{Na}_{0,06-0,08}, \text{Ca}_{0,71-0,83}, \text{Fe}^{2+}_{0,29-0,39}, \text{Mg}_{0,63-0,69}, \text{Fe}^{3+}_{0,01-0,06}, \text{Ti}_{0,01}, \text{Al}_{0,09-0,10} (\text{Al}_{0,06-0,09}, \text{Si}_{1,91-1,94})\text{O}_6$

Tabela 56 – Análises químicas de plagioclásio da *Nappe* Três Pontas-Varginha

TPR-01-C													
Grão-Análise	pl2-1	pl2-2	pl2-3	pl3-1	pl3-2	pl3-3	pl3-4	pl3-5	pl4-1	pl4-2	pl4-3	pl4-4	pl4-5
SiO ₂	59,19	59,59	61,51	58,21	61,06	60,24	60,58	58,89	59,08	59,74	61,05	58,98	58,39
TiO ₂	0,01	0,00	0,04	0,13	0,10	0,00	0,00	0,00	0,04	0,02	0,01	0,04	0,00
Al ₂ O ₃	26,91	27,41	25,94	27,09	25,69	25,91	25,96	27,02	26,99	26,27	25,70	26,24	27,05
Cr ₂ O ₃	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
Fe ₂ O ₃	0,00	0,01	0,01	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,57	0,00	0,03	0,00	0,09
FeO	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
MnO	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,07	0,45	0,01	0,02	0,00	0,01
CaO	7,87	7,88	7,64	7,96	6,07	6,52	6,60	7,48	7,58	6,91	6,34	6,89	7,62
Na ₂ O	6,76	6,73	6,30	6,50	7,57	7,35	7,26	6,78	6,39	7,21	7,43	7,06	6,65
K ₂ O	0,27	0,23	0,24	0,32	0,53	0,46	0,48	0,40	0,32	0,42	0,47	0,38	0,37
Totals	101,01	101,86	101,68	100,24	101,07	100,53	100,94	100,72	101,43	100,58	101,05	99,60	100,20
Oxigênios	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Si	2,614	2,608	2,683	2,593	2,685	2,666	2,669	2,609	2,600	2,646	2,685	2,637	2,601
Ti	0,000	0,000	0,001	0,004	0,003	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000
Al	1,401	1,414	1,334	1,423	1,332	1,352	1,349	1,411	1,400	1,372	1,332	1,383	1,421
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,019	0,000	0,001	0,000	0,003
Fe ²⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,005	0,029	0,001	0,001	0,000	0,000
Ca	0,372	0,370	0,357	0,380	0,286	0,309	0,312	0,355	0,357	0,328	0,299	0,330	0,364
Na	0,579	0,571	0,533	0,561	0,645	0,631	0,620	0,582	0,545	0,619	0,634	0,612	0,574
K	0,015	0,013	0,013	0,018	0,030	0,026	0,027	0,023	0,018	0,024	0,026	0,022	0,021
Soma	4,982	4,977	4,922	4,980	4,983	4,986	4,979	4,987	4,971	4,989	4,978	4,986	4,985
Anortita	39,12	39,32	40,11	40,38	30,72	32,87	33,48	37,89	39,58	34,64	32,05	35,03	38,81

Tabela 57 – Análises químicas de plagioclásio da *Nappe* Três Pontas-Varginha

TPR-01-C						TPR-01-F1							
Grão-Análise	pl5-1	pl5-2	pl5-3	pl5-4	pl5-5	pl1-1	pl1-2	pl1-3	pl1-4	pl1-5	pl1-6	pl1-7	pl1-8
SiO ₂	58,81	59,87	60,20	59,61	58,72	54,62	56,64	56,84	57,02	56,90	56,65	56,84	56,27
TiO ₂	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01	0,04	0,00	0,00	0,16	0,04	0,00	0,00	0,06
Al ₂ O ₃	26,75	26,25	26,26	26,42	27,13	29,49	28,36	28,18	28,05	27,95	27,96	27,95	28,55
Cr ₂ O ₃	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
Fe ₂ O ₃	0,20	0,03	0,02	0,01	0,08	0,73	0,06	0,09	0,04	0,06	0,04	0,07	0,11
FeO	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
MnO	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,44	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01
CaO	7,39	6,85	6,94	7,11	7,89	10,52	9,52	8,93	8,73	8,89	8,79	8,93	9,31
Na ₂ O	6,97	7,22	7,15	7,20	6,50	4,79	5,72	6,01	6,03	6,05	6,02	5,91	5,67
K ₂ O	0,38	0,43	0,41	0,40	0,35	0,24	0,34	0,38	0,39	0,37	0,38	0,39	0,35
Totals	100,51	100,66	101,00	100,77	100,70	100,88	100,66	100,43	100,44	100,28	99,84	100,11	100,34
Oxigênios	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Si	2,613	2,649	2,653	2,637	2,602	2,441	2,525	2,537	2,543	2,543	2,542	2,544	2,516
Ti	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,005	0,001	0,000	0,000	0,002
Al	1,401	1,369	1,364	1,378	1,417	1,554	1,490	1,483	1,475	1,473	1,479	1,475	1,505
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ³⁺	0,007	0,001	0,001	0,000	0,003	0,025	0,002	0,003	0,001	0,002	0,001	0,002	0,004
Fe ²⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,030	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000
Ca	0,352	0,325	0,328	0,337	0,375	0,504	0,455	0,427	0,417	0,426	0,423	0,428	0,446
Na	0,600	0,619	0,611	0,618	0,559	0,415	0,494	0,520	0,521	0,524	0,524	0,513	0,491
K	0,021	0,024	0,023	0,023	0,020	0,013	0,019	0,022	0,022	0,021	0,022	0,022	0,020
Soma	4,994	4,988	4,981	4,993	4,977	4,983	4,986	4,991	4,986	4,991	4,991	4,985	4,984
Anortita	36,97	34,43	34,93	35,29	40,15	54,84	47,95	45,09	44,46	44,84	44,67	45,48	47,60

