

## METAMORFISMO TERMAL DOS MÁRMORES DE CAÇAPAVA DO SUL, RS.

Olavo José Bortolotto

Departamento de Geociências. Centro de Ciências Naturais e Exatas. UFSM. Santa Maria, RS.

## RESUMO

A região de Caçapava do Sul, no Estado do Rio Grande do Sul, é caracterizada pela ocorrência de um batólito granítico (Granito Caçapava) que é circundado por um cinturão de metamorfitos pertencentes ao Grupo Porongos e atribuído ao Prê-Cambriano Superior por RIBEIRO et alii (1966). Entre os metamorfitos ocorre um corpo de rochas carbonatadas de aspecto lenticular, com contatos nítidos, interpenetrado por apófises graníticas e com um afloramento de aproximadamente 17 km<sup>2</sup>.

O estudo do metamorfismo demonstra que estas rochas foram termicamente afetadas pelo Granito Caçapava e apófises, o que é evidenciado pelo zoneamento metamórfico que vai da fácies piroxênio hornfels, nas imediações do contato, até a fácies albita-epídoto hornfels, em posições mais distais.

A estrutura geralmente isotrópica, a preservação do polimorfo ortoclásio, a contemporaneidade do granito e suas encaixantes (Ciclo Brasileiro) e tendo em vista que as rochas encaixantes pertencem à fácies xistos verdes (BITENCOURT, 1983), são fatos que evidenciam a colocação relativamente rasa do Granito Caçapava e permitem estimar as temperaturas do apogeu metamórfico em torno de 560°C.

A pressão total e a pressão da fase fluida foram estimadas em 1.000 bárias, valor compatível com o alojamento raso (3 a 4 km) do Granito Caçapava.

A análise do metamorfismo destas rochas, feita com base em diagramas T - X<sub>CO<sub>2</sub></sub> para o sistema CaO-MgO-SiO<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O, evidenciou paragêneses tanto de equilíbrio como de desequilíbrio, feição compatível com a natureza do "magma granítico Caçapava" que não favoreceu uma distribuição térmica homogênea e de longa duração.

## SUMMARY

BORTOLOTTI, O.J., 1988. Thermal metamorphism of marbles from Caçapava do Sul, RS, Southern Brazil. *Ciência e Natura*, 10:25-48.

The Caçapava do Sul region, State of Rio Grande do Sul, is characterized by the occurrence of a granitic batholith (Caçapava Granite) that is surrounded by a belt of metamorphites belonging to the Porongos Group, assigned to Upper Precambrian by RIBEIRO et alii (1966). Among the metamorphites occur a carbonatic rock body, lens shaped, with clear contacts, interpenetrated by granitic apophyses and with an outcrop of about 17 km<sup>2</sup>.

The study of the metamorphism showed that these rocks were affected termically by the Caçapava Granite and its apophises, as become evident by the metamorphic zonation in rocks belonging to a Piroxene Hornfels Facies, near the contact, and Albita-Epidoto Hornfels Facies, placed farther away.

The structure generally isotropic, the preservation of the polimorphous orthoclase, the contemporariness of the granitic body and its wall rocks (Brazilian Cicle) and having in view that the wall rocks belong to a Green Schists Facies (BITENCOURT, 1983), make evident the shallow emplacement of the Caçapava Granite and allow to estimate the highest metamorphic temperatures at about 560°C.

The total pressure and the pressure of fluid phase were estimated at 1.000 bars, which also conforms to the shallow emplacement (3 - 4 km) of the granitic body.

The analyses of the metamorphism of these rocks, based on T - X<sub>CO<sub>2</sub></sub> diagrams for the CaO-MgO-SiO<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O system, maked evident equilibrium and disequilibrium paragenesis which conforms to the Caçapava granitic magma that didn't favour an homogeneous termic distribution and of long duration.

#### INTRODUÇÃO

A região de Caçapava do Sul, no Estado do Rio Grande do Sul, sempre manteve sua notoriedade pela riqueza de rochas carbonatadas que apresenta. Exploradas para a fabricação de corretivos da acidez do solo, as "caieiras", como são chamados os locais de exploração, distribuem-se em vários pontos, próximo à cidade, e impulsionam o progresso da mesma.

Devido à grande importância do papel desempenhado pelos "calcários" naquela região e pelo fato de se encontrarem em contato com o Granito Caçapava, resolveu-se desenvolver um estudo que, além de caracterizar mineralogicamente as referidas rochas (BORTOLOTTI, 1986, 1987) tentasse elucidar sua história geológica, no que tange ao metamorfismo, e suas relações de contato com o corpo granítico, contribuindo, assim, com os estudos da geologia regional.

#### LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

As rochas carbonatadas, objeto deste estudo, localizam-se entre os paralelos 30° 30' e 30° 36' LS, ao longo do meridiano 53° 25' WGr. Perfazem uma área de cerca de 17 km<sup>2</sup> localizada à SE da cidade de Caçapava do Sul, RS. (Figuras 1, 1a e 2).

A principal rodovia que dá acesso à região é a BR-392. Pequenas estradas municipais recortam-na em várias direções, conduzindo aos locais onde se efetuam as coletas de material para fins econômicos.

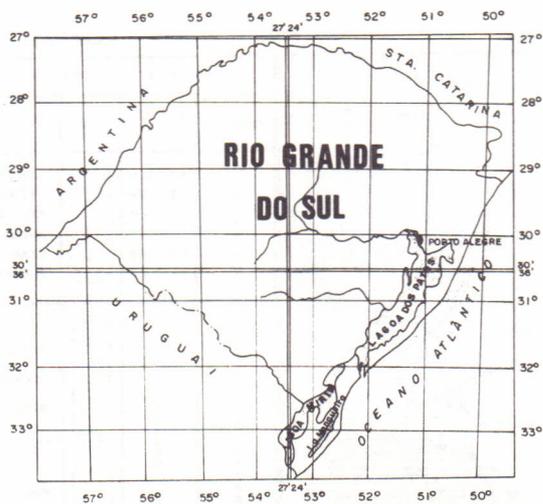


Figura 1 - Localização geográfica da área de ocorrência dos mármore dolomíticos impuros da região de Caçapava do Sul, RS.

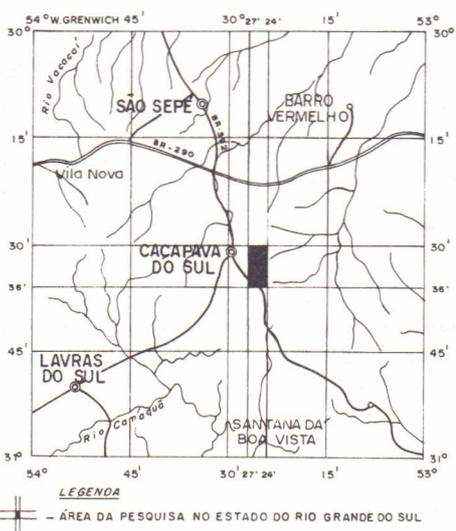


Figura 1a - Posição da área de ocorrência dos mármore dolomíticos impuros no grau de Caçapava do Sul, RS.

