

# Charnockitos e Rochas Associadas nos Municípios de Amparo e Socorro, Estado de São Paulo, Brasil

RUI RIBEIRO FRANCO E J. MOACYR V. COUTINHO

*Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo, São Paulo, S.P.*

(Recebido em 14 de julho de 1956)

Em 1951, um dos autores em visita à região de Amparo, S.P., teve a oportunidade de coletar amostras de gnaisses, quartzitos e anfibolitos. Examinadas ao microscópio as amostras gnáissicas (2, 3 e 4 no quadro) revelaram estruturas e minerais característicos de fácies de alto PT. Este fato levou-nos a aguardar uma oportunidade de voltar à região, já que o simples exame microscópico denunciava interessantes problemas comuns em rochas arqueanas de catazona. Em julho de 1955, o eng. sr. JOSÉ SETZER, do Instituto Geográfico e Geológico de São Paulo, teve a gentileza de nos ceder algumas amostras de rochas colhidas nas proximidades da região referida. A análise microscópica dessas amostras revelou que três delas (5, 6 e 7) apresentavam característicos de rochas charnockíticas e, portanto, da fácies granulítica, o de

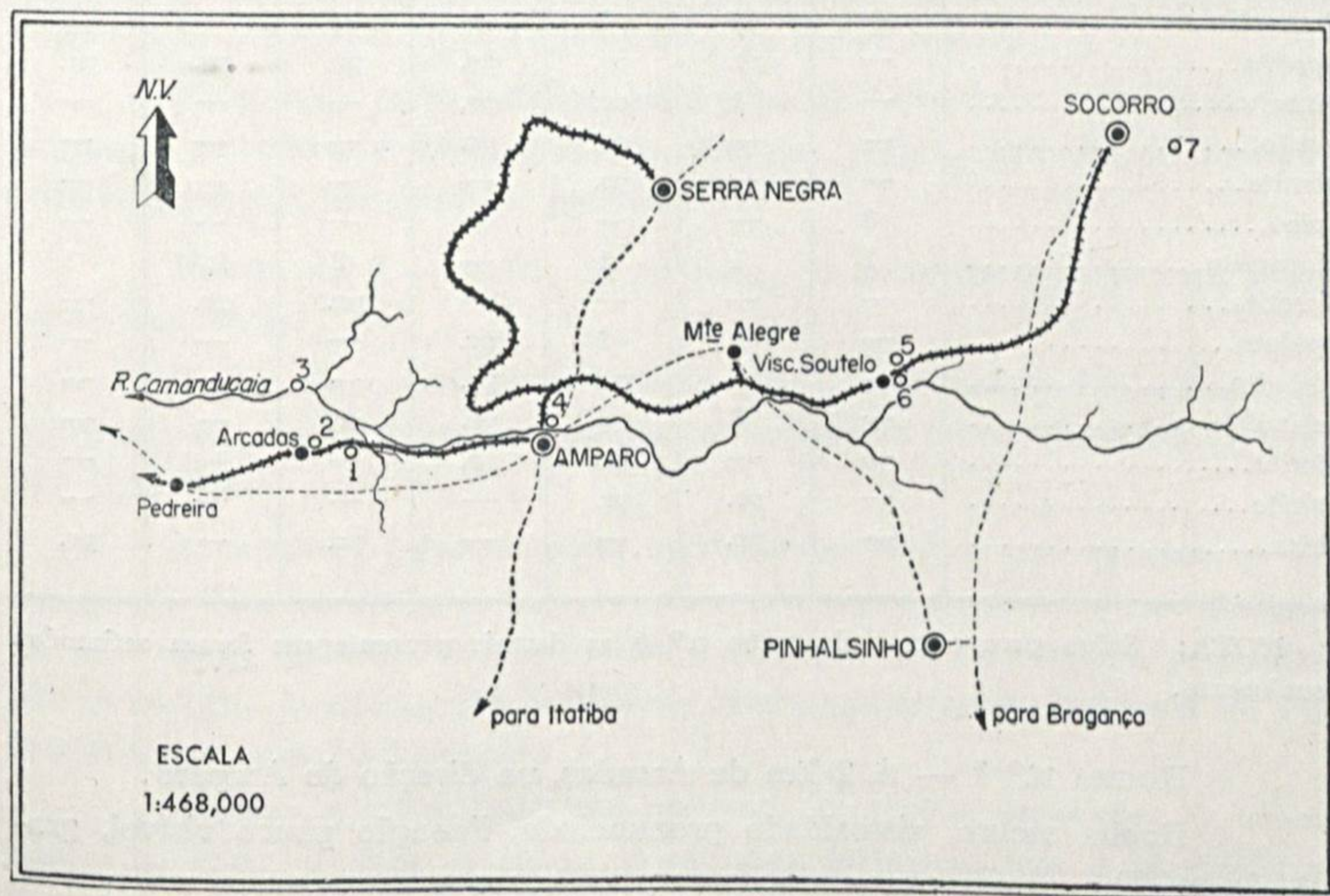


Fig. 1 — Mapa esquemático da região de Amparo e cidades circunvizinhas localizando os pontos de onde foram retiradas as amostras para o estudo petrográfico.



mais intenso grau de metamorfismo regional. Uma das rochas (a de número 1 no quadro) será também objeto de estudo neste trabalho, dada a raridade da associação mineral observada, embora não pertença ao grupo gnáissico.

O presente trabalho é de natureza puramente petrográfica. Não foram incluídos, propositadamente, dados de campo, e nem procuraremos estabelecer relações genéticas, objeto de trabalho ulterior. O fim agora visado é principalmente o de dar a conhecer a existência de rochas interessantes, raras e importantes para o estudo do arqueano do interior do Estado de São Paulo.

Adiante serão tabuladas as rochas examinadas e, em seguida, descritas numa seqüência que corresponde, aproximadamente, ao sentido oeste-este entre as estações de Arcadas e Socorro, E. F. Mogiana, S.P.

