

PETROGRAFIA DE MINÉRIOS (GSA 0501)**INTRODUÇÃO****ALGUNS CONCEITOS INICIAIS**

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA SEDIMENTAR E AMBIENTAL

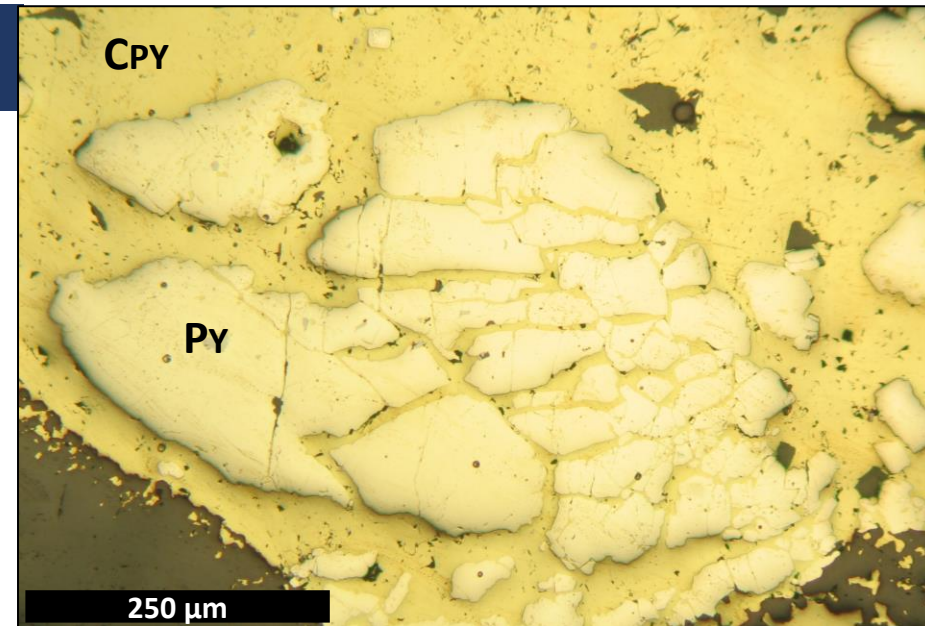
Prof. Dr. Rafael Rodrigues de Assis

Profa. Dra. Lena Virginia Soares Monteiro

assis.rafael@usp.brlena.monteiro@usp.br

EMENTA

USO DA LUZ REFLETIDA E DAS PROPRIEDADES ÓPTICAS E DESCRITIVAS NO RECONHECIMENTO DOS MINERAIS DE MINÉRIO E SUAS PARAGÊNESES. APLICAÇÕES EM METALOGÊNESE

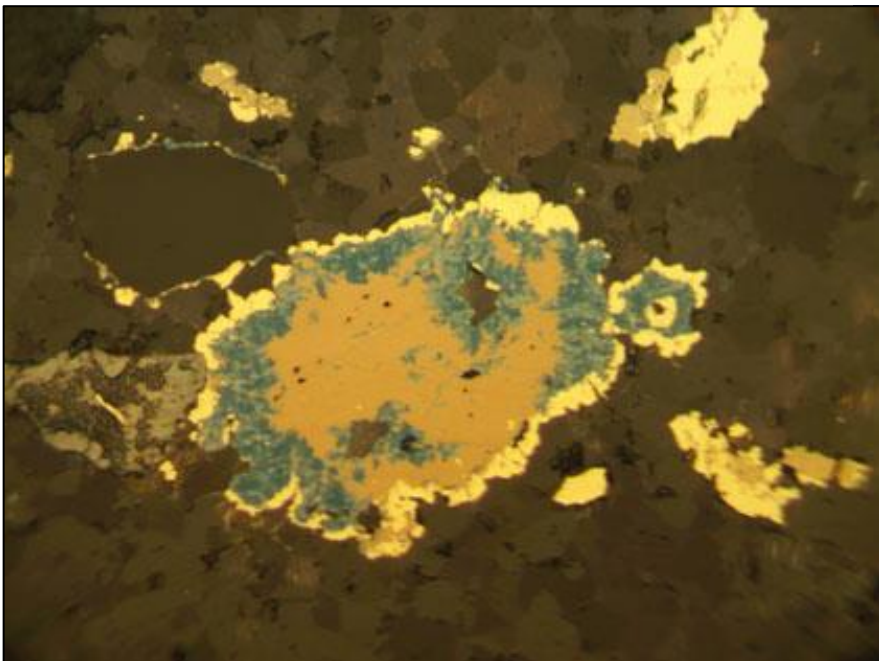


CPY: CALCPIRITA; PY: PIRITA

OBJETIVOS

USO DA LUZ REFLETIDA AO MICROSCÓPIO PETROGRÁFICO. RECONHECIMENTO DOS PRINCIPAIS MINERAIS DE MINÉRIO E DE SUAS TEXTURAS MAIS COMUNS A PARTIR DE SUAS PROPRIEDADES ÓPTICAS. ESTUDO DE PARAGÊNESES E CONDIÇÕES DE FORMAÇÃO DE MINÉRIOS. TÉCNICAS APLICADAS AO RECONHECIMENTO DE MINERAIS DE MINÉRIO E AO ESTUDO DE DEPÓSITOS MINERAIS.

◀ Bornita (laranja) substituída por covelita (azul) e calcopirita (amarelo claro).



PROGRAMA

- O MICROSCÓPIO PETROGRÁFICO. O USO DA LUZ REFLETIDA. MINERAIS DE MINÉRIO. PARAGÊNESES MINERAIS.
- OBJETIVOS DA PETROGRAFIA DE MINÉRIOS E PRINCIPAIS APLICAÇÕES.
- EQUILÍBRIO QUÍMICO, TEMPERATURA, pH, f_{S_2} , f_{O_2} , PRESSÃO, SOLUÇÃO SÓLIDA E ESTEQUIOMETRIA, REGRA E DIAGRAMA DE FASES.
- TIPOS DE AMOSTRAS E TÉCNICAS DE CONFEÇÃO DOS MATERIAIS PARA ANÁLISE PETROGRÁFICA.
- PROPRIEDADES ÓPTICAS DOS MINERAIS À LUZ REFLETIDA.
- IDENTIFICAÇÃO DE FASES MINERAIS E TIPOS DE TEXTURAS.
- INTERPRETAÇÃO DE PARAGÊNESES E MODELOS DE DEPÓSITOS.
- RELAÇÕES DE EQUILÍBRIO DE FASES NOS MINÉRIOS.
- PRINCIPAIS MINERAIS DE MINÉRIO DO GRUPO DOS ÓXIDOS.
- PRINCIPAIS MINERAIS DE MINÉRIO DO GRUPO DOS SULFETOS.



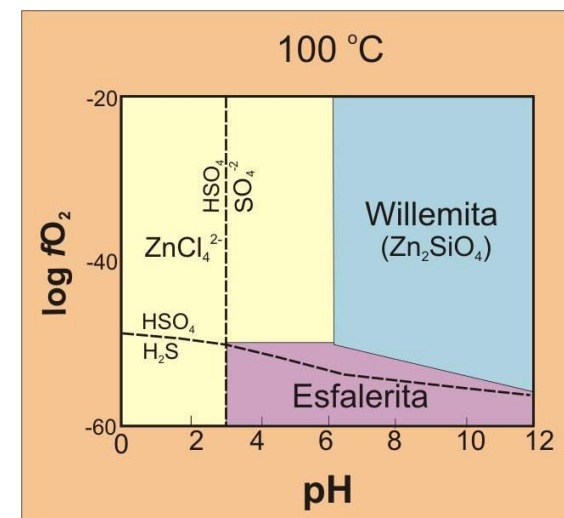
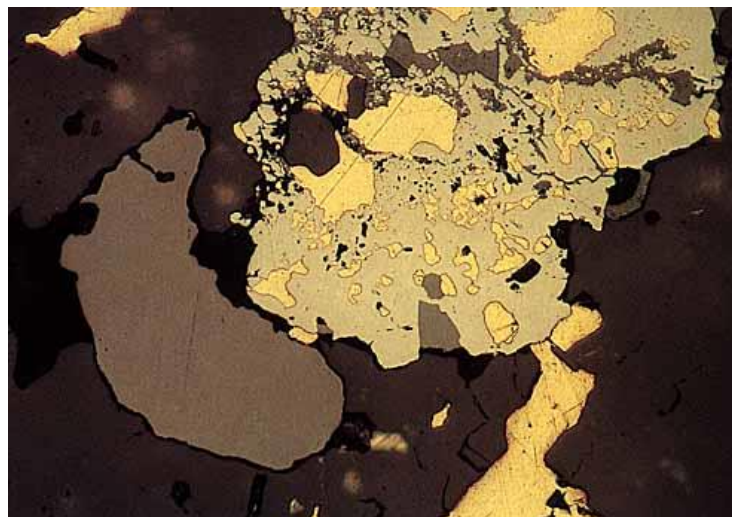
FORMAS DE AVALIAÇÃO

(1) DESCRIÇÕES PETROGRÁFICAS QUE DEVERÃO SER ENTREGUES AO FINAL DE CADA AULA (50%).

