Serie / NOVA TERRA

Petrologia, geoquímica e termocronologia das rochas granulíticas do sector São Fidelis – Santo António de Pádua (zona central da Faixa Ribeira, Rio de Janeiro, SE do Brasil)

Telmo Manuel Bento dos Santos

INSTITUTO UNIVERSITARIO DE GEOLOGÍA "ISIDRO PARGA PONDAL"
ÁREA DE XEOLOXÍA E MINERÍA DO SEMINARIO DE ESTUDOS GALEGOS

A Coruña 2009

ISSN: 1131-8503
ISBN: 978-84-9749-365-9
Depósito Legal: C 3914-2009
Imprime: Tórculo
A Coruña, 2009

Ilustración de cubierta:
Formación de clinopiroxeno por retrogradación de anfíbol hornblenda en la Unidad Bela Joana (São Fidelis, SE de Brasil) (Fotografía: Telmo Manuel Bento dos Santos)

Editor científico: Juan Ramón Vidal Romaní
Maquetación: Telmo Manuel Bento dos Santos
Portada: Juan Ramón Vidal Romaní

FICHA DE CATALOGACIÓN

BENTO DOS SANTOS, Telmo Manuel

Petrologia, geoquímica e termocronologia das rochas granulíticas do sector São Fidelis – Santo António de Pádua (zona central da Faixa Ribeira, Rio de Janeiro, Se do Brasil).

256 pp.; 87 fig.; 15 tablas; 24 cm (Serie Nova Terra; 38)

Tesis Doctoral de la Universidade de Lisboa (Portugal). – Bibliografía: p. 199 - 234 – Incluye índice. [Editor científico: Juan Ramón Vidal Romaní]

ISBN: 978-84-9749-365-9 D.L.: C 3914-2009
ISSN: 1131-8503

1. Petrología-São Fidelis-Santo António de Pádua-Rio de Janeiro-Brasil 2. Granulitas 3. Geoquímica 4. Termocronología 5. Petrología 6. Brasil

I. Vidal Romaní, Juan Ramón, ed. II. Instituto Universitario de Geología, Universidad da Coruña, ed. III. Laboratorio Xeolóxico de Laxe, Área de Xeoloxía e Minería do Seminario de Estudos Galegos, ed. IV. Universidade de Lisboa, ed. V. Serie : (Nova Terra, 38) VI. Tít.

RESUMO

A região de São Fidelis localiza-se a norte do Rio de Janeiro (SE do Brasil) e pertence à zona central da Faixa Ribeira, uma faixa móvel de idade Neoproterozóica – Ordovícica. Esta tese apresenta dados referentes a diversas metodologias com o objectivo de caracterizar a evolução dos granulitos (s. l.) presentes na área e, desta forma, discriminar a evolução geodinâmica da Faixa Ribeira, formada no final do Ciclo Brasiliano por colisão dos crátons de São Francisco e Congo no contexto da aglutinação do mega-continente Gondwana Ocidental.

Os resultados indicam que após a colisão há 630 – 610 Ma, o pico do metamorfismo granulítico (T ~ 850 ºC; P ~ 8 kbar), contemporâneo de cavalgamentos de alta temperatura (no contexto da formação de uma mega-estrutura em flor), extensa migmatização de rochas supracrustais e geração de granitóides, foi atingido há ~ 565 Ma, tendo o arrefecimento que se seguiu sido processado mais rapidamente nas rochas próximas da zona central da estrutura em flor (3 – 10 ºC/Ma) que nas presentes nas rampas laterais (~ 1 ºC/Ma).

Uma anomalia térmica, provavelmente resultante de *upwelling* da astenosfera e *underplating* (num contexto de extensão pós-colisional), terá permitido, auxiliada pelo longo período de deformação transpressiva sub-horizontal que se seguiu, um arrefecimento muito lento e manutenção de T ≥ 650 ºC para alguns granulitos durante ~ 100 Ma. Após o longo período transpressivo (há 510 – 480 Ma), as taxas de arrefecimento aumentaram rapidamente (8 – 30 ºC/Ma) por exumação mais rápida relacionada com o relaxamento termo-tectónico do colapso do orógeno.

A evolução termocronológica da área estudada sugere a existência de um longo período com manutenção de condições térmicas elevadas que terá condicionado tanto a evolução das condições físicas (T, P, fO_2, a_{H2O}) deste segmento crustal como a formação das feições petrológicas e geoquímicas que destas dependem, sendo que a manutenção da anomalia térmica por ~ 100 Ma terá levado a elevada desidratação da crosta inferior e produção generalizada de charnockitos na Faixa Ribeira.

