

APLICAÇÃO DA MICROSCOPIA NO BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO

Ney Hamilton Porphírio*

RESUMO

Neste trabalho são descritos os métodos de microscopia utilizados na caracterização mineralógica de alguns minérios (Cianita, Scheelita, Cobre, Cromita, Fosfato, etc.), com vistas ao seu beneficiamento mineral. Por se tratar de estudo específico, buscou-se além das informações básicas de composição modal, grau de liberação, propriedades físicas e químicas, inclusões, etc., outras informações complementares que também auxiliam no tratamento dos minérios.

Procurou-se mostrar que essas informações são extremamente importantes na escolha dos métodos de beneficiamento, podendo até ajudar na sua otimização ou mesmo na sua eficiência

* Petrógrafo do Centro de Tecnologia Mineral - CETEM
Convênio DNPM/CPRM

INTRODUÇÃO

Nos processos de beneficiamento mineral, os subsídios colhidos através de análises mineralógicas, utilizando métodos convencionais de microscopia polarizante, constituem dados importantes no tratamento mineral.

Cada minério apresenta peculiaridades próprias, de maneira tal que processos de beneficiamento adequados a um determinado tipo de minério, não serão necessariamente os mesmos para um seu similar.

Os métodos usuais empregados em análises mineralógicas ao microscópio são, em princípio, de custos relativamente baixos, conseguindo-se porém uma grande quantidade de informações valiosas. Nesses métodos utilizam-se principalmente secções delgadas e polidas, confeccionadas de fragmentos de rocha ou mais frequentemente de amostras representativas de material triturado e homogeneizado.⁽¹⁾

Por intermédio dessas preparações são feitas análises detalhadas qualitativas e quantitativas de todos os constituintes minerais, bem como possibilitam a determinação do grau de liberação. Paralelamente observam-se a natureza das inclusões nos minerais, tipos de alterações e/ou oxidação, linhas de clivagem e fraturas, associação entre minerais e seus relacionamentos texturais, que em muitos casos terão influências na qualidade do material cominuído, repercutindo inclusive nos produtos de moagem.

MATERIAL E MÉTODO

Como resultante da aplicação da microscopia no beneficiamento, são feitas análises mineralógicas obedecendo a seguinte ordem: ⁽²⁾ (Veja Fig. 1).

- I) - FRAGMENTAÇÃO
- II) - ANÁLISES MINERALÓGICAS QUALITATIVAS
- III) - ANÁLISES MINERALÓGICAS QUANTITATIVAS
- IV) - DETERMINAÇÃO DO GRAU DE LIBERAÇÃO
- V) - FOTOMICROGRAFIAS