(2) PROVA FINAL DA DISCIPLINA (50%).



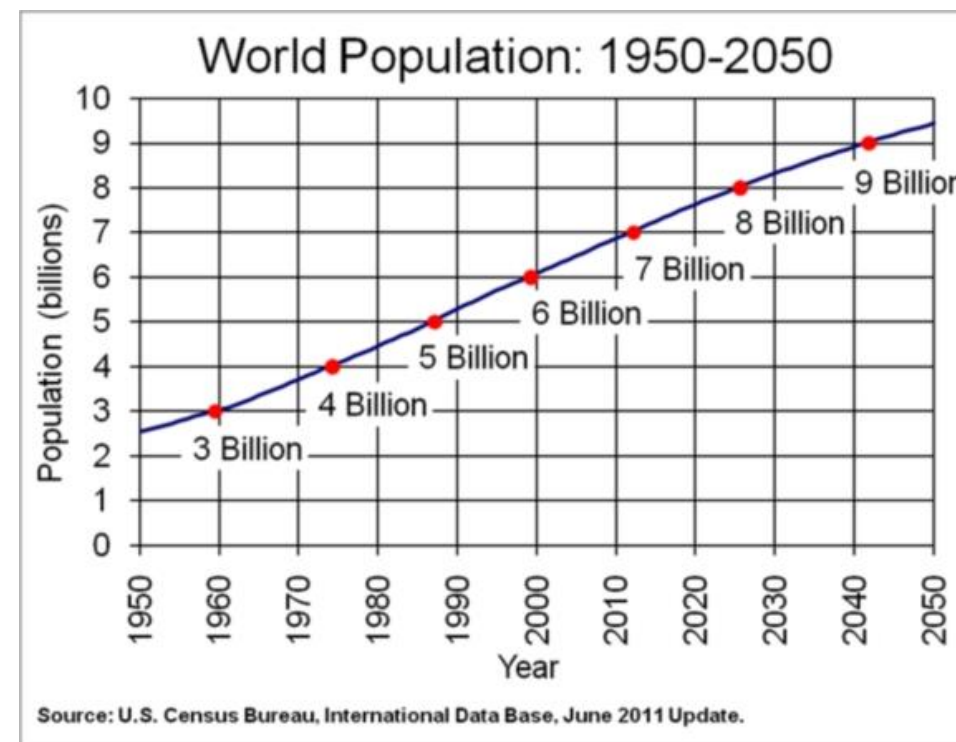
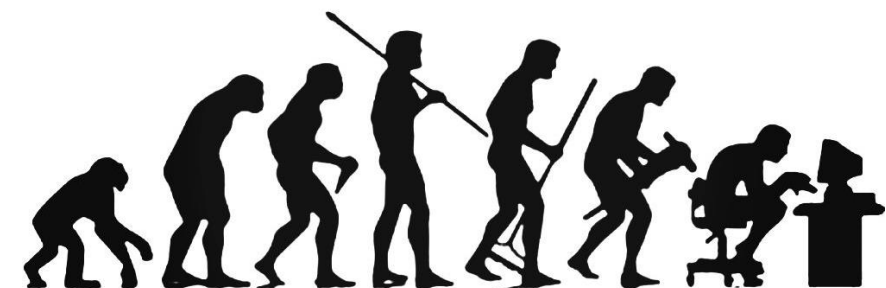
$$Média Final = \frac{\text{Média das descrições} + \text{Nota Prova}}{2}$$



CONCEITOS INICIAIS

IMPORTÂNCIA DOS METAIS

Recursos minerais têm sido utilizados de forma contínua, crescente e cada vez mais complexa pela humanidade desde ca. de <2,5 Ma.



Possuem certas propriedades que outros materiais não apresentam: **resistência mecânica**, **dureza alta**, **condutividade térmica** e **elétrica**, **resistência à corrosão**, etc.

CONCEITOS INICIAIS

RECURSOS MINERAIS

(exceto recursos energéticos e recursos hídricos)



BENS MINERAIS METÁLICOS E NÃO METÁLICOS

(commodities)



Commodities (mercadoria) são máterias-primas (que não passaram por processo industrial), que são produzidas em larga escala, comercializadas em nível mundial e negociadas em bolsas de valores. Portanto, têm seus preços definidos em nível global, pelo mercado internacional. São produzidas por diferentes produtores, mas com características uniformes. Geralmente, são produtos que podem ser estocados por um determinado período de tempo sem que haja perda de qualidade.

- ✓ *Commodities agrícolas*
- ✓ *Comoditites financeiras*
- ✓ *Commodities ambientais*
- ✓ COMMODITIES MINERAIS

ALGUNS CONCEITOS IMPORTANTES

MINÉRIO

Corresponde a ROCHA de interesse econômico, constituída pelos minerais de minério + minerais de ganga.

Mineral de Minério

MINERAL CUJO ELEMENTO DE INTERESSE ECONÔMICO (USUALMENTE METAL) ESTÁ CONTIGO E, PORTANTO, FOCO DA EXTRAÇÃO.

Mineral de Ganga

ASSOCIADOS AOS MINERAIS DE MINÉRIO, MAS QUE NÃO APRESENTAM INTERESSE ECONÔMICO (NÃO CONTÊM O ELEMENTO DE INTERESSE).

Subproduto

MINÉRIO CUJA A EXTRAÇÃO NÃO SE JUSTIFICA ECONOMICAMENTE A NÃO SER QUE ELA SEJA REALIZADA EM CONJUNTO COM UM MINERAL MINÉRIO PRINCIPAL (ECONOMICAMENTE MAIS RENTÁVEL).

Estéril

ROCHA ENCAIXANTE EM CONJUNTO COM A PORÇÃO DE MINÉRIO QUE NÃO CONTÉM A MINERALIZAÇÃO.

Minério de Au

Mineral de minério:

Au

- GANGA -
Quartzo

Hangtown, Placerville, El Dorado County, California

MINERAIS DE MINÉRIO

MINERAIS OPACOS

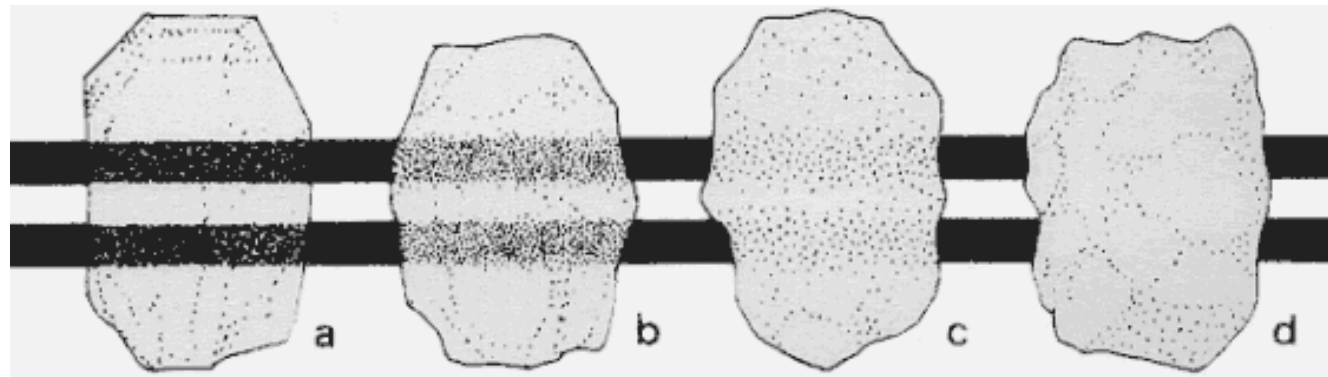
Minerais com elevados índices de refração e que apresentam um característico **brilho metálico**. Não se deixam atravessar pela luz.

MINERAIS TRANSLÚCIDOS

Apresentam múltiplas reflexões da luz a partir de planos situados abaixo das superfícies. Possuem brilho **nacarado**. Deixam atravessar parcialmente a luz.

MINERAIS TRANSPARENTES

Alta diafaneidade: maior permeabilidade dos minerais à luz, isto é, a maior quantidade de luz que deixam atravessar.