Tabela 58 – Análises químicas de plagioclásio da *Nappe* Três Pontas-Varginha

Grão-Análise	TPR-01-F1							TPR-01-F1									
	pl2-2	pl2-3	pl2-4	pl2-5	pl2-6	pl2-7	pl2-8	pl3-1	pl3-2	pl3-3	pl3-4	pl3-5	pl3-6	pl3-7	pl3-8	pl3-9	pl3-10
SiO ₂	56,14	55,42	55,91	56,47	57,22	56,75	55,21	55,55	55,27	56,74	56,20	55,98	56,34	56,02	56,20	55,99	49,11
TiO ₂	0,03	0,01	0,07	0,04	0,00	0,01	0,00	0,01	0,05	0,03	0,08	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
Al ₂ O ₃	29,13	29,40	29,10	28,50	28,47	28,19	29,15	29,51	29,23	28,53	28,40	28,96	28,63	28,60	28,90	28,98	33,59
Cr ₂ O ₃	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
Fe ₂ O ₃	0,24	0,31	0,35	0,17	0,12	0,10	0,28	0,16	0,08	0,06	0,04	0,04	0,07	0,08	0,07	0,07	0,48
FeO	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
MnO	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO	0,02	0,02	0,03	0,01	0,00	0,03	0,02	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,03	0,03	0,01	0,00	0,09
CaO	10,08	10,02	10,06	9,28	9,38	8,11	10,43	10,40	10,26	9,56	9,43	9,97	9,87	9,78	9,73	9,83	14,88
Na ₂ O	5,50	5,22	5,57	5,71	5,79	5,92	5,21	5,18	5,34	5,62	5,68	5,55	5,58	5,60	5,63	5,49	2,54
K ₂ O	0,19	0,31	0,31	0,36	0,38	0,47	0,34	0,24	0,26	0,30	0,32	0,27	0,29	0,28	0,31	0,31	0,09
Totals	101,34	100,73	101,41	100,54	101,36	99,59	100,64	101,08	100,50	100,86	100,15	100,83	100,80	100,39	100,84	100,67	100,80
Oxigênios	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Si	2,489	2,474	2,482	2,519	2,531	2,547	2,471	2,471	2,474	2,522	2,517	2,494	2,510	2,506	2,502	2,497	2,222
Ti	0,001	0,000	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,001	0,003	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Al	1,523	1,547	1,523	1,499	1,485	1,491	1,538	1,548	1,542	1,495	1,500	1,521	1,504	1,508	1,517	1,524	1,792
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ³⁺	0,008	0,010	0,012	0,006	0,004	0,003	0,010	0,005	0,003	0,002	0,001	0,001	0,002	0,003	0,002	0,002	0,016
Fe ²⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,001	0,001	0,002	0,001	0,000	0,002	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,000	0,000	0,006
Ca	0,479	0,479	0,479	0,444	0,445	0,390	0,500	0,496	0,492	0,455	0,453	0,476	0,471	0,469	0,464	0,470	0,721
Na	0,473	0,452	0,479	0,494	0,497	0,515	0,452	0,447	0,463	0,484	0,493	0,480	0,482	0,486	0,486	0,475	0,223
K	0,011	0,018	0,018	0,021	0,021	0,027	0,019	0,014	0,015	0,017	0,018	0,016	0,016	0,016	0,018	0,018	0,005
Soma	4,986	4,982	4,997	4,984	4,983	4,976	4,991	4,982	4,991	4,979	4,985	4,990	4,987	4,989	4,990	4,986	4,987
Anortita	50,32	51,45	50,00	47,33	47,24	43,09	52,52	52,60	51,52	48,46	47,89	49,79	49,42	49,11	48,84	49,74	76,38