#### COMPARAÇÃO MINERALÓGICA VOLUMÉTRICA DAS ROCHAS ESTUDADAS

	1	2	3	4	5	6	7
Quartzo.....	—	10	30	10	2	2,5	20
K-Feldspato.....	—	15	20	35	—	—	30
Plagioclásio.....	—	45	25	35	35	31	35
Diopsídio.....	—	20	5	3	30	35	4
Ortopiroxênio.....	30	—	—	—	5	3	2
Biotita.....	—	5	—	10	—	—	1
Hornblenda.....	—	—	15	—	10	4	7
Cummingtonita.....	60	—	—	—	—	—	—
Espinelo.....	1	—	—	—	—	—	—
Granada.....	—	—	—	—	15	22	pr.
Escapolita.....	—	—	1	—	—	—	—
Apatita.....	—	pr.	pr.	pr.	pr.	pr.	pr.
Titanita.....	—	1	pr.	pr.	—	—	—
Zircão.....	—	—	pr.	pr.	—	—	—
Alanita.....	—	—	pr.	—	—	—	—
Talco.....	8	—	—	—	—	—	—
Magnetita.....	1	1	1	—	3	2,5	1
Pirrotita.....	—	—	—	—	pr.	pr.	—
Epídoto.....	—	—	2	pr.	—	—	—
Prehnita.....	—	pr.	pr.	pr.	—	—	—
Actinolita.....	—	3	2	pr.	pr.	—	—
Clorita.....	—	—	pr.	pr.	—	—	—
Calcita.....	—	pr.	pr.	—	—	—	—
Pirita.....	—	pr.	—	—	pr.	—	pr.

NOTA: Salvo para o caso da rocha n.º 6 as demais porcentagens foram estimadas visualmente.

ROCHA N.º 1 — A 2 km de Arcadas, na direção de Amparo.

Rocha escura, xistosidade pronunciada, lineação pouco visível, granulação média.

Formada por um agregado anfibólio-piroxênico, contendo ainda como minerais primários: espinelo verde e rara flogopita. O piroxênio é incolor, de



hábito prismático e acha-se normalmente alterado em talco e magnetita-hematita em poeira de grânulos. Entre os produtos de alteração também se encontram algumas palhetas de uma clorita clara biaxial, positiva, possivelmente clinocloro.

As propriedades óticas do piroxênio podem ser assim resumidas:  $Z/c = 0^\circ$ ,  $N_z = 1,694$ ,  $N_y = 1,690$ ,  $N_x = 1,680$  ( $\pm 0,003$ );  $N_z - N_x = 0,012$ .  $2V(-) = 74^\circ$  ( $\pm 2^\circ$ ). Trata-se de ortopiroxênio, transição entre enstatita e hiperstênio. Segundo WINCHELL, o mineral bronzita com cerca de 22%  $\text{FeSiO}_3$ .

O anfibólio apresenta-se sob a forma de cristais alongados segundo  $c$ . Em secção transversal mostra-se achatado na direção da face lateral (010) ou, mais raramente, segundo uma das faces prismáticas (110). Coloração levemente esverdeada, quase imperceptível. Alteração ou deposição limonítica incipiente ao longo de superfícies de fratura e clivagem.  $Z/c = 16$  a  $17^\circ$ ,  $N_z = 1,661$ ,  $N_y = 1,648$ ,  $N_x = 1,638$  ( $\pm 0,003$ ),  $N_z - N_x = 0,023$ ,  $2V(-) = 90^\circ$  ( $\pm 5^\circ$ ). Apenas pelas propriedades óticas não se consegue classificar este mineral nos diagramas conhecidos. Na falta de análise química ficaríamos em dúvida entre tremolita edenítica e cummingtonita. Há maior possibilidade de se tratar de cummingtonita, dado o possível caráter ultrabásico da rocha original.

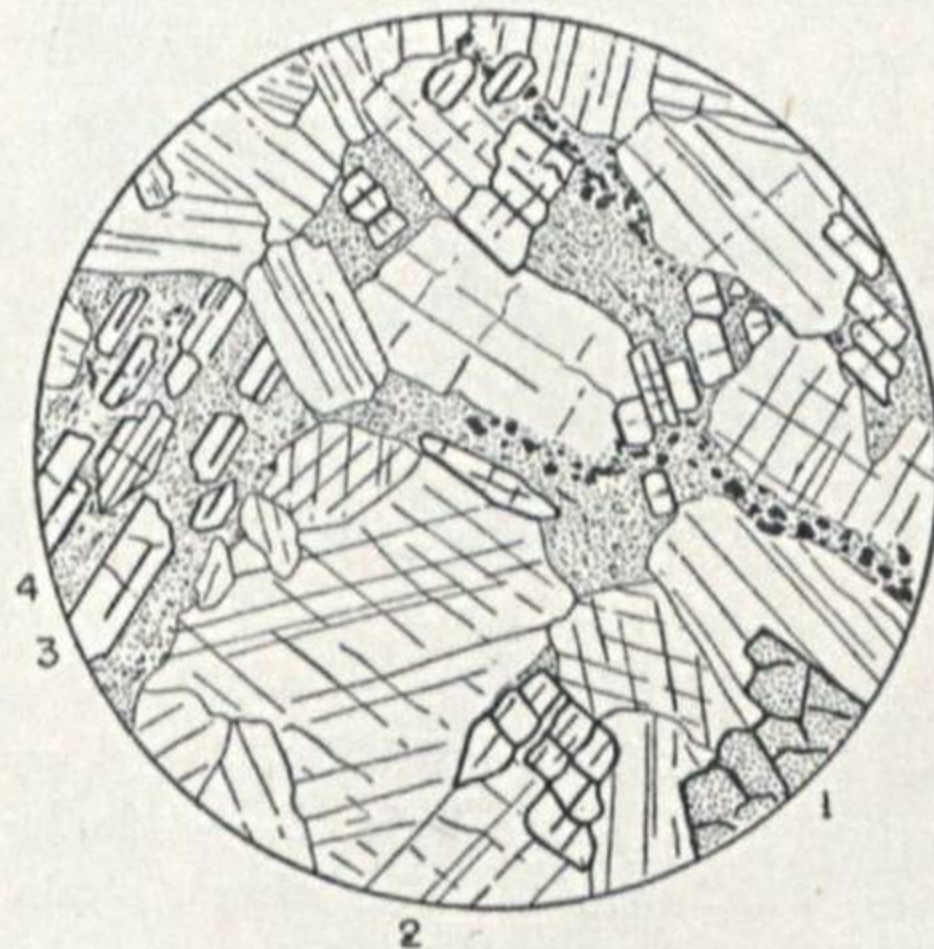
O espinelo exhibe secções quadradas ou irregulares, cor verde relativamente carregada e deixa perceber clivagem pobre. Trata-se de membro ferro-magnésiano; hercinita ou pleonasto.

