

O ASBESTO DO ARADO DO CASTANHEIRO (PORTEL)

ESTUDO DE ALGUMAS PROPRIEDADES MINERALÓGICAS
COM INTERESSE PARA O SEU APROVEITAMENTO
INDUSTRIAL

POR
ORLANDO DA CRUZ GASPAR
Geólogo do Serviço de Fomento Mineiro

SUMÁRIO

O asbesto do Arado do Castanheiro ocorre intimamente associado com os serpentinitos de Santana, do concelho de Portel (Évora), preenchendo um complexo de fracturas poligonais. Os serpentinitos — resultantes de uma rocha ultramáfica peridotítica, como foi possível verificar pela petrografia, microscopia de minérios e distribuição geoquímica do *Cr*, *Ni* e *Co* — encontram-se no seio de «rochas verdes» da subfácies quartzo-albite-moscovite-clorite, de idade pré-câmbrica a câmbrica.

O asbesto é constituído essencialmente por uma tremolite-actinolite a que se junta o quartzo, por vezes com teores de 40 %, sendo ainda acompanhante usual, nas zonas de esmagamento, a clorite. Sobre o asbesto incidiram estudos de microscopia, difractivometria de raios-X, ATD, ATG e químicos, com o fim de se lhe determinarem as propriedades mineralógicas com interesse para a sua tecnologia, sendo ainda, e relacionados com esta, executados ensaios de comportamento térmico e resistência ao ataque pelos ácidos e bases.

ABSTRACT

The asbestos from Arado do Castanheiro occurs closely associated with the serpentinites of Santana (Portel-Evora). These serpentinites crop out amid Precambrian and Cambrian greenschists which belong to the qtz-ab-musc-chlorite subfacies. Transmitted light and ore microscopy and chemical analysis of major and trace elements have been made on the serpentinites. It is shown that the serpentinites come from peridotites.

The asbestos is essentially made of tremolite-actinolite, associated to abundant quartz (its contribution may go up to 40%) and chlorite with increasing abundance towards the domains of the most effective shearing.

In order to evaluate the mineralogical properties bearing on the technological application of this asbestos, microscopic, roentgenographic, DTA, GTA and chemical studies were made. The thermic properties and the resistivity to acid and bases attack of the asbestos have also been determined.

SITUAÇÃO GEOGRÁFICA E GEOLÓGICA DA MINA

A Mina do Arado do Castanheiro — com alvará de concessão para exploração de amianto desde 1921 — está localizada na freguesia de Santana, do concelho de Portel e distrito de Évora. O acesso é facilitado pela estrada que liga Santana com o quilómetro 28 da Estrada Nacional n.º 18 de Vidigueira-Portel. A mina encontra-se junto da primeira estrada e a cerca de 500 metros do referido cruzamento.

A exploração da Mina do Arado do Castanheiro desenvolve-se numa formação serpentinitica de contorno lenticular, estirada segundo NW-SE e delimitada em cerca de 1 km de extensão.

Ocorrências serpentiniticas lenticulares semelhantes afloram na região de Portel (ANDRADE, 1966 e 1969) e Orada (CARVALHOSA, 1965), todas elas mostrando concordância com a estrutura regional. Os serpentinitos afloram no seio das «rochas verdes» em que se definem associações mineralógicas quartzo-albite-calcite-epídoto e actinolite-albite-epídoto, que permitem definir para os xistos verdes a subfácies quartzo-albite-moscovite-clorite, na terminologia de Winckler (1965). Estas rochas separam os serpentinitos dos micaxistos pelíticos quartzo-moscovito-cloríticos

abundantes na região. FABRIÈS (1963) e CARVALHOSA (1965) atribuem uma idade câmbria a pré-câmbria ao conjunto de todas estas rochas, que estão intensamente dobradas e fracturadas.

OS SERPENTINITOS

Petrografia

a) *Microscopia de transparência*

Os serpentinitos — onde o asbesto ocorre, preenchendo fracturas — caracterizam-se por uma cor negra esverdeada e brilho acetinado, o que permite uma rápida separação das «rochas verdes» mais claras, de tom cinzento baço, em que ocorrem. É apreciável a quantidade de minerais opacos que, como uma malha filigranada, estão dispersos por toda a formação.

Os serpentinitos foram tectonicamente solicitados posteriormente, e de forma intensa, o que está bem expresso na sua fracturação e na deformação dos minerais que preenchem as fracturas — asbesto, serpentina, clorite e calcite (*fot. 1 e 7*).

Ao microscópio é evidente estarmos em presença de uma rocha peridotítica quase totalmente serpentinizada, com textura alvéolar, restando apenas da rocha primitiva uma quantidade reduzida de piroxena. Nos alvéolos que correspondiam à olivina encontram-se agora os minerais serpentiniticos com formas de associação fibrosa em ampulheta e pentiforme (*fot. 2*). ANDRADE (1969), identificou-os como sendo principalmente crisótilo e lizardite, muito raramente a antigorite.

Simultaneamente com a decomposição da olivina e piroxena forma-se grande quantidade de minerais opacos, que vão depositar-se de preferência na bordadura dos cristais ou ao longo dos planos de clivagem originais. Daí o aspecto rendado da sua ocorrência.

Posteriormente à serpentinição global houve uma cloritização intensa de rocha, bem como uma fracturação poligonal, em

diversos estágios, a que corresponde uma venulação por serpentina, clorite, asbesto e calcite, referidos por ordem de deposição.

Como minerais acessórios ocorrem ainda pequenos aglomerados de talco e alguns cristais de epídoto.

b) *Microscopia de reflexão*

Identificaram-se como minerais opacos presentes a magnetite, hematite, cromite, ilmenite, pentlandite e pirrotite, predominando o primeiro largamente sobre os demais.

De todos os óxidos a cromite é o único mineral primário, resultando os restantes do metamorfismo que modificou a rocha peridotítica original. A magnetite, a ilmenite, e talvez uma parte da hematite, resultam da decomposição dos minerais silicatados primários, principalmente da olivina. A maior parte da hematite resulta da martitização da magnetite, correlacionada, muito possivelmente, com os episódios subsequentes à serpentinização. Também relacionada com estes episódios está a formação do cimento dos cristais de cromite, no seio da magnetite (*fol.* 3) — uma espinela com uma composição aproximada a $(Fe, Mg) (Fe, Cr)_2O_4$ (RAMDOHR, 1967) — que é muitas vezes um termo de passagem entre os dois minerais. Casos há em que a magnetite substitui totalmente a cromite, ficando apenas a espinela inclusa como relíquia.

A quantidade de *Ti* devia ser importante na rocha inicial, muito provavelmente incluído na rede cristalina da olivina (TRÖGER, 1967), o que está expresso na formação da ilmenite, que ocorre sempre intercrescida com a magnetite, que exsolve completamente ou retém no seu seio sob a forma de vénulas ou bastonetes orientados (*fol.* 4), o que pode ocorrer em mais do que uma geração. Mesmo a magnetite que não anda associada com a ilmenite tem um teor elevado em *Ti*, expresso no tom rosado da sua cor de reflexão. Algumas das exsoluções de magnetite encontram-se parcialmente ou totalmente martitizadas, o que nos pode levar a supor que todas as exsoluções de hematite na ilmenite resultam deste modo.