Tabela 59 – Análises químicas de plagioclásio da *Nappe* Três Pontas-Varginha

TPR-01-F1																				
Grão-Análise	pl4-1	pl4-2	pl4-3	pl4-4	pl4-5	pl4-6	pl4-7	pl4-8	pl4-9	pl4-10	pl5-1	pl5-2	pl5-3	pl5-4	pl5-5	pl5-6	pl5-7	pl5-8	pl5-9	pl5-10
SiO ₂	54,93	56,34	56,98	57,20	57,10	57,23	56,19	56,44	56,13	53,02	51,81	55,05	56,02	55,69	56,14	56,95	56,65	56,90	56,87	56,30
TiO ₂	0,05	0,00	0,03	0,04	0,08	0,00	0,08	0,04	0,00	0,00	0,00	0,04	0,02	0,00	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01
Al ₂ O ₃	29,82	28,53	28,47	28,22	28,09	28,34	28,58	28,60	28,78	31,44	31,89	29,48	29,10	29,40	28,85	28,17	28,41	28,38	28,37	28,77
Cr ₂ O ₃	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
Fe ₂ O ₃	0,15	0,07	0,04	0,07	0,06	0,10	0,10	0,16	0,17	0,27	0,04	0,02	0,02	0,01	0,04	0,00	0,02	0,02	0,01	0,04
FeO	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
MnO	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	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
MgO	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
CaO	10,84	9,47	9,26	9,04	8,95	9,16	9,58	9,62	9,84	12,28	12,89	10,31	9,95	10,09	9,76	9,08	9,21	8,97	9,11	9,71
Na ₂ O	5,00	5,67	5,84	5,94	5,88	5,99	5,73	5,68	5,58	4,04	3,78	5,21	5,38	5,28	5,52	5,87	5,78	5,85	5,88	5,76
K ₂ O	0,23	0,28	0,29	0,34	0,30	0,31	0,30	0,25	0,23	0,16	0,17	0,28	0,28	0,28	0,32	0,34	0,32	0,34	0,33	0,31
Totals	101,04	100,36	100,91	100,86	100,49	101,13	100,57	100,80	100,73	101,21	100,58	100,41	100,77	100,75	100,66	100,42	100,41	100,46	100,60	100,90
Oxigênios	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Si	2,448	2,517	2,530	2,541	2,544	2,536	2,509	2,513	2,502	2,368	2,333	2,466	2,495	2,482	2,504	2,540	2,528	2,536	2,533	2,506
Ti	0,002	0,000	0,001	0,001	0,003	0,000	0,003	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Al	1,567	1,503	1,490	1,478	1,475	1,481	1,504	1,501	1,513	1,655	1,693	1,557	1,528	1,545	1,517	1,481	1,495	1,491	1,490	1,510
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ³⁺	0,005	0,002	0,001	0,002	0,002	0,003	0,003	0,005	0,006	0,009	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001
Fe ²⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Ca	0,518	0,453	0,441	0,430	0,427	0,435	0,458	0,459	0,470	0,588	0,622	0,495	0,475	0,482	0,466	0,434	0,440	0,428	0,435	0,463
Na	0,432	0,491	0,503	0,512	0,508	0,515	0,496	0,490	0,482	0,350	0,330	0,452	0,465	0,456	0,477	0,508	0,500	0,506	0,508	0,497
K	0,013	0,016	0,016	0,019	0,017	0,017	0,017	0,014	0,013	0,009	0,010	0,016	0,016	0,016	0,018	0,019	0,018	0,019	0,019	0,018
Soma	4,987	4,983	4,983	4,983	4,978	4,988	4,991	4,985	4,986	4,979	4,990	4,989	4,980	4,981	4,985	4,982	4,983	4,981	4,985	4,996
Anortita	54,53	47,99	46,72	45,65	45,67	45,79	48,01	48,37	49,37	62,69	65,34	52,27	50,53	51,39	49,42	46,07	46,81	45,82	46,13	48,23

Tabela 60 – Análises químicas de plagioclásio da *Nappe* Três Pontas-Varginha

TPR-01-F1										
Grão-Análise	pl6-1	pl6-2	pl6-3	pl6-4	pl6-5	pl6-6	pl6-7	pl6-8	pl6-9	pl6-10
SiO ₂	56,36	57,35	57,29	57,48	57,29	57,27	57,08	57,20	56,75	55,79
TiO ₂	0,00	0,03	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,03
Al ₂ O ₃	28,76	28,10	28,26	28,10	28,39	28,06	28,19	28,20	28,78	29,34
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ₂ O ₃	0,04	0,03	0,01	0,04	0,02	0,01	0,03	0,04	0,07	0,28
FeO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
MgO	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
CaO	9,93	9,05	8,99	8,94	8,99	8,95	8,99	9,00	9,44	10,12
Na ₂ O	5,54	5,94	5,96	6,02	5,94	5,98	5,89	5,81	5,62	5,34
K ₂ O	0,26	0,28	0,32	0,29	0,30	0,30	0,27	0,28	0,26	0,24
Totals	100,91	100,81	100,85	100,88	100,96	100,58	100,47	100,54	100,93	101,14
Oxigênios	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Si	2,507	2,547	2,543	2,550	2,540	2,549	2,543	2,545	2,519	2,480
Ti	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Al	1,508	1,471	1,479	1,470	1,484	1,472	1,480	1,479	1,506	1,537
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ³⁺	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,002	0,010
Fe ²⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Ca	0,473	0,431	0,428	0,425	0,427	0,427	0,429	0,429	0,449	0,482
Na	0,478	0,511	0,513	0,518	0,511	0,516	0,509	0,501	0,484	0,460
K	0,015	0,016	0,018	0,017	0,017	0,017	0,016	0,016	0,015	0,013
Soma	4,984	4,979	4,982	4,981	4,980	4,981	4,978	4,973	4,976	4,983
Anortita	49,74	45,75	45,48	45,07	45,52	45,28	45,74	46,13	48,12	51,17