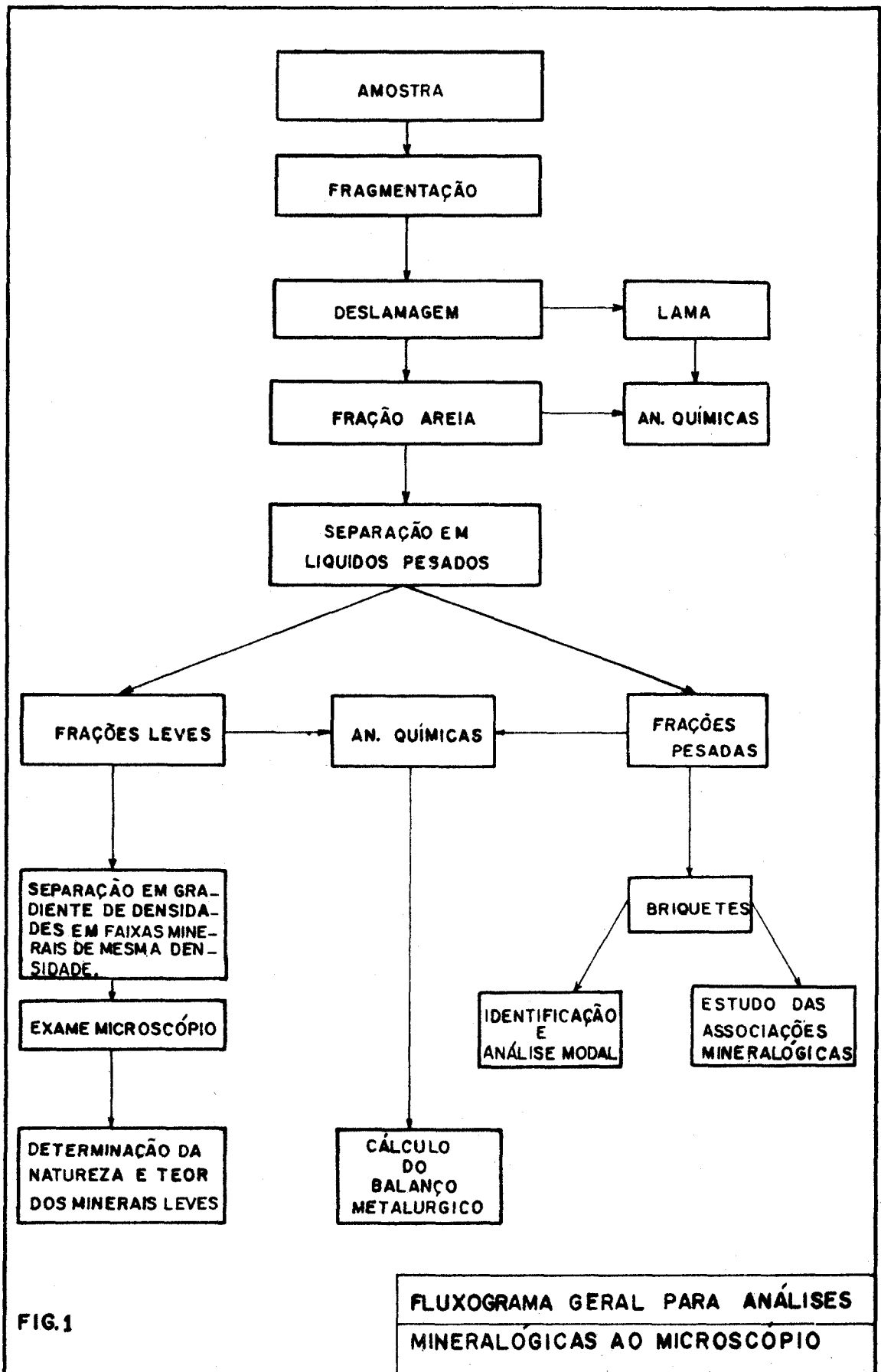


FIG.1

FLUXOGRAMA GERAL PARA ANÁLISES
MINERALÓGICAS AO MICROSCÓPIO

I - FRAGMENTAÇÃO

A amostra trazida até o laboratório, considerada como representativa do minério em estudo, é devidamente fragmentada e separada em diferentes frações granulométricas.

Conforme a variedade e o tipo dos minerais constituintes da amostra, pode-se visualizar a tendência de alguns minerais, em se concentrarem nas determinadas faixas granulométricas preferenciais.

Sempre que for possível é aconselhável deslamar todo o material nas suas diversas frações.

Cada fração granulométrica é examinada detalhadamente, acompanhada de análises percentuais de todos os minerais presentes (análise modal).

Na maioria dos casos, para facilitar a identificação e avaliação quantitativa dos constituintes minerais, são recorridas certas técnicas. Entre elas, salientamos a separação de minerais de densidades diferentes pela utilização de líquidos densos.

Os líquidos pesados mais usuais em laboratório são:

nome	fórmula	peso específico (g/ml à 20°C)
glicerol	$C_3H_5(OH)_3$	1,475
tetracloreto de carbono	CCl_4	1,590
solução de cloreto de zinco	$ZnCl_2$	1,800
solução de cloreto de sódio	$NaCl$	2,1-2,2
bromofórmio	$CHBr_3$	2,890
tetrabrometano	$C_2H_2Br_4$	2,964
iodeto de metilênio	CH_2I_2	3,325
solução de clerici	(*)	4,280

* mistura de malonato de tálio com formiato de tálio.

