

CAPÍTULO V-MINERAGRAFIA E QUÍMICA MINERAL DA UNIDADE SULFETADA

V.1- MINERAGRAFIA

V.1.1- INTRODUÇÃO

Estudos microscópicos detalhados para a caracterização dos minerais opacos foram realizados sobre preparações polidas das variedades de metachert (tipos 2 a 4) e de diopsidito da Formação Ribeirão da Folha (unidade sulfetada).

Os principais minerais opacos caracterizados nestas rochas são sulfetos, incluindo pirrotita, pirita, calcopirita, esfalerita, covelita, marcassita e arsenopirita. No metachert cinza-escuro, impuro, grafita e ilmenita ocorrem como minerais acessórios.

Estudos anteriores sobre a mineralogia de opacos da unidade sulfetada encontram-se nos trabalhos de Freitas-Silva & Pereira (1987), Lagoeiro & Menegasse (1987) e Silva *et al.* (1987), cujo resumo é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3- Resumo das descrições minerográficas realizadas por Freitas-Silva & Pereira (1987), Lagoeiro e Menegasse (1987) e Silva *et al.* (1987), em rochas da unidade sulfetada da Formação Ribeirão da Folha. A terminologia foi atualizada onde necessário.

<i>Trabalho</i>	<i>Mineralogia de opacos</i>
Freitas-Silva & Pereira (1987) (Trabalho Geológico de Graduação-UFGM)	- Sulfeto predominante em metachert é pirita, com pirrotita subordinada, em cristais idióblásticos a hipidioblásticos, disseminados ou concentrados em lâminas paralelas ao bandamento.
Lagoeiro & Menegasse (1987) (Trabalho Geológico de Graduação-UFGM)	- Pirita, pirrotita e calcopirita são os sulfetos predominantes e esfalerita é subordinada. - Sulfetos e grafita de granulação fina estão orientados em relação à xistosidade principal (Sn) dos metacherts. - Sugerem duas gerações de sulfetos: uma singenética e outra epigenética.
Silva <i>et al.</i> (1987) (Trabalho Geológico de Graduação-UFGM)	- Sulfetos comuns são pirrotita e pirita, disseminados e estirados segundo a xistosidade principal (Sn), especialmente nos metacherts e xistos. - Sugerem diferentes etapas de precipitação e cristalização, evidenciadas pelo intercrescimento de pirita nas bordas da pirrotita ou em espaços intergranulares.

V.1.2- CALCOGRAFIA DAS ROCHAS SULFETADAS

Os sulfetos mais importantes dos metacherts e diopsiditos são, em ordem decrescente de abundância, pirrotita, pirita, pirita botrioidal, calcopirita, esfalerita, covelita, marcassita e arsenopirita (Fig.20).

Nas variedades de metachert, a principal geração de sulfetos encontra-se associada à xistosidade principal (Sn) e, portanto, é interpretada como produto da recristalização metamórfica regional em fácies anfíbolito médio (temperatura entre 530° e 600° C; pressão entre 4,9 e 5,3 kbar).

Nos diopsiditos, os sulfetos associam-se, principalmente, às porções ricas em diopsídio e anfíbólio (tremolita) e, subordinadamente, às porções ricas em quartzo, preenchendo os espaços intergranulares, ou como inclusões nos cristais de diopsídio.

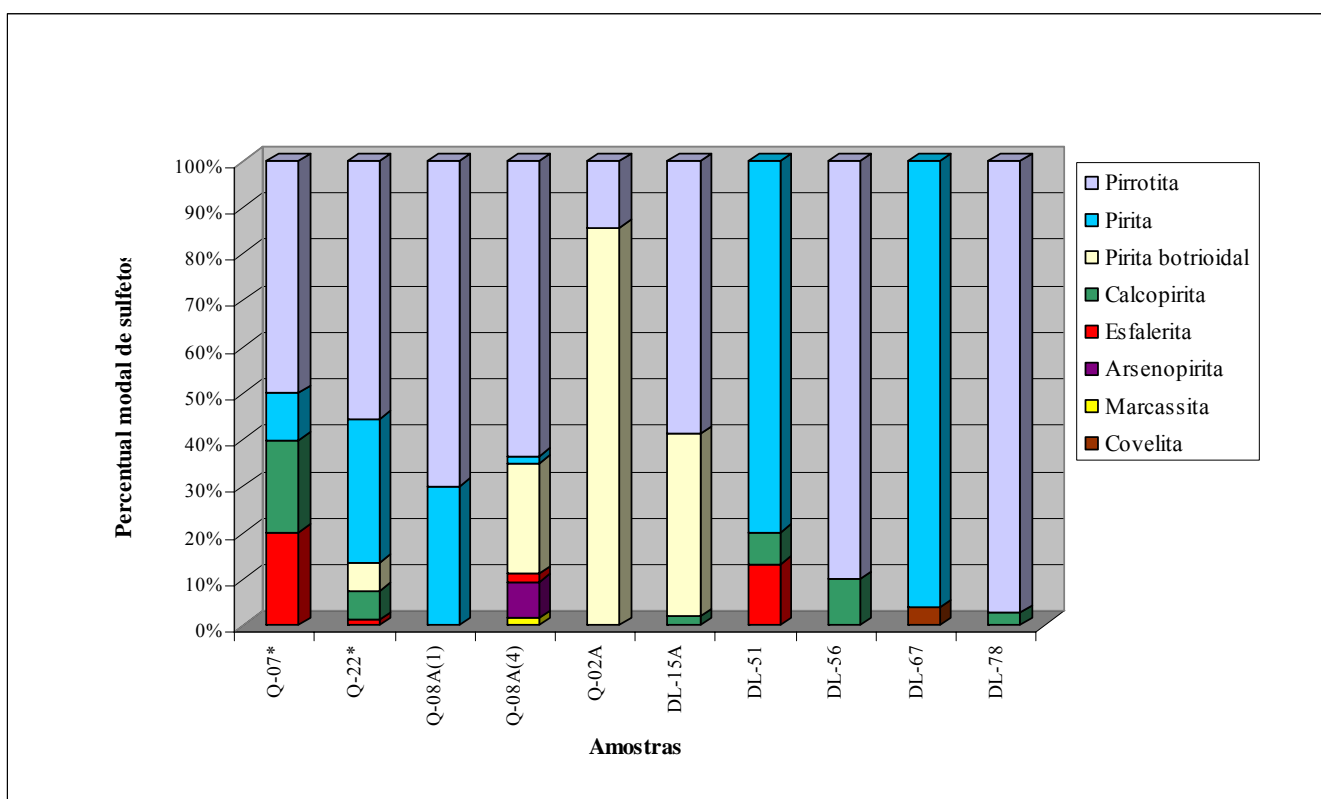


Fig.20 - Percentual modal de sulfetos nas amostras de metachert e diopsidito sulfetado (indicado pelo asterisco).

A descrição de cada sulfeto, sumarizada a seguir, é baseada nas seguintes características: (i) rocha que o contém; (ii) conteúdo modal estimado; (iii) morfologia e tamanho dos grãos; (iv) presença de inclusões e; (v) intercrescimentos. Uma síntese dos principais minerais opacos da unidade é apresentada na Tabela 4.

