

MICROESTRUTURAS E RELAÇÕES METAMORFISMO-DEFORMAÇÃO DO GRUPO SÃO ROQUE NA FAIXA ENTRE O PICO DO JARAGUÁ E A SERRA DOS CRISTais - SP

CELSO DAL RÉ CARNEIRO*, ELENO DE PAULA RODRIGUES* E JOSÉ MOACYR VIANNA COUTINHO**

ABSTRACT Microstructural studies of rocks belonging to the São Roque Group in an area of about 376 km² between Pico do Jaraguá (Municipality of São Paulo) and Serra dos Cristais (Municipality of Jundiaí) have permitted to recognize their patterns of deformation and metamorphism as a part of a work devoted to the structural analysis of the São Roque Group. Three phases of folding affected the metamorphic rocks as determined from characteristics of fold styles, nature of axial-plane foliations, and the interference patterns observable in both outcrops and maps. The relationship between deformation and metamorphism could be recognized with the study of microstructures. The F₁ phase was accompanied by the formation of axial-plane slaty cleavage or schistosity related to tight folds and it was followed by the regional metamorphic peak under post-kinematic conditions. During this peak porphyroblasts of opaque minerals, garnet, staurolite and sillimanite were developed. This main metamorphic event continued, at least for the staurolite, into the beginning of the second folding episode. The F₂ phase generated a persistent crenulation cleavage, frequently both microscopic and of the zonal type, in axial-plane position of the folds are ubiquitous and occur in all scales. Differentiated banding and some recrystallization of biotite around opaque minerals occurred during this phase. The third folding phase, F₃, created more spaced crenulation cleavage not of the zonal type so common in the F₂ previous phase. The F₃ phase, which was more intense in the southern part of the area, generated large folds and undulations in regional structures.

INTRODUÇÃO A reconstituição de padrões de deformação e metamorfismo em seqüências dobradas pré-cambrianas tem-se revelado uma valiosa ferramenta para o entendimento de unidades geológicas complexas. Fazendo parte de uma ampla gama de estudos genericamente englobados na "Análise Estrutural", os estudos microestruturais permitem avançar nessa reconstituição, na medida em que podem indicar vínculos entre as diferentes fases de deformação que se sucederam numa dada área, e os episódios metamórficos eventualmente distintos que ali se estabeleceram.

O presente trabalho destaca os resultados da análise microestrutural de rochas do Grupo São Roque na faixa situada entre o Pico do Jaraguá e a Serra dos Cristais, Estado de São Paulo. A Faixa Jaraguá-Cristais (Fig. 1) foi objeto de uma série de investigações voltadas para a análise estrutural das unidades metamórficas ali presentes, buscando descrever e reconstituir suas litologias, padrões e estilos estruturais. Os resultados mais completos dos estudos acham-se consubstanciados em tese de doutoramento apresentada pelo primeiro Autor ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (Carneiro 1983), incluindo mapas geológicos de detalhe (escala 1:20 000) de uma área de aproximadamente 375 km² (Fig. 1). Os diferentes padrões de superposição de estruturas e a caracterização das fases de dobramento acham-se discutidos em Carneiro *et al.* (1984c).

A Faixa Jaraguá-Cristais foi considerada como área-chave do Grupo São Roque, para efeito de estudos de análise estrutural, por vários motivos:

- 1) presença de situações-chave para a compreensão de relações entre diferentes seqüências ou unidades litológicas;
- 2) existência de grande diversidade litológica, que pode ser tomada como representativa das rochas do Grupo;
- 3) presença de estruturas de grande porte;
- 4) facilidade de acesso a exposições mais adequadas para a descrição dos vários estilos estruturais.

Objetivos e métodos de trabalho Estudos estruturais de detalhe foram conduzidos como suporte ao estudo das microestruturas, em paralelo e ao final dos trabalhos de cartografia dos tipos litológicos. Tais estudos permitiram reconstituir os estilos de dobramento e padrões de superposição de estruturas a nível mesoscópico. Numa segunda aproximação, a análise qualitativa foi ampliada para a escala macroscópica, visando determinar superposições de eventos de dobramento e feições regionais, por meio de estudos estatísticos e levantamentos de maior detalhe, em domínios estruturais pré-selecionados.

A investigação microestrutural fundamentou-se nesse acervo de dados, buscando:

- caracterizar superfícies-s, clivagens e linhas associadas, microdobras, estruturas sedimentares reliquias, bandamentos, porfiroblastos, além de feições cataclásicas e miloníticas;
- efetuar correlações e interpretar as feições microtectônicas de interesse para caracterizar a cronologia e as relações entre eventos de deformação e metamorfismo na área.

* Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, Cidade Universitária, Cx. Postal 7141, CEP 01000, São Paulo, SP, Brasil.

** Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, e Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, Cx. Postal 20899, CEP 01000, São Paulo, SP, Brasil.

O exame ao microscópio das litologias é dificultado sobremaneira quando o grau de alteração das rochas é muito acentuado. Uma vez que na maior parte do domínio de rochas metamórficas da região ocorrem apenas afloramentos de solo de alteração e rocha alterada, sendo poucas as exposições de rocha saia, foram aplicadas técnicas de laminação que permitem preservar microestruturas (impregnação de amostras com resinas especiais, sob vácuo). Desse modo, é possível estudar melhor os tipos litológicos, suas variações de composição e as texturas microscópicas. Procurou-se também analisar qualitativamente direções de encurtamento e estiramento que pudessem definir os mecanismos de deformação. Por meio desse estudo foram determinadas as relações entre clivagens sucessivas entre si e com porfiroblastos de diferentes gerações, num trabalho que envolveu a confecção de 139 seções delgadas. A Fig. 1 mostra os locais amostrados para confecção das lâminas, bem como os códigos de afloramentos mencionados no texto.

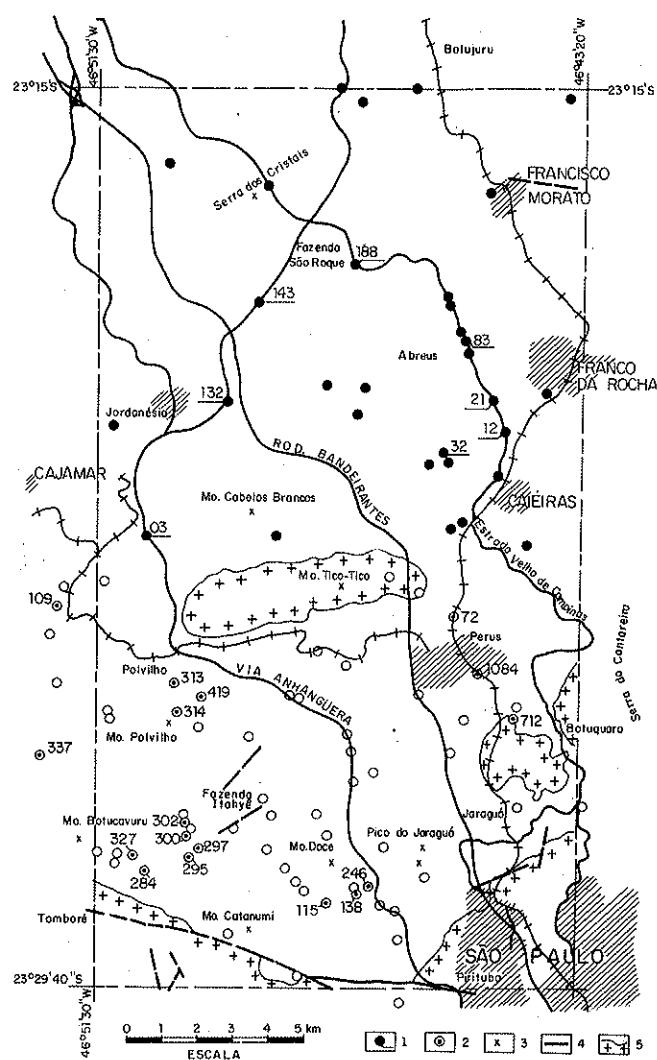


Figura 1 – Mapa de localização da Faixa Jaraguá-Cristais, com a topografia e os códigos de afloramentos citados no texto e ilustrações 1 – Ponto CJ; 2 – Pontos JC; 3 – Principais elevações topográficas; 4 – Estradas; 5 – Limites de corpos graníticos

Trabalhos anteriores

O trabalho de Carneiro *et al.* (1984c) apresenta um revisão histórica sobre a denominação Grupo São Roque (Moraes Rego 1930a, b), assinalando que até o início da década de 70 houve uma certa tendência de abandono do termo "Grupo São Roque", em favor de "Grupo Açungui", mais antigo (Derby 1878). Aquela denominação foi retomada mais tarde, com base principalmente argumentos estruturais (Hasui 1975), já que se reconheceram apenas duas fases de dobramento no Grupo São Roque, e três na área de ocorrência do Grupo Açungui. O conceito foi estendido para toda a região a oeste da capital paulista por Hasui & Sadowski (1976) e foi mantido no mapa geológico mais recente do Estado de São Paulo (Bistrichi *et al.* 1981).

Várias porções da Faixa Jaraguá-Cristais foram objeto de mapeamento geológico em escalas de detalhe. Existem mapas na escala 1:20 000 para as regiões de Jaraguá (Cordani *et al.* 1961) e Perus (Cordani *et al.* 1963). A região dos Morros do Tico-Tico e Grande foi mapeada em escala de semidetalhe por Penalva & Hasui (1970), da mesma forma que a porção oeste da Faixa, mapeada por Hasui *et al.* (1969). A área da Grande São Paulo foi mapeada pela EMPLASA (1980) em 1:100000, a partir de levantamentos anteriores de Coutinho.

Além dos trabalhos referidos, outras contribuições sobre a geologia da Faixa Jaraguá-Cristais possuem enfoques mais específicos e diversificados, raramente contemplando relações entre metamorfismo e deformação, como no estudo de Coutinho (1972).

Os aspectos petrográficos, mineralógicos e de metamorfismo foram descritos de modo bastante pormenorizado por Moraes Rego (1933), num dos estudos pioneiros. Outros trabalhos são os de Knecht (1943, 1944), descrevendo estaurolita na região de Perus, junto ao Ribeirão São Miguel, e sillimanita à altura do km 20 da Rodovia Anhangüera. A descoberta de metaconglomerados, durante as obras de construção do Viaduto Jaraguá desta rodovia, mereceu atenção de Coutinho & Takeda (1955) e Odman (1955). Em 1958, Franco detém-se no estudo das rochas termometamórficas do São Roque, investigando na área ora focalizada as rochas da Pedreira Peccicacco e vizinhanças, em Perus. Os anfibolitos do Jaraguá foram caracterizados mineralógica e petrograficamente por Gomes (1962). Seu químismo foi discutido por Gomes *et al.* (1964) e Gomes (1971). Resultados sobre os anfibólitos desse corpo foram apresentados em Gomes *et al.* (1968) e Gomes *et al.* (1972). São trabalhos que descrevem e analisam o zoneamento metamórfico dos anfibolitos, interpretando-o como uma resposta das rochas à mudanças no gradiente metamórfico causadas pela intrusão do granito tipo Pirituba, adjacente.

