

## CAPÍTULO IV-GEOLOGIA DO OFIOLITO DE RIBEIRÃO DA FOLHA

### IV.1- ESTRATIGRAFIA

A despeito da espessa cobertura de solos e da deformação intensa, a reconstituição estratigráfica da faixa ofiolítica de Ribeirão da Folha-São José da Safira foi elaborada por Pedrosa-Soares *et al.* (2004) e Suita *et al.* (2004a,b). Estudos geoquímicos detalhados encontram-se em Pedrosa-Soares *et al.* (1998) e Aracema (2000). A coluna estratigráfica sintética desta faixa ofiolítica está ilustrada na Fig.9.

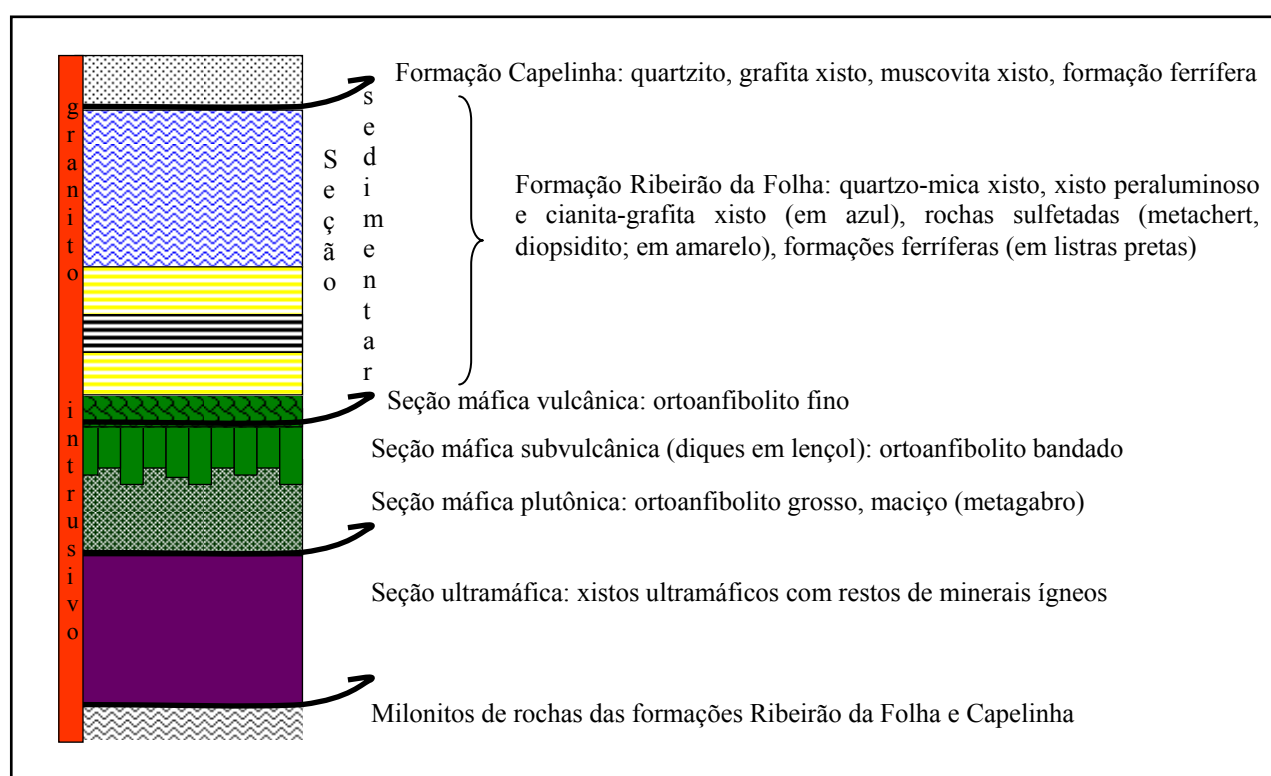


Fig.9- Coluna estratigráfica esquemática do ofiolito de Ribeirão da Folha (Pedrosa-Soares *et al.*, 2004; Suita *et al.*, 2004a,b). Representam-se, com setas curvas, algumas falhas internas e as falhas limitantes. Os granitos intrusivos da suíte G4 são representados em vermelho.

A seção ultramáfica inferior é representada por metaperidotito intensamente deformado, em grande parte transformado para anfibólio xisto, mas que mostra núcleos (“pods”) com minerais magmáticos (silicatos, cromita) bem preservados. Esta seção ocorre nos arredores de São José da Safira (Aracema *et al.*, 2000).

Representantes da seção ultramáfica superior são lascas tectônicas compostas por tremolita xisto com estrutura de brecha (Fotografia 1), a exemplo do grande Corpo Ultramáfico do Córrego do Rubinho, localizado nos arredores de Ribeirão da Folha (Carvalho *et al.*, 1992; Pedrosa-Soares,

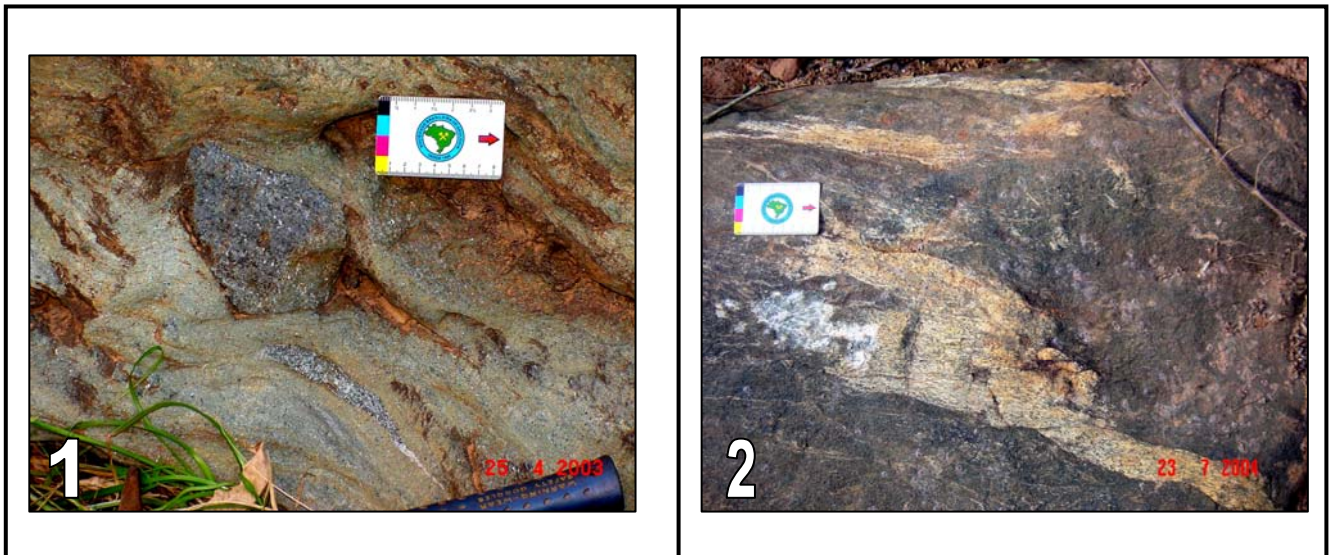
1997). Este xisto ultramáfico é derivado de piroxenito e representa cumulado ultramáfico (Aracema *et al.*, 2000), cuja posição inicial seria o manto litosférico ou a base da crosta oceânica inferior.

A seção máfica plutônica da crosta oceânica está representada, na calha do Ribeirão da Folha, por anfibolito maciço de granulação grossa. Esta rocha representa gabro maciço fortemente empobrecido em elementos incompatíveis e em titânio, com  $\epsilon Nd$  (800 Ma) em torno de + 4,5, cuja mineralogia atual é composta por labradorita, hornblenda magnesiânica e diopsídio.

Afloramentos de anfibolito bandado com bordas de grão fino e veios de plagiogranito representariam a base da seção de diques em lençol e/ou o topo da seção máfica plutônica que alimentou os diques (Fotografia 2).

Anfibolito de granulação fina, enriquecido em titânio e com valores de  $\epsilon Nd$  (800 Ma) também positivos (+ 2 a + 4), representariam a seção máfica vulcânica do ofiolito de Ribeirão da Folha. Intercalações de metachert e possível resto de estrutura almofadada ocorrem em afloramentos deste anfibolito.

Na calha do Ribeirão da Folha, sobreposta ou tectonicamente intercalada com as rochas máficas descritas, está bem exposta a seção sedimentar sulfetada e ferrífera que é o objeto de estudo desta dissertação.

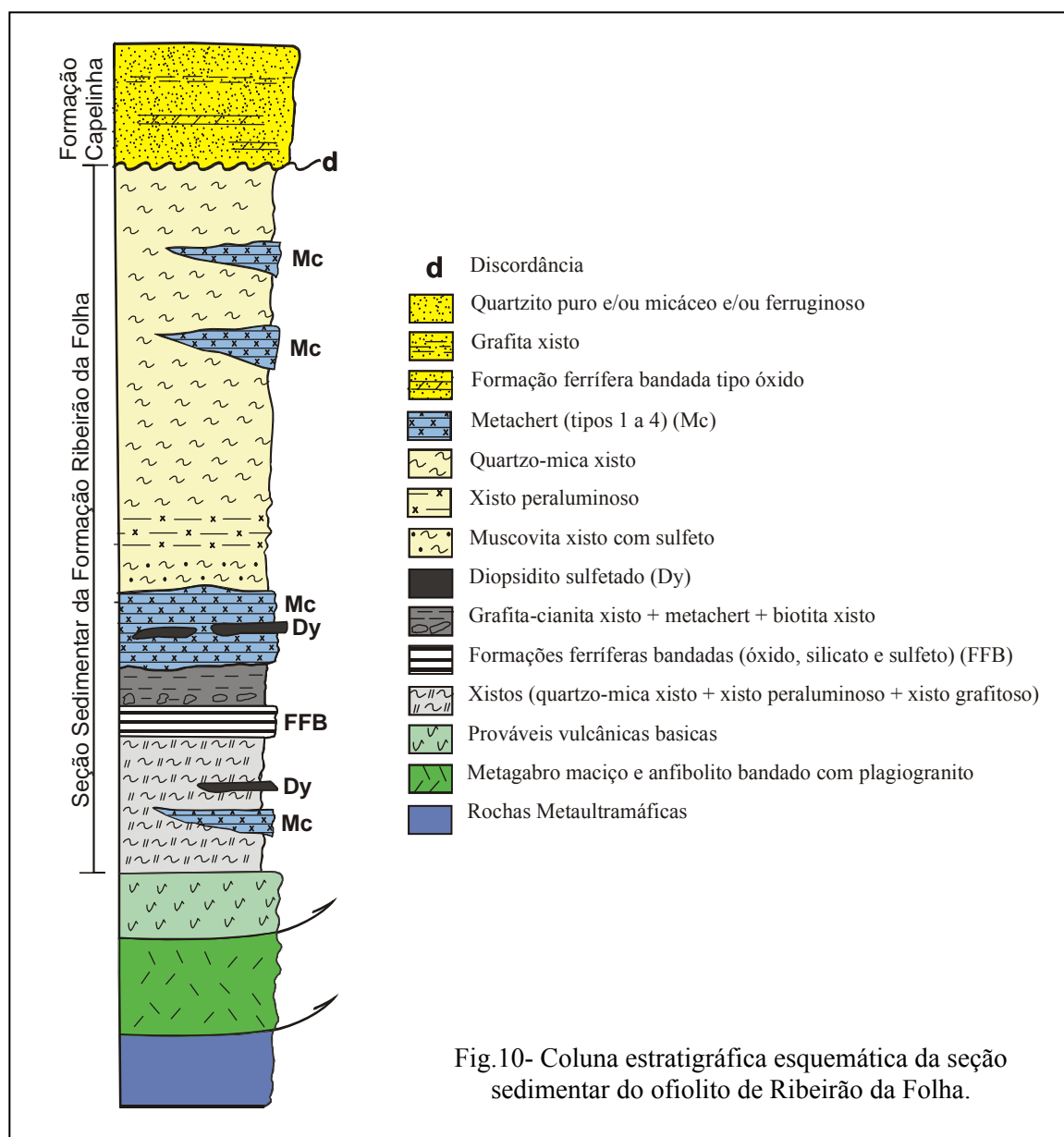


Fotografia 1- Fragmentos estirados de rocha metaultramáfica (verde escuro) imersos na matriz de tremolita xisto (verde claro), indicadores da seção ultramáfica superior, cujo protólito é interpretado como piroxenito, em afloramento na calha do Córrego do Rubinho; Fotografia 2- Ortoanfibolito (metagabro a metadiabásio) com corpos de metaplagiogranito (cor clara), indicadores da parte superior da seção máfica plutônica, em afloramento da calha do Ribeirão da Folha.