Tabela 61 – Análises químicas de plagioclásio da *Nappe* Socorro-Guaxupé

IC-06-R								
Grão-Análise	pl2-1	pl2-2	pl2-3	pl3-1	pl3-2	pl3-3	pl4-2	pl4-3
SiO ₂	60,42	58,45	60,01	60,26	60,66	60,32	59,72	59,86
TiO ₂	0,05	0,00	0,01	0,01	0,05	0,02	0,07	0,00
Al ₂ O ₃	25,62	25,34	25,95	25,67	25,81	25,96	25,81	25,78
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ₂ O ₃	0,35	1,66	0,21	0,38	0,22	0,33	0,18	0,22
FeO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,03
MgO	0,00	1,13	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01
CaO	6,59	6,22	6,85	6,67	6,71	6,67	6,67	6,75
Na ₂ O	7,20	6,77	7,20	7,09	7,24	7,20	7,35	7,31
K ₂ O	0,43	0,42	0,40	0,42	0,40	0,39	0,10	0,11
Totals	100,67	100,03	100,63	100,52	101,09	100,91	99,90	100,07
Oxigênios	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Si	2,671	2,615	2,656	2,668	2,670	2,661	2,658	2,661
Ti	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002	0,001	0,002	0,000
Al	1,335	1,337	1,354	1,340	1,339	1,350	1,354	1,351
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ³⁺	0,012	0,056	0,007	0,013	0,007	0,011	0,006	0,008
Fe ²⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001
Mg	0,000	0,076	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001
Ca	0,312	0,298	0,325	0,316	0,316	0,315	0,318	0,321
Na	0,617	0,587	0,618	0,609	0,618	0,616	0,634	0,630
K	0,024	0,024	0,023	0,024	0,022	0,022	0,006	0,006
Soma	4,974	4,994	4,983	4,971	4,975	4,977	4,979	4,978
Anortita	33,58	33,67	34,46	34,16	33,83	33,83	33,40	33,75

Tabela 62 – Análises químicas de plagioclásio da *Nappe* Socorro-Guaxupé

Grão-Análise	IC-06-R												
	pl5-1	pl5-2	pl5-3	pl5-4	pl5-5	pl6-1	pl6-2	pl6-3	pl6-4	pl6-5	pl6-6	pl6-7	pl6-8
SiO ₂	60,03	60,69	60,65	60,09	60,39	58,23	60,23	60,98	60,56	59,86	59,36	60,17	60,15
TiO ₂	0,01	0,02	0,02	0,03	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,02	0,03	0,04	0,07
Al ₂ O ₃	25,71	25,58	25,67	25,52	25,90	25,70	25,85	25,41	25,52	25,67	26,09	26,11	26,05
Cr ₂ O ₃	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
Fe ₂ O ₃	0,11	0,09	0,08	0,33	0,51	1,18	0,11	0,09	0,16	0,35	0,16	0,19	0,23
FeO	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
MnO	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
MgO	0,04	0,00	0,00	0,15	0,02	0,66	0,02	0,00	0,02	0,15	0,01	0,02	0,01
CaO	7,21	6,45	6,50	6,60	6,69	6,89	6,46	6,13	6,35	6,45	6,92	6,79	6,84
Na ₂ O	7,09	7,45	7,42	7,13	7,13	6,89	7,33	7,58	7,54	7,37	7,12	7,31	7,37
K ₂ O	0,28	0,42	0,43	0,45	0,37	0,21	0,28	0,26	0,25	0,25	0,19	0,19	0,20
Totals	100,48	100,70	100,78	100,30	101,02	99,77	100,28	100,48	100,44	100,14	99,88	100,82	100,92
Oxigênios	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Si	2,661	2,680	2,677	2,667	2,662	2,611	2,669	2,693	2,680	2,660	2,645	2,655	2,653
Ti	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002
Al	1,343	1,332	1,336	1,336	1,346	1,358	1,350	1,323	1,331	1,345	1,371	1,358	1,355
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ³⁺	0,004	0,003	0,003	0,011	0,017	0,040	0,004	0,003	0,005	0,012	0,005	0,006	0,008
Fe ²⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Mg	0,002	0,000	0,000	0,010	0,001	0,044	0,001	0,000	0,001	0,010	0,001	0,001	0,001
Ca	0,342	0,305	0,307	0,314	0,316	0,331	0,307	0,290	0,301	0,307	0,330	0,321	0,323
Na	0,609	0,638	0,635	0,614	0,609	0,599	0,630	0,649	0,647	0,635	0,615	0,625	0,630
K	0,016	0,024	0,024	0,026	0,021	0,012	0,016	0,015	0,014	0,014	0,011	0,011	0,011
Soma	4,978	4,983	4,983	4,978	4,972	4,996	4,977	4,975	4,981	4,985	4,979	4,979	4,984
Anortita	35,96	32,34	32,59	33,84	34,16	35,59	32,76	30,88	31,75	32,59	34,92	33,93	33,89