II - ANÁLISES MINERALÓGICAS QUALITATIVAS

As determinações mineralógicas, dependendo da granulometria, são feitas utilizando ou a lupa binocular (10-65 malhas), e a partir de 65 até 150/200 malhas, confeccionam-se lâminas delgadas de grãos e são estudadas no microscópio polarizante.

São examinadas todas as propriedades ópticas e demais aspectos marcantes dos minerais, que porventura poderão influenciar no beneficiamento.

Observam-se com detalhes as associações mineralógicas, seus inter-relacionamentos, espécies minerais englobando outras, crescimentos simultâneos de dois ou mais tipos diferentes de minerais, presença de micro inclusões, tipos de alterações e grau de intensidade destas alterações, microfaturas e linhas de clivagens preferenciais. (3)

Vale ressaltar que, durante as diferentes etapas do estudo de beneficiamento, é muito comum a utilização de lâminas delgadas de grãos. Isto não só ajuda no controle do processo estudado, como também fornece dados para uma melhor avaliação dos resultados desejados. (4)

Essas lâminas delgadas são de confecção simples e podem ser feitas no momento em que se realiza o estudo ao microscópio. Consiste em espalhar numa lâmina de vidro, o mais uniformemente possível, uma quantidade representativa dos diminutos grãos, num meio líquido com índice de refração

conhecido. Tem-se usado com frequência o glicerol, um líquido não tóxico, com índice de refração baixo, $n_d = 1,475$ na temperatura de 20°C. Esta substância apresenta uma grande vantagem de ser solúvel em água, e permite assim recuperar, à posteriori, todas as lâminas e lâminulas utilizadas no estudo.

Num estudo de beneficiamento de cianita, proveniente de uma jazida localizada no estado de Minas Gerais, foi assinalado a presença de rutilo incluso e intimamente relacionado aos cristais desenvolvidos de cianita. Esse rutilo, sob a forma de micro-grãos, se distribuía nos prismas alongados de cianita, preferencialmente ao longo das linhas de clivagem e das fraturas. De posse dessas informações ficou caracterizado a dificuldade para se conseguir uma total purificação da cianita, mesmo moendo o minério até granulometrias muito finas.

Ficou também evidenciado, através desses estudos ao microscópio, as diversas fases de alterações da cianita (Al_2SiO_5) para os aglomerados micro-lamelares de pirofilita $H_2Al_2(SiO_5)_4$, onde foram observados cristais prismáticos de cianita alterando-se parcialmente para pirofilita nos bordos e ao longo de suas linhas de clivagens e fraturas.

III - ANÁLISES MINERALÓGICAS QUANTITATIVAS

Depois de identificados todos os minerais constituintes de uma amostra, é possível qualificá-los através de análises modais, permitindo inferir a sua frequência na amostra total.⁽⁵⁾

Existem vários processos que possibilitam tais determinações, sendo um dos mais comuns aquele que consiste em tomar diversas porções representativas da amostra e por estimativas calcula-se empiricamente a percentagem de cada mineral.

Um outro método, bem mais preciso, é aquele onde se obtém uma contagem direta, utilizando lâminas delgadas de grãos. Estas são levadas ao microscópio e com o auxílio de um "contador-de-ponto" semi-automático é registrado a quantidade de cada um dos constituintes. Através de cálculos matemáticos, estes resultados são transformados em percentagens volumétricas e ou percentagens volume-peso.

Além de fornecer dados mais ou menos seguros quanto à frequência dos minerais numa amostra, a análise quantitativa torna-se também em muitos casos, bastante eficiente quando são assinalados diferentes tipos de minerais numa amostra e que contém entre eles o mesmo elemento químico.⁽²⁾

Isto foi verificado no minério de cianita, que apresentava macroscopicamente cristais desenvolvidos e prismáticos de cianita - $Al_2O_3(SiO_4)$, aglomerados pirofiliticos -

$H_2Al_2(SiO_3)_4$, muscovita - $H_2KAl_3(SiO_4)_3$, aglomerados quartzosos, e em menor proporção, bandas irregulares e escuras de turmalina, opacos e micro-grãos de rutilo inclusos na cianita, etc. (6)

A figura 2. apresenta a composição modal do minério em questão, estimada a partir dos resultados obtidos através de separação em líquido denso e análises quantitativas.