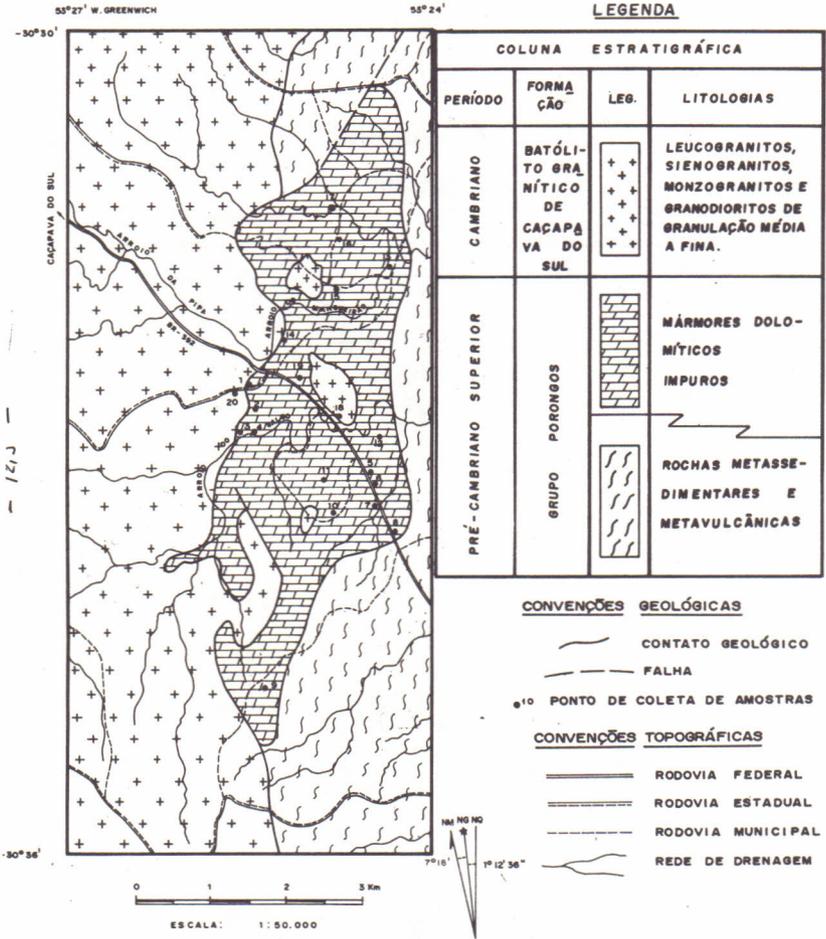


Figura 2 - Mapa geológico da área de ocorrência dos mármore dolomíticos impuros da região de Caçapava do Sul, RS. (Seg. RIBEIRO, 1970, modifi.)

METODOLOGIA

Inicialmente, percorreu-se a região ao longo da rodovia principal (BR-392) e secundárias, para visualizar a extensão do corpo, conferir os contatos e reavaliar o mapa geológico da área. No percurso destas rodovias e utilizando-se, também, de outras menores e mesmo caminhos, foram coletadas amostras de diferentes pontos, tendo-se o cuidado, dentro do possível, de realizar a amostragem em locais próximos e distantes do contato com o corpo principal do granito

e, também, das apófises. Ao todo foram coletadas amostras em vinte pontos diferentes (Figura 2), sendo, posteriormente, encaminhadas para exames mais detalhados.

Macroscopicamente, a cor das rochas foi determinada em comparação com a "Rock Colour Chart" da Geological Society of America.

A petrografia e análise modal foram realizadas em lâminas delgadas com o auxílio do microscópio de polarização e de um contador de pontos adaptável ao mesmo. Para esta última análise, usou-se a técnica descrita em CHAYES (1949) e o número de pontos por secção foi de 1.500.

As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Química do Departamento de Mineralogia e Petrologia do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. Para as determinações químicas utilizaram-se os seguintes métodos analíticos: gravimétrico ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  e perda ao fogo), volumétrico ( $\text{FeO}$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), complexométrico ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  e  $\text{MgO}$ ), colorimétrico ( $\text{MnO}$ ,  $\text{TiO}_2$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) e fotométrico ( $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$ ).

Com o auxílio de uma microsonda eletrônica modelo EMX-SM dos laboratórios do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, foram obtidos dados analíticos referentes à composição dos minerais silicáticos.

Para confirmar a presença de certos minerais silicáticos já observados ao microscópio, algumas amostras foram submetidas à análise por difração de raios X. O teor de alguns elementos traços, como Sr e Ba, foi analisado em rocha total, com equipamento existente no Instituto de Geociências da USP, para fluorescência de raios X.

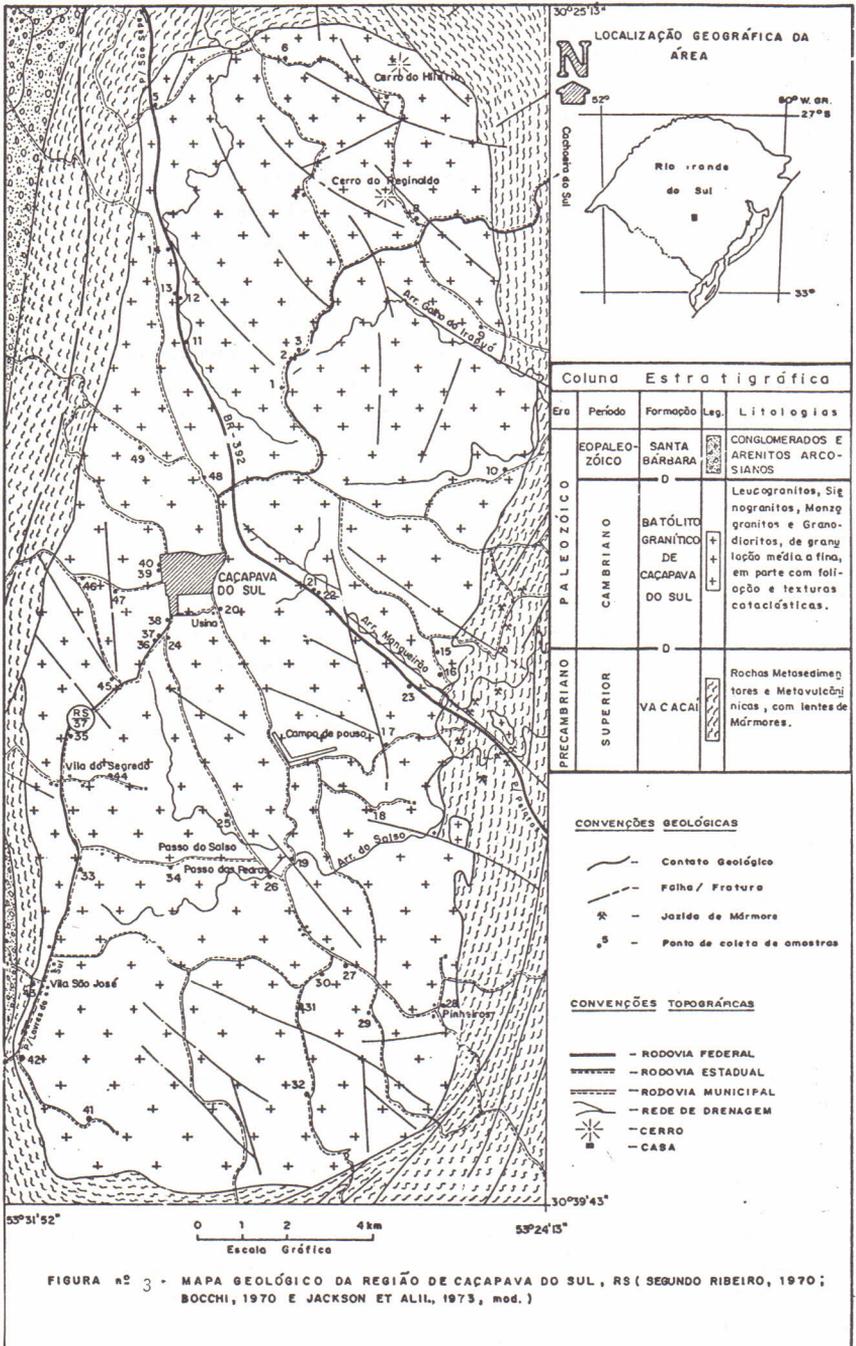
Para melhor visualização e identificação dos minerais carbonáticos, usou-se a técnica de coloração de lâminas delgadas, baseada em HUTCHINSON (1974) e WOLF et alii (1967).