Os granitos turmaliníferos de Perus foram estudados por Hasui (1963). As rochas cálcio-silicáticas de Perus foram mapeadas e estudadas por Cordani *et al.* (1963), que atribuem sua origem sua origem à ação de metamorfismo termal sobre calcários magnesianos impuros. Tal interpretação é aceita por Coutinho (1968, 1972), em seu estudo mais regional, que no entanto aponta dois aspectos mal esclarecidos quanto a essas litologias: a presença de rochas cálcio-silicáticas distantes alguns quilômetros da auréola do corpo granítico e pelo menos duas passagens transicionais

entre aquelas rochas e hornblendita xistos e destas, para anfibolitos normais.

O estudo sobre a intrusão granítica dos morros Grande e do Tico-Tico, realizado por Penalva & Hasui (1970), destaca uma série de evidências para o caráter intrusivo do corpo e descreve aspectos da estrutura local. Ainda sobre os granitos e granitóides, o trabalho mais geral de Hasui *et al.* (1978) classifica os diferentes maciços da área estudada.

A descoberta de *pillow-lavas* em metabasitos, bem como de estruturas estromatolíticas em calcários dolomíticos da região de Pirapora do Bom Jesus, foi noticiada mais recentemente por Figueiredo *et al.* (1982).

Cordani & Teixeira (1979), ao sintetizarem os dados geocronológicos disponíveis para a região, assinalam que as idades K/Ar do intervalo 640-470 Ma refletem o resfriamento regional do Ciclo Orogênico Brasiliense, enfatizando por outro lado que algumas das idades, em granitos tardíos e pós-tectônicos, em pegmatitos e as obtidas em micas, devem se situar próximas da época de formação dos corpos correspondentes, em função de seu resfriamento rápido. Esses autores apontam idades isocrônicas de 640 Ma com R.I. de 0,71 para os maciços graníticos sintectônicos. As intrusões graníticas pós-tectônicas foram datadas entre 560 e 490 Ma, com idades aparentes K/Ar pouco mais jovens que as de Rb/Sr.

LITOLOGIAS As rochas admitidas como mais antigas na faixa estudada são migmatitos e biotita gnaisses com sillimanita, relacionadas preliminarmente ao Complexo Amparo, no sentido de Almeida *et al.* (1981). Algumas faixas de milonito gnaisses e blastomilonitos dobrados também foram incorporados ao embasamento do Grupo São Roque por Carneiro (1983).

As rochas do Grupo São Roque constituem, na faixa, quatro pacotes litoestratigráficos principais (Carneiro *et al.* 1984b), que se iniciam da base para o topo, por um pacote de *metapsamitos impuros*, com metarcóseos, metarenitos e metagrauvacas. Este pacote inclui anfibolitos na base, seguidos por metaconglomerados polimíticos, rochas metavulcânicas básicas amigdaloidais (descritas em Carneiro *et al.* 1984c), raros calcários, rochas meta-subvulcânicas irodacíticas e quartzitos. Segue-se um pacote de *metapelitos*, representados por filitos laminados, com raros níveis de quartzitos, anfibolitos e filitos grafíticos. Os filitos passam gradualmente para xistos porfiroblásticos, contendo granada, estaurolita e sillimanita, que formam isógradas metamórficas bem definidas, discutidas mais adiante. Um espesso pacote de *metamargas e prováveis metatufo*s intercala-se entre os metapelitos, exibindo rochas cálcio-silicáticas com alguns níveis de anfibolitos, que passam a predominar para o topo, formando um horizonte de anfibolitos bandados tidos como prováveis metatufo. O pacote superior é composto de *metarenitos bandados*, com passagem gradual a partir dos filitos laminados. Este pacote inclui alguns níveis decimétricos de metarenitos conglomeráticos, metarcóseos e alguns anfibolitos.

Intrusivos nesse pacote metamórfico há vários corpos graníticos, que formam os batólitos de Itaqui e Cantareira, e os *stocks* de Tico-Tico, Francisco Morato, Itaim e Taipas. As idades radiométricas disponíveis permitem situá-los dentro do Ciclo Brasiliense, a partir de isócronas de referência (Cordani & Kawashita 1971); rochas do Batólito da

Cantareira incluiram-se na isócrona Rb/Sr de 608 ± 48 Ma, enquanto uma determinação no corpo de Perus situou-se na isócrona de 541 ± 11 Ma. Os granitos associam-se pelo menos duas gerações de corpos pegmatíticos (Carneiro 1983), que penetram nas encaixantes e desenvolvem veios e bolsões.

Faixas cataclásticas restritas cortam as rochas metamórficas e granitóides, exibindo milonitos e protomilonitos. Tais fenômenos representam os últimos eventos tectônicos da faixa considerados neste trabalho.

ESTRUTURAS Aspectos mesoscópicos de foliações e estruturas reliquias

Os filitos laminados são as rochas mais abundantes na Faixa Jaraguá-Cristais, em particular no segmento setentrional. Sua laminação é devida a uma forte clivagem, que no passado parece ter sido considerada indicativa de clivagem ardosiana ou xistosidade, em posição plano-axial de dobras que, por consequência, pertenceriam a uma primeira geração (Hasui *et al.* 1969). O aspecto mesoscópico dessa laminação é bastante regular, nos níveis metapelíticos (Fig. 2). Como será visto no item "Análise Microestrutural", trata-se de um bandamento diferenciado, associado a uma clivagem de crenulação muito fina, denominada S_2 , que afeta comumente uma clivagem ardosiana ou xistosidade e algumas estruturas reliquias (Fig. 3).

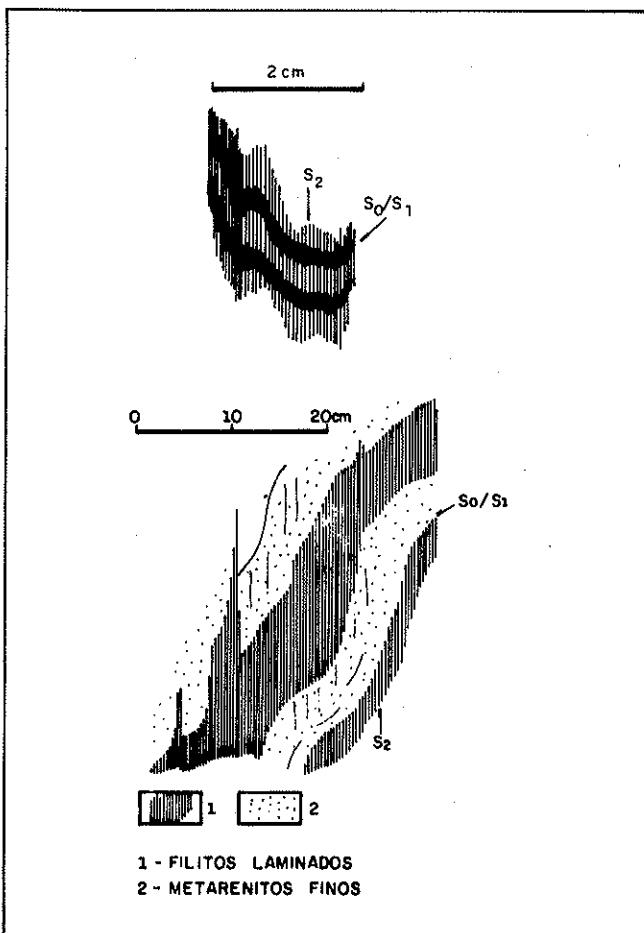


Figura 2 – Aspecto mesoscópico da laminação em filitos (1), mostrando a forte regularidade do bandamento diferenciado e sua ausência nos metarenitos (2). Afloramentos: a – CJ-132; b – CJ-12

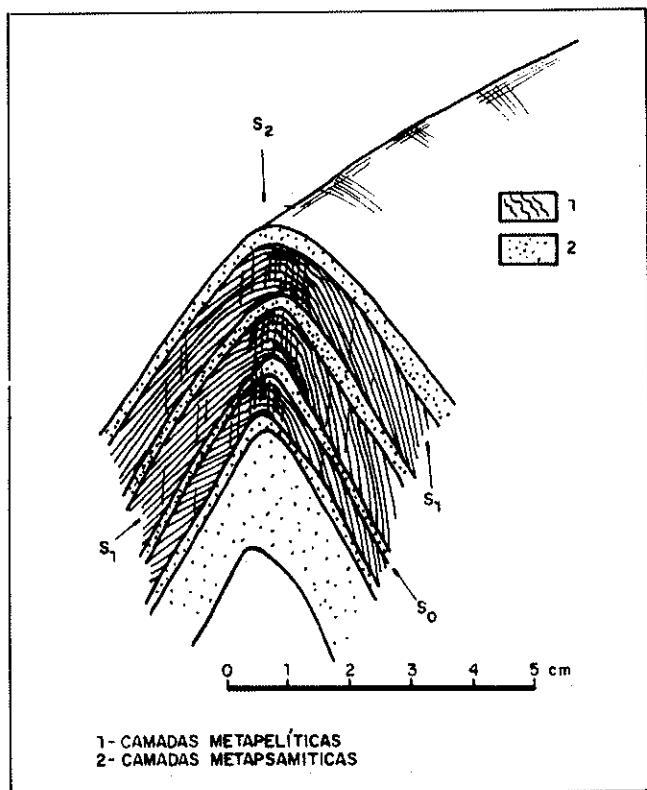


Figura 3 – Relações entre duas clivagens plano-axiais sucessivas, em amostra onde a clivagem ardosiana é oblíqua à estratificação reliquiaria. 1 – camadas metapelíticas; 2 – camadas metapsamíticas. Ponto JC-299

ESTRUTURAS PRIMÁRIAS

Diversas estruturas primárias podem ser observadas na região em foco, destacando-se, pela freqüência com que ocorre, a estratificação reliquiaria, designada S_0 . As estruturas primárias representam feições anteriores ao metamorfismo e deformação tectônica que se mantiveram preservadas ou que sofreram alterações pouco significativas sob a ação desses fenômenos.

A *estratificação reliquiaria* pode ser denunciada por variações compostionais que introduzem mudanças de cor em muitos filitos e nos calcários, embora não seja este um critério conclusivo. Uma evidência mais segura para a identificação de estratificação reliquiaria são as freqüentes mudanças na granulação dos materiais sedimentares, como, por exemplo, em metapelitos, onde muitas vezes há níveis com grãos e até grânulos intercalados nos níveis de granulação fina mais uniforme.