A pentlandite ocorre em pequenas manchas, grânulos ou cristais, quase sempre associada com a magnetite e foi possível observar esporadicamente a ocorrência de manchas-reliquia de pirrotite.

Nas amostras estudadas não encontramos qualquer ocorrência de metais de *Fe*, *Ni*, *Co* ou *Cu*, frequentemente observados nos serpentinitos (RAMDOHR, 1967).

Para a magnetite, cromite, ilmenite e pentlandite, foram determinados os poderes reflectores (R %) e as microdurezas Vickers (VH), estando expressos no Quadro I os valores obtidos

QUADRO I

VALORES DE R % E VH OBTIDOS EM VARIOS CRISTAIS

MINERAIS	R % ($\lambda = 546 \text{ nm}$)	VH (P = 100)
Magnetite	19,7 — 21,0 %	400 — 548 kg/mm ²
Cromite	15,1 — 15,9 %	800 — 1 140 kg/mm ²
Ilmenite	17,0 — 18,5 %	752 — 772 kg/mm ²
Pentlandite	46,5 — 50,0 %	239 — 588 kg/mm ²

nas medidas de vários cristais. Os poderes reflectores foram determinados no ar com um microfotômetro MPV Leitz utilizando uma objectiva 44 P e uma radiação luminosa com um comprimento de onda $\lambda = 546 \text{ nm}$. As microdurezas foram obtidas num microdurímetro Durimet Leitz, para uma carga P = 100.

Vemos que das observações feitas em luz reflectida se pode estabelecer para a paragênese dos minerais opacos um esquema que é concordante com os fenómenos de serpentinação (formação de magnetite titanada e ilmenite com exsoluções de Fe_3O_4), cloritização e/ou asbestização dos serpentinitos, bem como com os episódios tectónicos posteriores (formação da espinela a partir da cromite e a martitização da magnetite).

Quimismo dos serpentinitos

a) *Análise química dos serpentinitos*

Na análise elementar quantitativa obtiveram-se os seguintes resultados para os constituintes principais:

<i>Si O₂</i>	37,78 %
<i>Al₂O₃</i>	4,32 %
<i>Fe₂O₃</i>	7,37 %
<i>Fe O</i>	8,34 %
<i>Mg O</i>	27,48 %
<i>Ca O</i>	2,60 %
<i>Na₂O</i>	0,19 %
<i>K₂O</i>	0,07 %
<i>Ti O₂</i>	0,52 %
<i>Mn O</i>	0,28 %
<i>H₂O⁺</i>	9,24 %
<i>H₂O⁻</i>	0,33 %

(*Análise química de Rita Afonso*)

b) *Geoquímica dos elementos menores*

Os teores e a presença de alguns elementos menores nos serpentinitos foram já estudados por vários autores e, desde os trabalhos de Goldschmidt em 1954, considera-se que o *Ni* e o *Cr* são elementos geoquímicos guia das rochas eruptivas magnesianas com origem num magma básico. Faust *et al.* (1956) mostraram, mais recentemente, que os teores de alguns elementos menores podem ser utilizados para provar a origem magmatogénea dos serpentinitos, quando os teores em *Ni* atingem 0,01 — 0,4 %. Os teores em *Cr*

poderão atingir a mesma ordem de grandeza, embora com mais dispersão de valores, já que o *Cr* está distribuído não uniformemente nos ultrabásitos, ao contrário do *Ni* que se encontra principalmente sob a forma de diadoquia na malha dos minerais magnesianos, principalmente na olivina.

LUNDEGARDH (1969) estudou a ocorrência de crômio, cobalto, níquel e zinco em 253 amostras de minerais, rochas e solos, concluindo por verificar que nos diferenciados juvenis resultantes da cristalização fracionada de um magma básico se observa a sequência $Cr > Ni > Co$ na distribuição dos três elementos, sendo o esquema inverso o que ocorre nos últimos produtos da diferenciação.

Edel'shtein considera como teores médios de *Ni* os valores de 1 800 ppm para os serpentinitos com parentesco em dunitos, e os de 1 600 ppm e 1 000 ppm para os que aparentam com os peridotitos e os piroxenitos, respectivamente. Os dados encontrados por diversos autores afastam-se por vezes de forma considerável, parecendo contudo tomar-se arbitrariamente como médio o valor de $Ni = 1\,500$ ppm, escolhido entre o intervalo de 1 000 ppm e 4 000 ppm, considerado como normal para as rochas ultramáficas (GOLES, G. G., 1967).

Os serpentinitos da Mina do Arado do Castanheiro foram analisados pelas espectrografias de emissão e fluorescência de raios-X, tendo sido identificada a presença de, como elementos menores, *Cr*, *Ni*, *Co*, *Mn*, *Zn*, *Cu*, *K*, *Ba*, *Sr*, *Pt*, *Pd* e *Y* (referidos por ordem decrescente, em função da quantidade).

Pela espectrofotometria de absorção atômica e pela espectrografia de emissão determinaram-se os teores em *Cr*, *Ni* e *Co* nos serpentinitos, tendo-se obtido os seguintes valores médios: $Cr = 1\,310$ ppm; $Ni = 1\,100$ ppm e $Co = 116$ ppm. Estes valores são concordantes com os encontrados em serpentinitos com uma filiação em rochas magmáticas, não só pelos autores mais citados, como com os de HAHN-WEINHEIMER (1960) e FAUST & FAHEY (1962), pelo que consideramos os serpentinitos do Arado do Castanheiro filiados numa origem magmatogênea, o que está de acordo com as observações microscópicas.

Na zona da Mina do Arado do Castanheiro foi feita pelo 1.º Serviço (S. F. M.) uma campanha de prospecção geoquímica. A análise quantitativa, por espectrofotometria da absorção atômica, dos teores nos solos colhidos, mostra que não houve qualquer enriquecimento em Ni nos que se formam a partir dos serpentinitos, uma vez que os valores variam entre 700 ppm e 1 070 ppm de Ni. Para os solos das rochas verdes foram encontrados teores de Ni que variam entre 20 ppm e 120 ppm. Verifica-se, porém, que as rochas verdes do contacto com o serpentinito se enriquecem em Ni, determinando-se valores que atingem o máximo de 900 ppm. Há um metassomatismo na direcção serpentinito → «rochas verdes», o que está de acordo com as observações microscópicas, onde é visível uma serpentinitização e tremolitização mais intensas do que é usual em «rochas verdes».

O ASBESTO

Como já foi dito, o serpentinito da Mina do Arado do Castanheiro está intensamente fracturado, parecendo os diversos sistemas de fracturas darem origem a conjuntos poliédricos de blocos de rocha. Foi possível identificar, como material de preenchimento das fracturas, calcite, serpentina e o asbesto, que é o que predomina largamente e é objecto de exploração mineira.