Os resultados de todas estas análises e as tabelas, gráficos e difratogramas encontram-se em BORTOLOTTI (1986 e 1987).

## GEOLOGIA REGIONAL

A região de Caçapava do Sul caracteriza-se, geologicamente, por apresentar um batólito granítico, descrito inicialmente por LEINZ et alii (1941), RIBEIRO et alii (1966) e, mais recentemente, por SARTORI & KAWASHITA (1985). Com a forma aproximadamente dômica e elíptica, mostra seu eixo principal na direção norte-sul e tem cerca de vinte e cinco quilômetros de comprimento por dez quilômetros de largura máxima (Figura 3).

LEINZ et alii (1941) descreveram-no como sendo um batólito típico, provavelmente contemporâneo aos outros (representados pelo Lavras e Ramada), de textura equigranular, mostrando uma cor que varia de rosa a cinza clara e tendo como minerais essenciais: ortoclásio, plagioclásio (25% An), quartzo, biotita e hornblenda.



Em 1966, RIBEIRO et alii constataram uma grande variação na sua textura e mineralogia, propondo a denominação genérica de "Granito Caçapava".

Todas as descrições petrográficas se referem à sua composição heterogênea, sendo constituído por uma variedade de rochas graníticas que vão desde sienogranitos até granodioritos, com predominância de monzogranitos (Figura 4). Diante disso, BITENCOURT (1983) propôs a denominação de Complexo Granítico de Caçapava do Sul.

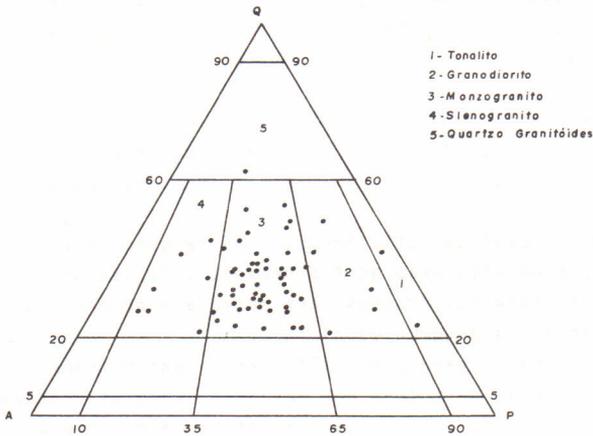


Figura 4 - Diagrama QAP (Streckeisen, 1976) para 65 amostras do Complexo Granítico de Caçapava do Sul. (BITENCOURT, 1983)

SARTORI & KAWASHITA (1985), em trabalho mais recente, afirmam que o referido batólito não constitui um maciço de composição uniforme por apresentar cores variadas que denotam sua heterogeneidade litológica. Descrevem, também, a sua litologia como sendo constituída de tipos petrográficos mais fêlsicos, correspondendo a leucogranitos de coloração rosa-avermelhada, de granitos normais do tipo sieno e monzogranito, que são os predominantes, e de tipos mais básicos representados por granodioritos podendo, em certos locais, gradar para tonalitos.

De acordo com BITENCOURT (1983), este corpo granítico é circundado por um cinturão de metamorfitos que se mostra estreito nos bordos leste e oeste, alargando-se nas extremidades norte e sul. Eles foram classificados por GONI et alii (1962) (in: RIBEIRO et alii, 1966) como pertencentes à Formação Vacacaí que, então, seria composta de xistos, filitos, quartzitos, mármore (calcíticos e dolomíticos), anfibolitos etc.. Estes metamorfitos estão recobertos a NE pelos sedimentos da Formação Rio Bonito e a NW contactam com sedimentos da Formação Maricá (RIBEIRO, 1970). A oeste do batólito,

estes metamorfitos apresentam uma faixa aflorante com aproximadamente 2 km sendo recobertos por sedimentos da Formação Santa Bárbara. A leste, os metamorfitos ocorrem, também, em faixa relativamente estreita, com cobertura de rochas vulcânicas e sedimentares do Grupo Bom Jardim. Ao sul, se alongam e infletem no sentido SW até a região de Lavras do Sul, tendo seus flancos recobertos por formações eopaleozóicas vulcânicas e sedimentares.

RIBEIRO (1970) afirma que as bordas norte, leste e sul do Granito Caçapava mostram relações de contato típicas de intrusão com a Formação Vacacaí (metamorfitos), relações estas que se refletem tanto no aspecto estrutural (arqueamento, deformação) como faciológico (tipo de rocha).

Dentre os metamorfitos da borda leste do batólito granítico, situa-se um corpo de rochas carbonatadas, de aspecto lenticular e interpenetrado por apófises graníticas. Os contatos são nítidos (Figura 2).

Nos locais dos afloramentos, as feições estruturais caracterizam-se por um alto grau de fraturamento, impossibilitando, assim, o uso das referidas rochas para materiais de construção que exigam blocos inteiros de grandes dimensões.

São comuns bandas milimétricas a centimétricas, irregulares e descontínuas, de colorações variadas, como esverdeadas, acinzentadas, verde-acinzentadas e avermelhadas. São raras as estruturas completamente maciças.

A sua textura é predominantemente granoblástica, onde os grãos de modo geral equidimensionais, apresentam bordos que variam de retilíneos até serrilhados ou crenulados. Às vezes, entretanto, pode-se observar, dentro da própria textura granoblástica, dois tamanhos de grãos, sendo os maiores totalmente envolvidos pelos menores (BORTOLOTTI 1987 - Fotomicrografia 6).

#### ANÁLISE DO METAMORFISMO

Os estudos mineralógicos e petrográficos evidenciaram, para os mármore da região de Caçapava do Sul, RS., as associações listadas na Tabela I.

Como dolimita, calcita e quartzo são minerais da fase pré-metamórfica que permanecem ainda, em maior ou menor quantidade, elaborou-se a Tabela II, onde estão representadas, de modo mais simplificado, as associações mineralógicas dos tipos petrográficos estudados.

Alguns minerais listados na Tabela II, entretanto, não fornecem indicações precisas sobre o grau metamórfico, caso específico da flogopita e clorita magnésiana, minerais estáveis desde brandas até enérgicas condições metamórficas (TROMMSDORF & SCHWANDER, 1969).