Pirrotita

A pirrotita (cuja composição simplificada é $Fe_{1-x}S$, com $0 \leq x \leq 0,2$) é o principal componente em muitos depósitos minerais, como por exemplo, depósitos do tipo sulfeto maciço vulcanogênico. As principais características microscópicas são a ausência de clivagem, a anisotropia à luz refletida e a cor rosada a marron-amarelada (Craig & Vaughan, 1990; Deer *et al.*, 1992). Cristaliza-se segundo dois sistemas principais, monoclinico e hexagonal, dependendo, principalmente, da temperatura e porcentagem atômica em ferro. A pirrotita hexagonal é estável a temperaturas inferiores a $1190^{\circ}C$ e possui composição variável entre FeS e $Fe_{1-x}S$. A pirrotita monoclinica, estável abaixo de $254^{\circ}C$, se diferencia da hexagonal por sua estrutura cristalina, composição mais rica em enxofre e por suas propriedades ferrimagnéticas (Figueiredo, 2000). Na unidade sulfetada da Formação Ribeirão da Folha, a pirrotita predomina sobre o restante dos minerais opacos.

Nas variedades de metachert (tipos 2 a 4), a pirrotita atinge 10% em conteúdo modal. Os cristais têm forma predominantemente hipidioblástica, granulação entre 0,05 e 2,0 mm e inclusões de calcopirita (Fotomicrografia 13) e pirita (Fotomicrografia 14). A pirrotita encontra-se intercrescida, principalmente, com pirita (Fotomicrografia 15), calcopirita e ilmenita. Os minerais transparentes que ocorrem associados, muitas vezes como inclusões, são anfibólio, titanita, carbonato, granada, biotita e quartzo. As inclusões de quartzo e biotita são as mais comuns e apresentam granulação predominantemente fina e formas anédrica e euédrica, respectivamente.

Nos diopsiditos sulfetados, a pirrotita tem conteúdo modal entre 5 e 10%. Os cristais possuem forma essencialmente hipidioblástica e granulação variando entre 0,3 e 5,0 mm. Apresenta-se intercrescida com pirita e calcopirita (Fotomicrografia 16) e, às vezes, associa-se à esfalerita. Diopsídio, anfibólio e titanita são os minerais transparentes associados.

Feições relativamente comuns da pirrotita em ambas as rochas é a presença de microfraturas preenchidas por óxidos de alteração intempérica. A textura de substituição “olho de pássaro”, na qual diminutos cristais de pirita e/ou marcassita substituem a pirrotita (Edwards, 1954; Craig, 1990), ocorre generalizadamente neste sulfeto (*e.g.* Fotomicrografias 13, 14, 15, 16).

Pirita

Pirita (fórmula ideal FeS_2) é o mais abundante de todos os sulfetos, ocorrendo como a principal fase em muitos depósitos minerais e como mineral acessório em outros. As principais características ópticas são a fraca clivagem (001), a isotropia à luz refletida (sistema cúbico de cristalização) e a coloração amarelada (Craig & Vaughan, 1990; Deer *et al.*, 1992).

A pirita é o segundo sulfeto mais comum nos metacherts e diopsiditos da unidade sulfetada da Formação Ribeirão da Folha, na área focalizada. Nas variedades de metachert, os cristais

apresentam forma predominantemente hipidioblástica (Fotomicrografia 17), conteúdo modal entre 3 e 10%, granulação variável entre 0,1 e 1,6 mm e intercrescimentos com pirrotita.

Nos diopsiditos sulfetados, 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. Em determinadas porções, a pirita associa-se à esfalerita.

Tanto nos metacherts quanto nos diopsiditos ocorrem zonas com marcante crescimento de pirita botrioidal, provavelmente como produto de alteração da pirrotita (Fotomicrografias 18 e 19). A pirita botrioidal dos metacherts ocorre disseminada e, geralmente orientada segundo a xistosidade principal (Sn). Localmente associa-se às vênulas de quartzo.

Calcopirita

A calcopirita (fórmula ideal CuFeS_2) é a maior fonte de cobre na maioria dos depósitos minerais. Sua estrutura deriva da estrutura da esfalerita, havendo possível substituição do zinco pelo ferro e cobre (Craig & Vaughan, 1990). As principais propriedades microscópicas são a anisotropia à luz refletida (sistema tetragonal de cristalização), clivagens (011) e (111) indistintas e coloração amarelo ouro (Deer *et al.*, 1992).

Tanto nos metacherts quanto nos diopsiditos, a calcopirita não ultrapassa 2% de conteúdo modal. No metachert, os cristais apresentam forma xenoblástica, granulação entre 0,1 e 0,2 mm e ocorrem, principalmente, como inclusões ou intercrescidas em pirita e/ou pirrotita. No diopsidito, a calcopirita ocorre sob a forma hipidioblástica, com granulação variável entre 0,1 e 1,3 mm e intercrescida com pirrotita e/ou pirita (Fotomicrografia 20).