O tipo de exploração em curso durante a nossa visita, por meio de pequenas escavações isoladas na massa serpentinitica (fot. 5), impossibilita um estudo estatístico com vista à identificação correcta de cada um dos sistemas de fracturas, possanças médias dos veios e frequência relativa das duas formas de ocorrência, conhecidas por «cross-fiber» e «slip-fiber».

As amostras de mão estudadas no laboratório são de um asbesto de cor esbranquiçada a cinzenta-esverdeada, muito friável, sendo os agregados fibrosos de maiores dimensões os que correspondem às «slip-fibers». As «cross-fibers» têm apenas alguns centímetros de tamanho (0,5-4 cm) (fot. 6). Os episódios tectónicos

posteriores à sua formação dobraram localmente as «cross-fibers», dando-lhe um aspecto curioso de dobramento cerrado (fot. 7). As «slip-fibers» sofreram fortes estiramentos.

Microscopia do asbesto

Em lâmina delgada o asbesto da Mina do Arado do Castanheiro apresenta-se como um agregado de cristais fibrosos aciculares anfibólicos, incolores ou ligeiramente esverdeados, em que as fibras maiores podem apresentar comprimentos de 2,5-3 mm e espessuras da ordem dos 125 micra. Estas fibras alternam com outras muito mais finas cuja espessura é muito inferior à de lâmina delgada, pelo que é possível observar ao microscópio a sobreposição compacta destas fibras (fot. 8).

Em quantidade apreciável ocorre juntamente com a anfíbola o quartzo, com forma granular ou prismática, que se dispõe de preferência ao longo das clivagens ou contactos do asbesto, ou o penetra ao longo de fracturas ou planos de partição (fot. 9). Alguns destes aspectos estão correlacionados com o tectonismo pós-formação, que também é responsável pelo estado de fracturação e dobramento da anfíbola.

Nas zonas de forte estiramento ocorre sob a forma de veios esverdeados mais escuros, cortando o alinhamento das fibras ou paralelamente a eles, uma quantidade apreciável de clorite, que pela cor anómala castanho-tabaco parece ser o clinocloro, que substitui a anfíbola.

Os cristais de maior dimensão permitiram determinar algumas propriedades ópticas da anfíbola: não apresenta pleocroísmo, muito embora tenha por vezes uma cor verde-pálida; o ângulo de extinção $\gamma \wedge C = +12^\circ$ a $+18^\circ$; pelo método de imersão determinaram-se como índices de refacção os valores de $n_\alpha \simeq 1,61$ e $n_\gamma \simeq 1,63$; em todos os cristais é bem visível uma clivagem segundo $\{110\}$ e uma participação segundo (001) (fot. 8 e 9).

As propriedades ópticas referidas são as que correspondem às da tremolite, que no nosso caso é um pouco ferrífera (ver *análise química*).

Diffractometria de raios-X

O asbesto de ocorrência mais frequente é constituído pela associação fibrosa de cor esbranquiçada, sendo menos frequente o de cor esverdeada que anda sempre associado com as zonas de estiramento. Dos dois tipos efectuaram-se estudos difractométricos de raios-X estando os valores obtidos expressos no Quadro II.

Em confirmação dos exames microscópicos, os difractogramas correspondem a misturas essencialmente constituídas por tremolite e quartzo [asbesto esbranquiçado, Quadro II (1)] ou por tremolite e clorite [asbesto esverdeado, Quadro II (2)]. Os valores de d° encontrados para a tremolite concordam com os que COLEMAN (1966) encontrou para as tremolites associadas com rochas serpentínicas da Nova Zelândia [Quadro II (3)]. No asbesto do Arado do Castanheiro os valores das intensidades estão forçosamente afectadas pela coincidência de picos comuns à tremolite, quartzo e/ou clorite.

A classificação da clorite oferece algumas dúvidas, parecendo tratar-se de uma mica do grupo penina-clinoclóro, até porque as cores de polarização predominantes são as anómalas referidas para as duas espécies, o castanho-tabaco e o azul de Berlim. A clorite só aparece em grandes quantidades quando associada à tremolite de zonas de grande esmagamento ou estiramento, e parece resultar secundariamente dessa mesma tremolite.

No Quadro II estão ainda expressos os resultados do estudo difractométrico dos produtos resultantes de ensaios térmicos e químicos efectuados sobre o asbesto 1. Nas colunas 4 e 5, temos, respectivamente, os difractogramas obtidos depois de o asbesto ser submetido a um aquecimento durante duas e quatro horas, numa mufla, a 1 250° C.

A desidratação da tremolite é acompanhada pela sua modificação estrutural, resultando uma pseudomorfose para uma piroxena com uma composição química $Ca Mg Si_2 O_6$, — $Mg Si O_3$ (DEER,

QUADRO II

DIFRACTOMETRIA DE RAIOS-X DO ASBESTO DO ARADO DO CASTANHEIRO

(Difratómetro de grande ângulo, Philips, radiação $K\alpha$ Cu/Ni)