A presença de flogopitas e cloritas magnésianas, nas rochas

carbonáticas que fazem parte das encaixantes do Granito Caçapava, é fruto da existência de impurezas químicas nestas rochas, caso específico do Al (clorita magnésiana) e do K (flogopita), conforme revelam os dados químicos (BORTOLOTTI, 1987 - Tabela VII, pg. 57).

TABELA I - ASSOCIAÇÕES MINERALÓGICAS DAS AMOSTRAS DE MÁRMORES DE CAÇAPAVA DO SUL.

Dolomita-calcita-quartzo-talco-flogopita-clorita (C-13b)
Dolomita-calcita-talco-flogopita-clorita (C-17f)
Calcita-talco-tremolita (C-7)
Dolomita-calcita-talco-tremolita (C-6; C-8)
Dolomita-calcita-talco-tremolita-flogopita-clorita (C-5b)
Dolomita-calcita-talco-tremolita-flogopita (C-5f)
Dolomita-calcita-titanita-talco-tremolita-flogopita-clorita (C-17c)
Dolomita-calcita-quartzo-talco-tremolita-flogopita-clorita (C-17e)
Dolomita-calcita-tremolita (C-5c)
Dolomita-calcita-tremolita-flogopita (C-5d)
Dolomita-calcita-apatita-tremolita-flogopita (C-12a)
Dolomita-calcita-apatita-tremolita-diopsídio-flogopita (C-14a <sub>2</sub> )
Dolomita-calcita-forsterita (C-9c)
Dolomita-calcita-quartzo-forsterita-flogopita (C-14a <sub>1</sub> )
Dolomita-calcita-apatita-forsterita-flogopita (C-15a)
Dolomita-calcita-tremolita-diopsídio-forsterita-flogopita-clorita (C-1)
Dolomita-calcita-tremolita-diopsídio-forsterita-flogopita (C-9e)
Dolomita-calcita-tremolita-diopsídio-forsterita (C-10)
Dolomita-calcita-talco-tremolita-forsterita-clorita (C-9f)
Dolomita-calcita-quartzo-talco-diopsídio-forsterita-flogopita (C-19)
Dolomita-calcita-flogopita-clorita (C-9d)
Dolomita-calcita-quartzo-flogopita-clorita (C-12b; C-13c)

TABELA II - REPRESENTAÇÃO SIMPLIFICADA DAS ASSOCIAÇÕES MINERALÓGICAS DOS MÁRMORES DE CAÇAPAVA DO SUL.

-	-	-	-	F1	C1	-	Do	Cc	Qz	etc. (*)
Tc	Tr	-	-	-	-	-	Do	Cc	Qz	etc.
Tc	Tr	-	-	F1	-	-	Do	Cc	Qz	etc.
Tc	Tr	-	-	F1	C1	-	Do	Cc	Qz	etc.
Tc	-	-	-	F1	C1	-	Do	Cc	Qz	etc.
-	Tr	-	-	-	-	-	Do	Cc	Qz	etc.
-	Tr	-	-	F1	-	-	Do	Cc	Qz	etc.
-	Tr	Di	-	F1	-	-	Do	Cc	Qz	etc.
-	-	-	Fo	-	-	-	Do	Cc	Qz	etc.
-	Tr	Di	Fo	-	-	-	Do	Cc	Qz	etc.
-	-	-	Fo	F1	-	-	Do	Cc	Qz	etc.
Tc	Tr	-	Fo	-	C1	-	Do	Cc	Qz	etc.
-	Tr	Di	Fo	F1	-	-	Do	Cc	Qz	etc.
Tc	-	Di	Fo	F1	-	-	Do	Cc	Qz	etc.
-	Tr	Di	Fo	F1	C1	-	Do	Cc	Qz	etc.

(\*) minerais detríticos (apatita, titanita, etc.) presentes originalmente nas rochas carbonáticas sedimentares.

A natureza fortemente magnésiana das cloritas presentes nas amostras estudadas, foi confirmada por características ópticas

(cor de interferência anômala) e através de análises químicas por microsonda eletrônica (BORTOLOTTI, 1987 - Tabela V, pg. 56). A riqueza em Mg, destas cloritas, é enfatizada pela coexistência das mesmas com anfibólios e, também, piroxênios e olivinas fortemente magnesianas.

A presença de flogopita, opticamente de difícil distinção de outras micas brancas, igualmente foi detectada por microsonda eletrônica, além da difratometria de raios X.

Face a estas considerações, na Tabela III são visualizadas apenas as associações mineralógicas do sistema Do-Cc-Qz consideradas críticas, do ponto de vista petrológico, para os mármore de Caçapava do Sul, e sua representação espacial faz-se através da Figura 5.

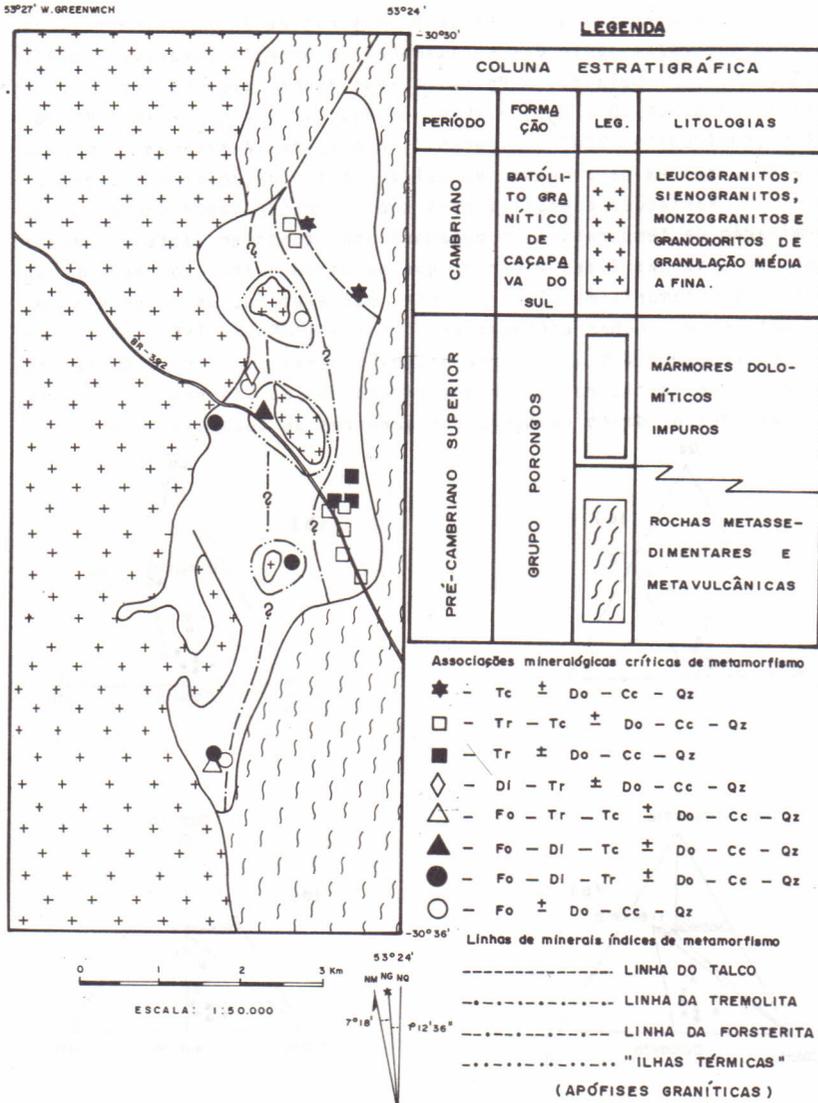
TABELA III - REPRESENTAÇÃO SIMPLIFICADA DAS ASSOCIAÇÕES MINERAIS CRÍTICAS, DOS MÁRMORES DE CAÇAPAVA DO SUL, RS.