Hialino

Transparente

Translúcido

Opaco

MINERAIS DE MINÉRIO

MINERAIS OPACOS

MINERAIS TRANSLÚCIDOS

MINERAIS TRANSPARENTES

PREPARAÇÃO DO MATERIAL

ESCOLHA DAS AMOSTRAS

AMOSTRAS DE MINÉRIO (SULFETADO E OXIDADO), SUPÉRGENO;

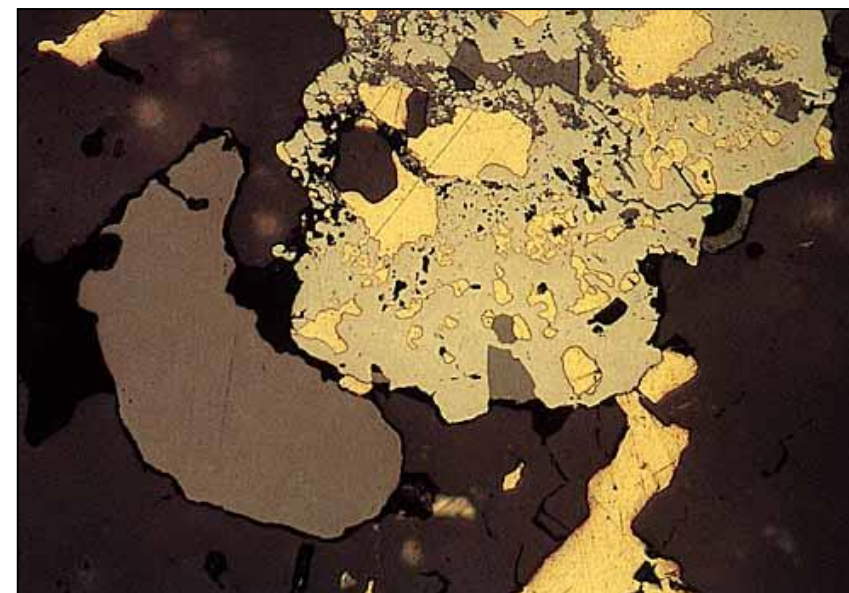
ROCHAS FRACAMENTE MINERALIZADAS
EM ALGUNS CASOS FORNECEM MELHORES INFORMAÇÕES QUE
AMOSTRAS DE MINÉRIO MACIÇO

Sulfeto maciço vulcanogênico
metamorfisado (Aijala)

ORIENTAÇÃO DO CORTE

ESTRUTURA DA ROCHA;

ORIENTAÇÃO CRISTALOGRÁFICA: MINERAIS ANISÓTROPOS OU MUITO
DUROS NÃO PODEM SER BEM POLIDOS EM ALGUMAS DIREÇÕES
(MAGNETITA, PIRROTITA, ETC).



ESCOLHA DAS SECÇÕES (AMOSTRAS AO MICROSCÓPIO)

Radiating botryoidal cassiterite



SECÇÕES POLIDAS

PREPARO SIMPLES, ROBUSTAS. SÃO DESCRITAS APENAS COM USO DE LUZ REFLETIDA.

ALGUMAS PROPRIEDADES ÓPTICAS (E.G. REFLEXÕES INTERNAS) SE TORNAM MAIS MARCANTES.

MATERIAIS FRIÁVEIS PODEM SER IMPREGNADOS COM RESINA ANTES DA MONTAGEM. PODE SER USADA EM MEV OU MSE.

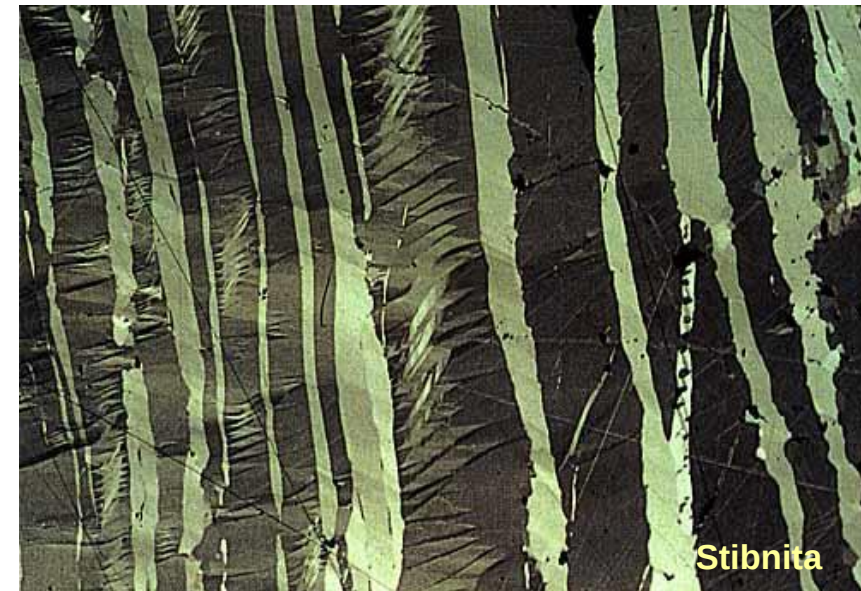
LIMITAÇÃO: POUCA INFORMAÇÃO SOBRE GANGA.

SECÇÕES DELGADA-POLIDAS

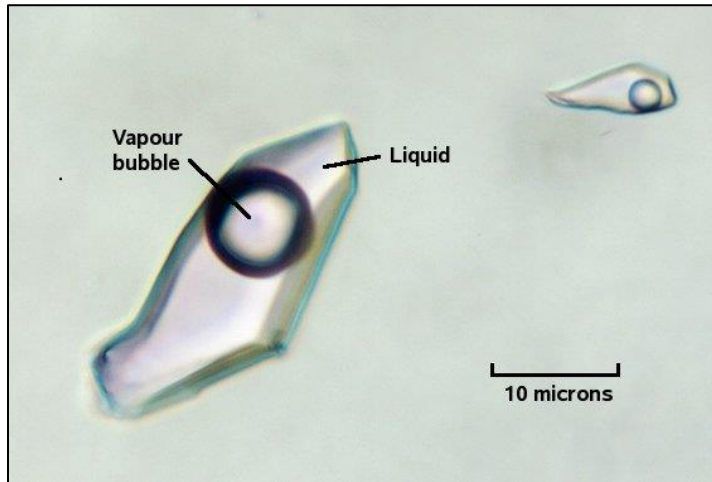
TODOS OS MINERAIS PODEM SER ESTUDADOS VISTO A VERSATILIDADE DO MATERIAL EM SER ANALISADO TANTO EM LUZ TRANSMITIDA QUANTO REFLETIDA.

SÃO ÚTEIS PARA ROCHAS FRACAMENTE MINERALIZADAS, MINÉRIO COM GANGA E COM MINERAIS DE MINÉRIO TRANSLÚCIDOS (COM BAIXA REFLECTÂNCIA, COMO ESFALERITA E CASSITERITA).

PODEM SER USADAS PARA MEV, MSE E CATODO-LUMINESCÊNCIA.



ESCOLHA DAS SECÇÕES (AMOSTRAS AO MICROSCÓPIO)



SECÇÕES BIPOLIDAS

- EM GERAL USADAS PARA O ESTUDO DE INCLUSÕES FLUIDAS.
- OS DOIS LADOS DA SECÇÃO SÃO POLIDOS.
- PERMITE ESTUDOS DETALHADOS DE ESTRUTURAS INTERNAS, ZONEAMENTOS, GEMINAÇÕES EM MINERAIS TRANSLÚCIDOS.

MONTAGEM DE GRÃOS

- SÃO PREPARADAS COMO SECÇÕES POLIDAS E USADAS PARA MINERAIS INCONSOLIDADOS, CONCENTRADOS DE MINERAIS PESADOS E ESTUDOS DE CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E TECNOLÓGICA PARA ORIENTAÇÃO DE BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO.
- INFORMAÇÃO TEXTURAL É PERDIDA.