1		2		3			4		5		6		7	
d ^o dÅ	I	d ^o dÅ	I	d ^o dÅ	I	hkl	d ^o dÅ	I						
—	—	13, 84	15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8, 84	11	8, 83	10	8, 95	10	002	—	—	—	—	8, 87	8	8, 78	19
8, 26	87	8, 26	85	8, 38	100	110	—	—	—	—	8, 30	85	8, 26	85
5, 03	8	5, 03	10	5, 07	12	130	—	—	—	—	5, 02	6	5, 03	14
4, 81	7	4, 82	10	4, 86	5	111	—	—	—	—	—	—	—	—
4, 72	5	4, 71	20	4, 74	20	200	—	—	—	—	4, 71	5	4, 72	10
4, 48	12	4, 47	15	4, 50	20	040	—	—	—	—	4, 46	12	4, 46	25
4, 21	15	—	—	—	—	—	4, 17	20	4, 23	22	—	—	—	—
4, 19	14	4, 17	15	4, 19	75	220	—	—	—	—	4, 21	25	4, 19	30
—	—	—	—	—	—	—	3, 98	85	4, 00	100	—	—	—	—
3, 85	2	3, 84	1	3, 86	5	131	—	—	—	—	3, 85	3	3, 82	4
—	—	—	—	—	—	—	—	—	3, 77	18	—	—	—	—
—	—	3, 53	20	—	—	—	—	—	3, 59	5	—	—	—	—
3, 32	90	3, 36	18	3, 38	19	041	—	—	3, 42	5	3, 32	39	3, 32	100
3, 26	27	3, 25	20	3, 26	80	240	3, 28	100	3, 30	20	3, 26	20	3, 26	40
—	—	—	—	—	—	—	—	—	3, 18	18	—	—	—	—
3, 10	100	3, 10	100	3, 14	100	310	3, 16	18	3, 10	18	3, 10	100	3, 10	90
2, 92	6	2, 97	5	2, 93	20	221	2, 95	25	2, 96	30	2, 92	12	2, 91	15
—	—	2, 92	15	—	—	—	—	—	2, 96	18	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	2, 882	18	2, 877	20	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	2, 853	18	2, 822	12	—	—	—	—
2,793	14	2,837	2	2,803	80	330	—	—	—	—	2,789	15	2,782	20
2,723	4	2,789	15	2,732	15	331	—	—	2,751	5	—	—	—	—
2,693	9	2,723	10	2,707	35	151	—	—	2,671	5	2,689	15	2,686	20
2,580	4	2,693	25	2,593	10	061	—	—	—	—	2,577	10	2,574	4
2,522	4	2,582	15	2,528	8	202	2,526	9	2,542	18	2,516	10	2,514	4
—	—	2,522	15	—	—	—	2,488	18	2,502	20	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	2,465	19	2,474	25	—	—	—	—
2,444	4	—	—	2,411	3	?	—	—	—	—	2,438	5	2,438	15
2,379	6	2,436	5	2,380	15	350	—	—	2,373	5	2,370	10	2,370	15
2,328	4	2,373	5	2,338	20	?	—	—	—	—	2,328	12	2,325	15
—	—	2,328	15	2,323	14	351	—	—	—	—	2,312	12	—	—
—	—	2,314	5	2,298	5	421	—	—	—	—	—	—	—	—
2,268	5	2,291	2	2,275	5	312	2,520	9	2,274	10	2,261	2	2,264	15
2,220	2	2,274	2	—	—	—	2,211	1	—	—	—	—	2,216	5
—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,187	5	—	—	—	—
2,160	5	—	—	2,161	13	171	2,164	1	—	—	2,155	10	2,153	8
—	—	2,158	10	2,044	3	202	—	—	—	—	—	—	—	—
2,117	3	—	—	—	—	—	2,110	10	2,120	18	—	—	2,113	6
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,013	3	2,074	1	2,016	12	351	2,016	5	2,019	17	2,034	3	—	—
1,998	3	2,034	2	2,001	7	370	—	—	—	—	2,008	10	1,991	5
1,967	2	—	—	1,971	3	?	1,951	2	—	—	1,967	2	1,954	5
—	—	1,958	1	—	—	—	—	—	1,935	10	—	—	—	—
1,926	1	—	—	—	—	—	1,921	2	—	—	1,923	2	—	—
1,880	8	—	—	1,895	25	242	1,867	2	1,867	5	1,884	15	1,886	15
1,812	13	1,888	10	—	—	—	1,804	9	—	—	1,809	10	1,808	20
—	—	1,810	2	—	—	—	1,735	2	1,744	10	1,744	2	—	—
1,664	3	1,711	1	—	—	—	1,654	2	—	—	—	—	—	—
1,649	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,646	15	1,646	13
1,635	4	1,647	10	—	—	—	—	—	—	—	1,633	3	1,633	12
1,617	3	1,635	1	—	—	—	1,611	5	1,617	18	1,614	3	1,612	15
—	—	1,614	2	—	—	—	1,598	3	—	—	—	—	—	—
1,584	3	—	—	—	—	—	1,583	1	—	—	1,583	12	1,581	15
1,536	4	1,579	1	—	—	—	1,531	5	—	—	1,532	8	1,533	15
1,502	5	1,552	2	—	—	—	—	—	1,494	10	1,501	10	1,501	14
1,449	3	1,539	2	—	—	—	—	—	1,479	10	—	—	1,436	15
—	—	1,502	3	—	—	—	—	—	1,447	2	1,437	19	—	—
1,437	6	1,468	2	—	—	—	—	—	1,430	5	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	1,402	5	1,418	3	—	—	—	—
1,367	5	1,433	15	—	—	—	1,367	6	1,407	11	1,362	5	1,368	15
1,332	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,333	2	—	—
1,309	2	1,355	2	—	—	—	—	—	—	—	1,309	3	1,308	2
1,292	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,252	2	1,294	2	—	—	—	—	—	—	—	1,274	2	1,279	2

1—Asbesto de cor branca ligeiramente esverdeada, que ocorre mais frequentemente na Mina do Arado do Castanheiro.

2—Asbesto de cor esverdeada, principalmente de ocorrência junto das zonas de esmagamento.

3—Tremolite associada com os serpentinitos de Pounamu, Nova Zelândia (Coleman, R. G. 1966).

4—Asbesto 1 aquecido numa mufia a 1250° C, durante duas horas.

5—Asbesto 1 aquecido numa mufia a 1250° C, durante quatro horas.

6—Asbesto 1 atacado por uma solução a 25% de OHNa , durante duas horas à temperatura de ebulição.

7—Asbesto 1 atacado por uma solução a 25% de H_2SO_4 , durante duas horas à temperatura de ebulição.

HOWIE e ZUSSMAN, 1963) com a concomitante formação de cristobalite segundo a reacção:



Para o caso do aquecimento durante duas horas a 1 250° C obtivemos o difractograma 4 do Quadro II, que juntamente com a observação microscópica da amostra confirma aquela reacção. A presença da piroxena e da cristobalite há que juntar, no nosso caso, a formação de hematite, xeno a hipidiomórfica, à custa do *Fe O* presente na rede da tremolite (fots. 10, 11).

Quando a mesma amostra é aquecida a 1 250° C, mas durante quatro horas, o difractograma obtido é o que está expresso no Quadro II, coluna 5.

A observação microscópica da amostra permite reconhecer que não só houve uma modificação estrutural da tremolite, como dá conta o difractograma, mas que houve uma recristalização total, modificando-se a textura (fot. 10). Os cristais prismáticos ou aciculares de tremolite recristalizam sob a forma de um agregado em mosaico de cristais menores isodiamétricos, mantendo o seu conjunto as orientações primitivas, definidas pelo alongamento das fibras; a cristobalite tem tendência a formar cristais prismáticos, por vezes plumosos; a hematite ocorre em cristais de tendência xeno a hipidiomórfica, de preferência ao longo das direcções que correspondiam aos cristais prismáticos da tremolite.

Os difractogramas 6 e 7 foram obtidos dos produtos resultantes do ataque químico do asbesto 1 por soluções a 25 % de *OH Na* e *H₂ SO₄*, durante duas horas e à temperatura de ebulição. Não se verifica qualquer modificação estrutural da tremolite, mas apenas uma parcial solubilização. Quando tratado com *OH Na* grande parte da sílica livre presente na amostra é solubilizada, o que se torna evidente na variação dos valores de *I₆* em relação aos de *I₁* e *I₇*.

Quimismo do asbesto

De cinco amostras do asbesto da mina do Arado do Castanheiro foram feitas análises químicas, considerando-se sempre a forma de ocorrência mais frequente, isto é, as amostras consti-

tuidas essencialmente por anfíbola e quartzo, tendo-se obtido como resultados médios os seguintes:

<i>Si O₂</i>	73,87 %
<i>Al₂O₃</i>	0,80 %
<i>Fe₂O₃</i>	0,12 %
<i>Fe O</i>	3,95 %
<i>Ca O</i>	7,94 %
<i>Mg O</i>	11,80 %
<i>Na₂O</i>	0,14 %
<i>K₂O</i>	0,05 %
<i>Mn O</i>	0,17 %
<i>Ti O₂</i>	vest.
<i>P₂ O₅</i>	vest.
<i>H₂ O⁻</i>	0,17 %
<i>H₂ O⁺</i>	0,94 %
Total	99,95 %

(Análises de Elisa Fernandes e Rita Afonso)

Atendendo a que todo o *Fe* presente ocorre na rede cristalina da anfíbola, vemos que, quimicamente, ela tem a composição de uma tremolite-actinolite.

