UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E ASTRONOMIA

**Mineralogia da Mina de Cobre Santa Blandina,
em Itapeva, Estado de São Paulo**

DEDALUS - Acervo - IGC

30900007890

ORIENTA 94.

PROF. DR. WILLIAM S. R. DE C. MARGO

TESE DE DOUTORAMENTO

APRESENTADA AO IGA-USP

Moacyr Rabelo de Arruda

1971

MINERALOGIA DA MINA DE COBRE SANTA BLANDINA,
EM ITAPEVA, ESTADO DE SÃO PAULO

Í N D I C E

Página

RESUMO	ii
INTRODUÇÃO	
Generalidades	1
Trabalhos anteriores	4
GEOLOGIA	
Geologia regional	8
Geologia local	12
MINERALOGIA	
Metodologia	22
Generalidades	30
Minerais hipógenos	37
Minerais supérgenos	49
Minerais de origem metamórfica	131
PETROGRAFIA	151
GÊNESE DO DEPÓSITO	168
AGRADECIMENTOS	173
BIBLIOGRAFIA	176
ÍNDICE DE MINERAIS E ROCHAS	180

RESUMO

Este trabalho pretende contribuir para o conhecimento da gênese da Mina de Cobre Santa Blandi na (situada a 10 km a sudoeste da cidade de Itapeva, Sul do Estado de São Paulo) através do estudo da associação mineralógica presente na jazida e da geologia local, inclusive com algumas observações sobre a litologia.

A Mina é constituída por um vieiro com direção N-40-E, mergulhando cerca de 50° NW, encaixado em metassedimentos calcossilicatados (gorutubito) pertencentes ao Grupo Assungui - antiga Série ou Grupo São Roque - do pré-Cambriano Superior, associados a filitos e mármore. Um grande dique de diabásio, com 30 m de espessura, corta-o na direção N-18-W, com mergulho de 65° SW; outros pequenos corpos básicos intrusivos existem na área. A sudeste da Mina aflora um estoque de granito, ou apófise, intensamente fraturado e milonitizado, que teria sido a fonte dos flúidos magmáticos mineralizantes. Uma faixa de alguns metros acima e abaixo do vieiro foi intensamente escarnitizada antes da mineralização cuprífera, com desenvolvimento de microclínio através de fraturas e outras aberturas da encaixante. Os minerais primários seriam a calcopirita - em quantidade predominante - a pirita e possivelmente a bornita em pequenas quantidades, depositados juntamente com quartzo e epidoto, este tardiamente. A deposição primária ocorreu em fraturas da rocha, mas o metassomatismo foi o processo mais intenso, com a remoção de grande porcentagem dos constituintes da rocha, principalmente os carbonatos do mármore encaixado na jazida e os calco-silicatos dos metassedimentos, e conseqüente ocupação dos espaços pelos sulfetos e silicatos primários.

A conformação topográfica local deu oportunidade para que o diabásio funcionasse como uma bar

ragem natural às águas subterrâneas, facilitando a in tensa oxidação dos sulfetos e formação de sulfetos se cundários (bornita e calcocita), carbonatos (malaquita e azurita), silicatos (crisocola e outros materiais si licatados coloidais), sulfatos (antlerita e brochantita), fosfatos (cornetita, libethenita e pseudomalaquita), óxidos (goethita e outros hidratados de ferro e cuprita), bem como outros materiais de alteração cons tituídos por misturas de diversos minerais (argilas, óxidos hidratados e colóides).

O estudo consistiu na determinação das propriedades físicas dos minerais (côr, brilho, traço, dureza, pêsso específico relativo, clivagem, fratura e hábitos), das suas propriedades ópticas sob luz trans mitida (transparência, pleocroísmo, caráter axial, si gnal óptico, índices de refração) e sob luz refletida - no caso dos opacos -, do seu comportamento em Análise Termo-Diferencial, bem como na determinação da composi ção química dos principais minerais da jazida.

Todos os minerais encontrados tiveram a sua identificação confirmada por difração de raios X - diversos métodos -, sendo que em relação a alguns (granadas) foi feita a determinação do parâmetro da ce la unitária. As granadas tiveram a sua composição quí mica estudada por método recém desenvolvido nesta Universidade, sendo que alguns minerais e materiais de di fícil caracterização mereceram estudo específico com aplicação do espectro de absorção de raios infravermelhos.

INTRODUÇÃO

GENERALIDADES

A Mina de Cobre Santa Blandina dista, em reta, 10 quilômetros a sudoeste da cidade de Itapeva, sede do município do mesmo nome, situado na parte sul do Estado de São Paulo.

O local da Mina é atingido através de estrada particular que tem início no Km 294 da estrada de rodagem que vai de Itapeva a Apiaí, via Ribeirão Branco, no rumo sudeste.

Fig. 1 - Situação da área.

A jazida foi descoberta em 1941, sendo a única, entre diversas ocorrências de minerais de cobre existentes neste Estado, que tem expressão econômica. A concessão de lavra da Mina foi outorgada a João Baptista Anhaia de Almeida Prado pelo Decreto nº 18 580, de 10/5/1946 e vem sendo lavrada a céu aberto, por desmonte a partir de 5 níveis, os quais avançam ao longo da zona mineralizada (Foto 1), que é composta essencialmente de minerais oxidados de cobre, com quantidades subordinadas de sulfetos primários e secundários remanescentes no núcleo da zona oxidada. Os níveis de desmonte, com as cotas 718 m, 728m, 735 m e 740 m, são conhecidos com os nomes de nível 1, 2, 3 e 4, respectivamente, sendo que o de cota 710 m, iniciado neste ano, é chamado "nível zero".

A jazida é um vieiro camada, inclinado, encaixado em um escarnito e cortado quase transversalmente por um espesso dique de diabásio que atravessa, também, um estoque granítico situado a pouco mais de uma centena de metros a sudeste.

Mineralogicamente a ocorrência era conhecida de maneira superficial, sabendo-se mais a respeito das rochas ali presentes do que dos minerais de interesse econômico. Também a geologia local era pouco conhecida, não havendo trabalho de detalhe sobre a extensão da ocorrência dos termos litológicos, sua atitude particular e a relação das mesmas entre si e com o minério.

Este trabalho, portanto, pretende iniciar o estudo sistemático da Mina de Cobre Santa Blandina, principalmente com a caracterização dos minerais que compõem o minério e a ganga e também com a assinalação dos pormenores geológicos presentes no local, bem como com a extensão do estudo petrográfico das rochas encaixantes e daquela ao redor da zona mineralizada.

O minério oxidado foi inicialmente tratado

Foto 1 - Vista geral da Mina Santa Blandina. 1º plano: Usina para tratamento do minério. 2º plano: centro: níveis de desmonte; esquerda: depósito de minério.

Foto 2 - nível 1 - As duas entradas da caverna e a parte central do vieiro separando-as.

Handwritten signature

por via úmida para obtenção de sulfato de cobre e posterior eletrólise, processamento que era feito em instalações-piloto ao lado da mina. Numa segunda fase o minério passou a ser incorporado - em Itapeva, em usina da Companhia Brasileira do Zinco, operada pela Laminção Nacional de Metais - ao concentrado cuprífero sulfetado trazido da Mina Camaquã (produzido pela Cia. Brasileira de Cobre, em Caçapava do Sul, Estado do Rio Grande do Sul) como integrante de processo metalúrgico de redução por carvão, em Forno Mace, para obtenção do metal, ainda com impurezas, para ulterior refino.

Atualmente o concessionário está processando o minério no local, por via úmida, e obtendo sulfato de cobre. Está prevista a instalação para o aproveitamento da parte sulfetada do minério pelo referido processo de redução e posterior tratamento eletrolítico.

O estudo desta jazida apresenta grande interesse por ser a única ocorrência brasileira de minerais de cobre ligada a processo magmático ácido, ou melhor, cuja gênese possa ser atribuída a um magma granítico. A jazida de Camaquã, já citada, é atribuída a magmatismo básico do tipo andesítico (Leinz, V. et Almeida, S.C., 1941) e a de Caraíbas, no Estado da Bahia, provém de rochas ultrabásicas do tipo piroxenítico (Leinz, V., 1948 e Coutinho, J.M.V. et Gomes, C. B., 1964).

TRABALHOS ANTERIORES

O primeiro pesquisador de Santa Blandina foi Barbosa, O. (1942) cujo relatório, que permanece inédito, foi elaborado para o Departamento Nacional da Produção Mineral.

Nesse trabalho Barbosa faz considerações geológicas regionais, onde reconhece as encaixantes co

mo da "série Assungui, constituída principalmente de calcários e filitos"... "intrometidas de granito, gabro e diabásio". Aborda aspectos particulares da geologia da jazida, inclusive supondo "alí existir um anticlinal, interessando a ponta SE do filão principal". Admite que as encaixantes formam "massa muito alterada de xistos Calabouço, que deveriam ser alí bastante calcíferos, pois que se transformaram completamente, em certos pontos, em granatito (grossularita cor de carne lavada)". Sobre a "mineralização até agora conhecida (20 m de profundidade)"... "consta essencialmente de malaquita, em certos pontos notando-se também cuprita vermelha e terras amarelas e pardas com cobre coloidal disseminado. Num testemunho de sondagem, notamos escassa calcopirita parcialmente limonitizada, e em dois outros pontos alguma pirita comum. A crisocola acompanha em certos pontos a malaquita, emprestando-lhe tom mais azulado". Adiante informa que "... não pudemos ainda encontrar a zona secundária de calcosina..." e que o "que se revelou até agora foi apenas a massa superficial de minério enriquecido por ação intempérica, isto é, a zona oxidada".

Afirma que "a jazida Santa Blandina se assemelha singularmente com os depósitos hoje famosos de Katanga, no Congo, e Rodésia do Norte..." e que na Mina de Itapeva "houve uma mineralização primária de calcopirita, com enriquecimento superficial por ação das águas vadasas dissolvendo o CO_2 atmosférico". Afirma, ainda, "que o gabro, ou o seu magma, tenha relação com a mineralização primária". O restante do relatório envolve atividades relativas às pesquisas que interessam apenas à Geologia Econômica.

Franco, R.R. (1958) compara o escarnito de Itapeva com o de Itaoca, descreve-o juntamente com o hornfels listrado, rochas cujo termometamorfismo atribui ao granito próximo, ao qual estariam em contato di

reto. A mineralização de calcopirita e bornita impregnando os escarnitos seria devida à fase hidrotermal do mesmo magma, concluindo que "a presença de feldspatos cálcio-sódicos e microclínio no "hornfels" é outro elemento que reforça a hipótese aqui levantada". Explica a ausência de wollastonita no "hornfels" pela presença de alumina e magnésia que proporcionaram a formação de grossulária e diopsídio, respectivamente". Admite como nula a ação do diabásio no metamorfismo das encaixantes da jazida.

Barbosa, R.A. (1960) apresenta fotomicrografias e a descrição de onze amostras de rochas obtidas de testemunhos de sondagem em dois locais próximos ao dique de diabásio (que chama de gabro) e distantes cerca de 500 m entre si, referindo-se sempre a escarnitos, xistos e mármore, não tendo encontrado hornfels.

Considera a escarnitização e a mineralização primária singenéticas e apresenta uma planta de localização das amostras.

Guimarães, D. (1961, pg. 225) faz referência superficial à existência de "uma jazida de cobre cujo protomineral é calcopirita", em Itapeva.

Abreu, S.F. (1962, pg. 427) apenas noticia a existência, em Itapeva, de "um veio atravessando o calcário da Série São Roque contendo minérios de cobre em elevada proporção".

Outros trabalhos anteriores, específicos sobre a geologia regional, são citados no capítulo correspondente.

PLANTA GEOLÓGICA DA ÁREA E ARREDORES DA MINA SANTA BLANDINA, ITAPEVA - EST. S. PAULO

GEOLOGIA POR A. J. Melfi, Modificado Por M. R. Arruda

LEGENDA

QUATERNÁRIO A ALUVIÕES
MESOZÓICO Db DIABÁSIOS
CARBONÍFERO AT ARENITO TUBARÃO

PRÉ-CAMBRIANO - Sup. Gr GRANITOS
POST. ASSUNGUI Ap APLITOS

(PRÉ-CAMBRIANO)
(SUPERIOR)
(GRUPO ASSUNGUI)

Go GORUTUBITOS,
Ca CALCÁRIOS ASSOCIADOS AOS GORUTUBITOS
Fi FILITOS E MICAXISTOS
Fi-ma MAGNETITA - FILITO

DESENHO RUFINO

ESCALA

G E O L O G I A

GEOLOGIA REGIONAL

Histórico

A região de Itapeva faz parte da Bacia do Rio Paranapanema e é formada pela porção mais sudeste do Estado de São Paulo que integra a Bacia do Rio Paraná, da qual aquela é tributária.

A primeira referência geológica à seqüência litológica hoje chamada de Grupo Assungui ou São Roque e que forma o substrato cristalino da região foi feita em 1805 por Martin Francisco, um dos irmãos Andrada e Silva, em sua "Viagem Mineralógica na Província de São Paulo, em 1805". Outra publicação de 1820, de José Bonifácio, assinala a "série xistosa assentada sobre sienito porfiroide, passando a granito" (in Paoliello, P.C., 1964 e Leinz, V. et Amaral, S.E., 1969, pg. 9).

Outras referências a essas rochas são dadas por Paoliello (1964) como as de Gonzaga de Campos, L.F. (1923) que lhes deu o nome de "série São Roque", de Leonardos, O.H. e Guimarães, D. (1931-1933), de Moraes Rego, L.F. (1937-1941), bem como as dos Mapas Geológicos do Estado de São Paulo editados nos anos de 1929, 1939 e 1947.

Em 1963 o Mapa Geológico do Estado de São Paulo editado pelo Instituto Geográfico e Geológico da Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, com a explanação que lhe acompanha (Bol. nº 41 do I.G.G.) acolhe a denominação de Série São Roque para aquelas rochas, colocando-as no "Pré-Cambriano Superior, por não existirem, ainda, elementos que permitam subdivisões" (pg. 37 do Bol. 41 do I.G.G.).

Por último, em um trabalho de Melfi, A. J. et al., (1964) é feita uma revisão completa de toda

a literatura sobre a até então chamada "Série ou Grupo São Roque", e, tendo em vista a continuidade litológica do Grupo Assunguá do Estado do Paraná com a Série ou Grupo São Roque do Estado de São Paulo, bem como a prioridade cronológica do primeiro nome sobre o segundo, adota o primeiro para toda a sequência.

O complexo cristalino do Grupo Assunguá é recoberto, nos espigões e partes altas em geral da região, por rochas sedimentares que foram estudadas primeiramente, em 1889, por Gonzaga de Campos, L.F. (Guimarães, D., 1964, pg. 336), quando foram admitidas de idade devoniana e ligadas aos arenitos que se estendem até às proximidades de Curitiba e que receberam, depois, o nome de Formação Furnas.

Pacheco, J. (in Washburne, C., 1930) concordou com a datação de Gonzaga de Campos, mas Oliveira, E. et Moraes Rego, L.F. (in Petri, S. et Fulfaro, J.V., 1967) duvidaram dessa idade, preferindo atribuir idade de permo-carbonífera para essas rochas. Mesmo assim elas continuaram sendo consideradas devonianas (Mapa do I.G.G., 1963, Guimarães, 1964), até que Petri et Fulfaro (1967), seguindo novos afloramentos constituídos pelos cortes recentes de novas estradas, conseguiram solucionar a controvérsia, restringindo os arenitos devonianos, na Região ao Sul de Itapeva, apenas aqueles expostos a oeste do espigão divisor dos rios Tamanduá e Taquari-Guaçu (ambos com rumo S-N) até a uns 3 Km da confluência desses dois rios. Segundo esses mesmos autores, a oeste do Rio Taquari-Guaçu as rochas devonianas da Formação Furnas afloram nas partes baixas, sobre o embasamento cristalino Pré-Devoniano, estando cobertas, em muitos espigões, pelas rochas permo-carboníferas do Grupo Tubarão, sendo que a leste do Rio Tamanduá (região da Mina Santa Blandina) as partes altas, quando cobertas por arenitos, o são pelas rochas do Grupo Tubarão, as quais se assentam diretamente sobre o embasamento pré-Devoniano.

Fisiografia

A região onde se situa a Mina Santa Blandi na apresenta, nas partes altas, superfícies levemente onduladas, quase planas, formadas pelo capeamento de rochas sedimentares, principalmente arenitos. As partes baixas são sensivelmente acidentadas, apresentando-se os flancos de morros com altas declividades.

Os contatos entre o cristalino e os sedimentos, nas encostas dos morros, apresentam altitudes muito semelhantes, denunciando uma antiga superfície de aplainamento anterior à sedimentação devoniana e permo-carbonífera, aplainamento êsse que deve ter exposto as rochas do Grupo Assunguã ou São Roque, aquelas que o Mapa Geológico do Estado de São Paulo, edição de 1963, classifica como do pré-Cambriano Superior e que Petri et Fulfaro (1967) chamam, cuidadosamente de "embasamento cristalino pré-Devoniano".

Êsse peneplano, em seguida sob atividade regressiva, foi recoberto pelos sedimentos devonianos em parte e pelos permo-carboníferos, tendo sido sujeito ao tectonismo eocretácico e, posteriormente, a um importante movimento epirogênico o qual deve ter afetado grande parte do Escudo Brasileiro, - senão êle todo - dando início a uma intensa fase erosiva que perdura até hoje. Em consequência a drenagem foi severamente aprofundada, remanesecendo uma superfície intensamente dissecada, tendo como morros as rochas mais resistentes (quartzitos, metassedimentos calcosilicatados, calcários, etc.) ou aquelas partes ainda cobertas pelos arenitos (Furnas a Oeste e Tubarão ao Norte e a Leste) que resistem à erosão devido ao fato dêstes formarem lajeados bem consolidados, como salientam Petri et Fulfaro (1967).

O coletor das drenagens da região é o Rio Taquari-Mirim, o qual, em algumas partes, mostra per.

fil parcial maduro, sôbre sedimentos recentes, devido a níveis de base locais formados por soleiras de diabásio, na maioria dos casos.

As demais correntes fluviais e as drenagens secas apresentam perfis ainda jovens, com a erosão em franco desenvolvimento. Em linhas gerais, entretanto, a drenagem é controlada pelas estruturas rochosas subjacentes, que lhe emprestam aspecto retangular, havendo padrões de drenagem, mais locais, com outros aspectos.

Os bordos mais altos dos vales principais geralmente são formados por escarpas no arenito, as quais são muitas vêzes abruptas e em alguns locais formam blocos separados do paredão, separação essa causada pela erosão preferencial nas juntas e diáclases do arenito.

Estratigrafia

Não há possibilidade, com os elementos colhidos em região relativamente pouco extensa, de contribuir para o melhor conhecimento da seqüência metasedimentar do embasamento cristalino no sudeste de São Paulo. Tampouco é possível acrescentar algo aos trabalhos de caráter mais geral abrangendo também os sedimentos que hoje servem de substrato às superfícies plásticas modeladas pelo ciclo erosivo que se desenvolve.

A observação mais importante a registrar é sôbre os arenitos que podem ser vistos nos cortes da estrada que conduz à Mina, a partir da Estrada Itapeva-Ribeirão Branco, (Km 294), que são róseos, coincidem nos demais detalhes com os arenitos do Grupo Tubarão descritos por Petri et Fulfaro (1967) e que, estratificados horizontalmente, assentam-se diretamente, em evidente discordância angular, sôbre o embasamento crist

lino pré-Devoniano que se acha fortemente inclinado.

Este fato permitiu modificar levemente a coluna estratigráfica estabelecida por Melfi (1964) que estudou a geologia das áreas ao redor da Mina de Cobre Santa Blandina, ocasião em que considerou os arenitos aí aflorantes como da Formação Furnas quando, como já foi visto, são do Grupo Tubarão.

Assim, a coluna estratigráfica local seria conforme demonstrada à página 13.

O mapa geológico da Fig. 2 é uma parte da da quele que foi levantado a partir de fotografias aéreas - com contrôlê de campo - por Melfi (1964) e contém al gumas alterações que decorreram dêstes estudos. Tais mo dificações resultam de observações levadas a efeito na área mais próxima à Mina e dizem respeito, principal mente, à locação de alguns contatos litológicos entre os têrmos do Grupo Assunguí ali presentes.

GEOLOGIA LOCAL

Aspectos Gerais das Zonas Mineralizadas

O vieiro cuprífero principal tem a forma de camada e acha-se encaixado em metassedimentos rítmicos calcossilicatados, que Geoffrey, P.R. e Santos, T.D.S. (1942) chamaram de gorutubitos. Estas rochas, compos tas por camadas claras e escuras em alternância, apre sentam predominância de silicatos de cálcio nas partes claras e anfibólios nas escuras.

Nos contatos com o vieiro o metassedimento sofreu escarnitização, com o intenso desenvolvimento de granadas andradita e grossulária em uma orla metamorfi zada de mais de 5 m de espessura, em alguns locais.

Capeando o gorutubito existe uma lente de filito composto de quartzo e sericita, rico em porfi roblastos octaédricos de magnetita, submilimétricos, mine

Litologia	Coluna Melfi	Coluna Modificada
Sedimentos recentes (Aluvião)	CENOZÓICO Quaternário	CENOZÓICO Quaternário
Diabásios	MESOZÓICO Cretáceo	MESOZÓICO Cretáceo
Arenitos	PALEOZÓICO Devoniano (Furnas)	PALEOZÓICO Carbonífero (Tubarão)
Granitos, aplitos e pegmatitos	PRÉ-CAMBRIANO Superior	PRÉ-CAMBRIANO Superior
Gorutubitos, escarnitos, calcários, filitos e micaxistos	Superior (Série São Roque)	Superior (Grupo Assunguĩ)

ral êste que também pode ser encontrado em uma faixa reduzida do gorutubito que precede a lente de filito. Esta lente, por sua vez, é capeada por espêsso pacote de gorutubito onde, em uma faixa de alguns metros de largura, também são encontrados octaédros de magnetita.

A lapa dêsse vieiro é constituída também pelo escarnito, o qual passa ao epídoto-sericita-xisto descrito por Barbosa (1960), estando êste último têrmo em contato com um pequeno estoque ou apófise de granito.

A principal zona mineralizada, com forma de vieiro camada, tem direção concordante com as encaixantes e possui espessura máxima nas proximidades do posante dique de diabásio que a corta quase transversalmente. Para sudoeste o veio se adelgaça, passando da espessura de quase 30 m para pouco mais de 2 m no extremo SW pesquisado.

O espessamento do vieiro se deve, certamente, à presença de uma lente calcária encaixada no mesmo, a qual, por suas características químicas e físico-químicas, deve ter facilitado a mais intensa deposição primária do minério. Por outro lado, como já acen tuara Barbosa (1942), o dique de diabásio, por sua situação topográfica à meia encosta do morro da Mina e transversal à direção do movimento das águas subterrâneas, agiu como uma barragem natural para as mesmas, proporcionando o mais extenso contato do minério com as águas meteóricas ricas de gases e, conseqüentemente, dando maior extensão à zona oxidada do vieiro.

A extremidade SW do afloramento do vieiro principal, no local chamado Caruru, apresenta as camadas com direção N-20-E, mergulhando 78° - NW. Um dique de diabásio com 5 a 12 cm de espessura corta as camadas com direção E - W, mergulhando 70° para S. Os minerais de cobre também são a malaquita e crisocola em crostas, vênulas ou recheando outras cavidades, bem

como raros núcleos de bornita e calcocita remanescente em alguns pontos. A ganga compõe-se de quartzo, epídoto e limonita, além dos minerais metamórficos da encaixante, onde existe tremolita, outros anfibólios e piroxênios.

Há um outro afloramento cuprífero a menos de 100 m a Leste do vieiro principal, chamado Filão do Juvenal, com o mesmo característico de camada, mas com direção N-25-E, diferente da direção geral e mergulhando pouco mais de 20° para NW. Neste ponto o acamamento do gorutubito mostra direção N-15-W (mergulho de 85° para NE) estando em direção quase normal à do pequeno vieiro do Juvenal, sendo de se concluir que, aqui, a mineralização se deu através do fraturamento secundário ortogonal à direção principal do sistema de falhas, cujo plano é representado pela falha ocupada pelo grande dique de diabásio.

A mineralização primária remanescente neste local é representada apenas pelo quartzo leitoso com inclusões de prismas de epídoto e grande quantidade deste último mineral em grãos ou maciço. Os minerais de cobre presentes são pequenas massas de calcocita e os oxidados, isto é, malaquita e crisocola, estas em crostas superficiais e em vênulas milimétricas a centimétricas, ocupando as fissuras e fraturas da rocha; crostas e vênulas de limonita se intercalam com os outros minerais. Um pequeno afloramento de mármore dolomítico branco, situado a cerca de 40 m a NE do Filão do Juvenal, mostra algumas manchas de bornita disseminadas irregularmente.

Mais dois afloramentos cupríferos estão assinalados a Oeste do vieiro principal, no Mapa da Fig. 3, formados por películas e vênulas de malaquita e crisocola em veios de quartzo com manchas de limonita. Tratam-se de ocorrências aparentemente sem maior expressão e que, por isso, não foram ainda pesquisadas.

Um extenso dique de diabásio com mais de 1 200 m aflorando na área estudada, corta-a na direção N-18-W; sua espessura é de cerca de 20 m até 35 m em alguns pontos e apresenta mergulho de 65° para o Sul.

O dique atravessa as camadas estratigráficamente superiores da área, intercepta a principal camada mineralizada e as demais das encaixantes sob um ângulo de quase 60° com a direção de acamamento, indo alcançar os filitos mais inferiores, já fora da área estudada, depois de atravessar o corpo granítico já referido. Os únicos contatos razoavelmente livres do intemperismo são visíveis na zona de exploração do vieiro, onde o dique mostra faixa de cerca de 3 m com disjunção colunar e, a encaixante, uma orla de alguns centímetros com leve diferença de tonalidade, denunciando a pequena ação pirometamórfica de contato.

Existe outro dique de diabásio, antes não registrado, e que corta o granito a sudeste da área da mina. A extensão do afloramento, que pode ser medida no barranco Oeste de uma estrada interna recém aberta sobre um velho caminho, é de 36 metros. A direção exata desse dique não foi determinada por motivo da cobertura de solo - razão porque a espessura medida pode ser apenas aparente - mas parece que ela é normal à do grande dique que corta a mina, o que indica uma provável intersecção dos dois corpos intrusivos.

A lente de mármore existentes na área da mina está encaixada no próprio vieiro (Foto 3), mas grande parte dos seus constituintes foi removida por processo de dissolução, resultando uma caverna de razoáveis proporções (atualmente com dimensões máximas de cerca de 4 metros de altura, 5 metros de largura e 5 metros de comprimento, sendo visíveis aberturas que devem se comunicar com outros compartimentos além. (Foto 2). As paredes, o teto e a superfície do chão são bem ornamentados por minerais secundários de cobre e de ferro, nas

formas de estalactites, estalagmites, superfícies mame_lonares, reniformes e botrioidais de coloração varian_do do verde da malaquita ao preto, com locais de diver_sas tonalidades de vermelho dos óxidos de ferro hidra_tados.

Geologia e Tectônica

O levantamento dos contatos litológicos da área da mina teve como base mapa topográfico levantado a teodolito, na escala 1:500, com curvas de nível equi_distantes de 1 m. Posteriores reduções xerográficas forneceram o mapa da figura 3.

