

## PESQUISA DE CAULIM NO RIO CAPIM, ESTADO DO PARÁ

Por

ANTONIO SILVIO JORNADA KREBS (\*)

JOSÉ LUIZ GONÇALVES ARANTES (\*)

### ABSTRACT

The present paper summarizes the results obtained from the Kaolin research Works, carried out by C.P.R.M. – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – in the Rio Capim Área, São Domingos Country, State of Pará.

Kaolin presents a wide range of industrial application, but the development of the research out-lined specifically the characterisation of Kaolin with the best quality, making negligible in this way, the transportation cost and the absence of regional infrastructure.

The analysis of that Kaolin indicated it can be employed by paper industries. This fact makes it very important because that employment is the noblest one nowadays, for Kaolin as a raw material

### INTRODUÇÃO

Em 1971 a Diretoria de Operações da CPRM recomendou às suas unidades regionais a intensificação da busca de depósitos de caulim. Tal medida foi tomada em virtude dessa matéria-prima apresentar, já naquela época, alta cotação e grande demanda no mercado internacional.

Coroando de êxito a recomendação dada, geólogos da Agência Belém, em fins de julho de 1971, constataram a presença de espesso pacote de caulim branco nos barrancos do Rio Capim, na altura da sua confluência com o Igarapé Cipoteua, na região oriental do Estado do Pará.

Nesta comunicação são descritos os trabalhos realizados nas áreas concedidas à CPRM, que permitiram configurar na região uma reserva substancial de caulim de boa qualidade.

### LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

As áreas pesquisadas, abrangendo uma super-

fície total de 10.000 hectares, constituem dois conjuntos de 5 áreas, situados a norte e a sul de Igarapé Cipoteua ou Bacuri, afluente do Rio Capim pela margem direita, na altura do paralelo 2°25' e do meridiano 47°45' oeste de Greenwich, no município de São Domingos do Capim, Estado do Pará.

Partindo-se de Belém, pode-se atingir facilmente as áreas pesquisadas, por via fluvial, em qualquer época do ano, através de embarcação de pequena e média tonelagem, viajando-se inicialmente, cerca de 120 km pelo Rio Guamá e, em seguida, 120 km pelo Rio Capim.

Atualmente outra alternativa de acesso é através de vias rodoviárias e fluvial, cumprindo-se os seguintes itinerários:

Belém-Santa Maria do Pará – através da BR-316 num percurso de 107 km.

Santa Maria do Pará-Vila do km 48 da rodovia Belém-Brasília (BR-010) num percurso de 81 km.

Vila do km 48-Vila Santana do Capim, na margem direita do Rio Capim, através da PA-1, num percurso de 28 km.

Vila Santana do Capim-Áreas pesquisadas, num percurso de 50 km, pelo Rio Capim.

Dentro de algum tempo, quando for concluída a estrada que liga a rodovia Belém-Brasília (BR-010), a partir do km 91, ao Rio Capim, será possível atingir as áreas pesquisadas totalmente por via terrestre e, também, por via aérea, através de aviões de pequeno porte, utilizando o campo de pouso da Fazenda Chão Preto, que dista cerca de 15 km das citadas áreas e através da qual passará a referida estrada (Fig. 1).

### GEOLOGIA DA JAZIDA

Na área pesquisada, ocorrem rochas miocênio-pleistocênicas da Formação Barreiras, entre as quais se destaca a presença de arenitos, argilas e siltes.

(\*) *Divisão de Recursos Minerais da CPRM – Agência Belém.*

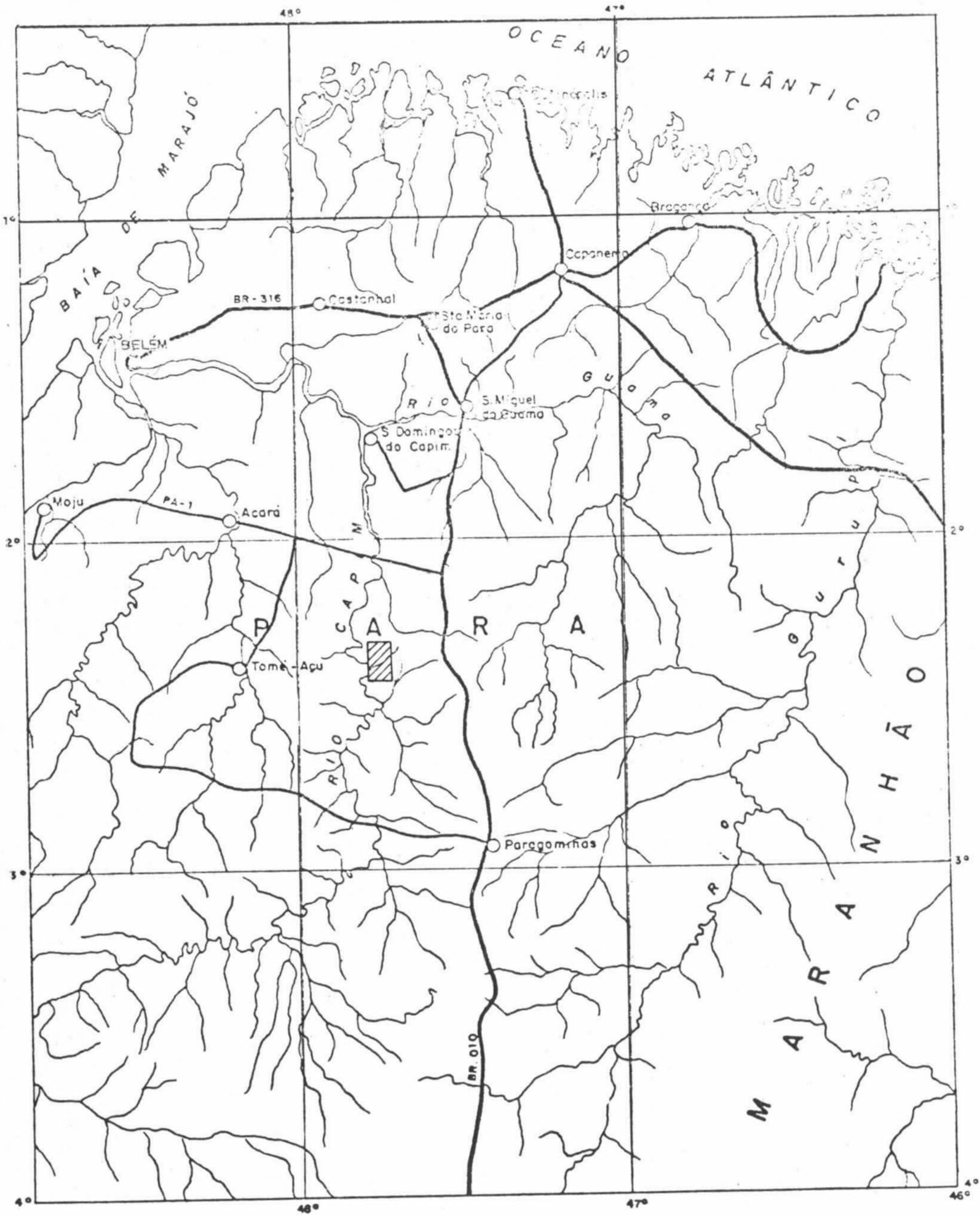
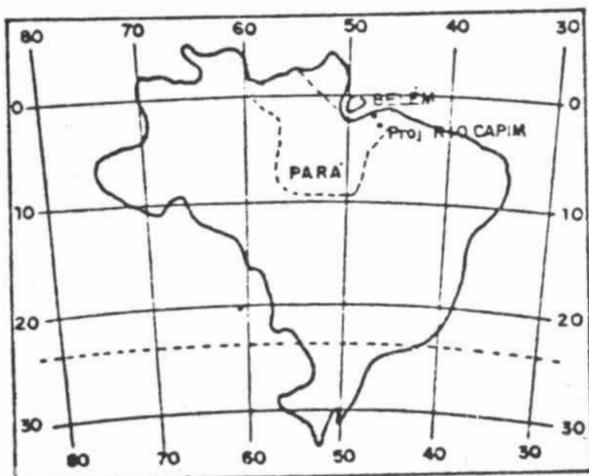


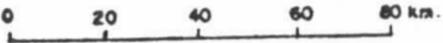
Fig. 1



 Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM

**PROJETO RIO CAPIM**  
Mapa de Localização

Escala 1:2.000.000



A espessura média dessa formação foi determinada em 1967, pela PETROBRÁS, sendo avaliada em cerca de 120 metros. Nenhum trabalho posterior preocupou-se em confirmar este valor, aceitando-se, por ora, este número como real.

A Formação Barreiras, na área trabalhada, não apresenta uma seqüência definida, fato verificado por ocasião dos trabalhos de descrição de poços, os quais revelaram notáveis variações de fácies, indo desde arenitos conglomeráticos até argilas caulínicas.

Na base, aparece uma seqüência argilo-arenosa bastante clara, normalmente branca que, de forma gradual, tende para a camada sobreposta, estritamente caulínica, constituída de material muito macio e extremamente alvo, possuindo uma espessura variável, mas tendo em média 7 metros.