ROCHA N.º 2 — Saída de Arcadas. Entrada da estrada para a Fazenda Boa Vista.

Rocha clara, com gnaissificação perceptível macroscopicamente. Linhas mais escuras esverdeadas e pardas correspondem a concentrações de diopside e biotita.

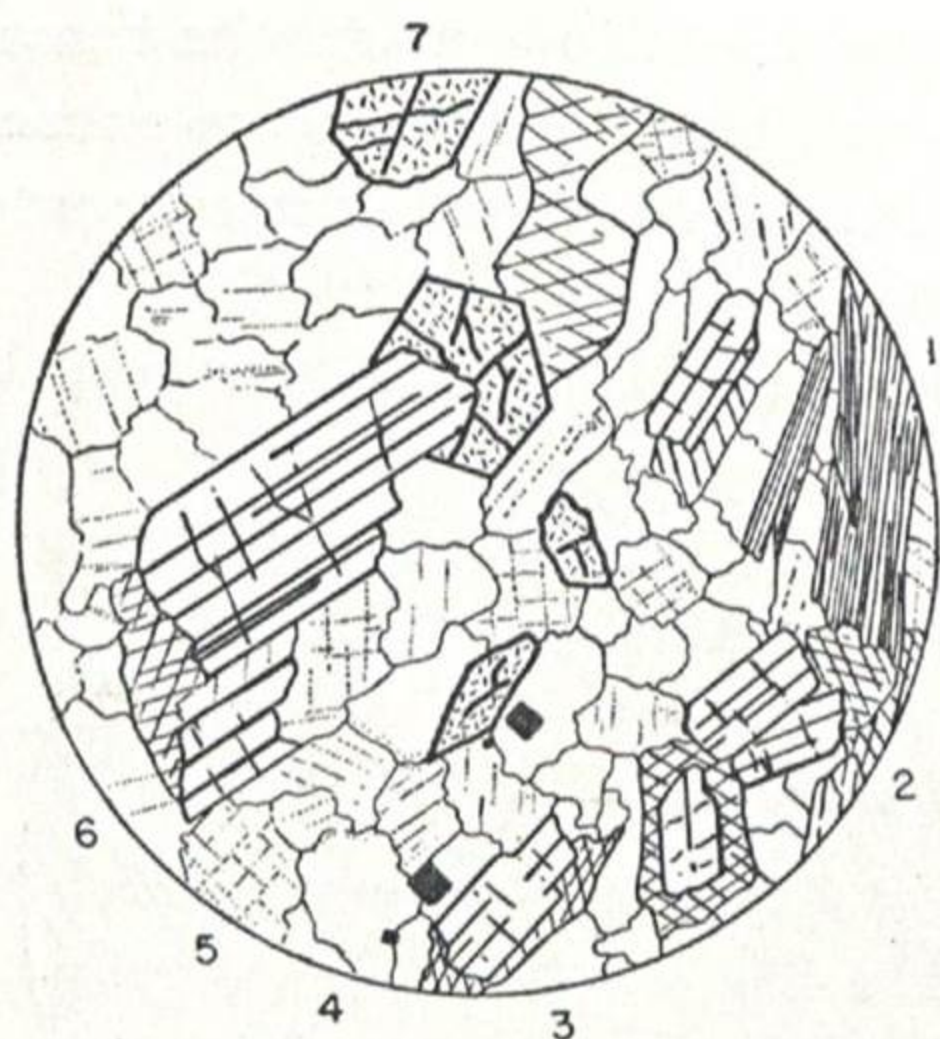
A textura é granoblástica, aproximadamente a que se observa em granulitos. Não há vestígios de cataclase. Alterações secundárias se resumem na uralitização (actinolita) dos bordos e clivagens do piroxênio e prehnitização da biotita. A calcita, que se observa intergranularmente, aparenta ter sido desenvolvida metamórficamente.

Quartzo e microclínio não mostram caracteres especiais. O último não é pertítico. Ambos se agrupam equigranularmente com o plagioclásio. Este é o mineral predominante entre os síalicos. Trata-se de andesina  $\text{An}_{40\%}$ . Raramente se apresenta zonado. As zonas, como veremos nas outras rochas, são



1 — Espinelo verde, 2 — anfibólio, 3 — ortopiroxênio, 4 — produto de alteração do piroxênio (talco e magnetita).





Rocha n.º 2

1 — Biotita, 2 — anfibólio, 3 e 4 — quartzo, 5 — microclínio, 6 — plagioclásio, 7 — titanita. São vistos, ainda, sete cristais de clinopiroxênio e quatro cristais de magnetita.

reversas. A borda pode ser pouco mais cálcica, ao redor de  $An_{45\%}$ . A geminação é parca, nem sempre segundo a lei da albita.

O piroxênio é um diopsídio incolor em lâmina delgada.  $Z/c = 41$  a  $42^\circ$ ,  $N_z - N_x = 0,027$ . Exibe partição ("parting") (100) e geminação polissintética fina segundo o mesmo plano.

O anfibólio actinolítico possui  $Z/c = 15$  a  $16^\circ$  e  $N_z - N_x = 0,023$ .

A biotita, pelo seu pleocroísmo não muito acentuado, em tom pardo vermelho, possibilita concluir ser variedade mais rica em Mg.

Vários grãos de titanita são nitidamente pleocróicos, sendo róseo vinho o tom observado na direção de maior absorção.