Talco	Tremolita	Diopsídio	Forsterita	Simbologia
X				★
X	X			□
	X			■
	X	X		◇
X	X		X	△
X		X	X	▲
	X	X	X	●
			X	○

BUCHER-NURMINEM (1982), HOVER GRANATH et alii (1983) e LATTANZI et alii (1980), estudando áreas semelhantes, lançaram em seus mapas os pontos referentes às associações mineralógicas encontradas. Para isto, utilizaram simbologias que facilitassem a identificação e o traçado, pelo menos aproximado, dos limites térmicos. Com base nestes trabalhos e adotando simbologias, tentou-se, também, determinar os limites térmicos para os mármore de Caçapava do Sul, o que pode ser visualizado na Figura 5.

#### Composição da rocha

A análise do metamorfismo de rochas carbonatadas (WILLIAM et alii, 1954; TURNER, 1968, 1981; SKIPPEN, 1971, 1974; MIYASHIRO, 1975; WINKLER, 1977) revela que este processo é comandado pela constituição inicial da rocha, temperatura, pressão e composição da fase fluida.



**Figura 5 - Mapa de localização de assembléias mineralógicas críticas, ao longo da área de ocorrência dos mármore de Caçapava do Sul, com o traçado das linhas de minerais índices de metamorfismo.**

A composição da rocha é um fator fundamental do metamorfismo. Fixados os demais parâmetros (P, T e composição da fase fluida), a mineralogia das rochas metamórficas se modifica sistematicamente

com a variação química do material pré-metamórfico.

As análises químicas de 9 amostras de rochas carbonáticas impuras que fazem parte das encaixantes do Granito Caçapava (BORTOLOTTI, 1987 - Tabela VII - Pg.57) e seus dados lançados nos gráficos:  $1/3 \text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - (\text{CaO} + \text{MgO})$ ,  $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{MgO} + \text{FeO})$  e ACF (BORTOLOTTI, 1987 - Figuras 7, 8 e 9, respectivamente, pgs. 60, 61 e 62), servem para melhor visualizar a flutuação composicional.

Variações composicionais são de grande importância na determinação da temperatura do metamorfismo, tendo em vista o aparecimento de diversas fases minerais que permitem melhor conhecer as condições de metamorfismo. Considere-se, por exemplo, os triângulos paragenéticos de rochas carbonáticas impuras (TURNER, 1968, 1981), onde são representadas as diversas fases mineralógicas resultantes do metamorfismo destas rochas, representados pelas Figuras 6 e 7. Nelas são lançados os dados químicos dos mármore de Caçapava do Sul.

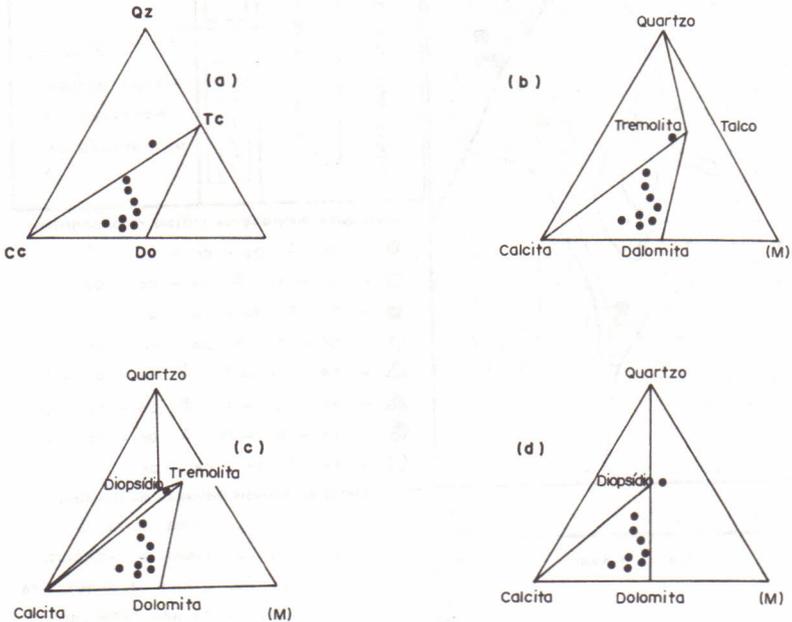


Figura 6 - Dados químicos ( $\text{CaO} - \text{MgO} - \text{SiO}_2$ ) dos mármore de Caçapava do Sul, lançados no diagrama triangular Cc-Do-Qz de TURNER, 1968, 1981.

$$(P_{\text{H}_2\text{O}} = P_{\text{CO}_2} = P_{\text{total}} = 1 \text{ b\bar{a}ria})$$

Comparando-se as associações mineralógicas descritas no item anterior, observa-se que muitas delas coincidem com as associações teóricas representadas nas Figuras 6 e 7, ressaltando-se, principalmente, os campos Cc-Do-Tc, Cc-Do-Tc-Tr, Cc-Do-Tr-Di e Cc-Do-Di-Fo, não tendo sido encontradas parageneses com wollastonita e nem

com monticelita.

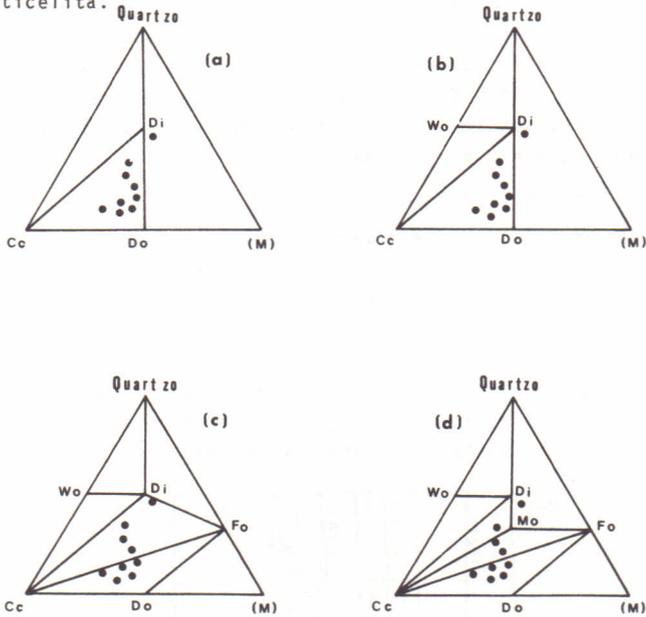


Figura 7 - Dados químicos ( $\text{CaO} - \text{MgO} - \text{SiO}_2$ ) dos mármore de Caçapa va do Sul, lançados no diagrama triangular Cc-Do-Qz de TURNER, 1968, 1981.

$$P_{\text{CO}_2} = P_{\text{total}} = 1 \text{ b\`aria}$$

Na Figura 8 são visualizados os números das amostras analisadas e a sua localização no interior do diagrama triangular.