A direção geral das camadas e do vieiro é N-40-E, com variações locais desde N-25-E até N-75-W, mergulhando para NW desde 40 a 80°. Nas proximidades do dique de diabásio as camadas que formam o bloco su_doeste apresentam direções que se aproximam mais de WNW, dando a impressão de terem sofrido esforço hori_zontal rumo SSE, causado por movimento dos blocos atra_vés da falha ocupada pelo diabásio. Medições das cama_das do bloco a nordeste do dique ora confirmam a hipó_tese do rejeito horizontal e ora a contradizem.

Os contatos da extremidade da lente de mag_netita-filito a nordeste do dique de diabásio não pude_ram ser determinados com exatidão, mas um dos aflora_mentos, o de número 6/07, permite concluir que o movi_mento havido através da falha ocupada pelo dique resul_tou em um rejeito cuja componente horizontal teve no mínimo 30 metros, sendo que o bloco a sudoeste do di_que sofreu rejeito relativo para NNW e o de nordeste para SSE.

Não foram ainda conseguidos dados concluden_tes sobre o sentido da componente vertical do movimen_to relativo dos blocos a sudoeste e a nordeste do di_que de diabásio. Entretanto, na maioria dos casos de pequenas falhas onde o movimento relativo p_ode ser de

terminado, os blocos sudoeste sempre sofreram abaixamento em relação aos blocos nordeste sempre levantados. Embora êsse fato esteja de acôrdo com a hipôtese levantada por Barbosa (1960), a camada guia que foi escolhida por essa Autora (actinolita-escarnito) não deve ser a mesma nos dois locais das sondagens, pois isso levaria à conclusão de um rejeito vertical relativo superior a 300 m, o que não tem confirmação na posição topográfica atual da superfície pré-devoniana nos pontos ao redor da área da mina.

Pequenas falhas normais foram registradas em diversos pontos da área da mina, principalmente com direção NNW, que é a mesma da falha principal ocupada pelo dique de diabásio. Entretanto, outras pequenas falhas se apresentam com direção complementar, ou seja, ENE.

Êsse sistema de pequenas falhas estende-se por tôda a área da mina, inclusive no granito, onde foram medidas diversas com direção NNW e ENE, algumas delas com os respectivos planos preenchidos por quartzo leitoso.

Um suave anticlinal foi detectado na parte nordeste do vieiro principal, com eixo na direção noroeste e mergulho de aproximadamente 60° para noroeste. A parte sudoeste do vieiro forma um sinclinal também suave, com eixo mergulhando no mesmo sentido.

Localmente, as camadas pré-devonianas apresentam-se dobradas e falhadas, denunciando a sobreposição dos diversos diastrofismos que afetaram a área até a época da intrusão do magma básico, após o que não há registro de movimentos, pois o diabásio não apresenta sinais de cisalhamento.

Eventos Geológicos

Após a sedimentação dos atuais estratos cal co ssi li ca ta do s com intercalações de lentes ora cal c ã r i a s e ora quartzosas (conjunto que forma o tô p o do Grupo Assunguî ou São Roque - pr ê - Cambriano Superior), espesso pacote sedimentar deve ter se sobreposto aos mesmos por motivo de subsidência do então ge oss i n c l i n i o. O diastrofismo pr ê - Devoniano referido por Petri et Fulfaro (1967) teria metamorfizado as rochas hoje aflorantes e teria possibilitado a formação e intrusão do magma granítico causador do adernamento das camadas para noroeste. Esse mesmo magma teria fornecido as so lu ções hidrotermais que formaram o vieiro e que causaram a escarnitização dos pacotes c â lc i c o s próximos ao mesmo. Tal diastrofismo, causador do levantamento das camadas, seguido de um provável - mas não necessário - movimento epirogenético positivo pr ê - Devoniano e p ô s - Cambriano, teria possibilitado intensa erosão e, após uma fase de estabilidade, teria sido formada a su per f í c i e peneplanizada citada por Petri et Fulfaro (1967) e pelos mesmos chamada de superfície pr ê - Devoniana.

Esse peneplano, numa fase regressiva que te ria se prolongado desde o Devoniano até o Carbonífero - pelo menos - foi recoberto pelos sedimentos devonianos na parte mais a Oeste do local da jazida e pelos sed i men tos permocarboníferos na região e na parte mais a Leste.

O tectonismo p ô s - Tubarão na área teria sido intenso e teria possibilitado as extensas intrusões b â s i c as eocretácicas, tanto em novos falhamentos como por reavivação dos antigos, seguido de um longo período epi ro ge n é t i c o positivo, sem qualquer outro movimento tec t ô n i c o. A extinção ondulante em todos os cristais de quartzo observados em lâminas e inexistência de frat u ras no diabásio confirmam a idéia.

A fase erosiva então iniciada continua até nossos tempos, tendo sido a causa do profundo dissecamento regional já referido no capítulo da Geologia Regional, e causou a conseqüente reexposição do substrato cristalino pré-Devoniano.

PLANTA GEOLÓGICA DA MINA SANTA BLANDINA ITAPEVA - EST. SÃO PAULO

QUATERNÁRIO

A Aluviões

MESOZOICO

Db Diabásios

PRE-CAMERIANO-SUPERIOR

POST-ASSUNGUI

Gr Granito

Mineralização

GRUPO ASSUNGUI

Go Gorutubitos,

Ca Calcários associados aos Gorutubitos

Fi Filitos e Micaxistos

Fi-ma Magnetita-Filito

Sk Escarnito

LEGENDA

55 Atitude do Acomentamento

Contato litológico

Fossil Contato litológico

Estrada

NM NV

W-1000
Set./71

ESCALA
0 50 100
METROS

MINERALOGIA

METODOLOGIA

Amostragem

A amostragem inicial da zona mineralizada, para exame da associação mineralógica e orientação dos trabalhos futuros, foi feita no nível de desmonte com a cota de 728 metros, (o chamado "Nível 1"), por ser aquele que estava expondo os pontos mais profundos da jazida. Foi escolhida a zona que parece ser o núcleo do vieiro, constituída pela parte que separa as duas entradas da caverna (Foto 2), pelo fato de aí existirem diversos sulfetos associados a outros minerais claramente supérgenos, em mistura com grande quantidade de granada e materiais de alteração.

A segunda amostragem foi sistemática, abrangendo os quatro níveis de desmonte então em lavra, tendo a coleta sido procedida de metro em metro, na altura de um metro acima do piso de cada um dos níveis. Os pontos de retirada das amostras foram controlados com trena e bússola, a partir de linhas base com direção N-35-W - aproximadamente paralelas à direção geral das paredes de desmonte - tendo o ponto inicial da coleta recaído sempre no local mais oeste da parede, sendo também objeto dessa amostragem as rochas encaixantes mais próximas do vieiro, para estudo das possíveis alterações metassomáticas.

De cada uma dessas amostras foram retiradas 10 gramas de material que, depois de triturado e misturado, foi quarteado para a obtenção de amostras médias representativas de cada um dos quatro níveis de desmonte.

Outras amostras, principalmente de rochas, foram obtidas quando do levantamento geológico local, ob-

jetivando caracterizar as diversas litologias presentes.

Os demais afloramentos cupríferos, certamente associados à jazida estudada, foram visitados quando do levantamento geológico e acham-se assinalados no mapa, mas não foram amostrados com o mesmo cuidado, por suas reduzidas expressões.

Os diferentes minerais foram separados por diversos meios, principalmente com o uso de estiletes e espátulas de aço, obtendo-se amostras suficientemente puras para uso nas determinações seguintes.

Algumas amostras foram obtidas a partir de secções polidas, outras tiveram que ser tratadas por líquidos pesados (bromofórmio, solução de Clérici ou iodeto de metileno) para separação de impurezas minerais presentes.

Propriedades Físicas e Morfológicas

As propriedades físicas foram determinadas pelos métodos tradicionais, segundo o procedimento clássico na literatura.

Para o pêso específico foi usada principalmente a Balança de Westphal-Mohr, mas em alguns casos foi necessário o emprêgo de picnômetro com balança analítica (precisão de 0,0005 g). Foi utilizada, também, a solução de Clérici (Vassar, 1925) quando os grãos minerais obtidos, livres de impurezas, eram de massa insuficiente para aplicação de outros métodos.

A dureza dos exemplares foi determinada utilizando-se os padrões da Escala de Mohs. A côr, o brilho, a transparência e o hábito dos minerais estudados foram verificados sob lupa binocular. Para classificar o tipo de fratura e a existência de clivagens, foi usada a lupa binocular (aumento de até 32 vezes) e, em casos extremos, até o microscópio.

Microscopia

O estudo óptico foi executado em grânulos de minerais selecionados em peneiras de 80 a 100 "meshes", isto é, com diâmetro entre 0,177 e 0,149 milímetros, para aplicação do método de imersão (Larsen, 1921).

O índice de refração foi determinado servindo-se da bateria de líquidos Cargille, série M, com intervalos de 0,002 para os valores de índices de refração até 1,700, de 0,005 para os valores entre 1,700 e 1,800 e de 0,01 para os valores superiores a 1,800.

Para os demais exames sob luz transmitida foram confeccionadas lâminas delgadas pelo método manual, com montagem em bálsamo do Canadá, sintético.

Secções polidas

A montagem de amostras para exame sob luz refletida foi feita, em parte, mediante emprêgo de baquelite em pó, prensado a cerca de 422 Kg/cm^2 (6 000 lb/pol²) em Prensa Buehler, à temperatura de 130 a 150° C. Na maioria dos casos, porém, foi feita montagem a baixa temperatura (25 a 40° C) com mistura das substâncias plásticas poliéster e monômetro de estireno, segundo técnica divulgada por Cassedane, J. (1967).

O polimento foi feito na politriz rotativa Graton-Vanderwilt segundo a técnica descrita por Cameron, W.N. (1961), mas devido ao fato de os minerais de cobre apresentarem dificuldades para a obtenção de boas secções polidas com este método, foi dado acabamento final das mesmas na politriz vibratória Vibromet, da Buehler, durante cerca de 4 horas, usando como abrasivo o óxido de magnésio.

Difração de Raios X

Todos os minerais estudados tiveram a sua identificação confirmada por difração de raios X. A técnica mais extensamente usada foi a do pó, com filmes fotográficos em câmaras Debye-Scherrer de 114,6 mm de diâmetro ou a de 57,3 mm de diâmetro segundo Camargo, W.G.R. (1963).

Algumas identificações foram feitas com o auxílio do difratômetro Norelco, sempre que a quantidade de amostra disponível fôsse suficiente.

Em todos os casos de aplicação da difração de raios X, os dados obtidos foram cotejados com o fichário ASTM (1965) para identificação inicial das substâncias ou para confirmação dos resultados obtidos a partir de outros métodos.

Os diagramas de pó foram utilizados, também, para o cálculo de parâmetros das celas unitárias nos casos necessários.

Foi usada, ainda, uma câmara de grande versatilidade, a de Gandolfi, que permite a obtenção de diagramas, em filmes fotográficos, semelhantes aos obtidos com as câmaras de pó comuns, mas utilizando-se monocristais de dimensões reduzidas, de até poucos décimos de milímetro.

Nesta câmara o monocristal é montado na extremidade de um bastão de vidro, o qual sofre um movimento de rotação em torno de um eixo com posição não ortogonal ao caminho percorrido pelo feixe primário dos raios X. A esse eixo, por sua vez, é imprimido um movimento cônico, de tal forma que o monocristal, com esses movimentos, assume posições tais que permitem fornecer múltiplas reflexões aos raios X, tal como se tratasse de pó.

A utilização da câmara de Gandolfi permitiu a

obtenção de diagramas razoavelmente nítidos em alguns casos de minerais aparentemente amorfos, tal como a maioria das amostras de crisocola e algumas de malaquita desta jazida. Essa amorfização aparente havia sido sugerida pelos diagramas de pó anteriores, obtidos com as câmaras de pó comuns, segundo o desenho e técnica Debye-Scherrer.

Para estas últimas câmaras a amostra é preparada por trituração intensa em gral de ágata, até reduzi-la a grãos menores do que 0,074 milímetros de diâmetro (que passam em peneira de 200 "meshes"). Essa trituração, segundo Camargo (1965) pode provocar amorfização de alguns minerais, seja porque apresentem planos preferenciais segundo os quais se dão deslizamentos ou seja por uma cristalização incipiente facilmente destrutível.

Usando como corpo de prova um fragmento de cristal, a trituração é evitada e as raiais mais características podem ser registradas, como realmente o foram.

Na maioria dos casos a radiação usada foi a do Cu K α (1,5418 Å), em regime de 30 a 35 KV e 12 a 17 mA. O tempo de exposição do material aos raios X variou entre 8 a 32 horas, com cerca de 80% dos filmes obtidos com exposição de 23 horas.

Alguns minerais exigiram radiações diferentes, de comprimento de onda mais longos que as do cobre, devido ao fato de apresentarem as raiais dos respectivos diagramas muito próximas entre si. Nestes casos foram usadas as radiações Co K α (1,7902 Å) e a do Fe K α (1,9373 Å) as quais, por suas frequências menores, dão como resultado raiais mais distanciadas entre si e, conseqüentemente, maior poder resolutivo aos diagramas.

Espectrografia de Raios X

As análises para dosagem de elementos traço foram feitas no Espectrôgrafo Philips tipo PW-1310, de 2 KW de potência, tendo sido utilizadas, como fontes de excitação, as radiações do tungstênio e do molibdênio, policromáticas, dependendo do elemento químico pesquisado e das dificuldades provocadas pela presença de outros elementos nos diversos minerais das amostras médias de cada um dos quatro níveis de desmonte.

Estudo Térmico

Para o estudo térmico dos minerais que ocorrem na jazida foi utilizado o equipamento de Análise Termo-Diferencial montado por Arruda, M.R. (1968) e já suficientemente experimentado em algumas centenas de análises.

Referido equipamento é inteiramente manual, com milivoltímetro, pirômetro e variador de voltagem construídos ou adaptados por firmas especializadas de São Paulo.

O milivoltímetro é do tipo de eixos com mancais de safira e vai ligado ao circuito termo-diferencial do aparelho; é dotado de escala com cerca de 16 centímetros de extensão, dividida em 6 partes iguais correspondentes a 0,1 mV, cada uma das quais é subdividida em décimos, ou seja, em 0,01 mV. O zero da escala é excêntrico, estando colocado no ponto correspondente a 2/5 da escala. Uma chave inversora da polaridade da corrente fornecida pelos pares termo-diferenciais permite leituras na parte maior da escala por ocasião de picos exotérmicos intensos. Um sistema calibrado de resistências de amortecimento, pode ser inserido no circuito, quando a força eletromotriz produzida pelos pares termodiferenciais for superior à capa

cidade de registro do milivoltímetro.

O pirômetro, também do tipo de eixos com mancais de safira, vai ligado ao circuito determinador da temperatura do sistema e possui escala com capacidade de até $1\ 200^{\circ}\text{C}$, com subdivisões correspondentes a 10°C .

O variador de voltagem, do tipo "Variac", permite saídas de 0 a 120 volts, com entrada de 110 volts; possui potência de 1,5 quilovates e fornece a energia necessária ao forno de aquecimento do sistema.

O forno é do tipo vertical, com 8 ohms de resistência, a qual é constituída por fio Kanthal A-1 de 1,6 milímetros de diâmetro, enrolado em espiras com 1 centímetro de diâmetro. Essas espiras vão embutidas na parede refratária do forno, deixando um espaço cilíndrico útil de 7,5 centímetros de diâmetro.

Os minerais foram analisados em blocos porta-amostras construídos de níquel eletrolítico, sendo utilizados termo-pares de alumel-cromel. Para os minerais sulfetados foram utilizados porta-amostras de porcelana, sendo a amostra diluída com 70 a 95% de alumina calcinada a $1\ 250^{\circ}\text{C}$; êstes cuidados foram tomados para reduzir ao mínimo o ataque das partes metálicas pelos gases contendo enxôfre.

As amostras foram sempre trituradas até menos de 0,147 milímetros de diâmetro (partículas que passam em peneiras de 100 "meshes") e compactadas moderadamente no porta-amostras, os quais foram mantidos descobertos na maioria das análises, para facilitar a saída dos gases durante o aquecimento.

A razão de aquecimento das amostras foi sempre de 10°C por minuto, a partir da temperatura ambiente e até o máximo de $1\ 100^{\circ}\text{C}$, pois o equipamento não pode funcionar a temperaturas mais elevadas. Êsse limite, entretanto, é o mais utilizado, sendo suficiente para fornecer resultados para quaisquer comparações com

a maioria das análises disponíveis na literatura.

As curvas apresentadas foram devidamente corrigidas, não só pela subtração do "back-ground" característico de cada base utilizada para as análises, como, também, pelas correções da temperatura em que cada inflexão da curva teve lugar, necessárias devido à inércia característica do pirômetro integrante do equipamento.

Análises químicas

As análises químicas - por via úmida, métodos tradicionais - foram executadas no Laboratório de Química do Departamento de Mineralogia e Petrologia do Instituto de Geociências e Astronomia da Universidade de São Paulo.

Uma série de análises totais foi feita com as amostras médias de cada um dos quatro níveis de desmonte da jazida, para se conhecer aproximadamente o teor médio de cobre em cada nível, bem como as porcentagens dos outros óxidos presentes, objetivando controlar a presença dos minerais identificados e possivelmente de outros não detectados durante o exame manual das amostras.

Alguns óxidos (CuO , MgO , Na_2O , K_2O e MnO) foram dosados por meio do Espectrômetro de Absorção Atômica - marca Beckman, modelo DBG.

Outra série de análises foi feita com alguns dos minerais da jazida, para verificar a concordância com a literatura e para a obtenção, em alguns casos, de dados para a melhor caracterização de certos materiais cuja identificação estava apresentando problemas.

Espectrografia de absorção de raios infravermelhos

Os espectrogramas de absorção de raios infravermelhos de alguns dos minerais foram obtidos em equipamento Perkin-Elmer - Mod. 457 com grade de difração.

As amostras foram trituradas até partículas com diâmetro inferior a 0,037 milímetros (passando totalmente pela peneira de 400 "meshes") e, em seguida, misturadas e prensadas com brometo de potássio, a vácuo.

Nos espectrogramas acham-se assinalados dois pontos bem determinados e que correspondem aos picos do poliéster, a 1.601,4 (cm^{-1}) e a 1.028,0 (cm^{-1}). Os gráficos fornecidos pelo equipamento foram reduzidos, por método fotográfico, a menos de um quarto do seu tamanho normal, para possibilitar sua apresentação neste trabalho.

GENERALIDADES

A frente de lavra situada na cota de 710 metros - o nível zero, aberto recentemente - avançou pouco mais de 2 metros além do dique de diabásio, tendo menos de 5 metros de largura. Os minerais de cobre aí presentes são em maior parte a malaquita e a crisocola, as quais às vezes estão envolvendo pequenas massas de calcocita, outras vezes depositadas sôbre cristais de quartzo secundário ou ainda cimentando fracamente grãos de granadas, de óxidos hidratados de ferro e fragmentos de outros minerais, formando o que se convencionou chamar "malaquita terrosa". Massas verde-claro de brochantita impregnam restos da rocha encaixante contendo principalmente granada, material argiloso e ainda diversos óxidos hidratados de ferro.

O nível 1 é a frente de lavra mais antiga da

mina, onde o filão tem cêrca de 30 metros de espessura. O desmonte desenvolveu-se na cota de 718 metros, formando patamar amplo (Fotos 2 e 4) em cuja parede Sul estão situadas as duas aberturas da caverna. A parte que se para as aberturas parece ser formada pelo núcleo do filão que resistiu à intensa oxidação e contém principalmente bornita, calcopirita e calcocita, intercaladas de limonita e outros óxidos hidratados de ferro, grande quantidade de granada e material argiloso. Quartzo e epídoto alterado são os outros minerais da ganga. Malaquita e crisocola se intercalam em camadas de alguns centímetros a decímetros de espessura, mostrando as características superfícies mamelonares e reniformes, em certos locais recobertas por pseudomalaquita. Em direção à capa do vieiro, à direita da abertura Oeste da caverna, o veio não mais apresenta sulfetos e os minerais mais abundantes são a malaquita e crisocola em camadas; a malaquita terrosa e óxidos hidratados de ferro englobam os restos da encaixante e depois de cêrca de 3 metros atinge-se o escarnito menos alterado, impregnado de malaquita e crisocola. As soluções dêstes minerais, penetrando através do diaclasamento da rocha, caminham para o centro dos blocos, colorindo de verde e azul as diáclases (Foto 5) e individualizando cada bloco.

Para Leste, à esquerda da outra abertura da caverna, o minério assume aspecto nitidamente terroso, com zonas esverdeadas ou pardacentas e composto de malaquita terrosa, zonas ricas de brochantita e óxidos hidratados de ferro em mistura com o produto da decomposição do mármore dolomítico silicatado. Parte dêsse mármore remanesce inalterado, sobressaindo-se acima da superfície do piso, ainda muito coerente e branco, com estratos ricos de calcita e dolomita intercalados com camadas centimétricas de wollastonita e outros silicatos de cálcio. Pequenas massas de bornita e calcocita estão disseminadas no mármore e às vêzes preenchendo fis

Foto 3 - Mármore exposto no nível 3. As bandas escuras correspondem às zonas mais ricas em silícios.

Foto 4 - Bloco de malaquita maciça, com intercalações de crisocola e cavidades não preenchidas.

Handwritten signature or initials in blue ink.

suras e diáclases.

Nesse rumo a parede do nível de desmorte termina no contato com o dique de diabásio, onde não se vê auréola de alteração termal.

No nível 2 o vieiro ainda é bastante espesso e a malaquita e crisocola continuam sendo os minerais mais abundantes da parte central, mas os óxidos hidratados de ferro aumentam a sua proporção. Aparecem com mais frequência os veios de quartzo com epídoto, principalmente na parte superior do vieiro que se situa na parede oeste da escavação. Nessa parte um bloco de mármore ainda pode ser visto a meia altura da parede, rodeado por material de consistência terrosa e originário, provavelmente, da alteração da mesma rocha. Esse calcário é remanescente do primitivo corpo lenticular e acha-se impregnado de massas de calcocita.

Tal como no nível 1, em direção à lapa o vieiro mostra-se de aspecto terroso, com zonas ricas de brochantita e malaquita. Em fraturas do escarnito podem ser encontradas a cornetita e libethenita associadas à pseudomalaquita e malaquita. Também a antlerita foi encontrada nesta parte do nível 2. Limonita compacta, com malaquita e crisocola em fraturas, formam núcleos rodeados por material argiloso rico em óxidos hidratados de ferro e restos da encaixante.

No nível 3 o desmorte desenvolve-se na cota de 735 metros e o vieiro perde um pouco da sua possança, mas a malaquita e a crisocola mantêm a sua predominância sobre os outros minerais de cobre; registra-se o quase desaparecimento dos sulfetos, que neste patamar estão representados por escassas concentrações de calcocita, apenas nos locais onde este mineral ficou protegido do ataque dos agentes oxidantes.

A parte a oeste do vieiro mostra o escarnito em adiantada alteração, já terroso em certas partes mais

próximas da superfície do solo, mas ainda muito impregnado de malaquita e crisocola nas fraturas e outras cavidades. A parte a leste do vieiro apresenta uma faixa terrosa proveniente da alteração do mármore e contendo óxidos hidratados de ferro em mistura com grãos e fragmentos de granadas, de epidoto semi alterado, massas informes de malaquita e crisocola, zonas ricas de brochantita e antlerita, outras com cornetita, libethenita e pseudomalaquita. A foto 3 mostra uma parte remanescente desse calcário exposta no nível 3, abaixo desta faixa alterada. Em continuação a essa faixa segue-se o escarnito muito alterado, que ainda contém oxidados de cobre e ferro, até atingir o escarnito menos alterado, sem impregnações de minerais de cobre, e que constitui a parede leste desse nível de desmonte.

A plataforma que constitui o nível 4, a mais próxima da superfície do solo, é típica zona de lixiviação e só a malaquita e crisocola ainda permanecem em fraturas e cavidades, pois os sulfetos praticamente já não existem desde o nível 3. Mesmo os óxidos hidratados de ferro foram sendo dissolvidos e levados para outras partes e o escarnito mostra-se cheio de cavidades e alvéolos vazios, resultantes da dissolução dos seus constituintes, sendo os filões de quartzo leitoso os corpos menos alterados que podem ser vistos.

Esta verificação das associações mineralógicas nos cinco níveis de desmonte, permite caracterizar a "zona de lixiviação" constituída pelo nível 4 e avançando pelo nível 3, a "zona de oxidação" ainda presente neste nível e evidente até o nível "zero", bem como a "zona de enriquecimento secundário" com um núcleo resistente à oxidação, representado pelo bloco de mármore impregnado de calcocita e existente no nível 2 e parte no nível 1, bem como pela bornita e calcocita do núcleo do vieiro, também nesses níveis. A "zona primária" acha-se representada em todos os níveis pelos filões de

Foto 5 - Nível 1 - Paredo oeste - Escarnito, diáclasa do mostrando sinais da percolação de solu ções cupríferas a partir das diáclases.

Foto 6 - Gorutubito bandeado.

[Handwritten signature]

quartzo com epidoto, mas nos níveis 2, 1 e "zero" aparece, ainda, a parte central do veio que ainda contém calcopirita.

A amostragem sistemática que foi feita nos níveis 1 a 4 serviu para os estudos mineralógicos sistemáticos da jazida e para uma série de análises químicas, das quais são dados abaixo alguns resultados:

ÓXIDOS	PORCENTAGENS			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
CuO	15,52	11,27	13,52	5,00
SiO ₂	38,90	41,66	38,54	52,23
Fe ₂ O ₃	10,95	19,43	11,62	13,15
Al ₂ O ₃	9,28	14,98	16,99	9,36
Mn O	0,65	0,23	0,53	0,53
Ti O ₂	0,21	0,25	0,36	0,43
Ca O	4,61	3,51	4,44	2,19
Mg O	0,62	0,20	0,42	0,84
K ₂ O	0,41	0,16	0,24	1,04
Na ₂ O	1,46	0,32	2,01	1,94
S O ₄	0,95	0,09	0,03	0,02
P ₂ O ₅	2,24	1,15	1,06	0,61

Foi feita, também, a dosagem dos elementos-traço mais importantes na jazida, por meio de análises espectrográficas de raios X:

ELEMENTOS	EM PARTES POR MILHÃO			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Ni	70	40	55	65
Zn	190	100	140	195
Se	8	10	5	2
Rb	35	20	30	55
Sr	70	50	80	85
Y	31	22	50	70
Zr	22	22	43	100
Nb	10	10	9	14
Sb	400	50	50	50
Ba	490	50	250	460
Ce	45	10	90	140
Pb	160	40	20	25

Em virtude da falta de amostras-padrão adequadas, não pode ser feita a dosagem do Au e da Ag existentes na jazida. Foi possível saber, apenas, que a quantidade relativa de prata, nos níveis de desmonte 1 a 4, obedece à seguinte proporção, respectivamente: 5 : 0,8 : 0,5 : 0,2.

MINERAIS HIPÓGENOS

Calcopirita

A calcopirita ($Cu Fe S_2$) em Santa Blandina existe em razoável quantidade no núcleo do vieiro, nível 1 (Foto 2), constituindo menos de 10% do corpo central, que também está exposto no nível 2. Em alguns veios de quartzo hidrotermal podem ser encontradas pequenas massas de calcopirita preservada da alteração, bem como nos afloramentos de mármore existente na jazida. Barbosa, R.A. (1960), examinando testemunhos de sondagem de diversas profundidades, encontrou calcopirita em quase todas as amostras. De aspecto sempre maciço, a calcopirita associa-se geralmente à bornita (Fotos 9 e 10), à calcocita e à neodigenita (?) - foto 8 - apresentando-se sempre fraturada e transformando-se em calcocita, neodigenita (?) e bornita, com a parte central das fraturas preenchida por goethita ou lepidocrocita, por malaquita e até cuprita; com frequência em globa cristais de granada (Foto 9).