**ROCHA N.º 3** — Margens do rio Camanducaia. Fazenda Boa Vista.

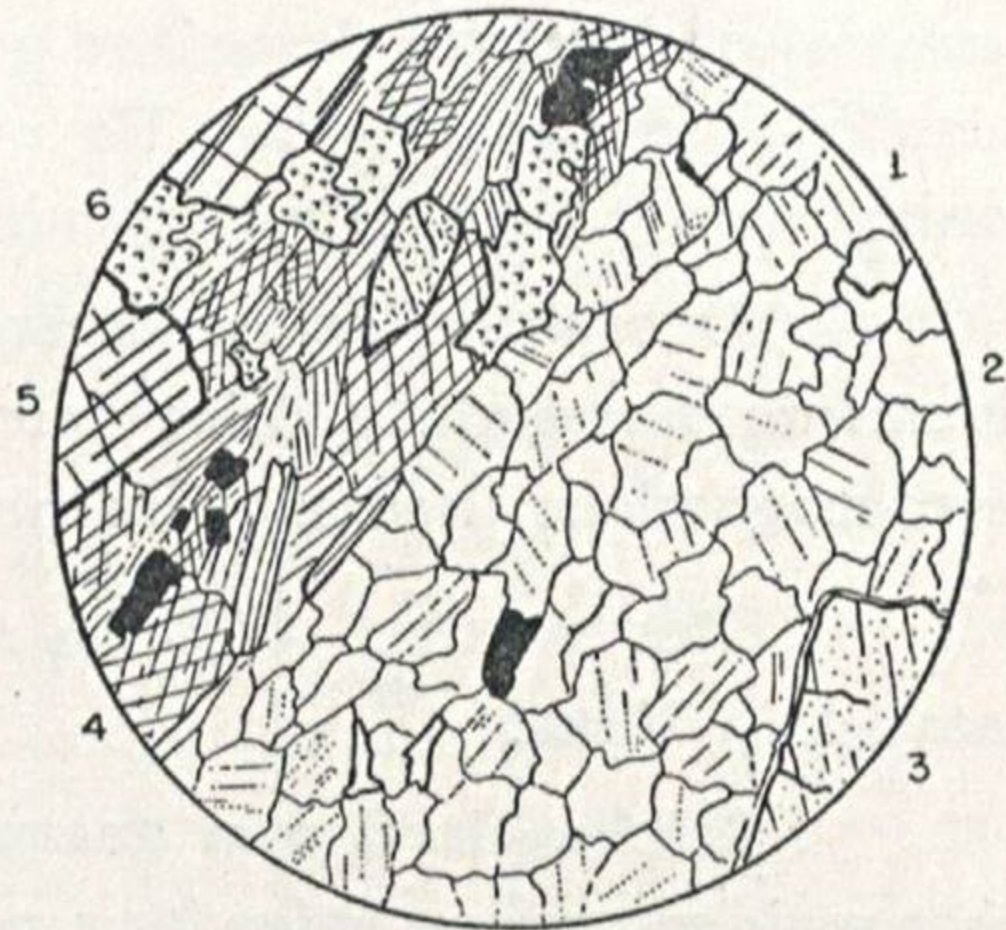
Gnaiss esverdeado. Concentrações de piroxênio em planos paralelos. As evidências de deformação tectônica e subsequente alteração retrometamórfica, são bem visíveis nesta rocha.

Grande parte do piroxênio original já se acha substituído por agregados de hornblenda, clorita, calcita, epídoto, titanita, etc.

O quartzo é granulado e recristalizado. O microclínio é relativamente fresco, ao passo que o plagioclásio, variedade andesina-labradorita, mostra-se semi-alterado.

O piroxênio é um diopsídio esverdeado,  $Z/c = 43^\circ$ . Encontra-se muito deformado e alterado. O anfibólio, sem dúvida proveniente da substituição do piroxênio, é também uma variedade fortemente colorida:  $X =$  amarelo,  $Y =$  verde,  $Z =$  azul carregado.  $2V(—) = 70^\circ$  (estimado visualmente),  $r > v$  sensível.  $Z/c = 21^\circ$ .

A rocha apresenta grande variedade de acessórios, alguns bem raros. Assim, a titanita comum se acha em muitos grãos, parcial ou completamente capeada por uma variedade menos refringente, de menor birrefringência, com  $2V$  maior e pleocroísmo mais forte em tons avinhados. Trata-se, sem dúvida, de keilhau-nita, variedade de titanita mais rica em ferro, alumina e terras raras.



Rocha n.º 3

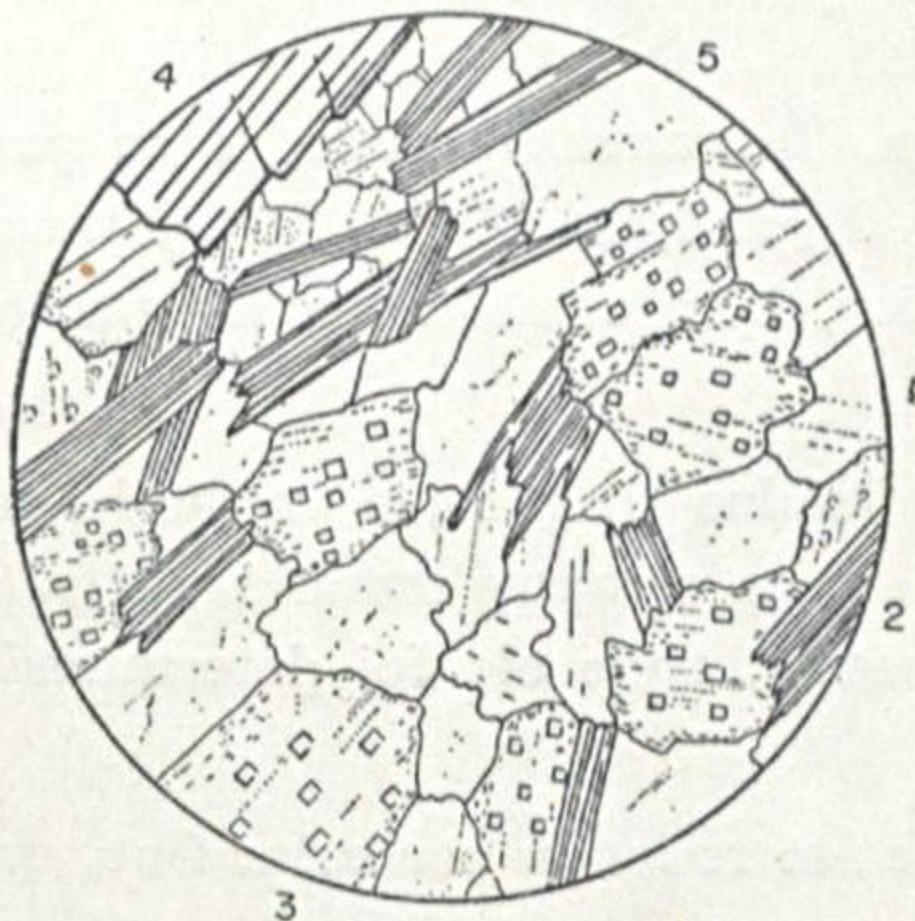
1 — plagioclásio-microclínio, 2 — quartzo, 3 — escapolita, 4 — anfibólio, 5 — clinopiroxênio, 6 — epídoto. Entre os cristais de epídoto vêem-se um cristal de titanita e alguns cristais opacos de magnetita.