## IV.1.1- A SEÇÃO SEDIMENTAR

A seção sedimentar do ofiolito de Ribeirão da Folha engloba, em ordem decrescente de abundância, os seguintes litotipos: xistos pelíticos, metachert, formações ferríferas bandadas (tipos óxido, silicato e sulfeto) e diopsidito (Fig.10). A presença de sulfetos, muitas vezes evidenciada por eflorescência de sulfatos amarelados, é característica marcante das variedades de metachert e diopsidito (unidade sulfetada).

Os estudos petrográficos apresentados neste item baseiam-se em descrições microscópicas de quinze lâminas delgadas e dezessete seções polidas, além da revisão e compilação dos resultados obtidos por Freitas-Silva & Pereira (1987), Lagoeiro & Menegasse (1987), Silva *et al.* (1987), Pedrosa-Soares (1995, 1997) e Brandani & Costa (2004). Uma síntese da petrografia, baseada em características macroscópicas e microscópicas, encontra-se na Tabela 1, no final deste item.



#### ***IV.1.1.1- Xistos pelíticos***

A seqüência pelítica caracteriza-se por intercalações de quartzo-mica xisto bandado, xisto peraluminoso, xisto grafitoso, muscovita xisto sulfetado e cianita-grafita xisto (Fig.10).

O quartzo-mica xisto é a rocha mais abundante da Formação Ribeirão da Folha (Fotografia 3). Apresenta coloração acinzentada, granulação variando de fina a média e um bandamento milimétrico a decimétrico marcado por variações nas proporções de quartzo e mica. A mineralogia principal é composta basicamente por quartzo (25-40%) e biotita (20-35%), podendo ocorrer com frequência muscovita (0-30%), granada (0-10%) e/ou estauroлита (0-5%) e/ou cianita (0-5%). Estes três últimos são minerais varietais muito importantes como denominadores da rocha e indicadores da aluminosidade do protólito. Minerais acessórios comuns são óxidos de ferro e titânio (especialmente ilmenita) e, em menor quantidade, sulfetos e zircão inclusos em biotita. Cloritização da biotita é relativamente freqüente, evidenciando um processo de retrometamorfismo.

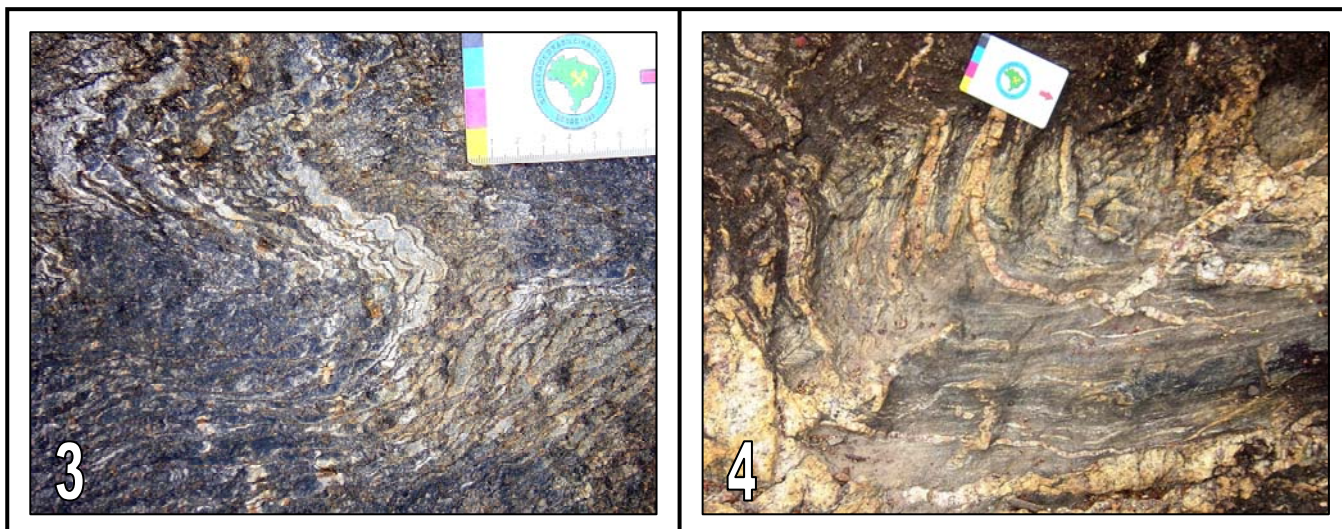
A textura do quartzo-mica xisto é marcadamente lepidoblástica, evidenciada pela orientação preferencial de biotita ± granada ± estauroлита ± cianita ± muscovita ± ilmenita (Sn) (Fotomicrografia 1). A granada ocorre sob a forma de porfiroblastos com até 6,0 mm de diâmetro (Fotomicrografia 2). Os cristais podem ser límpidos ou conter inclusões abundantes de quartzo e biotita. Estauroлита e cianita são porfiroblásticos e apresentam poucas inclusões de quartzo. Em determinadas lâminas, a foliação (Sn-1), parcialmente transposta pela xistosidade principal (Sn), fica evidente e caracteriza-se pela orientação de quartzo, geralmente estirado, e muscovita de granulação fina (variedade sericita) (Fotomicrografia 3). Vênulas de quartzo dobradas, paralelas à xistosidade principal (Sn), são comuns (Fotografia 4).

Segundo Pedrosa-Soares (1995), a composição mineralógica do quartzo-mica xisto bandado sugere derivação a partir de sedimentos psamo-pelíticos.

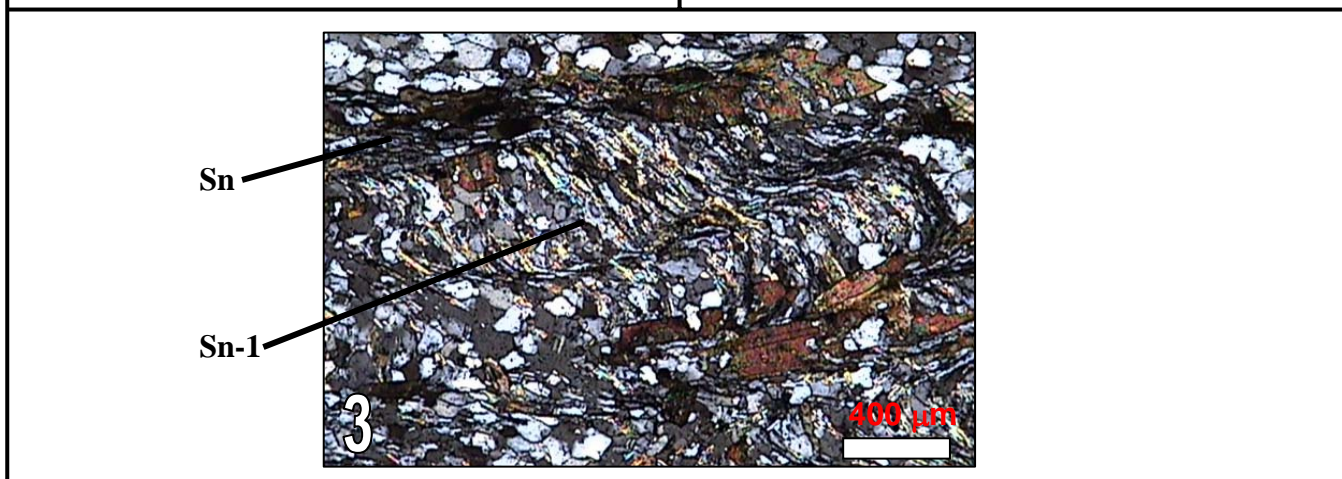
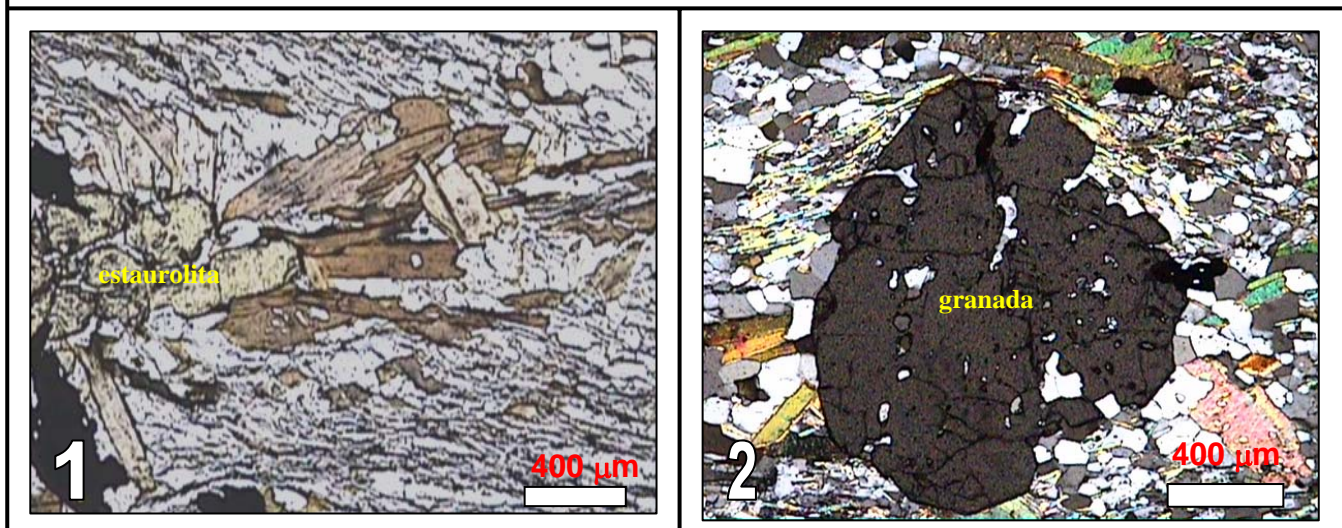
Rocha calcissilicática paraderivada ocorre como rara intercalação lenticular, de espessura milimétrica a decimétrica, concordante com a xistosidade principal (Sn) do quartzo-mica xisto. Clorita-anfibólio xisto e anfibólio xisto possuem ocorrência restrita na área estudada e são encontrados em contato lateral com biotita xisto.

O xisto grafitoso constitui bandas milimétricas a métricas intercaladas no quartzo-mica xisto e xisto peraluminoso. A mineralogia principal é constituída por grafita (25-60%), muscovita (10-30%), quartzo (5-30%), cianita (0-20%) e biotita (0-15%). Sulfetos são os acessórios comuns. O protólito desta rocha aponta para sedimentação pelítica com misturas argilo-carbonosas ricas em matéria orgânica (Pedrosa-Soares, 1995).





Fotografia 3- Zona de charneira em quartzo-mica xisto bandado, onde a foliação Sn-1 (paralela ao acamamento) é transposta por Sn (com desenvolvimento de novo bandamento composicional); Fotografia 4- Quartzo-mica xisto bandado, com dobramento assimétrico, rico em veios de quartzo metamórfico paralelos a xistosidade principal (Sn).



Fotomicrografia 1- Orientação de biotita + estaurolita na xistosidade principal (Sn) do quartzo-mica xisto. Luz transmitida, nicóis descruzados, aumento de 50 vezes (lâmina DL-08C); Fotomicrografia 2- Quartzo-mica xisto evidenciando a granada envolta pela foliação. Luz transmitida, nicóis cruzados, aumento de 50 vezes (lâmina DL-02B); Fotomicrografia 3- Quartzo-mica xisto evidenciando Sn-1 e Sn. Luz transmitida, nicóis cruzados, aumento de 50 vezes (lâmina DL-08D).

O xisto peraluminoso constitui intercalações decimétricas a métricas no quartzo-mica xisto e ocorre, comumente, no alto vale do Ribeirão da Folha. É constituído essencialmente por micas (biotita + muscovita; 20-50%), quartzo (15-20%), granada (5-20%), cianita (5-20%) e estauroлита (5-10%) (Fotografias 5 e 6). Ilmenita, sulfetos, grafita, rutilo e zircão são acessórios comuns.