PRANCHA 1 – FOTOMICROGRAFIAS

Barra-escala 0,5 milímetros. 1a – Dobra de ápice espessado em filitos, exibindo S_1 em posição plano-axial. Lâmina CJ-32 Nicóis //; 1b – Clivagem ardosiana (S_1) em domínios. Lâmina CJ-32b – Nicóis //; 1c – Clivagem ardosiana (S_1) em nível metapelítico e outro metapsamítico. Lâmina CJ-32a – Nicóis //; 1d – Clivagem ardosiana (S_1) oblíqua à estratificação reliquiaria (S_0), ambas afetadas por crenulação (S_2). Lâmina JC-246b – Nicóis +; le – Estratificação (S_0) em filito que sugere estrutura gradual, fortemente deformada por efeito de S_1 e S_2 . Os planos de S_2 são subverticais na foto. Lâmina JC-138c – Nicóis +; 1f – Porfiroblasto de granada englobado por estaurolita, ambos com S_1 retilínea. Lâmina CJ-313 – Nicóis //; 1g – Porfiroblasto de estaurolita com típica geminação em cruz (parcial), com S_1 paralelo à S_1 de outro porfiroblasto de granada adjacente – Lâmina JC-313 – Nicóis //; 1h – Pormenor de fotomicrografia anterior, notando-se crenulações na zona rica em micas.

No interior das camadas é possível reconhecer algumas estruturas sedimentares, embora isso não seja tão freqüente como seria de desejar, pela importância de algumas dessas feições primárias para a determinação de polaridade estratigráfica das camadas. Foram observadas feições como estratificação cruzada, gradual e rítmica. Dentre elas, a estratificação gradual foi a única que pôde ser usada para identificação de topo e base de camadas.

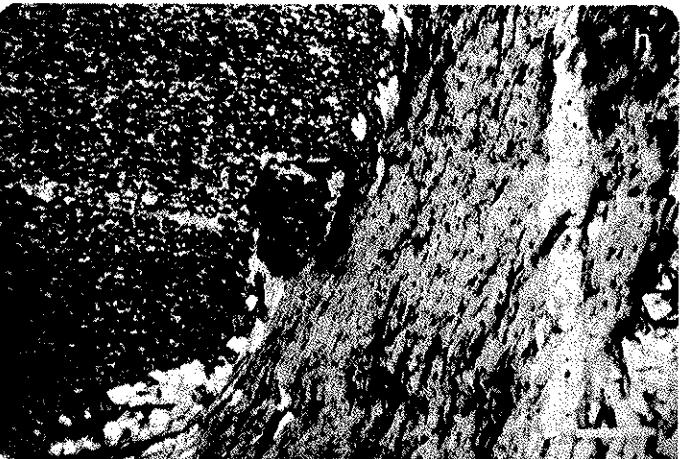
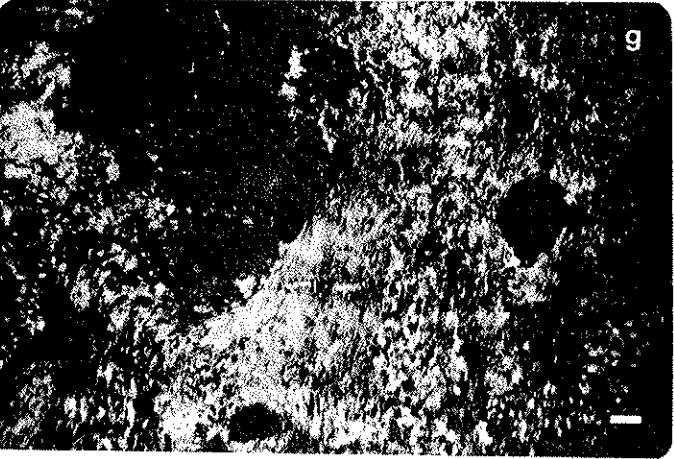
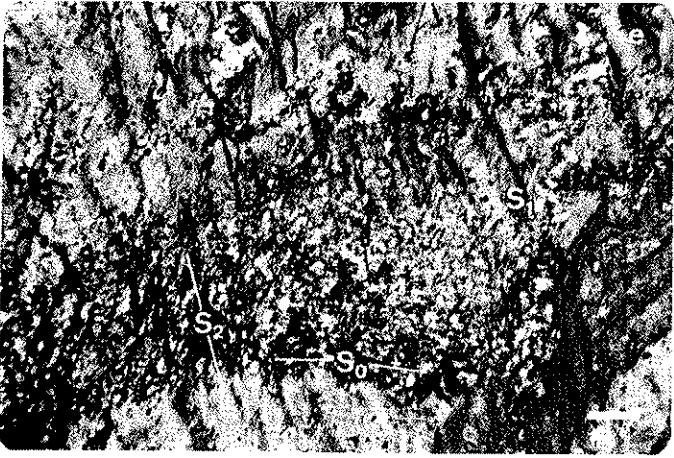
Estratificação cruzada aparece em alguns níveis metareníticos ou quartzíticos. Na Estrada Velha da Campinas, no trecho entre Franco da Rocha e Francisco Morato, foram identificadas feições relacionadas à estratificação cruzada. Também nesses afloramentos, a notável repetição de níveis de filitos nos metareníticos pode ser referida a uma *estratificação rítmica* e local.

Estratificação gradual foi a feição reliquiaria mais importante para se estabelecer polaridade estratigráfica em vários cortes e afloramentos, embora sua ocorrência seja muito reduzida. Em geral, é observada em leitos quartzosos a metareníticos, nos quais a granulometria dos materiais originais descrece da base para o topo de cada estrato.

FOLIAÇÕES A clivagem é um dos tipos mais comuns de tramas planares produzidas durante a deformação tectônica. As pranchas de fotomicrografias 1, 2 e 3 ilustram os tipos de clivagem reconhecidos na área estudada. É comum a utilização do termo *foliação* para designar tais feições planares, por ser um termo genérico e abrangente.

Clivagem ardosiana (S_1) e xistosidade (X) Estes termos vinculam-se a estruturas planares definidas essencialmente pela orientação regular de minerais placoides, em geral filossilicatos. Minerais granulares inequidimensionais podem também participar da formação de uma trama planar deste tipo e mesmo minerais prismáticos podem, em alguns casos, contribuir na definição de uma foliação planar.

Há uma série de limitações para o uso do termo clivagem ardosiana (Williams 1972, White & Knipe 1978 *apud* Powell 1979). Tais limitações são contornáveis, em parte, utilizando-se a definição apresentada por Hobbs *et al.* (1976), para quem essa feição é dada pela orientação preferencial planar de minerais inequidimensionais, seja formando domínios na rocha, seja possuindo uma distribuição homogênea. É nesse sentido descritivo que o termo clivagem ardosiana é empregado no presente trabalho, pois a classificação de Powell (1979), mesmo com as modificações introduzidas por Borradaile *et al.* (1982), traz uma série de termos a serem combinados entre si para se indicar o tipo de



clivagem observada. Os critérios descritivos utilizados nessas classificações são, contudo, muito úteis para as clivagens de fratura e de crenulação, que serão abordadas adiante.

O limite, arbitrário, entre clivagem ardosiana e xistosidade usado neste trabalho foi o tamanho dos cristais, que na xistosidade já podem ser individualizados a vista desarmada.

Na Faixa Jaraguá-Cristais, a clivagem ardosiana encontra-se nos afloramentos geralmente paralela à estratificação reliquiar, o que dificulta a identificação das dobras a que se associa. Admite-se ter havido uma fase de dobramentos fechados, provavelmente isoclinais, para explicar a freqüência com que o paralelismo ocorre (Hasui 1973). Muitos pontos onde as duas feições aparecem obliquas entre si foram observados, como nas fotomicrografias da Prancha 1.

Clivagem de crenulação 1 (S_2) A clivagem de crenulação 1 (S_2) corresponde a uma foliação de ocorrência generalizada por toda a área. É melhor identificada ao nível microscópico, pois se traduz em dobras de comprimento de onda extremamente pequeno, da ordem de décimos ou até centésimos de milímetros. A escala mesoscópica (entre a amostra de mão e o afloramento), a foliação S_2 se mostra como um conjunto de planos muito próximos entre si, muitas vezes em posição plano-axial de dobras (Figs. 3 e 4); e, apenas em casos muito especiais ou com auxílio de lupa de bolso, é possível observar a presença das dobras de crenulação que a definem (Fig. 5). Dentro da classificação de Powel (1979), esta clivagem de crenulação S_2 inclui tanto o tipo discreto como o zonal. As clivagens de crenulação discretas são planos bem definidos e estreitos, na forma de descontinuidades na trama crenulada, ao passo que o tipo zonal envolve domínios largos e em lâminas, coincidentes com os flancos de dobras de crenulação microscópicas. Os limites dos domínios são difusos e gradacionais. O tipo zonal, também chamado clivagem de crenulação diferenciada, corresponde ao bandamento diferenciado visto em amostras de mão.

Os filitos laminados e os xistos são as rochas mais comuns portadoras dessa primeira clivagem de crenulação, em geral associada a bandamento diferenciado. Essas feições acham-se melhor representadas em cortes da região da Fazenda Tamboré, na porção sul da faixa (Fig. 6), e em toda a sua porção setentrional. Outras litologias exibem a S_2 na forma de clivagem de fratura, incluindo os quartzitos laminados, rochas cálcio-silicáticas e micaxistas.

PRANCHA 2 – FOTOMICROGRAFIAS

Barra-escala 0,5 milímetros. 2a – Estrutura milspede em porfiroblasto de estaurolita. As crenulações são da fase F_2 . Lâmina JC-109 – Nicóis //; 2b – Porfiroblasto de estaurolita com S_1 suavemente ondulada, indicando crescimento sincinemático à fase precoce de crenulação 1. Lâmina JC-109 – Nicóis //; 2c – Porfiroblasto de sillimanita (agregados de fibrolita) destacando-se da matriz bastante recristalizada de quartzo-biotita-moscovita xisto. Lâmina JC-1084 – Nicóis //; 2d – Clivagem de crenulação zonal dada pela alternância de bandas ricas em mica (M) com bandas ricas em quartzo (Qz). Observar porfiroblasto de estaurolita com S_1 retilínea, em estaurolita xisto fino. Lâmina CJ-03 – Nicóis+; 2e – Filito metalamítico com clivagem S_2 afetando grãos de quartzo estirados, notando-se deformações tais como fraturas intragranulares e ondulações abertas. Lâmina CJ-83c – Nicóis //; 2f – Clivagem de crenulação zonal em quartzo-biotita xisto bastante recristalizado. Lâmina gen desenvolvida ao redor do porfiroblasto de estaurolita mostrado na Fotomicrografia 2b. Lâmina JC-109 – Nicóis //; 2h – Agregados de cristais de biotita desenvolvidos ao redor de porfiroblastos poiquiloblásticos de opacos. O paralelismo destes cristais com S_2 sugere crescimento sintectônico ou, ao menos, controlado pelos esforços dessa fase. Lâmina JC-302a – Nicóis //.