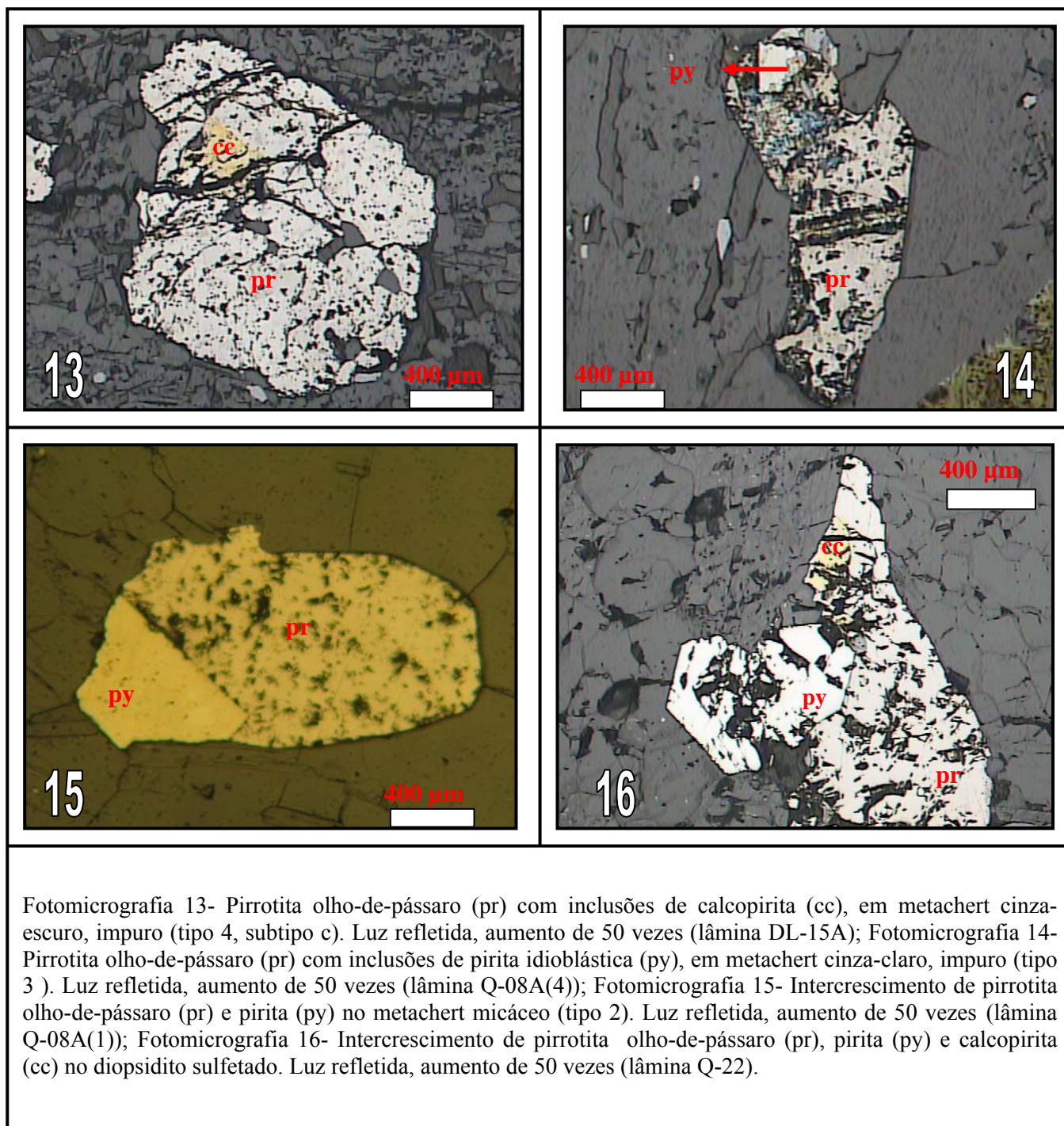
Esfalerita

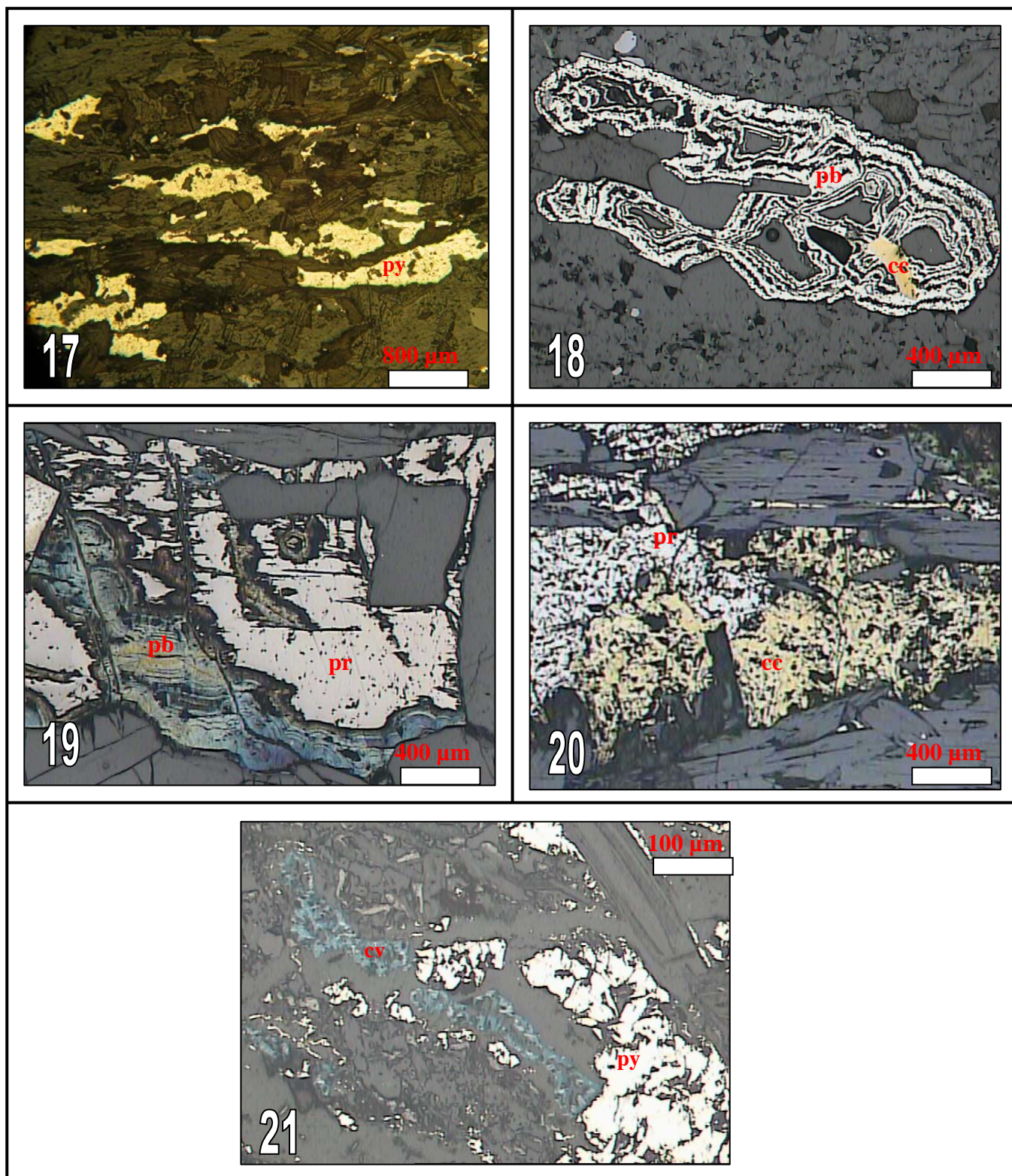
A esfalerita (fórmula ideal ZnS) cristaliza-se no sistema cúbico e apresenta um polimorfo hexagonal, a wurtzita. As principais propriedades ópticas são a clivagem (011) perfeita, a isotropia à luz refletida e a cor marron (Deer *et al.*, 1992).

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 e pirrotita nos diopsiditos. Nos metacherts, está presente em quantidades ínfimas.

Marcassita (FeS_2), covelita (CuS) e arsenopirita (FeAsS) 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 (Fotomicrografia 21). Marcassita e arsenopirita encontram-se associadas à pirita botrioidal.

Outros dois minerais opacos, grafita e ilmenita, também estão presentes no metachert cinza-escuro, impuro (tipo 4). A ilmenita é hipidioblástica, perfaz aproximadamente 3% do volume da rocha e encontra-se associada, principalmente, com calcopirita e pirrotita. A grafita ocorre disseminada por toda a rocha e tem conteúdo modal em torno de 5%.





Fotomicrografia 17- Orientação dos cristais hipidioblásticos de pirita (py) na xistosidade principal (Sn) do metachert cinza-escuro, impuro (tipo 4). Luz refletida, aumento de 25 vezes (lâmina DL-51); Fotomicrografia 18- Pirita botrioidal (pb) com restos de calcopirita (cc) em amostra de metachert cinza-escuro, impuro (tipo 4). Luz refletida, aumento de 50 vezes (lâmina DL-15A); Fotomicrografia 19- Crescimento de pirita botrioidal (pb) a partir da alteração de pirrotita olho-de-pássaro (pr) em amostra de metachert cinza-claro, impuro (tipo 3). Luz refletida, aumento de 50 vezes (lâmina Q-08A(4)); Fotomicrografia 20- Intercrescimento de calcopirita (cc) e pirrotita olho-de-pássaro (pr) no diopsidito sulfetado do médio Ribeirão da Folha. Luz refletida, aumento de 50 vezes (lâmina Q-07); Fotomicrografia 21- Cristais de covelita (cv) associados à pirita (py) em amostra de metachert cinza-escuro, impuro (tipo 4). Luz refletida, aumento de 200 vezes (lâmina DL-67).

TABELA 4- CARACTERIZAÇÃO DE OPACOS!!!!

V.2- QUÍMICA MINERAL DE SULFETOS

O estudo de química dos minerais opacos realizado nesta dissertação foi baseado em análises qualitativas, por *EDS*, e quantitativas, por *WDS*, em microsonda eletrônica, conforme descrito no item I.5. Os principais sulfetos analisados, em amostras de metacherts e diopsiditos, foram pirrotita, pirita, pirita botrioidal, calcopirita e covelita. Os elementos quantificados nestes sulfetos foram S, Fe, Co, Ni, Cu, Zn e As, segundo perfis de análise que incluem, em média, seis pontos, distribuídos ao longo do cristal (Fig.21), com a finalidade de caracterizar o núcleo e as bordas dos cristais. Algumas inclusões, tais como fosfato e pentlandita cobaltífera, foram reconhecidas. Diminutos cristais cromíferos, incluso em pirrotita ou associados à borda deste sulfeto, também foram identificados em uma amostra de diopsidito sulfetado do médio Ribeirão da Folha. (Fig. 21).