A rocha apresenta textura lepidoblástica e granulação variando de média a grossa. Geralmente, os cristais de granada, cianita e estauroлита ocorrem como porfiroblastos orientados em relação à xistosidade principal (Sn) (Fotomicrografias 4 e 5). Em determinadas porções, a foliação (Sn-1) fica evidente e caracteriza-se, principalmente, pela orientação de quartzo, geralmente estirado, e muscovita de granulação fina (variedade sericita). Em uma amostra é possível observar cianitas que apresentam crescimento pós-deformacional, onde os cristais se sobrepõem à xistosidade principal (Sn) com ângulos que variam de 30 a 40°. A rocha apresenta relíctos de um bandamento composicional paralelo à xistosidade principal (Sn), marcado por bandas ricas em quartzo com contato poligonal e bandas ricas em micas, granada, cianita e estauroлита.

A composição dos principais minerais da xistosidade principal (Sn) foi obtida a partir de análises quantitativas em microsonda eletrônica (Anexo III), conforme descrito no item I.5. Os porfiroblastos de granada apresentam zonamento interno, com zonas mais centrais ricas em Ca e Mn e bordas enriquecidas em Mg e Fe (Fig.11). A composição é dominada pelas moléculas de almandina (70-52%), seguida de espessartita (29-11%), piropo (16-9%) e grossulária (10-5%). As palhetas de biotita são praticamente homogêneas, com leve zonamento interno. Em relação à composição, a biotita é uma solução sólida da série annita-flogopita, tendendo a este último membro final (Fig.12). Os cristais de muscovita associados à biotita apresentam-se levemente zonados, com conteúdos de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e K<sub>2</sub>O compreendidos entre 44,7% e 46,6%; 34,8% e 36,3%; 9,1% e 9,7%, respectivamente. Os porfiroblastos de estauroлита possuem composição homogênea e conteúdos de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO e ZnO entre 28,1% e 28,6%; 54,1% e 54,8%; 11,0% e 11,6%; 1,1% e 1,2%, respectivamente. Estes dados demonstram que os cristais de estauroлита apresentam composição próxima do padrão definido por Deer *et al.* (1992). Ilmenita de granulação predominantemente fina, com inclusões de biotita (Fotomicrografia 6), não apresenta variação composicional significativa.

Cianita-grafita xisto e muscovita xisto com sulfetos aparecem como intercalações milimétricas a centimétricas no xisto peraluminoso, sempre concordantes com a foliação do mesmo.

A composição mineralógica do xisto peraluminoso sugere derivação a partir de sedimentos pelágicos com altos conteúdos de argilo-minerais. São interpretados como termos transicionais entre os depósitos psamo-pelíticos que originaram o quartzo-mica xisto e os sedimentos argilo-carbonosos com matéria orgânica que deram origem ao xisto grafitoso (Pedrosa-Soares, 1995).



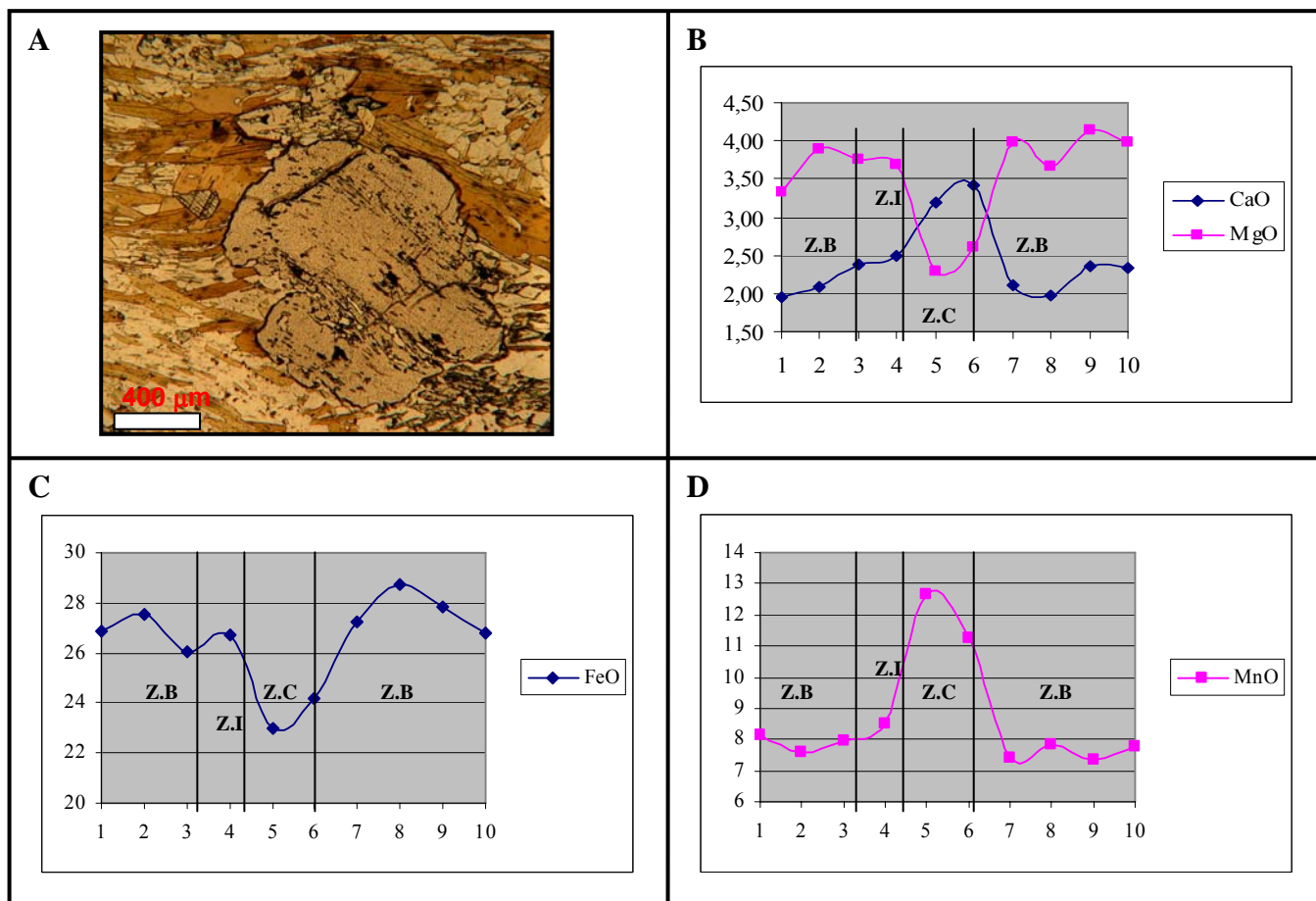


Fig.11- A) Fotomicrografia do porfiroblasto rotacionado de granada analisado quantitativamente por WDS. Luz transmitida, nicóis descruzados, aumento de 50 vezes (lâmina DL-15B); B) Zonamento interno em cristal assimétrico de granada, evidenciado pelas variações dos teores de CaO (%) e MgO (%) (Z.B= zona de borda, Z.I= zona intermediária, Z.C=zona central); C) Zonamento interno em cristal assimétrico de granada, evidenciado pela variação do teor de FeO (%) (Z.B= zona de borda, Z.I= zona intermediária, Z.C=zona central); D) Zonamento interno em cristal assimétrico de granada, evidenciado pela variação do teor de Mn (%) (Z.B= zona de borda, Z.I= zona intermediária, Z.C=zona central).

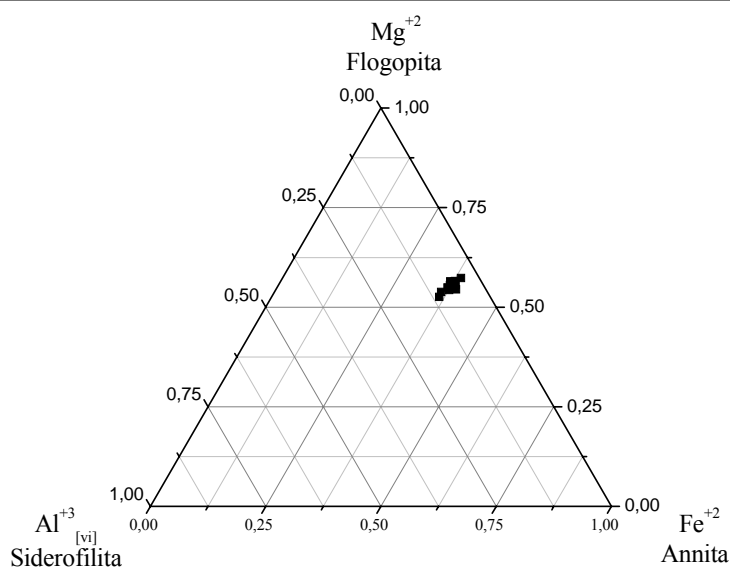
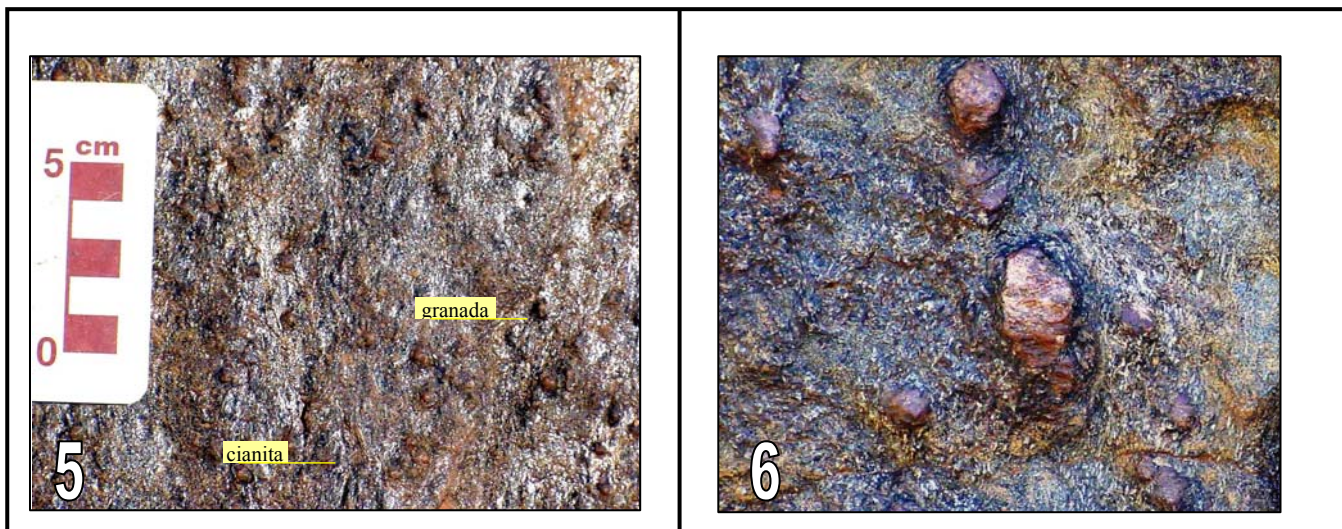
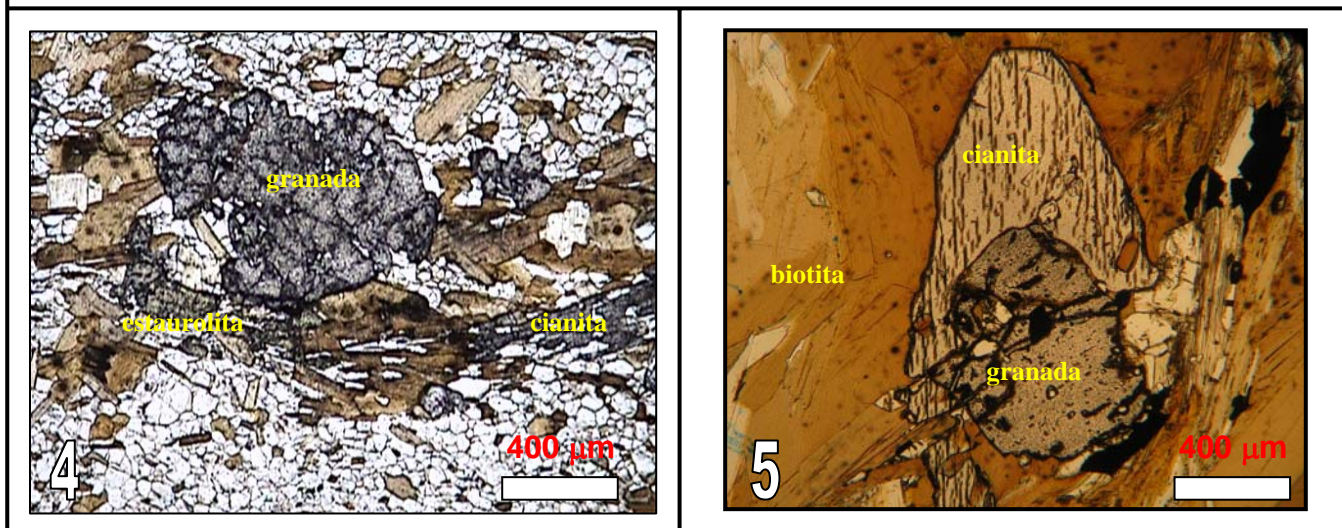


Fig.12- Diagrama ternário de composição das palhetas de biotita do xisto peraluminoso.