As litologias onde ocorre a clivagem de crenulação S_2 , são, porém, bastante homogêneas e se estendem por domínios muito grandes, o que facilita a investigação e a utilização de um critério morfológico microscópico para distinção.

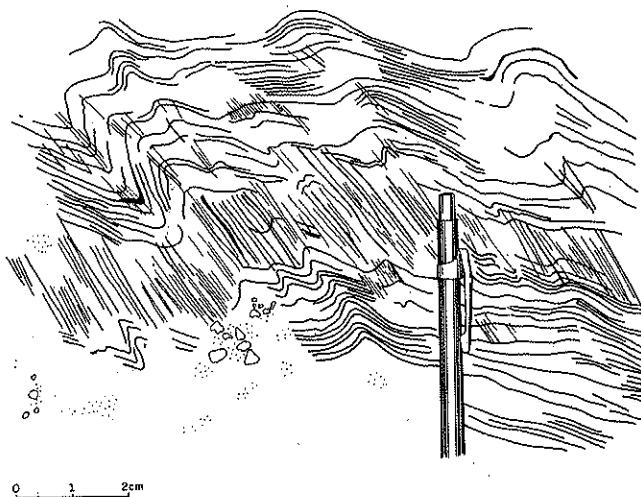


Figura 4 – Pormenor de dobra onde os níveis metapelíticos possuem um notável bandamento diferenciado, em posição plano-axial. Ponto CJ-143.

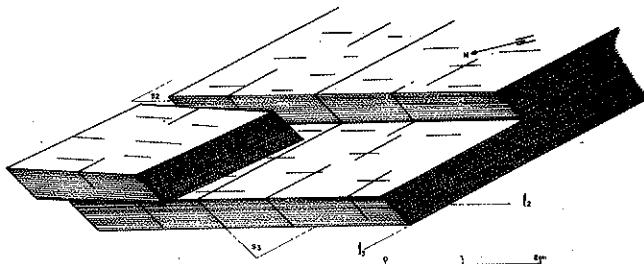
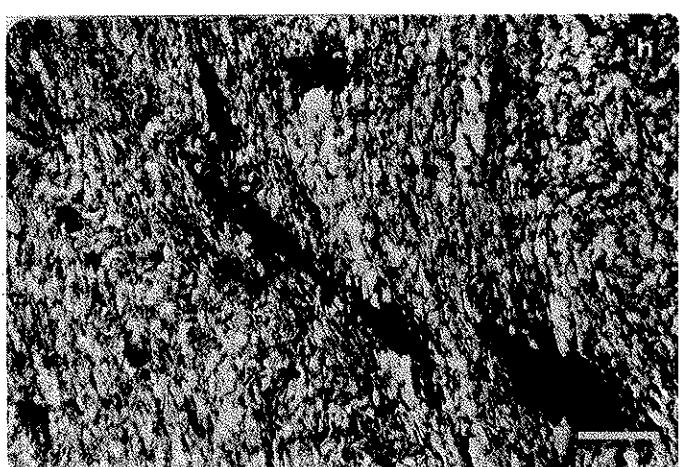
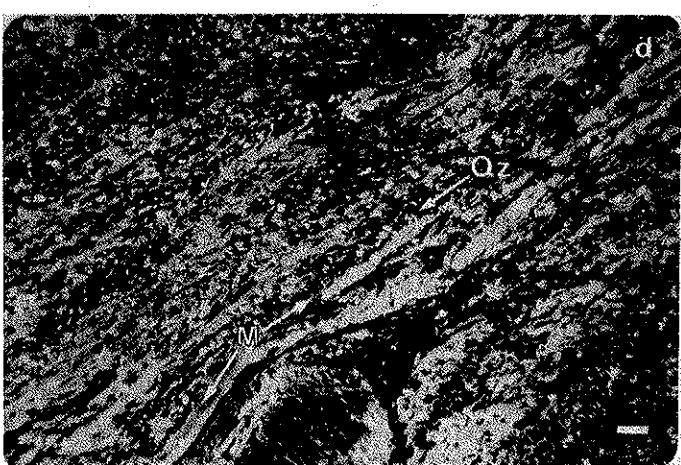
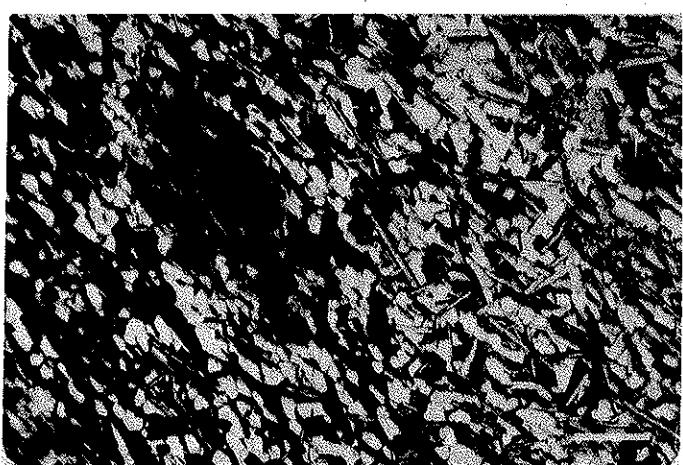
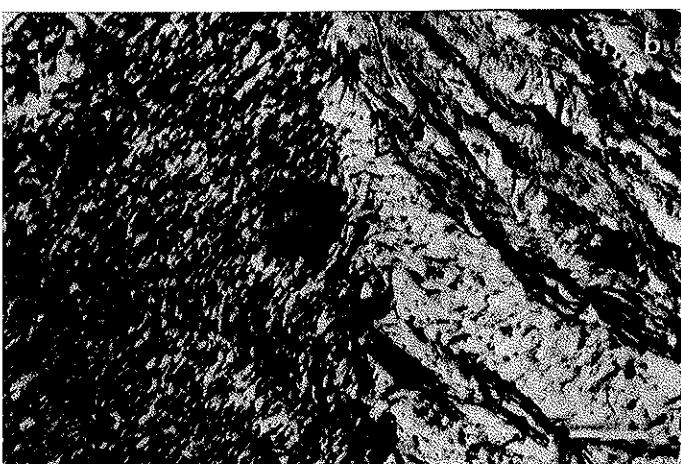
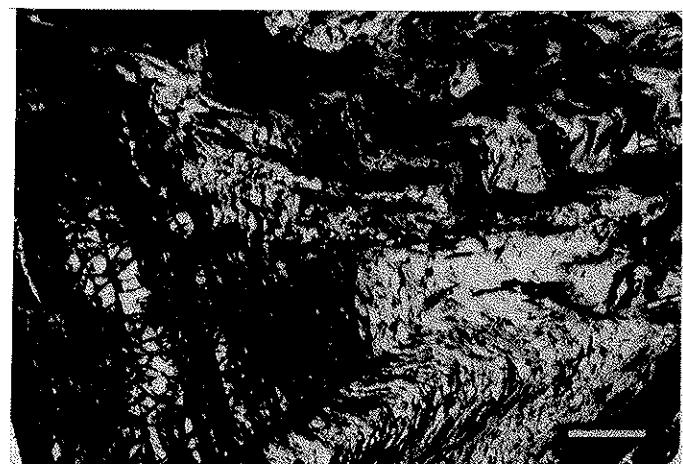


Figura 5 – Amostra de rocha da região da Fazenda Tamboré (Ponto CJ-297), exibindo as crenulações submilimétricas muito comuns nos filitos e que definem S_2 .



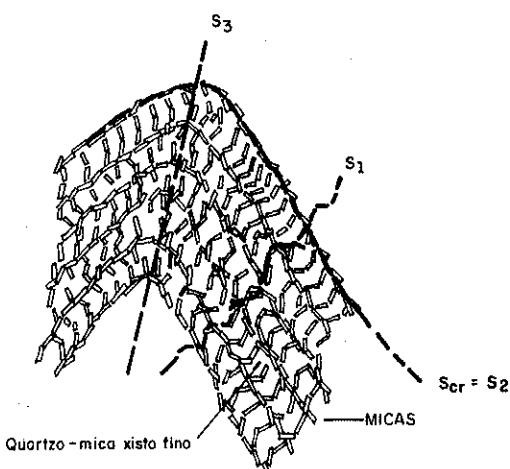


Figura 6 – Aspecto microscópico de clivagem de crenulação S_3 em quartzo-mica xisto fino, afetada por dobramento. Ponto JC-328

Clivagem de crenulação 2 (S_3) É outra das clivagens de crenulação observadas na região de estudo, cuja ocorrência é mais acentuada no domínio de rochas da parte sul da Faixa Jaraguá-Cristais. Na região do córrego Itaim, a S_3 mostra-se como foliação plano-axial de dobras, orientada segundo a direção geral WNW a E-W. Forma planos espaçados desde frações de milímetro até poucos centímetros, estes mais freqüentes. Para E, deixa de ter o caráter regular, gradando pouco a pouco para um aspecto de *kink-bands* isolados, afetando as clivagens e o bandamento diferenciado que lhe são anteriores.

A S_3 mostra-se nos afloramentos da região de Via Anhangüera, proximidades do Morro Doce, como planos próximos entre si, que chegam às vezes a exibir distâncias de 2-3 milímetros entre dois planos contíguos (Fig. 7). As ondulações de crenulação são mais abertas que as associadas às outras crenulações. Não se verificou a presença de bandamento diferenciado associado a estas clivagens S_3 .

Em sequências mais finas é comum a ocorrência de clivagens de crenulação, enquanto em quartzitos, metarenitos, metarcóseos e metagrauvacas é mais freqüente a existência de clivagem de fratura.

Clivagem de fratura (S_f) É uma feição presente na maior parte dos afloramentos de quartzitos e calcários da faixa e em algumas outras litologias, como anfíbolitos e

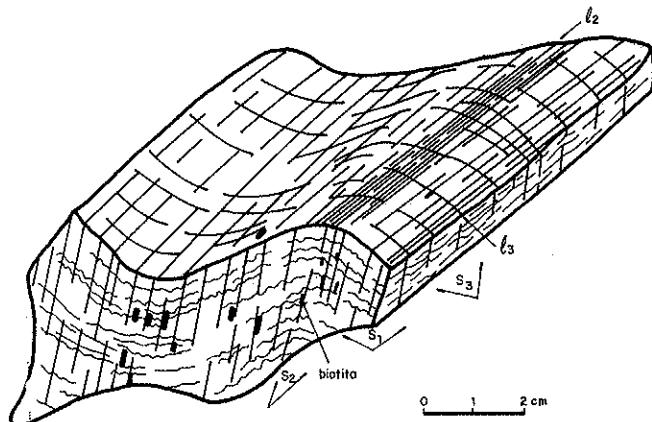


Figura 7 – Metarenito fino contendo porfiroblastos de biotita. A matriz é afetada por crenulações em duas direções subperpendiculares entre si. Ponto JC-300

rochas cálcio-silicáticas. O espaçamento entre os planos é variável, porém inferior a 5 cm (Price & Hancock, *apud* Powell 1979). As clivagens de fratura podem ser referidas às clivagens de crenulação a que se associam, tomando-se por base as mudanças entre esses tipos, de uma litologia para outra.