Fig. 2 - Análise Modal do Minério de Cianita

Minerais	% em peso
Cianita	54,0
Pirofilita+Talco+Muscovita	21,5
Quartzo	15,0
Rutilo	2,9
Turmalina	2,1
Óxido de Ferro	1,4
Outros	3,1

IV - DETERMINAÇÃO DO GRAU DE LIBERAÇÃO

Trata-se de uma das mais importantes fases de aplicação dos conhecimentos de mineralogia e microscopia no beneficiamento mineral.

Todos os processos de concentração de minerais são baseados na exploração das suas diferentes propriedades, e para poder responder com eficiência, esses minerais têm que estar conseqüentemente bastante individualizados.

A liberação está portanto, relacionada diretamente aos processos de britagem e moagem, uma das etapas de alto custo no beneficiamento. Por esta razão, faz-se com muito cuidado o estudo de liberação de mineral valioso da ganga, procurando inclusive evitar a formação dos finos, pois os mesmos se comportam com deficiência nos processos convencionais de beneficiamento.

Esta característica que o material muito fino apresenta é devida, principalmente, a baixa seletividade das partículas na maioria dos processos utilizados.

Existem diversas maneiras de obtenção do grau de liberação de um determinado mineral; sejam por processos físicos, manipulando os grãos em líquidos de densidades conhecidas, sejam por simples técnicas de microscopia.

Nos processos físicos, o material classificado nas diversas faixas é levado às colunas de gradiente de densidades. Dependendo do peso específico de cada mineral, este,

quando totalmente liberado, irá se agrupar na coluna, em bandas, com os limites bem definidos e diretamente relacionadas à densidade do líquido.⁽⁷⁾

Pela microscopia, pode-se também estimar aproximadamente a fração granulométrica onde se terá uma melhor liberação. Este método consiste em medir, ao acaso, os diversos tamanhos de um maior número possível de grãos do mineral minério, usando técnicas normais de medidas ao microscópio, a través de secções delgadas e polidas da rocha mineralizada.

Esse tipo de cálculo normalmente não determina, com exatidão, o grau de liberação, quando observado em material triturado e homogeneizado; pois sabe-se que a performance desses minerais com relação ao quebramento é muito ligada ao tipo de textura da rocha, aos planos de clivagem e fraturas, às alterações para minerais secundários, etc.

Em geral, utiliza-se muito no laboratório, o método criado pelo Prof. Gaudin que, com auxílio da lupa binocular e ou do microscópio polarizante, calcula-se o grau de liberação de um mineral, distribuído nas suas diversas frações previamente separadas.⁽⁸⁾

Em resumo, este método consiste em tomar diminutas porções da amostra representativa de uma determinada fração, individualizar o mineral-minério e anotar todos os grãos liberados e os mistos.

Com os resultados dos cálculos de liberação, são construídas curvas que permitem visualizar a tendência dos

minerais, em se tornarem livres dos demais, nas frações granulométricas preferenciais.

No decorrer de trabalhos práticos, para efeito do cálculo do grau de liberação de alguns minerais, verificou-se a importância que se deve ter para conseguir quantidades de amostra que sejam realmente representativas, possibilitando assim melhores resultados.

Como exemplo de aplicação de método do Prof. Gaudin na determinação do grau de liberação, apresentamos os resultados obtidos nas amostras de rejeitos de scheelita, provenientes das minas de Barra Verde e Zangaralha - RN, cujas determinações foram feitas utilizando a "mineralight" com a lupa binocular e a "mineralight" com o microscópio polarizante.