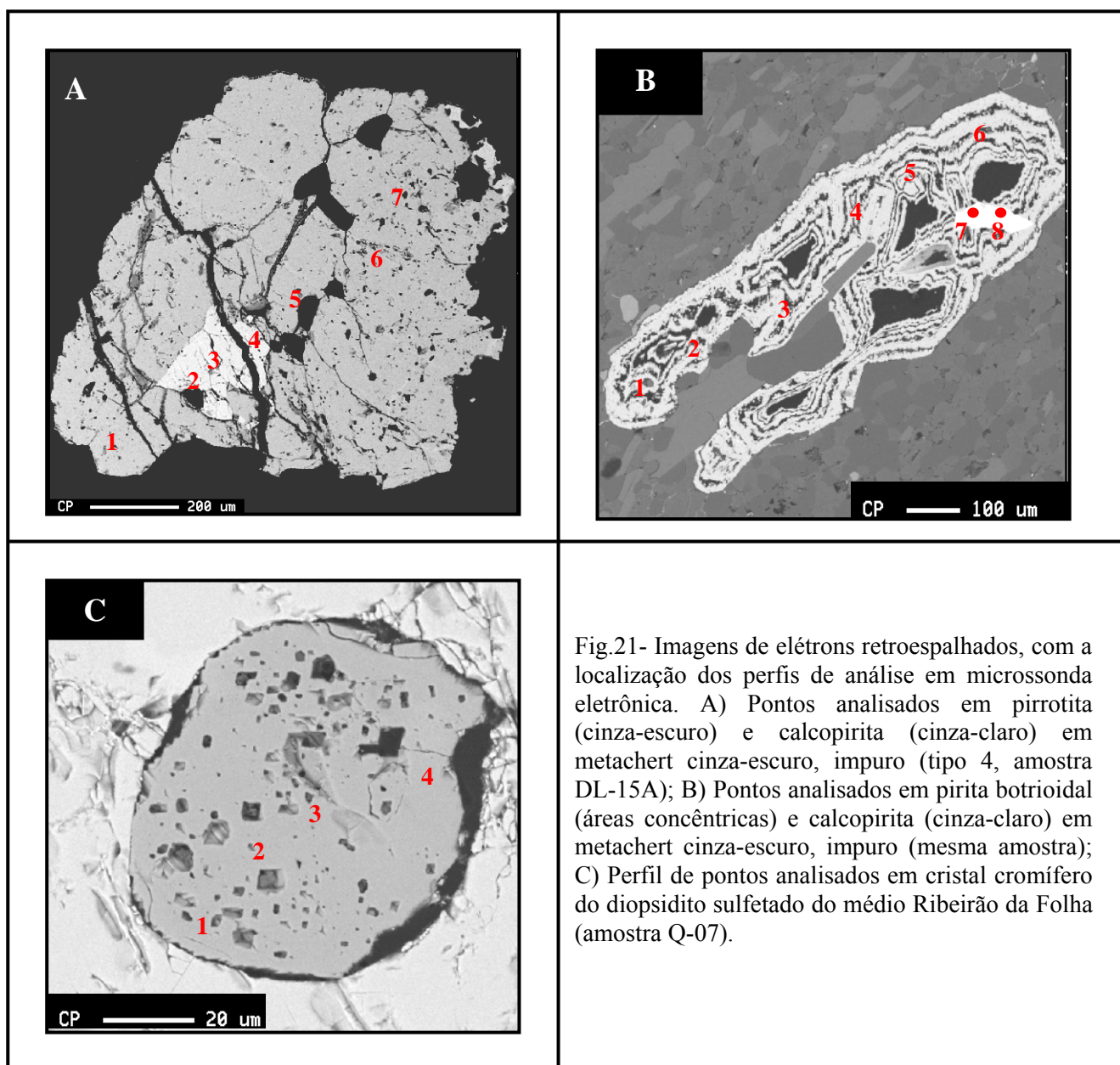


Fig.21- Imagens de elétrons retroespalhados, com a localização dos perfis de análise em microsonda eletrônica. A) Pontos analisados em pirrotita (cinza-escuro) e calcopirita (cinza-claro) em metachert cinza-escuro, impuro (tipo 4, amostra DL-15A); B) Pontos analisados em pirita botrioidal (áreas concêntricas) e calcopirita (cinza-claro) em metachert cinza-escuro, impuro (mesma amostra); C) Perfil de pontos analisados em cristal cromífero do diopsidito sulfetado do médio Ribeirão da Folha (amostra Q-07).

Pirrotita

Os cristais de pirrotita analisados, tanto nas variedades de metachert (tipos 2 a 4) quanto nos diopsiditos sulfetados, apresentam textura olho-de-pássaro (Edwards, 1954; Craig, 1990). Os perfis de análise estão ilustrados na Fig. 21 e os dados analíticos listados nas Tabelas 5 e 6.

A distribuição dos elementos maiores em todas as amostras da unidade sulfetada não apresenta diferenças significativas. O teor de ferro total está compreendido no intervalo entre 58,83% e 62,06%, e o conteúdo de enxofre entre 38,07% e 40,35%.

Dentre os elementos traços, o níquel é o que mais se destaca, especialmente na amostra de diopsidito sulfetado do médio Ribeirão da Folha (amostra Q-07). Nesta rocha, todos os cristais analisados apresentam teores significativos deste elemento siderófilo, variando entre 0,48% e 0,59%, muito superiores aos valores encontrados nas variedades de metachert (0,05% a 0,21%) (Fig. 22). Segundo Deer *et al.* (1992), pequenas quantidades de Ni podem estar presentes nos cristais de pirrotita, principalmente em relações de substituição com o Fe.

As principais inclusões presentes nos grãos de pirrotita, identificadas qualitativamente por EDS, são:

- Fosfato de forma anédrica, incluso em pirrotita do metachert cinza-escuro, impuro (tipo 4) (Fig.23);

- Pentlandita cobaltífera, com hábito do tipo “em chama (flame)”, presente na amostra de diopsidito sulfetado do médio Ribeirão da Folha (amostra Q-07). Duas famílias deste tipo de inclusão foram analisadas quantitativamente por WDS e evidenciam altos teores em Fe (27,33% a 29,43%), S (34,00% a 34,37%), Ni (26,63% a 29,56%) e Co (10,49% a 10,90%). Os demais elementos analisados (Zn, Cu e As) apresentam valores baixíssimos e mostram distribuição constante ao longo das duas inclusões. A Fig. 24 evidencia as variações dos elementos Fe, S, Ni e Co em toda a extensão da pentlandita cobaltífera;

- Cristais cromíferos de forma anédrica, inclusos ou associados à borda da pirrotita, presentes na amostra de diopsidito sulfetado do médio Ribeirão da Folha (amostra Q-07). Três cristais foram analisados quantitativamente por WDS e apresentam teores de Cr_2O_3 entre 52,9% e 57,5%, FeO entre 28,5% e 32,5% e Al_2O_3 entre 8,5% e 11,5%. Os demais elementos analisados (Ti, Mn, Mg e Zn) possuem médios a baixos conteúdos e distribuição constante ao longo dos cristais. A Fig.25 mostra as variações dos elementos Cr, Al, Mg, Fe e Mn em um cristal cromífero.

TABELA 5- RESULTADOS !!!!!

TABELA 6- RESULTADOS !!!!!