Intercalam-se a seguir, níveis arenosos, mostrando grãos de quartzo bem arredondados, bastante trabalhados, podendo variar desde o branco até tons amarelados. Esses níveis são também ricos em material caulínico e não possuem mais do que 1 metro de espessura.

Superiormente, aparece um nível notoriamente caulínico, com restritas faixas de argila violácea, provenientes de um enriquecimento local em óxido de ferro e que tem uma espessura da ordem de 2 metros.

Mais acima, cerca de 2 metros, são compostos de material caulínico muito denso, com presença de manchas de um arenito ferruginoso, friável, que tende bruscamente para o horizonte dos solos, este, na maioria dos casos, com uma espessura de 7 metros aproximadamente. Esta última unidade, tem na base um nível que apresenta abundantes nódulos ferruginosos, produto do processo de laterização. Sua parte superior é argilosa, apresentando uma rede de raízes novas ou antigas, as quais muitas vezes contribuem, quando da sua decomposição, com ácidos húmicos, no quimismo da contaminação do material onde se encontram intercalados.

De interesse econômico, tem-se vários níveis de caulim, totalizando em média 9 metros, incluindo as intercalações arenosas caulínicas, uma vez que as mesmas apresentam relativa facilidade para separação das duas frações. Na base do pacote, as misturas de caulim com areias claras, constituem uma seqüência muitas vezes, de material com importância econômica, desconhecendo-se, na maioria dos casos, a verdadeira espessura do caulim explorável e concluindo-se que, com o avanço das pesquisas

em profundidade, poder-se-á obter uma reserva substancialmente maior que a atual.

De qualquer maneira, podem ser lavrados com vantagens, no momento, todos os horizontes caulínicos claros, localizados entre o nível superior contaminado e a porção inferior, onde começam a aparecer as areias claras em maior quantidade.

## GÊNESE DO CAULIM

### Generalidades

Os depósitos de caulim, do ponto de vista genético, podem ser agrupados em depósitos de caulim hidrotermais, depósitos de caulim de alteração meteórica e depósitos de caulim sedimentares.

*Os depósitos de caulim hidrotermais* são o resultado da transformação processada em massas de rochas cristalinas, metamórficas ou vulcânicas, sob a influência de aportes hidrotermais profundos. O depósito de St. Austell, Coswall, Grã-Bretanha, um dos mais importantes jazimentos de caulim do mundo, é um dos exemplos clássicos desse tipo de depósito.

*Os depósitos de caulim de alteração meteórica*, apresentam-se como produto de intensas alterações, sob clima tropical, de rochas originalmente porosas, por meio de percolação de águas com caráter ácido, ocasionando a hidrólise dos silicatos, com a conseqüente perda de ions e a posterior combinação de alumínio e sílica para a formação da caulinita.

*Os depósitos de caulim sedimentares* são formados pela deposição de material produzido e retrabalhado na superfície do continente e que é, posteriormente, transportado para as bacias de sedimentação. Os depósitos de caulim da Geórgia e da Carolina do Sul, nos Estados Unidos, são exemplos típicos de depósitos de caulim sedimentares.

A par do interesse meramente geológico, o estudo genético dos depósitos de caulim se torna uma ferramenta das mais importantes se levarmos em conta que existe uma grande correlação entre os fenômenos genéticos dos depósitos e certas propriedades tecnológicas do caulim. Assim, a maior ou menor alvura de certos caulins é função do tipo da rocha original e dos fatores químicos e físico-químicos que atuaram sobre ela. Caulins hidrotermais de alto índice de alvura derivam, em geral, de rochas pobres em ferro-magnesianos e vice-versa, enquanto que em caulins sedimentares as condi-

ções físico-químicas, que regulam as transformações entre Fe ferroso e Fe Férrico, é que vão controlar o maior ou menor grau de alvura do material caulínico.

### Gênese dos Depósitos de Caulim do Rio Capim

Os depósitos caulínicos pesquisados na bacia do Rio Capim, no Estado do Pará, são de origem sedimentar e fazem parte do pacote de sedimentos terciários da Formação Barreiras. Tais sedimentos foram depositados em ambiente continental, de caráter flúvio-lacustre, o que é evidenciado pela presença de níveis de seixos e grânulos de quartzo arredondados e subarredondados; pelo acamamento do caulim, pelas intercalações arenosas nesse material e pela presença de estratificações cruzadas. O pacote caulínico que constitui o depósito é caracterizado por um aumento gradual da fração arenosa em profundidade.

A predominância de caulinita, os níveis ferruginosos, o caráter laterítico dos sedimentos argilo-detriticos presentes na região desses depósitos, permitem vinculá-los, quanto a sua gênese, ao fácies siderolítico, termo adotado por autores da língua francesa (in Millot, 1963).

O mecanismo de formação desses depósitos pode ser enquadrado no modelo proposto por H. Erhart na Teoria da Bio-Rhexistasia (1955). Assim, a gênese dos depósitos caulínicos do Rio Capim pode ser esquematizada da seguinte maneira:

- 1 – Intensa laterização de rochas silicatadas aluminosas do continente, favorecidas por uma cobertura de floresta, em condições de clima tropical úmido e com topografia favorável, durante uma fase biotásica pré-Barreiras, o que possibilitou a formação de solos lateríticos de grande espessura, constituídos principalmente por argilas caulínicas e hidróxidos de ferro e de alumínio.
- 2 – Desagregação e erosão do manto laterítico, durante uma fase rhexistásica subsequente, ocasionando o transporte e a deposição desse material, em ambiente flúvio-lacustre evidenciado pelo fácies siderolítico.
- 3 – Emersão isostática da bacia de sedimentação e implantação do sistema hidrográfico, com conseqüente modelagem do relevo. As zonas mais baixas, permanecendo

mais tempo afogadas pelas águas ricas em matéria orgânica do lençol freático, permitiram a eliminação de boa parte dos hidróxidos de ferro e de alumínio presentes, purificando desse modo o horizonte caulínico, embora o material areno-quartzoso insolúvel tenha permanecido "in situ".

- 4 – A evolução geomorfológica, procedida de maneira lenta e gradual, conduziu a região à paisagem atual, caracterizada por um relevo peneplanizado, com extensos platôs terciários dessecados, e com a drenagem já em fase de senilidade. Durante essa evolução devem ter-se formado também os depósitos de bauxita da região de Paragominas, o que sugere uma filiação entre os processos que formaram os depósitos de caulim da bacia do Rio Capim. A bauxita, situada nos platôs mais ao sul e mais elevados do que as existentes na região do Rio Capim, parece ter sido formada às custas de uma lixiviação intensa do material caulínico-gibbsítico, presentes nos perfis emersos, devida a oscilação do nível freático, cujos abaixamentos e levantamentos foram ocasionados pela alternância de períodos secos e úmidos, enquanto que os platôs do Rio Capim permaneciam saturados de água de um lençol aquífero estagnante, relacionado ao nível da base desse rio, em seu estágio de juventude e mesmo de maturidade.

Concluindo, um outro aspecto a considerar seria a relativa estabilidade da caulinita, por sinal a principal família de argilas do jazimento estudado. Esta parece tratar-se de uma espécie de limite, para o qual tenderiam os demais argilo-minerais em eventuais neo-transformações, sob clima tropical, fato que aumenta as possibilidades para sua ocorrência nessa região, explicando, assim, não só a grande distribuição de caulins na Amazônia como também sugerindo, ainda, grandes possibilidades da existência de outros depósitos econômicos de caulim nessa região.

### TRABALHOS DE PROSPECÇÃO

A orientação emanada da Diretoria de Operações da CPRM, no sentido de que suas unidades regionais sediadas na Amazônia se dedicassem ativamente à procura de caulim, levou a Agência Belém a destacar equipes de geólogos com o objetivo primordial de localizar ocorrências dessa matéria-prima.

Antes da descoberta dos extensos depósitos do Rio Capim, os geólogos da CPRM já haviam percorrido os Rios Mojú, Acará-Mirim, Bujaru, Guamá e Irituia, bem como rodovia Belém-Brasília (BR-010). Esses locais não mostraram potencialidades tão grandes como a região do Rio Capim, motivando a efetivação das providências relacionadas com os trabalhos preliminares de prospecção e, posteriormente, a elaboração de judicioso programa de pesquisa para as áreas de interesse.

Os platôs, selecionados para prospecção, foram investigados geologicamente, tendo sido efetuadas sondagens a trado nos locais considerados mais promissores, e obtidas amostras representativas desses furos e dos afloramentos de caulim, expostos na margem do Rio Capim.

Estas investigações preliminares permitiram a seleção das áreas consideradas mais interessantes, tendo a CPRM imediatamente requerido a pesquisa das julgadas mais promissoras, num total de 10.000 hectares.

## TRABALHOS DE PESQUISA

### 1. TOPOGRAFIA

Os trabalhos de topografia, foram desenvolvidos em duas fases.

Na primeira, cuidou-se de calcular a declinação magnética de um ponto situado na foz do Igarapé Cipoteua. Determinou-se um valor de  $17^{\circ}27' W$ . Para este ponto (marco de amarração), foi arbitrada a cota de 33,30 m. Utilizou-se nos trabalhos topográficos, Teodolito Wild T,1.A.