Na amostra oriunda de Barra Verde, (0,07% de WO_3), pelo estudo microscópico nas frações granulométricas de 65 M e 100 M, foram identificados os seguintes minerais, com suas percentagens aproximadas: calcita (55%), granada (20%), epidoto (15%), quartzo (5%), biotita e opacos (5%), e em quantidades irrisórias a presença de diminutos grãos de scheelita.

A determinação do grau de liberação, estudando diversas faixas granulométricas (14 a 65 malhas), indicou que, na fração de 48 malhas, 91% desses grãos de scheelita se encontravam livres dos demais minerais da ganga. (Veja fig. 3).

No material proveniente da mina Zangaralha - RN

(teor de 0,09% de WO_3), a composição mineralógica feita nas diversas frações granulométricas, mostrou os seguintes minerais, com suas percentagens aproximadas: biotita (60%), quartzo (25%), feldspatos (15%), granada (5%), e em quantidade irrisória a calcita, scheelita, turmalina e zircão. (Veja fig. 4).

Os resultados obtidos no estudo do grau de liberação nas frações granulométricas de 20 a 100 malhas, evidenciaram a Scheelita totalmente liberada abaixo de 65 malhas. (Veja Fig. 4).

Fig. 3 - Mina Barra Verde - RN
Composição Mineralógica-Modal e Grau de Liberação

Análise Mineralógica - Modal

Calcita	55%
Granada	20%
Epidoto	15%
Quartzo	5%
Biotita e Opacos	5%
Acessórios (diminutos grãos de Scheelita)	

Grau de Liberação

M a l h a s	% de Scheelita Liberada
14	-
20	37,5%
28	50,5%
35	86,2%
48	91,9%
65	100,0%

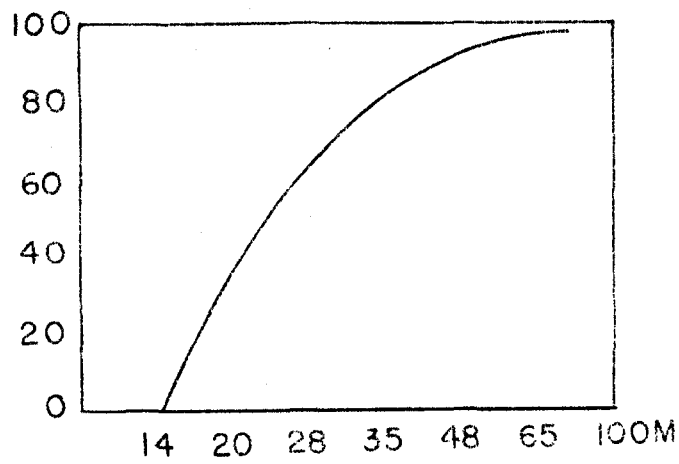
Fig. 4 - Mina Zangarelha - RN
Composição Mineralógica-Modal e Grau de Liberação

Análise Mineralógica-Modal

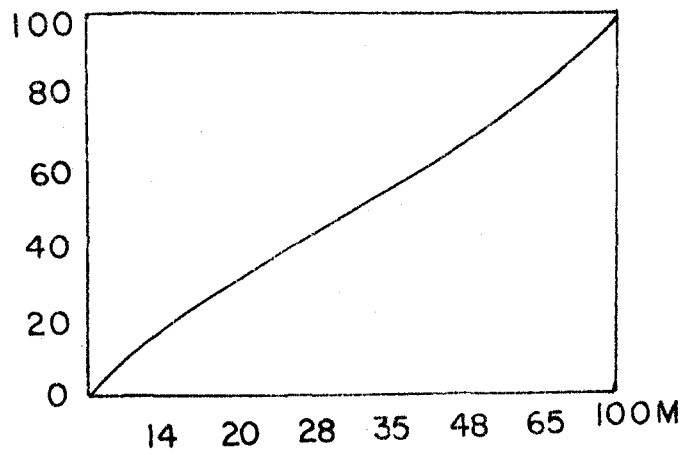
Biotita	55%
Quartzo	25%
Feldspato	15%
Granada	5%
Acessórios (calcita, scheelita, turmalina, zircão)	