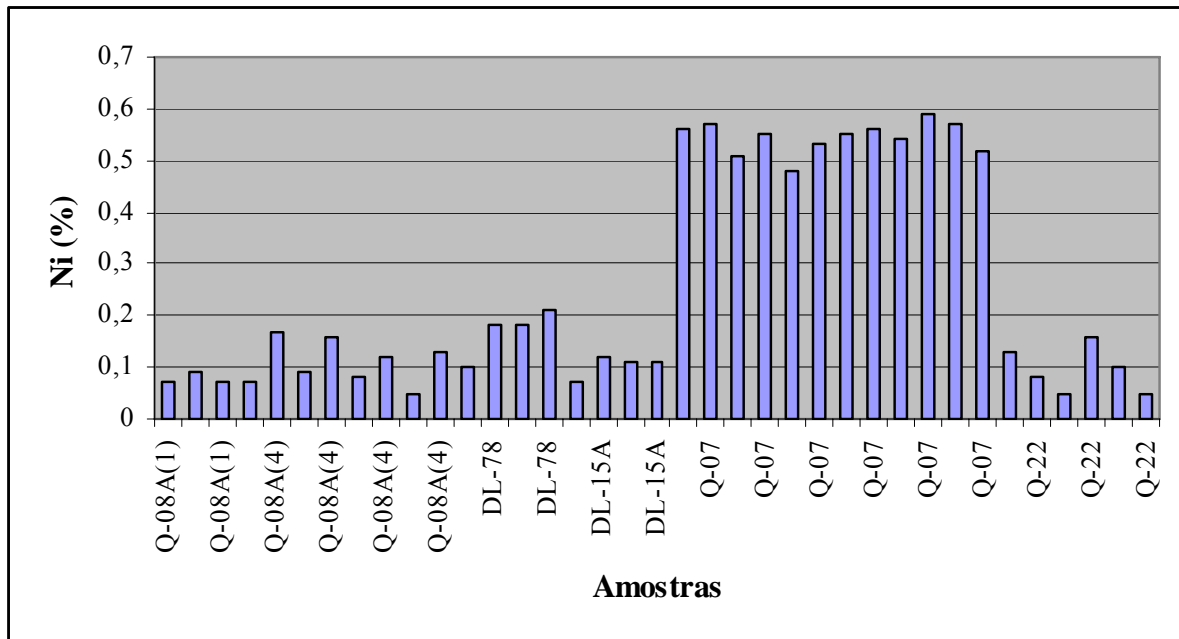


Fig.22- Distribuição dos teores de Ni (%) nos cristais de pirrotita das variedades micácea (tipo 2; amostra Q-08A(1)), cinza-clara, impura (tipo 3; amostra Q-08A(4)) e cinza-escura, impura (tipo 4, amostras DL-78 e DL-15A) de metachert e diopsiditos sulfetados (amostras Q-07 e Q-22).

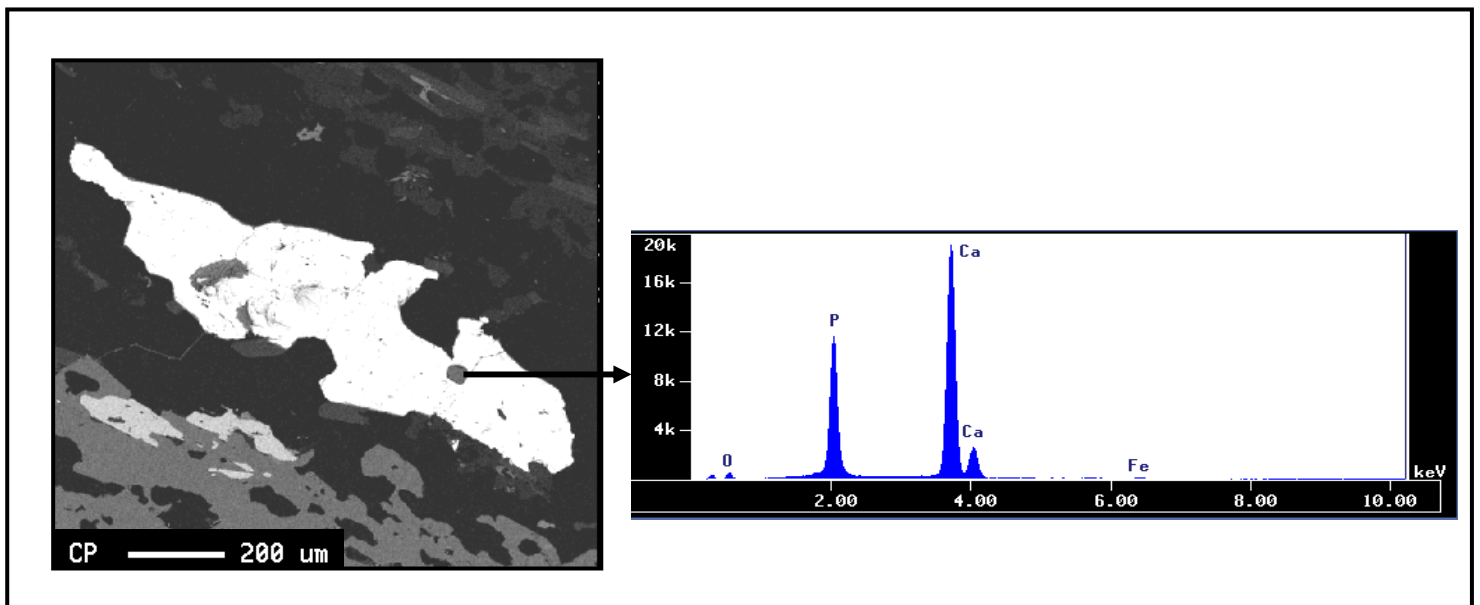


Fig.23 - Imagem de elétrons retroespalhados em pirrotita do metachert cinza-escuro, impuro (tipo 4; amostra DL-78), evidenciando a inclusão de fosfato identificada qualitativamente por EDS.