Fotografia 5- Detalhe do xisto peraluminoso, onde se observam biotita, muscovita, cianita (na lineação) e granada, na superfície paralela à xistosidade principal (Sn); Fotografia 6- Grandes cristais de almandina no xisto peraluminoso (mesma escala da fotografia 5). Este afloramento faz contato gradacional com a formação ferrífera bandada do tipo silicato.



Fotomicrografia 4- Xisto peraluminoso evidenciando a orientação da granada, cianita e estaurofita. Luz transmitida, nicóis descruzados, aumento de 50 vezes (lâmina DL-15B); Fotomicrografia 5- Granada em equilíbrio com biotita + cianita no xisto peraluminoso. Luz transmitida, nicóis descruzados, aumento de 50 vezes (lâmina Q-14); Fotomicrografia 6- Ilmenita hipidioblástica com inclusão de biotita no xisto peraluminoso. Luz refletida, aumento de 50 vezes (lâmina Q-14).



#### ***IV.1.1.2 - Metacherts***

Os metacherts constituem intercalações métricas a decamétricas, associadas ao quartzo-mica xisto, xisto peraluminoso, diopsiditos sulfetados e formações ferríferas bandadas. 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. A descrição das fases sulfetadas encontra-se no Capítulo V (item V.1.2).

Quatro variedades de metachert são reconhecidas com base, principalmente, na composição mineralógica, coloração e presença de sulfetos:

- *Tipo 1- Metachert de coloração branca a cinza-clara, puro*

O quartzo é o mineral predominante, perfazendo, em geral, mais de 80% da rocha. Os grãos são xenoblásticos a hipidioblásticos, possuem granulação predominantemente fina e apresentam, em sua maioria, contatos poligonais, com junção tríplice dos cristais. Biotita pode ocorrer em proporções consideráveis (0-20%). Os minerais acessórios comuns são sulfetos e muscovita fina. Cloritização da biotita ocorre localmente.

A textura da rocha é marcadamente granoblástica, podendo ocorrer, no entanto, textura granolepidoblástica marcada pela orientação incipiente das palhetas de biotita.

- *Tipo 2- Metachert de coloração branca a cinza-clara, micáceo*

É composto essencialmente por quartzo (60-70%) e muscovita (20-30%), ambos com granulação fina (Fotografia 7). Sulfetos e poucos cristais de plagioclásio ocorrem como minerais acessórios e este primeiro mineral pode atingir até 10% do volume da rocha. Uma orientação incipiente da muscovita é observada, conferindo a textura granolepidoblástica à rocha.

- *Tipo 3- Metachert de coloração cinza-clara, impuro*

Dois subtipos característicos, com variações na composição e textura, são descritos para esta variedade. O primeiro subtipo é composto por quartzo (~40%), anfíbólio (~20%), muscovita (~15%), titanita (~10%), plagioclásio (~3%) e sulfetos (~12%), além de epidoto como mineral de alteração. Nas porções ricas em anfíbólio e titanita a granulação é média e a textura é marcadamente nematoblástica (Fotomicrografia 7). Nas porções onde a concentração de quartzo e muscovita é maior, a granulação é predominantemente fina e a textura é lepidoblástica. Sulfetos sempre ocorrem

orientados em relação à foliação. Vênulas de quartzo são comuns.

O segundo subtipo compõe-se de quartzo (~55%), anfibólio (~20%), plagioclásio (~10%), sulfetos (~10%) e granada (< 5%). Processos de alteração dos anfibólios (cloritização) são comuns. A textura é nematoblástica e a granulação varia de fina à média. Os feldspatos possuem forma predominantemente idioblástica e associam-se, preferencialmente, às zonas ricas em anfibólio.

Os resultados das microanálises em plagioclásio desta variedade de metachert evidenciam um mineral pouco zonado, com composição próxima da anortita ( $An_{88-92,3}$ ;  $Ab_{0,2-0,3}$ ;  $Or_{7,6-11,7}$ ). O anfibólio dos dois subtipos é uma solução sólida da série da tremolita.

As amostras de metachert impuro, especialmente àquelas presentes na calha do Ribeirão da Folha, apresentam eflorescências de sulfatos de ferro, resultantes da alteração intempérica das porções sulfetadas (Fotografias 8 e 9).

• *Tipo 4- Metachert de coloração cinza-escura, impuro, sulfetado, foliado ou maciço*

A rocha apresenta sulfetos disseminados ou alinhados sob a forma de “esteiras”, paralelos à xistosidade principal (Sn) (Fotografia 10) e, comumente, eflorescências de sulfatos amarelos e brancos. É a variedade mais comum e com maior distribuição territorial. Apresenta uma gama de composições e textura, caracterizadas a seguir:

a) Rocha composta por quartzo (60%), anfibólio (15-20%) e carbonato (~20%) (Fotomicrografia 8). Minerais opacos, especialmente sulfetos, são os acessórios comuns. Clorita pleocróica e biotita aparecem como minerais secundários, provenientes da alteração do anfibólio. A textura é nematoblástica, marcada pela orientação dos anfibólios, e a granulação varia de fina a média. Os grãos de quartzo apresentam-se totalmente recristalizados, com contatos poligonais. O carbonato encontra-se intimamente associado ao anfibólio;

b) Rocha composta por quartzo (50%), biotita (30%), carbonato (10%) e sulfetos (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). A granulação é predominantemente fina. Vênulas de quartzo posteriores à Sn são comuns;

c) Duas amostras formadas essencialmente por quartzo (~40%), muscovita (35-40%), biotita (10-15%) e minerais opacos, predominantemente sulfetos (5-10%), foram caracterizadas. Zircão e granada com inclusões de quartzo e biotita são os acessórios comuns. As rochas apresentam um bandamento milimétrico, marcado por: (i) bandas com granulação predominantemente fina, compostas por grãos xenoblásticos a hipidioblásticos de quartzo, com contatos poligonais, e por uma pequena quantidade de palhetas de muscovita e biotita com orientação incipiente; (ii) bandas com granulação variando de fina a média, compostas por palhetas de biotita marcando a xistosidade

principal (textura lepidoblástica), granada e sulfetos. Em determinadas porções, estas bandas podem apresentar uma foliação crenulada (Sn-1), parcialmente transposta por Sn, marcada pela orientação dos grãos de quartzo e muscovita de granulação muito fina (variedade sericita). Vênulas de quartzo dispostas aleatoriamente ou orientadas pela crenulação são comuns;

d) Rocha composta por quartzo (~40%), anfibólio (30%), biotita (10%), granada (7%) e minerais opacos, englobando sulfetos e ilmenita (10%). Clorita maclada é comum como produto de alteração do anfibólio. A textura é nematoblástica e a granulação varia de fina a média.

Os cristais de granada apresentam zonamento interno, com enriquecimento de Ca e Mn nas zonas mais centrais diagnosticado por uma correlação inversa com os conteúdos de Fe e Mg (Fig.13). A composição é dominada pelas moléculas de almandina (54-33%), espessartita (35-14%) e grossulária (27-14%), seguidas de piropo (16-9%). As palhetas de biotita são homogêneas, com leve zonamento interno. Em relação à composição, a biotita é uma solução sólida da série annita-flogopita, tendendo a este último membro final (Fig.14). O anfibólio associado à biotita + granada é um membro intermediário da série das hornblendas.