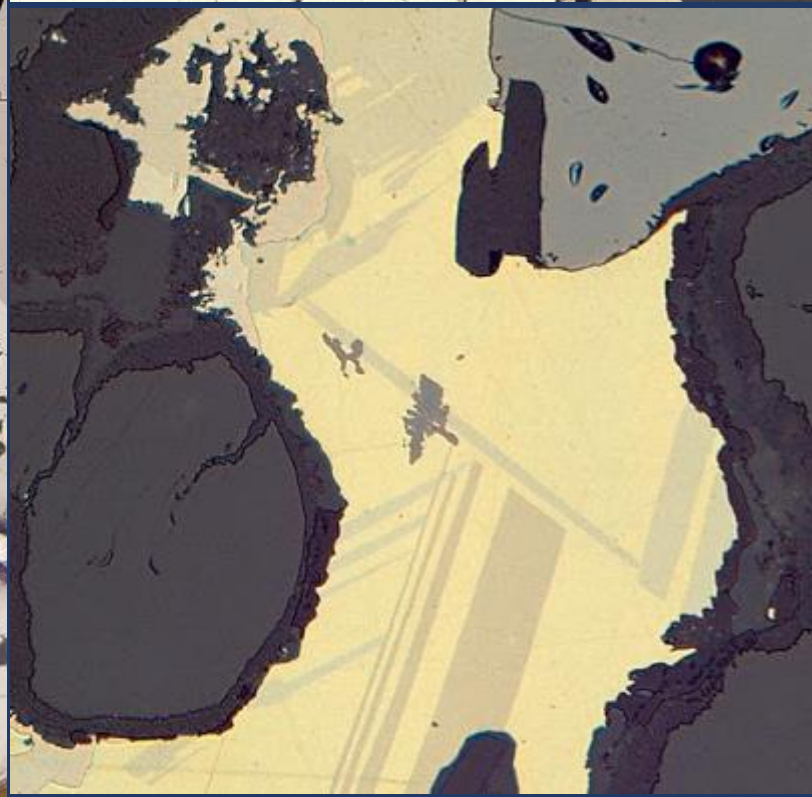
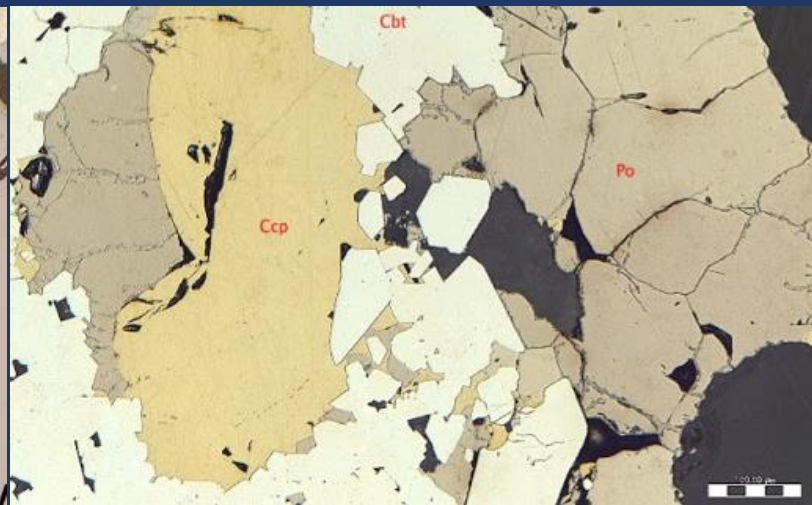
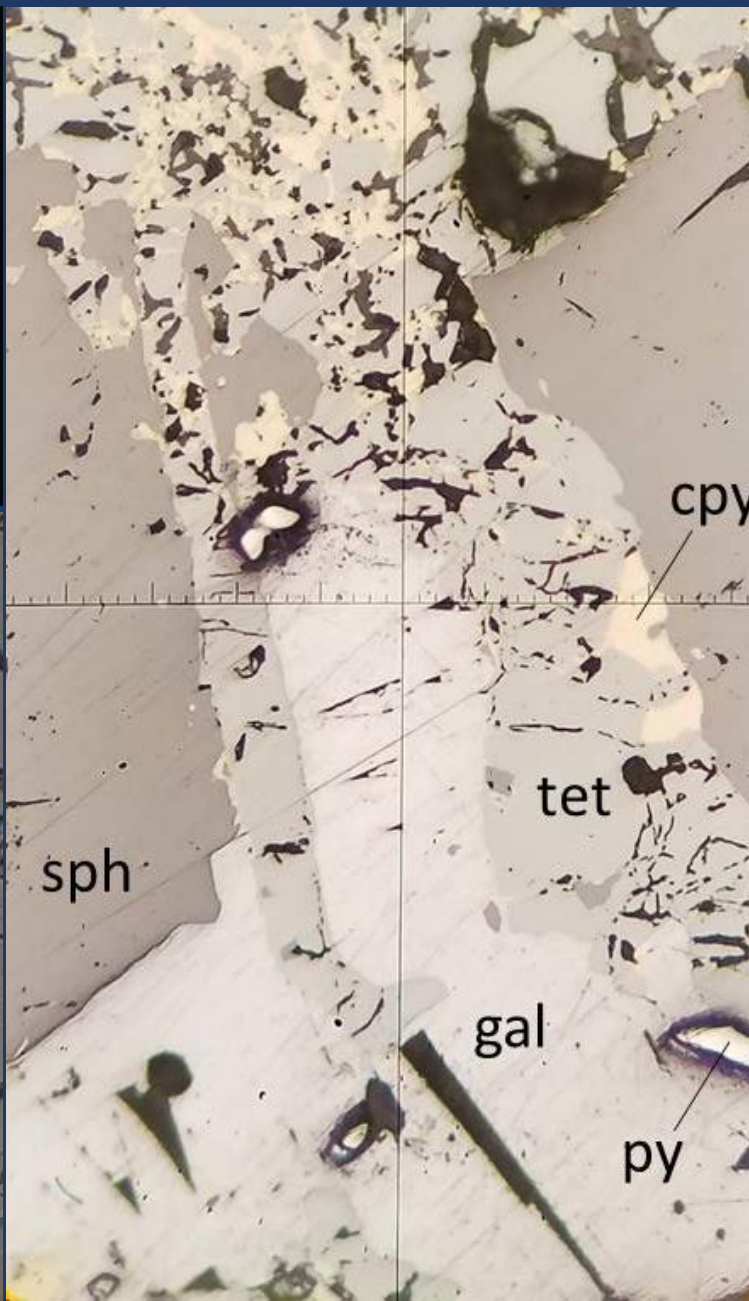
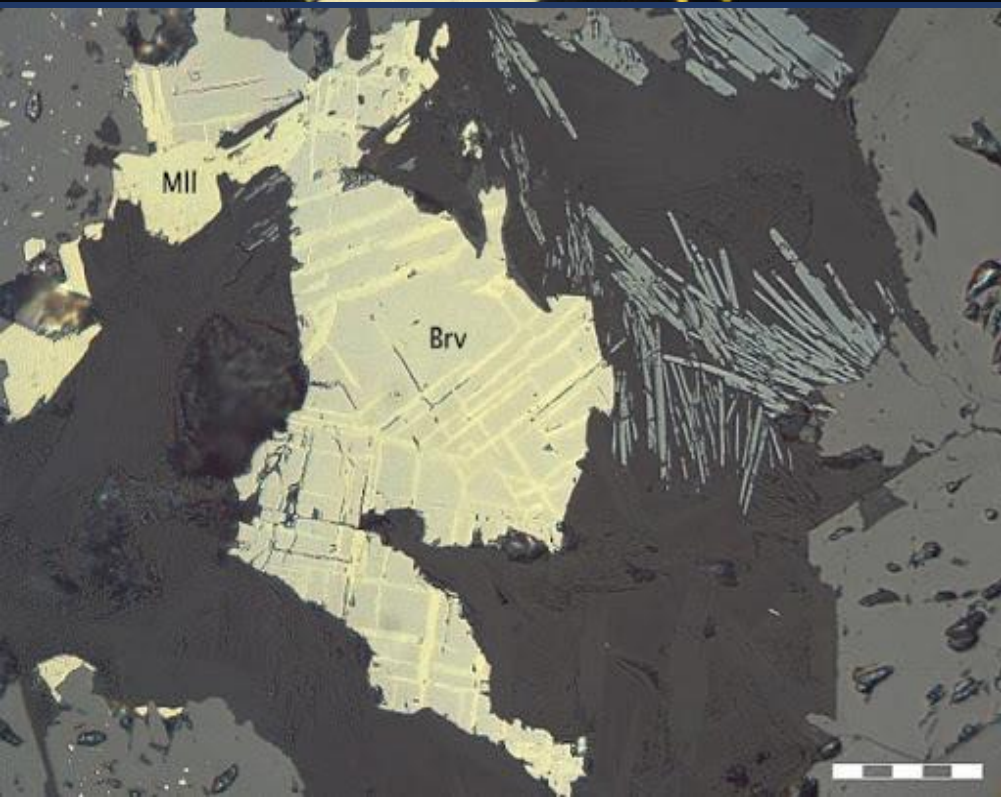
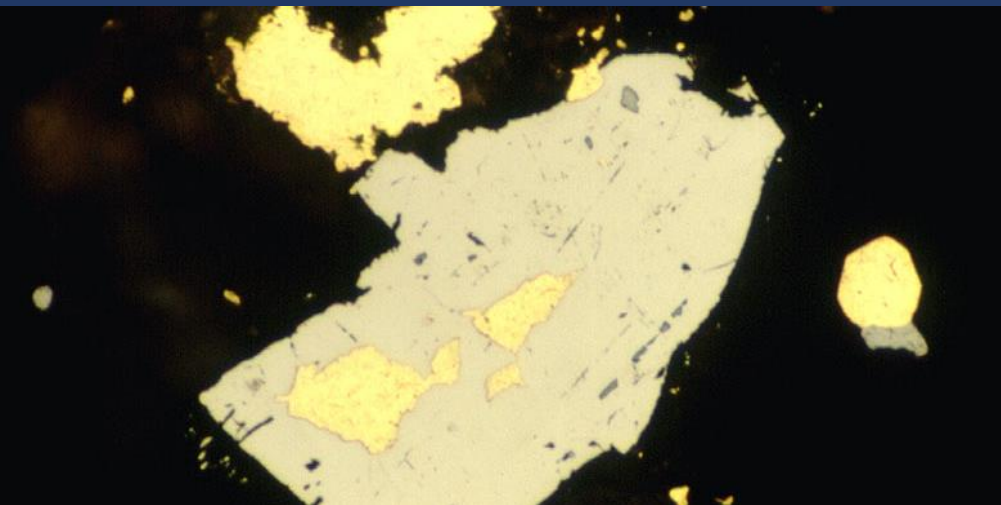


**PAY
ATTENTION**

Secções mal polidas: alguns minerais devido a sua alta dureza ou anisotropia apresentam pobre polimento.

Minerais com baixa dureza também não apresentam bom polimento.