Na segunda etapa, desenvolveu-se a abertura de picadas, perfeitamente amarradas, com fechamento de poligonais com o mínimo de erro, trabalho ainda efetuado com o mesmo tipo de equipamento topográfico da fase anterior. Estabeleceu-se uma linha-base norte-sul, atravessando toda a área, e, a partir desta, de 1.000 em 1.000 metros, abriram-se transversais este-oeste, também cortando inteiramente a área nesse sentido. O total de picadas abertas atingiu 100 km.

Posteriormente, foi executada a altimetria de cada uma dessas linhas, a partir da qual se construíram perfis topográficos convenientes (Fig. 2).

### 2. POÇOS E CACHIMBO

Observando-se uma malha quadrangular,

foram executados furos a trado mecanizado, objetivando a visualização preliminar do capeamento.

Em malha semelhante, controlada pelas linhas topográficas anteriormente descritas, procedeu-se a abertura de poços de pesquisa, com profundidade variável entre 20 e 30 metros. Esta malha teve o espaçamento inicial de 2.000 metros e serviu para seleção das áreas mais favoráveis. Nesses locais, estreitou-se posteriormente, a distância para 1.000 metros e em seguida para 500 metros e em alguns locais para 250 metros.

Por estar o caulim capeado por material predominantemente argiloso e compacto, diminuiu razoavelmente a incidência de desmoronamento dos poços, situação que contribuiu sobremaneira para o bom andamento das operações, seja do ponto de vista da rapidez da execução, seja da segurança, tendo havido poucas ocasiões em que se fez necessário o escoramento de alguns poços.

Tendo em vista a falta de afloramentos na área, foi escavado um cachimbo visando melhor exposição da camada caulínica, tendo sido o mesmo localizado na encosta do platô, próximo a transversal To1.

### 3. SONDAGENS

Na fase inicial da pesquisa, utilizou-se o trado mecanizado STILL, no sentido de se obter uma idéia do comportamento do corpo mineral e seu capeamento.

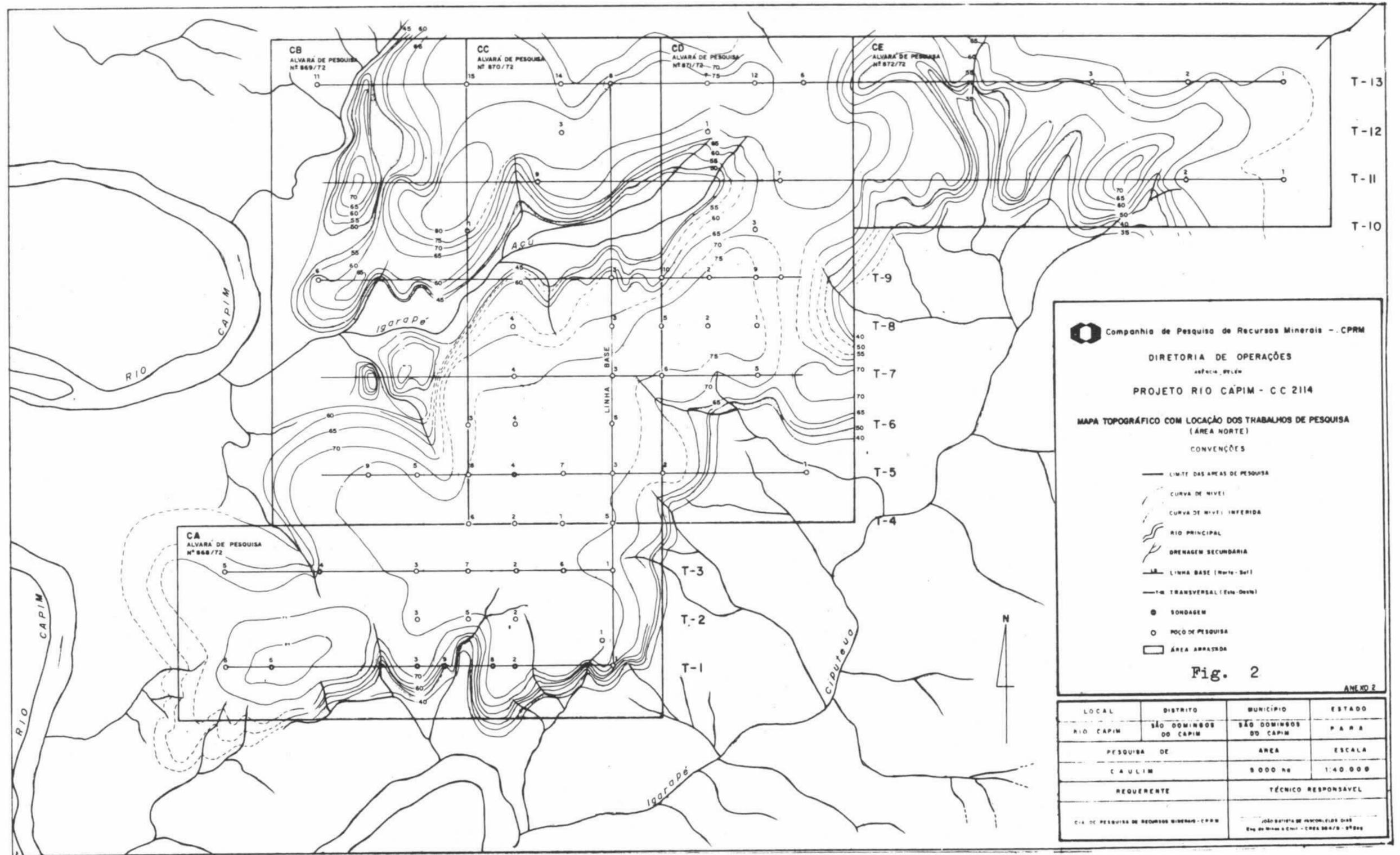
Durante parte da pesquisa, foi também usada uma sonda Winkie mod. GW-15. Foi executado um total de 9 furos, perfazendo 234,80 metros, dos quais 219,22 metros foram amostrados, tendo sido recuperados 128,79 metros.

A baixa recuperação obtida nesses furos (58% em média), aliada às dificuldades para a instalação da rede d'água, bem como para o deslocamento do equipamento, provocou a suspensão dessa campanha.

### 4. AMOSTRAGEM

Para a obtenção das características do caulim do Rio Capim, foi procedida uma cuidadosa amostragem, adotando-se como regra um espaçamento de metro em metro, em todos os tipos de perfurações e escavações levadas a efeito, bem como nos afloramentos, perfazendo um total aproximado de 600 amostras.

Nos poços, a coleta foi efetuada em cana-



letas verticais com 20 cm de largura e 5 de profundidade, reunindo-se cerca de 2 kg por metro. Cada amostra recebeu uma numeração pré-estabelecida, obedecendo a padrões que permitem seu posicionamento em mapa, pela leitura da referência completa. Posteriormente, as amostras foram secas e quarteadas, encaminhando-se parte aos laboratórios e parte ao arquivo da Agência Belém.

Nos trabalhos de sondagem efetuou-se a testemunhagem, procurando-se obter amostras representativas do depósito, tendo estas recebido tratamento semelhante às demais.

## ENSAIOS TECNOLÓGICOS

Na caracterização de um caulim para uso na indústria de papel, são realizados ensaios preliminares de aceitação ou rejeição e ensaios específicos para uso em cobertura. O caulim, usado para carga, dispensa a realização de testes específicos, devido às exigências para esse uso serem menos rigorosas que no primeiro caso.

### 1. ENSAIOS PRELIMINARES

Os ensaios preliminares efetuados foram os seguintes:

- a) Composição Mineralógica
- b) Composição Química
- c) Microscopia Eletrônica e Raio-X
- d) Rendimento em peneiras USS nº 200 e 325
- e) Distribuição ponderal de partículas de diâmetro inferior a 2 micra
- f) Reflectância
- g) pH

#### a — Composição Mineralógica

As amostras analisadas revelaram um elevado grau de pureza em caulinita, tendo sido notado em algumas amostras vestígios de quartzo e/ou gibsitita, caracterizados por reflexões muito fracas, indicadoras de baixas concentrações desses minerais.

Em todas as amostras, as reflexões basais do grupo da caulinita acham-se bem definidas e muito desenvolvidas, indicando tratar-se, de um modo geral, de caulinita bem cristalizada.

#### b — Composição Química

O resultado das análises, revelaram que 70% apresentaram um teor de  $Fe_2O_3$  inferior a 1%, sendo um fator positivo do ponto de vista da

qualificação do caulim, em virtude do limite tolerável estar em torno de 1% de  $Fe_2O_3$ .

#### c — Microscopia Eletrônica e Raio-X

Este teste visa principalmente ao estudo da forma das partículas, fornecendo também subsídios quanto à composição mineralógica. O caulim para revestimento deve ser constituído de partículas sob forma de placas hexagonais e de contorno aproximadamente regulares, bem individualizadas e com boa cristalinidade.

