

# A UNIDADE METASSEDIMENTAR DO OFIOLITO DE RIBEIRÃO DA FOLHA, ORÓGENO ARAÇUAÍ, MINAS GERAIS: PETROGRAFIA, GEOTERMOTERMOMETRIA E CALCOCRAFIA

Gláucia Queiroga<sup>1</sup>; A.C. Pedrosa-Soares<sup>1</sup>  
Joel Quéméneur<sup>1</sup> & Cristiane Castañeda<sup>1</sup>

## ABSTRACT

The Neoproterozoic oceanic remnants of the Araçuaí Orogen occur as tectonic dismembered sections in the region between 42°-43°W and 17°-21°S, southeastern Brazil. The Ribeirão da Folha ophiolite is one of these oceanic remnants, located in the Minas Novas region, northeastern Minas Gerais State. This paper presents field and microscopic studies, as well as quantitative geothermobarometric results, for the ophiolitic metasedimentary unit mapped in the Baixa Quente-Ribeirão da Folha area. This metasedimentary unit consists of several varieties of quartz-mica schist, peraluminous micaschist, calc-silicate rock (metamarl), graphite-kyanite schist, graphite schist, metachert, diopside and banded iron formation. Such well-developed, ophiolitic sedimentary pile represents pelagic pelites and chemical-exhalative sediments, as well as mixtures of chemical, argillaceous and/or organic components. These sediments were metamorphosed in the Brasiliano Orogeny (ca. 580 Ma) and its regional schistosity (Sn) reached the kyanite zone of the amphibolite facies (530-600 °C and 4,9-5,5 kbar), in the focused area. An older foliation (Sn-1), developed in greenschist facies, is locally preserved. The sulfide-bearing rocks are different types of metachert and diopside, with massive sulfide bodies, sulfide-type banded iron formation and graphite schist. Sulfate efflorescence, formed by chemical weathering, is a common feature of sulfide-rich outcrops. Pyrrhotite, pyrite, botryoidal pyrite, chalcopyrite and sphalerite are the main sulfide phases found in metachert and diopside types. Covellite, marcasite and arsenopyrite are rare. We suggest three stages of sulfide crystallization: i) precipitation from hydrothermal fluids in oceanic environment; ii) recrystallization during the regional metamorphism, mainly along the Sn foliation; and iii) post-Sn hydrothermal alteration.

Keywords: chert, diopside, iron formation, sulfide, ophiolite, Araçuaí Orogen

## INTRODUÇÃO

O Orógeno Araçuaí localiza-se a leste do Cráton do São Francisco, entre os paralelos 15° e 21°S (Pedrosa-Soares *et al.* 2001, 2005). A descoberta de remanescentes ofiolíticos neoproterozóicos no Orógeno Araçuaí data do início da década de 1990, quando foram publicados os primeiros trabalhos de caracterização do ofiolito de Ribeirão da Folha (Pedrosa-Soares *et al.* 1990, 1992, 1998, 2001, 2005; Uhlein 1991; Carvalho *et al.* 1992; Pedrosa-Soares 1995, 1997; Aracema *et al.* 2000; Suita *et al.* 2004; Queiroga *et al.* 2005; Queiroga 2006). O ofiolito de Ribeirão da Folha preserva seções tectonicamente desmembradas de manto e crosta oceânicos, representadas por rochas ultramáficas, máficas e sedimentares, com idade em torno de 800 Ma, mas metamorfasadas em fácies anfibolito durante a Orogenia Brasileira, em ca. 580 Ma (Pedrosa-Soares *et al.* 1992, 1998, 2001; Suita *et al.* 2004; Queiroga 2006).

Este artigo apresenta a caracterização petrográfica e calcográfica das rochas metassedimentares que ocorrem na área de Baixa Quente-Ribeirão da Folha, Município de Minas Novas, MG, bem como uma análise das condições do metamorfismo regional com base em dados geotermobarométricos qualitativos e quantitativos (Figura 1).

A área é ambiente geológico potencial para depósitos *de ouro* (*garimpado ainda hoje nos arredores de Baixa Quente*), metais básicos e minerais relacionados a rochas ultramáficas, além de rochas ornamentais (granito pegmatóide e outras).

## GEOLOGIA DA ÁREA DE BAIXA QUENTE-RIBEIRÃO DA FOLHA

A área de Baixa Quente-Ribeirão da Folha foi mapeada em escala 1:25.000 (Freitas-Silva *et al.* 1987, Brandani & Costa 2004) e se encontra representada nos mapas regionais em escala 1:150.000 (Pedrosa-Soares 1995) e 1:100.000 (Pedrosa-Soares 1997). Estudos sobre as rochas metamáficas e metaultramáficas, que as caracterizam como remanescentes ofiolíticos, foram publicados por Pedrosa-Soares *et al.* (1992, 1998, 2001), Aracema *et al.* (2000), Pedrosa-Soares & Wiedemann-Leonardos (2000) e Suita *et al.* (2004). Em sua dissertação de mestrado, Queiroga (2006) abordou detalhadamente as rochas metassedimentares sulfetadas (trabalho que é aqui publicado em parte).

As unidades que ocorrem na área de Baixa Quente-Ribeirão da Folha são resumidamente descritas adiante (Figura 1). Excluídas as coberturas cenozóicas, a unidade