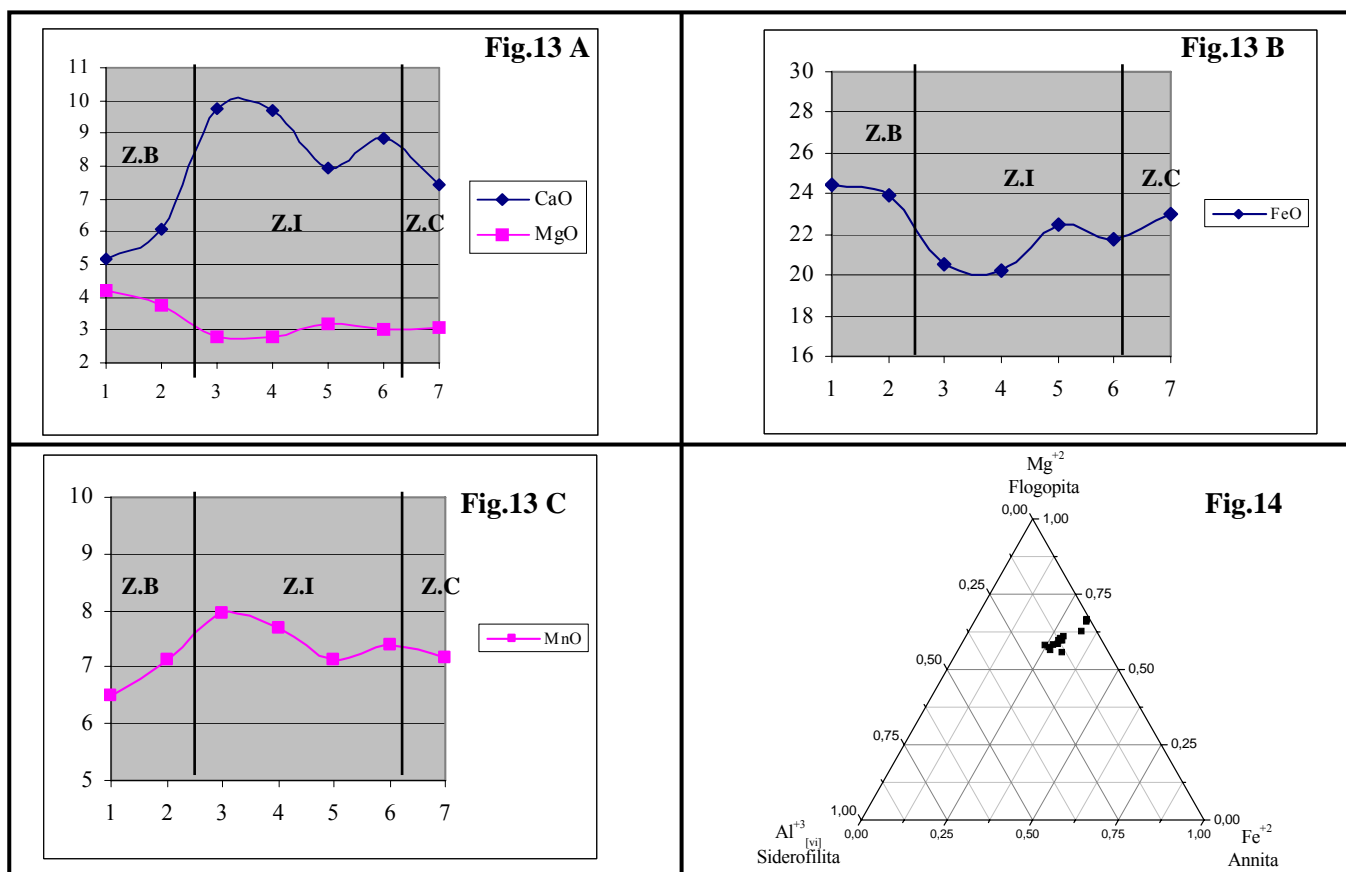
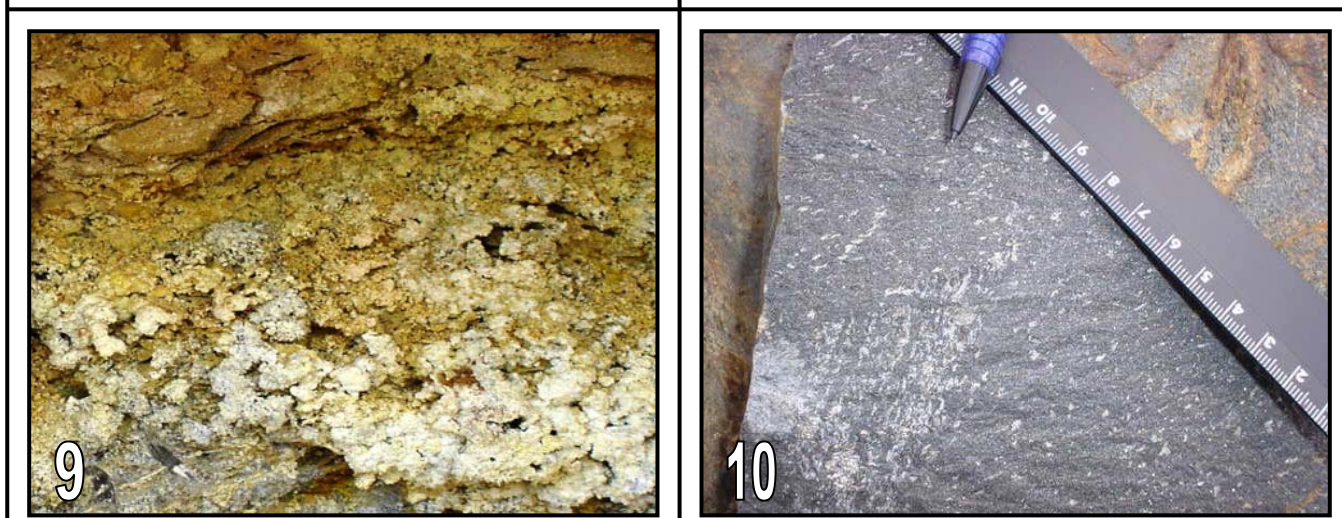
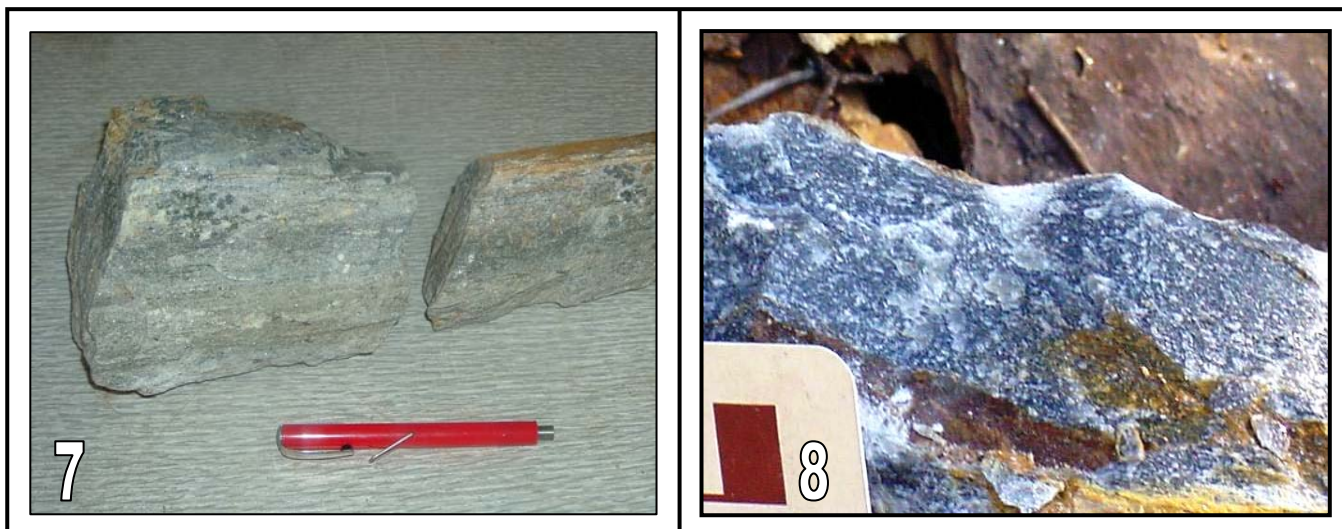
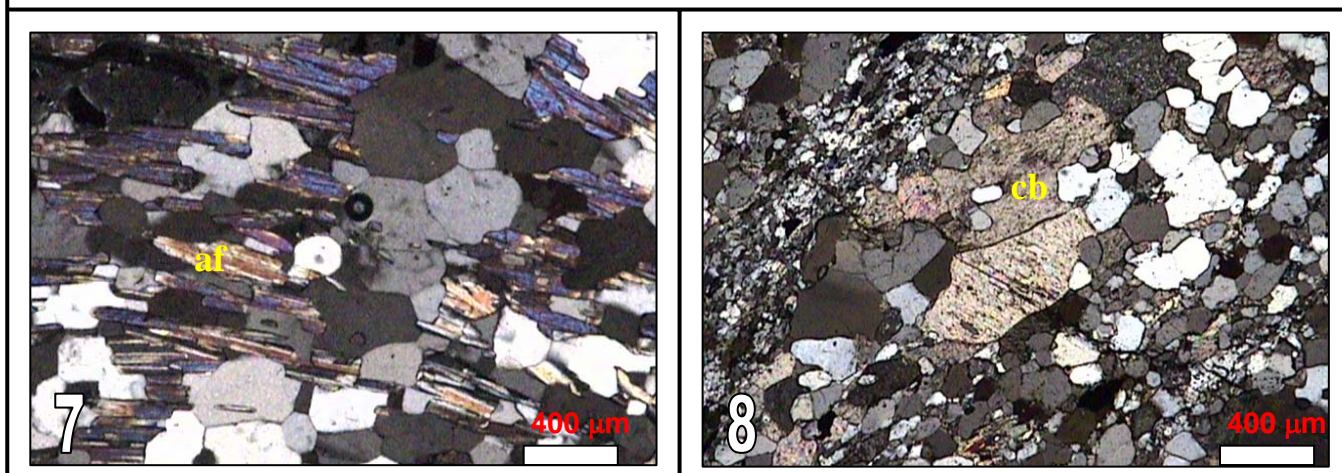


Fig.13- A) Zonamento interno em cristal assimétrico de granada do metachert cinza-escuro (tipo 4, subtipo d), evidenciado pelas variações dos teores de CaO (%) e MgO (%) (Z.B= zona de borda, Z.I= zona intermediária, Z.C=zona central); B) Zonamento interno em cristal assimétrico de granada, evidenciado pela variação do teor de FeO (%) (Z.B= zona de borda, Z.I= zona intermediária, Z.C=zona central); C) Zonamento interno em cristal assimétrico de granada, evidenciado pela variação do teor de Mn (%) (Z.B= zona de borda, Z.I= zona intermediária, Z.C=zona central). Fig.14- Diagrama ternário de composição das palhetas de biotita do metachert cinza-escuro (tipo 4, subtipo d).





Fotografia 7- Metachert cinza-claro, micáceo (tipo 2); Fotografia 8- Metachert cinza-claro, impuro (tipo 3), sulfetado, em afloramento situado na calha do Ribeirão da Folha; Fotografia 9- Eflorescências de sulfatos de ferro sobre o metachert, neste caso semi-intemperizado, da fotografia 8 (mesma escala); Fotografia 10- Metachert de coloração cinza-escuro, impuro (tipo 4), com “esteiras” de sulfetos.



Fotomicrografia 7- Metachert cinza-claro, impuro (tipo 3), evidenciando a orientação do anfibólio (af). Luz transmitida, nicóis cruzados, aumento de 50 vezes (lâmina Q-06D); Fotomicrografia 8- Metachert cinza-escuro, impuro (tipo 4, subtipo a), evidenciando a associação quartzo + carbonato (cb). Luz transmitida, nicóis cruzados, aumento de 50 vezes (lâmina DL-28A).



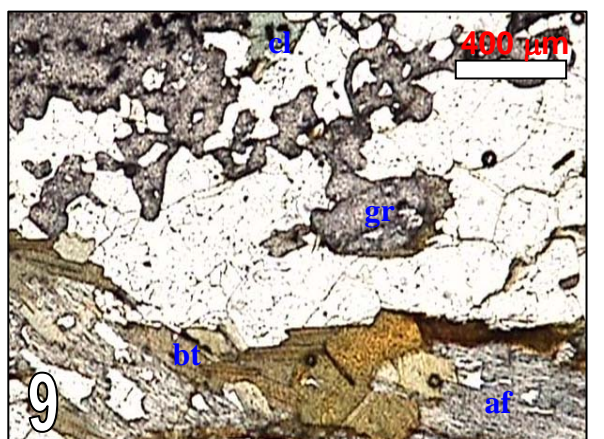

#### IV.1.1.3 – Formações ferríferas

As formações ferríferas bandadas do tipo silicato, óxido e sulfeto possuem ocorrência restrita ao médio curso do Ribeirão da Folha e encontram-se intimamente relacionadas aos metacherts e diopsiditos sulfetados. Todas apresentam bandamento composicional caracterizado pela alternância de bandas claras, ricas em cristais de quartzo, e bandas escuras compostas por minerais de ferro. Geralmente estas bandas possuem espessuras entre 0,5 e 1,0 cm. Uma característica marcante em campo é a presença de dobras de espessamento de charneira e dobras em bainha.

Na formação ferrífera do tipo silicato, as bandas escuras são compostas por granada, anfibólio, biotita e clorita como produto de alteração (Fotomicrografia 9). Uma feição marcante destas bandas é o *hábitus* da granada, que se apresenta estirada na forma de fita e possui inúmeras inclusões de quartzo, magnetita e ilmenita orientadas em relação ao bandamento composicional (paralelo à xistosidade principal). Segundo Pedrosa-Soares (1995), 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 série cummingtonita-grunerita.

Na formação ferrífera do tipo óxido, magnética, as bandas escuras compõem-se principalmente de magnetita de granulação fina (Fotografia 11) (Fig.15). Os minerais acessórios são anfibólio (termo próximo da actinolita), granada e biotita. As bandas claras são compostas essencialmente por cristais de quartzo e, subordinadamente, por cristais de anfibólio.

A formação ferrífera bandada do tipo sulfeto é composta por bandas ricas, quase que exclusivamente, em pirita alternadas com bandas ricas em quartzo. Os minerais acessórios são muscovita de granulação muito fina (variedade sericita), granada, clorita, biotita e plagioclásio.

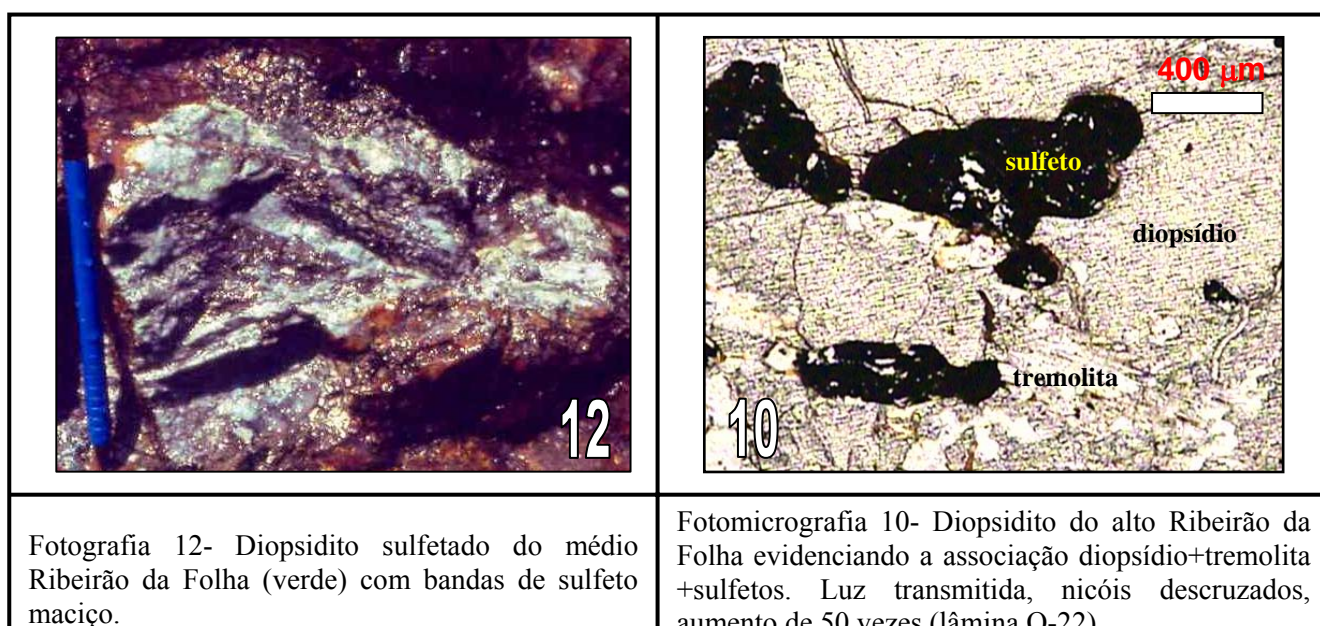
	
<p>Fotomicrografia 9- Formação ferrífera bandada do tipo silicato, evidenciando a banda rica em granada (gr), biotita (bt), anfibólio (af) e clorita (cl). Luz transmitida, nicóis descruzados, aumento de 50 vezes (lâmina Q-06A).</p>	<p>Fotografia 11- Corte de charneira de dobra em formação ferrífera bandada do tipo óxido. As bandas escuras são muito ricas em magnetita (ver imã na superfície vertical) e as claras são ricas em quartzo.</p>

#### IV.1.1.4 –Diopsíditos

Duas ocorrências de diopsídito sulfetado, com características petrográficas semelhantes, foram cartografadas no médio e alto cursos do Ribeirão da Folha. Trata-se de corpos lenticulares, com formas irregulares e dimensões decimétricas a métricas, compostos basicamente por megacrístais de diopsídio e sulfetos. A descrição das fases sulfetadas encontra-se no Capítulo V (item V.1.2).