De modo geral, os caulins apresentam elevado teor de pureza, tendo sido detectados em algumas amostras, além de caulinita, apenas quartzo e gibsitita, caracterizados por reflexões fracas, indicadores de baixas concentrações desses minerais. Em todas as amostras, as reflexões basais da caulinita, acham-se bem definidas e muito desenvolvidas, tratando-se, portanto, de material bem cristalizado. Embora, em termos gerais, possa dizer que há boa cristalinidade, a análise do difratograma e micrografias permite classificá-lo em 3 tipos, que revelam diferentes graus de cristalinidade.

A ocorrência desses 3 tipos, no campo, não obedece a uma distribuição muito rígida, podendo ocorrer desde um só tipo até os três, no mesmo poço; mas, de um modo geral, observa-se no topo o tipo 3, seguido do tipo 2 e na base, o tipo 1, mostrando uma tendência para melhor cristalinidade na base da camada de caulim, o que pode ter significado importante na exploração do mesmo.

A composição mineralógica (quase exclusivamente caulinita, ausência de halloysita), a cristalinidade (placas hexagonais bem desenvolvidas), a pequena proporção de empilhamento em livros, a granulometria e a cor oferecem boas perspectivas de aplicação industrial, especialmente como cobertura de papel, devendo ser dada maior ênfase ao material do tipo 1.

#### d — Rendimento em Peneiras USS nº 200 e 325

Tais ensaios foram efetuados a úmido, mostrando resultados altamente satisfatórios, uma vez que o rendimento obtido em peneira de 325 mesches foi, em média, 75%.

É importante ressaltar que este tipo de teste é fundamental na caracterização de caulins, sendo um dado importante na economicidade da jazida.

#### e — Distribuição Ponderal de Partículas Menores que 2 Micra

Caulins usados em revestimento de papel devem apresentar um teor mínimo de 80% de partículas com diâmetro menor que 2 micra. Testes efetuados com amostras do jazimento na

fração menor que 325 mesh, usando o densímetro de Boeyancos, ainda que sem refino, revelaram excelentes resultados.

#### f – Reflectância

São utilizáveis para revestimento de papel, caulins que apresentam reflectância em torno de 86%, na fração menor que 5 micra, em relação ao padrão 100 G.E. do óxido de magnésio.

Levando-se em consideração o grande avanço da tecnologia, no que se refere a branqueamento desse material, sendo este tratamento atualmente feito em escala industrial, com resultados compensadores, conseguindo-se elevações de até mais de 10 pontos, os resultados obtidos nessa análise com amostras do jazimento, foram bons, pois as análises foram efetuadas em amostras sem refino.

#### g – pH

As determinações de pH em amostras selecionadas apresentaram resultados satisfatórios, tendo em vista que os caulins, para papel, devem ter pH entre 4, 5 e 7 e apresentarem, ao mesmo tempo, facilidade na correção desses valores. Os resultados dessa análise, foram muito bons, uma vez que seus valores em todas as amostras estavam dentro das especificações.

### ENSAIOS ESPECÍFICOS

Após os ensaios preliminares mostrarem resultados positivos, passam-se aos específicos,

que são os seguintes:

#### 1 – Ensaios na tinta de cobertura do papel:

- a) Viscosidade
- b) Sólidos Totais
- c) pH

#### 2 – Ensaios no papel:

- a) Reflectância
- b) Brilho
- c) Lisura
- d) Maciez
- e) Opacidade
- f) Absorção da-tinta no papel.

Da relação acima, nota-se que os ensaios específicos se encontram em nível do fabricante do papel. Pelo fato dos testes preliminares terem revelado bons resultados, pode-se prever que o caulim do Rio Capim tenha franca aceitação tanto no mercado nacional como no internacional.

### CÁLCULO DAS RESERVAS

A localização geográfica da jazida pesquisada em relação a parques industriais de maior envergadura exigiu a seleção das reservas aproveitáveis, considerando-se apenas passíveis de aplicações mais nobres. Assim é que somente foi computado, no cálculo das reservas, o material de características tecnológicas adequadas ao emprego na indústria de papel.

Para cubagem da jazida, foram considerados

TABULAÇÃO GERAL DAS RESERVAS\*

Área	Reserva			Total por Área
	Medida	Indicada	Inferida	
CA	60.561.160	43.932.774	22.278.256	126.772.190
CB	5.887.500	24.050.458	14.218.960	44.156.918
CC	85.223.910	29.009.060	24.139.680	138.372.650
CD	42.278.144	60.206.666	20.893.760	123.378.570
CE	13.200.000	69.629.428	9.369.840	92.199.268
AA	—	—	—	—
AB	—	—	—	—
AC	—	7.605.588	421.280	8.026.868
AD	—	—	—	—
AE	4.613.760	20.753.340	8.545.600	33.912.700
<b>Total Geral</b>	<b>211.764.474</b>	<b>255.187.314</b>	<b>99.867.376</b>	<b>566.819.164</b>

\* Unidade: tonelada.

os dados de 77 poços de pesquisa e 9 furos de sonda e utilizado, como regra geral, o método das áreas de influência de cada poço, que se estende até a metade da distância que o separa dos poços circunvizinhos.

As áreas foram delimitadas graficamente, em planta, na escala 1:20.000 e medidas com auxílio de planímetro. O somatório dos produtos dessas medidas pelos respectivos valores das espessuras da camada útil fornece o seu volume.

O peso específico do material foi determinado no campo, em seu estado natural, e apresenta o valor de 2,1 t/m<sup>3</sup>. Por medida de segurança, foi adotado o valor de 2,0 t/m<sup>3</sup>, que, multiplicado pelo volume, fornece a tonelagem do material aproveitável.

### 1. RESERVA MEDIDA

Neste caso, houve a preocupação de se estabelecer um prudente critério para o cálculo, de modo a se ter uma segurança muito grande em relação à reserva medida. Assim sendo, embora adotando-se o método das áreas de influência como regra geral, considerou-se, em relação aos poços próximos às bordas dos platôs ou aos limites das áreas de pesquisa, somente as áreas situadas no interior dos polígonos que foram delimitados utilizando-se tais poços.

### 2. RESERVA INDICADA

Para o cálculo da reserva indicada, considerou-se a área situada entre a parte externa dos polígonos delimitadores das áreas positivas e as bordas dos platôs (ou os limites das áreas de pesquisa). No caso das bordas tomou-se como

regra geral, a curva de nível do meio da camada caulínica do poço.

### 3. RESERVA INFERIDA

O fato de grande parte dos poços de pesquisa e sondagens terem sido interrompidos em presença de níveis caulínicos e caulínicos-arenosos, estes perfeitamente recuperáveis, foi ocasionado por desmoronamentos quando do aparecimento dos níveis mais arenosos e do lençol freático. Tal fato, levou a que se optasse por limitar as reservas medidas e indicadas a esses horizontes.

Considerou-se uma camada de 2 metros de espessura média abaixo desses níveis, como reserva inferida, nos pontos onde as perfurações foram paralizadas em material caulínico. Também aqui foram utilizadas as áreas de influência, do mesmo modo que para as reservas medida e indicada.

Com sondagens mais profundas, a reserva poderá ser multiplicada várias vezes, prevendo-se a existência de caulim de alta qualidade, uma vez que trabalhos dessa natureza, realizados durante as pesquisas, mostraram a presença de caulim com brancura crescente em profundidade. Além disso, sondagens efetuadas pela PETROBRÁS nas vizinhanças da área perfuraram cerca de 120 metros de material caulínico, sem encontrar o "bed rock".

### PRINCIPAIS UTILIZAÇÕES DO CAULIM

O caulim possui uma ampla faixa de empregos industriais.

Na tabela a seguir podem ser observados os principais usos do caulim, e seu consumo em alguns países.

Especificação	E.U.A.	Reino Unido	Checoslovachia	Dinamarca	Espanha
Papel	60%	75%	77%	35%	23%
Refratário	15%	—	11%	41%	40%
Cerâmica	5%	18%	12%	7%	22,5%
Borracha	12%	—	—	—	—
Fertilizantes e Inseticida	3%	7%	—	—	—
Cimento	—	—	—	17%	10%
Outros	5%	—	—	—	4,5%

O mercado brasileiro absorve atualmente cerca de meio milhão de toneladas de caulim, com a seguinte distribuição:

— Cerâmica .....	85%
— Papel .....	8%
— Borracha .....	5%
— Outros Usos .....	2%

O Brasil, que até o momento se apresentou como grande produtor de caulim para cerâmica e importador de caulim de alto grau de pureza, poderá inverter esta posição em consequência dos resultados da pesquisa desenvolvida na região do Rio Capim, no Pará, que revelou jazida altamente promissora, possibilitando ao País disputar uma parcela no mercado mundial, ora dominado pelos dois grandes produtores tradicionais, Estados Unidos e Reino Unido.

Devido à proximidade dos países da América Latina, o Brasil leva uma grande vantagem competitiva sobre os demais produtores de caulim, tendo condições de atender a demanda latino-americana, que se revela crescente, em função, principalmente do grande esforço de desenvolvimento destes países.

O consumo de caulim pela indústria brasileira de borracha, deverá aumentar substancialmente, considerando o crescimento acelerado da indústria automobilística nacional que é atualmente um dos principais consumidores de "fiber-glass", utilizando-o na fabricação de carrocerias de automóveis.