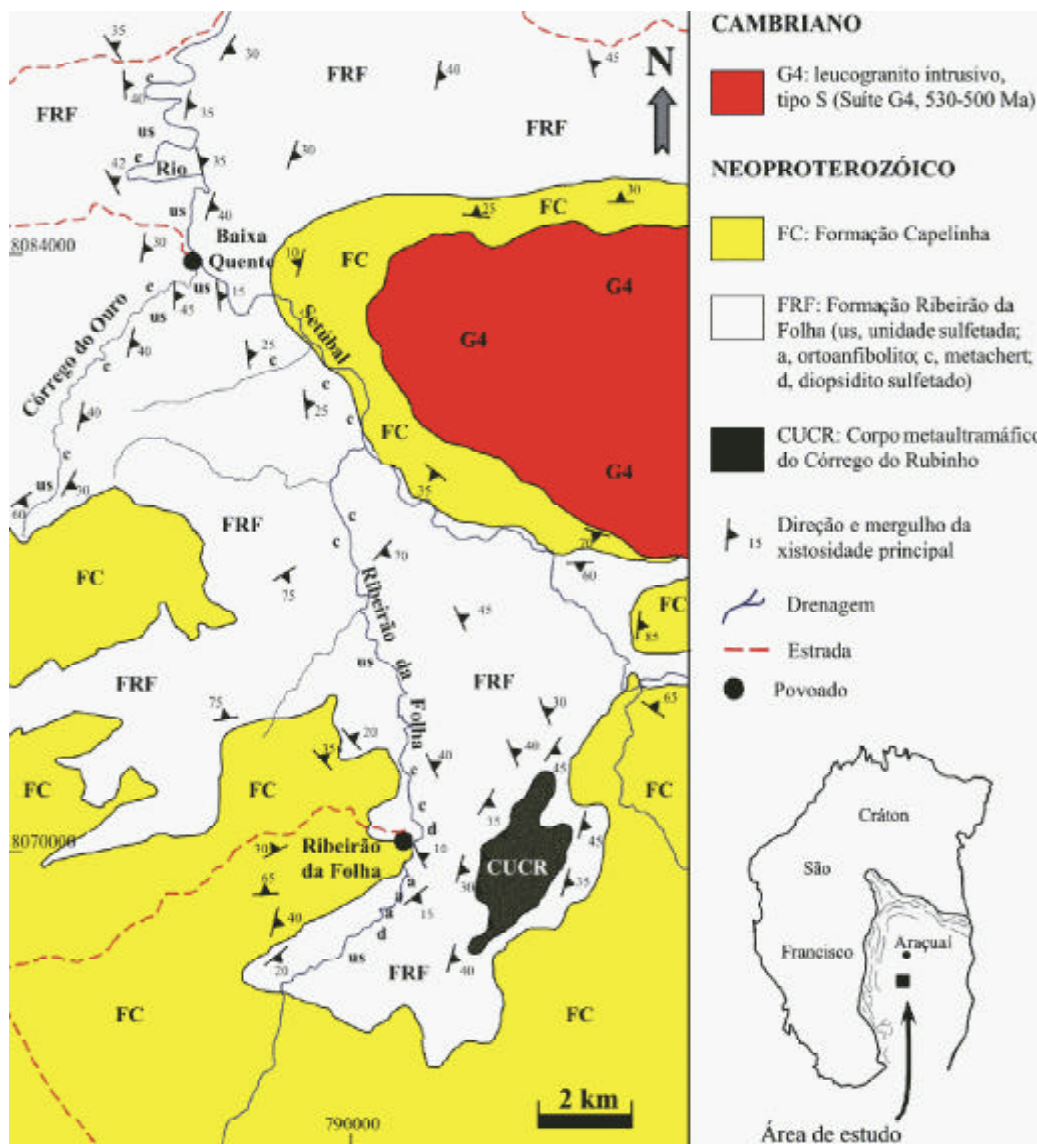


Figura 1- Mapa geológico simplificado da área de Baixa Quente-Ribeirão da Folha, Município de Minas Novas, MG (modificado de Freitas-Silva et al. 1987, Pedrosa-Soares et al. 1992, Pedrosa-Soares 1997, Brandani & Costa 2004 e Queiroga 2006).

mais nova da área é o leucogranito da Suíte Mangabeiras e pegmatitos associados, que são representantes da granitogênese G4, de tipo S e idade cambriana (Pedrosa-Soares 1997; Pedrosa-Soares et al. 2001; Brandani & Costa 2004). Estes corpos ígneos são intrusivos nas unidades pré-cambrianas.

A Formação Capelinha sustenta as chapadas que dominam o relevo da área, onde é constituída de quartzito com intercalações de mica xisto, grafita xisto e formação ferrífera bandada. As relações entre as formações Capelinha e Ribeirão da Folha são complexas, observando-se discordância angular, imbricação tectônica e descolamento entre ambas. A Formação Capelinha registra o metamorfismo e a deformação regionais, sendo, portanto, considerada como unidade neoproterozóica (Pedrosa-Soares 1997; Queiroga 2006).

A Formação Ribeirão da Folha, unidade distal do Grupo Macaúbas (Lima et al. 2002, Pedrosa-Soares et al. 2005), contém as rochas metassedimentares que são o foco do presente artigo e estão descritas adiante. Esta formação encaixa corpos de ortoanfibolito de granulação e composição variadas, que são representantes de magmatismo máfico oceânico (Pedrosa-Soares et al. 1998). Uma variedade de ortoanfibolito de granulação fina, com sulfetos disseminados, pode ser o registro de derrames máficos da base da Formação Ribeirão da Folha. As variedades de granulação mais grossa (metagabro e metadiabásio) são interpretadas como lascas tectônicas da crosta oceânica subvulcânica a plutônica (Suíte et al. 2004). Rochas metaultramáficas, representantes de seção mantélica suboceânica, também ocorrem como lascas

tectônicas encaixadas nas formações Ribeirão da Folha e Capelinha, a exemplo do corpo do Córrego do Rubinho (Carvalho *et al.* 1992, Pedrosa-Soares *et al.* 1992, Suita *et al.* 2004).

A Formação Ribeirão da Folha inclui a unidade sedimentar de natureza oceânica que ocorre na área de Baixa Quente-Ribeirão da Folha. Esta unidade contém as rochas metassedimentares sulfetadas que serão abordadas em item específico adiante. Em ordem decrescente de abundância, a unidade metassedimentar do ofiolito de Ribeirão da Folha consiste de variedades de xisto micáceo, xisto grafitoso, metachert, formação ferrífera bandada, rocha calcissilicática paraderivada e diopsidito (Figura 2).

As variedades de xisto micáceo são quartzo-mica xisto, xisto peraluminoso e muscovita xisto sulfetado (Figura 2). Estas rochas, juntamente com os xistos grafitosos, representam extensiva sedimentação de pelitos pelágicos (uma característica marcante do setor distal da Formação Ribeirão da Folha). As pequenas lentes de rocha calcissilicática quartzo-granatífera, que ocorrem intercaladas esparsamente no quartzo-mica xisto, são derivadas de mistura pelito-carbonatada (Pedrosa-Soares 1995).

O quartzo-mica xisto, cuja mineralogia essencial é composta por quartzo (25-40%) e biotita (20-35%), apresenta bandamento dado por variações nas proporções de quartzo e mica. Muscovita (0-30%), granada (0-10%) e/ou estauroлита (0-5%) e/ou cianita (0-5%) são os demais silicatos aluminosos. Os minerais acessórios comuns são ilmenita, sulfetos (principalmente pirita) e zircão incluso em biotita. A foliação principal (Sn) do quartzo-mica xisto é marcada pela orientação de biotita, muscovita, cianita, ilmenita e estauroлита. A granada ocorre principalmente sob a forma de porfiroblastos sincinemáticos a Sn. Localmente, Sn se caracteriza como foliação de crenulação que corta uma foliação anterior (Sn-1) marcada pela orientação de quartzo e muscovita fina (Figuras 3A e 4A). Cloritização eventual da biotita evidencia processo retrometamórfico pós-Sn.

O xisto peraluminoso é constituído essencialmente por biotita e muscovita (que somam 20 a 50%), quartzo (15-20%), granada (5-20%), cianita (5-20%) e estauroлита (5-10%), (Figuras 3B e 4B). Ilmenita, sulfetos (principalmente pirita), grafita, rutilo e zircão são acessórios comuns. Cianita, estauroлита e granada ocorrem como porfiroblastos e poiquiloblastos,