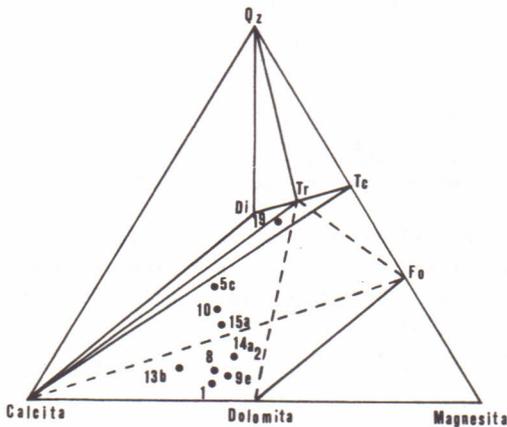


Figura 8 - Dados químicos ( $\text{CaO} - \text{MgO} - \text{SiO}_2$ ) dos mármore de Caçapa va do Sul, lançados no diagrama triangular Cc-M-Qz.

Segundo TURNER (1968, 1981) a pressões parciais de  $\text{CO}_2$  de 1 bária, as associações descritas desenvolvem-se num intervalo de temperatura de  $190^\circ\text{C}$  até valores superiores a  $410^\circ\text{C}$ , para as associações com wollastonita. Estes dados, no entanto, são incompletos e tornam-se imprecisos se não forem considerados fatores importantes como a composição e a pressão da fase fluida.

#### *Pressão e Composição da Fase Fluida*

A pressão da fase fluida é parâmetro fundamental no metamorfismo de rochas calcárias impuras. Um aumento desta implica, via de regra, num aumento da temperatura de formação das rochas metamórficas, modificando, conseqüentemente, a mineralogia final. Um exemplo claro é dado pela Figura 9 (WINKLER, 1977) que mostra a influência da pressão da fase fluida na temperatura da reação Cc-Qz-Wo. À medida que aumenta o valor de  $X_{\text{CO}_2}$ , a temperatura necessária para a formação da wollastonita é gradativamente maior.

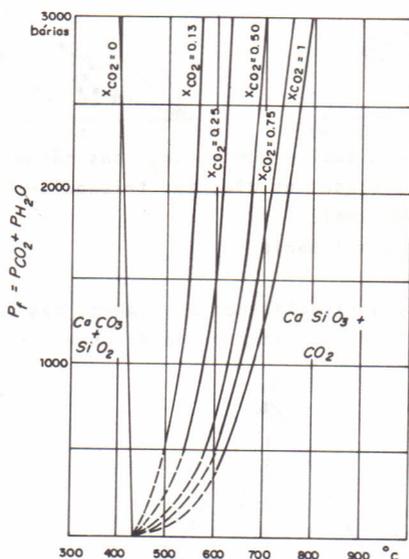


Figura 9 - Diagrama P-T da formação de wollastonita mostrando a influência da pressão da fase fluida na temperatura das reações. (Seg. GREENWOOD, 1967 e HARKER & TUTTLE, 1956; in WINKLER, 1977).

A fase fluida de rochas carbonáticas impuras é composta essencialmente por  $\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{CO}_2$ . A água está presente já no sedimento pré metamórfico (filme intergranular), ao lado da fração resultante da decomposição de minerais hidratados, provocada pelo incremento das condições metamórficas. O  $\text{CO}_2$  é um componente resultante da decomposição

dos carbonatos, em presença de sílica, acentuada pelo aumento da temperatura.

A Figura 10 (TURNER, 1981) mostra a influência, nas reações metamórficas, de uma fase fluida composta somente por  $\text{CO}_2$ , revelando um aumento das temperaturas de reação com o aumento da pressão de  $\text{CO}_2$ . Este caso é, particularmente, importante para as reações de descarbonatação (decomposição dos carbonatos).

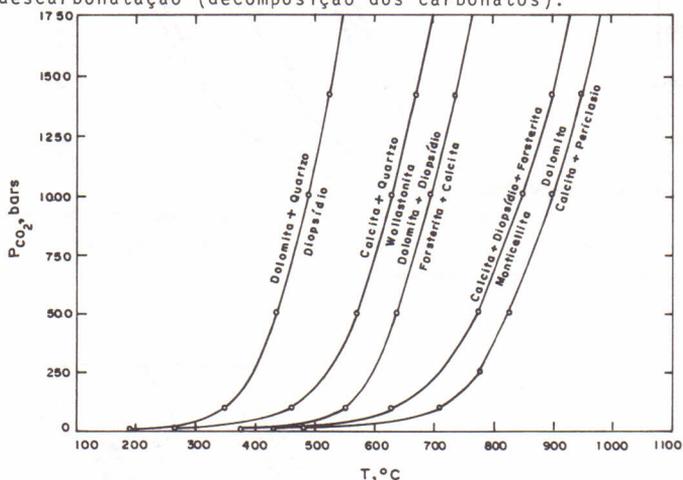


Figura 10 - Curvas de equilíbrio de rochas carbonatadas para determinação de paragêneses no triângulo Cc-Do-Qz (TURNER, 1968, 1981),  $P_{\text{CO}_2}$  Total.

Já as Figuras 11 e 12 (TURNER, 1981) demonstram, para as mesmas rochas (representadas composicionalmente através de um triângulo Cc-Do-Qz), a influência de uma fase fluida composta por  $\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{CO}_2$ , nas temperaturas de geração e decomposição de minerais hidratados, bem como reações de descarbonatação. A influência que a variação da composição da fase fluida exerce na decomposição de carbonatos (calcita), para a formação de um mineral anidro (wollastonita), está representada na Figura 9 (WINKLER, 1977).

#### Interpretação dos dados

A integração dos dados até agora obtidos, permite estabelecer, em linhas gerais, as seguintes interpretações:

#### Interpretação das paragêneses

Em rochas carbonáticas impuras, constituídas essencialmente de Do-Cc-Qz, quando submetidas a metamorfismo crescente, desenvolvem-se, segundo METZ & TROMMSDORFF (1968), basicamente 15 diferentes reações, listadas a seguir:



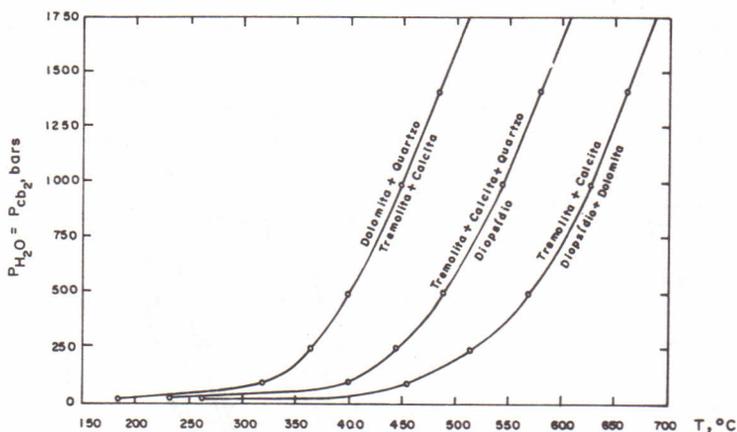


Figura 11 - Curvas de equilíbrio de rochas carbonatadas para determinação de paragêneses no triângulo Cc-Do-Qz (TURNER, 1968, 1981),  $P_{CO_2} = P_{H_2O}$ .