O corpo do médio Ribeirão da Folha (ponto Q-07, Mapa de Pontos, Anexo I) encontra-se envolvido ou em contato lateral com camadas de metachert. É composto por diopsídio pleocrórico (~35%), quartzo (~30%), anfibólio (20%; termo próximo da tremolita) e sulfetos (~10%). Os minerais acessórios são titanita e carbonato. A rocha não apresenta foliação, ou esta é incipiente, e caracteriza-se, quase que exclusivamente, por um bandamento evidenciado por: (i) bandas ricas principalmente em quartzo de granulação média, totalmente recristalizado, com sulfetos e anfibólios disseminados; (ii) bandas ricas em cristais idioblásticos de diopsídio, anfibólio e opacos (sulfetos); com titanita e carbonato subordinados. Os sulfetos, em sua maioria com forma euédrica, formam linhas de inclusão nos cristais de diopsídio. Os cristais anédricos, de granulação fina a média, preenchem os espaços intergranulares.

No alto Ribeirão da Folha (ponto Q-22, Mapa de Pontos, Anexo I) o diopsídito sulfetado associa-se ao quartzo-mica xisto e ao xisto grafitoso e apresenta mineralogia composta por diopsídio (~40%), quartzo (~25%), anfibólio (15%; termo próximo da tremolita), titanita (~5%) e sulfetos (15%) (Fotomicrografia 10). A rocha apresenta um bandamento discreto, marcado por bandas de cristais idioblásticos de diopsídio, com granulação predominantemente grossa, anfibólio e sulfetos, com titanita subordinada e bandas ricas em cristais de quartzo com granulação fina, recristalizados, e sulfetos subordinados.





**TABELA 1- REVISÃO DE PETROGRAFIA**

**TABELA 1- REVISÃO DE PETROGRAFIA**

#### IV.1.2- FORMAÇÃO CAPELINHA

A Formação Capelinha, constituída de quartzitos puro e/ou ferruginoso e/ou micáceo com intercalações de grafita xisto e formação ferrífera bandada do tipo óxido, apresenta marcante contraste composicional e sedimentológico em relação à Formação Ribeirão da Folha (Fig.10).

O quartzito puro geralmente apresenta coloração variando de branco a amarelo, granulação de areia média a grossa e foliação bem desenvolvida (Fotografia 13). O quartzo perfaz mais de 90% do volume total da rocha e apresenta contatos poligonais com junção tríplice, forte extinção ondulante e maclas de deformação. Os minerais acessórios são biotita, minerais opacos (hematita, magnetita martitizada, rutilo e raramente pirita), zircões arredondados e anfibólio da série tremolita-actinolita. A variedade ferruginosa possui coloração acinzentada quando fresca, ou avermelhada devido à alteração intempérica. Localmente, apresenta concentrações de minerais opacos (*e.g.* magnetita) em níveis milimétricos que conferem à rocha uma estrutura bandada (Fotomicrografia 11). O quartzito micáceo é composto por 80% de cristais de quartzo e 20% de soma das micas, predominando muscovita sobre biotita. Finas agulhas de turmalina e minerais opacos representam a mineralogia acessória.

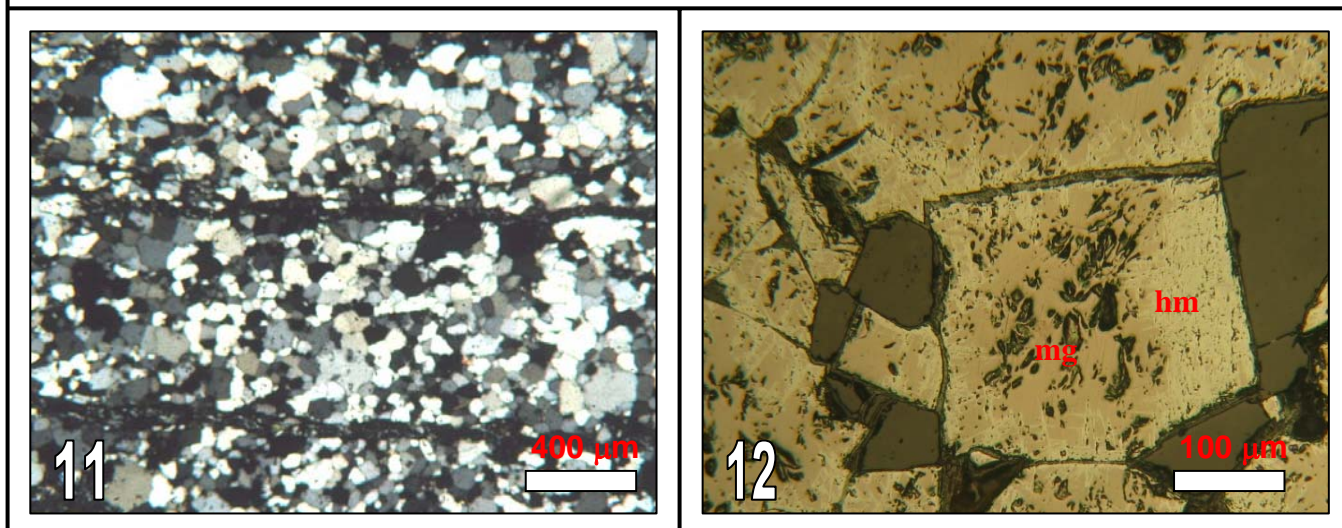
O grafita xisto ocorre em camadas decimétricas a decamétricas, concordantes com a foliação do pacote quartzítico. A rocha apresenta coloração acinzentada e granulação variando de fina a média. A mineralogia essencial é composta por grafita (20-40%), quartzo (15-30%) e micas (biotita + muscovita; 10-20%). Cianita é o acessório mais comum e ocorre sob a forma de porfiroblastos orientados em relação à foliação. Eventualmente ocorrem níveis delgados de cianitito, onde o aluminossilicato perfaz aproximadamente 70% do volume total da rocha. Outros minerais acessórios são sulfetos, granada e feldspato. Clorita e rutilo são produtos de alteração da biotita.

Formação ferrífera bandada do tipo óxido, de coloração predominantemente cinza-escura (Fotografia 14), ocorre em camadas métricas, intercalada nos quartzitos e concordante com a foliação dos mesmos. Veios de quartzo esparsos estão dispostos aleatoriamente. A rocha apresenta bandamento composicional evidenciado por: (i) bandas ricas essencialmente em quartzo, com anfibólio, plagioclásio e clorita subordinados e, (ii) bandas ricas em hematita, magnetita e ilmenita. A magnetita perfaz entre 10 e 25% do volume total da rocha, apresentando forma predominantemente hipidioblástica e granulação variável entre 0,1 e 1,6 mm. Está intensamente martitizada, dando origem à hematita (Fotomicrografia 12). Este mineral ocorre sob a forma hipidioblástica, podendo atingir aproximadamente 70% da moda das bandas ferruginosas (Fig.15). A ilmenita apresenta granulação predominantemente fina (< 0,1mm) e geralmente ocorre como inclusões nos cristais de magnetita.





Fotografia 13- Quartzito puro, de coloração predominantemente bege; Fotografia 14- Formação ferrífera bandada do tipo óxido, de coloração cinza-escura, pouco magnética.



Fotomicrografia 11- Quartzito ferruginoso com linhas de minerais opacos. Luz transmitida, nicóis cruzados, aumento de 50 vezes (lâmina DL-36); Fotomicrografia 12- Formação ferrífera bandada evidenciando o processo de martitização (magnetita (mg) no centro e hematita (hm) na borda). Luz refletida, aumento de 200 vezes (lâmina Q-01B).

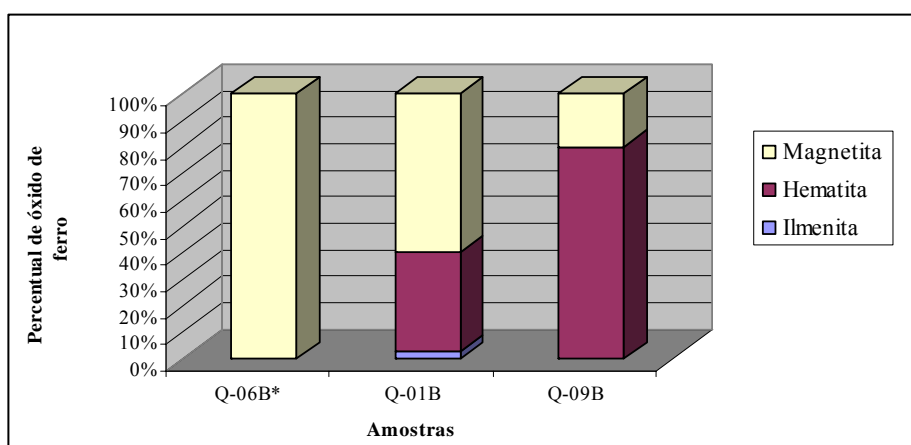


Fig.15- Percentual de óxidos de ferro nas formações ferríferas do tipo óxido das formações Ribeirão da Folha (indicada pelo asterisco) e Capelinha.

## V.2- GEOLOGIA ESTRUTURAL

Pedrosa-Soares (1995, 1997) reconhece, para a região de Ribeirão da Folha-Baixa Quente, uma xistosidade regional (Sp) orientada preferencialmente na direção NE, com mergulhos para SE. Localmente, esta xistosidade transpõe estruturas anteriores, desenvolvendo uma clivagem de crenulação (Sp+1).

Estudos desenvolvidos ao longo da presente dissertação, em conjunto com o trabalho de graduação de Brandani & Costa (2004), caracterizam para a área dois acervos de estruturas principais: (i) **acervo dúctil**, evidenciado por uma xistosidade principal (Sn), que localmente se caracteriza como uma clivagem de crenulação que transpõe uma foliação anterior (Sn-1). O acervo dúctil está representado em grande parte das rochas que compõem as formações Ribeirão da Folha e Capelinha, com exceção das rochas quartzíticas desta última formação; (ii) **acervo rúptil**, marcado por dois sistemas de fraturas preferenciais, com direções NE e NW, e por um sistema de clivagem espaçada rúptil ou de fratura, presentes em ambas as formações.

A xistosidade principal (Sn) do acervo dúctil definida no presente trabalho, corresponde às estruturas Sp e Sp+1 de Pedrosa-Soares (1995, 1997), ao passo que as estruturas do acervo rúptil relacionam-se ao colapso extensional do Orógeno Araçuaí (Pedrosa-Soares *et al.*, 2005).

Os elementos e as interpretações relacionadas às estruturas tectônicas utilizados nesta dissertação, baseiam-se nas definições apresentadas em Pluijm & Marshak (1997).

### IV.2.1- ACERVO ESTRUTURAL DÚCTIL

#### IV.2.1.1- Formação Ribeirão da Folha

A deformação dúctil é caracterizada pela xistosidade principal (Sn); por dobras fechadas assimétricas (Fotografia 15), em bainha e em caixa (Fotografia 16), comuns nas formações ferríferas bandadas, no quartzo-mica xisto e no xisto peraluminoso; e por uma lineação de estiramento mineral (Lx).

