

## Introdução

Ourlândia do Norte está localizada na província mineral dos Carajás (PMC), no Cráton Amazônico, inserida sobre o Supergropto Itacaiúnas, (Figura 1), no sudeste do Pará, compreendendo rochas metavulcano-sedimentares associado com zonas de cisalhamento e intrusões de diferentes composições, como granito, diorito, gabro e diques porfíricos riolíticos e dacíticos. A mineralização de sulfetos de cobre e ferro ocorreu pela intensa alteração hidrotermal por fluidos de origens diversas.



Figura 1: Mapa geológico simplificado da porção norte da PMC. Destacado, o Supergropto Itacaiúnas.

A calcopirita ( $CuFeS_2$ ) é o principal minério de cobre (Cu 34,57%), ocorrendo em veios de alteração hidrotermal de altas temperaturas, pegmatitos, depósitos metamórficos de contato e xistos.

Uma parte da amostra, de grande heterogeneidade granulométrica (Figura 2a) foi embutida em resina, lixada e polida (Figura 2b) para descrição em microscopia ótica de luz refletida e espectroscopia Raman. Para a análise com microscopia eletrônica de varredura (MEV) com auxílio de um espectrômetro de dispersão em energia (EDS) a amostra foi metalizada. Para caracterização com difração de raios X (DRX) a amostra foi fracionada com peneiras.

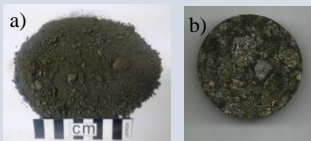


Figura 2: Amostra do minério, de grande variação granulométrica (a). Seção polida com 1 pol. de diâmetro (b).

## Resultados

### Difração de raios X

Para a difração de raios X do pó da amostra foi necessário separar a fração mais fina utilizando a fração passante da peneira de #200.

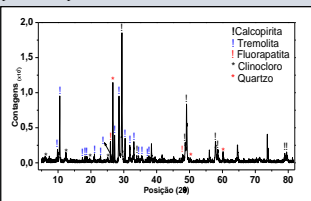


Figura 3: Difratograma da fração #200 da amostra, identificando seus principais minerais (calcopirita é o principal minério, tremolita e quartzo são os minerais de ganga mais presentes).

### Descrição petrográfica

A análise petrográfica com microscópio de luz refletida revelou a variedade granulométrica e composicional. Observou-se grãos totalmente constituídos por minérios e ganga com poucas inclusões. A amostra se compõe principalmente de calcopirita, pirita, magnetita, pirrotita, ganga (quartzo e tremolita) e hematita.

A calcopirita é o mineral mais presente, possui brilho metálico de cor amarelo latão em luz natural, se encontra de forma anédrica, tanto em grãos puros como em grãos associados e sua alteração é para covelita. Essa alteração está presente nas bordas de alguns grãos, preenchendo fraturas ou substituindo totalmente a calcopirita. A calcopirita nessa amostra está associada em maior parte com a pirita.

Pirita, de brilho metálico, cor amarelo claro é o segundo mineral mais abundante na amostra, se apresentando forma anédrica e eúdrica (raras) e botroidal. O principal mineral associado a pirita é a pirrotita, estando presente como inclusão na pirita.

A magnetita tem brilho lustroso e cor preto metálico, se mostrou anédrica, sem alteração, estando associadas em maior número como inclusões nos grãos de ganga e com a hematita.

A hematita foi observada com polarizadores cruzados, sendo diagnosticada por sua cor diagnóstica vermelho sangue. A pouca hematita observada se apresentava de forma acicular, alguns agregados sem orientação, outros arranajadas de forma radial.

Na análise petrográfica foi possível observar, elevada variedade mineralógica e granulométrica. Parte dos minerais de ganga foram identificados com espectroscopia  $\mu$ -Raman e MEV/EDS.

### Espectroscopia $\mu$ -Raman

Os espectros Raman corroboraram a identificação dos minerais observados na petrografia (calcopirita [ $CuFeS_2$ ], pirrotita [ $Fe_{1-x}S$ ]). Além destes foram identificados covelita [ $CuS$ ], violarita [ $FeNi_3S_4$ ], tremolita [ $Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$ ], magnetita [ $Fe_3O_4$ ], allanita [(Ca, Fe, La, Ce, Y, Na)<sub>2</sub>(Al, Mg, Mn, Fe)<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>(OH)] e flogopita (ou fluorflogopita) [ $Mg_3KAlSi_3O_{10}(F,OH)_2$ ].

Nas Figs. 4-6 estão alguns espectros Raman das amostras (linhas pretas), em comparação com espectros de padrões (linhas coloridas), obtidos no banco de dados da Mineralogical Society of America (RRUFF).

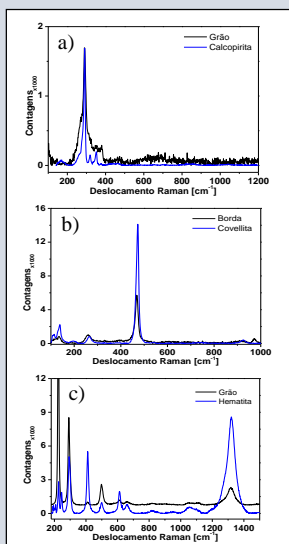


Figura 4: Análise de um grão de calcopirita (a) e sua borda alterada (b) e hematita (c).