Grau de Liberação

M a l h a s	% de Scheelita Liberada
20	37,03%
28	41,66%
35	54,35%
48	61,53%
65	74,07%
100	100,00%



CURVA DE LIBERAÇÃO DA SCHEELITA
MINA BARRA VERDE - RN



CURVA DE LIBERAÇÃO DA SCHEELITA
MINA ZANGARELA - RN

VI - FOTOMICROGRAFIA

A fotomicrografia é uma técnica bastante usada em caracterização mineralógica, servindo para documentar fenômenos particulares e ou condições peculiares dos minerais observados. (9)

No decorrer dos estudos mineralógicos por microscopia bem como nas diferentes fases do beneficiamento quase sempre aparecem interessantes combinações mineralógicas e fenômenos marcantes, não raro bastante sutis e que mesmo uma descrição precisa não reproduz em palavras a realidade de tais observações. (10)

Com auxílio de uma máquina fotográfica, acoplada ao microscópio, podem-se tirar fotomicrografias e diapositivos que ilustram e esclarecem certos problemas existentes com os minerais num determinado beneficiamento.

Como aplicação imediata dessa técnica foram tiradas fotomicrografias de amostras, colhidas nas diferentes fases da digestão de uma rocha fosfática, através de acidulação. (11) Teve como objetivo estudar o crescimento dos cristais de gipsita formados desde a fase de ataque até a digestão completa dos minerais fosfáticos. (11)

Nesse particular a fotomicrografia revelou-se de fundamental importância. Além do tamanho dos cristais de sulfato de cálcio, estudou-se qual a variação no "habitus" e a velocidade de crescimento dos cristais.

O ensaio de acidulação durou 5 horas e 25 minu -

tos e em cada etapa da reação foram confeccionadas lâminas delgadas com material retirado dos reatores e fotomicrografados.

Nas figuras (5 - 8) são mostrados alguns aspectos importantes observados durante o teste, com o aparecimento e o crescimento relativo dos cristais de gipsita.

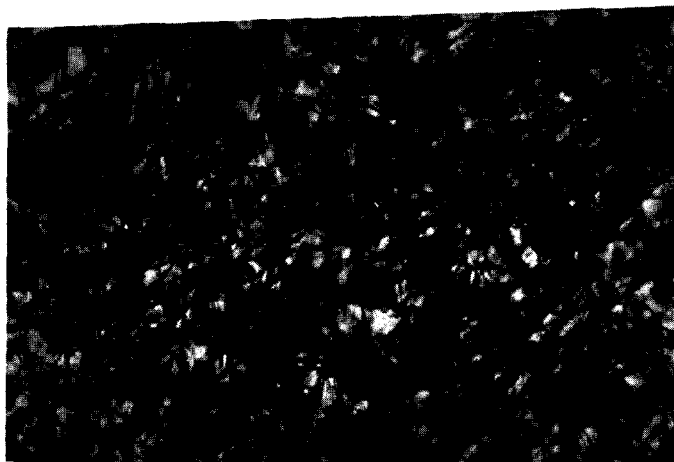


FIG. (5) - Cristais de gipsita acicu-
lares em início de forma-
ção.



FIG. (6) - Cristais de gipsita em
formação, prismáticos e
geminados.

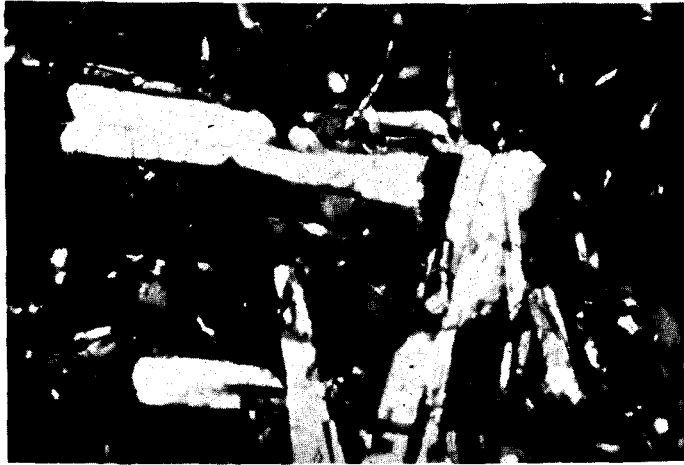


FIG. (7) - Prismas desenvolvidos de gipsita.