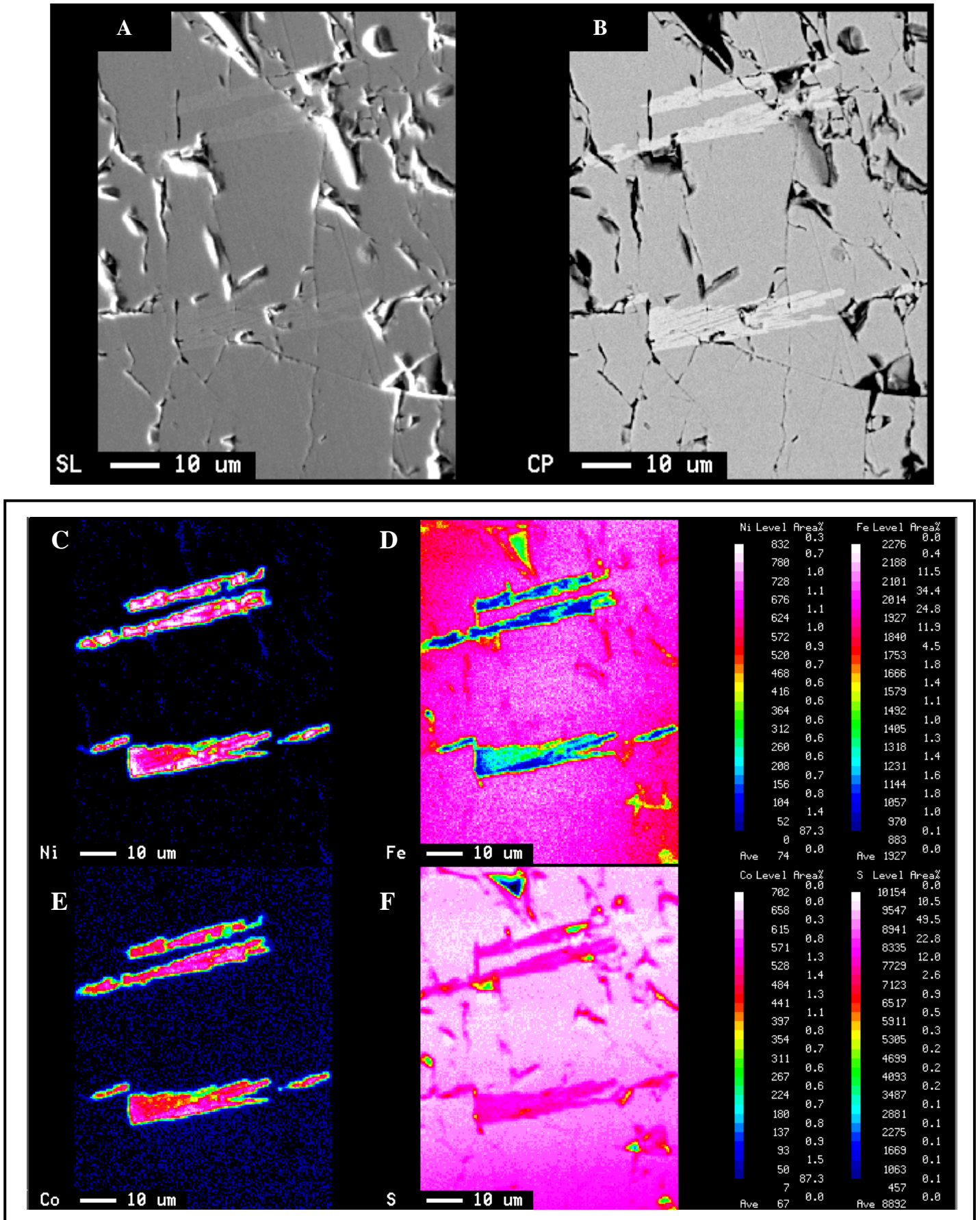


Fig.24- Variações dos elementos Ni, Fe, Co e S em mapas de distribuição qualitativa de raios-x obtidos em cristais de pentlandita cobaltífera inclusos na pirrotita do diopsidito sulfetado do médio Ribeirão da Folha (amostra Q-07). A) Imagem de elétrons secundários; B) Imagem de elétrons retroespalhados; C,D,E,F) Mapas químicos.

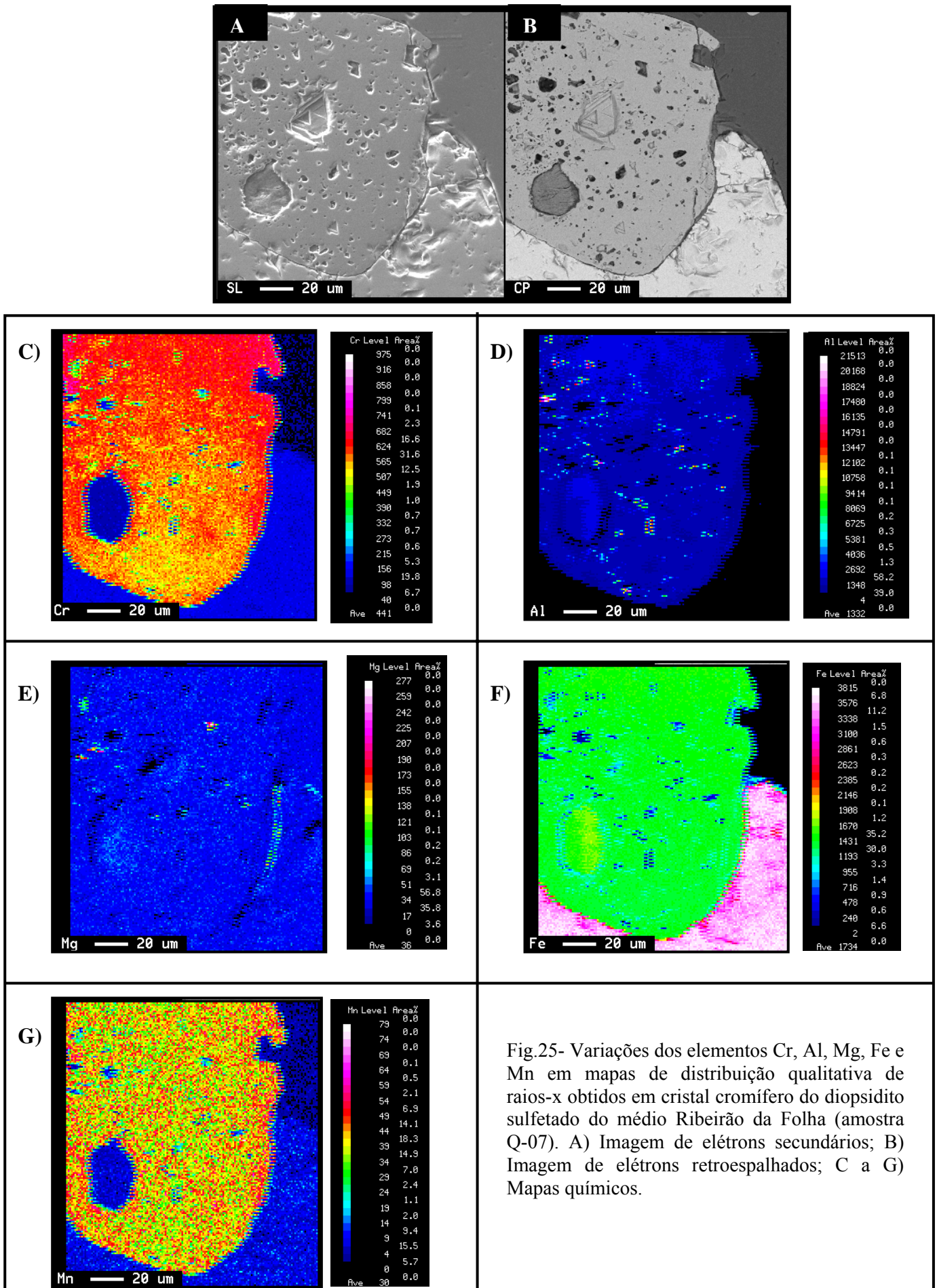


Fig.25- Variações dos elementos Cr, Al, Mg, Fe e Mn em mapas de distribuição qualitativa de raios-x obtidos em cristal cromífero do diopsidito sulfetado do médio Ribeirão da Folha (amostra Q-07). A) Imagem de elétrons secundários; B) Imagem de elétrons retroespalhados; C a G) Mapas químicos.

Pirita

Os cristais de pirita analisados, associados à pirrotita nas variedades de metachert e à pirrotita e esfalerita nos diopsiditos sulfetados, apresentam forma predominantemente hipidioblástica (Tabela 7).

Tabela 7- Resultados de análise química mineral em cristais de pirita presentes nas variedades de metachert e diopsiditos sulfetados (MM= metachert micáceo (tipo 2); MI= metachert cinza-claro, impuro (tipo 3); MC= metachert cinza-escuro, impuro (tipo 4); DS= diopsidito sulfetado).