Tabela 63 – Análises químicas de plagioclásio da *Nappe* Socorro-Guaxupé

Grão-Análise	IC-06-R														
	pl7-1	pl7-2	pl7-3	pl7-4	pl7-5	pl8-1	pl8-2	pl8-3	pl8-4	pl8-5	pl8-6	pl8-7	pl8-8	pl8-9	pl8-10
SiO ₂	60,10	60,12	60,62	60,28	59,94	60,23	60,44	60,79	60,50	60,40	60,79	60,51	60,68	60,61	60,24
TiO ₂	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,06	0,00	0,02	0,05	0,02	0,04	0,04
Al ₂ O ₃	26,13	26,10	25,78	25,91	26,40	25,89	25,45	25,55	25,52	25,66	25,60	25,41	25,46	25,76	25,85
Cr ₂ O ₃	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
Fe ₂ O ₃	0,42	0,16	0,12	0,16	0,35	0,04	0,05	0,02	0,08	0,07	0,10	0,07	0,07	0,07	0,08
FeO	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
MnO	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO	0,06	0,00	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01
CaO	6,71	6,83	6,55	6,59	7,12	6,47	6,29	6,18	6,22	6,17	6,11	6,31	6,38	6,58	6,61
Na ₂ O	6,78	7,39	7,35	7,41	7,13	7,49	7,48	7,57	7,51	7,58	7,58	7,51	7,58	7,41	7,35
K ₂ O	1,07	0,25	0,28	0,30	0,27	0,27	0,30	0,36	0,33	0,30	0,32	0,32	0,30	0,34	0,23
Totals	101,27	100,86	100,73	100,67	101,23	100,42	100,01	100,47	100,22	100,18	100,55	100,18	100,50	100,81	100,40
Oxigênios	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Si	2,650	2,654	2,675	2,664	2,639	2,666	2,684	2,687	2,682	2,678	2,685	2,684	2,684	2,673	2,667
Ti	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001
Al	1,358	1,358	1,341	1,350	1,370	1,351	1,333	1,332	1,334	1,341	1,333	1,329	1,327	1,340	1,349
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ³⁺	0,014	0,005	0,004	0,005	0,012	0,001	0,002	0,001	0,003	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002	0,003
Fe ²⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,004	0,000	0,000	0,001	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001
Ca	0,317	0,323	0,310	0,312	0,336	0,307	0,299	0,293	0,295	0,293	0,289	0,300	0,302	0,311	0,314
Na	0,580	0,633	0,629	0,635	0,609	0,643	0,644	0,649	0,646	0,652	0,649	0,646	0,650	0,634	0,631
K	0,060	0,014	0,016	0,017	0,015	0,015	0,017	0,020	0,019	0,017	0,018	0,018	0,017	0,019	0,013
Soma	4,984	4,988	4,975	4,984	4,982	4,985	4,979	4,981	4,980	4,984	4,980	4,981	4,984	4,981	4,978
Anortita	35,34	33,79	33,01	32,95	35,56	32,32	31,71	31,10	31,35	31,01	30,81	31,71	31,72	32,91	33,23

Tabela 64 – Análises químicas de plagioclásio da *Nappe* Socorro-Guaxupé

IC-06-R										
Grão-Análise	pl9-9	pl9-10	pl10-1	pl10-2	pl10-3	pl10-4	pl10-5	pl10-6	pl10-7	pl10-8
SiO ₂	60,15	60,91	60,98	60,76	60,67	60,54	60,74	60,73	60,81	60,43
TiO ₂	0,06	0,03	0,04	0,00	0,00	0,01	0,00	0,03	0,01	0,04
Al ₂ O ₃	25,22	25,56	25,41	25,37	25,50	25,39	25,52	25,57	25,47	25,90
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ₂ O ₃	0,33	0,08	0,08	0,09	0,06	0,06	0,05	0,08	0,12	0,29
FeO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01
MgO	0,16	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
CaO	6,01	6,24	6,30	6,03	6,20	6,19	6,40	6,24	6,22	6,63
Na ₂ O	7,16	7,52	7,47	7,38	7,47	7,45	7,39	7,33	7,44	7,26
K ₂ O	0,48	0,48	0,46	0,45	0,43	0,47	0,49	0,44	0,43	0,39
Totals	99,60	100,82	100,74	100,09	100,35	100,12	100,60	100,44	100,50	100,96
Oxigênios	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Si	2,684	2,686	2,690	2,695	2,686	2,687	2,684	2,686	2,688	2,664
Ti	0,002	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001
Al	1,327	1,329	1,322	1,326	1,331	1,329	1,330	1,333	1,327	1,346
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ³⁺	0,011	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,003	0,004	0,010
Fe ²⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,287	0,295	0,298	0,287	0,294	0,294	0,303	0,296	0,295	0,313
Na	0,619	0,643	0,639	0,635	0,641	0,641	0,633	0,629	0,638	0,621
K	0,027	0,027	0,026	0,026	0,024	0,027	0,028	0,025	0,024	0,022
Soma	4,969	4,983	4,979	4,971	4,980	4,981	4,980	4,972	4,977	4,978
Anortita	31,68	31,45	31,80	31,13	31,44	31,44	32,37	32,00	31,62	33,51