A xistosidade principal (Sn) é geralmente paralela a sub-paralela ao acamamento (S<sub>0</sub>) e contém a lineação de estiramento mineral (Lx). Esta lineação é definida pela orientação de biotita, cianita e/ou estauroлита e pelo estiramento de *ribbons* de quartzo, apresentando obliquidade baixa a nula (*down dip*). Dobras assimétricas, fechadas (tipo flanco longo-flanco curto) apresentam Sn como foliação plano-axial e possuem eixos com caimentos baixos para SW e NE. Nas charneiras

destas dobras, a xistosidade principal pode deixar de ser paralela a sub-paralela ao acamamento, enquanto que nos flancos este fato é pouco observado.

A xistosidade principal (Sn) é marcada pela orientação planar das palhetas de biotita, cianita, estauroлита, granada, minerais opacos (sulfetos + ilmenita) e anfibólios, dependendo da rocha em questão. Sua direção é condicionada, em parte, pela deformação associada à intrusão granítica, apresentando arranjo radial (vide Mapa Geológico compilado, Anexo II). Os mergulhos são caracteristicamente baixos a médios (em torno de 45 °), principalmente nos quadrantes NE e SE (Fig.16). É relativamente comum a xistosidade principal manifestar-se como uma das foliações de um par S/C, representando geralmente a foliação C, mais proeminente. Indicadores cinemáticos, como por exemplo, minerais rotacionados e com sombras de pressão, estão presentes em zonas de cisalhamento no contato entre os xistos da Formação Ribeirão da Folha e quartzitos da Formação Capelinha (Fotografia 17).

Uma das feições mais características em campo, observada principalmente nos xistos e subordinadamente nas variedades de metachert, é a presença de uma foliação (Sn-1) marcada pela orientação preferencial de quartzo estirado e muscovita de granulação fina (variedade sericita). A acomodação da deformação em zonas discretas, que variam desde escala microscópica a mesoscópica, condiciona o desenvolvimento da transposição total ou parcial da foliação (Sn-1) (Fotografia 18). Nestas zonas, a deformação progressiva resulta em uma clivagem de crenulação observada sob a forma de xistosidade principal (Sn).

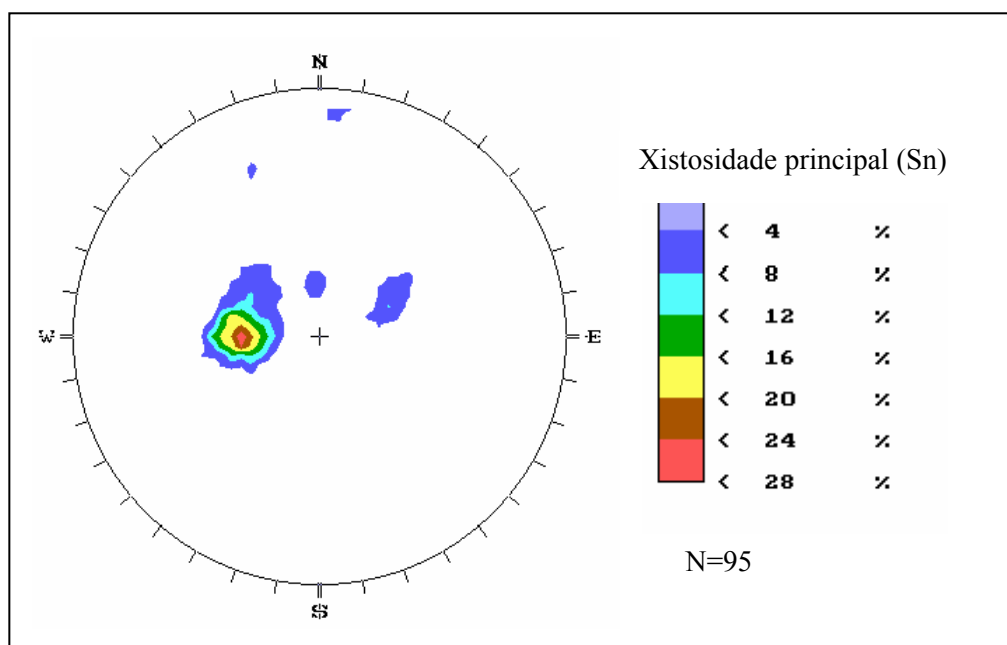


Fig.16- Diagrama de contorno de pólos (hemisfério inferior) para a xistosidade principal (Sn) nas rochas da Formação Ribeirão da Folha.



#### IV.2.1.2- Formação Capelinha

A xistosidade principal (Sn) dos termos quartzíticos da Formação Capelinha é determinada, essencialmente, pelo estiramento dos grãos de quartzo e pela orientação planar de micas (em geral, muscovita e biotita) e de minerais opacos (principalmente hematita). Os mergulhos são baixos a médios, predominantemente para SW (Fig.17). Mergulhos para NW e NE ocorrem de maneira subordinada, havendo duas hipóteses para este fato: (i) arranjo radial da xistosidade principal na região da intrusão granítica (vide Mapa Geológico, Anexo II) e, (ii) região caracterizada por sinformais e antiformais, a princípio, em escala de afloramento. A formação ferrífera bandada da Formação Capelinha geralmente apresenta bandamento composicional paralelo à xistosidade principal (Sn) (Fotografia 19) e é concordante com a foliação do quartzito e xisto grafitoso desta unidade.

A atitude da xistosidade principal (Sn) das rochas da Formação Capelinha (média 230/40) corrobora a interpretação de que esta unidade está disposta de maneira discordante sobre as rochas da Formação Ribeirão da Folha (Pedrosa-Soares, 1995).

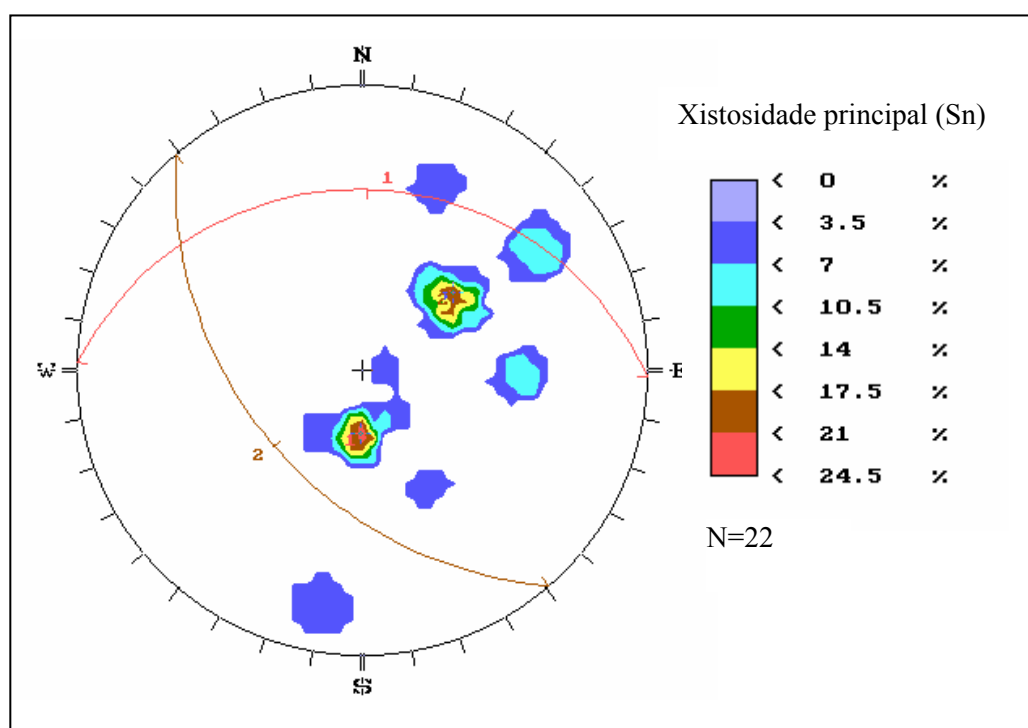


Fig.17- Diagrama de contorno de pólos (hemisfério inferior) para a xistosidade principal (Sn) nos quartzitos da Formação Capelinha.

## IV.2.2- ACERVO ESTRUTURAL RÚPTIL

O acervo rúptil é caracterizado por dois sistemas de fraturas verticais a sub-verticais, presentes principalmente nos quartzitos da Formação Capelinha e, subordinadamente, nos xistos, metacherts e diopsiditos sulfetados da Formação Ribeirão da Folha (Fotografia 20), com direções a NE e NW e máximos iguais a 129/84 e 75/85 (Fig.18). Clivagem espaçada ou de fratura, sem recristalização mineral ao longo dos planos com espaçamento constantes, completam o acervo rúptil da área. Estas estruturas são provavelmente associadas aos eventos distensionais ocorridos durante o colapso do Orógeno Araçuaí.

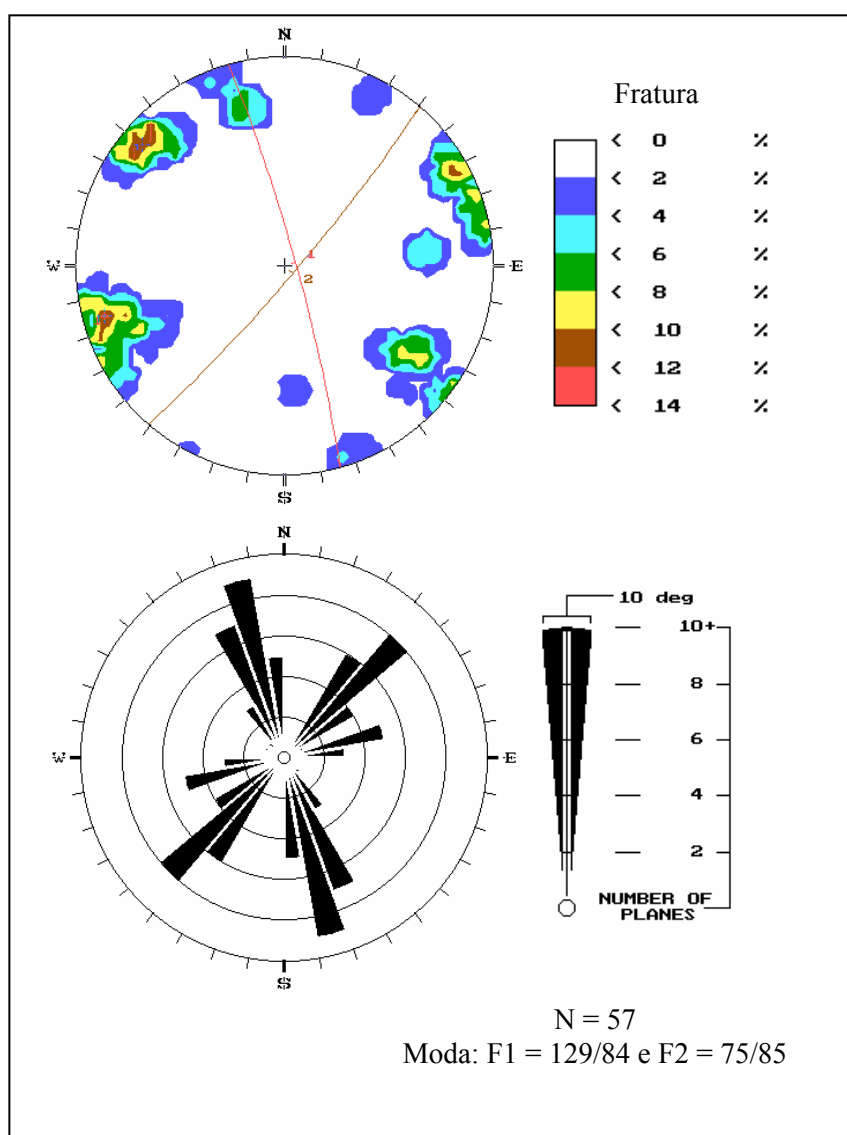
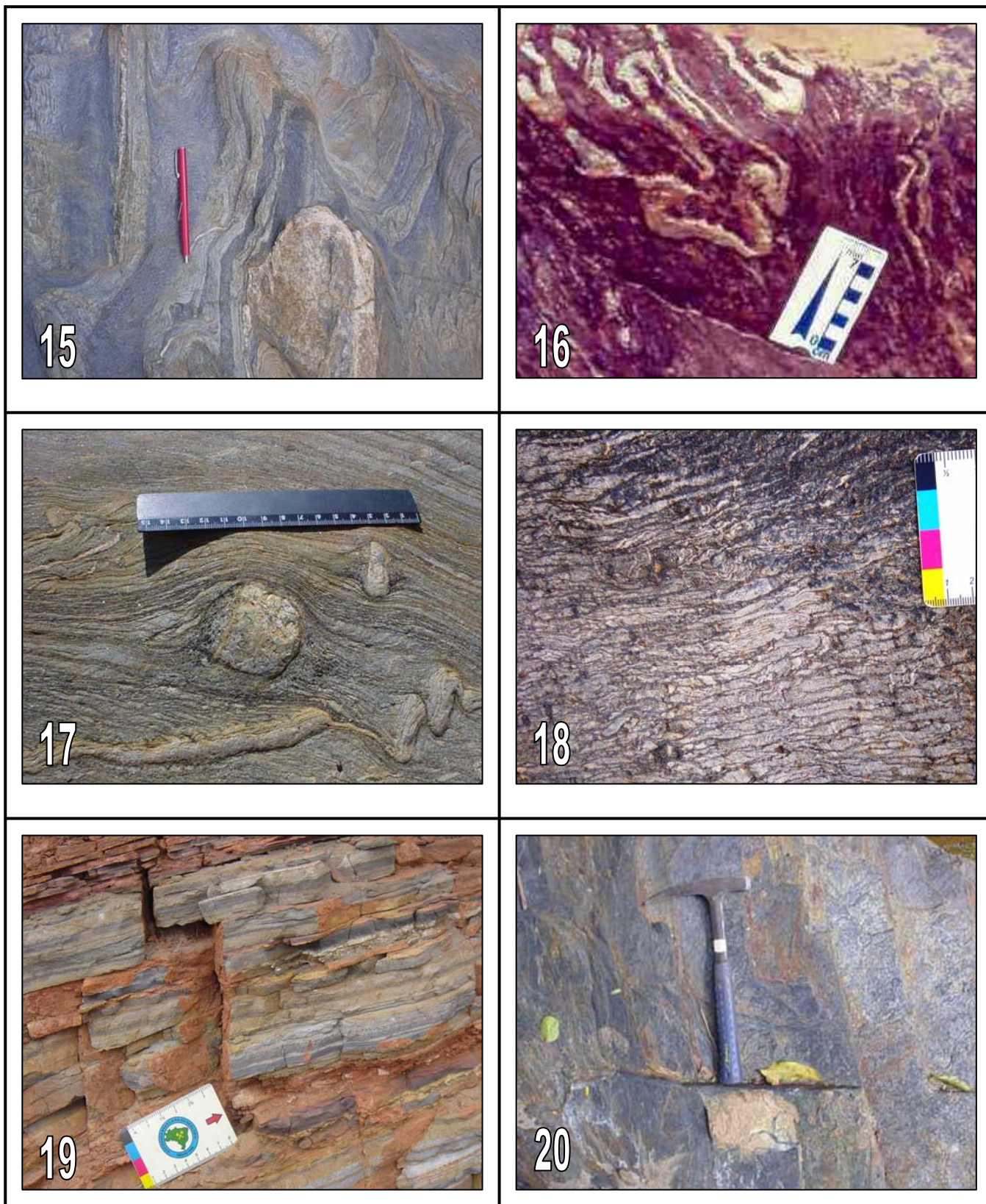