Amostra	Q-08A(1)	Q-08A(1)	Q-08A(1)	Q-08A(4)	Q-08A(4)	Q-08A(4)	Q-08A(4)
Cristal	1	1	1	1	1	2	3
Posição	Borda	Núcleo	Borda	Borda	Borda	Interm.	Interm.
Litotipo	MM	MM	MM	MI	MI	MI	MI
Fe	47,04	47,57	47,20	47,47	47,87	47,32	46,03
S	53,49	52,93	52,78	55,30	55,23	53,97	53,57
Zn	0,00	0,05	0,00	0,02	0,03	0,00	0,00
Cu	0,00	0,01	0,00	0,08	0,02	0,04	0,06
Ni	0,00	0,00	0,01	0,06	0,05	0,00	0,07
Co	0,29	0,08	0,10	0,01	0,03	0,32	0,59
As	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,03
Total	100,82	100,64	100,11	102,93	103,22	101,65	100,35

Amostra	Q-08A(4)	DL-67	Q-22	Q-22	Q-22	Q-22
Cristal	3	1	1	1	1	1
Posição	Borda	Borda	Borda	Interm.	Centro	Borda
Litotipo	MI	MC	DS	DS	DS	DS
Fe	46,90	45,65	45,92	46,45	46,76	47,40
S	54,10	53,38	53,74	53,16	53,39	53,53
Zn	0,03	0,02	0,04	0,01	0,02	0,00
Cu	0,08	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05
Ni	0,07	0,18	0,05	0,03	0,04	0,04
Co	0,09	0,05	0,63	0,05	0,71	0,08
As	0,00	0,00	0,01	0,04	0,00	0,03
Total	101,27	99,27	100,43	99,74	100,92	101,14

Os resultados obtidos, tanto para os elementos maiores quanto para a maioria dos elementos menores, não apresentam variações significativas. O elemento traço que mais se destaca é o siderófilo Co, com teores variando entre 0,00 e 0,59% nas variedades de metachert e 0,05% e 0,71% no diopsidito sulfetado, onde ocorre um enriquecimento deste elemento (Fig.26).

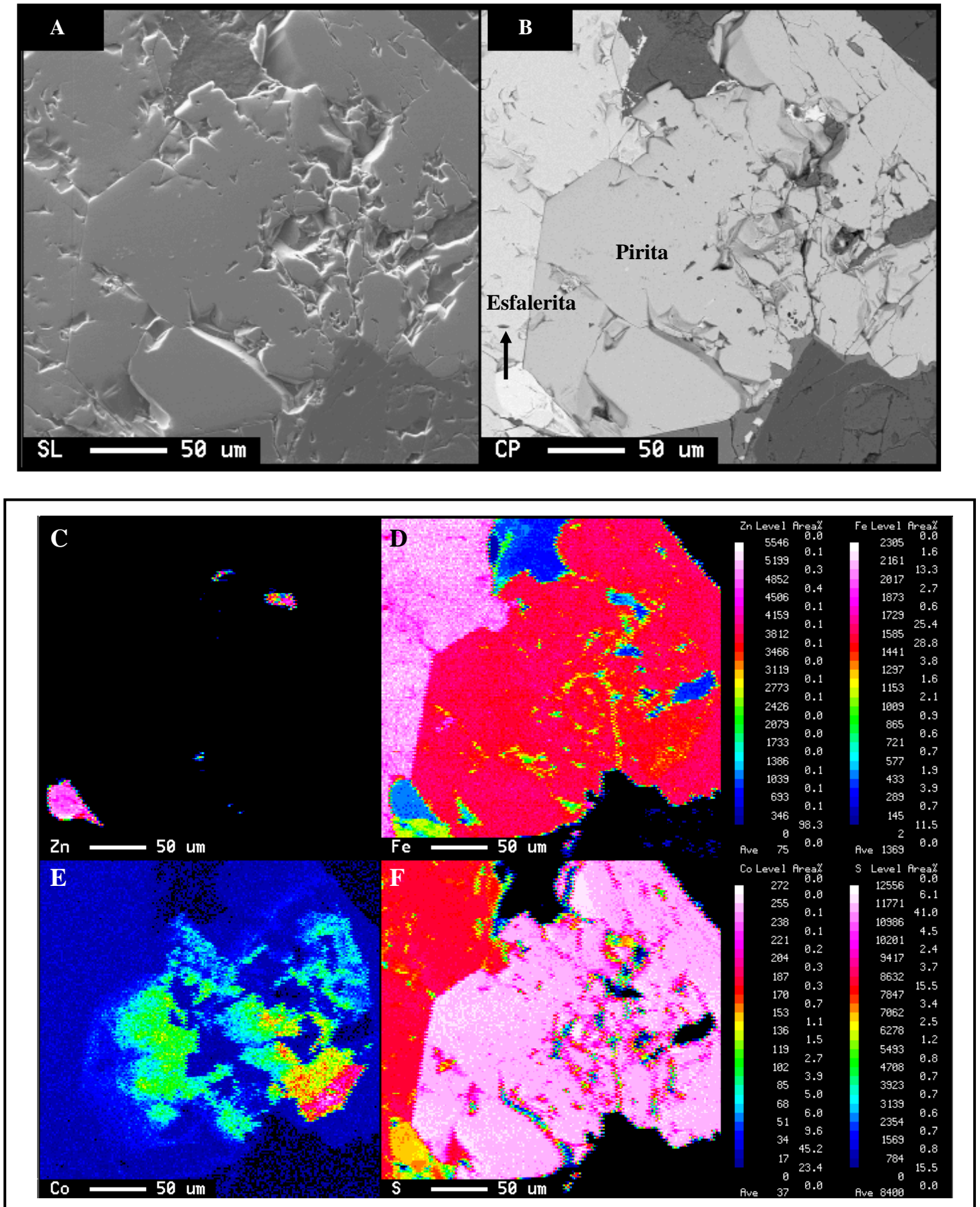


Fig.26- Variações dos elementos Zn, Fe, Co e S em mapas de distribuição qualitativa de raios-x obtidos em cristal de pirita associado à esfalerita no diopsidito sulfetado (alto Ribeirão da Folha, amostra Q-22). A) Imagem de elétrons secundários; B) Imagem de elétrons retroespalhados; C,D,E,F) Mapas químicos.

Pirita botrioidal

Os grãos de pirita botrioidal analisados, tanto nos metacherts quanto nos diopsiditos sulfetados, estão estreitamente associados aos cristais de pirrotita, como produtos de alteração deste sulfeto (Fig.27) (Tabela 8).