Fases de deformação As fases de deformação reconhecidas por Carneiro *et al.* (1984c), com base em critérios de superposição, orientação e estilo, podem ser resumidas conforme segue:

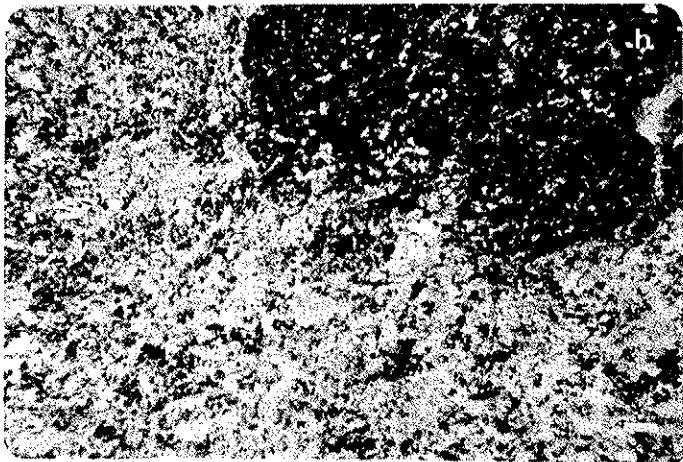
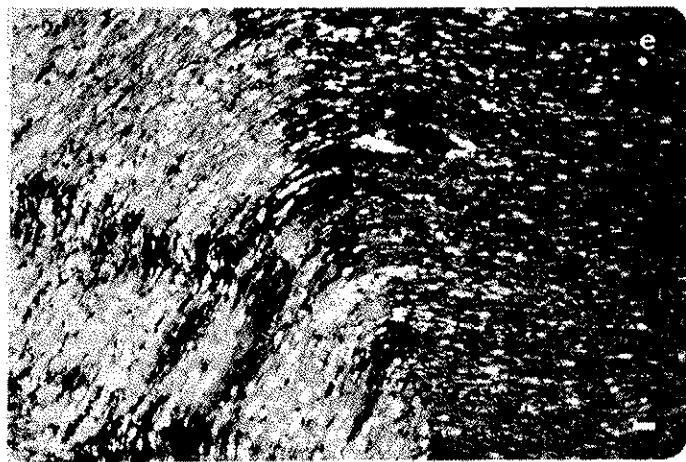
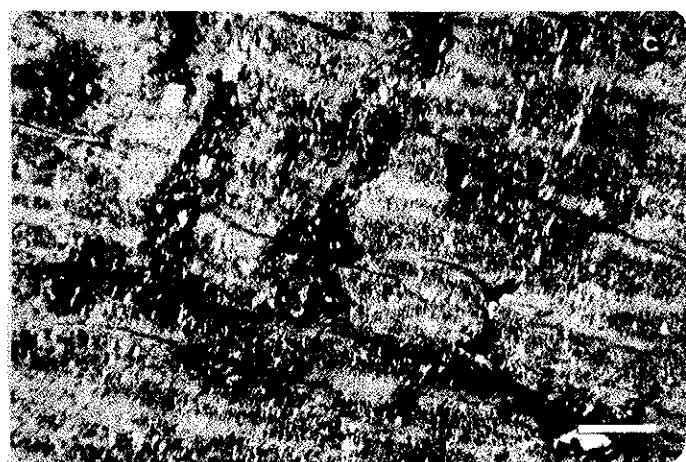
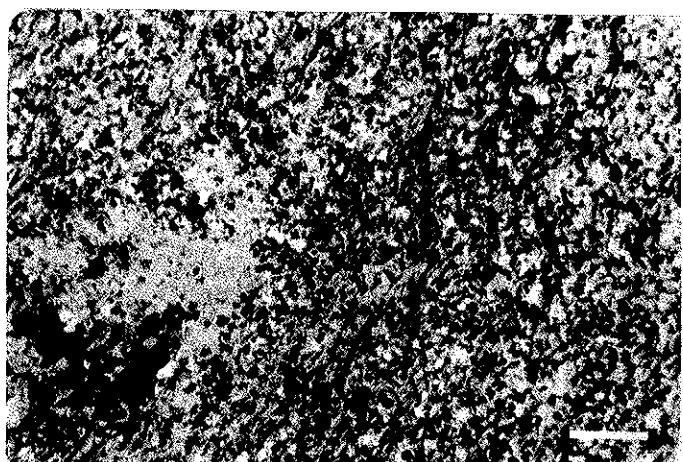
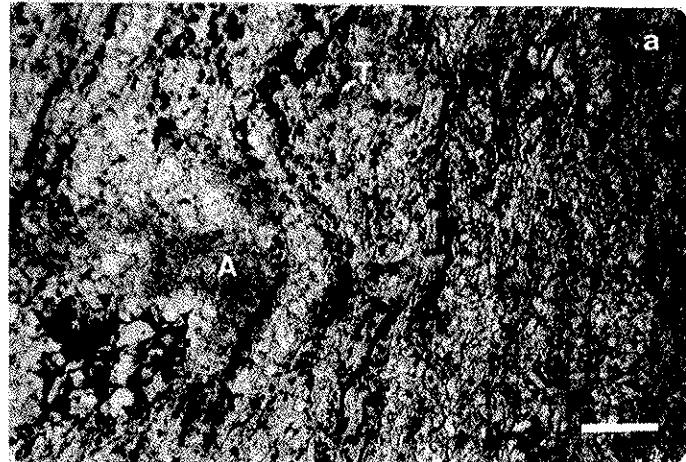
Fase F₁ – é representada por dobras de ápices espessados, fechadas e cerradas ou possivelmente até isoclinais, com clivagem ardosiana em posição plano-axial. Sua orientação original é admitida como recumbente (Carneiro 1983);

Fase F₂ – gerou dobras de variadas escalas e estilos, desde fechadas até abertas, com ápices espessados. Afectam a clivagem ardosiana e possuem clivagens de crenulação muito finas S_2 em posição plano-axial, associada geralmente a um bandamento diferenciado. Tal fase responde pela conformação de muitas mesoestruturas e algumas macroestruturas do Grupo São Roque e apresenta orientações bastante variadas, de uma parte para outra da Faixa Jaraguá-Cristais;

Fase F₃ – definida por amplas ondulações regionais e numerosas dobras abertas, geralmente isópicas a local-

PRANCHA 3 – FOTOMICROGRAFIAS

Barra-escala 0,5 milímetros. 3a – Porfiroblasto de mineral sericitizado (A), provavelmente um alumínio-silicato, em quartzo-muscovita xisto fino, afetado por crenulação F_3 e intensa turmalinização (T). Lâmina JC-284 – Nicóis //; 3b – Idem, nicóis cruzados. Os cristais de turmalina acham-se extintos (pontos arredondados de cor negra na foto), evidenciando ser o corte paralelo à seção basal da maior parte dos cristais; 3c – Crenulações abertas S_3 , em quartzo filito. Lâmina JC-246b – Nicóis +; 3d – Microdobras fechadas em quartzo filito laminado. Lâmina JC-295 – Nicóis //; 3e – Ondulações abertas com aspecto de *kink-band* no quartzo-biotita xisto da Fotomicrografia 2f. Lâmina JC337 – Nicóis //; 3f – Superposição de 2 clivagens de crenulação. A mais recente situa-se em posição quase vertical na foto (S_3). O contraste foi acentuado com auxílio da placa de gipso. Lâmina JC-115 – Nicóis +; 3g – Biotita-quartzo-muscovita xisto grosso afetado por crenulações S_3 , com indícios de recuperação (r) nas biotitas. Lâmina JC-72 – Nicóis //; 3h – Porfiroblasto poiquiloblastico de diopsídio (extinto na foto) exibindo inclusões, em hornfels cálcio-silicático da zona de contato do Granito Taipas. Lâmina JC-712 – Nicóis +.



mente anisópicas, portadoras de clivagem de crenulação S_3 plano-axial ou clivagem de fratura. A fase F_3 parece ter incidido com maior intensidade na parte meridional da faixa.

ANÁLISE MICROESTRUTURAL A inserção das microestruturas, ou texturas metamórficas, no quadro das litologias, estruturas e fases de dobramento anteriormente referidas traz uma série de informações adicionais a respeito da evolução metamórfica que a área sofreu.

A terminologia aqui adotada segue conceitos e definições contidas em Spry (1969) e Borradaile *et al.* (1982). A esse respeito cabe resumir os códigos usados para distinguir as diferentes feições: a estratificação reliquiar é referida como S_0 ; as clivagens, de acordo com sua ordem cronológica (S_1 = clivagem ardosiana, X = xistosidade, S_2 = clivagem de crenulação 1, S_3 = clivagem de crenulação 2, S_f = clivagem de fratura); as superfícies exteriores a um dado cristal são referidas como S_e e as interiores a ele recebem a notação S_i . A existência de clivagem de crenulação diferenciada pode muitas vezes ser referida simplesmente como bandamento diferenciado, embora se deva ter em mente que este último termo é mais abrangente e engloba outros tipos de bandamento não referíveis a crenulação.

As texturas mais comuns, geradas pelo metamorfismo regional (Spry 1969), além das orientações preferenciais e bandamentos acima citados, são as porfiroblásticas e as poiquiloblásticas. Arranjos na forma de microdobras são denominados crenulação, quando o permitem o espaçamento suficientemente denso e as ondulações, sistematicamente regulares.

Tendo em vista que a ordem de cristalização dos minerais é extremamente significativa para este tipo de análise e que tal ordem obedece a uma seqüência de fenômenos mais prolongada e contínua, é difícil estabelecer limites temporais rígidos para as várias etapas evolutivas. Assim sendo, tomaram-se por base as principais estruturas mesoscópicas para seqüenciar, tal como se fossem "níveis-guia", a história evolutiva das microestruturas e ordenar o aparecimento dos porfiroblastos. No trabalho de Carneiro *et al.* (1984a) são analisadas algumas feições texturais de rochas particulares da faixa, tais como as metagrauvacas, as rochas metavulcânicas, as meta-subvulcânicas e as anfibolíticas. O texto que se segue é essencialmente baseado nas fotomicrografias das pranchas. A localização das amostras acha-se na Fig. 1.