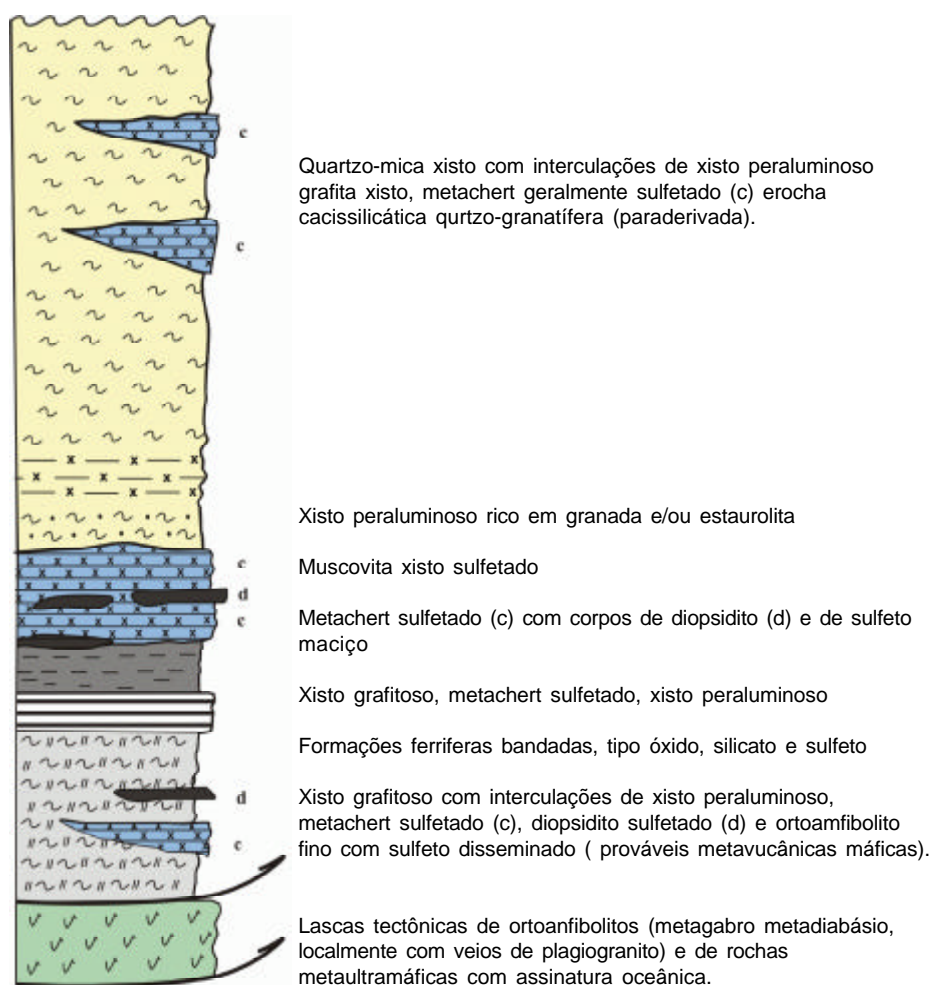


Figura 2- Coluna estratigráfica esquemática da seção sedimentar do ofiolito de Ribeirão da Folha, com destaque para as rochas sulfetadas (modificado de Queiroga 2006).

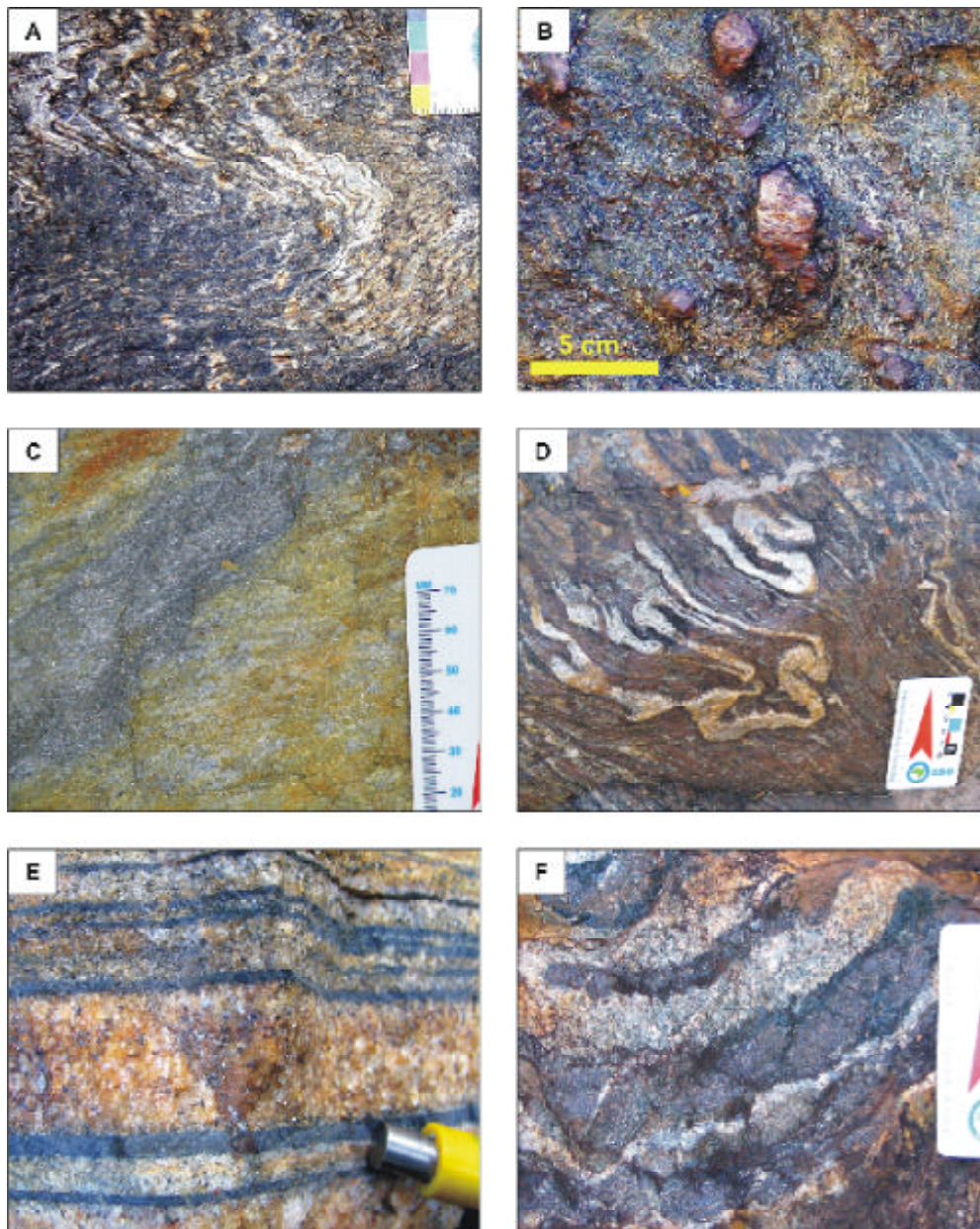


orientados na xistosidade principal (Sn). O xisto peraluminoso representa a maior contribuição argilosa (aluminosa) nesta pilha sedimentar.

O muscovita xisto sulfetado é composto por muscovita fina (20-50%), quartzo (20-50%), biotita (0-10%), sulfeto (traços a 5%) e granada (traços). Esta rocha ocorre preferencialmente entre camadas de metachert sulfetado e xisto peraluminoso (Figuras 2 e 3C), evidenciando a transição do predomínio do aporte sedimentar químico redutor (metachert sulfetado) para

aporte detrítico em condição oxidante (estauroлита- cianita-granada-biotita xisto).

Variedades de xisto grafitoso ocorrem em camadas espessas e extensas, ou como intercalações no xisto peraluminoso e metachert. A composição mineralógica dos xistos grafitosos é muito variável, contendo grafita (25-60%), muscovita (10-30%), quartzo (5-30%), cianita (0-30%), biotita (0-15%), estauroлита (0-15%), sulfetos (especialmente pirita, traços a 10%) e outros minerais acessórios. Cianita pode ser tão abundante que a rocha



*Figura 3- Fotografias de litotipos da seção sedimentar do ofiolito de Ribeirão da Folha, em afloramentos do leito do curso d'água homônimo. A) Quartzo-mica xisto mostrando a foliação Sn-1 crenulada pela foliação principal (Sn), em charneira de dobra. B) Xisto peraluminoso com porfiroblastos de almandina em meio à matriz rica em micas. C) Muscovita xisto sulfetado (a cor amarela se deve aos sulfatos derivados da decomposição de sulfetos). D) Dobras complexas na formação ferrífera tipo silicato. E) Formação ferrífera bandada tipo óxido, cujas bandas escuras são compostas de magnetita. F) Formação ferrífera do tipo silicato metamórfico, cujas bandas escuras são compostas de granada e anfibólio.*

ganha o nome de grafita-cianita xisto. As rochas grafitosas da área representam contribuição orgânica marinha na sedimentação pelítica, em ambiente redutor.