Propriedades físicas

côr	amarelo latão
brilho	metálico, intenso
transparência	opaca
traço	prêto esverdeado
dureza	menor que 4
pêso específico relativo	4,25
côr, sob luz refletida	amarelo claro
refletividade	intensa
anisotropia	perceptível

Foto 7 - Bornita no quartzo hidrotermal, substituindo a calcopirita (à direita). Calcocita substituindo bornita a partir de fraturas. "Limonita indígena" no centro das fraturas. Amostra semi-polida. 6 x

Foto 8 - Calcopirita substituída por calcocita a partir de fraturas. Limonita no interior das fraturas. Secção polida-nicoís paralelos - 480 x

Handwritten signature or initials in blue ink.

Foto 9 - Calcopirita invadida pela bornita (oxidada, em azul). Calcocita (branca) substituindo a bornita e a calcopirita a partir de fraturas com limonita. Cristal de granada à direita. Secção polida - Nícois paralelos - 100 x.

Foto 10 - Calcopirita substituída por bornita (rosa da). Calcocita (cinza claro) substituindo bornita e calcopirita a partir de fraturas com limonita. Secção polida - Nícois paralelos - 192 x.

Handwritten signature or initials in blue ink.

O brilho pode mostrar-se diminuído quando a superfície do mineral está recoberta por película iridescente. O peso específico relativo foi determinado com a balança de Westphal-Mohr. Nos testes para determinação da dureza alguns pontos ofereceram resistência ligeiramente maior, talvez devido à presença de pirita.

Nos exames de secções polidas sob luz refletida não foram observadas lamelas de geminação, mas são bem visíveis as fraturas invadidas pela calcocita e neodigenita (?) (Fotos 8, 9 e 10), cujas partes centrais são ocupadas por goethita, lepidocrocita ou limonita. Também a bornita apresenta-se invadindo a calcopirita através de fraturas.

O diagrama de pó obtido com difração de raios X, comparado com os dados constantes da Ficha ASTM nº 9-423 (Tabela 1), mostrou duas raiais anômalas, as quais foram atribuídas à presença de ouro, sendo possível que êsse metal esteja concentrado em alguns pontos do mineral hospedeiro.

Os picos acusados pela calcopirita durante Análise Termo-Diferencial, segundo diversos Autores, ocorrem de acordo com a tabela abaixo:

Autores	Picos endotérmicos (graus Celsius)	Picos exotérmicos (graus Celsius)
Kopp, O.C. et Kerr, P.F. (1957)	750 - 790	450
Levy, C. (1958)	760	450 - 625
Sabatier, G. (1956)	800	400 - 700
Maurel, C. (1964)	700	530 - 600

Aparentemente há forte discrepância entre os diversos autores quanto à natureza dos picos e a exata temperatura em que os mesmos são registrados. Mas Kopp et Kerr diluíram o sulfeto na proporção de 1 : 15, com inerte, usando taxa de aquecimento de 12,5°C por minuto.

TABELA 1

DIAGRAMAS DE PÓ DE CALCOPIRITA

Santa Blandina		Cumberland, England			Ouro purificado	
d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	h k l	d (Å)	I/I ₀
3,04	10	3,03	100	112		
2,63	0,5	2,63	5	020-004		
2,32	0,8				2,355	100
2,01	0,5				2,039	52
1,863	7	1,865	40	220		
		1,854	80	024		
1,595	5	1,591	60	132		
1,575	2	1,573	20	116-033		
		1,518	5	224		
1,474	<0,5				1,442	32
1,325	0,5	1,323	10	040		
		1,303	5	008		
		1,214	10	332		
1,208	2	1,205	30	136-143	1,230	36
1,179	0,5				1,1774	12
1,077	4	1,077	60	244		
		1,069	30	228		
1,014	1	1,018	20	152	1,0196	6
		1,014	10	336		
		1,005	5	1.1.10		
					0,9358	23
					0,9120	22
					0,8325	5

Cu Kα - 23 horas

30 KV - 17 mA

Filme nº 1 670

Câmara Debye-Scherrer 114,6 mmØ

Ficha ASTM nº 9-423

Ficha ASTM nº 4-784

Levy empregou taxa de aquecimento de 50°C por minuto, Sa batier usou mistura de inerte e sulfeto na proporção de 4% dêste e aqueceu a amostra na razão de 8°C por minuto e, finalmente, Maurel misturou 6% de sulfeto ao inerte e usou a taxa de aquecimento de 12°C por minuto. Essas diferenças de condições são responsáveis pelas discrepâncias acusadas.

Neste trabalho usou-se a taxa de aquecimento de 10°C por minuto -que é a mais usada e recomenda-da atualmente- e diluição de 20% de sulfeto no material inerte (alumina calcinada) com utilização de suporte cerâmico ao invés do bloco de níquel.

Foram feitas análises da calcopirita de Ca maquã e de duas amostras de Santa Blandina (Figura 4) - cujos resultados são resumidos abaixo:

Procedência	Picos endotérmicos (graus Celcius)	Picos exotérmicos (graus Celcius)
1- Camaquã	290-710-760-990	400 - 540 - 670
2- Santa Blandina	630-740-980	480
3- Santa Blandina	290-710-750-990	510

O pico endotérmico obtido a 290°C nas curvas 1 e 3 e o de 630°C na curva 2 devem ser atribuí--dos às impurezas da amostra, e os situados entre 710 e 760°C são correspondentes à decomposição dos sulfatos - que se formaram por oxidação dos sulfetos entre 400 e 670°C (exotérmicos). Esses picos de decomposição dos - sulfatos em A.T.D., são característicos de minerais sulfetados e sulfatados, sendo importantes para sua distinção de outros minerais.

Os pequenos picos endotérmicos a 980 e 990°C são devidos à decomposição de carbonatos, como impureza das amostras.

As seguintes relações paragenéticas foram verificadas:

-a calcopirita ocupa posição central no núcleo do vieiro (foto 2), na parte que se julga ser remanescente da mineralização primária.

-acha-se conservada em grãos ou pequenas massas no mármore aflorante na área da Mina.

-existe, também, em pequenas massas inclusas em veios de origem hidrotermal, com quartzo e epídoto, este em prismas.

-foi encontrada por Barbosa, R.A. (1960), em rochas não alteradas, a profundidades superiores a 60 metros (amostras nº 644 e 645), também em fendas com o quartzo e o epídoto (amostra nº 646), sempre associada à pirita idiomórfica e algumas vezes a bornita.

-em seções polidas mostra-se sendo substituída por bornita (fotos 9 e 10), por neodigenita (?) - (foto 8) e por calcocita (fotos 9 e 10).

-contém impurezas de ouro, talvez em forma de inclusões (Tabela 1).

Tais relações paragenéticas parecem conduzir à conclusão de que a calcopirita é mineral primário na Mina Santa Blandina, tendo as soluções hidrotermais depositado quartzo, epídoto e calcopirita, esta em maiores proporções do que pirita e bornita.

Epídoto

Em Santa Blandina o epídoto, cuja fórmula química é $H Ca_2 (Al, Fe)_3 Si_3 O_{13}$, pode ser encontrado qualquer ponto da Mina, não só na zona mineralizada como nas rochas encaixantes próximas, principalmente no escarnito. Geralmente associado ao quartzo hidrotermal, apresenta-se com a forma prismática longa (foto 11), com exemplares desde frações de milímetro até mais de um centímetro de diâmetro. O hábito mais comum, entretanto é o granular, em massas friáveis quando na rocha alterada. Associa-se, também, à bornita, à calcopirita, à granada e a diversos minerais supérgenos.

Propriedades físicas

côr

verde claro (verde pistacho)

brilho

vítreo

TABELA 2

DIAGRAMAS DE P₀ DE EPÍDOTO

Santa Blandina		Hawleyville, Connecticut		
d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	h k l
8,02	0,5	7,98	5	100-10 $\bar{1}$
7,48	0,5			
		7,02	3	NI
5,01	4	5,018	40	101-10 $\bar{2}$
4,62	1	4,621	<1	11 $\bar{1}$ -002
4,33	0,5			
3,99	5	3,997	40	200-20 $\bar{2}$
3,78	1	3,762	<1	111
3,50	4	3,492	40	21 $\bar{1}$
3,40	1	3,372	7	102-10 $\bar{3}$
3,22	1	3,197	15	21 $\bar{2}$ -201
3,03	0,5	3,060	<1	003
2,90	10	2,900	100	30 $\bar{2}$
2,83	4	2,809	500	211-020
2,69	4	2,677	60	013-300
2,60	4	2,593	55	31 $\bar{2}$
2,53	3	2,525	10	103-202
2,45	1	2,449	7	121-310
2,40	7	2,396	70	21 $\bar{3}$ -31 $\bar{3}$
2,30	3	2,289	25	22 $\bar{2}$ -301
2,21	0,5			
2,17	3	2,161	25	40 $\bar{1}$ -40 $\bar{3}$
2,11	3	2,111	40	22 $\bar{3}$ -221
2,07	1	2,065	11	41 $\bar{2}$ -20 $\bar{5}$
2,04	0,5	2,043	<1	203
2,01	0,5	2,020	1	40 $\bar{4}$ -400
		2,003	1	10 $\bar{5}$
		1,914	<1	410
1,876	5	1,869	60	312-41 $\bar{4}$

TABELA 2 (continuação)

DIAGRAMAS DE PÓ DE EPÍDOTO

Santa Blandina		Hawleyville, Connecticut		
d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	h k l
1,778	0,5	1,773	1	
		1,742	1	
		1,705	1	
1,697	0,5	1,687	1	
1,672	0,5	1,669	1	
1,636	6	1,635	65	
		1,622	11	
		1,590	11	
1,587	1	1,574	13	
1,543	1	1,539	77	
1,509	0,5			
1,458	1	1,458	15	
1,436	0,5	1,435	7	
1,410	1	1,404	30	
1,394	1	1,389	25	
1,369	0,5			
1,297	0,5			
1,270	0,5			
1,260	0,5			

Cu K α - 23 horas

30 KV - 17 mA

Filme nº 1 654

Ficha ASTM nº 9-438

Câmara Debye-Scherrer 114,6 mmØ

transparência	semi-transparente
traço	branco
clivagem	perfeita, segundo {001}
durêza	maior do que 6
pêso específico relativo	3,38
caráter axial e sinal óptico	biaxial (-)
índices de refração	α 1,716
	β 1,719
	γ 1,722
pleocroísmo	forte

O diagrama de pó obtido com difração de raios X, acusou resultados semelhantes aos da Ficha ASTM nº 9-438, de amostra procedente de Hawleiville, Connecticut, E.U.A. (Tabela 2).

A sua associação ao quartzo hidrotermal, com o epídoto em prismas idiomórficos caoticamente dispostos, parece mostrar sua origem primária a partir das soluções mineralizantes. Em certos casos, porém, não fica excluída a origem metamórfica para pequenos grãos no escarnito e no gorutubito, onde não estava evidente a ação hidrotermal das soluções através de fraturas nessas rochas.

Pirita

A pirita (Fe S_2) em Santa Blandina ocorre em quantidades muito pequenas, sendo raramente visível entre os sulfetos, devido à confusão da sua cor (amarelo latão claro) com a da calcopirita. Em secções polidas pode ser encontrada raramente, sendo identificável por sua cor amarelo clara e por sua forma cúbica idiomórfica.

Foi identificada por Barbosa, R.A. (1960) em diversas lâminas feitas com amostras de testemunhos de sondagem de diversas profundidades, sempre em pequenas quantidades e em cristais cúbicos idiomórficos.

Embora neste trabalho não tenha sido feito nenhum estudo particular deste mineral, a não ser o seu

reconhecimento ao microscópio, em secções polidas, parece que existe contemporaneidade com a calcopirita, com o quartzo e com o epídoto, com os quais acha-se sempre associada (Barbosa, R.A.(1960); amostras nº 644 e 646 de escarnito, e 645, 652 e 653 de mármore).

Quartzo

O quartzo (Si O_2), é um dos mais difundidos minerais de Santa Blandina, sendo importante constituinte de algumas das rochas e das zonas mineralizadas.

Pode ser encontrado principalmente com hábito maciço, em filões hidrotermais (cortando o gorutubito e o escarnito), com frações de milímetro até algumas dezenas de centímetros de possança, associado ao epídoto, malaquita, crisocola e óxidos hidratados de ferro. No interior do vieiro principal pode ser encontrado em geôdos de milímetros a centímetros de diâmetro, em cristais prismáticos microscópicos até centimétricos, formando agregados sub-paralelos ou caóticos, de evidente origem secundária (fotos 12 e 19).

Sendo muito resistente ao intemperismo, é constituinte comum de todos os afloramentos do vieiro à superfície, associado à malaquita, crisocola, goethita ou limonita e algumas vezes contendo pequenas massas (agrupamentos de cristais ?) de bornita ou calcopirita - conservadas no seu interior (foto 7), muitas vezes fraturado e com as aberturas preenchidas por malaquita, crisocola e óxidos hidratados de ferro (fotos 11 e 21).

Parece muito provável a origem hidrotermal dos filões de quartzo de Santa Blandina, bem como das vênulas que preenchem fraturas das rochas encaixantes e das outras mais próximas do vieiro.

A mineralização silicatada teria se intensificado a partir de uma fase intermediária, sendo que o epídoto seria ainda mais tardio, pois só aparece nas partes centrais dos filões.

Foto 11 - Epidoto prismático no quartzo hidrotermal.
Foto com lupa fotográfica - 10 x.

Foto 12 - Agregado subparalelo de prismas de quartzo secundário, monoterminados. Prismas mostrando curvatura.

St

Soluções descendentes seriam as responsáveis pela mineralização secundária de quartzo nas aberturas do vieiro remanescentes da primeira fase e naquelas resultantes da dissolução de minerais das encaixantes, bem como nas fraturas provenientes de atividades tectônicas. Tais atividades não teriam sido interrompidas antes dessa fase mineralizadora descendente, pois cristais de quartzo secundário (foto 12) mostram prismas curvados.

MINERAIS SUPÉRGENOS

Antlerita

A antlerita, $\text{CuSO}_4 \cdot 2 \text{Cu(OH)}_2$, foi encontrada na Mina Santa Blandina nos níveis 1, 2 e 3, na parte leste das paredes de desmonte, isto é, para o lado da lapa do vieiro.

Nas ocorrências verificadas o mineral cresceu em fraturas do escarnito alterado, destacando-se pela sua cor verde-clara azulada (foto 13) sobre a superfície recoberta de óxidos hidratados de ferro. Forma agregado pulverulento de minúsculos cristais prismáticos, em certas partes mostrando superfície botrioidal. Além de ocorrer isolada, foi encontrada também misturada com brochantita, em massas de aspecto terroso, contendo outros minerais secundários e fragmentos da rocha alterada.

Propriedades físicas

côr		verde-clara, azulada
brilho		vítreo
transparência		transparente
clivagem		perfeita, segundo (010)
caráter axial e sinal óptico		biaxial (+)
índices de refração	α	1,726
	β	1,738
	γ	1,789
pleocroísmo		bem visível

TABELA 3

DIAGRAMAS DE PÓ DE ANTILERITA

Santa Blandina		Amostra Sintética		
d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	h k l
6,81	1	6,80	11	110
6,02	2	6,01	26	020
5,40	2	5,40	23	011
4,87	10	4,86	100	120
4,53	0,5	4,52	9	111
4,14	0,5	4,13	8	200
3,80	1	3,79	16	121
3,61	8	3,60	77	130
3,41	3	3,40	31	201-220
3,35	1	3,34	9	031
3,09	2	3,09	16	131
2,99	3	3,00	18	040
2,77	1	2,762	12	112
		2,698	9	022
2,68	8	2,683	77	310
2,57	8	2,566	85	122
2,50	3	2,503	26	320
		2,439	6	202
2,42	1	2,430	13	240
		2,398	4	212
2,31	1	2,315	77	132
		2,307	4	150
2,26	1	2,259	13	222
2,13	7	2,131	69	042
		2,083	6	232
2,06	1	2,065	18	400
2,03	1	2,034	20	410
2,00	0,5	2,004	4	312
		1,951	2	420
1,944	2	1,946	9	160
		1,927	7	411

TABELA 3 (continuação)

DIAGRAMAS DE PÓ DE ANTLERITA

Santa Blandina

Amostra Sintética

d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	h k l
1,898	0,5	1,893	3	242
1,837	1	1,835	12	430-151
1,817	1	1,814	15	331
		1,801	2	260
		1,758	1	133
1,713	0,5	1,711	6	252
1,689	2	1,687	9	412
		1,667	3	062
1,638	2	1,634	16	162-510
1,620	0,5	1,617	6	360
		1,599	2	520
1,569	1	1,566	13	450-271
1,552	1	1,551	15	352-243
		1,525	4	530
1,518	1	1,511	12	004
1,502	1	1,500	9	080
1,486	1	1,481	21	442
		1,467	2	
1,460	0,5	1,455	2	
		1,438	9	
		1,426	1	
1,393	0,5	1,390	4	
		1,365	1	
1,362	0,5	1,360	3	
1,318	1	1,316	7	
		1,281	1	
1,279	0,5	1,277	3	
1,108	1			

Cu Kα - 23 horas

30 KV - 15 mA

Filme nº 1611

Câmara Debye-Scherrer 114,6 mmØ

Fichas ASTM nº 7 407 e

7 408

O mineral foi identificado inicialmente pelo diagrama de pó em câmara de 114,6 milímetros de diâmetro, cujos resultados foram comparados com os da Ficha nº 7-407-ASTM (Tabela 3), obtidos a partir de amostra sintética.

Apesar da pequena quantidade de material obtido, foi feita a Análise Termo-Diferencial do mineral (Figura 5), com diluição em 50% de alumina; a curva obtida mostra dois picos endotérmicos intensos a 480 e a 800°C, um fraco a 650°C e um exotérmico, intenso, a 940°C.

O pico de 480°C deve ser o do rompimento da estrutura com a perda de água de cristalização, ao passo que o de 650°C corresponde ao ponto de decomposição do sulfato, sendo o de 800°C o da formação de CuO e Cu₂O e o de 940°C corresponderia ao da fusão do material. A antlerita é tida como de origem secundária, formada na zona de oxidação dos filões cupríferos a partir da decomposição dos sulfetos. Essas condições são as observadas em Santa Blandina.

Ressalte-se, neste ponto, a observação de Wandke (1925) de que os sulfatos tem maior possibilidade de desenvolvimento quando os sulfetos primários foram formados em temperaturas mais altas, devido à maior solubilidade destes últimos.

Azurita

A azurita, $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$, é extremamente rara em Santa Blandina nesta fase de desmonte, tendo sido encontrada apenas uma amostra juntamente com o minério extraído, não tendo sido possível localizar seu ponto de ocorrência. Associada a pequenas quantidades de malaquita, apresenta hábito maciço (foto 14).

Propriedades físicas

côr
brilho

azul-celeste, intenso
vítreo

TABELA 4

DIAGRAMAS DE PÔ DE AZURITA

Santa Blandina		National Museum-USA Catalog R-8545		
λ (Å)	I/I_0	λ (Å)	I/I_0	h k l
5,15	7	5,15	55	002
		5,08	30	011
		4,99	11	100
4,71	0,5			
4,26	0,5			
4,04	0,5			
		3,86	3	012
		3,80	7	110
3,68	5	3,674	50	$\bar{1}02$
3,52	10	3,516	100	102
3,33	1			
3,09	1	3,107	11	$\bar{1}12$
		2,964	3	013
		2,920	9	020
2,82	0,5			
2,81	1	2,811	7	021
2,67	0,5			
2,60	0,5	2,590	11	$\bar{1}13$
		2,540	25	022
2,52	1	2,523	20	120
		2,510	35	113
		2,503	30	200
2,45	0,5			
2,33	1	2,336	17	$\bar{1}04$
2,28	2	2,299	13	210
		2,287	35	$\bar{1}22$
		2,265	25	$\bar{2}11$
2,22	0,5	2,224	70	211

TABELA 4 (continuação)

DIAGRAMAS DE PÓ DE AZURITA

Santa Blandina		National Museum-USA Catalog R-8545		
d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	h k l
2,17	0,5	2,168	15	$\bar{1}14$
2,12	0,5	2,104	7	114
2,06	0,5	2,057	3	$\bar{1}23$
2,01	0,5	2,015	3	123
1,949	5	1,948	20	$\bar{2}13$
1,904	0,5	1,900	7	220
1,873	0,5	1,879	5	$\bar{2}21-213$
		1,858	3	221
1,828	2	1,836	7	$\bar{2}04$
1,794	1	1,791	9	115
1,766	0,5	1,786	9	124
		1,721	3	006- $\bar{1}32$
1,695	0,5	1,696	3	033
		1,668	1	300
1,646	0,5	1,651	3	016
1,595	2	1,595	15	133- $\bar{3}11$
1,570	1	1,568	5	$\bar{2}15-302$
1,477	1			
1,457	0,5			
1,433	1			

Cu K α - 15 horas

30 KV - 15 mA

Filme nº 1 600

Ficha ASTM nº 11-136

Câmara Debye-Scherrer 114,6 mm $\emptyset$

Foto 13 - Agregado pulverulento de microcristais de antlerita sobre fratura no escarnito. Canto inferior direito; superfície com aspecto botrioidal. Foto com lupa fotográfica - 20 x.

Foto 14 - Azurita maciça no escarnito, associada a malaquita. Foto com lupa fotográfica - 6 x.

SH

CALCOPIRITA
(CAMAQUÃ)

FIGURA 5
ANTLERITA
(ITAPEVA)

CALCOPIRITA
(ITAPEVA)

BORNITA
(CAMAQUÃ)

CALCOPIRITA
(ITAPEVA)

FIGURA 4

BORNITA
(ITAPEVA)

FIGURA 6

GRÁFICOS DE A.T.D.

[Handwritten signature]

transparência	semi-transparente
traço	azul-claro
clivagem	imperfeita
dureza	menor do que 4
caráter axial e sinal óptico	biaxial (+)
índices de refração	α 1,730
	β 1,758
	γ 1,838
pleocroísmo	visível

Sua identificação foi confirmada com o diagrama de pó, comparados os seus resultados com os da Ficha ASTM nº 11-682 (Tabela 4).

Nenhum outro exame pode ser feito com a amostra, devido à insuficiência do material. A azurita é, entretanto, mineral de origem secundária, proveniente da ação de águas bicarbonatadas sobre minerais sulfetados de cobre ou de soluções cupríferas sobre minerais carbonatados.

Barita

A barita, é um mineral pouco encontrado em Santa Blandina, mas existe em algumas cavidades, crescendo sobre a malaquita fibrosa. Exibe hábito placóide, em placas hexagonais transparentes, colocadas perpendicularmente à superfície de implantação (Foto 15). Associa-se também à pseudomalaquita, libetenita e óxidos hidratados de ferro.

A identificação foi confirmada por diagrama de pó, difração de raios X (Tabela 5), cujos resultados foram comparados com os da Ficha ASTM nº 5-448, estes obtidos a partir de amostra procedente de Malinckrodt.

Propriedades físicas

côr	incolor
brilho	vítreo

TABELA 5

DIAGRAMAS DE PÓ DE BARITA

Santa Blandina		Malingkrodt		
d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	h k l
4,42	0,5	4,44	17	200
4,34	2	4,34	36	011
3,92	5	3,90	57	111
3,80	1	3,77	12	201
3,58	3	3,576	31	002
3,45	10	3,442	100	210
3,32	7	3,317	67	102
3,10	9	3,101	97	211
2,84	5	2,834	53	112
		2,734	16	301
2,73	5	2,726	47	020
		2,481	14	212
2,47	1	2,444	2	311
2,32	2	2,322	15	220
		2,303	6	103
		2,281	7	302
2,21	3	2,209	27	221
2,12	8	2,120	80	113
2,10	7	2,104	76	312
2,05	3	2,056	23	410
		1,947	<1	222
1,931	1	1,930	7	321
1,857	2	1,857	16	303
1,787	0,5	1,787	3	004
		1,760	9	031
1,757	1	1,754	9	313
		1,726	5	131
1,726	0,5	1,723	6	501

TABELA 5 (continuação)

DIAGRAMAS DE PÓ DE BARITA

Santa Blandina		Malingkrodt		
d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	h k l
		1,681	7	230
1,674	1	1,673	14	421
		1,669	10	114
1,641	1	1,636	8	231
		1,593	8	132
1,592	1	1,590	7	502
		1,534	18	323
1,529	2	1,526	11	512
1,497	0,5	1,495	3	024
1,474	1	1,474	10	124
		1,457	3	521
1,423	2	1,426	8	610-133
1,420	1			
1,381	0,5			
1,261	2			

Cu K α - 23 horas

30 KV - 17 mA

Filme nº 1 609

Ficha ASTM nº 5-448

Câmara Debye-Scherrer 114,6 mmØ

Foto 15 - Cavidade na bornita (Foto 16) com placas hexagonais de barita transparente, associada a malaquita fibrosa com hábito reniforme. Foto com lupa fotográfica - 20 x.

Foto 16 - Bornita com cavidade contendo malaquita fibrosa com hábito reniforme e placas hexagonais de barita (Foto 15). Óxidos hidratados de ferro na parte inferior da amostra.

Handwritten signature or initials in blue ink.

transparência		transparente
traço		branco
clivagem		perfeita (001)
dureza		maior do que 3
pêso específico relativo		4,48
caráter axial e sinal óptico		biaxial (+)
índices de refração	α	1,636
	β	1,638
	γ	1,648
pleocroísmo		não tem

O bário necessário para a cristalização da barita deve ter sido mobilizado a partir do próprio mármore encaixado na jazida, cuja dissolução liberou o metal existente em baixa proporção nessas rochas carbonatadas (Rankama et Sahama, 1954, pg. 449), para juntar-se ao sulfato proveniente da oxidação dos sulfetos da jazida.

Bornita

A bornita (Cu_5FeS_4) de Santa Blandina é encontrada no núcleo do vieiro (Foto 4) que está exposto nos níveis 1 e 2, em massas cujo tamanho varia de milímetros cúbicos a alguns decímetros cúbicos, constituindo cerca de 20% do corpo central. Existe, também, na forma de grãos ou glóbulos de frações de milímetros até alguns centímetros de diâmetro, inclusos nos mármores aflorantes ou expostos na área da Mina. Raramente inclusa em vieiro de quartzo hidrotermal (Foto 7).

Segundo Barbosa, R.A. (1960), foi encontrada em testemunhos de sondagem:

- a 63,10 metros, na amostra 644, de escarnito, existe escassamente com calcopirita, pirita, epidoto e microclínio.

- a 67,25 metros na amostra 645, de mármore em quantidades reduzidas, juntamente com pirita e

quartzo.

- a 24,20 metros, amostra 646, de escarnito com calcopirita, pirita, epídoto e microclínio.

- a 45,96 metros e 46,29 metros, amostras nrs. 652 e 653, de mármore, com quartzo, calcopirita e pirita.

Nos locais onde pode ser observada, a bornita de Santa Blandina apresenta-se sempre com hábito maciço (Fotos 16 e 17), às vezes granular, mas nunca em cristais idiomórficos. Na maioria dos casos contém inclusões de granadas (Foto 18) e pode apresentar cavidades (Foto 16) contendo malaquita fibrosa e barita em placas hexagonais.