PETROGRAFIA DE MINÉRIOS



PRINCIPAIS PROPRIEDADES ÓPTICAS

ALGUMAS PROPRIEDADES ÓPTICAS OBSERVADAS COM O ANALISADOR DESATIVADO (NICÓIS DESCRUZADOS).

COR

MUITAS VEZES, PODE SER
DIAGNÓSTICA!

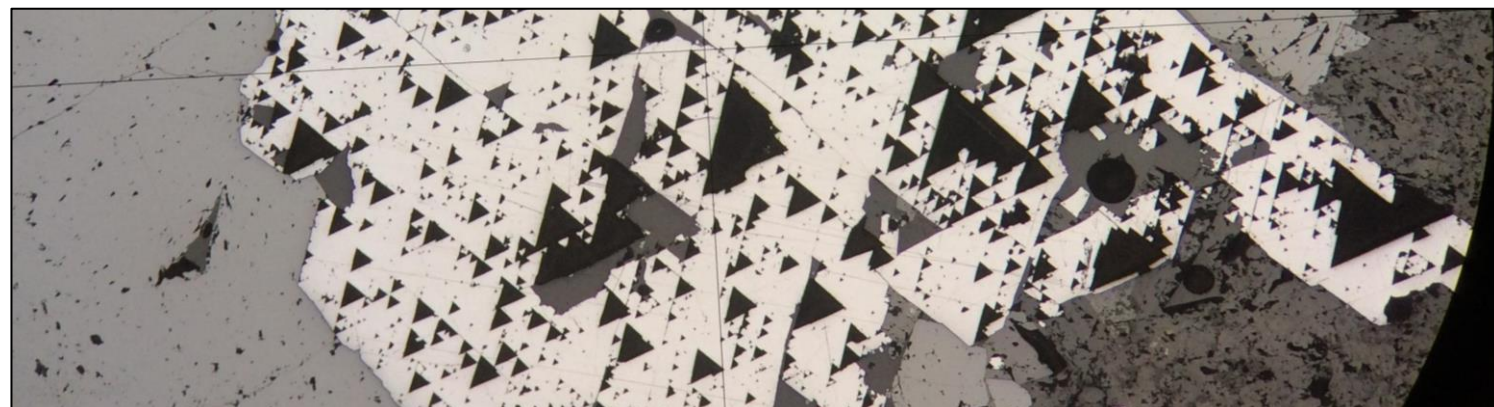
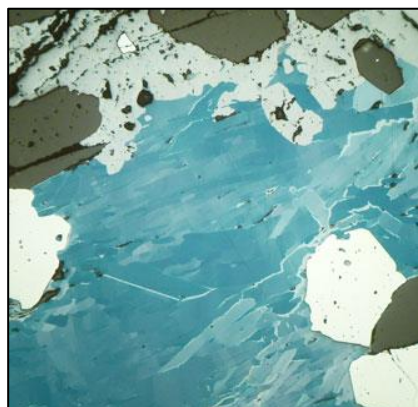
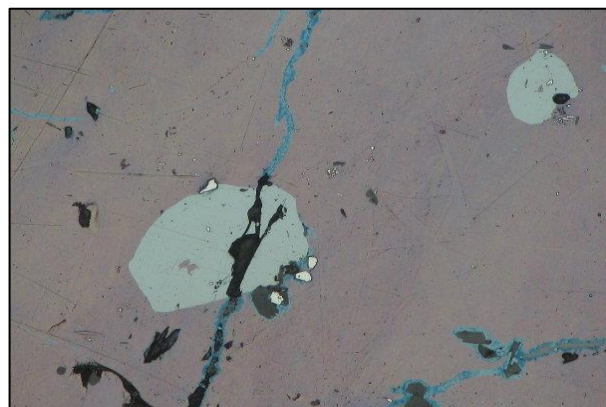
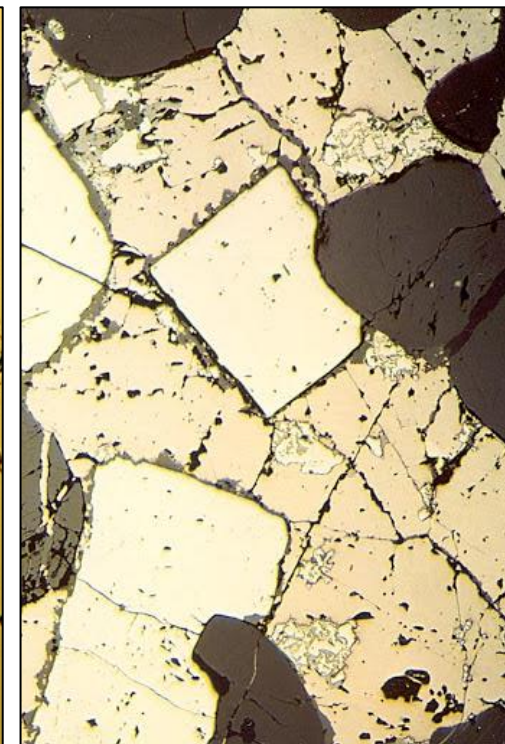
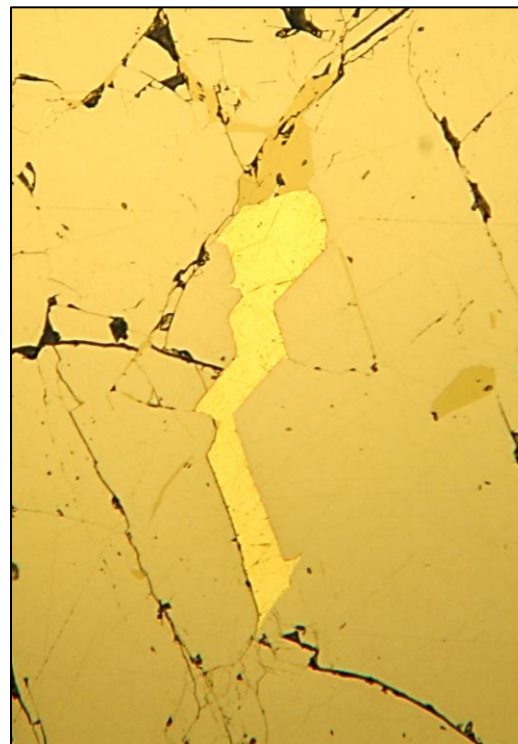
Calcopirita e ouro → amarelos.

Covelita e digenita → azuis.

Magnetita e galena → Cinza.

*Pirita (esbranquiçada) +
calcopirita (amarelo);
Pirita (amarelo claro) +
arsenopirita (branca).*

Podem variar em função: (1)
composição química em que certos
elementos são substituídos na rede
cristalina; (2) interação com os
minerais vizinhos/em contato.



PRINCIPAIS PROPRIEDADES ÓPTICAS

ALGUMAS PROPRIEDADES ÓPTICAS OBSERVADAS COM O ANALISADOR DESATIVADO (NICÓIS DESCRUZADOS).

REFLECTÂNCIA

Capacidade do mineral de refletir a luz (*medida qualitativa entre minerais*).

Alta (> 50%)

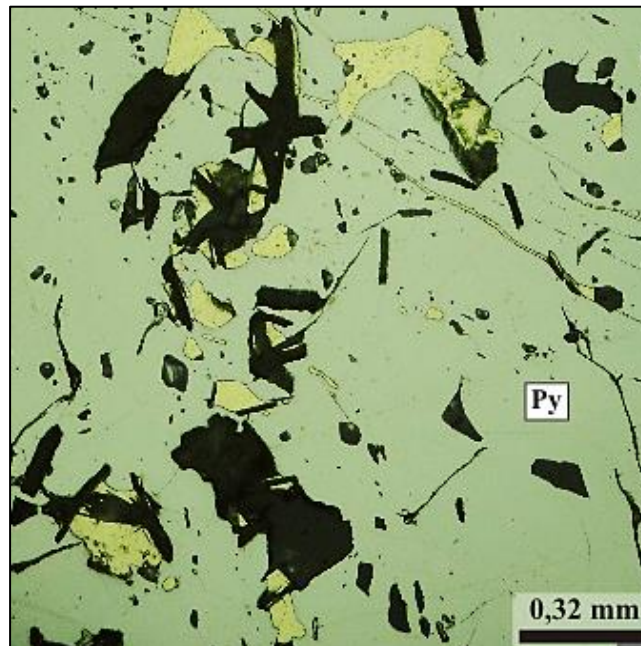
Média (50% e > 25%)

Baixa (<25%)