As ocorrências de formações ferríferas bandadas foram identificadas apenas no leito do Ribeirão da Folha, próximo ao povoado homônimo, e são dos tipos óxido, silicato e sulfeto (Pedrosa-Soares 1995). As formações ferríferas constituem camadas de espessura decimétrica a métrica, intensamente dobradas (Figura 3D). Os três tipos ocorrem intimamente associados no terreno, evidenciando variações locais de condições de oxirredução durante a sedimentação química. Sua posição estratigráfica é inferior à principal camada de metachert com intercalações de diopsidito sulfetado (Figura 2). Na formação ferrífera do tipo óxido, fortemente magnética, as bandas escuras consistem essencialmente de magnetita (Figura 3E). Os minerais acessórios são anfibólio (termo próximo da actinolita), granada e biotita. As bandas claras são compostas essencialmente de quartzo, tendo magnetita e anfibólio como acessórios. A formação ferrífera bandada do tipo sulfeto é composta por bandas ricas em pirita, alternadas com bandas ricas em quartzo. Esta rocha é muito rara e passa gradativamente a metachert sulfetado. Na formação ferrífera do tipo silicato metamórfico, as bandas escuras, vermelho-esverdeadas, são compostas essencialmente por granada e anfibólio, tendo biotita como acessório principal (Figura 3F). A granada é rica nos termos almandina e piropo ( $al_{79,23}/pi_{15,43}/gr_{4,17}/es_{0,22}/ad_{0,86}/uv_{0,10}$ ) e o anfibólio é um membro intermediário da

ferrífera tipo silicato é interpretado como uma mistura de componentes químico-exalativos (ferro, sílica) com argila pelágica.

## GEOTERMOBAROMETRIA

A caracterização do metamorfismo regional foi realizada a partir da análise qualitativa e quantitativa de associações mineralógicas presentes nas amostras de quartzo-mica xisto e xisto peraluminoso, considerando separadamente as paragéneses da foliação mais antiga (Sn-1) e da foliação principal (Sn).

No quartzo-mica xisto, a paragénesis mineral sincinemática à foliação Sn-1 consiste de quartzo + muscovita fina ± biotita, caracterizando metamorfismo de fácies xisto verde, zona da biotita.

As paragéneses sincinemáticas à foliação principal (Sn), em amostras de quartzo-mica xisto e xisto peraluminoso, são: i) quartzo + biotita + granada ± muscovita ± opacos; ii) quartzo + biotita + granada ± estauroлита ± muscovita ± opacos; iii) quartzo + biotita + granada ± cianita ± muscovita ± opacos; e iv) quartzo + biotita + muscovita + granada + cianita + estauroлита ± plagioclásio ± opacos. Estas paragéneses refletem conteúdos crescentes de alumínio (fração argila) nos xistos pelíticos e evidenciam que a foliação Sn originou-se sob condições de fácies anfibolito, zona da cianita (cf. Yardley 2004).

Os dados geotermobarométricos foram obtidos com base em análises de microsonda eletrônica da

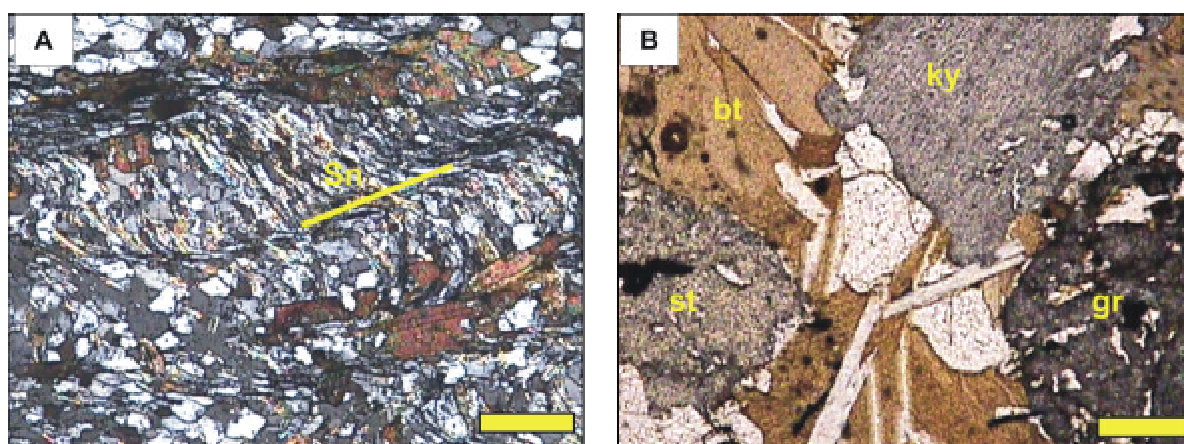


Figura 4- Fotomicrografias de xistos pelíticos da seção sedimentar do ofiolito de Ribeirão da Folha (a barra tem 400  $\mu$ m). A) Quartzo-mica xisto mostrando a xistosidade principal (Sn) que corta a foliação Sn-1. B) Associação granada (gr) + cianita (ky) + estauroлита (st) + biotita (bt) em xisto peraluminoso.

série cummingtonita-grunerita (Pedrosa-Soares 1995). Uma feição marcante desta formação ferrífera é o habitus da granada que se apresenta em fitas longas, paralelas ao bandamento, e possui muitas inclusões de quartzo, magnetita e ilmenita, orientadas segundo a xistosidade principal (Sn). À medida que aumenta a quantidade de biotita, a formação ferrífera tipo silicato grada para xisto peraluminoso rico em granada e este mineral ganha seu habitus típico (Figura 3B). O protólito da formação

paragénesis sincinemática à Sn, para cálculos pelos pares granada-biotita e granada-plagioclásio, e pelo banco termodinâmico Thermocalc V 3.1. Para a quantificação de P e T foram escolhidas as microanálises em pontos centrais de cada mineral da paragénesis associada à foliação principal (Sn).

Três amostras de xisto peraluminoso foram selecionadas para os cálculos, sendo duas de cianita-granada-mica xisto com plagioclásio (T123A e T191Xa;

Pedrosa-Soares 1995) e uma de cianita-estauroлита-granada-mica xisto sem feldspato (Q-14; Queiroga 2006). Nas amostras T123A e T191Xa, a composição da granada é dominada pelas moléculas de almandina (67-64%), seguida de espessartita (18%), piropo (13-12%) e grossulária (4-3%). O plagioclásio tem composição na faixa do oligoclásio, composto por moléculas de albita (85-79%) e anortita (21-15%). Na amostra sem plagioclásio (Q-14), a composição da granada é dominada pelas moléculas de almandina (71-64%), seguida de espessartita (12-10%), piropo (13-12%) e grossulária (10-5%). Os porfiroblastos de estauroлита possuem composição homogênea e conteúdos de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$  e  $\text{ZnO}$  entre 28,1% e 28,6%, 54,1% e 54,8%, 11,0% e 11,6%, 1,1% e 1,2%, respectivamente. Os dados demonstram que estes cristais apresentam composição próxima do padrão definido por Deer *et al.* (1992).

Os resultados obtidos dos cálculos geotermobarométricos indicam intervalos de temperatura entre 530 e 600 °C, e de pressão entre 4,9 e 5,5 kbar (Tabela 1). Desta forma, para a área estudada, os dados qualitativos e quantitativos indicam que a

amarelados (Figura 5A), e por lateritas ferruginosas sulfatadas (*gossans*). Neste item são abordadas as variedades de metachert e diopsidito.