A mesma variação se observa no epídoto, que passa, em zonas, do tipo ferruginoso ao rico de terras raras, allanita. Esta, como a keilhaunita também pode se apresentar em grãos isolados.

Outro acessório raro é a escapolita, termo mizzonítico que, conforme o leito, pode se achar integralmente substituída por agregados fibrosos pardacentos, micas e outros produtos.

São comuns a apatita e magnetita em grãos pouco afetados pelo dinamometamorfismo. A prehnita se encontra alterando a hornblenda, e a calcita em associações secundárias sobre escapolita, piroxênio e plagioclásios.



Rocha n.º 4

1 — plagioclásio-microclínio, 2 — biotita, 3 — plagioclásio antipertítico, 4 — clinopiroxênio, 5 — quartzo.

ROCHA N.º 4 — 3.<sup>a</sup> fonte. Bocaina, Amparo.

Trata-se de biotita-gnaiss regional, comum em Amparo. Aqui e ali observam-se zonas enriquecidas de piroxênio. Ao microscópio, êste mostra ser a variedade diopsídica esverdeada, já descrita. É quase sempre alterado em hornblenda actinolítica nos bordos (esta,  $Z/c = 16^\circ$ ).

Os outros minerais encontram-se relativamente frescos e não cataclados. O aspecto mais interessante desta rocha reside na presença de plagioclásios incluindo fragmentos quase sempre retangulares de feldspato potássico, na forma conhecida na antipertita. O microclínio, por sua vez, é também pertítico, notando-se por toda a lâmina razoável desenvolvimento de mirmequita.

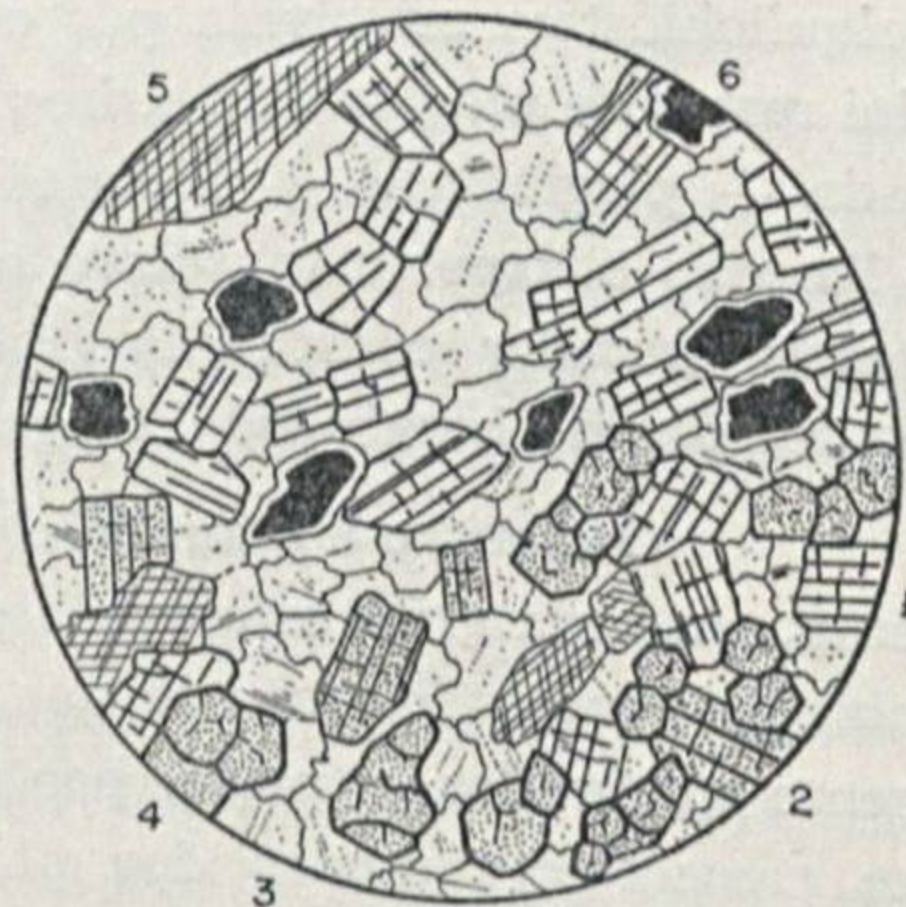
ROCHA N.º 5 — 1 km a NE da Estação Visconde de Soutelo, Socorro.

Rocha melanocrática, com alteração pardacentas. Macroscopicamente, não exibe orientação preferencial.

Ao microscópio observa-se textura granoblástica, formada principalmente por diopsídio, hiperstênio, anfibólio, granada e plagioclásio.