Principais relações microestruturais **ESTRATIFICAÇÃO RELIQUIAR** A estratificação reliquiar pode ser observada em um grande número de lâminas petrográficas da área. As Fotomicrografias 1a, 1b e 1c trazem exemplos onde a clivagem ardosiana é oblíqua a S_0 e esta acha-se marcada pela alternância de lâminas milimétricas a submilimétricas em que as concentrações de quartzo, micas e impurezas são variáveis. Em muitos casos é possível distinguir S_1 oblíqua a S_0 , mesmo em rochas afetadas por crenulação, como nas Fotomicrografias 1d e 1e. Na Fotomicrografia 1e, a relação entre as superfícies é similar, porém a estratificação reliquiar possui uma graduação de tamanho dos grãos de quartzo recristalizados, que sugere uma paleoestrutura gradual.

CLIVAGEM ARDOSIANA Dobras portadoras de S_1 em posição plano-axial não são raras na região, tendo sido

encontrado um belo exemplo em Caieiras (CJ-32), onde se desenvolvem dobras de ápice espesso, desenhadas pelo delicado bandamento composicional acima referido (Fotomicrografia 1a). Em certas porções, a S_1 aparece com aspecto de clivagem ardosiana em domínios (Hobbs *et al.* 1976), como na Fotomicrografia 1b, enquanto em outras amostras seu aspecto é muito mais homogêneo, dado pela distribuição regular de micas (Fotomicrografia 1c).

Relações de não-paralelismo entre S_0 , S_1 e S_2 podem ser verificados em numerosas amostras. Dois exemplos encontram-se nas Fotomicrografias 1d e 1e.

Porfiroblastos de granada e estaurolita formaram-se após o desenvolvimento de S_1 , numa seqüência provavelmente iniciada pela granada, pois muitos cristais de estaurolita englobam o mineral (Fotomicrografias 1f, 1g e 1h). A S_1 dos porfiroblastos desses minerais encontra-se paralela à S_e , que é a xistosidade (X). Em alguns cristais onde a deformação posterior foi intensa e as relações geométricas o permitiram, a estaurolita chega a desenvolver estrutura milípede (Fotomicrografia 2a), muito característica de que a X dos porfiroblastos tinha continuidade para fora do cristal em superfícies retilíneas e contínuas antes da deformação.

CLIVAGEM DE CRENULAÇÃO S_2 A forma das crenulações ligadas a S_2 é, em geral, de microdobras fechadas a cerradas com ápices arredondadas (Fotomicrografia 2a).

As feições descritas acima para os porfiroblastos de estaurolita e granada são indicativas de que o crescimento desses minerais precedeu o aparecimento da S_2 . Há evidências, porém, de que a evolução dos porfiroblastos avançou ao menos até o princípio do desenvolvimento da S_2 , pois alguns cristais registraram em seu interior ondulações suaves (Fotomicrografia 2b) que marcaram fases precoces de S_2 .

A sillimanita é outro mineral cujo desenvolvimento precedeu o aparecimento de S_2 ou, pelo menos, só se estendeu até a fase inicial de S_2 . Nos afloramentos é bastante comum existir uma lineação mineral definida por concentrações alongadas e brancas de sillimanita, que é controlada pelas superfícies de X e S_0 . Ao microscópio, estas concentrações de sillimanita revelam-se como agregados de fibrolita destacando-se da matriz xistosa (Fotomicrografia 2c).

A morfologia das clivagens de crenulação 1 varia de acordo com a litologia, e pode haver mudanças significativas no aspecto da clivagem ao se passar de um nível metapélítico para outro metarenítico, por exemplo. Foi acima destacada a presença de um bandamento diferenciado associado a essa clivagem, definido pela alternância de zonas ricas em mica com outras mais ricas em quartzo. A Fotomicrografia 2d mostra esta feição.

Nos filitos metalâmicos, como na Fotomicrografia 2e, observam-se claramente os efeitos das deformações introduzidas pela crenulação 1 nos grãos de quartzo alongados e que se interrompem bruscamente junto às zonas ricas em mica. O mecanismo de dissolução por pressão de quartzo parece ser um condicionamento importante neste caso (Fotomicrografia 2e) para originar a feição.

Em rochas muito recristalizadas, o aspecto da S_2 pode ser mascarado, como na Fotomicrografia 2f, onde ainda se percebem vestígios de crenulação 1 por meio ou cristais de biotita dispostos transversalmente à foliação principal da rocha, um quartzo-biotita xisto.

As deformações tardias que sucederam o desenvolvimento de S_2 fazem com que freqüentemente ocorram estruturas do tipo *augen*, onde a matriz contorna os porfiroblastos pré-tectônicos a F_2 , como o caso da Fotomicrografia 2g, que é uma tomada mais ampla de setor de lâmina contido na Fotomicrografia 2b.

Finalmente, deve-se registrar a ocorrência de vários locais onde cristais poiquiloblásticos de opacos acham-se envolvidos por biotita. São agregados cristalinos que se alongam paralelamente à S_2 (Fotomicrografia 2h). Para os cristais de opacos pode-se admitir um crescimento anterior à foliação e uma posterior rotação até o paralelismo com S_2 , seguido pela formação de biotita. Outra possibilidade é a de que ambos ter-se-iam formado após o início de S_2 , porém ainda sob a influência dos esforços que a criaram. Não foram observados cristais com estruturas helicíticas (bola de neve), indicativos de crescimento sincinético.

Outro fenômeno registrado localmente nas rochas estudadas da Faixa Jaraguá-Cristais é o aparecimento de seriçitação retrometamórfica de antigos alumino-silicatos. Essa feição parece ter-se formado (Fotomicrografias 3a e 3b) às expensas de uma alumino-silicato anterior, durante a fase F_3 . Nas mesmas ilustrações, observa-se a presença de uma forte turmalinização da rocha, afetando principalmente as bandas micáceas do quartzo-muncovita xisto fino. Como as crenulações ali visíveis pertencem à fase F_3 e tendo em vista que praticamente todos os cristais de turmalina encontram-se cortados na lâmina pelas suas seções basais (o que é mais facilmente observável sob nicóis cruzados, Fotomicrografia 3b), pode-se deduzir que guardam paralelismo com os eixos das crenulações S_3 . Esta dedução poderia servir de critério para situar a turmalinização de algumas rochas da área como tendo acompanhado mimeticamente linhagens minerais nos planos S_1 , que por sua vez teriam controlado o desenvolvimento de microdobras F_3 .

CLIVAGEM DE CRENULAÇÃO S_3 A Fotomicrografia 3c ilustra o aspecto mais comum desta crenulação, de caráter mais aberto, e do tipo discreto (ou zonal, segundo a classificação proposta por Gray 1977). Não ocorrem entre essas clivagens os tipos portadores de bandamento diferenciado.

Microdobras associadas à fase F_3 podem ter localmente uma forma mais fechada, como na Fotomicrografia 3d, mas em geral seus perfis são mais abertos e arredondados, como ilustra a Fotomicrografia 3e, onde a dobra tem quase um aspecto de *kink-band*. No caso desta rocha, um pormenor da clivagem de crenulação diferenciada foi mostrado na Fotomicrografia 2f.

A superposição de clivagens de crenulação pode ser visualizada em algumas amostras, dependendo da orientação do corte. Na Fotomicrografia 3f, um moscovita xisto exibe essa superposição, notando-se o caráter mais aberto das crenulações da fase F_3 .

Em xistos mais grossos é comum observarem-se cristais de biotita deformados pelas crenulações e às vezes mostrando indícios de recuperação (*recovery*) processo altamente dependente de deformação e temperatura. O aparecimento de bordas denteadas nas porções terminais de cristais de mica deformados é uma evidência do fenômeno (Fotomicrografia 3g).

Umas das feições pós-cinemáticas às deformações registradas na área é o aparecimento de porfiroblastos poiquiloblásticos de alguns minerais, sem orientação preferencial definida. Dentre estes minerais, destaca-se a moscovita, cuja presença já havia sido interpretada por Coutinho (1972, p. 89) como resultado de "afluxo limitado de potássio em condições abrandadas de pressão dirigida".

A Fotomicrografia 3h mostra um porfiroblasto (centimétrico na amostra) de diopsídio englobando outros minerais, cujo caráter é pós-cinemático a F_3 . Suas inclusões são de flogopita, quartzo e feldspato, numa rocha cálcio-silicática da zona de borda do Granito Taipas. Trata-se de um hornfels cálcio-silicático.

METAMORFISMO REGIONAL Na região estudada, as rochas do Grupo São Roque foram afetadas por metamorfismo regional, bem como metamorfismo de contato de âmbito restrito. O metamorfismo regional ocorreu em duas etapas distintas. A primeira iniciou-se juntamente com a fase de dobramento F_1 e acompanhou a criação da clivagem ardosiana e da xistosidade. Corresponde ao evento MS_1 . O pico do metamorfismo regional, contudo, não ocorreu durante a época de formação da clivagem ardosiana. Evidências microestruturais revelam que as condições mais drásticas do metamorfismo regional deram-se após a formação da clivagem ardosiana, em condições pós-cinemáticas, permitindo o crescimento de minerais como opacos, granada, estaurolita e sillimanita em xistos porfiroblásticos (evento MP_1). As paragêneses em que esses minerais se incluem chegam a colocar as rochas dentro do grau médio de Winkler (1977). Os anfibolitos da área também se incluem neste grau, embora Gomes *et al.* (1972, p. 250, 251) tenham enfatizado que as associações paragenéticas nestas rochas denunciam um desequilíbrio metamórfico com as demais rochas da região, talvez ligado à própria natureza do material original dos anfibolitos. Por outro lado, a maior parte das rochas da Faixa Jaraguá-Cristais situa-se no intervalo do grau fraco (Fig. 8).

A segunda etapa de metamorfismo regional parece ter ocorrido simultaneamente ou logo em seguida à formação da S_2 , dando origem a bandamento diferenciado. Esta feição é devida provavelmente a fenômenos de dissolução por pressão e redistribuição local de quartzo (evento MS_2). A formação de biotita em agregados de cristais ao redor de porfiroblastos de opacos ocorreu durante MP_2 e tem caráter restrito, pois afeta somente algumas rochas metarenáticas finas. De acordo com Coutinho (1972), o metamorfismo regional do Grupo São Roque deu-se em fácies xisto-verde e almandina-anfibolito. Esse autor caracterizou a série facial dessas rochas como semelhante à encontrada a norte de New Hampshire, que constituiria uma série intermediária, diferente do metamorfismo tipo Barroviano, devido à não-constatação da zona de cianita pelo autor, embora faça referência (Coutinho *op. cit.*, p. 90) a não raros horizontes de "filitos com porfiroblastos, de cloritóide ou cianita, minerais restritos a séries de fácies de mais alta pressão". Tais minerais não foram observados no presente estudo (Fig. 8).