Palavras-chave: Brasil; Geoquímica; Termocronologia; Charnockito; Fluidos.

ABSTRACT

The São Fidelis region is located north of Rio de Janeiro (SE Brazil) and is part of the central zone of Ribeira Belt, a Neoproterozoic – Ordovicic mobile belt. This thesis presents data obtained with several techniques with the purpose of characterizing the evolution of the granulites (s. l.) present in the area and, in this way, to constrain the geodynamic evolution of the Ribeira Belt, formed in the final stages of the Braziliano Cycle as the result of the collision between the São Francisco and Congo cratons in the Western Gondwana mega-continent amalgamation context.

Results show that after the collision at 630 – 610 Ma, granulitic metamorphism (T ~ 850 ºC; P ~ 8 kbar), coeval with high-temperature thrusts (as the result of the formation of a mega flower structure), widespread migmatization of supracrustal rocks and granitoid production, was attained at ~ 565 Ma, and the cooling that followed was faster for the rocks closer to the centre of the flower structure (3 – 10 ºC/Ma) than for those present in the lateral ramps (~ 1 ºC/Ma).

A thermal anomaly, probably resultant of asthenospheric upwelling and underplating (in a post-collisional extension context), allowed, aided by the long-term sub-horizontal transpressive deformation period that followed, a very slow cooling and preservation of T > 650 ºC for some granulites during ~ 100 Ma. After the long-term transpressive period (at 510 – 480 Ma), cooling rates increased rapidly (8 – 30 ºC/Ma) by faster exhumation due to thermo-tectonic relaxation and orogenic collapse.

The thermochronologic evolution of the studied area suggests a long-term maintenance of high-thermal flux, that conditioned the evolution of this crustal segment physical conditions (T, P, fO_2, a_{H2O}), as well as, the petrological and geochemical features dependent. The long-term thermal anomaly that lasted ~ 100 Ma may have led to extensive lower crust dehydration and widespread formation of charnockites in the Ribeira Belt.

Keywords: Brazil; Geochemistry; Thermochronology; Charnockite; Fluids.

a) Structure

Structural analysis on metatexites, diatexites, charnockites and blastomylonites from the studied area indicate that the regional thrusts D_1 (245-260º, 55-70º NW) were coeval with the high grade peak metamorphism at 565 – 575 Ma, post-dating earlier collision related nappe thrusts at 630 – 610 Ma (D_0). These were mostly erased by D_2

thrusting and long-term dextral transpressional shearing (50-65º, 70-85º NW), simultaneous with very slow cooling of the orogen until 480 – 520 Ma. Brittle, extensional, tectonic event D_3 (290-320º, sub-vertical) is associated with late granite emplacement in the area, being followed by tectonic collapse that resulted in rapid exhumation/cooling of the high grade rocks at ~ 470 Ma.

Results suggest that a > 35 Ma period of nearly orthogonal shortening between the San Francisco and West Congo cratons occurred until 565 Ma with development of the D_1 flower thrust system. Afterwards, when rocks could not absorb further orthogonal shortening, D_2 dextral transpressive regime became dominant, turning the flower structure asymmetric.

Specific positioning within the flower structure and partition of deformation induced "local" antithetical sinistral kinematics within the main regional dextral regime and differential exhumation: granulites in the central axis were rapidly exhumed, whereas along the lateral branches exhumation was much slower resulting in very slow cooling that lasted for almost 100 Ma.

b) Metamorphism

Pseudosections, geothermobarometric estimates and careful petrographic observations of gneissic migmatites and granulites from Neoproterozoic central Ribeira Fold Belt (SE Brazil) were performed in order to quantify the metamorphic P-T conditions during prograde and retrograde evolution of the Brasiliano Orogeny.

Results establish a prograde metamorphic trajectory from amphibolite facies conditions to metamorphic peak (T = 850 ± 50 ºC; P = 8 ± 1 kbar) that promoted widespread dehydration-melting of 30 to 40% of the gneisses and high grade granitization.

Soon after metamorphic peak, migmatites evolved with cooling and decompression to T ≈ 500 ºC and P ≈ 5 kbar coupled with a_{H_2O} increase, replacing the high grade paragenesis garnet-plagioclase-K-feldspar by biotite-quartz-sillimanite-(muscovite). Cordierite absence, microtextural observations and P-T results constrain migmatite metamorphic evolution in the pseudosections as a clockwise P-T path with retrograde cooling and decompression.