Fig.18- Diagrama de contorno de pólos (hemisfério inferior) e roseta indicando as duas direções preferenciais de fraturas.



Fotografia 15- Granada-biotita xisto com dobras assimétricas; Fotografia 16- Corte de dobra em bainha da formação ferrífera bandada do tipo silicato (metamórfico); Fotografia 17- Xisto com quartzo rotacionado, próximo ao contato das formações Ribeirão da Folha e Capelinha; Fotografia 18- Detalhe da transposição de Sn-1 por Sn. Notar que Sn-1 fica preservada em micrólitos; Fotografia 19- Formação ferrífera bandada da Formação Capelinha evidenciando o bandamento composicional paralelo à xistosidade principal; Fotografia 20- Xisto fraturado da Formação Ribeirão da Folha.

### V.3- ANÁLISE DO METAMORFISMO REGIONAL

A caracterização do metamorfismo regional foi estabelecida a partir da análise qualitativa e quantitativa de associações mineralógicas macro e microscópicas presentes nas amostras de quartzo-mica xisto e xisto peraluminoso. Neste contexto, foram caracterizadas as principais paragêneses contendo os seguintes minerais diagnósticos: biotita, muscovita, quartzo, granada, estauroлита, cianita e plagioclásio.

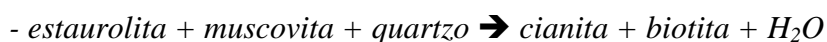
#### V.3.1- ANÁLISE QUALITATIVA

A análise qualitativa do metamorfismo regional baseou-se na individualização das paragêneses minerais, sin-cinemáticas à Sn-1 e à Sn, como listado abaixo :

- 1) *quartzo + muscovita fina (variedade sericita) ± biotita*, relacionada à foliação (Sn-1);
  - 2) *quartzo + biotita + granada ± muscovita ± opacos;*
  - 3) *quartzo + biotita + granada ± estauroлита ± muscovita ± opacos;*
  - 4) *quartzo + biotita + granada ± cianita ± muscovita ± opacos;*
  - 5) *quartzo + biotita + muscovita + granada + cianita + estauroлита ± plagioclásio ± opacos.*
- } Associadas à xistosidade principal (Sn)

A paragênese 1 indica que o metamorfismo associado à foliação Sn-1 é da fácies xisto verde baixo (*cf.* Yardley, 2004).

A progressão do metamorfismo regional levou à recristalização das paragêneses 2 a 5, que refletem conteúdos crescentes de alumínio nos xistos pelíticos. Este conjunto, mas particularmente as paragêneses 3, 4 e 5, indicam que a foliação Sn originou-se sob condições metamórficas da fácies anfíbolito, zona da cianita. Yardley (2004) afirma que a zona da cianita é caracterizada por associações variadas, incluindo: (i) granada + estauroлита + biotita (+ muscovita + quartzo), da zona da estauroлита e, (ii) associações que contenham cianita como: cianita + estauroлита + biotita ou cianita + biotita (+ muscovita + quartzo). A formação de cianita, segundo este autor, pode ser resultado da seguinte reação descontínua em pelitos com minerais relativamente ricos em Mg:



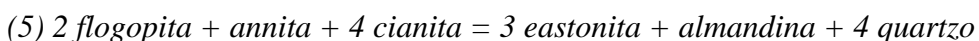
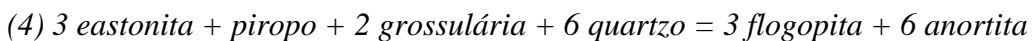
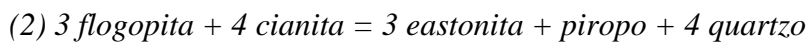
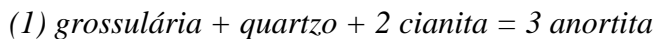


## V.3.2- ANÁLISE QUANTITATIVA

O objetivo deste item é apresentar dados de pressão (P) e temperatura (T) referentes às condições de metamorfismo que atingiram a seção sedimentar e, conseqüentemente, a unidade sulfetada da Formação Ribeirão da Folha. A quantificação de T foi realizada através de cálculos geotermométricos com base no geotermômetro granada-biotita (calibrações de Thompson, 1976; Ferry & Spear, 1978; Hodges & Spear, 1982; Perchuk & Lavrent'eva, 1983; Dasgupta *et al.*, 1991 e Bhattacharya *et al.*, 1992), sin-cinemático à xistosidade principal (Sn), e com o banco de dados termodinâmicos Thermocalc V 3.1, que utiliza um conjunto de reações independentes de alguns membros finais presentes em dois minerais (capacidade de minimizar o efeito da difusão). O valor da pressão foi obtido somente com o Thermocalc V 3.1.

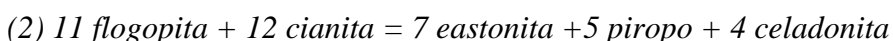
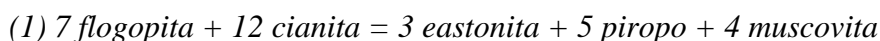
Três amostras representativas da área foram selecionadas para os cálculos: (i) duas amostras de estaurolita-cianita-granada-mica xisto com plagioclásio (T123A e T191Xa) e, (ii) uma amostra de cianita-estaurolita-granada-mica xisto sem feldspato (Q-14). Para a quantificação de P e T, foram escolhidas as microanálises centrais de cada mineral em paragênese.

A temperatura calculada para a amostra T123A, com o Thermocalc, foi  $534 \pm 11$  °C e a pressão foi  $4,9 \pm 0,10$  kbar. O conjunto de reações independentes selecionadas pelo software e utilizadas para o cálculo de T (reações 1 a 3) e P (reações 1, 4 e 5) está relacionado abaixo:



Para a amostra T191Xa, os valores de temperatura e pressão calculados com o Thermocalc são  $530 \pm 15$  °C e  $5,3 \pm 0,20$  kbar, respectivamente. As reações independentes utilizadas para o cálculo de T (reações 1 a 3) e P (reações 1, 4 e 5) são as mesmas descritas para a amostra anterior.

Não foi possível quantificar a pressão para a amostra Q-14, pois não há reações independentes suficientes para gerar o cálculo. Esta amostra registra a maior temperatura, com valor igual a  $602 \pm 10$  °C. O conjunto de reações independentes utilizadas no cálculo de T está descrito abaixo:



(3)  $3 \text{ flogopita} + 4 \text{ cianita} = 3 \text{ eastonita} + \text{piropo} + 4 \text{ quartzo}$

(4)  $\text{annita} + \text{quartzo} + 2 \text{ cianita} = \text{almandina} + \text{muscovita}$

Para todas as amostras analisadas, a temperatura registrada com o par granada-biotita (seis calibrações) é geralmente maior que a do Thermocalc, porém, como o erro do geotermômetro é da ordem de  $\pm 50^\circ\text{C}$ , pode-se considerar os valores calculados pelos dois métodos similares (Tabela 2).

Tabela 2- Temperatura calculada para os xistos pelíticos da seção sedimentar do ofiolito de Ribeirão da Folha.

	<i>Temperatura (°C)</i>		
	<i>T123A</i>	<i>T191Xa</i>	<i>Q-14</i>
<i>Thermocalc</i>	534 $\pm$ 11	530 $\pm$ 15	602 $\pm$ 10
<i>Thompson (1976)</i>	557	569	600
<i>Ferry &amp; Spear (1978)</i>	529	544	584
<i>Hodges &amp; Spear (1982)</i>	541	562	619
<i>Perchuk &amp; Lavrent'eva (1983)</i>	555	564	586
<i>Dasgupta et al. (1991)</i>	560	584	608
<i>Battacharya et al. (1992)</i>	537	550	586

Considerando os intervalos de temperatura (530-600 °C) e pressão (4,9-5,3 kbar) obtidos pelo método convencional (par granada-biotita) e com o banco de dados termodinâmicos do Thermocalc (Fig.19), conclui-se que a seção sedimentar do ofiolito de Ribeirão da Folha sofreu metamorfismo sob condições de fácies anfibolito intermediário, de média pressão e temperatura antes da 1ª isógrada da anatexia (não existe registro de fusão nestas rochas). Os resultados estão de acordo com as observações petrográficas realizadas nos xistos pelíticos.

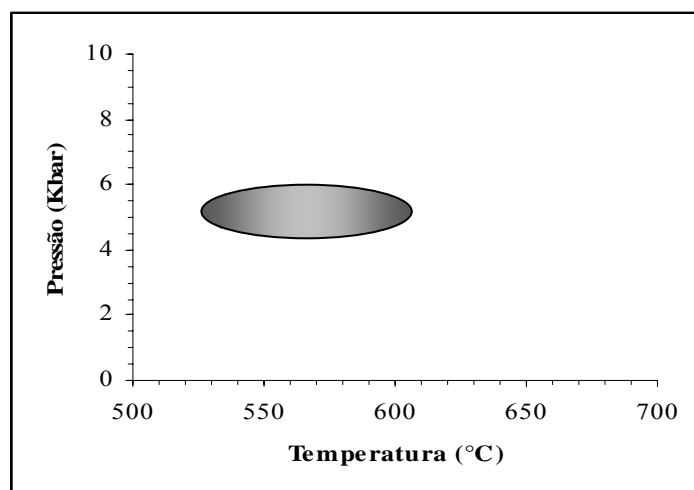


Fig. 19- Intervalo de pressão e temperatura do metamorfismo regional da seção sedimentar da Formação Ribeirão da Folha.