Relações entre metamorfismo e deformação Procurando entrelaçar a história metamórfica na área com os principais eventos de deformação, foi feito um resumo na Tab. 1 para a seqüência de fenômenos descritos nos itens

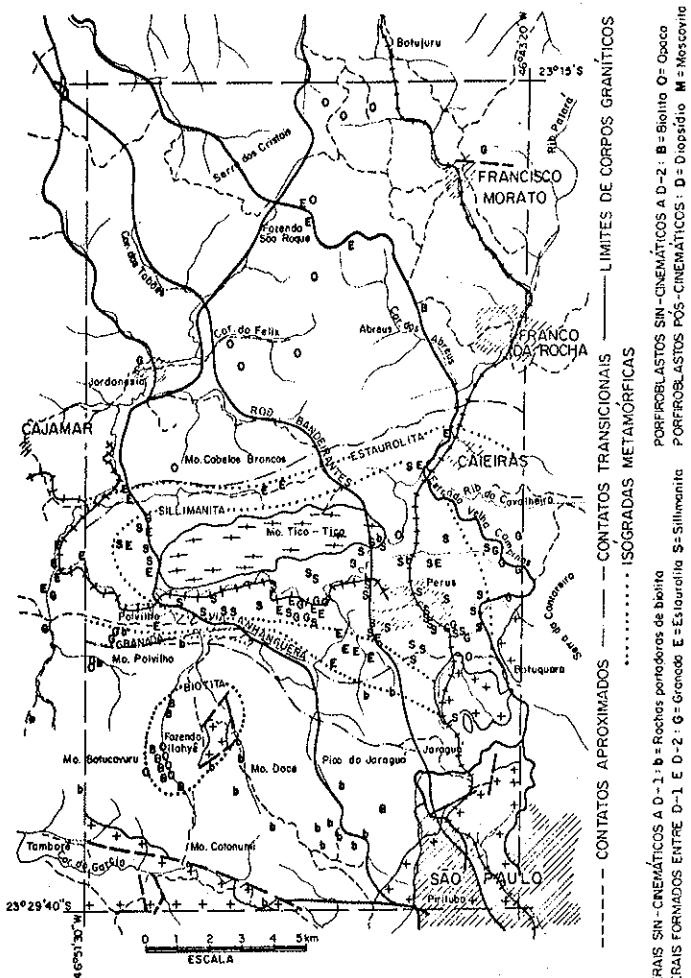


Figura 8 – Minerais-índice de metamorfismo e isógradas

anteriores. A fase F_1 gerou clivagem ardosiana em posição plano-axial a dobras, acompanhada do crescimento de plâcoides e outros minerais (MS_1). O pico do metamorfismo regional sucedeu-se em condições pós-cinemáticas a esta fase F_1 (evento MP_1). O metamorfismo nestas condições permitiu a blastese de opacos, granada, estaurolita e sillimanita (Fig. 8). Pelas evidências coletadas, determinou-se a continuidade deste fenômeno de recristalização metamórfica, pelo menos para a estaurolita, até as etapas iniciais do segundo episódio de dobramento. A fase F_2 foi acompanhada de uma clivagem de crenulação plano-axial às dobras, freqüentemente do tipo zonal. Sincronicamente, ou ao menos guardando relações com os esforços que geraram S_2 , desenvolveram-se agregados de cristais de biotita, ao redor de porfiroblastos de opacos anteriormente formados, em determinados tipos litológicos. A distribuição desses agregados de biotita está subordinado às dobras D_2 , e na Fig. 8 são assinalados com a letra “B”.

A geometria foi novamente modificada, na história estrutural da área, pela terceira fase de dobramento, F_3 , que criou clivagem de crenulação plano-axial, não mais do tipo zonal, tão comum na fase anterior. Esta fase gerou amplas dobras e ondulações nas estruturas regionais, sem estar acompanhada de crescimento metamórfico, com exceção de restrita recuperação de micas em zonas de charneira

de crenulações S_3 , a ocorrência de turmalinização em algumas rochas da área (evento MS_3) e alguma feldspatização em zonas de borda de granitóides (evento MP_3). A sericitização retrometamórfica de alumino-silicatos está presente em algumas amostras estudadas, e sua situação temporal não é clara, tendo sido referida a F_3 , com base na presença de efeitos de turmalinização em algumas dessas rochas. A amostra JC-327 (ver Fig. 1) é um turmalinito que mostra o mineral principal desenvolvido por substituição a outros minerais (micas?), alguns dos quais seriam porfiroblastos titaníferos, pois há poeira de leucoxênio em seu interior. As Fotomicrografias 3a e 3b são de uma rocha rica em turmalina com porfiroblastos de mineral inteiramente sericitizado.

Auréolas de metamorfismo de contato desenvolveram-se em torno dos corpos graníticos, porém com pequena expressão (evento MP_4). Esse metamorfismo de contato afetou os metamorfitos do Grupo São Roque, desenvolvendo hornfels cálcio-silicáticos e xistos termometamórficos em Perus (Franco 1958). Também são conhecidos nas encaixantes efeitos pneumatolíticos e hidrotermais. O conjunto de fenômenos caracteriza essas auréolas como faixas de rochas polimetamórficas similares àquela descrita por Gomes *et al.* (1972) nos anfibolitos do Jaraguá.

A presença de rochas compatíveis com a fácies anfibolito tem sido descrita por diversos autores nas zonas marginais a granitos intrusivos no Grupo São Roque (Hasui *et*

TABELA 1
CRONOLOGIA DE DEFORMAÇÃO E METAMORFISMO DURANTE O PROTEROZOICO SUPERIOR NAS ROCHAS DO GRUPO SÃO ROQUE DA FAIXA JARAGUÁ-CRISTAL

EVENTO DE DEFORMAÇÃO	EVENTO METAMÓRFICO
F_1 - Clivagem ardosiana S_1 bem preservada, embora intensamente afetada por crenulações D_1 . Dobras B_1 mesoscópicas a microscópicas (em geral presentes na forma de dobras intrafoliais). Polaridades de S_1 desconhecidas.	MS_1 - Recristalização de quartzo, mica branca e opacos em metapelitos, bem como outros minerais de metamorfismo regional nas unidades psamíticas, carbonáticas, cálcio-silicáticas ou fágicas.
	MP_1 - Crescimento estático de porfiroblastos de opacos, estaurolita, granada e sillimanita, sucedido por algum crescimento tardio acompanhando o início de D_2 .
F_2 - Clivagem de crenulação S_2 em posição plano-axial de dobras fechadas a cerradas, raramente iso-clinais. Dimensões das dobras variam de centimétricas a hectométricas. Presença de bandamento diferente submilimétrico de caráter marcante em metapelitos. Polaridades variáveis para S_2 .	MS_2 - Solução por pressão e redistribuição local de quartzo. MP_2 - Desenvolvimento em biotita em agregados ao redor de porfiroblastos de opacos. Os agregados são alinhados subparalelamente a S_2 .
F_3 - Clivagem de crenulação S_3 (mais aberta e espaçada que S_2) nas litologias metapélíticas, e clivagem de fratura S_3 nas litologias metapsâmíticas ou anfibolíticas, em posição plano-axial de dobras abertas a fechadas, cujas dimensões são em geral hectométricas. Orientação de S_3 submeridiana a NNE, com uma zona de forte inflexão para E-W e NW na região Itahyé-Timboré.	MS_3 - Alguma recuperação de micas em zonas de charneira de crenulações S_3 . - Desenvolvimento de turmalina em algumas rochas da área e sericitização retrometamórfica de alumino-silicatos. MP_3 - Restrito desenvolvimento de feldspatos em zonas de borda dos granitos da fácies Cantareira.
Deformações tardias - Algumas ondulações de dimensões hectométricas, além de zonas de cisalhamento, crenulações locais e L -bands.	MP_4 - Crescimento estático de diopsídio e alguma minerais metamórficos de contato, junto ao Granito de Taipas.

al. 1969, Coutinho 1972, Gomes *et al.* 1972, Hasui 1973). Tais rochas foram interpretadas por Knecht (1944) e Penalva & Hasui (1970) como devidas a metamorfismo de contato. Todavia, as evidências microestruturais enfraquecem a hipótese, pois o desenvolvimento dos porfiroblastos durante o pico do metamorfismo regional mostra ligação com apenas uma parcela dos tipos de granitos reconhecidos na área, os inequigranulares (Carneiro 1983). Tais condições de metamorfismo estático já não existiriam por ocasião da formação dos granitos tipo Pirituba. Um ponto adicional é o de que corpos graníticos relativamente pequenos, tal como o do Morro do Tico-Tico, em geral não apresentam faixas tão extensas de rochas deste tipo ao redor, acreditando-se tratar-se de rochas de níveis estruturais inferiores trazidas à superfície pelas intrusões graníticas (Hasui *et al.* 1978b).

Metamorfismo dinâmico ocorre associado às falhas transcorrentes. Esse fenômeno é posterior ao metamorfismo regional e afetou rochas metamórficas e granítoides. Seu produto pode ser melhor percebido quando as rochas envolvidas são os granítoides, nos quais se formam brechas tectônicas, protomilonitos e milonitos, derivados do aumento progressivo da intensidade de cataclase.

CONCLUSÕES O estudo de microestruturas na Faixa Jaraguá-Cristais possibilitou rever alguns conceitos sobre o Grupo São Roque, com base principalmente nos caracteres das foliações metamórficas e feições associadas. Foram definidos padrões que devem ser considerados na observação dessas estruturas, em seus diversos aspectos, na escala mesoscópica. A importância desses resultados está na sua ampla gama de aplicações, pois ao se diferenciar foliações, em trabalhos de mapeamento ou em estudos de reconstrução estrutural de uma área, surge um critério bastante seguro para distinguir as diferentes fases de dobramento que afetaram a unidade.

A análise microtectônica teve como principal resultado o reconhecimento de que o pico do metamorfismo regional ultrapassou no tempo o episódio de deformação F₁, gerando, sob condições e litologias específicas, porfiroblastos pós-cinemáticos a S₁, constituídos de opacos, estaurolita, granada e sillimanita. O metamorfismo atingiu as condições de fácies anfibolito. Admite-se que a estaurolita, pelo menos, tenha prolongado seu desenvolvimento até as deformações iniciais que geraram as crenulações S₂. Durante F₂, agregados de biotita desenvolveram-se ao redor de porfiroblastos de opacos em algumas rochas metarenáticas. Não se conhecem porfiroblastos sincrônicos a F₃, mas um evento de turmalinização parece ter acompanhado intrusões granítoides durante esta fase. Fenômenos metamórficos de caráter pós-F₃ são evidentes em litologias cálcio-silicáticas ao redor do Granito Taipas, como efeito das intrusões dos granitos turmaliníferos e pegmatitos de Perus.