High-temperature conditions further dehydrated the lower crust with biotite and amphibole-dehydration melting and granulite formation coupled with 10% melt generation. Granulites can thus be envisaged as lower crustal dehydrated restites.

During this period, granulites were slowly (nearly isobaric) cooled, followed by late exhumation/retrograde rapid decompression and cooling, reflecting a two step P-T path. This retrograde evolution, coupled with water influx, chemically reequilibrated the rocks from granulite to amphibolite/greenschist facies, promoting the replacement of plagioclase-hypersthene-garnet peak assemblage by biotite-quartz-K-feldspar symplectites.

c) Geochemistry

New elemental and Sr-Nd isotope geochemistry data on migmatites, diatexites, charnockites and orthogneisses from the central segment of Ribeira Fold Belt (SE Brazil) indicate that they are LILE-enriched weakly peraluminous granodiorites.

Harker diagrams correlation trends for TiO_2, Al_2O_3, $Fe_2O_3^t$, MgO, P_2O_5, Sr, Zr, Hf, Th, U, REE^t, LREE/HREE and La/Lu, as well as incompatible element trends of Th-Hf-La suggest that these rocks represent a co-genetic sequence, whereas variations on CaO, MnO, Y and HREE can be explained by garnet melting during granulite formation.

Similar REE patterns and juxtaposed isotopic values of ε_{Nd}^{575} = -5.4 to -7.3 and $^{87}Sr/^{86}Sr_{575}$ = 0.706 to 0.711 for granulites, orthogneisses and migmatites, as well as similar T_{DM} ages between 2.0 to 1.5 Ga are consistent with these rocks having evolved from a relatively homogeneous and enriched common meta-sedimentary protolith.

Results suggest a genetic link between charnockites, diatexites, orthogneisses and migmatitic leucossomes, namely that partial melting of meta-sediments formed migmatites and associated granitoid bodies, whereas long-term crustal slow cooling promoted further dehydration that led to widespread development of granulites. These new data indicate a two step process for charnockite development: generation of a hydrated igneous protolith by partial melting of paragneisses, followed by high-grade metamorphism that transformed “type-S granitoids” (leucossomes and diatexites) into orthogneisses and, as metamorphism and dehydration progressed, into charnockites.

d) Ages and cooling rates

The studied sector of central Ribeira Fold Belt (SE Brazil) comprises metatexites, diatexites, charnockites and blastomylonites. This study integrates petrological and thermochronological data of these rocks in order to constrain the thermotectonic and geodynamic evolution of this Neoproterozoic – Ordovician mobile belt during Western Gondwana amalgamation.

New data indicate that after earlier collision stage at ~ 610 Ma (zircon, U-Pb age), peak metamorphism and lower crustal partial melting coeval with main regional high grade D_1 thrust deformation occurred between 575 – 555 Ma (zircon, U-Pb ages). Overall average cooling rate was low (< 5 ºC/Ma) from 750 to 250 ºC (at ~ 455 Ma; bi-WR Rb-Sr age), but disparate cooling paths indicate differential uplift for distinct lithotypes: migmatites and blastomylonites show a globally stable 3 – 5 ºC/Ma cooling rate, whereas most charnockites remained at T > 650 ºC during sub-horizontal D_2 shearing until ~ 510 – 470 Ma (g-WR Sm-Nd ages) (1 – 2 ºC/Ma), being then rapidly exhumed/cooled (8 – 30 ºC/Ma) during post-orogenic D_3 phase deformation with granite emplacement at ~ 490 Ma (zircon, U-Pb age). Garnet – biotite Fe – Mg diffusion based petrological cooling rates are generically consistent with geochronological cooling rates, revealing that migmatites were cooled faster at high T (6 ºC/Ma) and slowly at low T (0.1 ºC/Ma), decreasing cooling rates with time, whereas charnockites show low cooling rates (2 ºC/Ma) near metamorphic peak conditions and high cooling rates (120 ºC/Ma) at lower T, increasing cooling rates during retrogression.