As variedades de metachert constituem intercalações métricas a decamétricas, associadas ao xisto peraluminoso, xisto grafitoso, diopsidito sulfetado e formações ferríferas bandadas (Figura 2). São rochas compostas essencialmente por quartzo, podendo ocorrer minerais que evidenciam contribuição pelítica (micas e granada), cálcico-ferro-magnésiana (anfíbólios e plagioclásio cálcico) e titanífera (ilmenita e titanita), em quantidades diversas. Sulfetos estão presentes em proporções consideráveis, atingindo até 15% do volume total da rocha, ou como minerais acessórios. As fases sulfetadas mais importantes, em ordem decrescente de abundância, são pirrotita, pirita, pirita botrioidal, calcopirita, covelita, marcassita, esfalerita e arsenopirita. A principal geração de sulfetos associa-se à xistosidade principal (Sn), ao longo da qual estes minerais estão orientados.

As quatro variedades de metachert, identificadas com base na composição mineralógica, coloração e

Tabela 1. Temperatura e pressão obtidas para amostras de xisto peraluminoso do ofiolito de Ribeirão da Folha (amostras T123A e T191Xa, ver dados em Pedrosa-Soares 1995; amostra Q14, ver dados em Queiroga 2006).

	Temperatura (°C)		
	T123A	T191Xa	Q-14
Thermocalc	534 ± 11	530 ± 15	602 ± 10
<b>Par granada-biotita</b>			
Thompson (1976)	557	569	600
Ferry & Spear (1978)	529	544	584
Hodges & Spear (1982)	541	562	619
Perchuk & Lavrent'eva (1983)	555	564	586
Dasgupta et al. (1991)	560	584	608
Battacharya et al. (1992)	537	550	586
	<b>Pressão (kbar)</b>		
Thermocalc	4,9 ± 0,10	5,3 ± 0,20	---
<b>Par granada-plagioclásio</b>			
Hodges & Spear (1982)	5	5,5	---

seção sedimentar do ofiolito de Ribeirão da Folha, incluindo as rochas sulfetadas abordadas adiante, sofreu metamorfismo sob condições de fácies anfibolito de média pressão, zona da cianita.

#### PETROGRAFIA E CALCOGRAFIA DE ROCHAS SULFETADAS

As rochas sulfetadas são anormalmente frequentes na área de Baixa Quente-Ribeirão da Folha. No terreno, a presença destas rochas é também denunciada por eflorescências de sulfatos supergênicos, branco-

presença de sulfetos, são referidas como tipos A, B, C e D (Queiroga 2006).

O tipo A é um metachert de coloração branca a cinza-clara, pobre em sulfeto. Nesta rocha, quartzo de granulação fina, em arranjos granoblásticos de junções tríplexes, é o mineral largamente predominante que, geralmente, perfaz mais de 90% da composição modal da rocha (Figura 5B). Localmente, biotita pode atingir cerca de 20% do volume desta rocha, evidenciando contribuição argilosa em ambiente oxidante.

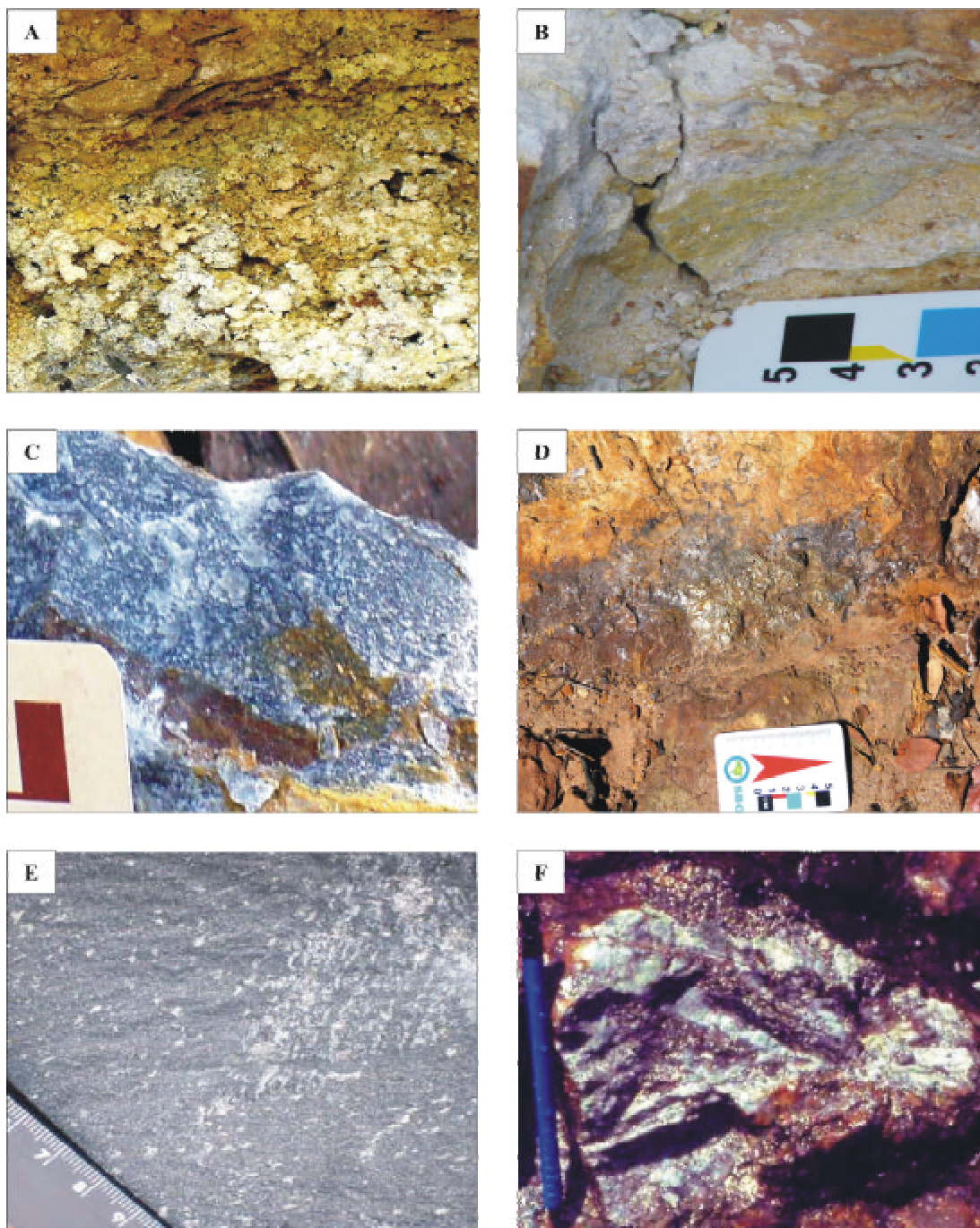
O tipo B é um metachert micáceo, de coloração branca a cinza-clara, composto essencialmente por



quartzo (60-70%) e muscovita (20-30%), ambos com granulação predominantemente fina. Os sulfetos (pirrotita e pirita) podem atingir até 10% do volume da rocha. Plagioclásio ocorre como mineral acessório muito escasso. A presença marcante de muscovita, além dos sulfetos, evidencia contribuição argilosa em ambiente redutor.