Pirita

Galena, hematita

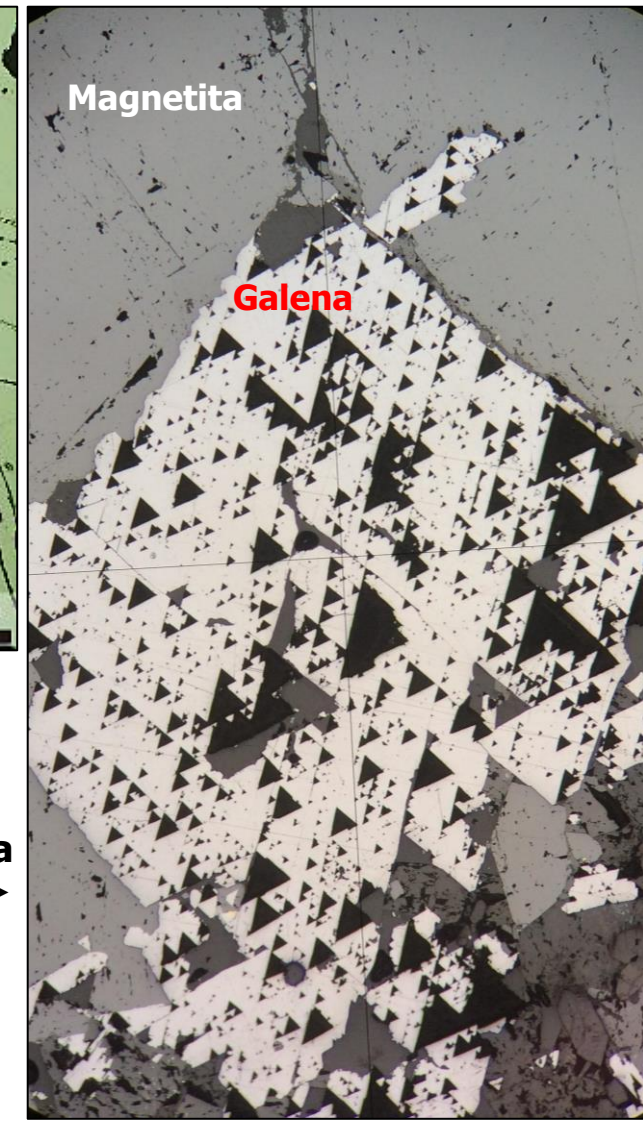
Magnetita

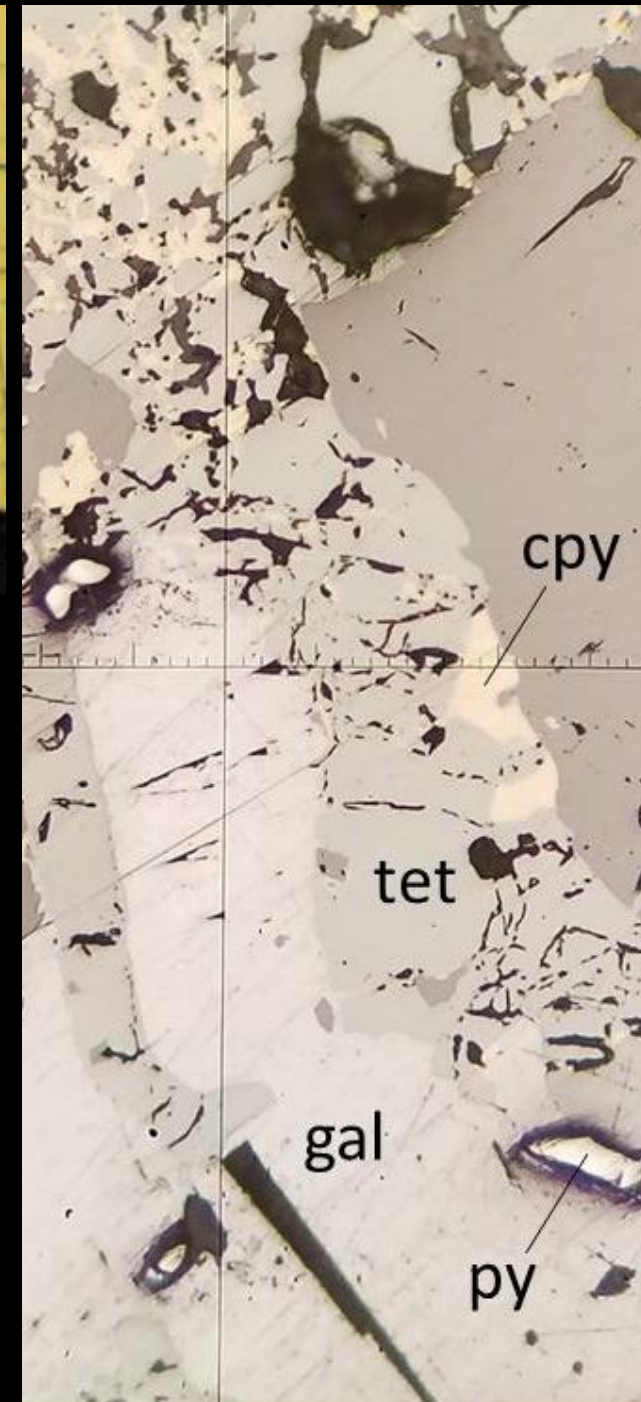
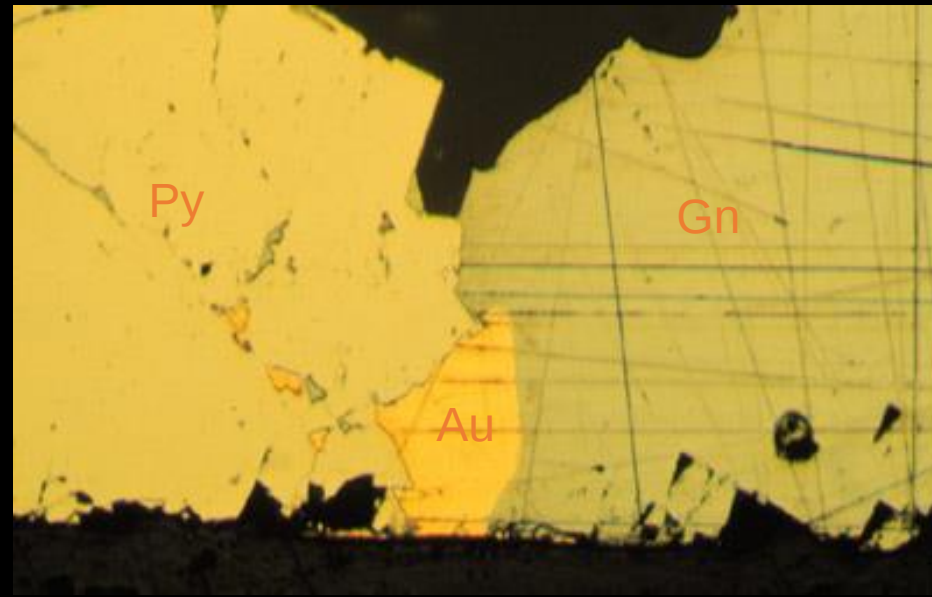
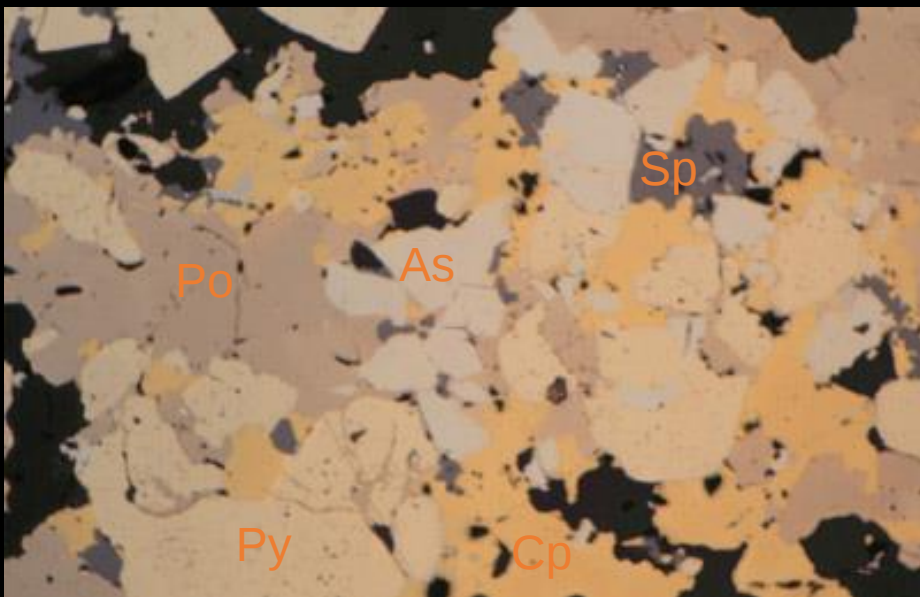


▲ Ouro e Pirita (alta reflectância)

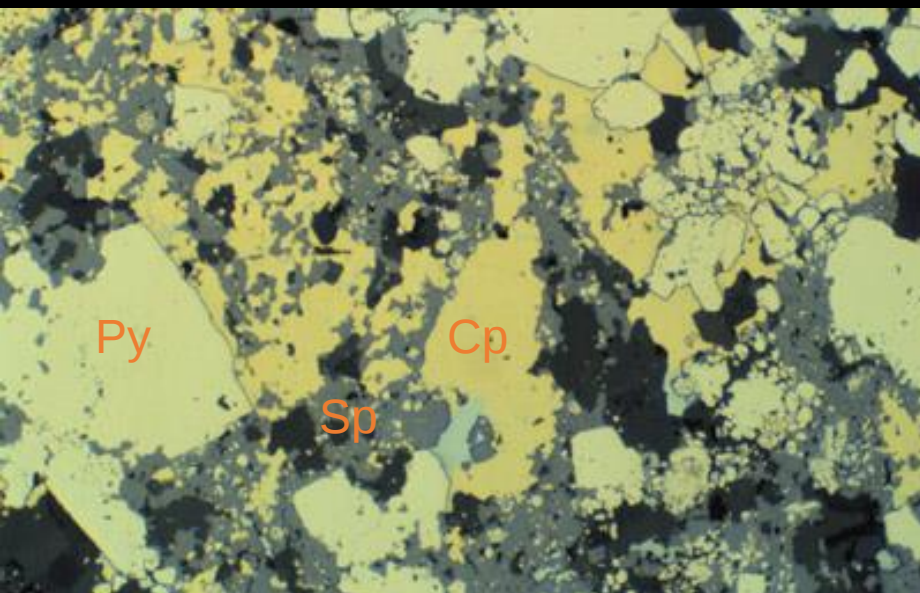
Galena e magnetita (média e baixa reflectância, respectivamente) ►

◀ Minerais de ganga (silicatos, carbonatos) apresentam reflectância baixa (< 10%).