Agradecimentos Os autores desejam expressar seus agradecimentos ao Prof. Dr. Rudolph A. J. Trouw pelas proveitosa discussões sobre a interpretação das microestruturas. Importante colaboração nesse sentido foi também dada pelo Prof. Dr. Yociteru Hasui, orientador do trabalho, e pelo Geólogo Atsushi Suemitsu. O apoio institucional, dado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo — IPT, foi fundamental para a realização do presente trabalho; da mesma forma, a viabilização do projeto foi possível graças ao apoio oferecido à tese elaborada pelo primeiro Autor, pelo Programa de Desenvolvimento de Recursos Minerais — PRÓ-MINÉRIO, da Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo — SICCT.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. F. M. de; HASUI, Y.; PONÇANO, W. L.; DANTAS, A. S. L.; CARNEIRO, C. D. R.; MELO, M. S. de; BISTRICHI, C. A. — 1981 — *Mapa Geológico do Estado de São Paulo*, escala 1:500.000. São Paulo, IPT, vol. 1, nota explicativa (IPT, Monografias, 6).
- BISTRICHI, C. A.; CARNEIRO, C. D. R.; DANTAS, A. S. L.; PONÇANO, W. L.; CAMPANHA, G. A. C.; NAGATA, N.; ALMEIDA, M. A.; STEIN, D. P.; MELO, M. S. de; CREMONINI, O. A.; HASUI, Y.; ALMEIDA, F. F. M. de — 1981 — *Mapa Geológico do Estado de São Paulo*, escala 1:500.000. São Paulo, IPT. v. 2 (IPT, Monografias, 6).
- BORRADALE, G. J.; BAYLY, M. B.; POWELL, C. McA. — 1982 — *Atlas of deformational and metamorphic rock fabrics*. Berlin, Springer-Verlag, 551 p.
- CARNEIRO, C. D. R. — 1983 — *Análise Estrutural do Grupo São Roque na faixa entre o Pico do Jaraguá e a Serra dos Cristais, SP* (Tese de Doutorado, Inst. Geoc. USP, 155 p., inédito).
- CARNEIRO, C. D. R.; COUTINHO, J. M. V.; SUEMITSU, A.; RODRIGUES, E. P. — 1984a — Relações geométricas e temporais de eventos magnéticos no Grupo São Roque a partir da descoberta de rochas metavulcânicas e da aplicação de critérios estruturais. In: CONGR. BRAS. GEOL., 33, Rio de Janeiro, 1984. *Anais...* Rio de Janeiro, SBG. v. 7, p. 3196-3211.
- CARNEIRO, C. D. R.; HASUI, Y.; DANTAS, A. S. L. — 1984b — Contribuição ao estudo da litoestratigrafia do Grupo São Roque na faixa Jaraguá-Cristais, SP. In: CONGR. BRAS. GEOL., 33, Rio de Janeiro, 1984. *Anais...* Rio de Janeiro, SBG. v. 7, p. 3212-3226.
- CARNEIRO, C. D. R.; HASUI, Y.; NAGATA, N.; LIMA, M. O. de — 1984c — Padrões de superposição de estruturas do Grupo São Roque na faixa Jaraguá-Cristais, SP. *Rev. Bras. Geoc.* (submetido para publicação).
- CORDANI, U. G. & KAWASHITA, K. — 1971 — Estudo geocronológico pelo método Rb/Sr de rochas graníticas intrusivas no Grupo Açungui. In: CONGR. BRAS. GEOL., 25, São Paulo, 1971. *Anais...* São Paulo, SBG. v. 1, p. 105-110.
- CORDANI, U. G. & TEIXEIRA, W. — 1979 — Comentários sobre as determinações geocronológicas existentes para as regiões das folhas Rio de Janeiro, Vitória e Iguape. In: SCHOBENHAUS FILHO, C. (Coord.), *Carta geológica do Brasil ao milionésimo*, folhas Rio de Janeiro (SF-23), Vitória (SF-24), e Iguape (SG-23). Brasília, DNPM. p. 175-207.
- CORDANI, U. G.; CAMPOS, A. C. R.; DAVINO, A.; BJORNBERG, A. — 1961 — Geologia da região do Jaraguá, SP. *Bol. Soc. Bras. Geol.*, São Paulo, 10 (2) : 72-91.

- CORDANI, U. G.; GOMES, C. B.; GIRARDI, V. A. V. – 1963 – Rochas cálcio-silicatadas da região de Perus – SP. *An. Acad. bras. Ciênc.*, Rio de Janeiro, 35, 361-372.
- COUTINHO, J. M. V. – 1968 – *Petrologia do Pré-Cambriano em São Paulo e arredores*. São Paulo (Tese apresentada ao concurso Prof. Catedrático em Petrologia da Fac. Fil. Ciênc. Letr. USP).
- COUTINHO, J. M. V. – 1972 – Petrologia do Pré-Cambriano em São Paulo e arredores. *Bol. I.G.*, São Paulo, 3:5-100.
- COUTINHO, J. M. V. & TAKEDA, F. K. – 1955 – Metaconglomerado e rochas associadas no município de São Paulo. *Bol. Fac. Filos. Ciênc. Letr.*, USP, São Paulo, (186): 5-47. (Mineralogia, 13).
- DERBY, O. A. – 1878 – A geologia da região diamantífera da província do Paraná no Brasil. *Archivos do Museu Nacional*, Rio de Janeiro, 3: 89-86.
- EMPRESA METROPOLITANA DE PLANEJAMENTO DA GRANDE SÃO PAULO (EMPLASA) – 1980 – *Mapa Geológico da Grande São Paulo*, escala 1:100 000. São Paulo (2 folhas).
- FIGUEIREDO, M. C. H.; BERGMANN, M.; PENALVA, F.; TASSINARI, C. C. G. – 1982 – Ocorrência de "pillow-lavas" no Grupo São Roque, Estado de São Paulo. *Ciências da Terra*, (2):6-8.
- FRANCO, R. R. – 1958 – Contribuição ao conhecimento das rochas termometamórficas da Série São Roque. *Bol. Fac. Fil. Ciênc. Letr.*, USP, (189): 1-81. (Mineralogia, 14).
- GOMES, C. B. – 1962 – Contribuição ao conhecimento dos anfibolitos da região do Jaraguá. *Bol. Soc. Bras. Geol.*, 11 (1): 57-78.
- GOMES, C. B. – 1971 – *Polimetamorfismo dos anfibolitos de Jaraguá, São Paulo*. São Paulo (Tese apresentada ao Inst. Geoc. USP).
- GOMES, C. B.; OOSTERWYCK-GASTUCHE, M. C. VON; DUTRA, C. V. – 1972 – Anfibólitos do corpo anfibolítico do Jaraguá, SP. *Rev. Bras. Geoc.*, 2 (4): 236-259.
- GOMES, C. B.; DUTRA, C. V.; OOSTERWYCK-GASTUCHE, M. C. VON – 1968 – Variações químicas nas hornblendas do corpo anfibolítico do Jaraguá, SP. In: CONGR. BRAS. GEOL., 22, Belo Horizonte, 1968. *Res. Com.*, Belo Horizonte, SBG, p. 4.
- GOMES, C. B.; SANTINI, P.; DUTRA, C. V. – 1964 – Petrochemistry of a precambrian amphibolite from the Jaraguá area, São Paulo, Brasil. *J. Geol.*, 72:664-680.
- GRAY, D. R. – 1977 – Some parameters which affect the morphology of crenulation cleavages. *J. Geol.*, 85:763-780.
- HASUI, Y. – 1963 – Sobre os granitos turmaliníferos de Perus–SP. *Bol. Soc. Bras. Geol.*, 12(1-2): 87-108.
- HASUI, Y. – 1973 – *Tectônica da área das folhas de São Roque e Pilar do Sul*. São Paulo (Tese de Livre-Docência apresentada ao Inst. Geoc. USP).
- HASUI, Y. – 1975 – Evolução polifásica do Pré-Cambriano a oeste de São Paulo. *Bol. I.G.*, São Paulo, 6:95-108.
- HASUI, Y. & SADOWSKI, G. R. – 1976 – Evolução geológica do pré-cambriano na região sudeste do Estado de São Paulo. *Rev. Bras. Geoc.*, 6(3): 182-200.
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; BISTRICHI, C. A. – 1978 – Os granitos e granitóides da região de dobramentos sudeste nos Estados de São Paulo e Paraná. In: CONGR. BRAS. GEOL., 30, Recife, 1978. *Anais...* Recife, SBG, v. 6, p. 2579-2593.
- HASUI, Y.; PENALVA, F.; HENNIES, W. T. – 1969 – Geologia do Grupo São Roque. In: CONGR. BRAS. GEOL., 23, Salvador, 1969. *Anais...* Salvador, SBG, p. 101-134.
- HOBBS, B. E.; MEANS, W. D.; WILLIAMS, P. F. – 1976 – *An outline of structural geology*. New York, John Wiley, 571p.
- KNECHT, T. – 1943 – Staurolita da Série São Roque. *O IGG*, São Paulo, 1(2): 165-168.
- KNECHT, T. – 1944 – Sillimanita no Km 20 da Via Anhangüera. *O IGG*, São Paulo, 2(2): 129-132.
- MORAES REGO, L. F. de – 1930a – Golpe de vista sobre os recursos minerais de São Paulo. *Bol. de Agricultura*, São Paulo, (9/50): 885-925 (Série, 31).
- MORAES REGO, L. F. de – 1930b – Estados de São Paulo e Paraná. In: SFPM – *Relatório Anual do Diretor*, 1929. Rio de Janeiro, Serv. Fom. Prod. Min., 1930.
- MORAES REGO, L. F. – 1933 – *Contribuição ao estudo das formações pré-devonianas de São Paulo*. São Paulo, Inst. Astron. Geogr., 43p.
- ODMAN, O. H. – 1945 – A Pre-Cambrian conglomerate with pebbles of deep-seated rocks near São Paulo, Brazil. *Min. Met.*, (121): 32.
- PENALVA, F. & HASUI, Y. – 1970 – A intrusão granítica dos morros Grande e do Tico-Tico, Município de Caiéiras, SP. *An. Acad. bras. Ciênc.*, 42(4): 725-730.
- POWELL, C. McA. – 1979 – A morphological classification of rock cleavage. *Tectonophysics*, 58: 21-34.
- SPRY, A. – 1969 – *Metamorphic Textures*. Oxford, Pergamon, 350p.
- WHITE, S. H. & KNIPE, R. J. – 1978 – Microstructure and cleavage development. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 66: 165-174.
- WILLIAMS, P. F. – 1972 – Development of metamorphic layering and cleavage in low-grade metamorphic rocks at Bermagui, Australia. *Am. J. Sci.*, 272: 1-47.
- WINKLER, H. G. F. – 1977 – *Petrogênese das rochas metamórficas*. Tradução Carlos Burger Jr., Porto Alegre, Ed. Blücher/Co-edições URGS, 254p.

MANUSCRITO

Recebido em 18 de julho de 1984
Revisão aceita em 10 de setembro de 1984

O cientista subdesenvolvido não gosta de citar os seus compatriotas.

Newton Freire-Maia, Ciência e Cultura, 35(5): p. 561.