Both charnockite thermal evolution and extensive production of granitoid melts in the area imply that high geothermal gradients were sustained for a long period of time (50 – 90 Ma). This thermal anomaly, reflecting upwelling of asthenospheric mantle and magma underplating coupled with long-term generation of high HPE (heat producing elements) granitoids, should have sustained elevated crustal geotherms for ~ 100 Ma, promoting widespread charnockite generation at middle to lower crustal levels.

e) Fluids

Combined fluid inclusion (FI) microthermometry, Raman spectroscopy, X-ray diffraction, C-O-H isotopes and oxygen fugacities of granulites from central Ribeira Fold Belt, SE Brazil, provided the following results:

i) Magnetite-Hematite fO_2 estimates range from $10^{-11.5}$ bar (QFM +1) to $10^{-18.3}$ bar (QFM -1) for the temperature range of 896 ºC to 656 ºC, implying fO_2 decrease from metamorphic peak temperatures to retrograde conditions;

ii) 5 main types of fluid inclusions were observed: a) CO_2 and CO_2-N_2 (0 to 11 mol%) high to medium density (1.01 – 0.59 g/cm^3) FI; b) CO_2 and CO_2-N_2 (0 to 36 mol%) low density (0.19 to 0.29 g/cm^3) FI; c) CO_2 (94 to 95 mol%) – N_2 (3 mol%) – CH_4 (2 to 3 mol%) – H_2O (water φ_v (25 ºC) = 0.1) FI; d) low-salinity H_2O-CO_2 FI; and e) late low-salinity H_2O FI;

iii) Raman analyses evidence two graphite types in khondalites: an early highly ordered graphite (T ~ 450 ºC) overgrown by a disordered kind (T ~ 330 ºC);

iv) $\delta^{18}O$ quartz results of 10.3 – 10.7‰ imply high-temperature CO_2 $\delta^{18}O$ values of 14.4 to 14.8‰, suggesting the involvement of a metamorphic fluid, whereas lower temperature biotite $\delta^{18}O$ and δD results of 7.5 – 8.5‰ and -54 to -67‰, respectively imply H_2O $\delta^{18}O$ values of 10 to 11‰ and δD_{H_2O} of -23 to -36‰, suggesting $\delta^{18}O$ depletion and increasing fluid/rock ratio from metamorphic peak to retrograde conditions.

Isotopic results are compatible with low-temperature H_2O influx and fO_2 decrease that promoted graphitic deposition in retrograde granulites, simultaneous with low density CO_2, CO_2-N_2 and CO_2-N_2-CH_4-H_2O fluid inclusions at T = 450 – 330 ºC.

Graphite $\delta^{13}C$ results of -10.9 to -11.4‰ imply CO_2 $\delta^{13}C$ values of -0.8 to -1.3‰ suggesting decarbonation of Cambrian marine carbonates with small admixture of lighter biogenic or mantle derived fluids.

Based on these results, it is suggested that metamorphic fluids from the central segment of Ribeira Fold Belt evolved to CO_2-N_2 fluids during granulitic metamorphism at high fO_2, followed by rapid pressure drop at T ~ 400 – 450 ºC during late exhumation that caused fO_2 reduction induced by temperature decrease and water influx, turning carbonic fluids into CO_2-H_2O (depleting biotite $\delta^{18}O$ and δD values), and progressively into H_2O. When fO_2 decreased substantially by mixture of carbonic and aqueous fluids, graphite deposited forming khondalites.

Para a Ana e o Tiago

AGRADECIMENTOS

No decorrer do longo e árduo plano de trabalhos do curso de doutoramento que agora chega ao fim, muitas foram as pessoas e instituições com quem trabalhei e colaborei, devendo os meus agradecimentos pelo apoio demonstrado.

Em primeiro lugar, ao Prof. Doutor José Manuel Urbano Munhá, por prontamente me ter aceite como seu orientando, bem como por me ter mostrado como transformar resultados em bruto em ideias consistentes e integradas e, dessa forma, me ter dado uma visão do que desejo para o meu futuro enquanto geocientista.

De igual forma, ao Prof. Doutor Colombo Celso Gaeta Tassinari, que aceitou a missão de ser co-orientador deste doutoramento e que me introduziu à "arte" da geocronologia e aos mundos do Hemisfério Sul.

Queria de igual forma agradecer, nas próximas linhas, a todos os professores e funcionários das instituições que me acolheram e, desta forma, agradecer às próprias instituições pelo apoio logístico que me foi fornecido.

No Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (DG-FCUL), no Centro de Geologia da Universidade de Lisboa (CeGUL), no Laboratório de Tectonofísica e Tectónica Experimental (LATTEX) e no Centro de Recursos Minerais, Mineralogia e Cristalografia (CREMINER) devo o meu agradecimento ao Prof. Doutor Paulo Fonseca por toda a ajuda concedida na compreensão da evolução geodinâmica da área estudada, pelo companheirismo e por tudo mais; ao Prof. Doutor João Mata por ter feito o contacto para a obtenção do doutoramento, pela gestão da sala de pós-graduação da Geoquímica e pela amizade, à Prof. Doutora Teresa Palácios por todo o apoio concedido nas análises de microssonda, ao Doutor Nuno Leal pelos ensinamentos relativos às inclusões fluidas, ao Prof. Doutor Carlos Matos Alves pelas lições de petrografia, à Prof. Doutora Línia Martins por toda a amizade e troca de ideias, ao Doutor Álvaro Pinto pelo apoio na observação de minerais opacos e ao Prof. Doutor Rui Taborda pelo tratamento estatístico de alguns procedimentos. De igual forma, queria agradecer ao Sr. Octávio Chaveiro pela sua amizade, por todos os bons momentos e conversas, assim como pelas horas dispensadas à frente da microssonda, ao Sr. Alberto Verde pela paciência em aturar a minha pressa em obter as lâminas delgadas, polidas e bi-polidas, às Sras. Célia Lee e Cleta Melo por todas as "encrencas" burocráticas de que me livraram fazendo o seu trabalho de uma forma excepcional e à Sra. Dulce Fernandes pelo apoio na pesquisa bibliográfica.

No Centro de Pesquisas Geocronológicas (CPGeo) do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGc-USP) devo o meu mais sincero agradecimento ao Prof. Doutor Coriolano Dias Neto, por nos ter guiado no campo e pelas discussões ao ar livre, e aos Prof. Doutor Umberto Cordani, Prof. Doutor Ciro Correa e Prof. Doutor Miguel Stipp Basei pelo generoso apoio logístico na obtenção das análises de geocronologia. Queria também agradecer aos seguintes funcionários do IGc-USP: Vasco Lóios (o meu companheiro luso), Rodrigo Feriani, Ivone Sonoki, Helen Sonoki, Walter Sproesser, Liliane Petronilho, Solange Souza, Artur Onoe, Kei Sato, Vera e Silvana pela paciência que tiveram durante as minhas estadias em São Paulo.

No Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (DG-FCUP) e no Centro de Geologia da Universidade do Porto (CGUP) devo o meu agradecimento por toda a hospitalidade e generosidade ao Prof. Doutor Fernando Noronha, à Doutora Alexandra Guedes e à Prof. Doutora Armanda Dória.

Queria ainda agradecer aos meus colegas de gabinete e departamento: Dra. Cyntia Mourão e Dra. Sofia Martins (minhas companheiras de gabinete e aflições), Doutora Ana Jesus, Dra. Inês Cruz, Dr. Rui Miranda, Dr. João Amaral, Dr. João Gonçalves, Dra. Tânia Ferreira, Dra. Rute Ramos, Doutora Filipa Marques, Dra. Isabel Martins, Dr. Pedro Almeida, Dra. Elisabete Nunes, bem como aos meus amigos/companheiros do IGc-USP: Doutor Agustin Cardona, Dra. Marta Salazar e Dr. Alejandro Salazar. O apoio de todos vós foi fundamental para conseguir ultrapassar alguns dos piores momentos destes quatro anos e não sei se alguma vez vos poderei mostrar o quão agradecido estou.

O meu agradecimento vai igualmente para a FCT que, financiando-me durante quatro anos, permitiu que tivesse a estabilidade suficiente para a melhor prossecução dos trabalhos. Estendo este agradecimento à FAPESP por ter financiado os trabalhos desenvolvidos em São Paulo.

Devo igualmente agradecer à Doutora Luísa Duarte, minha orientadora no Laboratório Nacional de Energia e Geologia após o doutoramento por ter permitido que disponibilizasse o tempo necessário a fazer a revisão da tese para esta impressão.

Para a minha família e amigos (muitos atrás referidos) não devo agradecer aqui. As minhas dívidas estendem-se muito além destes quatro anos e quaisquer palavras sob a forma de agradecimento pecariam sempre por curtas.