Tabela 65 – Fórmulas estruturais de plagioclásio das *nappes* Três Pontas-Varginha e Socorro-Guaxupé

Unidade	Amostra	Cristal	Fórmula estrutural
NAPPE TRÊS PONTAS-VARGINHA (CALCIOSILICÁTICAS)	TPR-01-C	plagioclásio 2	$K_{0,01-0,02}, Ca_{0,36-0,37}, Na_{0,53-0,58}, Al_{1,33-1,41}, Si_{2,61-2,68}, O_8$
		plagioclásio 3	$K_{0,02-0,03}, Ca_{0,29-0,38}, Na_{0,56-0,65}, Al_{1,33-1,42}, Si_{2,59-2,69}, O_8$
		plagioclásio 4	$K_{0,02-0,03}, Ca_{0,30-0,36}, Na_{0,55-0,63}, Al_{1,33-1,42}, Si_{2,60-2,69}, O_8$
		plagioclásio 5	$K_{0,02}, Ca_{0,33-0,38}, Na_{0,56-0,62}, Al_{1,36-1,42}, Si_{2,60-2,65}, O_8$
	TPR-01-F1	plagioclásio 1	$K_{0,01-0,02}, Ca_{0,42-0,50}, Na_{0,42-0,52}, Al_{1,47-1,55}, Si_{2,44-2,54}, O_8$
		plagioclásio 2	$K_{0,01-0,03}, Ca_{0,39-0,50}, Na_{0,45-0,52}, Al_{1,49-1,55}, Si_{2,47-2,55}, O_8$
		plagioclásio 3	$K_{0,01-0,02}, Ca_{0,45-0,72}, Na_{0,22-0,49}, Al_{1,50-1,79}, Si_{2,22-2,52}, O_8$
		plagioclásio 4	$K_{0,01-0,02}, Ca_{0,43-0,59}, Na_{0,35-0,52}, Al_{1,48-1,66}, Si_{2,37-2,54}, O_8$
		plagioclásio 5	$K_{0,01-0,02}, Ca_{0,43-0,62}, Na_{0,33-0,51}, Al_{1,48-1,69}, Si_{2,33-2,54}, O_8$
		plagioclásio 6	$K_{0,01-0,02}, Ca_{0,43-0,48}, Na_{0,46-0,52}, Al_{1,47-1,54}, Si_{2,48-2,55}, O_8$
NAPPE SOCORRO-GUAXUPÉ (GRANULITO FÉLSICO)	IC-06-R	plagioclásio 2	$K_{0,02}, Ca_{0,30-0,33}, Na_{0,59-0,62}, Al_{1,34-1,35}, Si_{2,62-2,67}, O_8$
		plagioclásio 3	$K_{0,02}, Ca_{0,32}, Na_{0,61-0,62}, Al_{1,34-1,35}, Si_{2,66-2,67}, O_8$
		plagioclásio 4	$K_{0,01}, Ca_{0,32}, Na_{0,63}, Al_{1,35}, Si_{2,66}, O_8$
		plagioclásio 5	$K_{0,02-0,03}, Ca_{0,31-0,34}, Na_{0,61-0,64}, Al_{1,33-1,35}, Si_{2,66-2,68}, O_8$
		plagioclásio 6	$K_{0,01-0,03}, Ca_{0,29-0,33}, Na_{0,60-0,65}, Al_{1,32-1,37}, Si_{2,61-2,69}, O_8$
		plagioclásio 7	$K_{0,01-0,06}, Ca_{0,31-0,34}, Na_{0,58-0,64}, Al_{1,34-1,37}, Si_{2,64-2,68}, O_8$
		plagioclásio 8	$K_{0,01-0,02}, Ca_{0,29-0,31}, Na_{0,63-0,65}, Al_{1,33-1,35}, Si_{2,67-2,69}, O_8$
		plagioclásio 9	$K_{0,03}, Ca_{0,29-0,30}, Na_{0,62-0,64}, Al_{1,33}, Si_{2,68-2,69}, O_8$
		plagioclásio 10	$K_{0,02-0,03}, Ca_{0,29-0,31}, Na_{0,62-0,64}, Al_{1,32-1,35}, Si_{2,66-2,70}, O_8$