O plagioclásio mostra raramente geminação, é límpido e se encontra zonado de maneira reversa, com o núcleo  $An_{40\%}$  capeado por zonas que podem atingir, na parte mais externa,  $An_{70\%}$ .

O outro mineral siálico presente é o quartzo. Êste forma geralmente grãos maiores que a média na rocha, mas está em proporção diminuta.



Rocha n.º 5

1 — clinopiroxênio, 2 — ortopiroxênio, 3 — plagioclásio, 4 — granada, 5 — anfibólio, 6 — magnetita. Ocorrem, ainda, alguns cristais de quartzo.



O diopsídio é ligeiramente esverdeado com pleocroísmo insensível.  $Z/c = 43^\circ$ ,  $N_z - N_x = 0,027$ ,  $2V(+) = 56^\circ$ . Difícilmente se diferencia do hiperstênio que possui também coloração e pleocroísmo muito fracos. Na realidade, a separação do clino e ortopiroxênio se procedeu por investigação isolada das propriedades óticas de cada grão. Regra geral, o hiperstênio se associa à magnetita, tanto como bordo de reação muito fino como em grãos isolados vizinhos. As principais características óticas medidas foram:  $N_z - N_x = 0,015$ ,  $2V(-) = 51^\circ$ , denunciando hiperstênio ferrífero (cêrca de 50%  $\text{FeSiO}_3$ ) ou magnesiano (35%  $\text{FeSiO}_3$ ). A determinação final dependerá da medida dos índices de refração.

O anfibólio é a variedade pardacenta,  $X =$  amarelo claro,  $Y =$  pardo escuro,  $Z =$  pardo esverdeado escuro,  $N_z - N_x = 0,024$ ,  $Z/c = 81^\circ$ . Encontra-se em grãos isolados na massa granoblástica, bem como, mais raramente, uralitizado o diopsídio.

A granada é de cor rósea clara, em lâmina delgada, e vermelha na rocha macroscópica. É, sem dúvida, variedade de piropo-almandina, pois a rocha se assemelha muito à descrita logo a seguir, onde ela foi determinada com segurança.

A magnetita em grãos irregulares acha-se rodeada por colar fino, ora de hiperstênio, ora de hornblenda. A pirrotita associa-se à magnetita em pequena porcentagem. Há micas e anfibólios secundários.

ROCHA N.º 6 — Junto à estação de Visconde de Soutelo, Socorro.

Rocha escura, granular, alteração intempérica castanha. Mostra grande quantidade de granadas.

Ao microscópio exhibe interessante estrutura formada por granada poiquiloblástica envolvida por corôa de plagioclásios. A granada também inclui restos de plagioclásio e, freqüentemente, hiperstênio. Êstes conjuntos: granada + plagioclásio + hiperstênio, formam unidades características na rocha e lhe dão o aspecto maculoso macroscópico. Entre êstes conjuntos, ocorre a matriz granular constituída principalmente por diopsídio e quantidades subordinadas de hornblenda, magnetita, hiperstênio e quartzo.

O quartzo é intersticial e raro. O plagioclásio, embora granuloso, apresenta, em cada grão, orientação pouco diferente da de seus vizinhos, em determinadas áreas. Parece-nos que formavam antigos cristais maiores, posteriormente quebrados e, parte, por influência da força cristalizadora da granada em crescimento dentro dos plagioclásios. Êstes são zonados de forma reversa: núcleo  $\text{An}_{40\%}$ , bordo  $\text{An}_{60\%}$ . Acreditamos ter o plagioclásio se calcificado nos bordos dos fragmentos em consequência de reações metamórficas, que levaram à formação da granada.

O clinopiroxênio é um diopsídio idêntico ao da rocha anterior, em parte uralitizado. Forma os grãos da matriz intersticial. Foram determinados:  $Z/c = 43^\circ$ ,  $N_z - N_x = 0,027$ ,  $2V(+) = 54^\circ$ . Exhibe partição ("parting") grosseira (010) e outra lamelar fina (001).



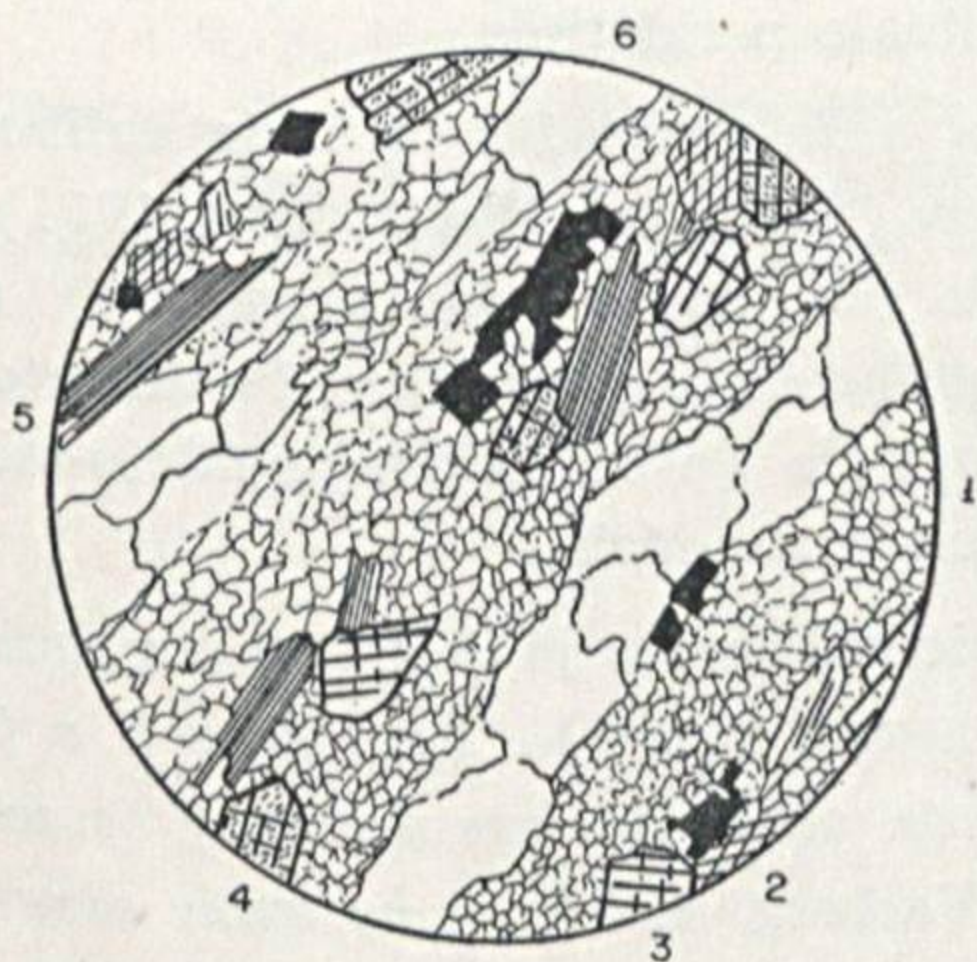
O anfibólio mostra-se colorido em tons mais esverdeados que o da rocha anterior.  $X =$  amarelo claro,  $Y =$  pardo esverdeado,  $Z =$  verde.  $N_z - N_x = 0,024$ ,  $Z/c = 14^\circ$  e  $2V(-) = 75^\circ$ .