O caulim calcinado, designado para usos não refratários, tem apresentado um desenvolvimento relativamente novo.

É utilizado também, na fabricação de zeólitos sintéticos, que são intensamente aplicados na indústria petroquímica e no refino do petróleo.

Um produto que se tem desenvolvido, nos dois últimos anos, é o "alphacote", uma qualidade especial de caulim, finamente granulado, que está sendo vendido para "coating" de papel leve, nos Estados Unidos.

Entretanto, o principal dos prováveis progressos tecnológicos que poderiam afetar grandemente a demanda de caulim é o uso de argilas com alta alumina para produção do alumínio metálico.

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos em laboratórios euro-

peus, americanos e nacionais, para o caulim do Rio Capim, revelaram tratar-se de um material que apresenta características ótimas para sua utilização em carga e revestimento de papel. Esses testes foram efetuados em laboratórios da English China Clays, na Inglaterra, do Erbsloh, na Alemanha, e da Universidade de Georgia, nos Estados Unidos. O referido caulim mostra características excepcionais com relação à refletância, quantidade de partículas inferiores a 2 micra, viscosidade, baixos teores em sílica livre, além da ausência de haloisita; estes ensaios corroboraram os resultados obtidos em laboratórios da CPRM, tanto em Belém como no Rio de Janeiro, além de testes no laboratório Paulo Abib Andery.

Os jazimentos apresentam características sedimentares e estrutura em camadas mais ou menos contínuas, às vezes lenticulares.

Foram cubadas reservas que atingem valores expressivos, sendo a "medida" da ordem de 212.000.000 de toneladas, e a "indicada" da ordem de 255.000.000 de toneladas. A reserva "inferida" pode ser estimada em 100.000.000 de toneladas. Com o prosseguimento dos trabalhos de pesquisa em maiores profundidades, durante a fase de lavra, esses números deverão ser aumentados, pelo fato do caulim apresentar uma progressiva melhoria de suas características nas camadas inferiores e de furos da PETROBRÁS atestarem a presença de material sedimentar caulínico, até a profundidade de 120 metros, em área próxima.

Um levantamento das condições de navegação do Rio Capim — em fase de realização — mostra a exequibilidade da utilização de chatas para até 2,0 metros de calado, o que tranquiliza quanto ao transporte do material para o porto de Belém. Este, por sua vez, possui condições de operação para navios de médio calado.

O acesso à área é feito normalmente por via fluvial, sendo conveniente a abertura de estrada até a BR-010, numa distância aproximada de 25 km, ligando a jazida ao sistema rodoviário nacional, fato da maior importância para o entendimento da posição privilegiada desse jazimento.

O resultado do levantamento do potencial madeireiro, sugere a implantação paralela de indústria para o seu aproveitamento, podendo o mesmo custear parte das operações de lavra.

São mercados potenciais para o material estudado, tanto os compradores nacionais como países da América Latina, Japão, parte da Europa e mesmo os Estados Unidos, além de outros, devendo-se ressaltar o posicionamento

privilegiado da jazida, em relação aos grandes centros industriais do mundo.

O mercado brasileiro, particularmente para “coating” e também para “filler” de papel, é abastecido inteiramente por fornecedores estrangeiros, o que reveste este grande jazimento de material com essas características, em território nacional, da máxima importância,

uma vez que são essas justamente, as aplicações que mais elevam o preço dessa matéria-prima. Em relação a outros usos do caulim, deve ser salientado que o presente jazimento redundará no surgimento de uma gama de indústrias correlatas e de base, na Amazônia, de acordo com os planos de desenvolvimento da região, fomentados pelo Governo.

#### BIBLIOGRAFIA

- AZEVEDO, A. de – *Brasil, a terra e o homem*. São Paulo, Companhia Editora Nacional (1968) v.1.
- BRASIL. Ministério da Marinha. DNH – *Roteiro, Brasil*, DHL – 8. 1968.
- DNPM – *Projeto Argila Belém*. Rel. final CPRM, 1972. 2v.
- ERHART, H. – *La genèse des sols en tant que phénomène géologique*. 2 ed. Paris, Masson, 1968.
- FALABELLA, M. H.; GONDIN, N. S.; MACHADO, R. D. – *Aplicação da difração de Raios-X e microscopia eletrônica no estudo das argilas do Rio Capim*. Relatório Inédito. Rio de Janeiro, CPRM, 1973.
- FRANCISCO, B. H. R. et alii – Contribuição à geologia da Folha de São Luiz (SA-23), no Estado do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Nova Séria, Geologia*. Belém, 17: 1-39, ago. 1971.
- KESLER, T. L. – Environment and origin of the cretaceous Kaolin deposits of Georgia and South Carolina. *Economic Geology*, 51: 541-554, 1956.
- LANE, W – The scoop on shovels, loaders, and draglines. *Engineering and Mining Journal*. 174 (6): 131-141, jun. 1973.
- LELONG, F. – Nature et genèse des produits d'alterations de roches cristallines sous climat tropical humide. *Sciences de la terre. Memoire*, Nancy, 14. 1969.
- LEVANTAMENTOS AEROFOTOGRAFAMÉTRICOS S.A. – *Estudo de vias navegáveis interiores do Brasil – Hidrovia Tocantins Itacaiunas*. Relatório Inédito. Rio de Janeiro, DNPVN, 1973. p. 59-71.
- MILLOT, G. – *Geologie des Argiles*. Paris, Masson, 1963.
- MOLNAR A. & ALMARAZ, U., J. S. – *Reconhecimento Geológico entre as Bacias do Amazonas e Maranhão*, PETROBRÁS – Renor, Rel. Inédito nº 50, 1966.
- POLTA, H. J. – Mesabi Range iron ore transportation feasibility and estimated cost of pipelining. *Information circular – 85-12*: 1-36, 1971.
- RAMOS, D. C. – *O caulim e seu beneficiamento por dispersão e floculação*. São Paulo, Escola Politécnica da U.S.P., 1956. 59 p.
- SANTOS, P. de S. & SANTOS, H. L. de S. – Estudo sobre a composição mineralógica de caulins primários e secundários do Brasil. *Cerâmica*, 15 (57/58): 1-121, 1969.
- SOMBROECK, W. G. – *Amazon soils. A reconnaissance of the soils of Brazilian Amazonas region*. Wageningen, Centre for Agric. Publ, 1966.
- VIEIRA, L. S. et alii – *Os solos do Estado do Pará*. Belém, IDESP, 1971 (Cadernos Paraenses, 8).

## ROCHAS CALCO-SILICÁTICAS DA REGIÃO DE SÃO JOSÉ DO RIO PARDO-SP (\*)

Por:

MARCOS AURÉLIO FARIAS DE OLIVEIRA  
RAPHAEL HYPOLITO (\*\*)

### ABSTRACT

Calc-silicate rocks occur as layers or intercalations in Precambrian granulitic terrains in the São José do Rio Pardo region, State of São Paulo, Brazil.

The rocks are made up of dominant clinopyroxenes (diopside-ferrosalite), scapolite (mizzonite-meionite), garnet (grossular-andradite) and plagioclase.

A large variety of petrographic types have been recorded as for instance diopsidites, garnet pyroxenites, scapolite pyroxenites and diopsidic marbles, which can be explained by compositional differences in the initial materials.

Based on field and petrographic evidences it is believed that the calc-silicate rocks originated by high-grade metamorphism of siliceous dolomites, locally enriched by argilaceous impurities.

### INTRODUÇÃO

Em trabalho anterior (Oliveira, 1973), registrou-se a ocorrência, na área de São José do Rio Pardo, de pequenos corpos de rochas calco-silicáticas em meio aos gnaisses e granulitos regionais. Em virtude das associações mineralógicas, até certo ponto raras, resolveu-se estudar com mais pormenor os tipos petrográficos encontrados, bem como a composição química dos piroxênios e granadas presentes.

A localização dos corpos das calco-silicáticas na área está representada esquematicamente na Fig. 1, onde se acham também indicadas as principais amostras estudadas. A situação geológica precisa pode ser obtida em Oliveira (1973). Os corpos formam quatro pequenas ocorrências isoladas uma das outras. Ocorrências semelhantes foram anotadas na área adjacente de

Caconde.

Geologicamente a área de São José do Rio Pardo é constituída por hiperstênio granulitos e granulitos quartzo-feldspáticos inclusos em gnaisses de composições diversas e em migmatitos cujo paleossoma é constituído pelos próprios gnaisses e granulitos. Entre os gnaisses podemos assinalar a ocorrência de tipos granatíferos e quartzíticos que denotam origem a partir de sedimentos.

### PETROGRAFIA

Os clinopiroxênios da série diopsídio-hedenbergita são os minerais característicos das rochas calco-silicáticas sempre presentes como componentes essenciais em qualquer variedade.