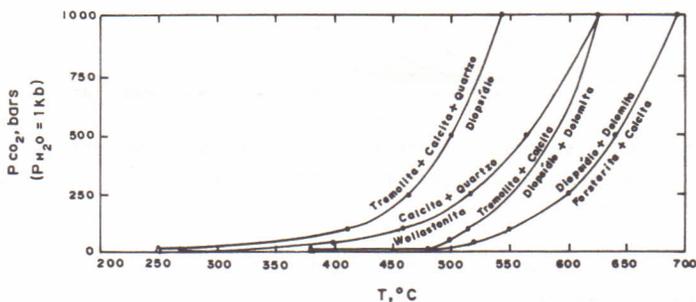


Figura 12 - Curvas de equilíbrio para reações de descarbonatação à pressão constante de água -  $P_{H_2O} = 1 \text{ Kb}$ . (TURNER, 1968, 1981).

- 5 talco + 6 calcita + 4 quartzo = 3 tremolita + 6  $CO_2$  + 2  $H_2O$  (2)
- 2 talco + 3 calcita = 1 tremolita + 1 dolomita + 1  $CO_2$  + 1  $H_2O$  (3)
- 5 dolomita + 8 quartzo + 1  $H_2O$  = 1 tremolita + 3 calcita + 7  $CO_2$  (4)
- 2 dolomita + 1 talco + 4 quartzo = 1 tremolita + 4  $CO_2$  (5)
- 1 tremolita + 3 calcita + 2 quartzo = 5 diopsídio + 3  $CO_2$  + 1  $H_2O$  (6)
- 1 tremolita + 3 calcita = 1 dolomita + 4 diopsídio + 1  $CO_2$  + 1  $H_2O$  (7)
- 1 dolomita + 2 quartzo = 1 diopsídio + 2  $CO_2$  (8)
- 1 talco + 5 dolomita = 4 forsterita + 5 calcita + 5  $CO_2$  + 1  $H_2O$  (9)
- 11 talco + 10 calcita = 5 tremolita + 4 forsterita + 10  $CO_2$  + 6  $H_2O$  (10)
- 1 tremolita + 11 dolomita = 8 forsterita + 13 calcita + 9  $CO_2$  + 1  $H_2O$  (11)
- 13 talco + 10 dolomita = 5 tremolita + 12 forsterita + 20  $CO_2$  + 8  $H_2O$  (12)
- 3 tremolita + 5 calcita = 11 diopsídio + 2 forsterita + 5  $CO_2$  + 3  $H_2O$  (13)
- 1 diopsídio + 3 dolomita = 2 forsterita + 4 calcita + 2  $CO_2$  (14)



Destas reações, as de número (5), (12) e (15) se desenvolvem apenas em rochas com a presença de magnesita-dolomita-quartzo no estágio pré metamórfico.

Estudos experimentais das reações ocorridas em mármore de lomíticos silicosos, em condições de baixa pressão, realizados por SKIPPEN (1971 e 1974), demonstraram que elas ocorrem num intervalo de temperatura entre 350°C e 650°C, a pressões cujo intervalo vai de 500 a 3.000 bárias.

Entre as associações relatadas no trabalho de SKIPPEN(1974), quatro são encontradas na área de Caçapava do Sul, ou sejam:



todas elas contendo Cc + Do.

Antes de prosseguir a análise dos dados ora apresentados, é de fundamental importância o conhecimento da pressão total que, em função dos dados fornecidos por SARTORI & KAWASHITA (1985), pode ser estimada em 1.000 bárias. A partir desse dado e com base na Figura 13 (SKIPPEN, 1974) e Figura 14 (WINKLER, 1977), é possível se conhecer os intervalos de temperatura de formação do talco, tremolita, diopsídido e forsterita, ressaltados na Tabela IV.

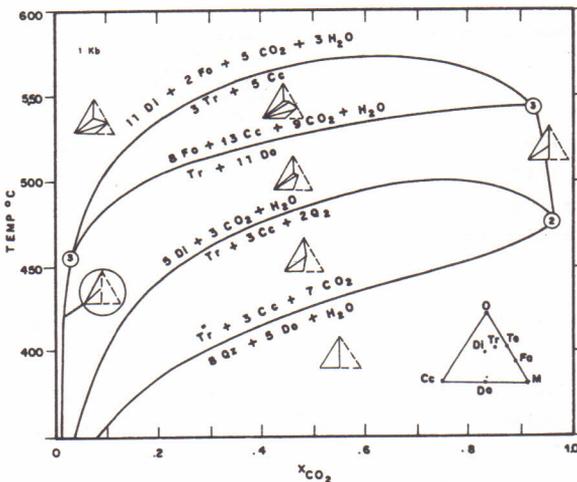


Figura 13 - Diagrama de formação de Tremolita (Tr), Diopsídido (Di) e Forsterita (Fo). Pressão total de 1.000 bárias.  $\text{PCO}_2 + \text{PH}_2\text{O} = \text{P Total}$ . (SKIPPEN, 1974).

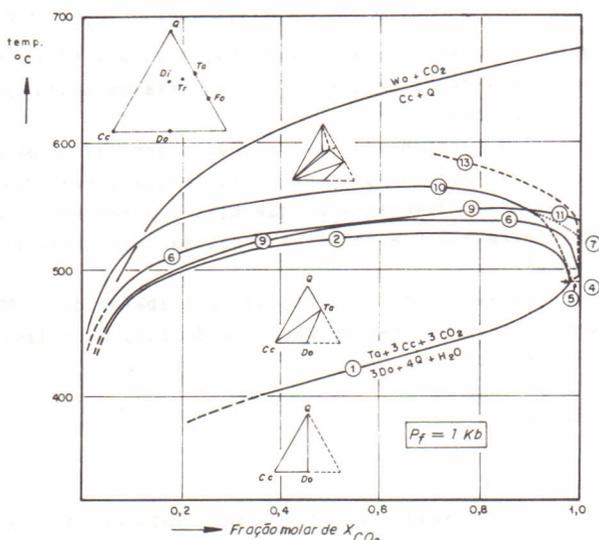


Figura 14 - Diagrama isobárico T -  $X_{CO_2}$  para as reações (1) até (15). As linhas cheias foram determinadas experimentalmente; as interrompidas foram calculadas. (WINKLER, 1977).

TABELA IV - INTERVALO DE TEMPERATURA DE FORMAÇÃO DOS MINERAIS Tc-Tr-Di-Fo À PRESSÃO TOTAL DE 1.000 BÁRIAS E FRAÇÃO MOLAR DE  $X_{CO_2}$  ENTRE 0,2 E 0,8.

MINERAL	TEMPERATURAS	
	MÍNIMA	MÁXIMA
Talco (Tc)	400°C	450°C
Tremolita (Tr)	400°C	450°C
Diopsídio (Di)	450°C	490°C
Forsterita (Fo)	500°C	530°C
Forsterita-Diopsídio	520°C	560°C

*Associações nas quais o talco é o mineral metamórfico de maior temperatura*

A reação (1) é responsável pela paragênese onde o talco é o único mineral metamórfico presente em rochas carbonáticas impuras (Figura 6, a). Esta revela que a associação Cc-Do-Tc foi a que caracterizou a quase totalidade das amostras estudadas, no estágio final do metamorfismo.

Segundo METZ (1970) e METZ & PUHAN (1970 e 1971), a reação (1) processa-se a uma temperatura entre 400°C e 490°C, para pressão total de 1.000 bárias (Figura 14).