(Esquerda) Arsenopirita euhedral (branca) com pirrotita (creme), pirita (amarelo fraco), calcopirita (amarelo forte) e esfalerita (cinza escuro). Os minerais escuros são de ganga. Dale Head, north vein, Inglaterra. Nicóis //, 1,33 mm. (Direita) Ouro nativo (amarelo bem forte) entre pirita (amarelo fraco) e galena. Nicóis //, 0,53 mm Fonte: http://www.unige.ch/sciences/terre/mineral/fontbote/opaques/opaques_menu.html



Pirita (amarelo fraco), calcopirita (amarelo forte) e esfalerita (cinza escuro). Os minerais escuros são de ganga. Rammelsberg, Alemanha. Nicóis //, 1,06 mm. Fonte: http://www.unige.ch/sciences/terre/mineral/fontbote/opaques/opaques_menu.html

Reflected light microscopy image of the MSV in Figure 14; with sphalerite (sph), galena (gal), tetrahedrite (tet), pyrite (py), and chalcopyrite (cpx). ►

PRINCIPAIS PROPRIEDADES ÓPTICAS

ALGUMAS PROPRIEDADES ÓPTICAS OBSERVADAS COM O ANALISADOR DESATIVADO (NICÓIS DESCRUZADOS).

BIRREFLETÂNCIA E PLEOCROÍSMO

Variações de refletância e cor ao girar a platina.
(propriedade analisada de modo qualitativo)

Necessidade de especificar as variações de cor ao girar a platina *(independente de sua intensidade)*:
creme a róseo, azul claro a forte, etc.

A BIRREFLECTÂNCIA/PLEOCROÍSMO PODE SER:

Forte

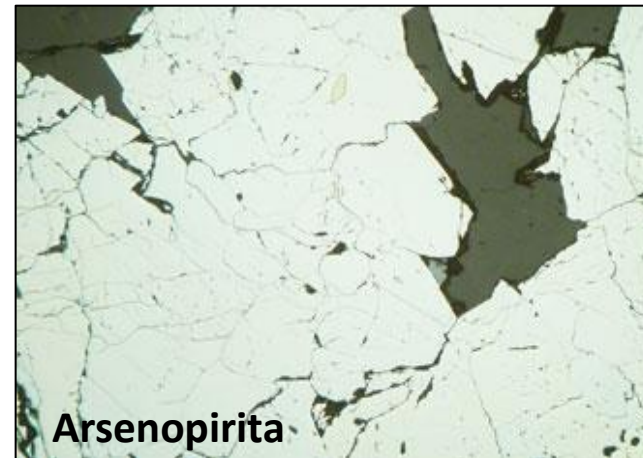
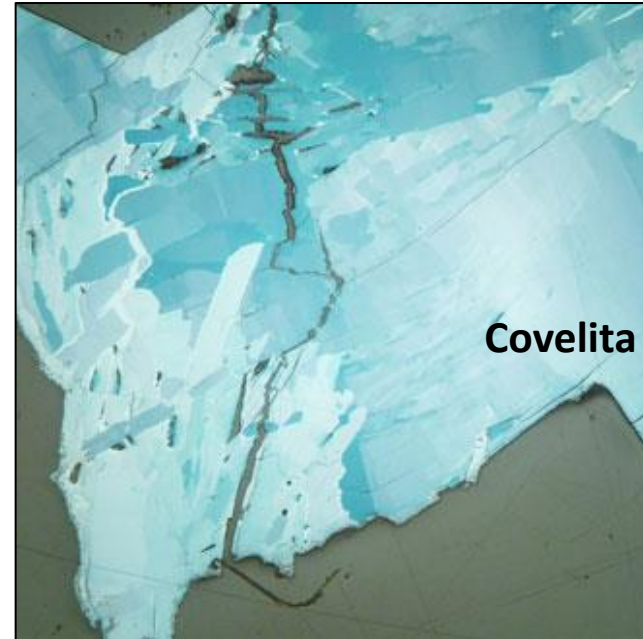
Moderada

Fraca

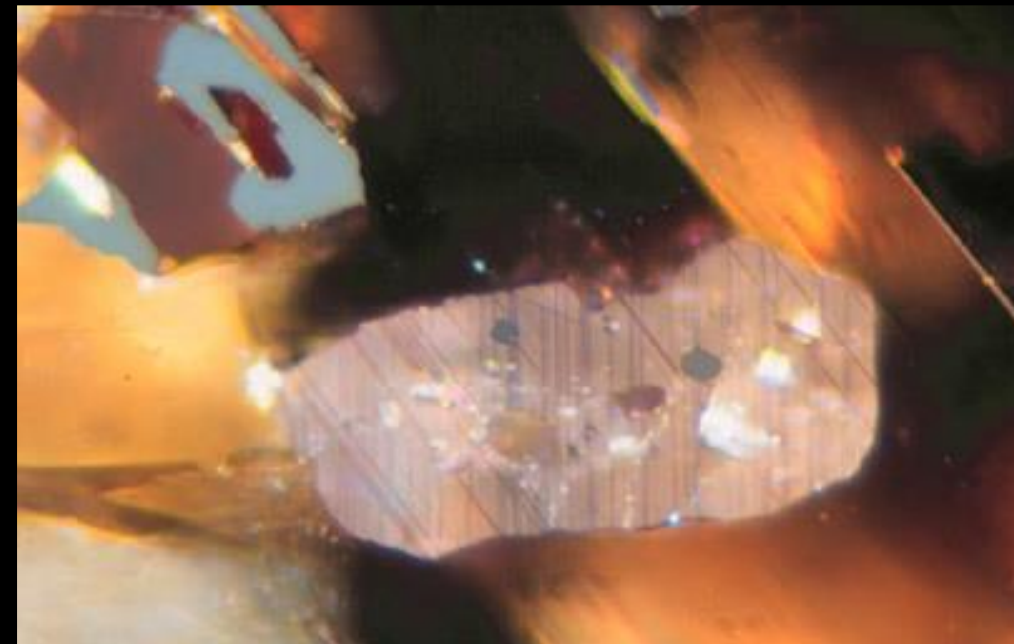
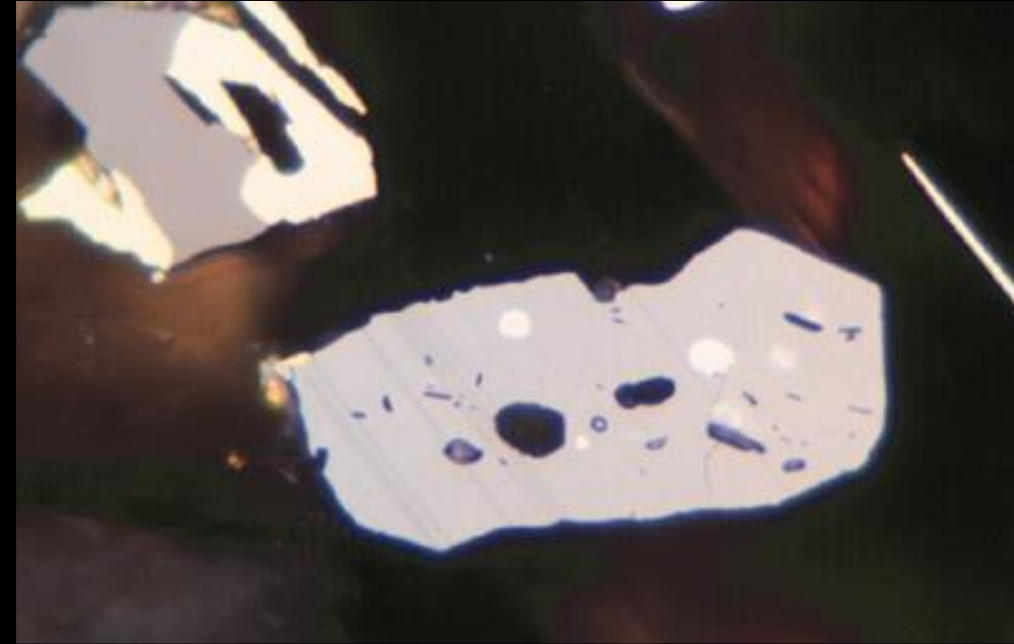
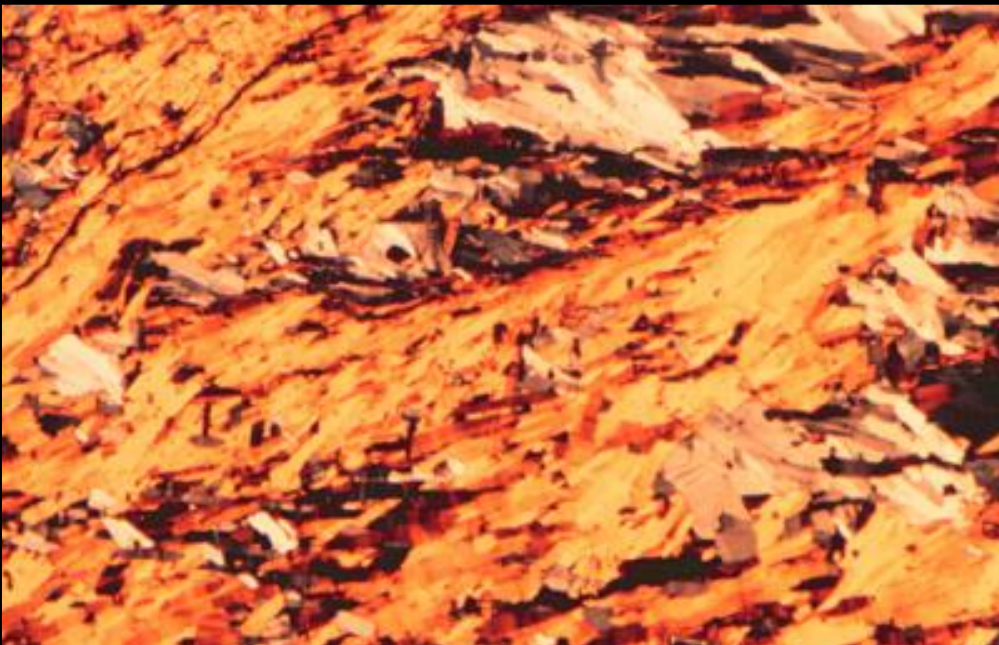
grafita, molibdenita, covelita