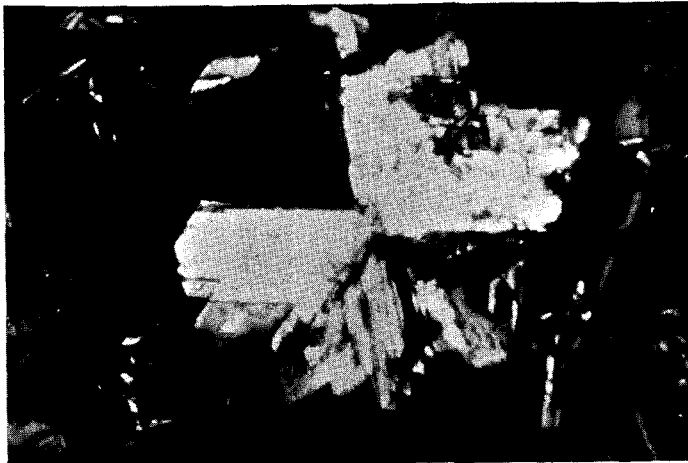


FIG. (8) - Cristal desenvolvido de gipsita e com geminação do tipo "cauda-de-andorinha".

AGRADECIMENTOS

O autor agradece ao Dr. Adão Benvindo da Luz e ao Dr. José Farias de Oliveira pelas sugestões ao presente trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) - OLIVEIRA, J.F. - PORPHÍRIO, N.H. - "Mineralogia Aplicada ao Tratamento de Minérios" - VII Simpósio de Geologia do Nordeste - Campina Grande - Pb - 1977.
- 2) - MULLER, L.D. - HENLEY, K.J. - BENJAMIN, R.E.K. - "Applied Mineralogy in Tin Ore Beneficiation" - Warren Spring Laboratory - Paper given to 2nd. Technical Conference in Tin Bangkok - Nov. 1969.
- 3) - DANA, E.S. - "A Testbook of Mineralogy" - John Wiley & Son, Inc. - 4a. Ed. - 1932.
- 4) - PARFENOFF, A. - POMEROL, C. - TOURENQ, J. - "Les Minéraux en Grains - Méthode D'Étude et Détermination" - Masson Et Cie. Editeurs - Paris - 1970.
- 5) - HAUSEN, D.M. - "Gross-Count Method of Microscopic Quantification" - Society of Mining Engineers, AIME -Vol. 252 - USA - 1972.
- 6) - ARAYA LUCO, T.H. & MASSON, I.O. - "Projeto Flotação de Cianita de Minas Gerais" - Ministério de Minas e Energia. - Convênio DNPM/CPRM - Rio de Janeiro - 1977.
- 7) - MULLER, L.D. and BURTON, C.J. - "The Heavy Liquid Density Gradient Column and its Application in ore Dressing Mineralogy"- Eighth Commonwealth Mining and Metallurgical Congress - Paper nº 49 - 1965.

- 8) - GAUDIN, A.M. - "Principles of Mineral Dressing" -Mc Graw-Hill, New York and London - 1939.
- 9) - KODAK Scientific Publications - "Photography Through the Microscope" 5a. Ed. - Rochester, NY - 1970.
- 10) - CALDWEL, E.P. - "Color Photograph Vividly Spotlight the Problem" - Mineral Dressing Notes - American Cyanamid Company - New York - pag. 4 - 1959.
- 11) - D'ALVEAR, R.L. - "Acidulação de Rochas Fosfáticas" - Ministério de Minas e Energia - DNPM - Anais do I Seminário Brasileiro de Tecnologia Mineral. - Poços de Caldas - MG - pgs. 23/28 - 1977.