ÍNDICE

***Parte I - Introdução e Enquadramento Geológico*……1**

INTRODUÇÃO……3
a) Localização……3
b) Levantamento Geológico……3
c) Objectivos……3
d) Geomorfologia……6

ENQUADRAMENTO REGIONAL……9
a) Síntese Bibliográfica Regional……9
b) Síntese Bibliográfica do sector São Fidelis – Santo António de Pádua..19

BREVE NOTA ACERCA DA PROBLEMÁTICA DOS CHARNOCKITOS……23

DESCRIÇÃO LITOLÓGICA E ESTRUTURAL DA ÁREA……29

***Parte II - Petrologia e Geocronologia*……39**

PETROGRAFIA……41
a) Descrição Petrográfica……41
Migmatitos……41
Metatexitos (Unidades São Fidelis e Catalunha)……41
Agregados retrógrados biotíticos (*Selvedges*)……45
Migmatitos grafitosos (Khondalitos)……47
Intercalações nos metatexitos……48
Anfibolitos……48
Mármores……49
Calco-silicatadas……51
Diatexitos (Unidade Angelim)……52
Metadiabases……53
Charnockitos (Unidade Bela Joana)……55

Charnockitos (s. s.)….....……55
Núcleos dos maciços charnockíticos…….....……55
Margens dos maciços charnockíticos…….....……58
Enderbitos…….....……60
Intrusões nos charnockitos (s. s.)…….....……63
Ortognaisses…….....……63
Aplitos…….....……..63
Selvedges *biotíticos*…….....……64
Granitos e Pegmatitos tardios…….....…..65
Blastomilonitos (Unidade Santo Eduardo)…….....……66
Migmatitos blastomilonitizados…….....……66
Charnockitos blastomilonitizados…….....…67
Blastomilonitos de Pádua (s. s.)…….....……69
Anfibolitos "Três Rios" Primários….....……..69
Anfibolitos "Três Rios" Secundários…….....……..70
Intercalações de rochas máficas em blastomilonitos…….....71
b) Síntese da evolução paragenética baseada na petrografia….....……..73

QUÍMICA MINERAL…….....……77
a) Feldspatos…….....……77
b) Granadas…….....……78
c) Piroxenas…….....…80
d) Biotite…….....……81
e) Anfíbolas…….....……82
f) Óxidos…….....……83
g) Olivina…….....……84
h) Carbonatos…….....……..84

GEOTERMOBAROMETRIA…….....……85
a) Migmatitos….....……86
b) Charnockitos (s.l.) e diatexitos…….....……..89
c) Blastomilonitos, mármores e anfibolitos…….....……92
d) Evolução P-T-t….....……95
e) Pseudo-secções…….....……..97

GEOQUÍMICA……105
a) Resultados da Geoquímica de Rocha Total……105
b) Principais Conclusões da Geoquímica……114

GEOLOGIA ISOTÓPICA……117
a) Idades Modelo Sm – Nd (T_{DM})……117
b) ε_{Nd}^{i} e $^{87}Sr/^{86}Sr_i$……120

GEOCRONOLOGIA E TERMOCRONOLOGIA……123
a) Datação do Pico Metamórfico (U-Pb em zircões)……123
b) Datações pós-pico metamórfico……137
c) Taxas de Arrefecimento Geocronológicas……143
d) Taxas de Arrefecimento Petrológicas……146

***Parte III - Estudo dos Fluidos*……155**

FUGACIDADE DO OXIGÉNIO……157
a) Cálculo da fO_2……157
b) Modelação de fluidos……162

INCLUSÕES FLUIDAS……165
a) Petrografia das Inclusões Fluidas……165
b) Microtermometria de Inclusões Fluidas e Espectroscopia Raman……165

ANÁLISE DAS GRAFITES……171

ISÓTOPOS ESTÁVEIS……173

EVOLUÇÃO P-T-FLUIDO……177

***Parte IV - Discussão e Conclusões*……181**

DISCUSSÃO……183
a) Evolução P-T-t……183
b) Evolução Termocronológica……184
c) Fontes dos Fluidos……187
d) Evolução P-T-Fluido da Faixa Ribeira……188

EVOLUÇÃO GEODINÂMICA……191

CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS……193
a) Período Pré-Orogénico……193
b) Período Colisional (D_0) – Pico Metamórfico (D_1-M_1)……193
c) Período Transpressivo (D_2-M_2)……194
d) Período Pós-Orogénico (D_3)……194
e) Conclusões……195

BIBLIOGRAFIA……199

***Parte V – Anexos*……215**

A) Mapas……217
1. Estações e Amostragem……219

B) Metodologias e procedimentos analíticos……221
1. Síntese dos Procedimentos Técnicos……223
2. Método de extracção do Ar……230
3. Tratamento químico do método K-Ar……231
4. Tratamento químico do método Rb-Sr……232
5. Tratamento químico do método Sm-Nd……233
6. Tratamento químico do método U-Pb (TIMS)……234