O tipo C foi classificado em dois subtipos, ambos de cor cinza (Figura 5C). O subtipo C1 é um metachert

composto por quartzo (~40%), anfibólio (~20%), muscovita (~15%), titanita (~10%), plagioclásio (~3%) e sulfetos (pirrotita, pirita, pirita botrioidal, esfalerita, marcassita e arsenopirita; ~12%), além de epidoto como mineral de alteração. O subtipo C2 é composto de quartzo (~55%), anfibólio (~20%), plagioclásio (~10%), sulfetos (os mesmos do subtipo C1; ~10%) e granada (<5%). Cloritização de anfibólio é comum. O plagioclásio associa-se, preferencialmente, às partes ricas em



**Figura 5-** Fotografias de rochas sulfetadas da seção sedimentar do ofiolito de Ribeirão da Folha, em afloramentos da calha do curso d'água homônimo. **A)** Eflorescências de sulfatos de ferro sobre metachert parcialmente intemperizado. **B)** Metachert relativamente pobre em sulfeto (tipo A). **C)** Metachert cinza, sulfetado (tipo C). **D)** Corpo de sulfeto maciço em metachert tipo C. **E)** Metachert cinza-escuro (tipo D), com esteiras de sulfetos. **F)** Diopsidito sulfetado (verde) do médio Ribeirão da Folha, com bandas de sulfeto maciço.

anfibólio. A associação mineral destes subtipos sugere misturas de componentes químicos (*e.g.*, Ca, S, Fe<sup>2+</sup>) com fração argilosa, em ambiente redutor. Corpos de sulfeto maciço se encontram intercalados no metachert tipo C (Figura 5D).

O tipo D é o metachert mais comum na área de Baixa Quente-Ribeirão da Folha. É um metachert de coloração cinza escura, no qual os cristais de sulfeto estão disseminados e alinhados em esteiras paralelas à xistosidade principal (Figura 5E). Este metachert apresenta variações de composição e textura, que caracterizam seus quatro subtipos. O subtipo D1 é composto de quartzo (60%), anfibólio (15-20%) e carbonato (~20%). Pirrotita, pirita e ilmenita são os acessórios comuns. Clorita e biotita aparecem como minerais provenientes da alteração do anfibólio. A textura é nematoblástica, marcada pela orientação dos anfibólios. Os grãos de quartzo apresentam-se em mosaicos com contatos poligonais. O carbonato encontra-se intimamente associado ao anfibólio. O subtipo D2 é composto por quartzo (50%), biotita (30%), carbonato (10%) e sulfetos (pirrotita e calcopirita; 10%). Zircão incluso em biotita é o principal mineral acessório. A textura é lepidoblástica, com sulfetos e carbonatos orientados em relação à xistosidade principal (Sn). O subtipo D3 consiste essencialmente de quartzo (~40%), muscovita (35-40%), biotita (10-15%) e sulfetos (pirrotita, pirita, pirita botrioidal, calcopirita e marcassita; 5-10%). Zircão e granada com inclusões de quartzo e biotita são os acessórios comuns. O subtipo D4 apresenta laminação marcada por alternância de lâminas ricas em quartzo, com contatos poligonais, e lâminas

quantidades de componentes químicos (sílica, Fe, Ca, Mg) e na fração argila, em condições predominantemente redutoras.

Duas ocorrências de diopsidito sulfetado (Figura 5F), com características petrográficas semelhantes, foram cartografadas na área estudada. Trata-se de corpos lenticulares, com dimensões decimétricas a métricas, associados ao metachert e xisto grafitoso. O diopsidito é uma rocha composta por diopsídio pleocróico (35-40%), quartzo (25-30%), anfibólio (termo próximo da actinolita; 15-20%) e sulfetos (10-15%). Titanita e carbonato são acessórios. O diopsidito tem foliação incipiente e se caracteriza por um bandamento evidenciado por bandas ricas em quartzo, com sulfetos e anfibólios disseminados, alternadas irregularmente com bandas ricas em cristais idioblásticos de diopsídio, anfibólio e sulfetos, com titanita e carbonato subordinados. Os sulfetos formam esteiras de inclusões nos cristais de diopsídio, ou preenchem os espaços intergranulares. As principais fases sulfetadas presentes no diopsidito são, em ordem decrescente de abundância, pirrotita, pirita, pirita botrioidal, calcopirita e esfalerita. O protólito do diopsidito é interpretado como sedimento de conduto vulcano-exalativo (Pedrosa-Soares 1995, Queiroga 2006).

Os estudos calcográficos, realizados sobre amostras dos vários tipos de metachert e diopsidito, são descritos em conjunto para sulfetos de ambas as rochas, à exceção das particularidades (Tabela 2).

A pirrotita atinge 10% em conteúdo modal nos metacherts (tipos B, C e D). Seus cristais têm forma predominantemente hipidioblástica, granulação entre

*Tabela 2- Principais sulfetos presentes nas amostras de metachert e diopsidito (+ indica o mineral principal, x indica subordinados). pr, pirrotita; py, pirita; pb, pirita botrioidal; cp, calcopirita; es, esfalerita; cv, covelita; mc, marcassita; ar, arsenopirita.*

<b>Litotipo</b>	<b>Sulfetos</b>							
	pr	py	pb	cp	es	cv	mc	ar
Metachert micáceo (tipo B)	+	x						
Metachert cinza-claro (tipo C, subtipo C1)	+	x	x		x		x	x
Metachert cinza-escuro (tipo D, subtipo D1)	+			x				
Metachert cinza-escuro (tipo D, subtipo D2)	+			x				
Metachert cinza-escuro (tipo D, subtipo D3)	x		+					
Metachert cinza-escuro (tipo D, subtipo D3)	+		x	x				
Metachert cinza-escuro (tipo D, subtipo D3)		+				x		
Metachert cinza-escuro (tipo D, subtipo D4)		+		x	x			
Diopsidito sulfetado	+	x		x	x			
Diopsidito sulfetado	+	x	x	x	x			

ricas em biotita (marcando a xistosidade principal), granada e sulfetos. Sn-1 pode aparecer parcialmente transposta por Sn, nas lâminas micáceas. O subtipo D4 é composto por quartzo (~40%), anfibólio (30%), biotita (10%), granada (7%), sulfetos (pirita, calcopirita e esfalerita) e ilmenita (10%). Clorita é comum como produto de alteração do anfibólio. A variação de composições dos subtipos D indica variações nas

0,05 e 2,0 mm, inclusões de calcopirita (Figura 6A) e pirita, e se encontram intercrescidos com pirita, calcopirita e ilmenita. Nos diopsiditos, a pirrotita tem conteúdo modal entre 5 e 10%. Os cristais de pirrotita mostram forma essencialmente hipidioblástica, granulação variável entre 0,3 e 5,0 mm, se apresentam intercrescidos com pirita e calcopirita (Figura 6B), e eventualmente associam-se à esfalerita. A textura de