A sua cor, em fratura recente, é vermelho-acastanhado, mas bastam alguns minutos de exposição ao ar para que a superfície adquira a cor azul-pavão (iridescente) que lhe é característica. Apresenta-se fraturada, com as aberturas preenchidas por malaquita e goethita ou limonita (Foto 7); muitas vezes na forma de vênulas invadindo a calcopirita e outras vezes rodeando inteiramente pequenas massas desse mineral (Foto 7).

Propriedades físicas

côr	vermelho-acastanhado, em fratura recente, recobrimdo-se rapidamente por película de cor azul-pavão, iridescente
brilho	metálico
transparência	opaca
traço	cinza-escuro
clivagem	não observada
fratura	semi-concôide a irregular
dureza	maior do que 4
pêso específico relativo	4,85 a 4,97

TABELA 6

DIAGRAMAS DE PÓ DE BORNITA

Santa Blandina		Messina, Transvaal, South Africa		
d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	h k l
6,41	0,5			
5,59	0,5			
4,78	0,5			
4,08	0,5	4,08	10	105-213
3,66	0,5	3,64	5	214-006
		3,48	5	310-106
3,29	4	3,31	40	116-312
3,16	4	3,18	60	224
3,02	1	3,01	5	107-321
2,80	2	2,80	20	305-323
2,73	4	2,74	50	008-400
2,64	1	2,63	5	217-411
2,49	4	2,50	40	413-325
2,38	1			
2,17	0,5			
		2,13	20	425-511
2,10	1	2,11	5	336-11.10
1,935	10	1,937	100	440-408
1,873	1	1,850F	10	21.11
1,781	0,5			
1,691	0,5			
1,647	2	1.652	30	624-22.12
1,578	1	1,584	10	448
1,537	1	1,534	10	712-11.14
1,476	1	1,474	5	705-723
1,443	1	1,427	20	31.14-53.10
1,370	1	1,370	20	800-00.16
1,335	0,5	1,335F	5	44.12-804
1,304	0,5	1,300F	5	
		1,290F	5	660-22.16
		1,258F	5	62.12
1,2483	0,5			

TABELA 6 (continuação)

DIAGRAMAS DE PÓ DE BORNITA

Santa Blandina		Messina, Transvaal, South Africa		
d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	h k l
		1,225F	5	40.16-840
1,199	0,5	1,198F	10	844
1,174	1	1,169F	5	64.12
		1,145F	5	
1,117	2	1,119	50	44.16-848
		1,097F	5	80.12
1,054	1	1,053	10	22.20-66.12
1,026	0,5			
		1,018F	5	64.16
0,996	0,5	1,9853F	10	
0,967	1			
0,940	0,5			
0,925	1			
0,907	0,5			
0,878	0,5			
0,866	1			

Cu K α - 20 horas

30 KV - 15 mA

Filme n^o 1 495Ficha ASTM n^o 14-323Câmara Debye-Scherrer 114,6 mm $\emptyset$

côr, sob luz refletida	rosa claro nas superfícies recém polidas; azul claro nas superfícies já oxidadas
refletividade	média
anisotropia	perceptível

As secções polidas, sob luz refletida, mostram superfície azul-claro quando a bornita acha-se recoberta por película de oxidação (Foto 9), a qual desa parece com um leve repolimento manual, passando a mos trar côr normal rosada-clara (Foto 18) ou pouco mais escura (Foto 10), com refletividade inferior à da calcopirita.

As secções mostram a bornita em grandes massas rodeando a granada (Foto 18) ou invadindo a calco piritita fraturada (Fotos 9 e 10) e sendo substituída por calcocita através das fraturas (Foto 18), substituição essa que se processa também através dos limites entre os minerais inclusos. A foto 18 mostra, também, a gra nada (escura) invadida pela bornita já substituída pe la calcocita (branca).

O resultado do diagrama de pó obtido com diração de raios X foi comparado com aqueles constan tes da Ficha ASTM 14-323 referentes a amostras prove nientes de Messina, Transvaal, África do Sul (Tabela 6).

A Análise Termo-Diferencial da bornita acu sa mudança de estrutura (ordenada para desordenada) e essa transformação manifesta-se pela existência de um pico endotérmico a 220°C e um exotérmico a 330°C , se gundo apurou Frueh Jr., A.J. (1950). Mas Levy, C. (1958) registrou um pico exotérmico a 690°C e um endo térmico a 760°C , ao passo que Maurel, C. (1964) explica um pico exotérmico encontrado entre 600 e 630°C como referente à transformação da bornita em CuO , Cu_2O , Fe_2O_3 , CuSO_4 e SO_2 .

Foi feita a Análise Termo-Diferencial de amostras de Itapeva e de Camaquã, cujos resultados constam da Figura 6 e vão resumidos abaixo:

Procedência	Picos endotérmicos (graus Celsius)	Picos exotérmicos (graus Celsius)
1 - Camaquã	200-270-360-760-990	310-380-600
2 - Itapeva	180-250-340-730-970	320-390-590

Os três primeiros picos endotérmicos e os dois primeiros exotérmicos são de pequena intensidade e os demais são bem intensos, nas duas amostras.

Em linhas gerais os resultados obtidos concordam com os da literatura, apresentando alguns picos excedentes que podem ser atribuídos às diferentes condições de análise, tal como explicado no tocante à calcopirita. Impurezas não suspeitadas quando da escolha das amostras podem ser responsáveis por outros picos.

Alguns desvios de picos, para temperaturas mais baixas, devem ser explicados pela utilização de diferentes suportes durante as análises.

Foram verificadas as relações paragenéticas seguintes:

- algumas secções polidas (Foto 10) mostram a bornita substituindo a calcopirita.

- Outras sugerem coexistência (Foto 9) mas ao mesmo tempo apresentam fratura na calcopirita (amarela) invadida por bornita (oxidada, azul).

- Bornita e calcopirita coexistem com pirita em amostras de profundidade, em lâminas estudadas por Barbosa, R.A. (1960).

- Grãos e pequenas massas de bornita existentes no mármore, o qual não apresenta vestígios de enriquecimento de cobre de uma primitiva calcopirita

Foto 17 - Malaquita fibrosa formada sobre a bornita.
Foto com lupa fotográfica - 10 x.

Foto 18 - Bornita (rosada) ocupando a encaixante
substituída (granadas, em marrom). Calcoci-
ta (branca) em processo de substituição
da bornita, a partir de fraturas e dos li-
mites entre os grãos de granadas. Limonita
no interior das fraturas. As massas de
côr marrom escuro, incluídas na bornita, são
de limonita.
Secção polida. Nícois paralelos - 75 x.

[Handwritten signature]

ou de saída do ferro excedente, que forçosamente teria que ser transportado, conduzem à idéia de uma origem primária.

- Pequena massa de bornita incrustada em quartzo hidrotermal (Foto 7) mas cortada por vênulas de goethita ou limonita, com restos de calcopirita não substituída, indicam origem secundária.

Os fatos verificados parecem permitir a conclusão de que uma pequena quantidade de bornita depositou-se primariamente a partir das soluções mineralizadoras, juntamente com muito maior quantidade de calcopirita, pequena quantidade de pirita e, ainda, quartzo e epídoto abundantes.

Posteriormente, as soluções descendentes, ricas em cobre, promoveram a substituição da maior parte da calcopirita, transformando-a em bornita e removendo o ferro excedente para precipitá-lo na forma de goethita, lepidocrocita ou limonita.

Brochantita

A brochantita, $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$, em Santa Blandina apresenta distribuição extensa (só não foi encontrada no nível 4), mas sempre na parte terrosa do vieiro, o lado leste das paredes de desmonte.

Os prismas submilimétricos estão sempre imersos em massa terrosa, misturados com fragmentos de granada, epídoto e óxidos hidratados de ferro; às vezes está também associada à antlerita.

Propriedades físicas

cor	verde esmeralda claro
brilho	vítreo
transparência	transparente
clivagem	perfeita (010)

TABELA 7

DIAGRAMAS DE PÓ DE BROCHANTITA

Santa	Blandina	Holanda	Bisbee-Arizona, USA
d (Å)	I/I ₀	d (Å) I/I ₀	d (Å) I/I ₀ h k l
7,70	1	7,80 8	
6,35	4	6,51 40	6,50 67 200
		5,89 3-5	
		5,45 <1	
5,34	4	5,36 40	5,40 58 210
		5,15 6	
		5,05 3-5	
		4,93 6	4,96 3 020-101
		4,77 <1	
		4,38 <1	4,41 3 111- $\bar{2}$ 11
		4,25 <1	
3,90	8	3,90 85	3,91 100 310-220
		3,65 <1	
		3,62 <1	
		3,28 <1	3,32 7 N I
		3,22 2	
3,19	4	3,19 40	3,20 42 400-130
		3,06 1-2	
		3,03 <1	
		3,01 <1	
		2,983 <1	
2,91	2	2,923 20	2,94 20 002- $\bar{2}$ 02
		2,886 2	
		2,869 <1	
2,80	0,5	2,813 4	
2,68	5	2,678 50	2,69 50 420
		2,628 8	
2,60	1	2,601 18	
2,52	10	2,521 100	2,53 67 022- $\bar{2}$ 22
		2,466 10	
2,46	2	2,460 14	2,46 10 040-510

TABELA 7 (continuação)

DIAGRAMAS DE PÓ DE BROCHANTITA

Santa Blandina		Holanda		Bisbee-Arizona, USA		
d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	h k l
		2,421	4			
2,38	1	2,386	14	2,39	7	212-122
2,30	0,5	2,300	8	2,29	13	240
		2,282	<1			
2,26	1	2,266	14			
		2,207	3-5			
		2,202	2			
2,19	1	2,190	14	2,19	13	032-232
2,14	0,5	2,140	10			
		2,127	2	2,12	3	312-512
		2,099	2			
2,08	0,5	2,079	8	2,07	10	610
2,01	0,5	2,016	8	2,01	7	530
		2,002	2			
1,972	0,5	1,969	8	1,96	13	232-432
1,958	0,5	1,949	6			
1,946	0,5					
1,902	0,5	1,909	4	1,89	3	042-242
1,884	0,5	1,885	4			
1,820	1			1,82	17	332-532
1,793	-					
1,739	4			1,74	33	
		Plus 19 Lines to 1,508		Plus 16 Lines to 1,14		
		(*)		(**)		

Cu Kα - 23 horas

30 KV - 15 mA

Filme nº 1 619

Câmara Debye-Scherrer 114,6 mmØ

(*) Ficha ASTM nº 13-398

(**) Ficha ASTM nº 3-282

pêso específico relativo		3,82
caráter axial e sinal óptico		biaxial (-)
índice de refração	α	1,728
	β	1,771
	γ	1,800
pleocroísmo		perceptível

Sua identificação foi feita aos raios X pelo diagrama de pó, em câmara Debye-Scherrer de 114,6 milímetros de diâmetro, cujos resultados foram comparados com os da Ficha ASTM nº 13-398 (Tabela 7).

Foi executada a Análise Termo-Diferencial da brochantita (Figura 7), mas a amostra não pode ser purificada completamente das impurezas de granada e a curva mostra picos de baixa intensidade, sendo um endotérmico largo, na região de 320 a 600°C, outro afilado a 730°C, e um exotérmico entre 640 e 680°C.

O pico entre 320° e 600°C pode ser atribuído à quebra da estrutura e perda de água de cristalização; o exotérmico, em parte, à formação de CuO e o último pico endotérmico seria devido à decomposição do sulfato e formação do restante CuO e Cu₂O.

A origem secundária da brochantita é reconhecida por todos os autores consultados e é semelhante à da antlerita, mineral com o qual é frequentemente confundida.

Calcocita

A calcocita (Cu₂S) da Mina Santa Blandina ocorre principalmente no corpo calcário remanescente no nível 2, em massas de dezenas de centímetros cúbicos até pequenas disseminações, grânulos e preenchimento de fraturas, juntamente com a bornita.

No núcleo do vieiro (Foto 2) aparece em vênulas invadindo a calcopirita e bornita (Fotos 9 e 10) ou então substituindo a bornita a partir de fendas e dos

limites entre a bornita e outros minerais (Foto 18). Quando em fraturas, contém óxidos hidratados de ferro no seu interior.

Propriedades físicas

côr	cinza escuro a preto
brilho	metálico, pouco intenso
transparência	opaca
traço	cinza a preto
clivagem	não observada
dureza	igual a 3
pêso específico relativo	5,47 a 5,58
côr, sob luz refletida	branco levemente azulado
refletividade	média
anisotropia	perceptível

A sua identificação foi confirmada por diagrama de pó (Tabela 8) comparado com a Ficha ASTM nº 9-328, obtida com amostras procedentes do México.

Foi feita Análise Termo-Diferencial de calcocita de Santa Blandina e de Camaquã (Figura 8), diluída a 20% em inerte de alumina calcinada, cujos resultados vão abaixo resumidos:

Procedência	Picos endotérmicos (graus Celsius)	Picos exotérmicos (graus Celsius)
Camaquã	780 - 1000	465 - 500
Itapeva I	720 - 990	480
Itapeva II	780 - 990	480 - 530
Itapeva III	750 - 890 - 980	470 - 510

Levy, C. (1958) acusa para a calcocita dois picos endotérmicos a 760°C e a 1050°C e exotérmicos a 470 e 540°C . Maurel, C. (1964) explica que a reação exotérmica aos 520°C corresponde à formação das fases CuO , CuSO_4 e SO_2 .

TABELA 8

DIAGRAMAS DE PÕ DE CALCOCITA

Santa Blandina				México
d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	h k l
4,10	5	3,93	5	300
3,77	10	3,77	10	133-320-062
3,60	10	3,60	10	260
339	20	3,39	30	340-080
3,28	20	3,31	10	233-153
-	-	3,21	20	180
3,15	20	-	-	-
3,01	10	3,05	20	342-082
-	-	2,97	5	400
2,89	20	2,88	20	420
2,81	20	2,84	5	191
2,73	10	2,73	10	362-440-402
2,66	10	2,67	10	282
-	-	2,58	5	380
2,51	2	2,54	10	304
-	-	2,47	20	460
2,40	70	2,40	70	382-344-084
-	-	2,34	5	520-274
-	-	2,22	20	006
-	-	2,14	10	0.12.2
-	-	2,06	10	275
2,00	80	1,969	80	600
1,934	80	1,937	5	580-504
1,871	100	1,870	100	3.12.2-0.12.4-346-086
-	-	-	-	-
-	-	1,787	5	366-395-406
1,692	30	1,695	40	604-0160
1,649	20	1,645	20	682-644-0.16.2
-	-	-	-	-

TABELA 8

DIAGRAMAS DE PÓ DE CALCOCITA

Santa Blandina

México

d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	h k l
1,595	5	1,588	5	0,126
-	-	1,514	20	684-3.16.2-0.16.4
-	--			
		1,471	5	3.12.6
1,370	10	1,351	10	
		1,278	30	
		1,119	10	
		1,074	10	
		0,974	10	

Cu K α - 23 horas

30 KV - 17 mA

Filme nº 1 672

Câmara Debye-Scherrer 114,6 mmØ

Ficha ASTM nº 9-328

FIGURA 8

FIGURA 9

GRÁFICOS DE A.T.D.

[Handwritten signature]

Com ligeiras discrepâncias devidas à diferentes peculiaridades do equipamento e das condições de realização das análises, os resultados aqui obtidos concordam com a literatura, sendo que os picos exotérmicos devem-se a sucessivas fases de oxidação dos sulfetos e os endotérmicos à decomposição dos sulfatos formados e ao aparecimento de CuO . O pico endotérmico a 890°C , na análise 3, deve-se a impurezas de calcário na amostra.

A calcocita foi tida, por muito tempo, como de origem secundária, provindo da decomposição dos sulfetos de cobre das partes superiores dos filões e redeposição na zona de enriquecimento secundário, também chamada zona de cimentação (Leinz, V. et Leonardos, O.H., 1971). Foi reconhecida, entretanto, sua origem primária em Bristol, Connecticut, E.U.A., (Bateman, A.M., 1923) depositada a partir de soluções ascendentes. Numa outra maneira de deposição a calcocita poderia ser formada pela ação de soluções alcalinas ascendentes agindo sobre a bornita (Ford, 1966).

Em Santa Blandina parece que a origem a partir de soluções cupríferas descendentes, precipitadas na zona de enriquecimento secundário é a única compatível. A associação mineralógica encontrada e a forma de ocorrência, vistas em secções polidas, só admitem essa hipótese.

Cornetita

Um dos fosfatos de cobre existentes em Santa Blandina é a cornetita, $\text{Cu}_3\text{PO}_4(\text{OH})_3$, a qual foi encontrada em fraturas da encaixante, formando uma crosta com minúsculos cristais prismáticos na superfície. Posteriormente foi encontrada associada à pseudomalaquita e libethenita, ou à malaquita e óxidos hidratados de ferro, de preferência em fraturas do escarnito, mas também em outras cavidades e alvéolos resultantes da dissolução de minerais e até crescendo sobre cristais milimétricos de quartzo secundário (Fotos 19 e 20). A corneti

ta, ortorrômbica, é dimorfa da pseudomalaquita, monoclinica.

Propriedades físicas

côr		azul pavão
brilho		vítreo, intenso
transparência		transparente
traço		azul
clivagem		não aparente
dureza		4
pêso específico relativo		4,10
caráter axial e sinal óptico		biaxial (-)
índice de refração	α	1,765
	β	1,81
	γ	1,82
ângulo 2V, estimado		entre 30 e 40°
pleocroísmo		visível

A identificação inicial foi feita com difração de raios X (diagrama de pó) cujos resultados foram comparados com os da ficha ASTM nº 9-495, obtidos a partir de amostra procedente de Bwana Mkubwa, Northern Rhodesia, África (Tabela 9). Os dados ópticos verificados posteriormente confirmaram a identificação.

Foi procedida a análise química do mineral, com os seguintes resultados, que concordam com aqueles apresentados por Berry, L.G. (1950):

Cu O	71,08%
P ₂ O ₅	17,88%
H ₂ O	9,29%
Fe ₂ O ₃	<u>1,71%</u>
	99,96%

A localização da cornetita em fraturas da rocha encaixante e entre minerais reconhecidamente secundários, na zona de oxidação do vieiro, justifica a origem secundária que se lhe atribui, mas durante algum tempo permaneceu sem explicação a origem do íon

DIAGRAMAS DE PÓ DE CORNETITA

Santa Blandina		Bwana Mkubwa, Rodésia do Norte, África		
d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	h k l
7,03	0,5			
5,47	5	5,48	50	111-200
5,06	5	5,07	60	210-021
4,55	3	4,55	30	121
4,29	8	4,29	90	220
3,69	7	3,68	70	131-221
3,54	1	3,53	10	230-002-040
3,17	8	3,17	80	231-022-041-311
3,04	10	3,04	100	122-141
2,94	5	2,95	50	240-321
2,74	3	2,74	30	131-222-241
2,54	2	2,54	30	302-420
2,50	2	2,50	20	250-042-411-312
2,43	2	2,44	30	142
2,38	2			
2,34	2			
2,23	1	2,23	20	431-332-061
2,15	3	2,15	30	402-260-440-213
2,06	7	2,06	70	261-342-441-511
1,968	2	1,959	20	
1,930	0,5			
1,893	0,5	1,897	10	
1,825	0,5	1,833	5	
1,798	1	1,791	20	
1,731	0,5	1,740	20	

DIAGRAMAS DE PÓ DE CORNETITA

Santa Blandina

Bwana Mkubwa,
Rodésia do Norte, África

d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	h k l
1,703	1	1,703	10	
1,673	0,5			
1,639	0,5			
1,608	0,5			
1,575	3	1,574	40	
1,547	3	1,545	40	
1,510	2	1,509	30	
1,471	2	1,471	10	
1,451	2	1,445	10	
1,419	2	1,418	20	
1,401	0,5			
1,386	0,5			
1,368	1	1,369	10	
1,349	0,5			
1,333	1			
1,320	0,5	1,329	10	
-		1,266	10	

Plus 14 additional
lines

Cu K α - 23 horas

30 KV - 17 mA

Filme n $^{\circ}$ 1 601Ficha ASTM n $^{\circ}$ 9-495Câmara Debye-Scherrer 114,6 mm $\varnothing$

Foto 19 - Cornetita em pequenos agregados sôbre prismas de quartzo secundário. Esferulitos de pseudomalaquita (verdes) associados à cornetita. Foto com lupa fotográfica - 6 x.

Foto 20 - Cornetita em prismas sôbre microcristais de libethenita, em fratura no escarnito. Foto com lupa fotográfica. - 20 x.

[Handwritten signature]

fosfato necessário para a cristalização do mineral em Santa Blandina, mesmo considerando-se a pequena porcentagem do mesmo na zona cuprífera.

O estudo das rochas encaixantes do vieiro, entretanto, trouxe o esclarecimento do problema ao revelar a existência de pequenas quantidades de apatita no escarnito e no gorutubito. A apatita, solúvel em ácidos, teria sofrido a ação das soluções descendentes que atravessaram a zona de lixiviação do vieiro e se enriqueceram de ácidos, principalmente o sulfúrico.

Outros estudos com a cornetita não puderam ser feitos, devido à grande dificuldade de obtenção de material suficientemente puro para os fins desejados.

Crisocola

A crisocola ($\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) na Mina Santa Blandina pode ser encontrada em todos os níveis de desmonte e até à superfície, nos diversos afloramentos do vieiro. Sempre associada à malaquita, aparece também junto ao quartzo e limonita. Frequentemente depositada em finas camadas sobre a malaquita (Fotos 22, 23 e 25), ou intercalada com ela (Fotos 21, 24, 27 e 33) ou ainda, como salienta Grigoriev (1965), substituindo-a em parte, seja invadindo-a pelas fraturas ou através das superfícies de contato dos indivíduos cristalinos (Foto 26). É difícil encontrá-la junto à malaquita quando esta cresce diretamente sobre a bornita ou calcocita, à custa destes sulfetos.

Normalmente assume o hábito reniforme a botrioidal da malaquita, quando intercalada em camadas com a mesma (Fotos 21 e 23), mas isoladamente pode preencher total ou parcialmente algumas cavidades (Foto 21), exibindo hábito maciço, de aspecto coliforme e cores mais escuras. Quando cresce independentemente da malaquita, o que não é muito comum, pode apresentar o hábito reniforme ou mamelonar e até botrioi-

dal (Foto 22).

Apenas em uma amostra examinada mostrou-se em início de cristalização (Foto 25) denunciado pelo hábito levemente fibroso, semelhante ao da malaquita.

A crisocola é liberada da malaquita por trituração até partículas com menos de 0,174 mm (grânulos passando na peneira de 100 "meshes") e separação pelo bromofórmio, em virtude do seu peso específico - 2,2 - ser bem inferior ao da malaquita que é 4,0.

Propriedades físicas

côr	azul claro a azul celeste
brilho	sedoso a vítreo
transparência	translúcida a semi-translúcida
traço	branco a branco-azulado
clivagem	não observada
fratura	concóide
dureza	maior do que 2
pêso específico relativo	2,05 a 2,23
caráter axial e sinal óptico	biaxial (-) (?)
índice de refração	1,590
pleocroísmo	perceptível

Os diagramas de pó raramente apresentam raiais, mas quando presentes elas são largas ou difusas, dificultando as medidas e a interpretação. Os fragmentos - cerca de um milímetro cúbico - dão algumas raiais na Câmara de Gandolfi, sendo os resultados (Tabela 10) comparados com os da Ficha ASTM nº 11-322, cuja amostra procede de Star of Congo, Congo Belga.

As curvas da Figura 9 mostram os resultados obtidos na Análise Termo-Diferencial da crisocola de Santo Blandina (Itapeva) de amostras da Sardenha (Itália) e Arizona (E.U.A.), estas obtidas no Museu de Mineralogia deste Instituto. O resumo dos resultados é o seguinte

TABELA 10

DIAGRAMAS DE PÓ DE CRISOCOLA

Santa Blandina		Star of Congo, Belgian Congo		
d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	h k l
8,12	6	8,30	60	
5,79	3	5,72	30	
		4,43	10	
3,75	1			
3,46	1			
		3,57	5	
2,94	8	2,92	80	
2,31	2			
		2,49	45	
		1,638	45	
1,491	10	1,494	100	
1,374	5	1,334	30	
1,238	2			
1,110	1			
		0,957	5	
		0,879	5	

Cu K α - 22 horas

30 KV - 17 mA

Filme nº 1 532

Ficha ASTM nº 11-322

Câmara Debye-Scherrer 114,6 mmØ

Foto 21 - Cavidade no talao de quartzo hidrotermal. Secções de prismas de quartzo e cavidade preenchida por malaquita maciça, crisocola e óxidos hidratados de ferro. Foto, com lupa fotográfica, de secção semipolida.
20 x.

Foto 22 - Crisocola (azul) mamelonar com detalhes botrioidais. Parte superior: camada externa de malaquita (verde claro) recoberta por pseudo-malaquita musciforme (verde escuro). 36 x.

[Handwritten signature]

te:

Amostras	Picos endotérmicos (graus Celsius)	Picos exotérmicos (graus Celsius)
Itapeva	110 - 950	675 - 935
Arizona	100 - 950	350 - 675 - 930
Sardenha	115 - 950	390 - 665 - 925

O pico de 100 - 115° C deve-se à perda de água e o de 950° C corresponde ao ponto de fusão, enquanto o de 350 - 390° C parece ser o da decomposição do mineral e os demais à formação dos novos óxidos cuprita e tenorita.

Kauffman, A.J. Jr. et Dilling, D. (1950) apenas acusam um pico endotérmico a 100° C e dois exotérmicos a 690 e 910° C, sendo, o penúltimo, mais afilado e intenso.

O material residual da A.T.D. e que fôra aquecido até 1050° C, foi submetido à análise sob difração de raios X, tendo acusado a presença de tenorita (CuO), cuprita (Cu₂O) e cristabalita α (SiO₂).

A crisocola de Santa Blandina foi analisada quimicamente, apresentando os seguintes resultados:

SiO ₂	37,32%
CuO	44,80%
H ₂ O	16,40%
Al ₂ O ₃	0,41%
Fe ₂ O ₃	<u>1,05%</u>
	99,98%

A curva da Figura 16 corresponde ao espectrograma de absorção de raios infravermelhos. Seus resultados coincidem com aqueles obtidos por Moenke, H. (1960) a partir de amostra proveniente de Bisbee, Arizona, E.U.A., dentro da faixa de 400 a 1 800 (cm⁻¹), ou seja, de 25 a 5,5 micra. A análise agora procedida

abrange faixa muito maior do espectro, de 300 a 4.000 (cm^{-1}), que corresponde à banda de 33,3 a 2,5 micra.

A origem secundária da crisocola parece ser evidente, sendo depositada a partir de soluções aquosas. A sílica necessária à formação da crisocola de Santa Blandina seria proveniente da dissolução de silicatos do gorutubito, removidos para a deposição dos sulfetos e, também, dos silicatos existentes no mármore. Não fica excluída a possibilidade da proveniência de alguma quantidade de sílica a partir da dissolução do próprio quartzo, pois em alguns pontos ele se apresenta completamente friável e impregnado de sais de cobre.

Cuprita

A cuprita (Cu_2O), nesta fase de lavra da Mina Santa Blandina, não foi encontrada em quantidade suficiente para os exames, embora Barbosa, O. (1942), na época das primeiras pesquisas, tivesse registrado a larga ocorrência deste mineral.

Apenas em uma das seções polidas a cuprita foi identificada, ao microscópio, juntamente com goethita, crisocola e malaquita. Em duas outras seções a identificação foi duvidosa.

A sua associação a minerais oxidados é normal, em virtude de ser tida como de origem secundária.