Através da análise química é ainda possível ver que a composição média do asbesto é de cerca de 63 % de tremolite-actinolite e 37 % de quartzo.

Ensaio térmico (ATD e ATG)

a) *Análise térmica diferencial (ATD)*

A curva obtida para o asbesto do Arado do Castanheiro (fig. 1) põe em evidência o aparecimento de um largo pico exotérmico com um máximo aos 325° C e um bem definido pico endotérmico com um máximo na região dos 1 000 ± 10° C.

O pico exotérmico corresponderá à oxidação do Fe^{++} presente na rede da tremolite, o que se torna evidente, após ensaio, pela cor acastanhada que a amostra apresenta. O pico endotérmico dos $1000 \pm 10^\circ C$ corresponde à destruição da estrutura da tremolite com a respectiva pseudomorfose numa piroxena e libertação de H_2O , SiO_2 e Fe_2O_3 , segundo o esquema referido no capítulo de estudo da difractometria.

O ligeiro patamar exotérmico na região dos $500^\circ C$ poderá atribuir-se à inversão $\alpha - \beta$ do quartzo presente.

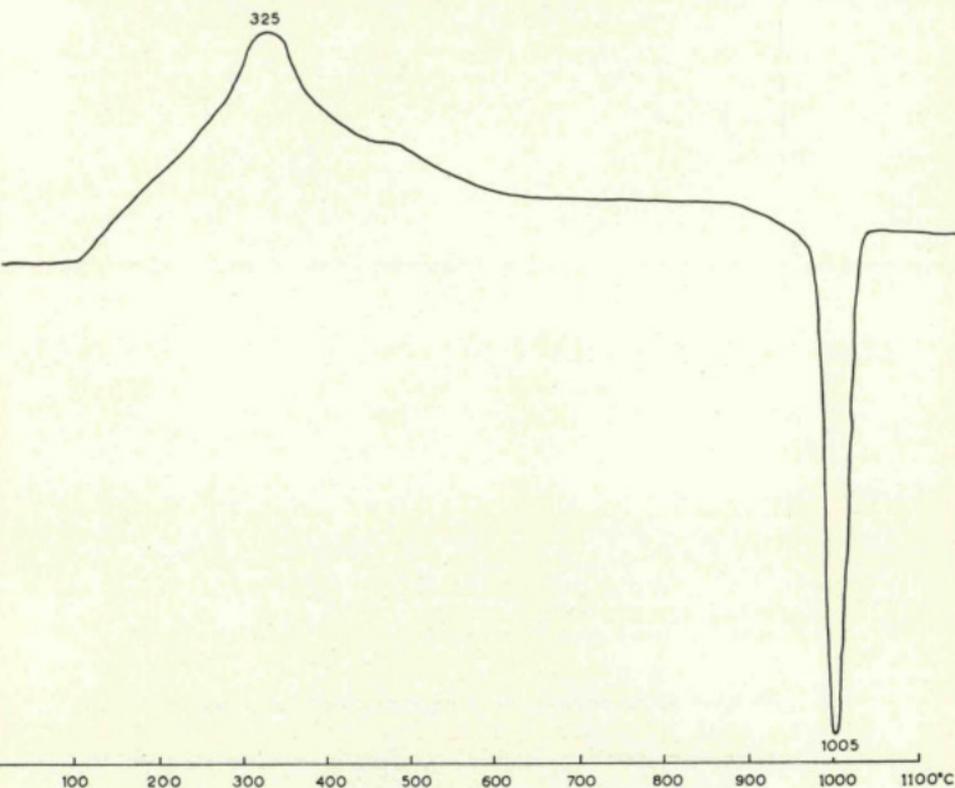


Fig. 1 — Curva de ATD do asbesto do Arado do Castanheiro.

b) Análise térmica gravimétrica (ATG)

O ensaio foi realizado com uma termobalança Stanton HT-D, com uma velocidade de aquecimento de 350° C/hora.

A perda total verificada foi de 0,9 %, em peso (fig. 2), perda essa que corresponde à libertação da água de constituição da tremolite, que tem lugar aos $1\ 000 \pm 10^\circ\text{C}$ como vimos já no ensaio de ATD. O valor da perda está de acordo com a percentagem de H_2O^+ determinado pela análise química do asbesto, tomando em conta que os teores em SiO_2 , das amostras, chegam a atingir os 40 %.

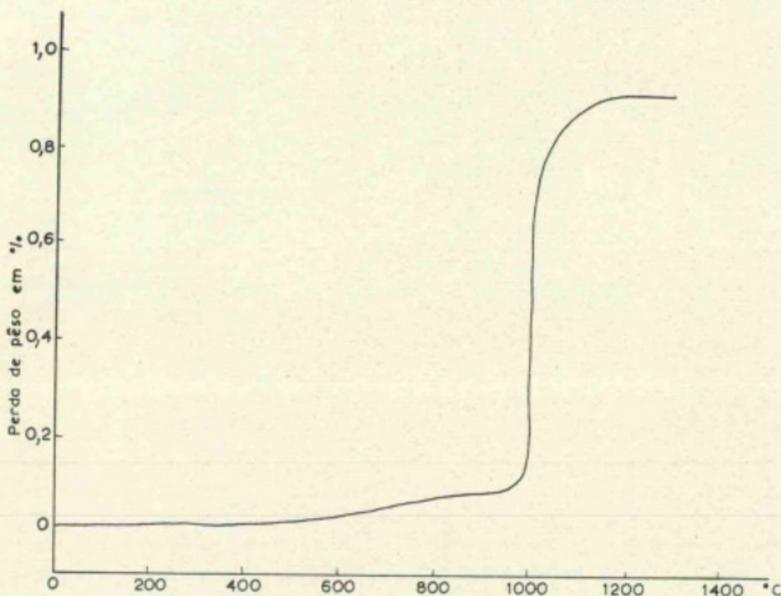


Fig. 2 — Curva de ATG do asbesto do Arado do Castanheiro.

Ensaio de resistência ao ataque químico pelos ácidos e bases

JENKINS (1960) noticia alguns resultados dos ataques químicos efectuados em asbestos de vários tipos e chega à conclusão de que, para efeito da análise do seu comportamento, ele é prá-

ticamente idêntico quer as fibras sejam submetidas a ataque durante 528 horas à temperatura de 25° C, quer se mergulhem durante duas horas nas soluções à temperatura de ebulição. Por esta razão efectuamos os ataques químicos do asbesto do Arado do Castanheiro nestas últimas condições.