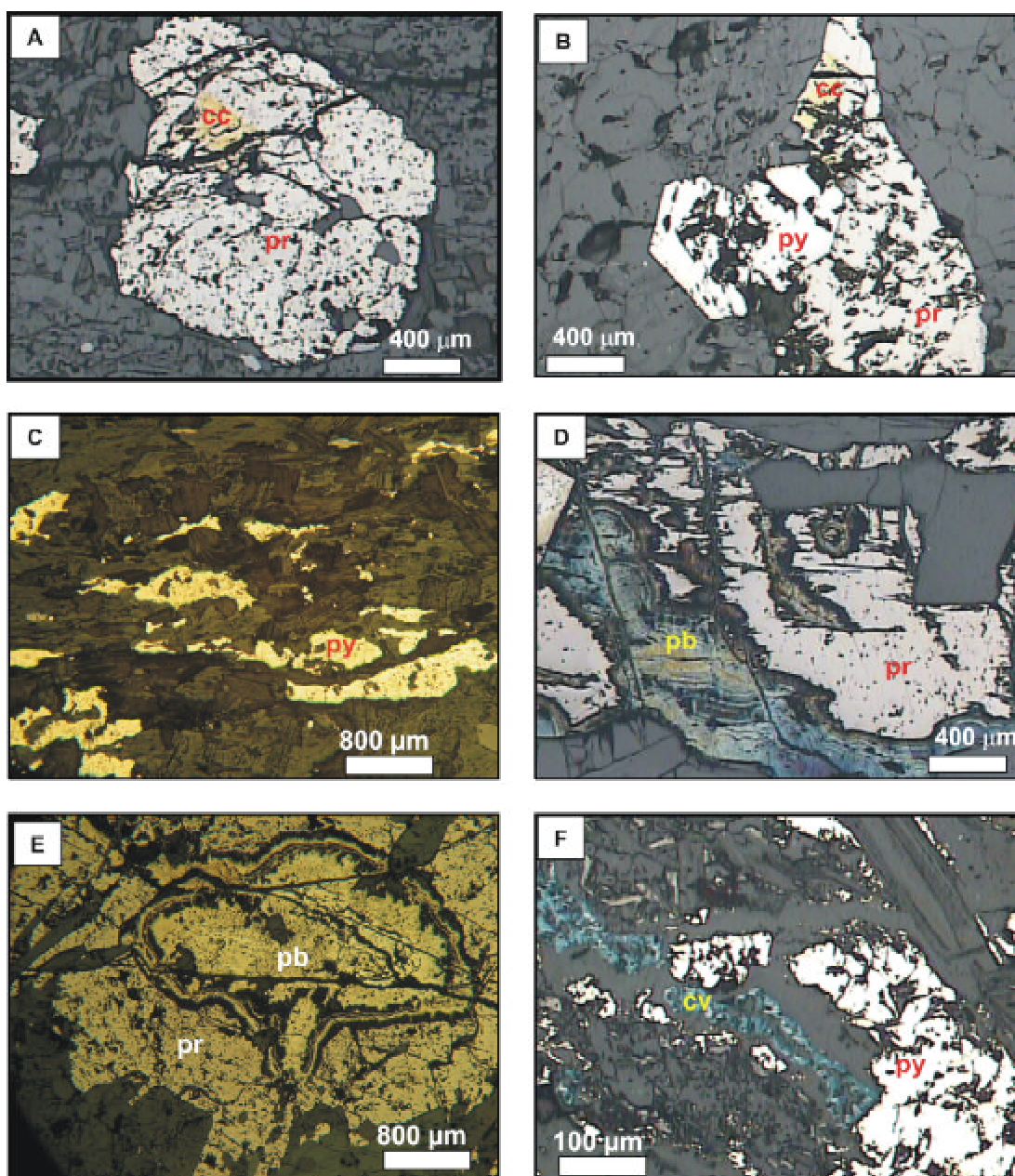


substituição “olho-de-pássaro”, na qual diminutos cristais de pirita e/ou marcassita substituem a pirrotita (Craig 1990), ocorre generalizadamente neste sulfeto (Figuras 6A e 6D). Microfraturas preenchidas por óxidos de alteração intempérica são também frequentes na pirrotita.

A pirita é o segundo sulfeto mais abundante. Nas variedades de metachert, os cristais apresentam forma predominantemente hipidioblástica (Figura 6C), conteúdo modal entre 3 e 10%, granulação variável

entre 0,1 e 1,6 mm e intercrescimentos com pirrotita. Nos diopsiditos, a pirita perfaz entre 1 e 5% da moda, apresentando forma idioblástica a hipidioblástica, granulação variável entre 0,3 e 1,4 mm e intercrescimentos com pirrotita e calcopirita. Tanto nos metacherts quanto nos diopsiditos ocorrem zonas com marcante crescimento de pirita botrioidal, provavelmente como produto de alteração da pirrotita (Figuras 6D e 6E).

A calcopirita pode chegar a 2% do conteúdo modal



*Figura 6- Fotomicrografias das principais fases sulfetadas em amostras de metachert e diopsidito da seção sedimentar do ofiolito de Ribeirão da Folha. A) Pirrotita olho-de-pássaro (pr) com inclusões de calcopirita no metachert cinza-escuro (subtipo D3). B) Intercrescimento de pirrotita (pr), pirita (py) e calcopirita (cc) no diopsidito sulfetado. Notar que os sulfetos preenchem espaços intergranulares. C) Orientação dos cristais de pirita (py) em relação à xistosidade principal (Sn) do metachert cinza-escuro (subtipo D4). D) Crescimento de pirita botrioidal (pb) a partir da alteração de pirrotita olho-de-pássaro (pr) em amostra de metachert cinza-claro (tipo C). E) Cristal de pirrotita com núcleo de pirita botrioidal em amostra de diopsidito sulfetado. F) Cristais de covelita (cv) associados à pirita (py) em amostra de metachert cinza-escuro (subtipo D3).*

em ambas as rochas, onde geralmente ocorre como inclusões em pirrotita ou intercrescida com pirita (Figuras 6A e 6B). Assim como a calcopirita, a esfalerita ocorre em volume reduzido (< 2%), na forma de pequenos cristais (0,1-0,3 mm), isolados ou associados à pirita ou pirrotita.

Covelita, marcassita e arsenopirita são eventuais e muito escassas no metachert. A covelita, resultante da alteração supergênica da calcopirita, apresenta-se em pequenos cristais (0,2 mm), normalmente isolados ou associados à pirita (Figura 6F). Marcassita e arsenopirita encontram-se associadas à pirita botrioidal.

As relações texturais, de inclusão e intercrescimento entre fases sulfetadas indicam três estágios de cristalização de sulfetos. O primeiro estágio caracteriza-se pela cristalização de pirita e calcopirita. O segundo estágio está relacionado ao metamorfismo regional e se caracteriza pela substituição de pirita e calcopirita por pirrotita (um sulfeto de mais alta temperatura). Este estágio é evidenciado pela recrystalização dos sulfetos ao longo da xistosidade principal (Sn), e por inclusões de pirita e/ou calcopirita nos cristais de pirrotita. O terceiro estágio, posterior à foliação Sn, é caracterizado pela formação da pirrotita olho-de-pássaro, decorrente da substituição de pirrotita por microcristais de pirita e marcassita, e pela alteração da pirrotita olho-de-pássaro e calcopirita, gerando pirita botrioidal e covelita, respectivamente.

## CONCLUSÕES

A unidade metassedimentar de Baixa Quente-Ribeirão da Folha é um registro exemplar de sedimentos oceânicos neoproterozóicos, em particular se considerarmos a escassez de referências na literatura nacional e internacional sobre rochas sedimentares de ofiolitos pré-cambrianos (cf. Queiroga 2006). Os estudos aqui apresentados demonstram a grande variabilidade composicional dos litotipos desta seção sedimentar ofiolítica, que sofreu metamorfismo regional em condições da fácies anfibolito, zona da cianita (530-600°C e 4,9-5,5 kbar).

A despeito do metamorfismo regional, as associações litológicas e dados petrográficos permitem interpretar as composições de protólitos que parecem variar de sedimentos químico-exalativos puros (diopsidito) a sedimentos pelítico-quartzosos (quartzomica xisto), passando pelas mais diversas misturas de componentes exalativos e da água do mar com fração argilosa (variedades de metachert, formações ferríferas), depósitos com contribuição orgânica (xisto grafitoso) e sedimentos muito ricos em fração argila (xisto peraluminoso). Alguns deste protólitos eram particularmente ricos em sulfetos.