Entretanto, foi identificada em várias amostras, com auxílio da difração de raios X, como produto final resultante de aquecimento até cerca de 1000°C durante a Análise Termo-Diferencial de carbonatos, silicatos e sulfetos de cobre de Santa Blandina (Tabelas nº 16, 17 e 18).

Goethita

Um dos diversos óxidos hidratados de ferro é a goethita, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, que em Santa Blandina ocorre em todos os níveis de lavra, associada, principalmente, aos minerais secundários, mas também à bornita e calco-

TABELA 11

DIAGRAMAS DE PÓ DE GOETITA

Santa Blandina

d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	h k l
4,95	6	4,97	60	002
4,17	10	4,18	100	011
3,35	6	3,36	60	-
2,69	7	2,69	70	013
2,60	6	2,58	55	102
		2,48	40	004
2,44	8	2,44	80	111
		2,30	10	020
2,25	6	2,25	60	112-103
2,16	6	2,18	60	-
		2,14	10	-
		2,09	15	022
		2,01	20	113
		1,92	40	104
1,780	4	1,80	50	121
		1,77	30	114
1,718	6	1,72	70	122
		1,69	50	024
		1,65	40	105-006
		1,63	10	-
1,608	4	1,60	50	123
1,558	5	1,56	65	115
1,515	5	1,51	60	200

DIAGRAMAS DE PÓ DE GOETITA

Santa Blandina

d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	h k l
1,450	5	1,46	40	106
		1,45	60	202
		1,42	50	211
		1,39	50	116
		1,37	40	203-017
		1,36	50	131
		1,35	20	125-026
		1,32	60	132-213
		1,29	40	204-107

Cu K α - 23 horas

30 KV - 17 mA

Filme nº 1 584

Ficha ASTM nº 3-0249

Câmara Debye-Scherrer 114,6 mmØ

pirita. A goethita aparece em finos agregados aciculares formando superfícies reniformes e botrioidais, a maioria das vezes muito porosa (desidratação ?), mostrando até estruturas microalveolares frágeis ou quebradiças. Sua cor é marrom claro avermelhado, quase sem brilho, e a do traço é amarelo acastanhado.

Sua identificação foi confirmada por diagrama de pó (Tabela 11), comparado com os resultados da Ficha ASTM nº 3-0249.

A origem da goethita de Santa Blandina está ligada à dissolução dos sulfetos de cobre e ferro do veio, bem como à alteração de outros minerais de ferro das encaixantes, principalmente magnetita, com posterior precipitação em aberturas.

Segundo Blanchard et Boswell (1925), a presença de cobre nas soluções fêrricas provoca rápida precipitação do ferro, produzindo "limonita indígena", razão por que a bornita e calcopirita de Santa Blandina estão muitas vezes imersas em massas de óxidos hidratados de ferro, estando estes minerais também nas fraturas daqueles sulfetos.

Os óxidos hidratados de ferro apresentam-se nas suas formas cristalinas conhecidas como goethita e lepidocrocita, bem como amorfa, chamada limonita.

Em seções polidas não é difícil a distinção entre as três formas, pois a goethita mostra cor cinza, poder refletor menor que a lepidocrocita, fraca birrefletância e visível anisotropia, ao passo que a lepidocrocita é de cor branco acinzentada, nítida birreflectância, sendo visível a anisotropia sob nicois cruzados. A limonita mostra aspecto coloforme, poder refletor muito menor e cor avermelhada, sem birreflectância e sem anisotropia sob nicois cruzados.

Libethenita

Outro fosfato de cobre ($\text{Cu}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$), identificado em Santa Blandina é a libethenita, que se

TABELA 12

DIAGRAMAS DE PÓ DE LIBETENITA

Santa Blandina		Libethen		
d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	h k l
5,90	9	5,85	90	110
4,82	10	4,81	100	011-101
4,13	1	4,11	10	111
3,75	7	3,69	70	210
3,65	2	-		
2,92	9	2,92	90	220
2,64	10	2,63	100	112-031
2,57	4	2,55	50	310
2,53	2	-		
2,45	2	-		
2,42	6	2,40	60	202
2,39	4	-		
2,35	1	-		
2,32	7	2,30	60	212
2,07	3	2,07	40	222
		2,02	20	132
1,967	1	1,97	20	410
1,928	5	1,91	60	103-013
1,863	3	1,86	40	113-411
1,819	1	1,80	20	322
1,799	1	-		
1,738	1	-		
1,711	7	1,71	70	042
1,665	4	1,66	50	340-430
1,646	1	-		
1,620	5	1,62	60	
1,581	6	1,58	70	
1,548	5	1,55	60	
1,531	2	1,53	30	
1,507	3	1,50	40	
1,474	5	1,47	60	

TABELA 12 (continuação)

DIAGRAMAS DE PÓ DE LIBETENITA

Santa Blandina		Libethen		
d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	h k l
1,456	6	1,45	70	
1,426	3	1,43	40	
1,394	1	1,39	20	
1,370	3	1,37	40	
1,343	3	1,34	40	
1,322	4	1,32	60	
1,313	4	-		
1,283	5	1,28	60	
1,278	5	1,26	60	
1,237	3	1,25	40	
1,234	2	-		
1,099	3	1,097	40	
1,057	4	1,056	50	
1,034	4	1,034	50	

Cu Kα - 20 horas

30 KV - 20 mA

Ficha ASTM nº 8-107

Filme nº 1 674

Câmara Debye-Scherrer 114,6 mmØ

apresenta em finas crostas constituídas de prismas microscópicos, sob cristais de cornetita (Foto 20), geralmente nas fraturas das rochas encaixantes e, também, envolvida por massas de óxidos hidratados de ferro alveolares, associada à pseudomalaquita, cornetita e malaquita, sempre na zona de oxidação do veio.

Propriedades físicas

côr		verde oliva claro
brilho		sub-vítreo
transparência		semi-transparente
traço		verde oliva claro
clivagem		indistinta, segundo (100) e (010)
pêso específico relativo		3,6
caráter axial e sinal óptico		biaxial (-)
índice de refração	α	1,702
	β	1,745
	γ	1,789
ângulo 2V, estimado		85 a 90°
pleocroísmo		imperceptível

A identificação inicial foi feita com o diagrama de pó (difração de raios X), sendo os resultados comparados com os da Ficha ASTM nº 8-107, estes obtidos de exemplares procedentes de Libethen, Hungria (Tabela 12).

As demais análises previstas neste estudo não puderam ser feitas com a libethenita, devido à pequena quantidade do material e à dificuldade de separação dos minerais associados. Segundo os dados obtidos, entretanto, parece que a libethenita de Santa Blandina tem sua origem estreitamente ligada à da cornetita e da pseudomalaquita do mesmo local, sendo secundária e proveniente da decomposição da apatita (que forneceu o íon fosfato) e dos sulfetos de cobre da jazida.

Magnetita

A magnetita ($\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) em Santa Blandina, pode ser encontrada em octaédros como constituinte aces

TABELA 13

DIAGRAMAS DE PÓ DE MAGNETITA

Santa Blandina		Bisperg-Sweden			India		
d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	h k l	d (Å)	I/I ₀	h k l
3,64	0,5	4,85	40	111	3,66	25	012
2,95	4	2,966	70	220	2,69	100	104
2,69	5	7,530	100	311	2,51	50	110
2,52	10	2,419	10	222	2,285	2	006
					2,201	30	113
2,09	2	2,096	70	400	2,070	2	202
1,839	1				1,838	40	024
1,705	0,5	1,712	60	422	1,690	60	116
1,686	1				1,634	4	211

TABELA 13 (continuação)

DIAGRAMAS DE PÓ DE MAGNETITA

Santa Blandina

Bisberg-Sweden

Índia

d (Å) I/I₀d (Å) I/I₀ h k ld (Å) I/I₀ h k l

1,614 2

1,614 85 333-511

1,483 0,5

1,483 85 440

1,596 16 018

1,484 35 214

1,452 35 300

1,349 4 208

1,327 20 620

1,310 20 1.0.10-119

1,264 10 622

1.258 8 220

Plus 10 lines to 0,8113

Plus 18 lines to 0,9080

Cu Kα - 20 horas

(*)

(**)

30 KV - 15 mA

(*) Ficha ASTM nº 11-614

Filme nº 1 623

(**) Ficha ASTM nº 13-534

Câmara Debye-Scherrer 114,6 mmØ

sório das rochas metamórficas encaixantes, principalmente numa faixa situada estratigráficamente acima da camada mineralizada principal. Essa faixa abrange uma lente de filito e as partes do gorutubito encaixante que lhes são contíguas.

Na zona do vieiro a magnetita é comum nos níveis "zero" e "um", associada ao quartzo, bornita, calcopirita e demais óxidos hidratados de ferro, sempre com hábito maciço.

Propriedades físicas

côr	preto cinzento
brilho	metálico
transparência	opaca
dureza	6
hábito	granular e octaédrico
pêso específico relativo	4,85 a 5,08

A variação do pêso específico relativo nas diversas amostras examinadas deve-se às inclusões de hematita detectada aos raios X, sendo que o diagrama de pó (Tabela 14), comparado com os resultados constantes da ficha ASTM nº 11-614, mostrou diversas raíes excedentes, as quais foram identificadas com as da ficha ASTM nº 13-534 da hematita. Devido à pequena intensidade das linhas da hematita, considerando as da magnetita, conclui-se que há pequena quantidade de hematita em mistura, devendo esta ser proveniente de oxidação de parte da magnetita presente, através de fissuras e fraturas.

A existência de magnetita na atual zona de oxidação da jazida pode ser atribuída à presença de CO_2 , decorrente da decomposição dos carbonados existentes no mármore ali encaixado, pois, segundo White (1941), êsse gás nas soluções ricas em ferro provenientes de sulfeto, facilita a precipitação de magnetita e não dos outros óxidos.

Malaquita

A malaquita, $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$, é encontrada, na Mina Santa Blandina, em quase todos os locais dos atuais

cinco níveis de lavra e em todos os afloramentos do vieiro, inclusive naqueles a oeste e a leste da zona mineralizada principal. Na grande maioria das vezes está associada à crisocola, em alternância de camadas com frações de milímetro de espessura até cerca de um centímetro (fotos 21, 26, 27 e 30). Outras vezes reveste as paredes de cavidades, recheando-as em partes (fotos 27 e 33) ou totalmente, chegando a formar blocos maciços, como exemplo o da Foto 4, bloco êsse de volume excepcional, com mais de dois metros cúbicos.

Revestindo as superfícies da caverna do nível 1, apresenta-se com formas de estalactites e estalagmites, com aspectos mamelonares, reniformes e botrioidais (fotos 22 e 23). Pode apresentar-se ondulada, que é uma forma singular ainda não vista ou descrita na literatura consultada, assemelhando-se a uma superfície lacustre ou marinha batida por fortes ventos, ou a uma superfície arenosa com marcas de ondas acentuadamente profundas e com as cristas curvadas para uma dada direção, (foto 24). Embora as camadas sucessivas indiquem crescimento semelhante àquelas amostras normalmente reniformes ou mamelonares, a superfície resultante dá a impressão de ter sofrido aprofundamento dos sulcos entre as cristas, por erosão. Todas as amostras vistas com êsse hábito estão cobertas com uma última camada de pseudomalaquita.

Nos afloramentos dos vieiros a malaquita se apresenta na forma de manchas ou delgadas películas, com alguns centímetros quadrados de área, recobrindo o quartzo e outros minerais, assumindo aspectos botrioidais, as quais às vezes se apresentam desgastadas pelo intemperismo.

Faturas nas encaixantes e na ganga são ocupadas pela malaquita (foto 34) e há, em certos locais impregnações avançando através de microfraturas e colorindo de verde as regiões penetradas (foto 5).

Em alguns locais age como cimento, ligando frouxamente fragmentos de outros minerais. (principalmen

TABELA 14

DIAGRAMAS DE PÓ DE MALAQUITA

Santa Blandina		Sintética		
d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	h k l
7,49	2	7,41	11	110
6,04	6	5,993	55	020
5,09	7	5,055	75	120
4,71	2	4,699	13	200
3,70	8	3,693	85	220
3,05	2			
		3,028	17	310
3,00	2	2,988	17	040
2,87	10	2,857	100	201-140-186
		2,823	40	111-021
2,79	6	2,778	45	320-211
2,53	5	2,520	55	240
2,49	2	2,477	30	201
2,44	1	2,464	35	330
2,39	1	2,425	20	211
		2,349	13	400-131
2,32	2	2,316	17	231
2,29	0,5	2,289	17	221
2,26	2	2,252	7	321
2,19	3	2,186	20	041-420-141
2,14	3	2,160	7	340
		2,129	20	250
2,07	2	2,076	17	331
		2,054	9	311
		2,022	5	430
2,00	1	1,991	11	060
1,977	1	1,969	17	321
1,949	2	1,947	15	160
1,912	2	1,911	17	151-241
		1,899	13	350
		1,855	3	510

TABELA 14 (continuação)

DIAGRAMAS DE PÓ DE MALAQUITA

Santa Blandina		Sintética		
d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	h k l
1,826	0,5	1,833	9	$\bar{2}51$
1,795	1			
		1,759	11	411
1,699	3	1,696	9	421-061
		1,691	25	$\bar{1}61$
1,676	2	1,678	13	450
1,647	1	1,640	11	$\bar{2}61$
1,623	1	1,616	17	431
1,593	2	1,589	17	012-540
1,577	1	1,571	13	351
1,548	0,5	1,541	7	102
		1,531	13	112
1,510	3			
1,481	4	1,480	5	180
		1,476	17	171- $\bar{2}32$ -550
		1,472	11	$\bar{3}22$ -521
1,425	2	1,422	7	451- $\bar{3}32$ -531
1,411	1	1,418	15	$\bar{4}12$
		1,406	5	$\bar{2}42$ - $\bar{5}51$
1,391	1	1,386	9	640
		1,362	3	232
		1,352	9	380
1,359	3	1,349	11	302
1,337	0,5			
1,260	0,5			
1,211	0,5			
1,167	1			
1,127	0,5			
1,095	0,5			

Cu K α - 23 horas

30 KV - 15 mA

Filme n $^{\circ}$ 1 671Câmara Debye-Scherrer 114,6 mm ϕ Ficha ASTM n $^{\circ}$ 10-399

te quartzo, granada e epídoto) e formando o que se convencionou chamar de malaquita terrosa.

As superfícies de crescimento livre tem aspecto sempre mamelonar ou reniforme, onde é comum serem encontrados esferulitos quase perfeitos, formados de camadras concêntricas de diversas tonalidades de verde.

O hábito acicular, fibroso ou fibro-radia-do é mais comum quando a malaquita cresce diretamente sôbre a bornita ou a calcocita, a cujas expensas se forma (fotos 16 e 17). Esses agregados sub-paralelos tem pouco mais de um milímetro de espessura e as acículas são facilmente destacáveis com o uso de estilete, são de côr verde mais pura e mais translúcidas que as amos-tras com outros hábitos. Podem ser encontrados, em certos locais, agregados de malaquita fibrosa entre cama-das de malaquita maciça (foto 25), tendo sido, portanto, formada a partir de soluções aquosas trazidas de outras partes e não à custa de sulfetos de cobre daquele mesmo ponto.

Propriedades físicas

côr		verde claro até verde escuro
brilho		perláceo a sedoso
transparência		translúcida a quase opa
traço		verde claro ca
clivagem		perfeita, segundo (001) nas acículas
fratura		semi-concôide a irregu-lar
dureza		menor do que 4
pêso específico relativo		3,72 a 3,93
caráter axial e sinal óptico		biaxial (-)
índices de refração	α	1,655
	β	1,875
	γ	1,909
pleocroísmo		perceptível

Os primeiros diagramas de p $\bar{o}$, feitos com a malaquita maciça finamente triturada e usando a câmara Debye-Scherrer, não deram resultado satisfatório, pois as raias obtidas nos filmes eram em pequeno número e,

Foto 23 - Malaquita terrosa. (canto superior esquerdo da amostra) recoberta por malaquita maciça intercalada com camadas de crisocola.

Foto 24 - Malaquita ondeada; corte semipolido mostra alternância de camadas de malaquita, (verde claro), crisocola (azul claro) e pseudomalaquita (verde escuro). A camada mais externa, superficial, é de pseudomalaquita. Foto com lupa fotográfica. 3 x.

Handwritten signature

além disso, largas e difusas. Por outro lado, os filmes-diagrama obtidos com a malaquita acicular ou fibrosa, com a mesma técnica, deram filmes excelentes.

Interpretando êsse fato como sendo decorrente da cristalinidade incipiente das primeiras amostras ou, então, de amorfização das mesmas por efeito de de trituração que precede a análise -como já fôra mostrado por Camargo et Bruder, 1965- foram feitos alguns diagramas dêsse mineral com a câmara de Gandolfi, utilizando fragmentos do mineral, não triturados, tendo sido obtidos diagramas muito melhores.

A Tabela 14 compara os resultados obtidos com a malaquita fibrosa e os da ficha ASTM nº 10-399, referente a amostra sintética, preparada no Natural Bureau of Standards (E.U.A.).

As curvas da Fig. 10 mostram os resultados obtidos na Análise Termo-Diferencial da malaquita de Santa Blandina, Itapeva, e de amostras provenientes de Adrianópolis, no Estado do Paraná. Beck (1950) estabeleceu que a malaquita decompõe-se a 385°C , reação que se inicia a 325°C e termina a 420°C . Cocco (1951) encontrou essa reação a 410°C , concluindo que a fusão da malaquita se dá a 1080°C .

Nas análises procedidas o pico endotérmico foi registrado a 375°C na malaquita de Santa Blandina e a 385°C na de Adrianópolis. Há um pico endotérmico fraco a 100°C , nas duas curvas, que registra a perda de água de umidade e um muito intenso a cerca de 950°C , que corresponde ao ponto de fusão do mineral. Não é conveniente atingir essa última temperatura na A.T.D. da malaquita, pois a fusão do material invariavelmente inutiliza os pares termo-diferenciais do equipamento, causando sérios transtornos.

O material resultante da queima das amostras de malaquita durante a A.T.D. foi analisado sob difração de raios-X (diagramas de pó) tendo acusado a formação de cuprita e de tenorita.

A malaquita forneceu os seguintes resulta-

Foto 25 - Malaquita fibrosa em processo de substituição por crisocola. O conjunto formou-se em cavidade sobre restos da encaixante alterada. Óxidos hidratados de ferro em marrom escuro. Foto com lupa fotográfica. 30 x.

Foto 26 - Malaquita e crisocola em camadas alternadas. A crisocola substituindo a malaquita a partir de fraturas e das superfícies de contato dos cristalitos. Foto, com lupa, de amostra semipolida. 20 x.

[Handwritten signature]

dos na análise química procedida:

Cu O	66,79%
C O ₂	18,08%
H ₂ O	8,68%
Si O ₂	4,58%
Fe ₂ O ₃	<u>1,90%</u>
	100,03%

A elevada quantidade de sílica detectada de ve-se às finas camadas de crisocola intercaladas com as de malaquita e que não foram inteiramente retiradas na seleção do material. O ferro acusado deve-se a minúsculos pontos escuros nos limites entre cada camada.

A curva da Figura 16 corresponde ao espectrograma de absorção de raios infravermelhos. Seus resultados coincidem completamente com aqueles obtidos por Moenke, H. (1960) a partir de amostra proveniente de Nishne Tagil, Ural, dentro da faixa de 400 a 1 800 (cm⁻¹), ou seja, de 25 a 5,5 micra. A análise agora procedida, entretanto, abrange faixa muito maior do espectro, de 300 a 4 000 (cm⁻¹), ou seja, de 33,3 a 2,5 micra.

A malaquita da Mina Santa Blandina apresenta-se em dois tipos diferentes, segundo o grau de cristalinidade. O tipo de menor grau pode ter hábito maciço (Foto 4) ou em camadas intercaladas com crisocola (Fotos 24, 26 e 30), ou, ainda, cimentando frouxamente grãos de outros minerais - a malaquita terrosa (Foto 23). É difícil individualizar os cristalitos e, nos dois primeiros casos, mostra ser mais coerente (maior dureza) sob a ação do estilete, transformando-se em pó fino sob a ação deste instrumento. A cor varia em diversos tons de verde pálido (Foto 27) e a translucidez é mais baixa que no tipo bem cristalizado. Ao microscópio apresenta atividade óptica incipiente, com figuras de interferência difusas. É o tipo que domina em todos os níveis de

Foto 27 - Malaquita (verde claro) sendo substituída por crisocola (azul muito claro) e por pseudomalaquita (verde escuro). No centro em rosado, óxidos hidratados de ferro. Mamelão cortado e semipolido. Foto com lupa fotográfica. 10 x.

Foto 28 - Malaquita (verde e amarelado) em processo de substituição por calcita (branca) resultando grêtas concêntricas (redução de volume pela saída do cobre). Limonita em vermelho. Lâmina delgada. Nícois paralelos. 24 x.

Handwritten signature

desmonte e a sua origem pode ser atribuída a soluções descendentes que se enriqueceram à custa do ataque a sulfetos primários ou secundários, indo depositar-se nas fraturas (Foto 34) e outras cavidades (Foto 33), podendo ser chamada de malaquita transportada. A sua associação é sempre com crisocola, às vezes com pseudomalaquita, estas muitas vezes substituindo-a (Fotos 26 e 27), como já foi mostrado por Grigoriev (1965), a partir de fraturas ou então a partir das superfícies de contato dos cristalitos. As análises química e term-diferencial, bem como o espectro de absorção de raios infravermelhos, foram feitos com amostras deste tipo.

O segundo tipo é bem cristalizado, apresenta-se sempre como acículas arranjadas em agregados sub-paralelos a fibro-radiados, formando camadas sub-milimétricas a milimétricas (Fotos 16 e 17). Está sempre associada à bornita ou à calcocita, em contato direto, pois sua formação é atribuída ao ataque a esses sulfetos por soluções descendentes. Pode ser chamada, portanto, de malaquita autóctone ou de substituição. Sua cor é de um verde mais intenso e uniforme, é mais transparente e apresenta maior nitidez nas figuras de interferência do que a malaquita maciça ou transportada.

Algumas vezes, porém, pode ser encontrada malaquita fibrosa, com todos os característicos físicos típicos, mas depositada entre camadas de malaquita maciça (Foto 25); provavelmente foi formada a partir de camadas maciças mais puras que se recrystalizaram na forma fibrosa ou acicular.

Em alguns pontos a malaquita sofreu ataque de soluções que removeram todo ou quase todo o cobre da sua constituição, transformando-se em calcita ou calcita cuprífera. O fenômeno é facilmente perceptível pela descoloração da malaquita em zonas semi-esféricas (Foto 28), acompanhada do aparecimento de fraturas semelhantes a meia lua, cujas curvaturas são con

cêntricas e acompanhando a semi-esfericidade da zona descolorida. Tais fraturas são grêtas que talvez sejam provenientes da contração de volume da cela unitária da malaquita ($389,12 \text{ \AA}^3$) para a cela unitária da calcita ($291,12 \text{ \AA}^3$) decorrente da substituição do cobre pelo cálcio no retículo da malaquita.

Ouro Nativo

Devido ao seu caráter químico, o ouro tende a isolar-se quando são decompostos os minerais onde se encontra disseminado. Sendo a calcopirita o mineral portador mais provável (Tabela 1), a extensa decomposição e substituição deste mineral, havida em Santa Blandina, liberou o ouro existente, o qual depositou-se em finas películas preenchendo fraturas nos minerais pré-existentes, principalmente sobre quartzo e magnetita. Embora raramente, ainda podem ser encontradas tais películas douradas, principalmente no nível 1.

Prata Nativa

Nas mesmas condições do ouro, a prata também se isola quando os minerais que a contêm são decompostos. Embora não tenha sido detectado o mineral primário portador, parece provável que esse mineral seja a mesma calcopirita.

A prata também forma vênulas em fraturas (Foto 29), sendo mais fácil de ser encontrada do que o ouro, preferentemente associada à malaquita, aos óxidos hidratados de ferro e à magnetita.

Pseudomalaquita

A pseudomalaquita, $\text{Cu}_3 \text{PO}_4 (\text{OH})_3$, é o fosfato de cobre dimorfo da cornetita. Em Santa Blandina existe pequena quantidade do mineral em todos os níveis de

Foto 29 - Microfratura preenchida por prata nativa. Associação com malaquita (verde) e óxidos hidratados de ferro (marrom). Secção polida. Nícois paralelos..192 x.

Foto 30 - Malaquita (verde claro) em camadas concêntricas alternando-se com crisocola, (branco azulado), substituição de malaquita por crisocola e pseudomalaquita (verde escuro). Cavidade central contendo "argila". Amostra semipolida. Foto com lupa fotográfica. 10 x.

[Handwritten signature]

desmonte, exceto no nível quatro. O hábito mais comum é na forma de crostas finas, de pequena extensão, com a parte superficial desenvolvendo-se na forma apófises (Foto 31) ou de esferulitos rodeados de apófises (Foto 32) assemelhando-se a minúsculas flores verdes. Outras vezes a crosta recobre superfícies reniformes a bo trioidais da malaquita e crisocola, apresentando aspec to externo musciforme (Fot 22) ou quase lisa (Foto 23). Apresenta-se, ainda, na forma de camadas lisas reco brindo a malaquita ondeada (Foto 24), podendo interca- lar-se em camadas com este mineral. Pode ser vista, também, substituindo a malaquita no interior de corpos reniformes (Fotos 27 e 30), mas provavelmente não subs titui a crisocola (Foto 27). Alguns esferulitos de pseudomalaquita, isolados, podem ser encontrados sôbre minúsculos cristais de quartzo secundário, associados à cornetita. (Foto 19).

Além do fato de não ter sido encontrada com formas cristalinas externas, deve-se salientar que a pseudomalaquita de Santa Blandina raras vezes apre senta-se isenta de inclusões de óxidos hidratados de ferro e de outros materiais de alteração, os quais en globa durante seu crescimento.

Propriedades físicas

côr	verde escuro a verde azulado
brilho	resinoso
transparência	semi-translúcida; semi-transparente nas bordas mais finas
traço	verde escuro
clivagem	não observada
dureza	pouco superior a 4
pêso específico relativo	3,6
caráter axial e sinal óptico	biaxial (-) ?
índices de refração	1,73 e 1,88
pleocroísmo	imperceptível

TABELA 15

DIAGRAMAS DE PÓ DE PSEUDOMALAQUITA

Santa Blandina		Safford, Graham Co., Arizona		
d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	h k l
		8,51	<10	200
5,87	0,5			
5,32	1			
4,79	1	4,78	10	210
4,47	10	4,49	100	001
3,59	1			
3,46	5	3,46	50	$\bar{1}11-410$
		3,34	<10	111
3,24	1,5	3,256	<10	211
3,13	4	3,11	40	$\bar{4}01$
		3,05	30	401
3,02	3	3,02	<10	$\bar{3}11$
		2,98	40	311
2,93	1	2,92	30	510
		2,867	10	020
2,82	2	2,832	10	120-600
		2,724	30	$\bar{4}11-220$
		2,700	10	411
2,66	0,5			
2,55	1	2,561	20	320-610
		2,468	30	$\bar{5}11$
2,45	6	2,443	60	511
		2,418	60	$\bar{6}01-021$
2,40	7	2,386	70	601-121
2,35	5	2,324	50	$\bar{2}21-221$
2,28	1			
2,22	6	2,234	40	321- $\bar{6}11$
		2,196	10	611-520
		2,129	10	$\bar{4}21$
2,10	1	2,094	20	421
2,01	5	2,018	10	620- $\bar{7}11$

TABELA 15 (continuação)

DIAGRAMAS DE PÓ DE PSEUDOMALAQUITA

Santa Blandina		Safford, Graham Co., Arizona		
d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	h k l
		1,993	10	810-111
		1,961	10	521
		1,945	<10	-
		1,906	<10	-
		1,855	30	-
		1,816	10	
1,808	1	1,791	10	
		1,765	40	
1,731	3	1,730	50	
1,704	2	1,703	10	
		1,692	10	
		1,670	20	
1,624	2	1,624	20	
1,598	1			
1,571	3			
1,503	0,5			
1,481	0,5			
1,416	1			
1,352	1			
1,330	3			

Plus 20 Lines to 1,040

Cu K α - 23 horas

30 KV - 17 mA

Filme n^o 1 673Ficha ASTM n^o 13-28Câmara Debye-Scherrer 114,6 mm $\emptyset$

Foto 31 - Pseudomalaquita com hábito musciforme.
Foto com lupa fotográfica. 10 x.