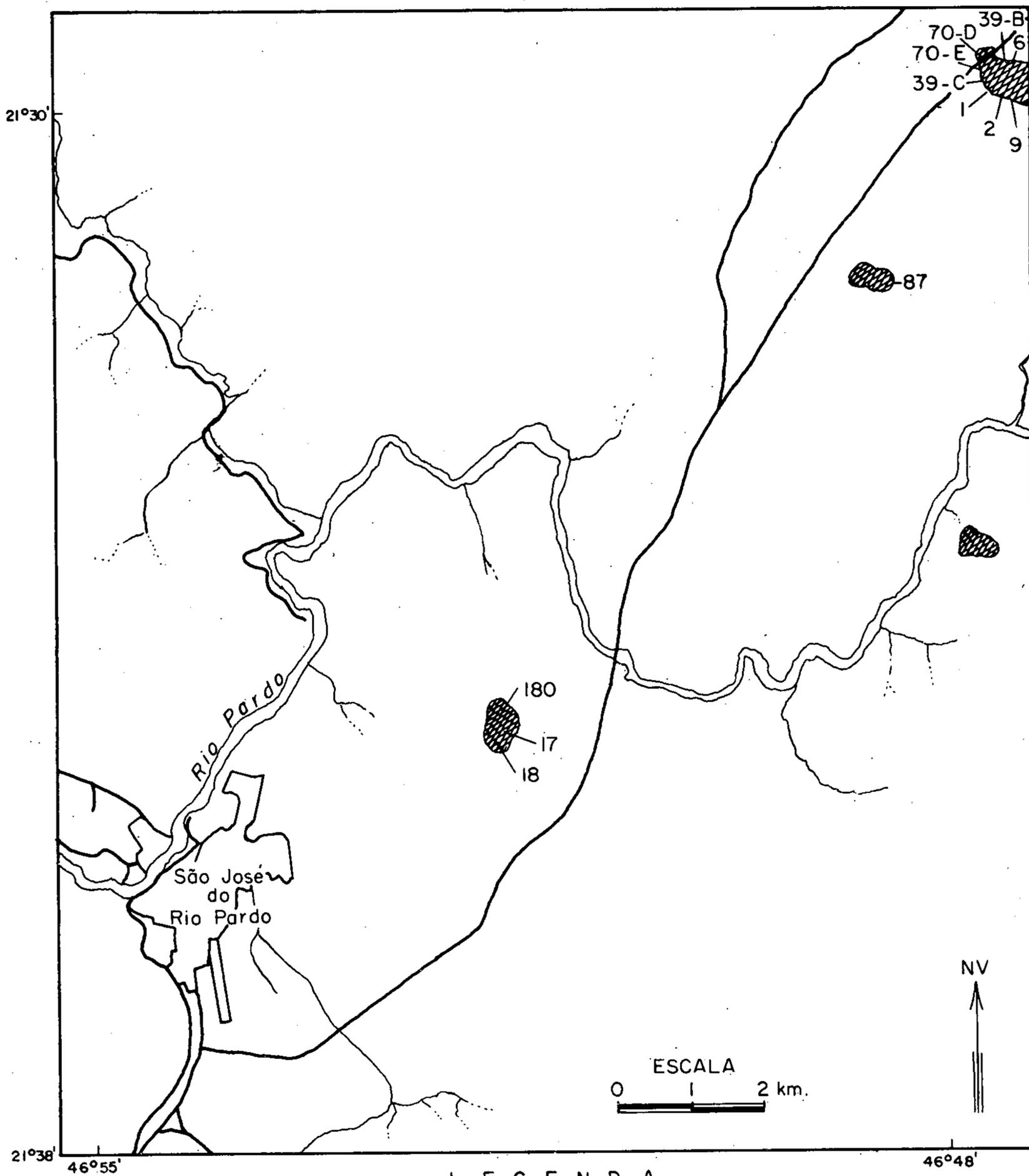
A composição mineralógica essencial é completada por plagioclásio e antipertita em certos tipos, escapolita e granada em alguns e hornblenda em outros. Além desses registrou-se também a presença de quartzo, biotita, titanita, forsterita, wollastonita e carbonatos (calcita).

O plagioclásio apresenta teores de anortita entre 30 e 40, predominando os termos mais próximos de An<sub>40</sub>, correspondendo à andesina. Somente na amostra 9 foi determinada a presença de bitownita, An<sub>90</sub>. Estas determinações são estimativas e foram feitas pelo método do ângulo de extinção em secções normais ao eixo a, usando-se a curva representada pela figura 234 de Troger (1959). Mostra-se geralmente límpido, quase sem geminação, xenomórfico. Quando geminado segue as leis da albita e do periclínio. Está comumente alterado em sericita ou epidoto.

Antipertita com pequenas quantidades de feldspato potássico demisturado pode acompanhar o plagioclásio em algumas amostras. Cabe ressaltar somente que, a exemplo do que

(\*) Trabalho realizado com auxílio do Conselho Nacional de Pesquisas.

(\*\*) Departamento de Mineralogia e Petrologia - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.



L E G E N D A

- Complexo gnáissico - granulítico - migmatítico
- Rochas calco-silicáticas

Fig. - I

**SITUAÇÃO GEOLOGICA E LOCALIZAÇÃO DE AMOSTRAS ESTUDADAS DE ROCHAS CALCO-SILICÁTICAS**

acontece com os gnaisses e granulitos da área, os cristais de feldspato potássico incluem minúsculos grãos de titanita, na forma em que aqueles englobavam apatita ou zircão.

Escapolita é outro constituinte essencial de alguns tipos; apresenta-se incolor, com duas boas clivagens, geralmente xenomórfica e parcialmente alterada em sericita ou epidoto; frequentemente inclui cristais arredondados de titanita. Os índices de refração médios são:  $N_o = 1,592$  e  $N_e = 1,561$  resultando uma birrefringência de 0,031. Esses valores projetados no diagrama de Shaw (1960) (em Heinrich, 1965) indicam 80% de meionita, correspondendo a um termo da série situado entre mizzonita e meionita.

Clinopiroxênios são os principais componentes destas rochas, estando presentes em todas as amostras estudadas (Tab. 4). Na Tabela 1 arrolam-se algumas propriedades físicas que indicam tratar-se de variedades pertencentes à série diopsídio-hedenbergita, representada por termos diopsídio quase puro (amostra 6), salita e ferrossalita. Os termos mais próximos do diopsídio são verde muito claros ou incolores e os demais são levemente pleocróicos. Altera-se comumente em hornblenda verde.

Foram analisados três concentrados de piroxênios obtidos no separador eletromagnético tipo Frantz ou em funis de separação usando-se solução de Clericci. Os resultados estão representados na Tabela 2, sendo perfeitamente con-

**TABELA 1**  
Propriedades Físicas dos Clinopiroxênios dos Piroxenitos

	Peso Específico	$N_Z$	$N_X$	$\Delta$	$2V_Z$	Cor	Tipo
6-A	3,29	1,697	1,668	0,029	$56^\circ$	Incolor a verde pálido	Diopsídio
18-A	3,33	1,710	1,682	0,028	$56^\circ$	Verde pálido a verde	Diopsídio
70-F	3,48	1,730	1,701	0,029	$58^\circ$	Verde pálido a verde	Salita
17	n.d.	1,730	1,700	0,030	$58^\circ$	Verde pálido a verde	Salita
39	3,52	1,750	1,720	0,030	$61^\circ$	Verde pálido a verde pardo	Ferrossalita

**TABELA 2**  
Análises Químicas e Fórmulas Químicas dos piroxênios Analisados, na Base de 6 Átomos de Oxigênio

	6	18	70		6	18	70
SiO <sub>2</sub>	54,03	50,99	49,58	Si	1,961	1,919	1,921
TiO <sub>2</sub>	0,10	0,68	0,12	Al	0,039	0,081	0,078
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,39	2,37	3,02	Al	0,063	0,023	0,061
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,37	2,09	2,46	Ti	0,002	0,018	0,005
FeO	1,45	5,28	13,84	Fe <sup>+3</sup>	0,009	0,059	0,070
MnO	0,26	0,58	0,79	Fe <sup>+2</sup>	0,044	0,165	0,447
MgO	15,03	12,53	7,22	Mn	0,009	0,018	0,025
CaO	25,72	24,50	22,70	Mg	0,834	0,707	0,421
Na <sub>2</sub> O	0,07	0,10	.	Ca	1,018	0,987	0,942
K <sub>2</sub> O	.	.	.	Na	0,004	0,009	—
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0,04	0,18	0,11	K	—	—	—
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,30	0,48	0,10				
TOTAL	99,76	99,78	99,94	Fe	2,8	11,6	27,5
				Mg	43,8	36,9	22,4
				Ca	53,4	51,5	50,1