O hiperstênio, quase sempre incluso em áreas dentro da granada, parece ter servido de componente de reação para a produção desta (GHOSH, 1941). O pleocroísmo é quase nulo.  $N_z - N_x = 0,016$ ,  $2V(-) = 49^\circ$ , equivalendo a um hiperstênio 37%  $FeSiO_3$  ou 47%  $FeSiO_3$ . A determinação dos índices de refração excluirá uma das possibilidades.

A granada, ligeiramente rósea, teve sua determinação baseada no índice de refração e peso específico:  $n = 1,79$  (método de imersão). A densidade foi determinada por diferença, medindo-se a densidade total da rocha e descontando-se a porcentagem dos outros minerais, de densidade conhecida. Resultou assim para a granada o valor 3,9. Segundo o diagrama reproduzido em TRÖGER, o mineral contém 40% de piropo, 40% de almandina e 20% de andradita.

A magnetita apresenta-se, como na rocha anterior, em grãos circundados por fino colar de hiperstênio ou hornblenda. A apatita está presente como acessório.

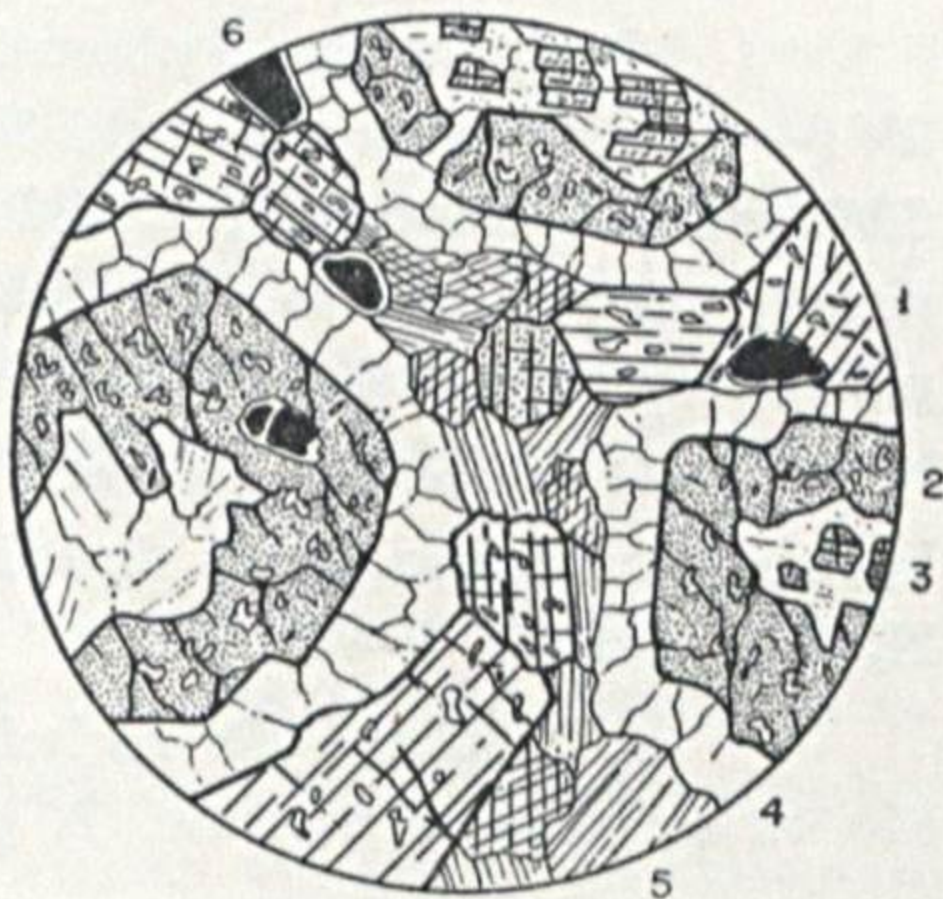
#### ROCHA N.º 7 — 3 km a ESE de Socorro.



Rocha n.º 7

1 — quartzo + feldspato, 2 — anfibólio, 3 — clinopiroxênio, 4 — ortopiroxênio, 5 — biotita, 6 — quartzo. São visíveis, ainda, cristais de magnetita.

entretanto, conservam ainda os efeitos da deformação tectônica. O resto da massa microcristalina quartzo-feldspática está completamente recrystalizado.



Rocha n.º 6

1 — clinopiroxênio, 2 — granada, 3 — ortopiroxênio, 4 — plagioclásio, 5 — anfibólio, 6 — magnetita.

Rocha bem orientada, de aspecto mesocrático, apesar da preponderância dos elementos siálicos. A explicação se encontra no tom pardacento apresentado macroscopicamente pelos feldspatos. A amostra apresenta-se intemperizada nos bordos em material pardo escuro.