Tabela 66 – Teores de titânio (ppm; massa 49) em quartzo da *Nappe* Três Pontas-Varginha e respectivas temperaturas pelo geotermômetro de Thomas *et al.* (2010) a 15 kbar. Textura incluso = incluso em granada

Amostra	Cristal	Textura	Ti49	T (°C)	Amostra	Cristal	Textura	Ti49	T (°C)	Amostra	Cristal	Textura	Ti49	T (°C)
TPR-01-ZE(2)	qtz1	incluso	49	801,68	TPR-01-ZE(2)	qtz33	incluso	37	773,67	TPR-01-ZF(3)	qtz21	incluso/ borda	59	821,89
	qtz1	incluso	42	785,72		qtz34	incluso	49	800,71		qtz22	incluso/ borda	67	836,00
	qtz2	incluso	33	761,68		qtz35	incluso	57	817,55		qtz23	incluso/ borda	62	827,33
	qtz3	incluso	40	779,57		qtz40	matriz	56	815,80	TPR-01-ZG(1)	qtz1	incluso/ borda	35	767,58
	qtz4	incluso	55	814,87		qtz41	matriz	55	813,61		qtz2	incluso/ borda	52	808,17
	qtz5	incluso	56	815,44		qtz42	matriz	50	804,84		qtz3	incluso/ borda	39	777,02
	qtz6	incluso	52	808,12		qtz43	matriz	42	785,94		qtz4	incluso/ borda	26	738,42
	qtz7	incluso	65	831,47		qtz44	matriz	64	830,79		qtz5	incluso/ borda	56	816,74
	qtz8	incluso	41	782,50	TPR-01-ZF(3)	qtz1	incluso	68	837,36		qtz6	incluso	61	825,06
	qtz9	matriz	42	785,96		qtz2	incluso	68	837,92		qtz7	incluso	72	843,91
	qtz10	matriz	52	807,43		qtz3	incluso	46	795,82		qtz8	incluso	42	784,79
	qtz11	matriz	47	796,89		qtz4	incluso	53	809,45		qtz9	incluso	41	782,82
	qtz12	matriz	57	817,91		qtz5	incluso	40	781,32		qtz9	incluso	45	792,87
	qtz13	incluso	63	829,44		qtz6	incluso	32	760,10		qtz10	incluso	64	829,82
	qtz14	incluso	48	800,54		qtz7	incluso	23	728,33		qtz11	matriz	69	839,53
	qtz15	incluso	63	828,25		qtz8	incluso	50	802,96		qtz12	incluso/ borda	65	831,76
	qtz16	incluso	59	821,41		qtz9	incluso	52	806,98		qtz14	incluso	59	821,58
	qtz17	incluso	49	802,58		qtz9	incluso	42	785,43		qtz15	incluso	45	792,94
	qtz21	matriz	35	767,67		qtz10	incluso	54	811,13	TPR-01-ZG(2)	qtz2	incluso	40	780,71
	qtz22	matriz	37	773,56		qtz11	incluso	43	789,05		qtz2	incluso	53	809,47
	qtz23	matriz	35	766,37		qtz12	incluso	55	813,90		qtz3	incluso	60	824,29
	qtz25	matriz	33	760,64		qtz13	incluso	70	840,10		qtz4	incluso	70	841,00
	qtz26	matriz	50	803,51		qtz14	incluso	59	820,91		qtz4	incluso	67	835,32
	qtz27	incluso	67	835,30		qtz15	incluso	68	837,74		qtz5	incluso	56	815,01
	qtz28	incluso	49	800,75		qtz16	incluso	63	828,76		qtz6	incluso	66	834,56
	qtz29	incluso	45	792,32		qtz17	incluso	43	788,77		qtz7	incluso	50	803,07
	qtz30	incluso	52	807,28		qtz18	incluso	66	833,38		qtz8	incluso	51	805,94
	qtz31	incluso	43	788,74		qtz19	incluso/ borda	72	843,42		qtz9	incluso	49	801,61
	qtz32	incluso	48	800,28		qtz20	incluso/ borda	61	825,71		qtz10	incluso	42	786,64

Tabela 67 – Teores de zircônio (ppm; massa 90) em rutilo da *Nappe* Três Pontas-Varginha e respectivas temperaturas pelo geotermômetro de Tomkins *et al.* (2007), quartzo β , a 15 kbar. Textura incluso = incluso em granada