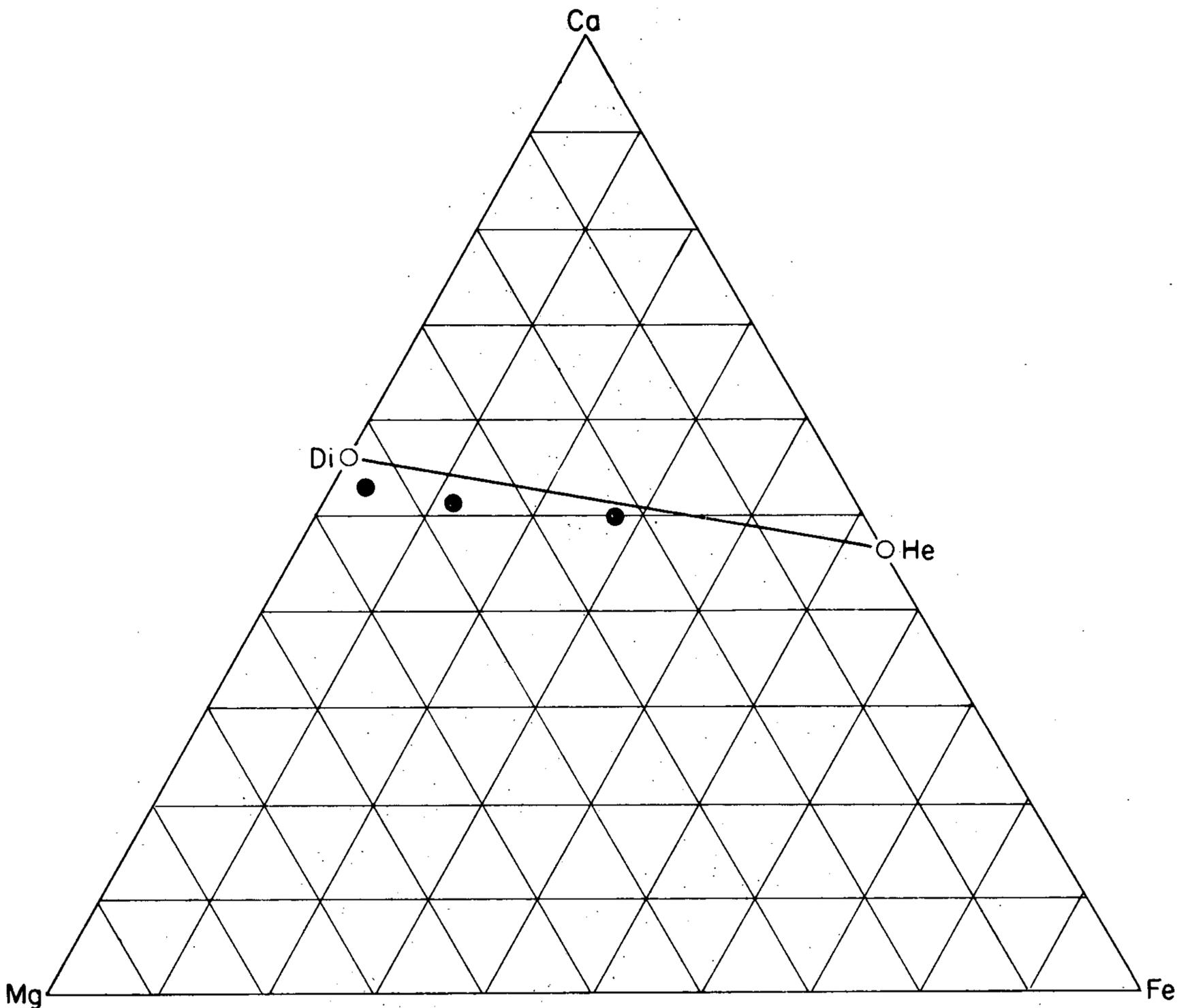


Figura 2

cordantes com os obtidos na Tabela 1, o que pode ser confirmado observando-se a Fig. 2, onde estão projetadas as relações de Fe, Mg e Ca dos três piroxênios, todas muito próximas da linha diopsídio-hedenbergita.

Hornblenda parda é outro constituinte ferromagnésiano das calco-silicáticas. Constitui cristais quase sempre idiomórficos, medindo entre 0,5 e 1 mm de diâmetro, intensamente pleocróicos com X = amarelo, Y = pardo e Z = verde escuro. Pode formar-se a partir dos piroxênios ou granadas em processo de retrometamorfismo.

A granada que é constituinte essencial de algumas variedades petrográficas é do tipo grossulária-andradita, o que foi verificado pelas propriedades físicas usando os diagramas de Sriramadas (1957) e pela análise química de duas amostras. Estes dados estão representados

na Tabela 3 juntamente com a fórmula química, na base de 24 átomos de oxigênio. Em lâmina observa-se um hábito equidimensional com tendências ao idiomorfismo, sendo o diâmetro dos grãos sempre inferior a 0,5 mm. Esses estão sempre inclusos ou em íntima associação com os piroxênios, podendo-se ver em muitos locais das lâminas estudadas a passagem do piroxênio para granada. Existem também numerosos cristais de granada poiquiloblásticos, incluindo pequenos cristais de piroxênio.

Completando a mineralogia destas rochas devem ser mencionados ainda os seguintes minerais: quartzo que ocorre em pequenas quantidades e é sempre intersticial; titanita em grãos arredondados sempre inclusos nos piroxênios, escapolita ou plagioclásios; biotita vermelha e opacos presentes somente nos tipos

**TABELA 3**  
**Análises Químicas e Fórmulas Químicas, na Base de 24 Átomos**  
**de Oxigênio, de duas Granadas**

	39	180			39		180	
SiO <sub>2</sub>	37,08	36,09	RO <sub>2</sub>	Si	5,874	6,000	5,770	6,000
TiO <sub>2</sub>	0,70	0,35		Al	0,126		0,230	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,14	14,96		Al	2,516		2,592	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,86	11,04	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>+3</sup>	1,406	3,998	1,325	3,955
FeO	2,92	3,28		Ti	0,076		0,038	
MnO	0,29	1,02		Mg	0,066		0,076	
MgO	0,28	0,30		Fe <sub>12</sub> <sup>+2</sup>	0,380		0,432	
CaO	32,06	32,20	RO	Mn	0,123	6,015	0,134	6,162
Na <sub>2</sub> O	0,01	—		Ca	5,446		5,520	
K <sub>2</sub> O	—	—		Na	—		—	
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	—	0,14	—	K	—	—	—	—
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	—	0,42						
<b>TOTAL</b>	<b>99,97</b>	<b>99,80</b>						
<b>Porcentagem Molecular</b>								
n	1,80	1,80	Grossulária	55,1	54,1			
D	3,726	3,725	Andradita	35,1	35,3			
a <sub>0</sub> (Å)	11,92	11,86	Piropo	1,1	1,1			
			Almandina	6,3	7,3			
			Espessartita	2,0	2,2			

**TABELA 4**

**Análises Modais de Algumas Rochas Calco-Silicáticas**

Rochas	18	87	17	1	39-B	39-C	70-E	70-D	2	9
Quartzo	6,1	4,0	—	0,8	1,1	0,7	—	—	pr	—
Plagioclásio	64,7	39,4	—	—	—	34,6	—	38,1	43,5	36,4
Antipertita	3,0	—	—	—	—	10,0	—	—	2,3	—
Escapolita	—	—	39,6	18,4	13,7	—	—	—	—	1,0
Clinopiroxênio	24,9	56,6	57,1	62,7	75,1	51,6	67,4	21,4	9,2	22,8
Hornblenda	0,1	—	—	—	—	—	—	39,0	41,7	26,0
Granada	—	—	—	17,7	3,3	—	32,6	—	—	11,4
Biotita	—	—	—	—	—	—	—	—	2,0	1,6
Titanita	1,0	—	3,1	0,4	0,2	2,8	—	—	—	0,8
Calcita	—	—	—	—	5,0	—	—	—	—	—
Clinzoisita	0,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Epidoto	—	—	—	—	1,6	—	—	—	—	—
Apatita	—	—	0,2	—	—	0,3	—	0,1	0,6	—
Opacos	—	—	—	—	—	—	—	1,4	0,7	—

18, 87 e 39-C — Piroxênio granulitos  
 17 e 39-B — Escapolita piroxenitos  
 70-D, 2 e 9 — Anfibolitos  
 1 e 70-E — Granada piroxenitos

**Tabela 5**  
Análises químicas de duas amostras de rochas calco-silicáticas

	17	18
SiO <sub>2</sub>	46,08	57,40
TiO <sub>2</sub>	0,64	0,85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,66	17,87
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,95	2,88
FeO	5,36	3,91
MnO	0,39	0,33
MgO	5,13	4,18
CaO	22,35	8,04
Na <sub>2</sub> O	0,80	3,21
K <sub>2</sub> O	0,22	0,50
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0,41	0,38
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,05	0,18
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,04
TOTAL	100,04	99,77

17 - escapolita piroxenito

18 - piroxênio granulito cálcico

ricos em hornblenda parda; clinzoisita e epidoto, produtos de alteração de plagioclásio ou escapolita; dolomita encontrada nos mármores ou piroxenitos; wollastonita que ocorre em pequena quantidade associada à dolomita, diopsídio e quartzo em amostras de mármore, constituindo cristais com bordas corroídas e parcialmente alterados e, por fim, forsterita serpentizada.

Na Tabela 4 são transcritas as análises modais de dez amostras de calco-silicáticas ou associadas. Como pode ser visto, grande variedade de tipos petrográficos acha-se representada. Não estão presentes na Tabela as amostras 6-A constituídas por 99% de diopsídio, 70-A e 6-B, mármores dolomíticos com diopsídio e olivina serpentizada e 180-C, um granada piroxenito idêntico a amostra 70-E.