Foto 32 - Pseudomalaquita: apófises rodeando esferu-
litos, com aspecto de flores. Foto , com
lupa fotográfica. 12 x.

[Handwritten signature]

A pseudomalaquita de Santa Blandina, ao microscópio, apresenta-se com aspecto semifibroso a maciço e é sempre criptocristalina, mostrando-se iluminada durante o giro de 360° da platina, sob nícois cruzados; não tendo oferecido condições de estudo óptico nem com a objetiva de maior aumento (de imersão).

A identificação do mineral foi confirmada aos raios X (diagrama de pó) sendo os resultados comparados com os da ficha ASTM nº 13-28, estes obtidos a partir de amostra proveniente de Safford, Arizona, E.U.A., (Tabela 15). Algumas raias não identificadas no mineral de Santa Blandina, podem ser atribuídas a impurezas microscópicas da amostra.

A origem da pseudomalaquita de Santa Blandina parece ser secundária e semelhante às dos outros fosfatos ali presentes.

"Argilas"

Na zona de oxidação do vieiro principal da Mina Santa Blandina foi encontrado um material com aspecto argiloso preenchendo cavidades de alguns milímetros até muitos centímetros de diâmetro. É muito abundante (quase 5% de jazida) e possui côr verde, em tonalidades que vão do claro, quase branco, até verde muito escuro; ou então côr marrom, desde o claro, rosado, até o escuro semelhante à côr do café.

As fotografias nrs. 30, 33 e 34 mostram "argilas" de diversas côres, associadas à malaquita, crisocola e óxidos hidratados de ferro. O hábito é maciço, às vêzes mostrando grêtas de ressecamento preenchidas por malaquita ou pseudomalaquita.

Propriedades físicas

côr

verde e marrom, diversos
tons

brilho

ceroso a fôsko

TABELA 16

RESÍDUO DA QUEIMA DE "ARGILAS" VERDES

Escura		Clara		α Cristobalita		Tenorita		Cuprita	
d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀
4,03	10	4,09	10	4,05	100				
3,11	0,5	3,13	0,5	3,135	11				
3,00	0,5	3,01	0,5						
2,80	0,5	2,85	1	2,841	13			3,020	9
2,72	0,5					2,751	12		
						2,530	49		
2,51	8	2,55	4			2,523	100		
				2,485	20				
2,46	1	2,48	5	2,465	5			2,465	100
						2,323	96		
2,31	9	2,34	4			2,312	30		
2,13	0,5	2,15	1					2,135	37
				2,118	5				
		2,02	0,5	2,019	3				
						1,959	3		
1,925	0,5			1,929	5				
1,858	2	1,873	1	1,870	7				
						1,866	25		

TABELA 16 (continuação)

RESÍDUO DA QUEIMA DE "ARGILAS" VERDES

Escura		Clara		α Cristobalita		Tenorita		Cuprita	
d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀
						1,778	2		
1,707	0,5			1,690	3			1,743	1
1,613	0,5			1,612	5				
				1,600	3				
1,575	1					1,581	14		
				1,533	3				
1,502	2	1,512	1			1,505	20	1,510	27
1,467	0,5			1,494	5				
				1,431	3				
1,413	1	1,414	0,5			1,418	12		
				1,398	3	1,410	15		
1,375	1	1,382	0,5			1,375	19		
1,301	0,5	1,289	0,5			1,304	7		
				1,281	3				
								1,287	17
						1,265	6		

TABELA 16 (continuação)

RESÍDUO DA QUEIMA DE "ARGILAS" VERDES

Escura		Clara		α Cristobalita		Tenorita		Cuprita	
d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀
1,257	0,5					1,262	7		
		1,186	0,5			1,1961	2	1,233	4
		1,129	0,5			1,1556	4		
		1,099	0,5			1,0916	6		
						0,9808	4	0,9795	4
						0,9390	4		

Cu K α -23 horas

30 KV-17mA

Filme n° 1 635

Câmara Debye-Scherrer 114,6 mmØ

Cu K α -23 horas

30 KV-17 mA

Filme n° 1 638

Ficha ASTM

n° 11-695

Ficha ASTM

n° 5-661

Ficha ASTM

n° 5-667

TABELA 17

RESÍDUO DA QUEIMA DE "ARGILAS" MARRONS									
Escura		Clara		Cristobalita		Cuprita		Tenorita	
d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀
4,07	10	4,07	10	4,05	100				
		3,14	0,5	3,135	11				
2,87	3	2,88	3	2,841	13	3,020	9		
								2,751	12
2,52	2	2,52	2					2,530	49
				2,485	20			2,523	100
2,46	10	2,46	9	2,465	5	2,465	100		
2,33	2	2,32	2						
2,22	0,5							2,323	96
2,13	2							2,312	30
						2,135	37		
2,04	2	2,04	2	2,118	5				
		2,00	0,5	2,019	3				
1,949	0,5								2,0268 100
								1,959	3

TABELA 17 (continuação)

RESÍDUO DA QUEIMA DE "ARGILAS" MARRONS											
Escura		Clara		Cristobalita		Cuprita		Tenorita		Ferro α	
d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀
				1,929	5						
				1,870	7						
1,865	1	1,868	1					1,866	25		
		1,703	0,5					1,778	2		
1,692	0,5					1,743	1				
1,664	1	1,665	1	1,690	3						
1,623	1	1,625	1	1,612	5						
				1,600	3						
1,576	2	1,574	3					1,581	14		
				1,533	3						
1,510	2	1,504	0,5			1,510	27	1,505	20		
				1,494	5						
1,441	3	1,443	4								
				1,431	3					1,4332	19
1,414	0,5	1,413						1,418	12		
								1,410	15		

TABELA 17 (continuação)

RESÍDUO DA QUEIMA DE "ARGILAS" MARRONS

Escura		Clara		Cristobalita		Cuprita		Tenorita		Ferro α	
d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀
1,379	0,5	1,374		1,398	3						
1,290	2	1,283	0,5	1,281	3	1,287	17	1,304	7		
								1,265	6		
		1,248	0,5			1,233	4	1,262	7		
1,190	2							1,1961	2		
		1,130	0,5							1,1702	30
1,088	0,5	1,092	0,5					1,1556	4		
1,063	1							1,0916	6		
						0,9795	4			1,0134	9
								0,9808	4		
								0,9390	4		
Cu K α -23 horas		Cu K α -23 horas		Ficha ASTM		Ficha ASTM				0,9034	12
30 KV-15 mA		30 KV-15 mA		nº 11-695		nº 5-667				0,8275	6
Filme nº 1 666		Filme nº 1 667						Ficha ASTM		Ficha ASTM	
Câmara Debye-Scherrer 114,6 mmØ								nº 5-661		nº 6-696	

transparência	semi translúcidas a opa cas
traço	branco a verde escuro, também marrom
fratura	semi-concôide a irregu- lar, até plana
dureza	1,5 a 3,5

Para facilitar o trabalho de pesquisa e a exposição dos resultados, resolveu-se classificar esse material em quatro tipos, segundo o critério da cor:

- tipo 1 - "argila" verde clara
- tipo 2 - "argila" verde escura
- tipo 3 - "argila" marrom clara
- tipo 4 - "argila" marrom escura

Assim, o peso específico relativo encontrado para os quatro tipos foi o seguinte:

- tipo 1 - 0,67 a 1,10
- tipo 2 - 1,20 a 1,90
- tipo 3 - 1,45 a 1,70
- tipo 4 - 1,75 a 1,82

Ao microscópio, sob luz transmitida, constatou-se que o material é quase totalmente coloidal, com raras partículas submicroscópicas apresentando atividade óptica perceptível. Em apenas uma lâmina delgada, feita com material intermediário entre os tipos 1 e 2, constatou-se a intercalação de algumas camadas de calcita transparente, muito finas. A identificação da calcita deveu-se à sua alta birrefringência e efervescência sob o toque de um estilete umedecido em ácido clorídrico diluído. Sob luz refletida o material não apresenta refletividade e não mostra qualquer atividade óptica.

Tôdas as tentativas para obtenção de resultados com difração de raios X foram infrutíferas, seja na câmara Debye-Scherrer com amostras pulverizadas ou na de Gandolfi com fragmentos, ou ainda no difratômetro com

GRÁFICOS DE A.T.D.

[Handwritten signature]

Foto 33 - Cavidade com paredes revestidas de malaquita e crisocola e interior com "argila". Amostra semipolida.. Foto com lupa fotográfica. 3 x.

Foto 34 - Superfície recoberta por "argila", com grêtas de ressecamento ocupadas por malaquita. Foto com lupa fotográfica. 4 x.

[Handwritten signature]

pó compactado.

Amostras dos quatro tipos de material foram pulverizadas e atacadas a frio, durante 14 horas, por ácido clorídrico diluído (20%). O resíduo insolúvel foi lavado e seco em estufa (80°) após o que deu resultados negativos no difratômetro de raios X.

Uma separação por pipetagem, do material argiloso mais fino, acusou no difratômetro de raios X a presença de porcentagem muito pequena de caulinita e de nontronita.

As "argilas" foram submetidas à Análise Termo-Diferencial, conforme figuras 11 a 14 (uma para cada um dos tipos), cujos resultados vão abaixo resumidos:

Tipos	Picos endotérmicos (em graus Celsius)	Picos exotérmicos (em graus Celsius)
verde clara	140-510-730-970	690-920
verde escura	150-510-730-970	690-920
marrom clara	130-530-700-820-970	720-910
marrom escura	150-530-790-970	725-930

As curvas de A.T.D. são semelhantes entre si, principalmente em relação aos picos exotérmicos, que correspondem aos da crisocola. A malaquita também apresenta o pico exotérmico de alta temperatura, mas a 940°C e não a 910°C como a crisocola. Parece que a quantidade de malaquita na mistura é insignificante, pois o seu intenso pico endotérmico aos 350°C não apareceu ou então foi completamente mascarado.

Em relação aos picos endotérmicos, o de 130 a 150°C é comum aos quatro tipos e deve referir-se à perda de água, enquanto o pequeno pico de 510 a 530°C é devido a pequenas porcentagens de caulinita presente, pois esse pico é característico para este mineral. O pico endotérmico na região dos 700 a 730°C pode ser atribuído à oxidação do cobre e formação de CuO e é comparável a outras curvas apresentadas, ao passo que o pico na região de 790

a 820°C, embora seja comum à malaquita e à crisocola, po de ser melhor atribuído a este último mineral. A reação endotérmica aos 970°C, comum aos quatro tipos de "argilas", corresponde ao seu ponto de fusão.

O material foi analisado quimicamente e forneceu os seguintes resultados, em porcentagens:

	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4
SiO ₂	31,36	27,04	31,34	31,16
CuO	28,64	28,93	13,51	13,66
CaO	1,33	1,00	2,33	1,65
Al ₂ O ₃	4,01	2,04	10,49	13,78
Fe ₂ O ₃	2,69	1,90	8,91	5,06
CO ₂	0,49	0,20	0,59	0,59
H ₂ O total	30,98	38,80	32,64	33,97
Somas	99,50	99,91	99,81	99,87

A análise química demonstrou que o material constitui minério de elevado teor em cobre, sendo mais ricos os tipos 1 e 2, ao passo que os tipos 3 e 4 parecem dever sua cor marrom ao maior teor em ferro. A elevada porcentagem de sílica parece ser devida à crisocola presente na mistura e, também, a um pouco de caulinita, a qual seria melhor justificada nos tipos 3 e 4, devindo à maior quantidade de alumina detectada.

O resíduo das análises termo-diferenciais (aquecimento até 1050°C) de cada tipo de material foi analisado sob difração de raios X, tendo o diagrama de pô do resíduo das "argilas" verdes acusado a presença de cristobalita α, tenorita e cuprita (Tabela 16). O resíduo das argilas marrons acusou, além daqueles, a formação de alumina (Tabela 17). Estes resultados parecem confirmar os dados obtidos nas análises químicas proce-

didas.

Outra tentativa para definir estas "argilas" consistiu na execução dos espectrogramas de absorção de raios infravermelhos (Figura 16), cujos resultados parecem justificar a classificação desse material nos quatro tipos já referidos.

Há razoável similaridade nas bandas de absorção entre as curvas dos tipos 1 e 2, bem como entre as dos tipos 3 e 4. Também a intensidade dos picos, que corresponde à porcentagem de absorção da radiação nas diversas bandas de comprimento de ondas, mostra a semelhança dos tipos verdes entre si e dos tipos marrons, também entre si.

Por outro lado, há nítida semelhança entre os gráficos obtidos com as "argilas" e o gráfico da crisocola, não havendo essa semelhança entre aqueles e o da malaquita. Estes dados parecem ser confirmados pela análise química procedida, onde o alto teor em sílica e cobre seria explicado pela presença de crisocola nessas "argilas", a qual estaria em mistura com o material de alteração de outros minerais, provavelmente argilas caulínicas e nontroníticas.

A origem secundária das "argilas" parece estar suficientemente provada, não tendo sido possível a sua perfeita caracterização, em virtude de tratar-se de uma mistura de substâncias minerais de composições diversas, em proporções não definidas.

Material "Prêto avermelhado"

Um outro material de difícil caracterização e largamente difundido na zona de oxidação da Mina Santa Blandina recebeu o nome de material "prêto avermelhado", devido à sua cor prêta quando em massas de espessura de alguns milímetros, mas com reflexões internas de cor vermelho vinho quando em lascas mais finas.

A sua associação é preferentemente com minerais oxidados - malaquita, crisocola e ôxidos hidratados de ferro - mas existe também junto à bornita e calcocita. Seu aspecto é invariavelmente maciço, macroscôpicamente sem qualquer tipo de textura e sempre como material de preenchimento de cavidades e interstícios entre minerais (Fotos 21, 25 e 26).

Propriedades físicas

côr	prêto; avermelhado nas lascas mais finas
brilho	sedoso
transparência	semi translúcido a opaco
traço	castanho avermelhado
fratura	semiconcôide a irregular
dureza	2 a 3
pêso específico relativo	3,65
índice de refração	1,80 a 1,83

O exame do material ao microscópio, sob luz transmitida, mostrou que o mesmo parece tratar-se de substância ainda no estado semi-coloidal, mostrando atividade óptica incipiente, embora haja extinção em certas partes de cada grão durante o giro da platina do microscóprio. (Extinção ondulante). As tentativas com a objetiva de maior aumento (de imersão), também se mostraram infrutíferas na determinação do caráter axial e sinal óptico.

Foram feitos vários diagramas, com as diversas câmaras de pó e com o difratômetro, para obtenção de resultados com difração de raios X, todos acusando a falta de cristalinidade do material.

A análise termo-diferencial feita com o material mostrou um pico endotérmico a 130°C relativo à perda de (OH) ligado ao ferro e outro a 290°C que parece referir-se à perda de (OH) ligado ao alumínio (Figura 15); outro pico endotérmico a 750° pode ser devido

TABELA 18

RESÍDUO DA QUEIMA - "PRÊTO AVERMELHADO"

Santa Blandina		Magnetita			Hematita		X-Alumina	
d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	h k l	d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀
4,95	2	4,86	30	111				
3,75	1				3,66	25		
2,95	6	2,97	60	220				
2,69	4				2,69	100		
2,52	10	2,53	100	311				
2,42	1	2,425	10	222				
2,20	1						2,40	40
2,08	4	2,097	50	400	2,201	30	2,27	20
1,843	1				2,070	2	2,11	30
1,700	3	1,714	40	422	1,838	40	1,98	20
1,619	5	1,615	60	333-511	1,690	60		
1,482	6	1,484	70	440			1,53	10
1,453	1				1,484	35		
1,395	1				1,452	35		
		(*)			(**)		1,39	100
							(***)	
Cu Kα - 23 horas								
30 KV - 17 mA								
Filme nº 1 662								
Câmara Debye-Scherrer 114,6 mmØ								
					(*)	Ficha ASTM nº 11 614		
					(**)	Ficha ASTM nº 13 534		
					(***)	Ficha ASTM nº 4 880

FIGURA 16 - DIAGRAMAS DE INFRAVERMELHOS: SANTA BLANDINA - ITAPEVA

Handwritten signature

Bild 15. UR-10-Diagramm von Chrysokoll aus Bisbee, Arizona

Bild 17. UR-10-Diagramm von Malachit, Fundort Nishne Tagil, Ural

Bild 47. Vergleich der URA-Spektren von FeOOH- und γ-FeOOH-Mineralen.

[Handwritten signature]

à formação de magnetita, ao passo que o pico exotérmico a 670°C e aquele acima de 900°C não puderam ser exatamente correlacionados.

O resíduo do material "prêto avermelhado", depois da queima até 950°C durante a análise termo-diferencial, foi submetido ao exame sob difração de raios X, na câmara de pó Debye-Scherrer de 114,6 milímetros de diâmetro, tendo acusado a presença de magnetita, cristobalita α e alumina (Tabela 18).

A análise química acusou os seguintes resultados:

SiO_2	10,38%
CuO	6,88%
Al_2O_3	38,19%
Fe_2O_3	25,61%
H_2O total	<u>18,95%</u>
	100,01%

O espectro de absorção de raios infravermelhos do material "prêto avermelhado" (Figura 16) foi cotejado com diversos outros só tendo sido identificada a banda de absorção da goethita de 6,45 a 5,95 micra ($1\,550$ a $1\,680\text{ cm}^{-1}$). As demais bandas estão no domínio das frequências características de complexos de metal e OH_2 de 9 a 18 micra e de metal e CO_2 - 20 a 25 micra - (Nakamoto, K., 1970), parecendo confirmar a presença de óxidos hidratados de ferro e de carbonato de cobre.

As diversas tentativas de caracterização desse material "prêto avermelhado" foram feitas tendo em vista a sua larga distribuição na jazida e o seu alto conteúdo em cobre. Os resultados atingidos, entretanto, serviram apenas para classificá-lo como de natureza semicolidial (não cristalina) e de origem secundária. A solubilidade da sílica e dos óxidos de

cobre e ferro são reconhecidas, não sendo difícil ligar a origem desses componentes do material "prêto avermelhado", à dissolução dos minerais da encaixante e do vieiro. O conteúdo em alumina, embora elevado, pode ser explicado pelo fato de que ela só se mantém dissolvida em meios com pH inferior a 4 ou superior a 9. Como as soluções ácidas descendentes tendem a elevar seu pH rapidamente, em virtude da solubilização dos íons dos minerais atacados e conseqüente saturação da sua capacidade de reação, parece provável a precipitação da alumina e dos óxidos de ferro e cobre a partir das soluções com pH neutro ou fracamente alcalino.

MINERAIS DE ORIGEM METAMÓRFICA

Crisotila

Em diversos locais do vieiro de Santa Blandina, principalmente em fraturas do escarnito alterado, foi encontrada a crisotila ($H_4 Mg_3 Si_2 O_9$), variedade fibrosa de serpentina, aqui normalmente associada a óxidos hidratados de ferro, malaquita, crisocola, granada e epídoto. Também em um testemunho de sondagem (de profundidade não determinada) foi encontrada uma fratura, no escarnito menos alterado, inteiramente preenchida por crisotila (Foto 42). Nessa amostra de escarnito os principais constituintes eram o quartzo granular, clorita e granadas.

Propriedades físicas

côr	verde-oliva claro
brilho	sedoso
transparências	transparente quando em pequenos feixes de fibras
traço	branco leitoso esverdeado
clivagem	distinta, segundo (010)
dureza	2,5 a 3
caráter axial e sinal óptico	biaxial (+)
índices de refração	$\beta = 1,504$ e $\alpha = 1,49$
pleocroísmo	perceptível

A identificação foi confirmada por diagrama de pó sob difração de raios X, sendo os resultados comparados com diagramas de crisotila de diversas procedências (Tabela 19), catalogadas por Beatty, S. van D. (1950).

Tôdas as referências bibliográficas consultadas sobre o assunto, dão como mais provável a origem metamórfica para a crisotila, por alteração de an

TABELA 19
DIAGRAMAS DE PÔ DE CRISOTILA

Santa Blandina		Labrador		Easton		Canadá		Suiça	
d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀
9,22	3	9,1	st	9,1	st				
8,51	10	8,3	v.st	8,4	v.st				
7,35	0,5					7,4	st	7,3	st
5,24	0,5								
		5,03	wk	5,01	wk				
4,56	3	4,49	st	4,77	wk				
4,29	1	4,17	v.wk	4,51	st	4,5	st	4,55	wk
3,94	0,5			4,20	wk				
		3,60	v.wk			4,0	st		
3,40	2	3,42	wk			3,66	st	3,65	st
3,30	3	3,26	st	3,28	v.st				
3,13	9	3,10	v.st	3,12	v.st				
3,03	1								
2,95	1								
2,81	2	2,78	wk	2,80	wk				
2,72	5			2,69	v.wk				
2,61	2			2,58	v.wk				

TABELA 19 (continuação)
DIAGRAMAS DE PÓ DE CRISOTILA

Santa Blandina		Labrador		Easton		Canadá		Suíça	
d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀
2,55	1							2,55	wk
2,45	0,5								
2,40	0,5	2,37	wk	2,38	wk	2,43	wk		
2,34	2								
2,28	0,5			2,22	v.wk				
2,17	3	2,16	v.wk	2,14	v.wk				
		2,08	v.wk	2,070	v.wk				
2,02	3			1,998	kk				
1,9803	0,5	1,99	v.wk						
				1,960	wk				
1,9038	1	1,89	wk	1,889	wk			1,89	wk
1,8113	1	1,80	wk	1,807	wk	1,84	wk		
		1,78	wk						
		1,75	v.wk			1,69	wk		
1,6548	2	1,63	st	1,631	st				
1,6291	1	1,62	st	1,613	st				
1,6083	1								

TABELA 19 (continuação)

DIAGRAMAS DE PÓ DE CRISOTILA

Santa Blandina		Labrador		Easton		Canadá		Suiça	
d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀
1,5881	0,5	1,58	wk	1,582	wk				
1,5374	0,5			1,559	wk	1,54	st		
1,5124	4	1,50	st	1,499	st				
1,4673	0,5			1,451	wk	1,45	wk		
1,4439	4	1,434	v.wk	1,432	wk				
				1,374	v.wk				
1,3654	0,5	1,352	v.wk	1,358	wk				
1,3457	0,5								
1,3147	1	1,321	v.wk	1,321	v.wk				
1,2998	1	1,299	v.wk	1,295	wk				
		1,269	v.wk	1,265	v.wk				
		1,243	v.wk						
1,1929	0,5								
1,1254	0,5								

Cu K α - 23 horas

30 KV - 15 mA

Filme 1 626

Câmara Debye-Scherrer 114,6 mm $\emptyset$

Beatly, S. van D.

American Mineralogist - 1950

V. 35 - pp. 579-589

fibólitos e piroxênios magnesianos, até de monticellita (olivina), chondrodita (nesossilicato hidratado), vesuvianita (sorossilicato hidratado, complexo) e talco (flossilicato hidratado). A associação mineralógica vista no testemunho de sondagem parece confirmar a ligação da sua origem aos processos metamórficos que se sobrepuseram na região da Mina Santa Blandina. Na zona de oxidação da jazida as indicações existentes levam à afirmação de que a crisotila e a granada provavelmente sejam produtos de fases diferentes de metamorfismo - anteriores à mineralização - e que elas são remanescentes nessa zona por que resistiram ao ataque das soluções ascendentes e descendentes.

Granadas

O grupo de minerais da ganga mais extensamente distribuído em Santa Blandina é o das granadas, que existe no escarnito em todos os níveis de desmonte em toda a extensão do vieiro, mas principalmente nos níveis 1 e 2, onde a escarnitização encontrou o campo mais favorável para o seu desenvolvimento, constituído pela lente de mármore aí encaixada. Em certos locais a concentração dos cristais é maior, ocupando 30 a 40% do volume total da rocha hospedeira. Geralmente os porfiroblastos são submilimétricos - alguns têm mais de um milímetro de diâmetro - a grande maioria na forma de rombododecaedros, mas existem icositetraedros. Nos exemplares examinados não foram encontradas faces de outros sólidos geométricos a não ser a do rombododecaedro (110) e a do icositetraedro (h11).

As granadas acham-se associadas principalmente à bornita e calcopirita na parte central do vieiro, mas também à calcocita, malaquita e demais minerais oxidados, quando em outros locais. Elas são muito comuns no material terroso proveniente da alteração do escarnito, juntamente com grãos de epidoto e ma

terial argiloso, formando massa fracamente cimentada por óxidos hidratados de ferro; quando êsse material terroso é cimentado por carbonato de cobre hidratado, forma a "malaquita terrosa". Os cristaloblastos de granada freqüentemente são portadores de inclusões de magnetita, mas existem alguns menos impuros.

Propriedades físicas

côr	verde claro a castanho
brilho	vítreo
transparência	subtransparente a trans- lúcida
traço	incolor
clivagem	não observada
fratura	concóide a irregular
dureza	6,5 a 7
pêso específico relativo	3,40 a 3,84
comportamento óptico	isótropo
índice de refração	1,765 a 1,885

Inicialmente pensou-se que a granada presente em Santa Blandina fôsse exclusivamente a grossulária. As identificações com difração de raios X, por diagramas de pó, mostraram sempre as raiais predomnantes da andradita, com algumas coincidindo com as da grossulária. Para alguns raros exemplares de côr amarelo esverdeada clara, mais transparentes, a identificação recaiu na hibschita, variedade hidratada de grossulária.

Tendo em vista essas discrepâncias com o que era esperado, bem como o fato de as granadas formarem séries isomorfas às vezes completas, com os íons metálicos se intersubstituindo nas mais diversas porções, foi preferida a classificação dêstes minerais por meio do método aprimorado por Camargo et Madureira (1970), que utiliza o pêso específico relativo, o índice de refração e um parâmetro complementar. Tal parâ-

metro é a diferença, em ângstrons, entre os valores de "d" (distância interplanar obtida em diagrama de pó) da raia mais intensa da granada (420) e do quartzo (10 $\bar{1}$ 1). Este método simplifica o trabalho de classificação, pois torna desnecessário o cálculo do a_0 da célula unitária do mineral, já que aquela diferença é função do a_0 .