Das amostras, depois de desagregadas em almofariz de ágata, retiramos quatro tomas de 0,5 g, que foram colocadas separadamente em suspensão num volume de 100 ml de soluções a 25 % de H_2SO_4 , H_3PO_4 , HCl e $OHNa$. Após 2 horas de ataque, por ebulição, obtiveram-se os resultados correspondentes às perdas de peso por solubilização da amostra referidos no Quadro III.

QUADRO III

RESISTENCIA AO ATAQUE QUIMICO PELOS ACIDOS E BASES DO ASBESTO DO ARADO DO CASTANHEIRO

SOLUÇÕES A 25 % DE	PERDA DE PESO EM %
H_2SO_4	4,64
H_3PO_4	7,44
HCl	4,96
$OHNa$	46,42

Como era de esperar, o asbesto apresenta uma boa resistência ao ataque pelos ácidos e os valores encontrados assemelham-se aos referidos por JENKINS (1960), para a tremolite. No que se refere ao ataque pelas bases verifica-se uma enorme perda de peso (46,42 %), que é de atribuir, como se pode ver no Quadro II (6), à solubilização da sílica livre presente nas amostras. Teores à volta de 40 % em SiO_2 são frequentes nas amostras estudadas, como nos foi dado verificar pelas análises químicas e estudos térmicos efectuados. A solubilização da sílica em meios de pH elevado é fenómeno bem conhecido [CORRENS (1968) e LONGHANAN (1969)].

PETROGÊNESE DO ASBESTO DO ARADO DO CASTANHEIRO

O asbesto ocorre intimamente relacionado com a formação conhecida por serpentinitos de Santana (ANDRADE, 1969) preenchendo todo o complexo de fracturas poligonais que separam os blocos fracturados da rocha.

Consideramos a asbestização como um processo metamórfico intimamente correlacionado com a serpentinição da rocha peridotítica inicial, segundo o esquema:

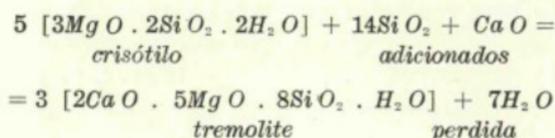
rocha peridotítica → *serpentinização* → *tremolite* + *quartzo*.

Na proximidade imediata do serpentinito do Arado do Castanheiro passa o grande filão dolerítico do Alentejo (TORRE DE ASSUNÇÃO & PERDIGÃO, 1962). Sendo ele de idade posterior às formações ultrabásicas, poderá ocorrer imediatamente a intenção de se lhe atribuir a responsabilidade da serpentinição e asbestização referidas. Contudo, e até agora, não foram encontrados argumentos de natureza geológica, além da idade e localização da ocorrência, que suportem de forma inequívoca tal conclusão. O único metamorfismo até agora observado no Arado do Castanheiro é no sentido dos serpentinitos para as rochas verdes e não destas ou do filão dolerítico para a rocha peridotítica.

Sabendo-se que no Alentejo ocorrem diversas massas lenticulares de rochas ultramáficas mais ou menos serpentinizadas [NEIVA (1947), CARVALHOSA (1967), ANDRADE (1969)] interessante seria procurar saber se em todas elas os fenómenos de serpentinição estão relacionados com intrusões de natureza magmática e se a asbestização está somente localizada nos serpentinitos de Santana.

Como se sabe, dos estudos experimentais e pelas observações de campo efectuadas [BOWEN & TUTTLE (1949), TURNER & VERHOOGEN (1960), COLEMAN (1966), TAHYER (1966), JAHNE (1967) e vários outros em bibliografia abundante sobre o assunto], a serpentinição das rochas peridotíticas pode processar-se com a simples introdução de H_2O no sistema, a temperaturas inferiores a $500^\circ C$, com uma subsequente remoção de SiO_2 e MgO , podendo essa água existir nos sedimentos das zonas do geosinclinal em que a rocha

peridotítica é intrudida. Sendo assim, bastaria que houvesse *O Ca* disponível para justificar a formação da tremolite como um fenómeno subsequente da serpentinização. COLEMAN (1966) refere um processo de metassomatismo do *Ca* relacionado com as rochas ultramáficas da Noza Zelândia, citando ainda que a percentagem de *Ca O* encontrada em 23 peridotitos foi de 3,5 %, tendo FAUST & FAHEY (1962) determinado como teor médio de *O Ca* em 26 serpentinitos um valor de 0,08 %. Havendo pois que contar com certa disponibilidade de *O Ca* após o processo de serpentinização, a tremolite poderia originar-se segundo o esquema proposto por COLEMAN (1966):



Os teores em cálcio encontrados no serpentinito do Arado do Castanheiro são muito mais elevados do que os referidos por FAUST & FAHEY (1962), tendo-se encontrado um valor de 2,60 % em *Ca O*. Sendo assim, a quantidade de *Ca* presente inicialmente na rocha peridotítica seria não só suficiente para que se formasse a tremolite, como para dar ainda lugar à formação dos veios de carbonatos que cortam os serpentinitos. O esquema proposto justificaria ainda o excesso de sílica, que sob a forma de quartzo chega a constituir 40 % do asbesto. Uma pequena parte do Fe^{++} , que inicialmente estava na malha dos minerais máficos do peridotito, substituiu parcialmente o *Mg* na rede cristalina da tremolite.

PROPRIEDADES MINERALÓGICAS DO ASBESTO DO ARADO DO CASTANHEIRO COM INTERESSE PARA O SEU APROVEITAMENTO INDUSTRIAL

Tendo em vista as propriedades tecnológicas do asbesto devemos ter em conta as seguintes características: a sua composição mineralógica essencial — uma tremolite com um teor médio de 4 %

em FeO , a que se associa o quartzo em elevada percentagem (como impurezas ocorrem a clorite, que lhe confere uma cor mais esverdeada, a calcite, e mais raramente a antigorite); a cor branca esverdeada ou acinzentada; a densidade de $3,0 \pm 0,3$; a dureza de 3 - 3,5; o asbesto desagrega-se facilmente quando solicitado mecânicamente, reduzindo-se a um conjunto de diminutos bastonetes, o que é facilitado pela presença de planos de partição dos cristais de tremolite perpendiculares ao alongamento das fibras (a presença de quartzo em quantidades apreciáveis também não é estranha a este comportamento) — quando esmagado durante breves segundos num almofariz de ágata a tremolite parte em bastonetes que têm um bom comportamento elástico (fot. 12). As fibras e cristais de tremolite ocorrem com reduzidas dimensões segundo o comprimento (geralmente < 3 mm) e em finíssimas espessuras, da ordem das poucas dezenas de micron.