Amostra	Cristal	Textura	Zr90	T (°C)	Amostra	Cristal	Textura	Zr90	T (°C)	Amostra	Cristal	Textura	Zr90	T (°C)
TPR-01-ZE(2)	rt12	incluso	558	727,77	TPR-01-ZF(3)	rt6	incluso	579	731,01	TPR-01-ZF(3)	rt40	matriz	672	744,63
	rt13	incluso	564	728,70		rt7	incluso	1210	802,31		rt41	matriz	892	771,67
	rt14	incluso	855	767,49		rt8	incluso	1202	801,66		rt42	matriz	964	779,25
	rt15	incluso	1133	795,53		rt9	incluso	1139	796,09		rt43	incluso (ky)	674	744,88
	rt16	matriz	644	740,76		rt10	incluso	828	764,41		rt44	matriz	672	744,71
	rt17	matriz	788	759,66		rt11	incluso	1142	796,38	TPR-01-ZG(1)	rt45	matriz	764	756,73
	rt18	matriz	1089	791,50		rt12	incluso	1150	797,13		rt1	incluso	601	734,40
	rt19	matriz	767	757,07		rt13	incluso	881	770,40		rt2	matriz	1158	797,77
	rt20	matriz	645	740,93		rt14	incluso	418	702,36		rt3	incluso/ borda	905	773,10
	rt21	matriz	635	739,49		rt15	incluso	622	737,47		rt4	incluso/ borda	1032	786,14
	rt22	matriz	634	739,31		rt16	incluso	560	727,98		rt5	incluso/ borda	1027	785,64
	rt23	matriz	970	779,93		rt17	incluso	427	704,17		rt6	incluso	1504	825,40
	rt24	incluso	1155	797,51		rt18	incluso	527	722,65		rt7	incluso	786	759,45
	rt25	incluso	1432	820,12		rt19	incluso	616	736,64		rt8	incluso	1117	794,09
	rt26	incluso	973	780,20		rt20	incluso	654	742,18		rt9	incluso	1365	815,02
	rt27	matriz	682	746,06		rt21	incluso	694	747,60		rt10	incluso/ borda	1066	789,41
	rt28	matriz	828	764,38		rt22	incluso	1499	825,02		rt11	incluso/ borda	1387	816,67
	rt29	matriz	967	779,65		rt23	incluso	686	746,63		rt12	incluso	1308	810,50
	rt30	matriz	1145	796,69		rt24	incluso	958	778,67		rt13	incluso	640	740,21
	rt31	matriz	1129	795,25		rt25	incluso	1026	785,55		rt14	incluso/ borda	552	726,80
	rt32	matriz	850	766,92		rt26	incluso/ borda	864	768,58		rt15	incluso/ borda	878	770,07
	rt33	incluso/borda	841	765,90		rt27	incluso/ borda	596	733,61		rt16	incluso	449	708,64
	rt34	incluso/borda	751	755,06		rt28	incluso/ borda	790	759,88		rt16	incluso/ borda	454	709,58
	rt35	matriz	719	751,02		rt29	incluso/ borda	928	775,58		rt17	incluso	750	754,93
TPR-01-ZF(3)	rt36	matriz	761	756,38	TPR-01-ZG(2)	rt30	incluso/ borda	807	761,97	TPR-01-ZG(2)	rt1	incluso	1182	799,92
	rt37	incluso/borda	374	693,13		rt31	incluso/ borda	757	755,85		rt3	incluso/ borda	978	780,75
	rt38	matriz	787	759,50		rt32	matriz	718	750,82		rt4	incluso/ borda	829	764,53
	rt39	matriz	941	776,89		rt33	matriz	834	765,11		rt5	incluso/ borda	1050	787,87
	rt40	matriz	898	772,34		rt34	matriz	919	774,56		rt6	incluso/ borda	756	755,68
TPR-01-ZF(3)	rt1	incluso	1146	796,76		rt35	matriz	721	751,18		rt9	incluso/ borda	727	752,02
	rt2	incluso	1518	826,40		rt36	matriz	737	753,33		rt10	incluso/ borda	967	779,62
	rt3	incluso	871	769,30		rt37	matriz	770	757,42		rt11	incluso/ borda	435	705,78
	rt4	incluso	921	774,77		rt38	matriz	582	731,52					
	rt5	incluso	1448	821,29		rt39	matriz	935	776,27					

APÊNDICE 1

MAPA GEOLÓGICO

Martinez R. B. 2015 - "Avaliação de métodos para cálculo e inferência de condições P-T em rochas da fácies Granulito: Investigação das rochas das nappes Três Pontas-Varginha e Socorro-Guaçupe"

Legenda

- Área urbana
- Rios e drenagens
- Curvas de nível
- Ponto cotado
- Caminho/Trilha
- Tráfego periódico
- Tráfego permanente
- Afloramento
- Lineação mineral
- Foliação
- Contato de empurrão inferido
- Contato inferido
- Pedreira de Três Pontas

Unidades

- Quartzitos, xistos finos e filitos - Grupo Carrancas
- Biotita-muscovita xisto bandado ("Xisto Santo Antônio")
- Metatextito estromático
- Granulito Varginha-Três Pontas; rt-ky-grt granulito migmatítico com intercalações decimétricas a métricas de rocha máfica residual rica em hornblenda

MAPA DE PONTOS

Mapas confeccionados a partir das folhas topográficas do IBGE 1:50.000, SF-23-I-4 (Três Pontas) e SF-I-II-3 (Ribeirão da Espera) e da compilação de dados de Maciel (1986)