Para a aplicação do método foram escolhidos exemplares representativos das variedades de granada encontradas, caracterizadas pela cor verde esmeralda clara e pela cor castanha avermelhada. Foram selecionados, também, exemplares da cor verde mais clara e mais transparente. Para essas amostras foram determinados os respectivos pesos específicos relativos e índices de refração, adiante indicados:

	Peso específico relativo	Índice de refração
granada verde	3,81	1,875
granada castanha	3,84	1,885
granada verde clara	3,40	1,765

Utilizando esses dados e o parâmetro complementar, o resultado encontrado foi o seguinte:

granada verde	92% de andradita 2% de piropo 6% de espessartita
granada castanha	97% de andradita 2% de piropo 1% de espessartita
granada verde clara	48% de hibschita 23% de grossulária 29% de andradita

As duas primeiras amostras são, portanto, andraditas quase puras e a terceira contém menos de 30% de andradita e mais de 70% da série grossulária-hibschita. Deve ser considerado que a hibschita

TABELA 20

Determinação de parâmetro de substância cúbica

Granada verde de Santa Blandina-Itapeva

2θ	I/I_0	d (Å)	$h k l$	N_c	Q	$a^2_{obs.}(10^7)$	$(D^*_a)^2(10^7)$	$(D^*_a)^2 \cdot N_c(10^{14})$
20,88	2	4,2507	220	8	05534	69.175	+242	468.512
29,66	7	3,0094	400	16	11042	69.012	+ 79	99.856
33,29	10	2,6890	420	20	13830	69.150	+217	941.780
34,93	1	2,5664	332	22	15183	69.014	+ 81	144.342
36,54	5	2,4570	422	24	16565	69.020	+ 87	181,656
38,13	2	2,3581	431	26	17983	69.165	+232	1.399.424
41,01	2	2,1989	521	30	20682	68.940	+ 7	1.470
46,46	3	1,9528	611	38	26223	69.008	+ 75	213.750
47,79	1,5	1,9015	620	40	27657	69.142	+209	1.747.240
52,64	1	1,7372	444	48	33136	69.033	+100	480.000
54,98	3	1,6687	640	52	35912	69.062	+129	865.332
57,21	6	1,6088	642	56	38636	68.993	+ 60	201.600
61,56	1,5	1,5051	800	64	44144	68.975	+ 42	112,896
69,79	1,5	1,3464	840	80	55163	68.954	+21	35.280
71,79	2	1,3138	842	84	57935	68.970	+ 37	114.996
73,69	1,5	1,2845	664	88	60608	68.873	- 60	316.800

CONTINUAÇÃO DA TABELA 20

2θ	I/I_0	$d (\text{\AA})$	$h k l$	N_c	Q	$a^{*2}_{\text{obs.}} (10^7)$	$(D^*_a)^2 (10^7)$	$(D^*_a)^2 \cdot N_c (10^{14})$
78,58	0,5	1,2163	941	98	67595	68.974	+ 41	164.738
87,03	2	1,1187	10.4.0	116	79905	68.884	- 49	278.516
88,93	1,5	1,0996	10.4.2	120	82705	68.921	- 12	17.280
92,63	1	1,0651	880	128	88149	68.866	- 67	574.592
100,11	0,5	1,0047	12.0.0	144	99066	68.796	-137	2.702.736
102,10	0,5	0,99043	12.2.0	148	1,01941	68.879	- 54	431.568
104,03	1,5	0,97725	12.2.2	152	1,04710	68.888	- 45	305.775
SOMAS.....				1.602	11,04304			11.800.139

Resultado:

$$a_0 = 12,041 \pm 0,002 \text{ \AA}$$

Cu K - 23 horas

30 KV - 20 mA

Filme nº 1659

Câmara Debye Scherrer, 114,6 mm ϕ

2θ = média de 3 leituras

TABELA 21
Determinação de parâmetro de substância cúbica
Granada castanha de Santa Blandina Itapeva

2θ	I/I_0	$d\text{ (Å)}$	hkl	N_c	Q	$a^2_{\text{obs.}}(10^7)$	$(D^*_a)^2(10^7)$	$(D^*_a)^2 \cdot N_c(10^{14})$
20,85	1	4,2568	220	8	05518	68.575	+ 54	23.328
29,65	7	3,0153	400	16	10598	68.737	-183	535.824
33,28	10	2,6898	420	20	13821	65.105	+185	684.500
34,92	0,5	2,5672	332	22	15173	68.968	+ 48	50.688
36,52	6	2,4583	422	24	16547	68.945	+ 25	15.000
38,07	1,5	2,3619	431	26	17925	68.942	+ 22	12.584
41,05	1,5	2,1969	521	30	20719	69.063	+143	613.470
46,48	3	1,9521	611	38	26242	65.057	+137	713.222
47,75	1	1,5036	620	40	27596	68.590	+170	196.000
52,58	1	1,7390	444	48	33067	68.889	- 31	46.128
54,58	3	1,6687	640	52	35913	65063	+143	1063348
57,22	6	1,6086	642	56	38647	69.012	+ 52	473.984
61,50	1,5	1,5065	800	64	44062	68.846	- 74	350.464
69,83	1,5	1,3457	840	80	55221	69.026	+106	898.880
71,78	2	1,3139	842	84	57927	68.960	+ 40	134.400
73,75	1,5	1,2835	664	88	60705	68982	+ 62	338.272

CONTINUAÇÃO DA TABELA 21

2θ	I/I_0	$d (\text{\AA})$	$h k l$	N_c	Q	$a^{*2}_{obs.}(10^7)$	$(D^*_a 2(10^7))$	$(D^*_a 2)^2 \cdot N_c (10^{14})$
88,96	1,5	1,0993	10.4.2	120	82754	68.961	+ 41	201.720
92,76	1	1,0646	880	128	88237	68.935	+ 25	28.800
100,41	0,5	1,0025	12.0.0	144	99502	69.100	+180	4.665.600
117,98	0,5	0,85869	12.6.0	180	1,23823	68.790	-130	3.042.000
120,03	0,5	0,88883	12.6.2	184	1,26582	68.794	-126	33.856
139,76	1	0,82031	14.4.2	216	1,48610	68.770	-150	4.860.000
SOMAS:.....				1.668	11,49589			18.982.068

Resultado:

$$a_0 = 12,041 \pm 0,002 \text{ \AA}$$

Cu K - 23 horas

30 KV - 20 mA

Filme nº 1648

Câmara Debye Scherrer 114,6 mm Ø

 2θ = média de 3 leituras

TABELA 22

Determinação de parâmetro de substância cúbica
Granada hidratada de Santa Blandina-Itapeva

2 θ	I/I ₀	d (Å)	h k l	N _c	Q	a* ² _{obs.} (10 ⁷)	(D* _a 2(10 ⁷))	(D* _a 2) ² .N _c (10 ¹⁴)
29,19		2,9960	400	16	11141	69.631	+1074	18.455.616
33,49		2,6735	420	20	13991	69.955	+1398	39.088.080
36,49		2,4602	422	24	16522	68.842	+285	1.949.400
38,09		2,3605	431	26	17947	69.026	+ 469	5.718.986
40,99		2,2000	521	30	20661	68.870	+ 313	2.939.070
46,29		1,9556	611	38	26148	68.723	+ 166	1.047.128
51,74		1,7653	444	48	32089	66.852	-1705	139.537.200
54,99		1,6684	640	52	35925	69.086	+ 529	14.551.732
57,29		1,6067	642	56	38737	69.173	+ 616	21.249.536
61,59		1,5045	800	64	44178	69.028	+ 471	14.419.665
69,89		1,3447	840	80	55303	69.128	+ 571	26.083.280
71,59		1,3170	842	84	57654	68.635	+ 78	511.056
73,64		1,2852	664	88	60542	68.797	+ 240	5.068.800
86,99		1,1191	10.4.0	116	79847	68.833	+ 276	8.836.416
88,89		1,1000	10.4.2	120	82645	68.870	+ 313	11.756.280
92,34		1,0677	880	128	87720	68.531	- 26	86.528
99,99		1,0056	12.0.0	144	98889	68.672	+ 115	1.904.400

TABELA 22
Determinação de parâmetro de substância cúbica
Granada hidratada de Santa Blandina-Itapeva

2θ	I/I_0	$d \text{ (Å)}$	$h k l$	N_c	Q	$a^{*2}_{obs.} (10^7)$	$(D^*_a)^2 (10^7)$	$(D^*_a)^2 \cdot N_c (10^{14})$
101,84		0,99224	12.2.0	148	101570	68.628	+ 71	446.068
103,89		0,97819	12.2.2	152	104509	68.755	+ 198	5.998.212
117,89		0,89913	12.6.0	180	123695	68.720	+ 163	4.782.420
119,99		0,88945	12.6.2	184	126420	68.706	+ 149	4.084.984
124,39		0,87484	888	192	130660	68.052	- 505	48.964.800
133,74		0,83758	12.8.0	208	142593	68.530	- 27	151.632
136,64		0,82888	14.4.0	212	145551	68.656	+ 99	2.077.812
139,29		0,82155	14.4.2	220	148160	67.345	-1212	323.167.680
				2.630	1.803.047			703.176.781

Resultado: $a_0 \ 12,077 \pm 0,003 \text{ Å}$

Câmara de Gandolfi - 114,6 mmØ

Radiação Cu K α - 30 KV - 20 mA

23 horas - Filme nº 1 546

2θ = média de 3 leituras

ta é uma variedade hidratada de grossulária.

Apesar da obtenção desses resultados, foi levado a efeito o cálculo do parâmetro da cela unitária dessas três variedades de granada, aplicando-se o método exposto por Gomes et al. (1968), conforme demonstração feita nas Tabelas nrs. 20, 21 e 22, e resultados abaixo:

granada verde	12,041 Å	%	+	0,002
granada castanha	12,041 Å		+	0,002
granada verde clara	12,077 Å		+	0,003

Tremolita

Na extremidade sudoeste do vieiro principal, no local conhecido por Caruru, foi encontrada a tremolita, um anfibólio calcio-magnésiano hidratado, $\text{Ca}_2\text{Mg}_5(\text{OH})_2(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2$, que é constituinte comum do gorutubito e do escarnito existentes na área da Mina. Embora nestas rochas a tremolita só esteja presente em pequenas massas fibrosas, no Caruru ela se apresenta em massas com alguns centímetros de diâmetro, com hábito fibroso e colorida de verde pelas soluções cupríferas que percolam as encaixantes próximas do vieiro.

Propriedades físicas

côr	acinzentada
brilho	sedoso
transparência	semi transparente
traço	branco
clivagem	perfeita, segundo (110)
fratura	irregular
dureza	5
caráter axial e sinal óptico	biaxial (-)
índices de refração α	1,614
	β 1,620
	γ 1,634

TABELA 23

DIAGRAMAS DE P₀ DE TREMOLITA

Santa Blandina		St. Gotthard, Switzerland		
d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	h k l
9,07	2	8,98	16	020
8,42	9	8,38	100	110
5,10	1	5,07	16	130-001
4,91	1	4,87	10	$\bar{1}11$
4,77	1	4,76	20	200
4,51	2	4,51	20	040
4,19	1	4,20	35	220
3,89	1	3,870	16	$\bar{1}31$
3,38	4	3,376	40	150-041
3,28	5	3,268	75	240
3,13	10	3,121	100	310
2,94	4	3,028	10	31 $\bar{1}$ -24 $\bar{1}$
2,80	4	2,938	40	$\bar{1}51$
2,71	8	2,805	45	330
2,59	3	2,730	16	42 $\bar{1}$
2,53	3	2,705	90	151
2,37	0,5	2,592	30	$\bar{1}12$ -061
2,33	3	2,529	40	$\bar{2}02$ -002
2,29	0,5	2,407	8	$\bar{1}32$
2,21	0,5	2,380	30	350-400
2,16	3	2,335	50	35 $\bar{1}$
		2,321	40	42 $\bar{1}$
		2,298	12	420-071
		2,273	16	112
		2,206	6	$\bar{2}42$ -042
		2,181	6	44 $\bar{1}$
		2,163	35	171-261

TABELA 23 (continuação)

DIAGRAMAS DE PÓ DE TREMOLITA

Santa Blandina		St. Gotthard, Switzerland		
d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	h k l
2,05	1	2,042	18	081-280
2,01	4	2,015	45	202
		2,002	16	351-370
1,971	0,5	1,963	6	28 $\bar{1}$ -190
1,926	0,5	1,929	6	152
1,892	5	1,892	50	510
1,866	1	1,864	16	460-191
1,817	2	1,814	16	530
1,752	1	1,746	6	203
1,688	1	1,686	10	003-282
1,647	3	1,649	40	2.10.1
		1,639	10	480-511
1,616	1	Plus 9 Lines to 1.439		
1,609	2			
1,560	0,5			
1,537	1			
1,503	2			
1,438	5,5			

Cu K α - 23 horas

30 KV - 17 mA

Filme nº 1 681

Ficha ASTM nº 13-437

Câmara Debye-Scherrer 114,6 mmØ

pleocroísmo imperceptível
 ângulo 2V, estimado 80°

O diagrama de pó obtido com difração de raios X confirmou a identificação, sendo que seus dados foram comparados com os da ficha ASTM nº 13-437 (Tabela 23).

Parece que a origem metamórfica da tremolita não tem sido submetida a discussões, sendo atribuída a alterações de piroxênios calco-magnesianos.

Wollastonita

Algumas das camadas silicatadas do calcário metamórfico que se acha exposto nos níveis 1 a 3 da Mina Santa Blandina contêm wollastonita, o piroxênio cálcico de fórmula Ca SiO_3 . O mineral é fibrorradiado e as fibras estão dispostas no plano daquelas camadas, formando círculos de mais de um centímetro de diâmetro.

Propriedades físicas

côr	branco leitoso
brilho	sedoso a nacarado
transparência	translúcida
traço	branco
dureza	5
clivagem	perfeita a distinta, segundo (110)
fratura	irregular
pêso específico relativo	2,8
caráter axial e sinal	
óptico	biaxial (-)
índices de refração	α 1,618
	β 1,632
	γ 1,634

pleocroísmo	não observado
ângulo 2V, estimado	40° a 45°
extinção	paralela; algumas vezes <u>in</u> clinada com ângulo de 5°

A identificação foi confirmada por di
fração de raios X, com diagrama de pó cujos resultados
foram comparados com os da ficha ASTM nº 10-487 (Tabe-
la nº 24).

A distinção entre wollastonita (de bai-
xa temperatura, entre 600 e 1120° C), e parawollasto-
nita (de alta temperatura, acima de 1120° C) é possí-
vel pelo diagrama de pó de difração de raios X, pela
existência de duas reflexões de intensidade 5 (na esca-
la de 0 a 100) com as distâncias interplanares de 4,37
e 3,73 Å, e que são distintivas no caso da parawollas-
tonita; no diagrama de pó da wollastonita de Santa Blan-
dina (Tabela 24) essas duas reflexões não existem, mas
como a intensidade das mesmas é muito fraca, procurou-
-se o outro meio de distinção que é o ângulo de extin-
ção entre β e γ . Na parawollastonita esse ângulo é 0°
e na wollastonita é 3 a 5° (Deer et al., 1967, Vol. 2,
pg. 172) como já se havia constatado no exame ao mi
croscópio.

Nos diversos locais de ocorrência conhe-
cidos a wollastonita tem sido encontrada como consti-
tuinte de rochas calcárias ou calco-silicatadas que so-
freram metamorfismo termal de contato e essas explica-
ção parece satisfazer às condições de formação do mine-
ral em Santa Blandina, devido à sua localização no cal-
cário metamórfico encaixado no vieiro, em leitos sili-
cáticos alternados com os leitos carbonáticos do mármo-
re.

TABELA 24

DIAGRAMAS DE PÓ DE WOLLASTONITA

Santa Blandina

d (Å)	I/I ₀
7,70	5
3,84	8
3,51	9
3,32	10
3,09	8
2,97	8
2,72	2
2,55	2
2,47	3
2,34	2
2,29	4
2,17	3
2,09	0,5
2,01	0,5
1,980	1
1,917	1
1,883	0,5
1,863	0,5

Chiapas, México

d (Å)	I/I ₀	h k l
7,70	40	200
4,05	10	H 1 L
3,83	80	400
3,52	80	002
3,40	5	H 1 L
3,31	80	20 $\bar{2}$
3,16	5	11 $\bar{1}$
3,09	30	202
2,97	100	310
2,80	10	31 $\bar{1}$
2,72	10	40 $\bar{2}$
2,55	30	11 $\bar{2}$ -600
2,47	60	112-402
2,33	40	003-510-31 $\bar{2}$
2,29	40	601-20 $\bar{3}$
2,18	60	60 $\bar{2}$ -312-511
2,08	5	40 $\bar{3}$
2,01	20	51 $\bar{2}$
1,98	20	602
1,91	20	800
1,88	20	-
1,86	10	020
1,83	60	
1,80	5	PSEUDO-CELL INDICES

TABELA 24 (continuação)

DIAGRAMAS DE PÓ DE WOLLASTONITA

Santa Blandina		Chiapas, México			
d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	h	k l
		1,79	5		
1,755	5	1,74	40		
1,719	5	1,72	60		
1,602	2	1,602	40		
1,534	1	1,531	10		
		1,515	5		
1,477	2	1,478	20B		
1,456	2	1,455	30		
1,421	0,5	1,426	5		
1,386	1	1,387	5		
1,360	3	1,358	30		
1,343	0,5	1,332	10		
		1,312	5		
1,280	1	Plus 7			
		Lines to			
1,238	1	1,164			
1,212	1				
1,171	1				
1,129					

Cu K α - 23 horas

30 KV - 17 mA

Filme nº 1 630

Ficha ASTM nº 10-487

Câmara Debye-Scherrer 114,6 mmØ

P E T R O G R A F I A

GRANITO

O pequeno estoque granítico, ou apófise, - com aproximadamente 0,2 quilômetros quadrados aflorante a sudeste da Mina é cortado por dois diques de diabásio que se intersectam. O granito apresenta a peculiaridade de ser rosado nas partes mais externas e acinzentado numa região próxima do centro do corpo, a qual, à superfície, tem forma elíptica alongada.

Macroscopicamente o granito das partes mais externas é de coloração avermelhada, de granulação não orientada e muito variável (entre 0,1 e 5 milímetros, até mais), bem coerente, sendo cortado por linhas de fraturas que formam um sistema ortogonal.

Ao microscópio a rocha mostra textura cataclástica com diversas evidências dos esforços sofridos. O quartzo, o feldspato potássico, o plagioclásio sódico e o anfibólio sódico formam os cristais maiores, os quais são envolvidos por material de granulação mais fina mas da mesma composição mineralógica (Foto 39).

O quartzo mostra extinção ondulante, os feldspatos se apresentam com as linhas de geminação retorcidas (Foto 37) e ambos se mostram fraturados e microgranulados, muitas vezes formando porfiroclastos. Alguns cristais de quartzo parecem ter sido recristalizados após os esforços tensionais, pois se mostram sem fraturas e com extinção normal (Foto 36).

A rocha deve ser classificada como granito cataclasado ou cataclasito de composição granítica.

O granito acinzentado da parte central também é coerente, com grãos não orientados variando entre 0,1 mm até mais de 1 cm, apresentando-se intensamente fraturado.

Foto 35 - Granito cinzento. Micropegmatito rodean
do grão de feldspato. Nicóis cruzados.
30 x..

Foto 36 - Granito cinzento; quartzo recristalizado.
Nicóis cruzados. 30 x.

Handwritten signature or initials in blue ink.

Foto 37 - Granito cinzento; feldspato com linhas de
geminção albita curvas. Nícois cruzados.
30 x.

Foto 38 - Zoisita (cinza claro) com quartzo (branco)
e diopsídio. Nícois cruzados - 30 x.

[Handwritten signature]

A textura cataclástica é constante em todas as lâminas, com a maioria dos cristais de quartzo e de feldspato fraturados e deformados, com zonas de milonitização mostrando grãos mais finos recristalizados após o esmagamento (Fotos 36 e 39).

Em diversas lâminas do granito cinzento podem ser vistas franjas micropegmatíticas nos bordos dos grãos maiores de feldspato e de quartzo (Foto 35) ou então penetrando fraturas nesses minerais. Tal fenômeno pode ser atribuído à ação de soluções deutéricas posteriores ao fraturamento, às quais geralmente é atribuído o caráter residual, sendo provavelmente, provenientes das fases finais da consolidação do magma granítico.

A quase total porcentagem da rocha é constituída por quartzo e feldspatos, estes sendo principalmente microclínio e plagioclásios sódicos. Alguns poucos grãos de epidoto e de minerais opacos completam a composição mineralógica da rocha, a qual deve receber o mesmo nome, ou seja: granito cataclasado ou cataclasito de composição granítica.

DIABÁSIO

O dique intrometido na zona da Mina apresenta textura basáltica nos contatos com as encaixantes, onde é visível a disjunção colunar devida ao resfriamento rápido dessa parte. À medida que se avança para o centro do corpo os minerais se tornam mais visíveis, até que a rocha toma aspecto holocristalino, de coloração cinza escura, coerente, com minerais não orientados e de granulação fina, variando entre 0,2 e 2,0 milímetros.

Ao microscópio mostra textura sub-ofítica (Foto 40) O plagioclásio é a labradorita (An_{62}) e os cristais se apresentam ripiformes, geminados segundo as leis da albita e do periclínio, sendo levemente acinzentados.

Foto 39 - Granito rosa: Quartzo tensionado (branco) octoclásio (extinto), plagioclásio (em ripas) e faixa milonitizada. Nícois cruzados - 30 x.

Foto 40 - Diabásio, com textura sub-ofítica. Nícois cruzados - 30 x.

[Handwritten signature]

O piroxênio é representado pela augita, de sinal óptico (+), $2V = 50^\circ$, que não é pleocrônica e apresenta-se incolor ou com tons às vêzes levemente rosados ou esverdeados.

O anfibólio presente é a hornblenda pardo-esverdeada. A clorita e a serpentina aparecem em pequena quantidade, sendo de côr verde.

A olivina encontrada está quase sempre alterada a nontronita ou a clorofeita, havendo também apatita e opacos.

A composição mineralógica modal é a seguinte:

Plagioclásio	54,0%
Piroxênio	38,0%
Clorita e serpentina	2,0%
Olivina	1,0%
Hornblenda	1,4%
Apatita e opacos	<u>3,6%</u>
	100,0%

GORUTUBITO

Os metassedimentos rítmicos calcossilicatados existentes na área da Mina e, de forma extensa, nos seus arredores, foram chamados por Melfi, A.J. (1964) de gorutubitos, segundo comparação que fez com as rochas que foram assim denominadas por Geoffrey, P.R. et Souza Santos, T.D. (1942) aflorantes na Serra do Gorutuba ou da Boa Vista, entre as cidades de Apiaí e Itaoca, ambas situadas no Estado de São Paulo.

São rochas de estrutura bandada, com faixas claras e escuras alternadas (Fotos 6 e 43) aquelas variando de branco acinzentado a rosa claro e, estas, de verde-acinzentado a cinza escuro. As bandas podem ter de 2 milímetros até mais de 10 centímetros de espessura, geralmente com pouco mais de 1 centímetro. De granulação muito fina, são rochas coerentes e resistentes ao

Foto 41 - Gorutubito com microfalhas e bandamento.
Nícois cruzados - 30 x.

Foto 42 - Fratura, no escarnito, com crisotila.
Nícois cruzados - 30 x.

Handwritten signature

Foto 43 - Gorutubito com bandamento. Nícois cruzados - 30 x.

Foto 44 - Escarnito; epídoto (em grãos claros) envolvendo zoisita (cinza escuro) actinolita (fibras) e quartzo (branco). Nícois cruzados - 75 x.

Handwritten signature in blue ink.

intemperismo, sendo comuns intercalações de lentes cal-
cárias e quartzo-sericíticas, geralmente gradacionais.

Microscôpicamente os grãos podem ser indivi-
dualizados e o seu diâmetro médio é de 0,01 milímetro,
sendo que as bandas claras apresentam, principalmente,
quartzo, diopsídio, epídoto, bem como wollastonita,
tremolita e microclínio (Foto 9). As fraturas são
preenchidas com quartzo e calcita (Foto 45).

As bandas escuras contêm pouco quartzo mas
são ricas de actinolita, zoisita, albita e clinozoisi-
ta, esta última freqüentemente zonada. Pequena quanti-
dade de apatita distribui-se irregularmente na rocha.
Os opacos são magnetita, hematita ou martita.

O aspecto macroscópico desta rocha, bem como
a sua constituição mineralógica, textura e estrutura,
coincidem com a descrição feita por Franco (1958) para
as amostras que chamou de hornfels. (Fotos 41 e 43) com
figura 10 de fls. 30 de Franco). Mas dada a extensa
distribuição desses metassedimentos e a impossibilidade
de correlacioná-los a contatos com magmáticas, a não
ser em raros locais, parece não ser apropriada a deno-
minação dada por Franco (1958), pois as relações de
campo não satisfazem a definição para o termo (Franco,
1958, pg. 19).

Por outro lado, as descrições de Barbosa, R.
A. (1960) para o "epídoto-sericita-xisto" da sua amos-
tra n° SP-643 e para o "epídoto-clorita-sericita-xisto"
da sua amostra n° SP-648 são coincidentes com os dados
obtidos para este trabalho, inclusive com referência
ao detalhe da existência de feldspatos (microclínio e
albita), embora essa Autora não registre a presença de
apatita.

ESCARNITO

É a encaixante direta do vieiro, formando ge

Foto 45 - Escarnito, com wollastonita (prisma longo, branco, parte extinta) quartzo (grãos brancos), calcita (grãos brancos; misturados com os de quartzo), zoisita (fraturada, com calcita e quartzo, na fratura). 30 x.

Foto 46 - Escarnito, com granada (relêvo alto) malaquita (clara) e limonita (prêta). Nícois paralelos - 30 x.

Handwritten signature

Foto 47 - Escarnito fraturado, com crisocola (branca) e limonita (prêta). Nícois paralelos - 30 x.

Foto 48 - Escarnito fraturado, com inclusão de calcocita (prêta) rodeada por malaquita.. Limonita nas fraturas. 30 x.

Handwritten signature

Foto 49 - Escarnito substituído por malaquita (verde) crisocola (branca) e limonita (escura). Cristal de granada zonada e fraturada. Nícois cruzados - 30 x.

Foto 50 - Escarnito fraturado, com malaquita (clara) e limonita (prêta). Nícois paralelos - 30 x.

Handwritten signature or initials.

ralmente a capa e a lapa do corpo tabular mineralizado, em quase t $\hat{o}$ da sua extens $\tilde{a}$ o. $\acute{E}$ uma rocha clara, $\tilde{a}$ s v $\tilde{e}$ zes listrada de faixas mais escuras, podendo ser bem escura em certos pontos, principalmente $\tilde{a}$ profundidade. $\acute{E}$ bem diaclasada, com mais de um sistema de di $\tilde{a}$ clases ortogonais, resultando na forma $\tilde{c}$ ao de blocos aproximadamente rombo $\acute{e}$ dricos. Pelos planos de diaclasamento, nas regi $\tilde{o}$ es pr $\acute{o}$ ximas ao vieiro, circularam solu $\tilde{c}$ oes contendo sais de cobre, as quais penetraram para o interior dos blocos em dire $\tilde{c}$ ao ortogonal $\tilde{a}$ queles planos, colorindo de verde os limites entre os blocos (Foto 5). Os minerais integrantes da rocha s $\tilde{a}$ o microsc $\acute{o}$ picos, salvo os cristaloblastos de granada, os quais se sobressaem na massa afan $\acute{i}$ tica da rocha. S $\tilde{a}$ o vis $\acute{i}$ veis em alguns pontos, massas ou gr $\acute{n}$ ulos de ep $\acute{i}$ doto e at $\acute{e}$ cristais de microcl $\acute{i}$ nio eq $\acute{u}$ idimensional ou idiom $\acute{o}$ rfico, bem como gr $\acute{n}$ ulos de calcocita, bornita e raros de calcopirita.