O comportamento térmico é excelente até aos $1000^\circ C$, temperatura até à qual se verifica apenas um escurecimento devido à oxidação do Fe^{++} presente na tremolite. Nos ensaios de aquecimento feitos sobre o asbesto tal qual verifica-se porém que essa oxidação se situa numa capa externa limitada a 2 - 3 mm, permanecendo intactas as fibras interiores. A partir dos $1000^\circ C$ é preciso ter em conta os resultados obtidos pelos estudos de ATD, ATG e difractometria de raios-X: verifica-se uma perda de peso, que atinge o máximo para uma temperatura de $1000 \pm 10^\circ C$, correspondente à perda da água de constituição da tremolite; a temperaturas superiores ou iguais a $1250^\circ C$ a tremolite decompõe-se dando origem a uma piroxena, libertando SiO_2 sob a forma de cristobalite, e Fe_2O_3 sob a forma de cristais de hematite. Ensaios efectuados para além de duas horas, numa mufla à temperatura de $1250^\circ C$, provocam uma recristalização total da amostra, modificando-lhe a textura, como referimos no capítulo dedicado aos ensaios térmicos.

A resistência aos ácidos é boa, o mesmo não se verificando com as bases, que solubilizam o quartzo presente em quantidades apreciáveis.

AGRADECIMENTOS

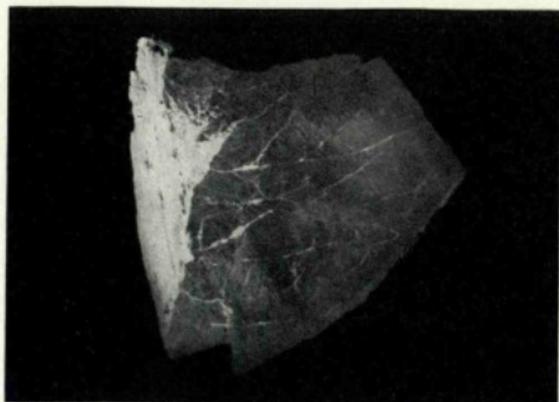
Cumpre-nos agradecer todo o apoio e sugestões recebidas durante a execução das análises termogravimétricas pelo Dr. Luís Serrano e do estudo difractométrico pela Eng.^a D. Maria de Lourdes Pinto. Agradecidos estamos ainda à Eng.^a D. Maria Manuela Cavaco, Agente Técnica de Engenharia D. Elisa Fernandes e Dr. Santos Oliveira pela execução das análises quantitativas de *Cr*, *Ni* e *Co*, e ao Prof. Dr. Martim Portugal pela leitura crítica do trabalho.

*Divisão de Mineralogia do S. F. M.
S. Mamede de Infesta, Julho de 1970*

BIBLIOGRAFIA

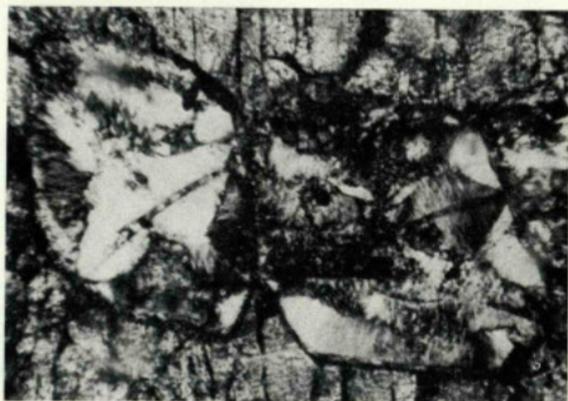
- ANDRADE, A. A. S., 1966 — *Les gisements stratoïdes du Massif d'Evora (Portugal)* «Memórias e Notícias», Univ. Coimbra, n.º 61, p. 49-71.
- 1969 — *On the Santana serpentized ultramafic rocks, Portel — Vidigueira region*. Manuscrito gentilmente cedido pelo Autor.
- BOWEN, N. L. & TUTTLE, O. F., 1949 — *The system MgO — SiO₂ — H₂O*. «Bull. geol. Soc. Amer. 60», p. 439-460.
- CARVALHOSA, A. B., 1965 — *Contribuição para o conhecimento geológico da região entre Portel e Ficalho (Alentejo)*. «Mem. Serv. Geol. Portugals», n.º 11 (nova série) p. 130.
- 1967 — *Notícia explicativa da folha 40-D (Portel)* «Carta Geológica de Portugal, 1:50 000», Serv. Geol. de Portugal.
- COLEMAN, R. G., 1966 — *New Zealand serpentinites and associated metasomatic rocks*. «N. Zealand Geological Survey», Bull. 76, p. 101.
- CORRENS, C. W., 1968 — *Einführung in die Mineralogie*, 2.ª edição. «Springer Verlag. Heidelberg.
- DEER, HOWIE & ZUSSMAN, 1963 — *Rock forming minerals*. «Longmans», Condon.
- FABRIÈS, J., 1963 — *Les formations cristallines et métamorphiques du Nord-Est de la province de Seville (Espagne)*. «Tèse da Univ. Nancy», p. 295.
- FAUST, G. T. & OUTROS, 1956 — *Relation of minor-element content of serpentines to their geological origin*. «Geoch. Cosm». Acta, V. 10, p. 316-320.
- FAUST, G. T. & FAHEY, J. J., 1962 — *The Serpentine-group minerals*. «Geol. Survey Prof. Paper 384-A», p. 92, Washington.
- GOLDSCHMIDT, V. M., 1954 — *Geochemistry*. «Oxford University Press», p. 730.
- GOLES, G. G., 1967 — *II. Trace elements in ultramafic rocks*. «Ultramafic & Related Rocks», p. 352-62, P. J. Wyllie, J. Wiley, N. York.
- HAHN-WEINHEIMER, P. & ROST, F., 1961 — *Akzessorische Mineralien und Elemente in Serpentin von Leupoldsgrün*. «Geoch. Cosm». Acta, V. 21, p. 165-181.

- JAHNS, R. H., 1967 — *Serpentinities of the Roxbury district, Vermont*. «Ultra-mafic and Related Rocks», p. 137-166. P. J. Wyllie, J. Wiley, N. York.
- JENKINS, G. F., 1960 — *Asbestos*. «Industrial Minerals and Rocks», Seeley W. Mudd Series, The Am. Inst of Mining, Met. and Petrol, Engineers, N. York.
- LOUGHNAN, F. C., 1969 — *Chemical weathering of the silicate minerals*. «Elsevier», N. York.
- LUNDEGARDH, H., 1949 — *Aspects to the geochemistry of chromium, cobalt, nickel and zinc*. «Sveriges Geol. Undersökning Arsbok 43», n.º 11, ser. C, n.º 513, p. 56.
- MATHES, G., 1955 — *Mikroskopie der technisch nutzbaren Asbest*. «Handbuch der Mikroskopie in der Technik», H. Freund, B. IV, T. 1, p. 783-796, Unschau Verlag, Frankfurt a. Main.
- NEIVA, J. M. C., 1947 — *Notas sobre peridotitos, serpentinitos e gabros da proximidade de Cabeço de Vide (Alentejo)*. «Est. Not. Trab. S. F. M.», V. II — fascs. 3-4, p. 225-227.
- RAMDOHR, P., 1967 — *A widespread mineral association, connected with serpentinitization*. «N. Mb. Miner.», Ab. 4, B. 107, 3, p. 241-265. Stuttgart.
- RIORDON, P. H., 1955 — *The genesis of asbestos in ultrabasic rocks*. — «Econ. Geol.», V. 50, N. 1, p. 67-81.
- THAYER, T. P., 1966 — *Serpentinization considered as a constant-volume metasomatic process*. «Am. Mineralogist», V. 51, N. 5 e 6, p. 685-710.
- TORRE DE ASSUNÇÃO, C. & PERDIGÃO, J., 1962 — *Sobre o prolongamento do alinhamento filoniano dolerítico de Odemira-Vidigueira até Ouguela*. «Com. Serv. Geol. Portugal», T. XLVI, p. 349-363.
- TROGER, W. E., 1967 — *Optische Bestimmung der Gesteinsbildenden Minerale*. Teil 2. «Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung». Stuttgart.
- TURNER, F. J. & VERHOOGEN, J., 1960 — *Igneous and metamorphic Petrology*. «Mc. Graw-Hill», N. York.
- WINKLER, H. G. F., 1965 — *Petrogenesis of metamorphic rocks*. «Springer Verlag», Berlin.