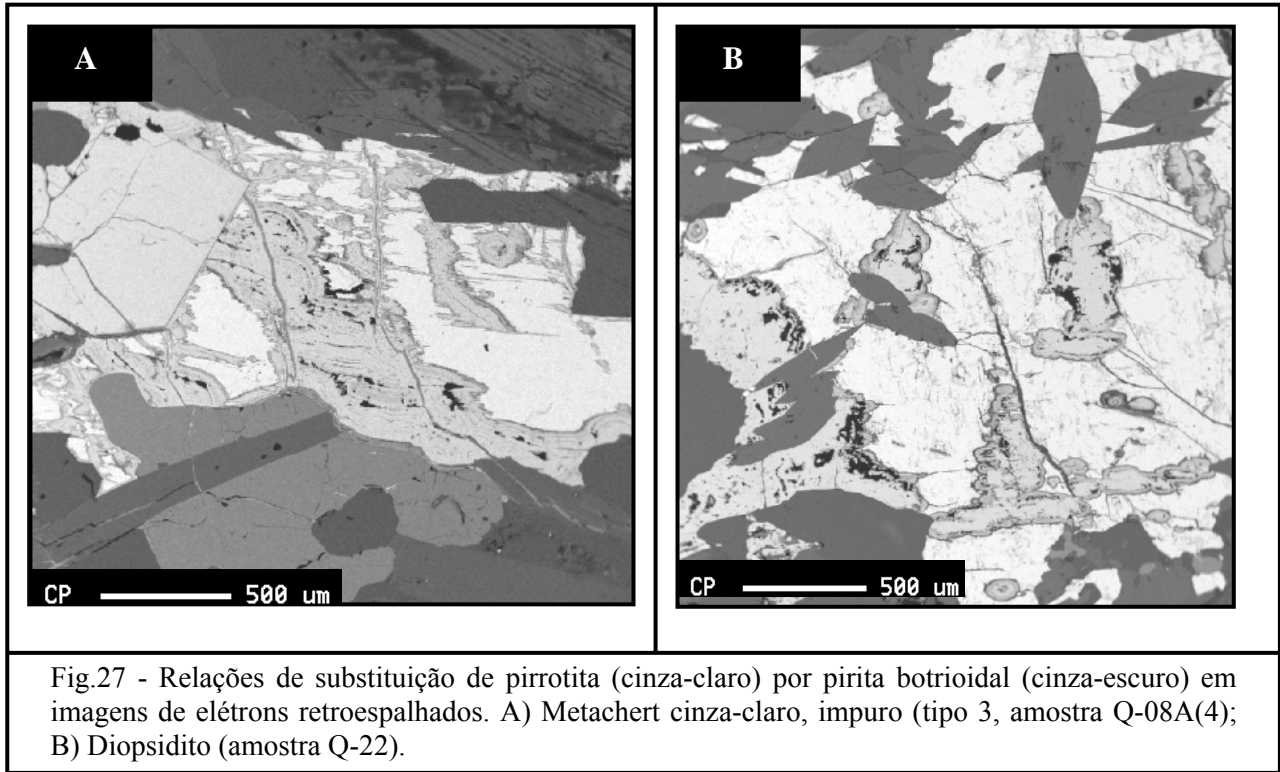


Tabela 8- Resultados de análise química mineral em cristais de pirita botrioidal presentes nas variedades de metachert e diopsiditos sulfetados (MI= metachert cinza-claro, impuro (tipo 3); MC= metachert cinza-escuro, impuro (tipo 4); DS= diopsidito sulfetado).

Amostra	Q-08A(4)	Q-08A(4)	Q-08A(4)	DL-15A	DL-15A	DL-15A	DL-15A
Cristal	1	1	1	1	1	1	1
Posição	Borda	Centro	Borda	Borda	Interm.	Interm.	Centro
Litotipo	MI	MI	MI	MC	MC	MC	MC
Fe	44,27	45,07	45,64	45,77	46,34	46,48	46,00
S	49,43	50,68	51,63	52,63	52,79	53,32	53,12
Zn	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00
Cu	0,01	0,05	0,01	0,04	0,05	0,05	0,04
Ni	0,11	0,11	0,10	0,17	0,23	0,15	0,19
Co	0,06	0,04	0,06	0,12	0,09	0,12	0,12
As	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	93,87	95,94	97,43	98,75	99,52	100,11	99,47

Tabela 8- Continuação.

Amostra	DL-15A	DL-15A	Q-22	Q-22	Q-22	Q-22	Q-22
Cristal	1	1	1	1	1	2	2
Posição	Interm.	Centro	Centro	Centro	Centro	Centro	Centro
Litotipo	MC	MC	DS	DS	DS	DS	DS
Fe	46,58	43,31	47,09	47,16	47,07	46,68	45,62
S	53,38	50,31	52,72	53,35	53,10	53,48	51,65
Zn	0,02	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01
Cu	0,03	0,08	0,02	0,05	0,00	0,07	0,06
Ni	0,17	0,13	0,05	0,12	0,16	0,16	0,15
Co	0,18	0,11	0,08	0,01	0,07	0,03	0,04
As	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Total	100,37	93,95	99,95	100,71	100,42	100,43	97,53

A distribuição dos elementos maiores em todas as amostras é homogênea. Na pirita botrioidal ocorre notável enriquecimento em enxofre (49,43% a 53,48%) e empobrecimento em Fe (43,31% a 47,16%), em relação aos cristais de pirrotita (médias de S = 40,50% e Fe = 60,34%).

Os elementos menores também não apresentam grandes variações de concentração e distribuição ao longo dos grãos. Os elementos que mais se destacam são os siderófilos Ni e Co, com conteúdos compreendidos entre 0,05% e 0,23% e 0,01 e 0,18%, respectivamente. Não há diferenças marcantes entre os teores de elementos traços obtidos para pirita botrioidal e pirrotita.

Calcopirita

Todos os cristais de calcopirita caracterizados por microsonda, em ambas as rochas, estão na forma de inclusões em pirrotita (Tabela 9).

Tabela 9- Resultados de análise química mineral em cristais de calcopirita presentes nas variedades de metachert e diopsiditos sulfetados (MI= metachert cinza-claro, impuro (tipo 3); MC= metachert cinza-escuro, impuro (tipo 4); DS= diopsidito sulfetado).

Amostra	Q-08A(4)	DL-78	DL-15A	DL-15A	DL-15A	DL-15A	DL-15A
Cristal	1	1	1	1	1	2	2
Posição	Centro	Centro	Borda	Centro	Borda	Borda	Borda
Litotipo	MI	MC	MC	MC	MC	MC	MC
Fe	30,05	30,18	30,91	30,73	30,41	30,52	30,71
S	35,03	34,45	35,12	35,13	34,59	35,31	35,28
Zn	0,04	0,05	0,09	0,12	0,12	0,03	0,11
Cu	33,72	33,80	33,89	33,73	32,73	33,75	34,17
Ni	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01
Co	0,04	0,00	0,03	0,04	0,05	0,05	0,03
As	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01
Total	98,88	98,48	100,03	99,78	97,91	99,66	100,33

Amostra	Q-07	Q-07	Q-07	Q-07	Q-07	Q-22
Cristal	1	1	2	2	3	1
Posição	Centro	Centro	Centro	Centro	Centro	Centro
Litotipo	DS	DS	DS	DS	DS	DS
Fe	29,81	29,40	30,26	29,93	30,20	30,24
S	35,40	35,24	34,97	34,94	35,72	35,01
Zn	0,03	0,11	0,04	0,08	0,12	0,04
Cu	32,30	32,75	32,95	32,01	32,66	34,22
Ni	0,01	0,00	0,01	0,02	0,05	0,00
Co	0,03	0,03	0,04	0,05	0,04	0,00
As	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	97,59	97,55	98,26	97,02	98,78	99,51

Os elementos maiores (S, Fe e Cu) apresentam teores e distribuição constantes ao longo dos cristais, não havendo diferenças significativas entre borda e núcleo. Os elementos menores Ni, Co e As possuem valores próximo à zero, acima do limite de detecção da microsonda. O Zn é o elemento traço que mais se destaca, com conteúdos compreendidos entre 0,03% e 0,12%, superiores aos valores encontrados em todos os cristais de pirrotita e pirita analisados. De acordo com Deer *et al.* (1992), pequenas quantidades de Zn podem substituir Cu ou Fe nos grãos de calcopirita.

Covelita

Dentre os sulfetos analisados, a covelita é o que ocorre em menor quantidade e em apenas uma amostra de metachert cinza-escuro, impuro (tipo 4) (Tabela 10).

Tabela 10- Resultados de análise química mineral em cristal de covelita presente em uma amostra de metachert cinza-escuro, impuro (tipo 4).

Amostra	DL-67	DL-67	DL-67
Grão	1	1	1
Posição	Borda	Centro	Borda
Fe	0,36	0,83	0,94
S	33,86	34,19	33,95
Zn	0,04	0,06	0,05
Cu	64,96	66,53	63,61
Ni	0,04	0,00	0,00
Co	0,00	0,00	0,00
As	0,00	0,00	0,00
Total	99,26	101,61	98,56

Os dados apresentados evidenciam que a concentração dos elementos maiores não apresenta grandes variações ao longo do cristal. Apenas no centro da covelita há um pequeno enriquecimento em enxofre e cobre, com teores iguais a 34,19% e 66,53%, respectivamente. Os elementos menores Co e As apresentam valores iguais à zero, podendo estar abaixo do limite de detecção do método utilizado. O elemento siderófilo Ni possui somente uma análise pontual significativa, com teor igual a 0,04%. O conteúdo de ferro está englobado entre

0,36% e 0,94% e não apresenta um padrão de distribuição nas bordas e núcleo do grão. Os teores de Zn apresentam valores entre 0,04% e 0,06%.