As diversas l $\acute{a}$ minas examinadas mostraram intenso fraturamento, com fraturas at $\acute{e}$ milim $\acute{e}$ tricas comumente contendo quartzo, calcita, ep $\acute{i}$ doto e microcl $\acute{i}$ nio. Outras fraturas cont $\acute{e}$ m preenchimento de malaquita e crisocola, algumas v $\tilde{e}$ zes mostrando a primitiva bornita alterada para calcocita, malaquita e limonita (Fotos 48 e 50).

A massa da rocha $\acute{e}$ constitu $\acute{i}$ da por quartzo, clorita, diops $\acute{i}$ dio e sericita, cimentando grande quantidade de gr $\acute{a}$ os de granada andradita e $\tilde{a}$ s v $\tilde{e}$ zes grossul $\acute{a}$ ria. Outros minerais foram anotados: wollastonita, (Tabela 24), tremolita (Tabela 23), bem como a crisotila (Tabela 19) tamb $\acute{e}$ m existente no gorutubito.

Comumente a massa da rocha acha-se completamente substitu $\acute{i}$ da por bornita e raramente por calcopirita, remanescendo apenas as granadas como testemunho da substitu $\acute{i}$ cao (Foto 46).

V $\tilde{e}$ nulas de quartzo hidrotermal atravessam a

rocha, a qual pode estar acompanhado de crisocola e limonita (Foto 47) provenientes da alteração de outros minerais.

Uma das amostras, obtida de um testemunho de sondagem de profundidade não determinada, apresenta côr verde escuro a prêto e uma fratura de cêrca de 7 mil metros inteiramente preenchida de crisotila (Foto 42). Os minerais principais são o quartzo e a clorita, com cêrca de 30% de granada.

A escarnitização é um fenômeno pirometamórfico conhecido e, neste caso, reconhecido por Barbosa, O. (1942) e Franco, R.R. (1958), bem como assinalado por Barbosa, R.A. (1960).

Entretanto, as amostras estudadas para êste trabalho, bem como aquelas vistas por Barbosa (1960), indicam que a escarnitização do gorutubito de Santa Blandina diminui de grau à medida que se afasta do vieiro em direção ao granito, contrâriamente ao que se deveria esperar se o responsável pelo fenômeno fôsse o calor de contato com o magma granítico. Êsse fato leva à conclusão de que a escarnitização se deve ao calor trazido do magma pelas soluções mineralizadoras e não àquele produzido diretamente pelo granito intrusivo, pois êste corpo magmático, de pequenas proporções, não teria tido calor suficiente para atravessar mais de uma centena de metros de rocha para, depois, produzir aqueles efeitos.

Há a considerar, ainda, que o filito exposto na parte sudeste da área da Mina, próximo ao afloramento do segundo dique de diabásio - no barranco oeste da referida estrada recém aberta - não apresenta qualquer efeito termometamórfico no seu contato direto com o granito.

Outro fato que invalida a idéia da escarnitização pelo calor transmitido do magma através das ro

chas intercaladas, é a existência de um corpo calcário entre o vieiro e o granito, próximo ao Filão do Juvenal, o qual não mostra maior efeito termometamórfico que aquele exibido pelo mármore encaixado diretamente no vieiro, embora contenha, também, impurezas silicáticas suficientes para a formação de minerais de mais alto grau termometamórfico.

MÁRMORE

As lentes calcárias metamorfizadas, encaixadas na área da Mina, são compostas por rocha de cor branco-leitosa, coerente, granulação fina, macroscopicamente estratificada com leitos alternadamente pobres e ricos de silicatos, estes também brancos, como está evidenciado na Foto nº 3.

Microscopicamente mostra pouca orientação dos grãos e a textura é granoblástica (Foto 51) com estrutura levemente xistosa. Os estratos carbonáticos são compostos de cerca de 95% de calcita e dolomita. O restante é formado por wollastonita, tremolita, diopsídio e algum quartzo granular.

Os estratos mais silicáticos são bem mais ricos dos citados minerais, com a wollastonita fibro-radiada bem desenvolvida, com acículas de até 2 centímetros.

MAGNETITA-FILITO

O filito aflorante na área da Mina, estratigraficamente acima da camada mineralizada, acha-se intemperizado e mostra coloração amarelada a amarelo avermelhado, sendo um pouco friável e, em alguns pontos, mostrando acamamento discordante da xistosidade incipiente: noutros pontos há concordância entre xistosidade e acamamento. Mesmo macroscopicamente são visíveis pon

Foto 51 - Mármore. Textura granular: Nícois cruza
dos - 75 x.

Foto 52 - Filito com cristaloblastos octaédricos
de magnetita. Nícois cruzados - 75 x.

Handwritten signature or initials in blue ink.

tos negros que, à lupa manual, revelam forma octaédrica; são pórfitoblastos que atingem até alguns décimos de milímetro em tamanho, alguns exibindo geminação.

Nas lâminas examinadas êsses pórfitoblastos chegam a atingir 15% dos minerais da rocha, com média pouco abaixo dos 10% do total. Microscopicamente o quartzo e a sericita são predominantes, mostrando textura granoblástica no conjunto. A magnetita é sempre idiomórfica (Foto 52) com tamanho médio de 0,05 milímetros. Outros minerais presentes na rocha são a albita e alguns cristais de turmalina, sendo que a primeira é razoavelmente freqüente.

Convencionou-se denominar esta rocha como "magnetita-filito" para diferenciá-la de outros filitos aflorantes na região e não portadores de tal quantidade desse mineral opaco, bem como pelo fato de o corpo rochoso ter forma lenticular, encaixado no gorutubito e, por isso, ter servido como camada-guia para determinação da componente horizontal do rejeito havido através da falha ocupada pelo grande dique de diabásio que corta a camada mineralizada.

Nas partes mais alteradas da rocha, à superfície, a magnetita foi completamente oxidada, perdendo a suscetibilidade magnética e transformando-se em martita, mantendo, porém, a primitiva forma octaédrica.

G Ê N E S E D O D E P Ô S I T O

O estudo das relações paragenéticas verificadas no vieiro principal da Mina de Cobre Santa Blandina e nas rochas encaixantes próximas, parece sugerir que a primeira atividade magmática que contribuiu para a formação da jazida, teria sido de temperatura elevada, a qual seria responsável pela extensa escarnitização dos metassedimentos calco-silicatados e pela formação do microclínio existente em toda faixa de escarnito.

Essa temperatura, considerando-se que o mármore encaixado na jazida é branco, deveria ter sido superior a 605°C , que é a temperatura de descoloração do calcário, segundo Bateman (1957, pg. 53). Entretanto, Guimarães, D. (1961, pg. 60-61), é de opinião que a feldspatização microclínica deve se realizar a temperatura inferior a 600°C , limite este muito próximo da descoloração do mármore.

Outro provável indicador da temperatura havida nessa fase poderia ser a presença de wollastonita no mármore, tida até há pouco tempo como formada a partir de 600°C (Deer et al., 1967, Vol. 2, pg. 171).

A fase mineralizadora, que se seguiu a parentemente sem interrupção, foi de temperatura pouco inferior, segundo interpretação do diagrama de equilíbrio de fases do sistema $\text{Cu} - \text{Fe} - \text{S}$ (Figura 18) construído por Roseboom et Kullerud (1958), e que é citado também por Deer et al. (1967, Vol. 5, pg. 161). Segundo esse diagrama o equilíbrio calcopirita-pirita só é possível acima de 568°C . Estes minerais coexistem no núcleo remanescente da zona primária do vieiro e foram detectados à profundidade por Barbosa, R.A. (1960) na maioria das lâminas que descreveu, onde se acham geralmente preenchendo fraturas da rocha hospedeira.

Figura 18 - Diagrama de equilíbrio de fases no sistema Cu-Fe-S.

FIG. 30. The solidus (in the presence of a vapour) in the system Cu-Fe-S between 400°-800°C. projected on the Fe-Cu-Temperature plane. Cv=covellite, Dg=digenite, Bn=bornite, Py=pyrite, Po=pyrrhotite, Cp=chalcopyrite (after Roseboom and Kullerud, 1958).

A temperatura máxima, nessa fase, não poderia ser superior a 615° C se a pressão parcial do vapor de enxofre fosse baixa (da ordem de 20 mm de mercúrio) segundo Bateman (1957, pg. 50), pois a pirita se instabilizaria formando pirrotita e, a pressões de equilíbrio mais elevadas, a temperatura poderia chegar até 739° C (Figura 18), quando seria atingida a zona de estabilidade da pirrotita. Parece mais razoável, porém, admitir-se que a temperatura tenha atingido o seu máximo durante a feldspatização e, a partir daí, o gradiente tenha passado a ser decrescente, tendo se mantido entre 600° e 568° C, pelo menos durante a deposição dos sulfetos e durante grande parte do período de formação dos filões de quartzo.

O contínuo decréscimo da temperatura permitiu que o epídoto passasse a ser depositado quando o limite superior de formação desse mineral - 500° C - foi atingido (Rosenqvist, 1952, in Deer et al., 1962, pg. 202). A cristalização do epídoto pode ter continuado até temperaturas bem mais baixas, pois Keith et Cremer (1968) acharam que esse mineral, quando de origem hidrotermal, se deposita até a 320° C.

Teoricamente é possível que pequenas

quantidades de bornita tenham sido formadas primariamente quando a temperatura baixou a menos de 568°C , mas essa hipótese não parece muito provável em virtude da pequena quantidade de pirita existente, insuficiente para justificar todo o ferro que, então, estaria disponível. Entretanto, não se pode ignorar a presença da bornita em locais profundos (Barbosa, R.A., 1960), em pontos onde o fenômeno de enriquecimento secundário dificilmente pode ter atingido.

Depois da fase hidrotermal, com a deposição final de quartzo e epidoto, teve início a oxidação das partes superficiais da jazida, acima do nível estático das águas subterrâneas. Tal fenômeno, entretanto, só foi possível depois que grande espessura de capeamento (até 2 000 metros ?) foi sendo removida para permitir o contato com as águas meteóricas. Nesse ponto deve ter exercido importante papel o dique de diabásio que corta a jazida pouco abaixo da meia encosta do morro, pois, segundo já observara Barbosa, O. (1942), essa intrusiva funcionou como verdadeira barragem natural para as águas subterrâneas, mantendo grande espessura da jazida imersa em água e permitindo a formação da "zona de enriquecimento secundário", com a extensa substituição da calcopirita pela bornita e pela calcocita, à custa do cobre trazido de cima para baixo.

Só nesta fase começou a se formar o conjunto de minerais oxidados, no qual se incluem os carbonatos, silicatos, óxidos, sulfatos e fosfatos de cobre, bem como os óxidos de ferro - hidratados ou não - todos de baixas condições de pressão e temperatura e de ambiente oxidante.

Conclusões

- a mineralização em Santa Blandina poderia ser classificada como de média profundidade, de origem hidrotermal, cuja fonte estaria ligada ao magma

granítico vizinho e teria sido precedida por uma fase feldspatizante de temperatura provavelmente superior a 600° C, a qual teria promovido, também, a escarnitização de uma faixa vizinha de metassedimentos calco-silicatados.

MINERAIS	FASE HIPOGÊNICA	FASE SUPERGÊNICA
calcopirita	-----	
pirita	-----	
quartzo	-----	
epídoto		-----
ouro		
prata	-----	
bornita		-----
calcocita		-----
crisocola		-----
malaquita		-----
azurita		-----
antlerita		-----
brochantita		-----
cornetita		-----
libethenita		-----
pseudomalaquita		-----
cuprita		-----

Figura 19: Sequência mineralógica

Handwritten signature

- os minerais primários da jazida podem ter sido a calcopirita e a pirita (Figura 19), formados em temperaturas que variaram de 600° a 568° C, os quais foram acompanhados de quartzo e epídoto, sendo que este último teria se formado a temperaturas mais baixas (500 a 320° C), já na fase final da mineralização.

- o enriquecimento supérgeno teria sido intenso devido a fatores topográficos aliados à presença do dique de diabásio, este funcionando como represador das águas subterrâneas.

A G R A D E C I M E N T O S

O A. cumpre com satisfação e dever de registrar a valiosa colaboração que recebeu de pessoas e entidades que, direta ou indiretamente, contribuíram para a elaboração deste trabalho.

O Prof. Dr. William G.R. de Camargo, Professor Catedrático de Mineralogia do Departamento de Mineralogia e Petrologia do Instituto de Geociências e Astronomia da Universidade de São Paulo, orientou os trabalhos e reviu a redação, sempre estimulando o A. em todas as fases da pesquisa.

O Sr. João Baptista Anhaia de Almeida Prado, proprietário da Mina e titular principal do Condomínio Mina Santa Blandina - que a explora desde o início - apoiou os trabalhos de pesquisa geológica e mineralógica que deram oportunidade para a execução destes estudos e forneceu bolsa de estudos a um estagiário estudante, o qual prestou valioso auxílio nos trabalhos de laboratório e também no campo.

O Prof. Dr. José Moacyr Vianna Coutinho, Professor Titular de Petrologia do mesmo Instituto, prestou auxílio substancial ao estudo sistemático das rochas - macroscópica e microscopicamente - levado a efeito pelo Geólogo Marcos Aurélio Farias de Oliveira, Professor Assistente de Petrologia do Departamento de Mineralogia e Petrologia do I.G.A.

O Prof. Dr. Viktor Leinz, Professor Catedrático de Geologia do Departamento de Geologia Geral do I.G.A. e o Prof. Dr. Reynaldo Ramos de Saldanha da Gama, aposentado como Professor Catedrático de Mineralogia da então Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, sempre estimularam o pesquisador e souberam incutir-lhe o ânimo necessário para vencer os naturais obstáculos encontrados no decorrer do trabalho.

O Prof. Dr. Geraldo Vicentini, do Instituto de Química desta Universidade, obteve autorização para o Bioquímico Paulo Roberto Mielle executar as análises do espectro de absorção de raios infravermelhos.

O Químico Raphael Hypolito, Professor Assistente de Petrologia deste Instituto, orientou o andamento das análises químicas executadas sob sua responsabilidade pelo Químico Industrial Josef Robert Gselmann.

O Químico Marcos Berenholc executou as análises espectrográficas sob raios X, das amostras metálicas do minério, com objetivo de determinar os elementos-traço.

O Geólogo José Barbosa de Madureira Filho, Professor Assistente de Mineralogia deste Departamento do I.G.A., colaborou no estudo da composição das granadas da jazida, por meio do método no qual se especializou e desenvolveu.

O Geólogo Yushiro Kihara, quando estudante, foi bolsista estagiário da FAPESP junto ao Departamento de Mineralogia e Petrologia da então Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, ocasião em que, sob a orientação do Professor Dr. William G.R. de Camargo e do A., levou a efeito estudos térmicos de diversos minerais carbonatados, silicatados e sulfetados da jazida, juntamente com os de outras procedências, bem como fez o estudo preliminar de diversas secções polidas de minerais do minério.

O segundo-anista de Geologia Luiz Massaioshi Ojima, estagiário financiado pelo Concessionário da Mina, prestou relevante auxílio no estudo macroscópico e roentgenográfico de minerais, bem como na execução de diversas análises termo-diferenciais.

O Químico Angelo Marcillo, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas desta Universidade colaborou com eficiência e boa vontade em determinações de gás carbô

nico em diversas amostras.

O Engenheiro de Minas e Metalurgista José Epitácio Passos Guimarães, responsável pela fase de lavra da Mina e grande conhecedor da área, leu o texto e apresentou inúmeras sugestões para melhoria dos trabalhos, tôdas elas procedentes.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo deu substancial suporte financeiro ao trabalho, quer no fornecimento de bôlsas de iniciação ciêntífica ao estagiário Kihara durante mais de dois anos, para trabalhos que interessaram à execução dêste, quer fornecendo auxílio direto na fase final da pesquisa para possibilitar as diversas viagens ao campo e inúmeras outras despesas para as quais o pesquisador não tinha outros recursos. Êste último auxílio teve a mais profunda e benêfica repercussão no término do trabalho, por ter contribuído para dar ao A. a tranquilidade imprescindível na finalização da fase mais trabalhosa da pesquisa.

Diversos colegas do Instituto de Geociências e Astronomia, principalmente alguns do Departamento de Mineralogia e Petrologia, prestaram colaboração desinteressada ao pesquisador, não só estimulando-o e dando-lhe alento para o trabalho, como executando, algumas vêzes, tarefas várias que lhe eram atribuídas ou simplesmente adotando atitude compreensiva em relação ao mesmo.

O Departamento de Geologia Geral e o de Paleontologia e Estratigrafia dêste Instituto, na pessoa dos seus chefes ou integrantes, permitiram a utilização de equipamentos não existentes no Departamento de Mineralogia e Petrologia onde o A. realizou suas pesquisas.

A todos os que ajudaram, pessoas e entidades, mesmo àqueles involuntariamente não mencionados, o Autor externa a sua profunda gratidão.

B I B L I O G R A F I A

- ABREU, S.F. (1962) - "Recursos Minerais do Brasil" - Vol. 2, Min.Ind.Comércio - Inst.Nac.Tecnologia.
- ARRUDA, M.R. (1968) - "Um aparelho para Análise Termo-Diferencial" - Ciên.Cult., Vol. 20, n.3, pp. 645-655.
- A.S.T.M. (1965) - American Society for Testing Materials - X-ray powder data file.
- AZAROFF, L.V. et BUERGER, M.J. (1958) - "The powder method in X-ray crystallography" - McGraw-Hill Book Co., N.York, USA.
- BARBOSA, O. (1942) - "Relatório de pesquisa da Mina de Cobre Santa Blandina, em Itapeva, Estado de São Paulo" - não publicado - apresentado ao Dep. Nac. Prod. Mineral.
- BARBOSA, R.A. (1960) - "Rochas Pirometassomáticas da Mina de Cobre Santa Blandina, Município de Itapeva, Estado de São Paulo" - Bol. 205 da DGM do D.N.P.M.
- BATEMAN, A.M. (1923) - "Primary chalcocite: Bristol Copper Mine, Connecticut" - Ec.Geology, Vol. 18, pp. 122-126.
- BATEMAN, A.M. (1957) - "Yacimientos Minerales de Rendimiento Economico" - Ediciones Omega S.A., Barcelona.
- BEATTY, S. van D. (1950) - "X-ray diffraction Patterns of asbestos" - Am.Min., Vol. 35, pp. 579-589.
- BECK, C.W. (1950) - "Differential thermal analysis of carbonate minerals" - Am.Min., Vol. 35, p. 985.
- BERRY, L.G. (1950) - "On pseudomalachite and cornetite" - Am.Min., Vol. 35, pp. 365-385.
- BLANCHARD, R. et BOSWELL, P.F. (1925) - "Notes on the oxidation products derived from chalcopyrite" - Ec. Geology, Vol. 20, pp. 613-617.
- CAMARGO, W.G.R. et SVISERO, D.P. (1963) - "A new modification of the Buerger powder camera" - apresentado à Diffraction Conference, Pittsburgh, U.S.A.
- CAMARGO, W.G.R. et BRUDER, J. (1965) - "Desordens cristalinas causadas por trituração" - Ciên.Cult., Vol. 17, n. 2, p. 100.

- CAMARGO, W.G.R. et MADUREIRA Fº, J.B. (1970) - " Novos diagramas para a determinação física de granadas" - Ciên.Cult., Resumos da XXII Reunião Anual da SBPC.
- CAMERON, E.N. (1961) - "Ore Microscopy" - John Wiley & Sons, N. York, U.S.A.
- CASSEDANE, J. (1967) - "Nota sobre a preparação manual de secções polidas" - Eng.Min.Metal., Vol. XLVI, n. 275, pp. 210-212.
- COUTINHO, J.M.V. et GOMES, C.B. (1964) - "A jazida de cobre de Caraíba, Bahia", An.Acad.Bras.Ciën., Vol. 36, n. 3.
- DEER, W.A., HOWIE, R.A. et ZUSSMAN, J. (1962) - " Rock Forming Minerals" - Vol. 1, Ortho and Ring Silicates.
- DEER, W.A., HOWIE, R.A. et ZUSSMAN, J. (1963) - " Rock Forming Minerals"- Vol. 2, Chain Silicates.
- DEER, W.A., HOWIE, R.A. et ZUSSMAN, J. (1967) - " Rock Forming Minerals" - Vol. 3, Non Silicates.
- COCCO, G. (1951) - "Carbonati basici di rame e zinco"- Periodico di Mineralogia, Anno XX, n. 1, p. 93.
- FORD, W.E. (1966) - "Dana's Textbook of Mineralogy" - John Wiley & Sons, Inc., N.York, 4th Edition - 22th. printing.
- FRANCO, R.R. (1958) - "Contribuição ao conhecimento das rochas termometamórficas da Série São Roque" -Bol. 189, da Fac.Fil.Ciën.Letras, USP - Mineralogia n. 14.
- FRUEH JR., A.J. (1950) - "Disorder in the Mineral bornite" - Am.Min., Vol. 35, pp. 185-192.
- GRIGORIEV, D.P. (1965) - "Ontogey of Minerals" - Israel Program for Scientific Translations, Jerusalẽm.
- GEOFROY, P.R. et SANTOS, T.D.S. (1942) - "Nota sobre a geologia de Apiaí, São Paulo" - Min.Met., Vol. VI, n. 33, pp. 110-118.
- GOMES, C.B., DUTRA, C.V., HYPOLITO, R. et VALARELLI, J.V. (1968) - "Granadas titaníferas das rochas alcalinas de Itapirapuã, S.P." - Anais da Acad.Bras.Ciën. Vol. 40, n. 33, pp. 313-326.
- GUIMARÃES, D. (1960) - "Fundamentos da Petrologia e as rochas ígneas do Brasil" - Bol. 107 da Div.Fom. Prod.Mineral do D.N.P.M., Minist.Minas Energia, 410 p.
-

- GUIMARÃES, D. (1961) - "Fundamentos da metalogênese e os depósitos minerais do Brasil" - Bol. 109 da Div.Fom.Prod.Mineral do D.N.P.M., Minist.Minas Energia, 441 p.
- GUIMARÃES, D. (1964) - "Geologia do Brasil" - Memória n. 1, Div.Fom.Prod.Mineral, D.N.P.M., Minist. Minas Energia, 674 p.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (1964) - "Geologia do Estado de São Paulo", Bol. 41.
- KEITH, T.E.C., MUFFLER, L.J.P. et CREMER, (1968) - "Hydrothermal epidote formed in the Salton Sea Geothermal System, California" - Am.Min. Vol. 53, pp. 1635-1644.
- KAUFFMAN JR., A.J. et DILLING, D. (1950) - "Differential Thermal Analysis curves of certain hydrous and anhydrous minerals, with a description of the apparatus used" - Ec.Geol., Vol. 45, p. 223.
- KOPP, O.C. and KERR, P.F. (1957) - "Differential Thermal Analysis of sulfides and arsenides" - Amer.Min., Vol. 42, pp. 445-454.
- LARSEN, E.S. et BERMAN, H. (1934) - "The microscopic determination of the nonopaque minerals" - United States Geological Survey, Bull. 848.
- LEINZ, V. et ALMEIDA, S.C. (1941) - "Gênese da Jazida de Cobre Camaquã, Município de Caçapava, R.G.S." - Bol. 88 da Dir. Prod. Mineral.
- LEINZ, V. (1948) - "Gênese da Jazida de Cobre de Caraíba, Baía" - Min.Metal., Vol. 12, n. 77, pp. 277-279.
- LEINZ, V. et AMARAL, S.E. (1962) - "Geologia Geral" - Cia. Editôra Nacional, São Paulo.
- LEINZ, V. et LEONARDOS, O.H. (1971) - "Glossário Geológico", Editôra da Universidade de São Paulo.
- LEVY, C. (1958) - "Analyse Thermique Differentielle des mineraux sulfurés" - Bull.Soc.Franc.Miner.Crist., Vol. 81, p. 29.
- MELFI, A.J. (1964) - "Relatório sobre a geologia da área da Mina Santa Blandina e arredores" - não publicado.
- MELFI, A.J., GOMES, C.B., CORDANI, U.J. et GIRARDI, V.A. V. (1964) - "Geologia do Vale do Rio Ribeira de Iguape e litoral Sul do Estado de São Paulo" no prelo.

- MOENKE, H. (1960) - "Ultrarotspectral photometer als Hilfsmittel bei der prospektion auf Erzlagerstätten" Jenaer Jahrbuch, 1960 II - pp. 402-465.
- MAUREL, C. (1964) - "Types de reactions d'oxidation observés au cours de l'analyse thermique différentielle, dans l'air, de minéraux sulfurés et arseniés de Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ag et Pb" - Bull. Soc.Franc.Miner.Crist., Vol. 87, p. 377.
- NAKAMOTO, K. (1970) - "Infra-red Spectra of Inorganic and coordination compounds", 2nd edition - Wiley - Interscience, a division of John Wiley & Sons, N. York, U.S.A.
- PABST, A. (1942) - "Reexamination of hirschildite" - Amer. Min. Vol. 27, n. 12, pp. 783-792.
- PAOLIELO, P.C. (1964) - "Pré-Cambriano Superior" - Bol. 41 do Inst.Geogr.Geológico do Est.S.Paulo, pp.37-44.
- PETRI, S. et FULFARO, V.J. (1967) - "Considerações geológicas sobre a região de Itapeva, S.P." - Bol. Soc. Bras.Geologia, Vol. 16, n. 1, pp. 25-42.
- RANKAMA, K. et SAHAMA, T.G. (1954) - "Geoquímica" - Ediciones Aguilar S.A. - Madrid, 1954.
- ROSEBOOM, E.H. et KULLERUD, G. (1958) - "The solidus in the system Cu-Fe-S between 400° and 800° C" - Ann. Rep.Dir.Geophys.Lab.of Carnegie Instit., Washington, U.S.A.
- SABATIER, G. (1956) - "Analyse Thermique Différentielle de quelques sulfures", Bull.Soc.Franc.Miner.Crist. Vol. 79, pp. 172-174.
- STRUNZ, H. (1936) - "Vergleichend röntgenographische und morphologische Untersuchung von Andalusit (Al₂SiO₅), Libethenit (CuOH) CuPO₄ und Adamin (ZnOH Zn As O₄)" - Z. Krist. Vol. 94, pp. 60-63.
- VASSAR, H.E. (1925) - "Clerici solution for minerals separation by gravity", Am.Min. Vol. 10, pp.123-125.
- WANDKE, A. (1925) - "The Caridad Mine, Sonora, Mexico"- Ec.Geol., Vol. 20, pp. 311-318.
- WASHBURNE, C.W. (1930) - "Petroleum geology of the state of São Paulo, Brazil" - Bol. 22 da Com.Geogr. e Geol. do Est. S.Paulo, 282 p.
- WHITE, C.H. (1941) - "A theory for the concentration and distribution of copper in the earth's crust" - Ec. Geol. Vol. 36, pp.1-17.

ÍNDICE DOS MINERAIS E ROCHAS

	Página
Minerais hipógenos	
Calcopirita	37
Epídoto	43
Pirita	46
Quartzo	47
Minerais supérgenos	
Antlerita	49
Azurita	52
Barita	57
Bornita	61
Brochantita	68
Calcocita	71
Cornetita	76
Crisocola	81
Cuprita	86
Goethita	86
Libethenita	89
Magnetita	92
Malaquita	95
Ouro nativo	106
Prata nativa	106
Pseudomalaquita	106
"Argilas"	112
"Preto avermelhado"	124
Minerais de origem metamórfica	
Crisotila	131
Granadas	135
Tremolita	144
Wollastonita	147
Rochas	
Granito	151
Diabásio	154
Gorutubito	156
Escarnito	159
Mármore	165
Magnetita-filito	165