hematita, pirrotita, ilmenita

arsenopirita.



(Acima). Rutilo com geminação lamelar. Chisel - Canada Nicóis //, 0.21 mm. (Abaixo) Idem, mas em nicóis cruzados mostrando reflexões internas. Fonte: www.unige.ch/sciences/terre/mineral/fontbote/opaques/opaques_menu.html ▼



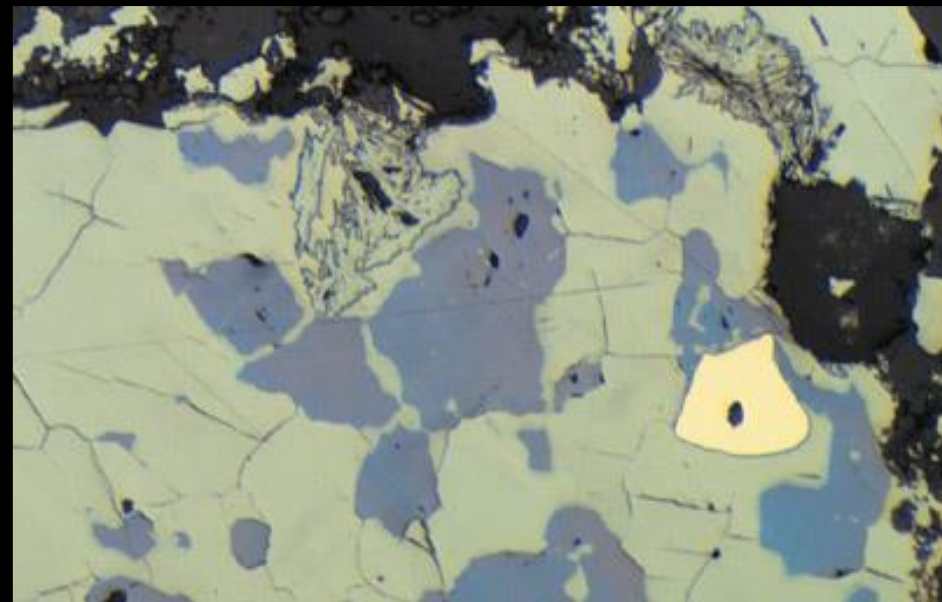
▲ (Acima). Grãos finos e alongados de covelita. Yauricocha, Peru. Nicóis //, 2,13 mm. (Abaixo) Idem mas em nicóis cruzados. Fonte: www.unige.ch/sciences/terre/mineral/fontbote/opaques/opaques_menu.html



Bornita (azulada) sendo substituída por calcosita (azul) e hematita. Buena Esperanza, Chile. Nicóis //, 0,88 mm. ►

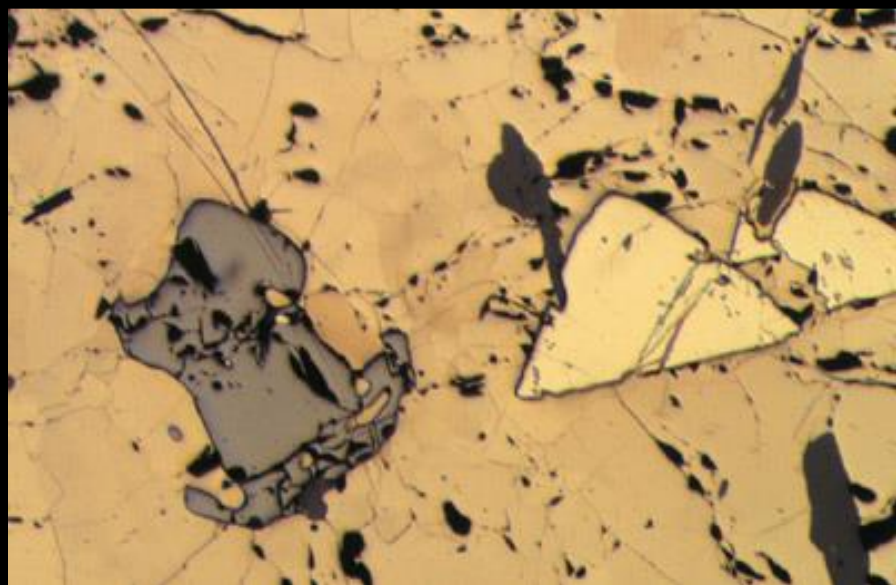
Fonte: ►

www.unige.ch/sciences/terre/mineral/fontbote/opaques/opaques_menu.html



▲ (Esquerda). Grãos finos e alongados de covelita. Yauricocha, Peru. Nicóis //, 2,13 mm.

Fonte: www.unige.ch/sciences/terre/mineral/fontbote/opaques/opaques_menu.html



Martitização: substituição da magnetita (cinza escuro) pela hematita (cinza mais claro). El Laco, Chile. Nicóis //, 0,53 mm. ►

Fonte: ►

www.unige.ch/sciences/terre/mineral/fontbote/opaques/opaques_menu.html



▲ Magnetita (cinza escuro) e pirita (amarelo fraco) em pirrotita (creme). Notar o pleocroísmo na pirrotita. Ducktown, USA. Nicóis //, 2,13 mm.

Fonte: http://www.unige.ch/sciences/terre/mineral/fontbote/opaques/opaques_menu.html

SITES RELACIONADOS

Virtual Atlas of Opaque and Ore Minerals in their Associations

<http://www.smenet.org/opaque-ore/>

An excellent website with great pictorial content of a large number of opaque ore minerals, ore textures and associations. This is a great resource for anyone interested in ore petrography. (Paul R. Duller and Robert A. Ixer, SME)

Introduction to ore microscopy

http://www.unige.ch/sciences/terre/mineral/fontbote/opagues/opagues_menu.html

Recommended abbreviations for ore microscopy

http://www.unige.ch/sciences/terre/mineral/fontbote/opagues/ore_abbreviations.html

Athena mineral databases. Search for formulas, names, references

<http://un2sg4.unige.ch/athena/mineral/search.html>

Photomicrographs Illustrating Ore Suites Studied in Ore Microscopy

<http://web.mst.edu/~rhagni/oremicphotos.html>

Richard D. [Hagni](#), Department of Geology and Geophysics, School of Mines and Metallurgy, University of Missouri-Rolla

Introduction to ore microscopy (in French), including ore photomicrographs.

<http://www.unites.uqam.ca/terre/opagues/ofrindex.htm>

[Minéraux métalliques usuels en lames minces polies et lumière réfléchie.](#)

Luc Harnois, Département des Sciences de la Terre, Université du Québec, Montréal.