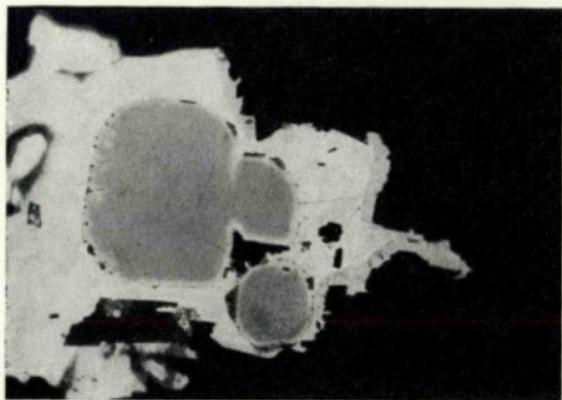


Fot. 1 — $\frac{1}{2}$ do tamanho natural.

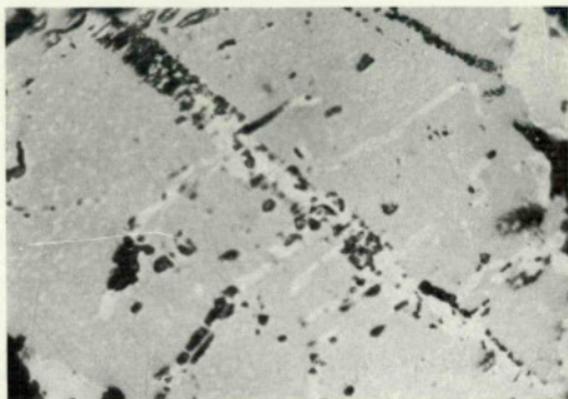
Fracturação poligonal do serpentinito, com preenchimento por asbesto e carbonatos.



Fot. 2 — $125\times$, Nicóis +. Textura alveolar do serpentinito, com pseudo-morfose da olivina para serpentina, no seio de uma relíquia de piroxena.



Fot. 3 — $1\,000\times$, Nicóis =. Cristais idiomórficos de cromite, no seio da magnetite. Entre os dois, uma auréola que corresponde a uma espinela de composição intermédia cromite-magnetite.



Fot. 4—1 000 X, Nicóis =.
Cristal de ilmenite que
exsolveu magnetite em
duas gerações e que está
localmente martitizada.



Fot. 5—Pequena escavação, nos serpentinitos, destinada à extracção do asbesto, em que são visíveis alguns dos seus veios.

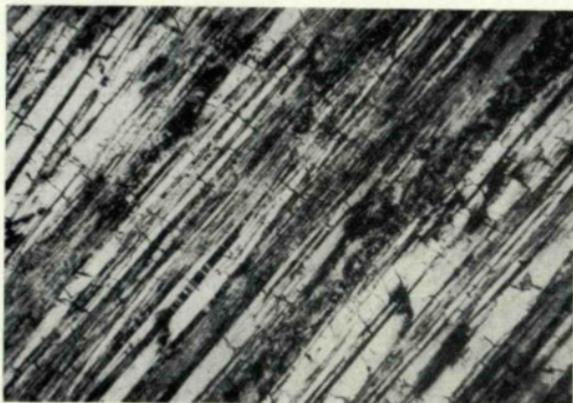


Fot. 6— $\frac{1}{2}$ do tamanho natural.
Asbesto (cross fiber) que
corta o serpentinito.

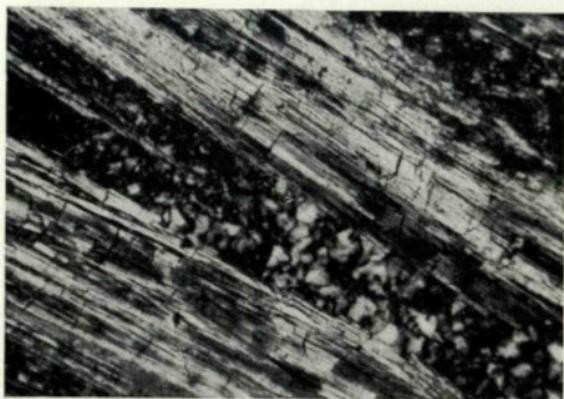


Fot. 7— $\frac{1}{2}$ do tamanho natural.

Fibras de asbesto intensamente dobradas. As fibras mais escuras correspondem às maiores concentrações de clorite.



Fot. 8—125 \times , Nicóis +. Agregado de cristais fibrosos e aciculares de tremolite. Entre eles, cristais granulares e prismáticos de quartzo

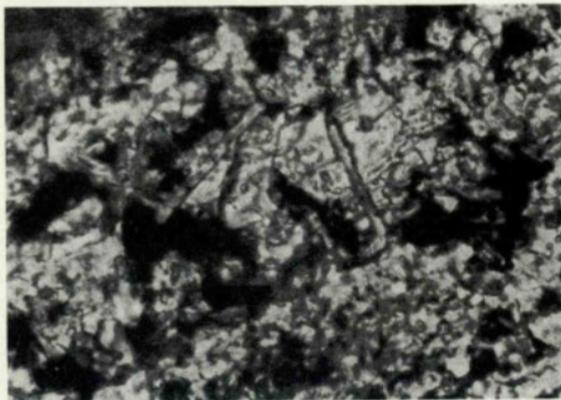


Fot. 9—125 \times , Nicóis +. Quartzo granular que cimenta e penetra os cristais prismáticos de tremolite.



Fot. 10 — 125 \times , Nicóis =.
Aspecto de recristalização
do asbesto, depois de
submetido a uma tem-
peratura de 1250°C, du-
rante quatro horas.

Fot. 11 — 650 \times , Nicóis =.
Pormenor da fotografia
10, em que são visíveis
os bastonetes de cristo-
balite e os cristais de
hematite, no seio do
agregado granular que
resulta da cristalização
da tremolite.



Fot. 12 — 125 \times , Nicóis +,
Montagem em óleo de imersão, $n = 1.56$.
Bastonetes de tremolite
resultantes de breve es-
magamento do asbesto
num almofariz de
ágata.