Ao microscópio, a textura granoblástica é clara. Apenas línguas de quartzo e alguns fenoblastos fogem à equigranularidade. Os minerais fêmicos e acessórios concentram-se também em faixas paralelas às línguas.

O quartzo está completamente recrystalizado, sem indícios de cataclase. Alguns fenoblastos feldspáticos e piroxênicos,



O feldspato, mineral abundante na rocha, é uma andesina  $An_{37\%}$ , que pode apresentar bordos ligeiramente mais cálcicos.

A hornblenda é da mesma variedade da rocha anterior:  $Z/c = 14^\circ$ ,  $2V(-) = 68^\circ$ ,  $N_z - N_x = 0,023$ .

O hiperstênio é pleocróico:  $X = \text{róseo}$ ,  $Y = \text{amarelo}$ ,  $Z = \text{esverdeado}$ ,  $2V(-) = 54^\circ$   $r > v$  sensível. Segundo o diagrama de Tröger, tanto pode ser 33%  $FeSiO_3$  como 55%  $FeSiO_3$ . O pleocroismo forte, como indica QUENZEL, nem sempre é indício de riqueza de  $FeSiO_3$ . A determinação exata se fará por intermédio dos índices de refração.

O diopsídio apresenta-se carregado em côr verde esmeralda, com ligeiro pleocroismo.  $Z$  é a direção de maior absorção.  $Z/c = 44^\circ$ ,  $2V(+) = 57^\circ$ ,  $N_z - N_x = 0,027$ .

A biotita é da variedade parda comum. A apatita e a magnetita são os acessórios comuns. A granada é rara.

Digna de nota, tanto nesta como nas duas rochas anteriores, é a completa ausência de titanita.

### CONCLUSÕES

A rocha n.º 1 constitui-se da associação enstatita-espinélio (+ anfibólio) estável somente em alto grau de metamorfismo. A cummingtonita, se confirmada, pode ser interpretada como retrógrada, a partir de enstatita, embora haja pouca evidência microscópica. BARTH (1952) acredita que mesmo a cummingtonita em rochas extremamente magnesianas pode se tornar estável nos mais altos graus de metamorfismo. Entretanto, o campo de maior estabilidade para rochas com este mineral é a fácies anfibolítica. A rocha ter-se-ia originado do metamorfismo regional de dunitos e peridotitos.

As rochas n.ºs 2, 3 e 4 mostram-se metamorfizadas na fácies anfibolítica, possivelmente sub-fácies estauroлита-cionita (TURNER E VERHOOGEN, 1951). A presença de diopsídio, a média alcalinidade dos plagioclásios (andesina), a frequência com que aparece o epídoto acompanhando a andesina e, finalmente, a típica associação: andesina-hornblenda-diopsídio (e/ou biotita)-epídoto-microclínio-quartzo, indicam rochas daquela fácies e sub-fácies.

As rochas 5, 6 e 7 são charnockitos idênticos aos já descritos por muitos autores desde HOLLAND (1900) até QUENZEL (1951). As rochas 5 e 6 adaptam-se em minúcias (incluindo até côr de alteração intempérica) às rochas descritas por QUENZEL do distrito de Varberg, Suécia, e às quais denominou charnockito básico e granada anfibolito em processo de charnockitização. A rocha 7 é o tipo clássico de charnockito ácido granulítico, com a adição de pequena porcentagem de minerais hidratados (anfibólio e biotita). Alguns característicos mineralógicos importantes neste grupo de rochas são: alto teor de moléculas de pirope na granada, hornblenda de variedade verde parda escura (deficiente em OH), ausência completa de titanita e as associações comuns: quartzo-ortoclásio (microclínio)-hiperstênio; plagioclásio-hiperstênio-



-granada; plagioclásio-hiperstênio-diopsídio ou combinações das associações referidas.

A presença de biotita e hornblenda focaliza problema especial já que não se deviam esperar tais minerais na fácies granulítica. RAMBERG (1952), depois de acentuar que não são minerais raros na fácies explica que, para o caso da biotita, sua presença depende, principalmente, da relação Mg/Fe da rocha original. Quanto à hornblenda, ela pode aparecer nesta fácies, desde que tenha composição restrita, isto é, deve ser rica em Al e, nas rochas quartzíferas, rica em Fe e Ti (êste último retirado da titanita que desaparece). GROVES (1935), em rochas de Uganda, ainda acentua a pobreza em OH destes anfibólios.

Resumindo, diríamos que as rochas 5, 6 e 7 possuem todos os característicos da fácies granulítica, o de mais alto PT atingido no metamorfismo regional. Evidencia-se, assim, que caminhando para leste de Arcadas, as rochas que afloram mostram que o arqueano mais profundo vai sendo gradualmente descoberto pela erosão. É de esperar que se possam, eventualmente, delimitar as zonas e fácies metamórficas de maneira fácil e precisa, pois as rochas, objeto dêste trabalho, são críticas para determinadas fácies.

#### BIBLIOGRAFIA

- BARTH, T.F.W., 1952 — Theoretical Petrology — John Willey and Sons, Inc. New York, pp. 344-347.
- GHOSH, P.K., 1941 — The charnockite series of Bastar State and Western Yeypore — *Rec. Geol. Survey of India*, 75, Pr. paper n.º 15.
- GROVES, A.W., 1935 — The charnockite series of Uganda, British East Africa — *Q.J.G.S.*, 91, 150 etc.
- HOLLAND, TH. H., 1900 — The charnockite series, a group of archean hypersthenic rocks in Peninsular India — *Mem. Geol. Survey of India* 28, 134-141.
- QUENZEL, P., 1951 — The charnockite series of the Varberg district on the south-western coast of Sweden — *Arkiv för Mineralogi och Geologi*, 1, 227-318.
- RAMBERG, H., 1952 — The origin of metamorphic and metasomatic rocks — Univ. Chicago Press.
- TURNER, F.J. AND VERHOOGEN, J., 1951 — Igneous and Metamorphic Petrology — McGraw-Hill Book.