## Resultados

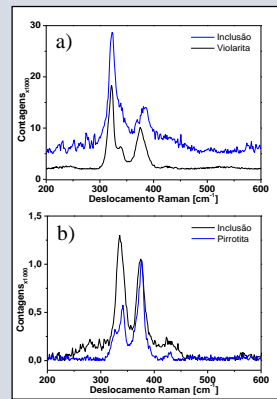


Figura 5: Espectro de luz refletida da inclusão numa calcopirita. A violarita (a) foi identificada como pirita na petrografia. No mesmo grão uma inclusão de pirrotita (b).

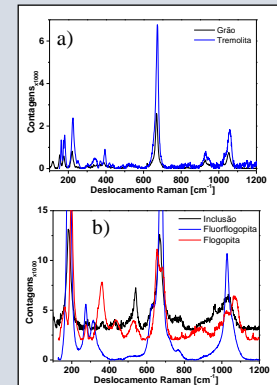


Figura 6: espectro (a) da actinolita, muito presente na ganga, (b) inclusão de uma flogopita ou fluorflogopita nesse grão.

### Microscopia eletrônica de varredura com EDS

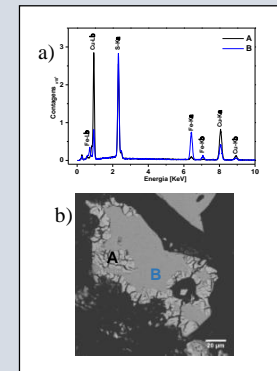


Figura 7: Espectro EDS (a) mostra os teores de Fe e Cu nos pontos (A) e (B) do grão de calcopirita (B) e de sua borda de alteração (A), mostrados na micrografia BSE (b).

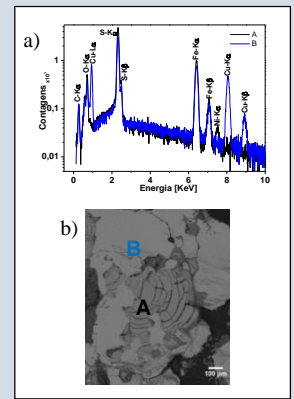


Figura 8: Espectro com as linhas características de cobre, enxofre, ferro e níquel (a) e imagem com os pontos B da calcopirita, e A da inclusão de violarita (b).

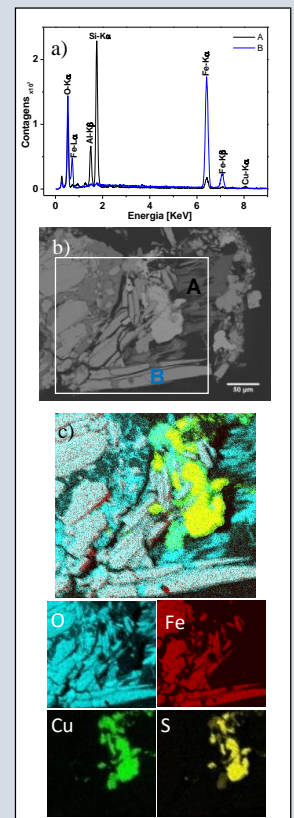


Figura 9: Espectros (a) dos pontos (A) e (B) na imagem em BSE (b), mapa composicional da área marcada na micrografia, com os mapas de distribuição dos elementos O (ciano), Fe (vermelho), Cu (verde) e S (amarelo) (c).

### Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da FAPERGS, do CNPq e da CAPES. DRM agradece bolsa PROBIC-FAPERGS. Agradecemos também ao professor Heinrich Frank pelo auxílio na descrição petrográfica

### Referências bibliográficas

- http://www.dnmpm-pe.gov.br/Detalhes/Calcopirita.htm, consultado em 20/03/2016
- RAFAEL A. A., LENA V. S. M., ROBERTO P. X. & CARLOS R. S. F.: Zonas de alteração hidrotermal e paragenese do minério de cobre do Alvo Bacaba, Província Mineral de Carajás (PA); Revista Brasileira de Geociências, 38 (2), 2008 277 p.
- J. D. DANA; Manual de mineralogia, vol. 2; rev. Cornelius S. Hurlbut; trad. Rui Ribeiro Franco; Editora da Universidade de SP; 1969, páginas 488, 516, 603, 606, 607, 608, 610 e 611.
- BEARDEN, J.A.; X-Ray Wavelengths; Rev. Mod. Phys. 39 1967.
- RRUFF http://rruff.info, acesso em 15/03/2016.

### Conclusões

Foi possível caracterizar um minério complexo e heterogêneo através de técnicas de microanálise integradas, como DRX, MEV/EDS, espectroscopia  $\mu$ -Raman e microscopia ótica.

A integração entre as técnicas permitiu identificar minerais importantes para estabelecer a gênese dos depósitos, como a calcopirita na pirita (presença de Ni) ou a tremolita, ambos minerais de origem hidrotermal.