São propostas três etapas genéticas para os estágios de cristalização de sulfetos. A primeira etapa seria responsável pelo maior aporte de sulfetos, decorrente da precipitação de substâncias carregadas por fluidos hidrotermais, em ambiente oceânico relacionado ao magmatismo do edifício ofiolítico. A

segunda etapa genética refere-se ao principal estágio de recrystalização de sulfetos, que ocorreu durante o metamorfismo regional sincinemático à foliação principal (Sn), sob temperatura e pressão relativamente altas (530-600°C e 4,9-5,5 kbar) em comparação com a maioria dos depósitos de ouro e metais básicos. A terceira etapa se deve à alteração hidrotermal posterior à foliação principal Sn.

## AGRADECIMENTOS

Pelos auxílios financeiros e facilidades analíticas agradecemos ao CNPq (projetos de pesquisa e bolsas de A. C. Pedrosa-Soares e Gláucia Queiroga), CAPES (bolsa PRODOC de Cristiane Castañeda), Geólogo Sérgio Martins (São Bento Mineração/Eldorado Gold Corporation), técnicos do CPMTC e ao Laboratório de Microanálises da UFMG. Aos revisores anônimos de GEONOMOS.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aracema, L.W.; Neves, A. C.; Ferreira, J.C.; Pedrosa-Soares, A.C.; Lobato, L.M.; Noce, C.M. 2000. Novas evidências de remanescentes oceânicos na Faixa Araçuaí: as rochas meta-ultramáficas de São José da Safira. *Geonomos*, **8** (1): 55-61.
- Brandani, D.B. & Costa, L.P. 2004. Geologia da região de Baixa Quente, sudeste de Minas Novas (MG). Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Trabalho Geológico de Graduação, 50 p.
- Carvalho, C.T. de; Lobato, L.M.; Pedrosa-Soares, A.C. 1992. O corpo ultramáfico do Ribeirão da Folha, MG: aspectos petrográficos e geoquímicos da alteração hidrotermal. *Revista Escola de Minas*, **45** (1/2): 170-172.
- Craig, J.R. & Vaughan, D.J. 1990. Composition and textural variations of the major iron and base-metal sulphide minerals. In: P.M.J. Gray, G.J. Bowyer, J.F. Castle, D.J. Vaughan, N.A. Warner (eds). *Sulphide Deposits- their origin and processing*. Londres, 1-16.
- Deer, W.A.; Howie, R.A. & Zussman, J. 1992. *The Rock Forming Mineral*. Londres, Longman, 696p.
- Freitas-Silva, F.H. & Pereira, L.A. 1987. A geologia da região de Ribeirão da Folha, nordeste de Capelinha, MG (subárea norte). Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Trabalho Geológico de Graduação, 156 p.
- Lagoeiro, L.E. & Menegasse, L.M. 1987. Geologia da região de Ribeirão da Folha, município de Minas Novas, Minas Gerais (área sul). Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Trabalho Geológico de Graduação, 91p.
- Lima, S.A.A.; Martins-Neto, M.A.; Pedrosa-Soares, A.C.; Cordani, U.G.; Nutman, A. 2002. A Formação Salinas na área-tipo, NE de Minas Gerais: uma proposta de revisão da estratigrafia da Faixa Araçuaí com base em evidências sedimentares, metamórficas e de idades U-Pb SHRIMP. *Revista Brasileira de Geociências*, **32** (4): 491-500.
- Pedrosa-Soares, A.C. 1995. Potencial aurífero do Vale do Araçuaí, Minas Gerais: história da exploração, geologia e controle tectono-metamórfico. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, Tese de Doutorado, 177 p.
- Pedrosa-Soares, A.C. 1997. Geologia da Folha Jenipapo. In: J.H. Grossi-Sad, L.M. Lobato, A.C. Pedrosa-Soares, B.S. Soares-Filho (eds). *Projeto Espinhaço em CD-Rom*. Belo Horizonte, 715-852.
- Pedrosa-Soares & Wiedemann-Leonardos. 2000. Evolution of the Araçuaí Belt and its connection to the Ribeira Belt, Eastern Brazil. In: U.G. Cordani, E.J. Milani, A. Thomaz Filho, D.A. Campos (eds). *Tectonic evolution of South*

- America*. Rio de Janeiro, 265-285.
- Pedrosa-Soares, A.C.; Monteiro, R.L.B.P.; Noce, C.M.; Freitas-Silva, F.H.; Oliveira, M.J.R.; Schettino, A. 1990. Caracterização de uma seqüência vulcano-sedimentar distal na Faixa Araçuaí, MG: bacia oceânica restrita? *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia*, 36, Natal, *Boletim de Resumos*, 308.
- Pedrosa-Soares, A.C.; Noce, C.M.; Vidal, Ph.; Monteiro, R.L.B.P.; Leonardos, O.H. 1992. Toward a new tectonic model for the Late Proterozoic Araçuaí (SE Brazil)-West Congolian (SW Africa) Belt. *Journal of South American Earth Sciences*, **6**: 33-47.
- Pedrosa-Soares, A.C.; Vidal, Ph.; Leonardos, O.H.; Brito-Neves, B.B. 1998. Neoproterozoic oceanic remnants in eastern Brazil: further evidence and refutation of an exclusively ensialic evolution for the Araçuaí-West Congo Orogen. *Geology*, **26**: 519-522.
- Pedrosa-Soares, A.C.; Noce, C.M.; Wiedemann, C.M.; Pinto, C.P. 2001. The Araçuaí- West- Congo Orogen in Brazil: an overview of a confined orogen formed during Gondwanaland assembly. *Precambrian Research*, **110**: 307-323.
- Pedrosa-Soares, A.C.; Noce, C.M.; Silva, L.C.; Cordani, U.; Alkmim, F.F.; Babinski, M. 2005. Orógeno Araçuaí: Estágio atual do conhecimento geotectônico. *In: SBG, Simpósio do Cráton do São Francisco*, 3, Salvador, *Anais*, 243-246.
- Queiroga, G.N. 2006. A seção sedimentar sulfetada do ofiolito de Ribeirão da Folha e seu potencial metalogenético, Orógeno Araçuaí, MG. Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Dissertação de Mestrado, 107 p.
- Queiroga, G.N.; Pedrosa-Soares, A.C.; Quéméneur, J.J.G. 2005. Caracterização da seção sedimentar sulfetada do ofiolito Neoproterozóico de Ribeirão da Folha, Orógeno Araçuaí, Brasil. *In: Congresso Latino-americano de Geologia*, 12, Quito (Equador), *Resumo Expandido*, Cd-Rom.
- Silva, C.M.A.de; Gomes, J.B.; Caldeira, S.M.B. 1987. Geologia da região de Ribeirão da Folha, município de Minas Novas, MG (área central). Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Trabalho Geológico de Graduação, 71p.
- Suita, M.T.F.; Pedrosa-Soares, A.C.; Leite, Carlos, A.S.; Nilson, A.A.; Prichard, H.M. 2004. Complexos ofiolíticos do Brasil e a metalogenia comparada das faixas Araçuaí e Brasília. *In: E. Pereira, R. Castroviejo, F. Ortiz (eds). Complejos Ofiolíticos en Iberoamérica: guías de prospección para metales preciosos*. Madrid, 101-132.
- Uhlein, A. 1991. Transição craton-faixa dobrada: exemplo do Cráton do São Francisco e da Faixa Araçuaí (Ciclo Brasileiro) no Estado de Minas Gerais (aspectos estratigráficos e estruturais). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 295 p.
- Yardley, B.W.D. 2004. *Introdução à petrologia metamórfica-tradução de Reinhardt Adolfo Fuck*. Brasília, Editora Universidade de Brasília, 432 p.