De modo geral as rochas calco-silicáticas caracterizam-se por serem equigranulares de granulação fina, (granulação em torno de 1 mm) por uma estrutura por vezes bandada e pela textura granoblástica.

### 3. CONSIDERAÇÕES PETROGENÉTICAS

As evidências de campo mostram que as rochas calco-silicáticas de São José do Rio Pardo formaram-se em condições de metamorfismo regional e que pertencem ao mesmo

evento metamórfico que levou à formação dos gnaisses e granulitos nos quais se acham inseridas. Por outro lado a presença de mármores diopsídicos associados, principalmente junto ao corpo do extremo nordeste da área, indica que estas rochas resultaram do metamorfismo de calcários dolomíticos impuros.

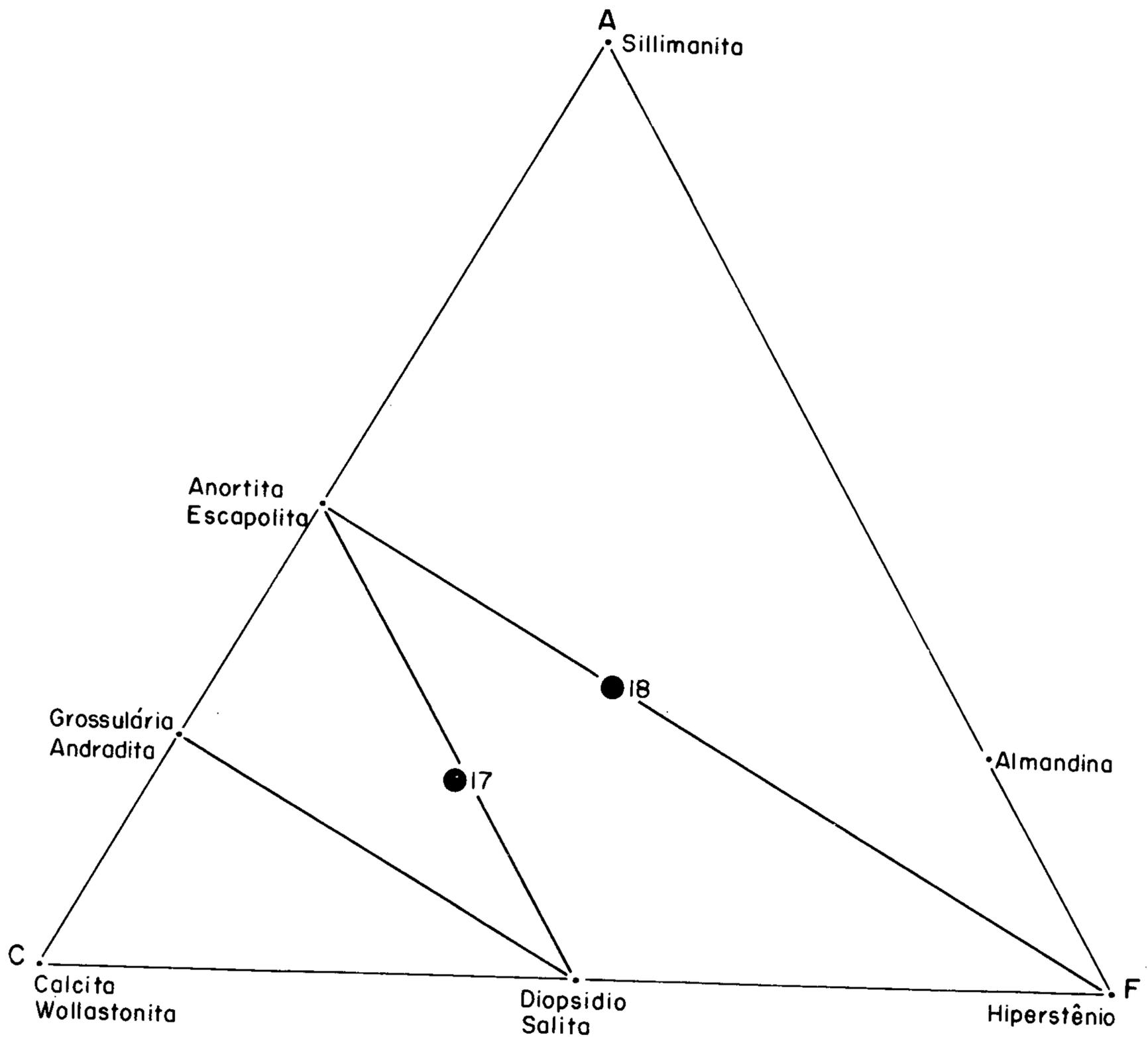
O estudo petrográfico revelou associações primárias perfeitamente compatíveis com as da facies granulito apresentando também muitos pontos em comum com as assembléias anotadas para os granulitos e gnaisses encaixantes. Um exemplo é a presença, em ambos, de clinopiroxênios e antipertitas bem como de texturas granoblásticas típicas.

Corroborando as evidências de campo e petrográficas transparecem algumas evidências químicas nas análises de alguns minerais (piroxênio e granadas) e de duas rochas. As últimas análises estão representadas na Tabela 5 e a partir delas calculou-se os valores de A, C e F, seguindo-se as indicações de Winkler (1965), e que se acham projetados no diagrama da Fig. 3. Este diagrama, apropriado para a facies granulito, mostra que os exemplares analisados situam-se nos campos escapolita - diopsídio (salita), calcita e anortita, diopsídio (salita), hiperstênio, perfeitamente compatíveis com a mineralogia por eles apresentada.

Quanto à diversidade de tipos petrográficos existentes, acreditamos que ela se deva mais às variações na composição do material original do que a um possível metassomatismo. O material original destas rochas poderia ser agrupado em três tipos: calcários dolomíticos, calcários dolomíticos argilosos e calcários ankerfíticos, todos portadores de sílica com impureza.

Para a formação das fases mineralógicas presentes poderiam ser admitidas reações como a sugerida por Sighinolfi e Fujimori (1973) para rochas semelhantes encontradas na Bahia: tremolita + 3 calcita + 2 Quartzo  $\rightleftharpoons$  5 diopsídio + 2CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O, levando a formação de diopsídio ou do tipo: actinolita + 3 calcita + 2 quartzo 5 salita + 2CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O, levando a formação da salita.

A cristalização de plagioclásios e escapolitas cálcicas dependeria da presença de impurezas aluminosas (argilas), enquanto que a formação das granadas (grossulária-andradita) estaria condicionada à quantidade variável de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, uma vez que o excesso deste óxido levaria à formação de escapolita ou plagioclásio. Como exemplos deste fato citam-se as amostras 17 - escapolita piroxenito - isento de granada ou 180 - granada piroxenito - sem escapolita. Também



**Figura 3**

o excesso de sílica seria responsável pela presença de plagioclásio ou escapolita, considerando que em temperaturas elevadas a grossulária é instável em presença deste componente. Esta reação é discutida por Miyashiro (1973), que mostra também que para rochas pobres em sílica a grossulária é bastante estável nas condições de facies granulito, só se decompondo em temperaturas superiores a 900 ou 1000° C.

As temperaturas de formação destas rochas

podem ser admitidas, como muito altas, embora inferiores a 900° C, indicação obtida na figura 3 do trabalho de Davis e Boyd (1966) que estudaram o campo de estabilidade de piroxênios calco-magnesianos. Para as pressões os valores prováveis devem ser bastante elevados, levando-se em conta a coexistência de orto e clinopiroxênios nas rochas encaixantes (chamockitos).

## BIBLIOGRAFIA

- DAVIS, B. T. C. e BOYD, F. R. (1966) – The join  $Mg_2Si_2O_6 - CaMgSi_2O_6$  at 30 kilobars pressure and its application to pyroxenes from kimberlites. *J. Geophys. Res.*, V. 71, p. 3567.
- HEINRICH, E. Wm. (1965) – *Microscopic Identification of Minerals* McGraw Hill Book Co., New York.
- MIYASHIRO, A. (1973) – *Metamorphism and Metamorphic Belts* – George Allen and Unwin Ltd., London.
- OLIVEIRA, M. A. F. de (1963) – Petrologia das rochas metamórficas da região de São José do Rio Pardo, SP. *Revista Brasileira de Geociências* V. 3 (no prelo).
- SIGHINOLFI, G. P. e FUJIMORI, S. (1973) – Petrology and chemistry of diopsidic rocks in granulite terrains from the Brazilian basement. II Congresso Latinoamericano de Geologia – Resumo das Comunicações – p. 136.
- SRIRAMADAS, A. (1957) – Diagrams for the correlation of unit cell edges and refractive indices with the chemical composition of garnets – *Amer. Mineral.*, V. 42, p. 294.
- TROGER, W. E. (1956) – *Optische Bestimmung der Gesteinsbildenden Minerale* – E. Schweizerbart'sche Verlagbuchhandlung, Stuttgart (2a. Edição).
- WINKLER, H. G. F. (1965) – *petrogenesis of metamorphic rocks.* – Springer – Verlag – New York.