*Associações nas quais a tremolita é o mineral metamórfico de maior temperatura*

As paragéneses contendo tremolita como mineral metamórfico de mais alta temperatura, estão representadas na Figura 6 (b).

Tendo em vista que em condições mais brandas a quase totalidade das amostras era constituída por Cc-Do-Tc, é provável que as reações de formação da tremolita, que se tenham desenvolvido, tenham sido as de número (2) e (3).

A formação de tremolita, segundo SKIPPEN (1974), à P<sub>total</sub> de 1.000 bárias, desenvolve-se num intervalo de temperatura de 400°C a 450°C (Figura 13). O diagrama paragenético revela que a esta temperatura a quase totalidade das amostras estudadas era constituída por Tr-Cc-Do.

A associação Tc-Tr, da Tabela 3, indica um excesso de talco em relação à calcita, nas reações consideradas. Entretanto, tal fato não se observa nas lâminas estudadas, todas elas sistematicamente portadoras de calcita. Portanto, como explicação para a existência de um desequilíbrio, podem ser evocadas as seguintes proposições mais plausíveis:

a - Pequena duração do aporte térmico impedindo, assim, o desenvolvimento completo das reações. Tal interpretação é compatível com o caráter intrusivo epizonal do Granito Caçapava que, em tais circunstâncias, está sujeito a um resfriamento rápido.

b - A ausência de um contato físico entre os reagentes envolvidos nas reações consideradas. Possibilidade bastante concreta, conforme BORTOLOTTI (1987).

c - Flutuações locais, ao nível intergranular, na composição, quantidade e pressão parcial da fase fluida (fluido intergranular) devido à liberação de água como decorrência da formação de tremolita a partir do talco.

*Associações nas quais o diopsídio é o mineral metamórfico de maior temperatura.*

Conforme os dados apresentados, a quase totalidade das amostras sob consideração é constituída por Tr-Cc-Do, e a formação de diopsídio ocorreu, provavelmente, segundo as reações (6) e (7).

A existência da associação Di-Tr-Cc (Figura 6, c) mostra, por outro lado, que a fase fluida era constituída por H<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub>, já que no sistema Qz-Cc-Do-CO<sub>2</sub> a associação estável é constituída por Cc-Di-Do.

Observando-se, outrossim, a Figura 7 (b), fica perfeitamente explicada a ausência de tipos portadores de wollastonita, mineral metamórfico coexistente com o diopsídio, devida à própria composição do material original (pobre em sílica).

Segundo SKIPPEN (1974), as temperaturas de formação do

diopsídio podem ser consideradas no intervalo de 450°C a 490°C (Figura 13).

*Associações nas quais a forsterita é o mineral metamórfico de maior temperatura*

Levando-se em conta que, nas condições metamórficas previamente descritas, e por motivos composicionais, a grande maioria das amostras foi caracterizada pela composição Di-Cc-Do ou Cc-Di-Tr, e considerando a presença, já descrita, de talco, como fase adicional, as reações mais prováveis para a formação de forsterita são as de número (9), (10), (11) e (13), envolvendo a tremolita e o talco, e a reação (14) incluindo o diopsídio formado na fase anterior.

A Figura 7 (c) revela que para as amostras enfocadas, resultarão as paragêneses Cc-Fo-Do e Cc-Fo-Di.

A presença de tremolita e talco como fases primárias adicionais pode ser explicada pelos mesmos argumentos previamente utilizados e revela simultaneamente a importância da  $P_{H_2O}$  no processo metamórfico aqui enfocado.

A formação de forsterita a 1.000 b̄arias de  $P_{total}$  ocorre entre 500°C e 530°C, sem diopsídio, e entre 520°C e 560°C com formação simultânea de diopsídio (SKIPPEN, 1974), Figura 13.

*Determinação do limite térmico superior do metamorfismo*

A determinação do limite térmico superior do metamorfismo a que foram submetidas as rochas carbonáticas impuras envolventes do granito Caçapava, pode ser visualizada através das Figuras 13 e 14 que mostram temperaturas da ordem de 560°C para  $P_{total}$  de 1.000 b̄arias.

*Interpretação da pressão e composição da fase fluida*

Considerando que o corpo de mármore está servindo como rocha encaixante do granito Caçapava, e que ele faz parte de um conjunto de metamorfitos que atingiu, durante o metamorfismo regional, as condições da fácies xistos verdes - anfibolito (temperaturas aproximadas de 400°C a 500°C e pressões totais de 3.000 b̄arias) e com base nos dados ora obtidos, procura-se, neste item, estabelecer as condições de P e T reinantes por ocasião da intrusão granítica.

As características texturais, estruturais, mineralógicas e geocronológicas apresentadas pelo granito Caçapava, em parte por nós observadas, e descritas por LEINZ et alii (1941), RIBEIRO et alii (1967), RIBEIRO (1970), BITENCOURT (1983), dentre outros, e recentemente de forma detalhada por SARTORI & KAWASHITA (1985), permitem posicioná-lo, na época da sua cristalização, a cerca de 3,0 a 4,0 km de profundidade. Tal estimativa deve-se às seguintes características:

a - Estrutura isotrópica, com exceção das bordas, interpretadas como

resultado do mecanismo de fluxo de intrusão. Esta feição é típica de magmas graníticos de temperaturas relativamente elevadas, de natureza pós-orogênica e de colocação rasa.

b - Resfriamento relativamente rápido preservando o polimorfo ortoclásio, fato este comprovado pelo pequeno intervalo de tempo entre datações radiométricas efetuadas pelos métodos K-Ar (que fornecem idade de resfriamento) e Rb-Sr (que fornecem idades de cristalização). Isto indica colocação relativamente rasa deste granito.

c - Pobreza em veios pegmatóides, o que significa, provavelmente, tratar-se de magma relativamente pobre em água, indicando, para seu nível intrusivo, temperaturas relativamente altas e dificuldades na transferência do calor do corpo magmático para as rochas encaixantes, já que é a fase fluida que emana de corpos magmáticos o principal vetor de transferência de calor para suas rochas encaixantes. Tal fenômeno (pobreza em fluidos) igualmente afeta a rocha sob a forma de aquecimento heterogêneo, o que se reflete em freqüentes paragens de desequilíbrio, efetivamente observadas (Tabela III).

d - Levando-se em consideração que tanto o granito como suas rochas encaixantes são vinculados a um mesmo ciclo tecto-orogênico (Ciclo Brasileiro) e tendo em vista que as rochas encaixantes, ao nível da área estudada, pertencem à fácies dos xistos verdes (BITENCOURT, 1983), verifica-se, mais uma vez, a colocação relativamente rasa do granito Caçapava com suas conseqüentes implicações em termos de temperatura e dissipação de calor.

Com base nestas observações, estimou-se o nível intrusivo do granito Caçapava na ordem de 3 a 4 km de profundidade, compatível com pressões totais da ordem de 1.000 bárias.

Quanto à composição da fase fluida, já foi ressaltado que deve ser assumida uma fase de composição mista, com consideráveis quantidades de água (associação Di-Tr-Cc), Figura 7 (c) e Figura 6 (a), e CO<sub>2</sub> liberado pelas reações metamórficas dos carbonatos.

## CONCLUSÕES

Com relação aos mármore impuros pertencentes à faixa litológica envolvente do granito Caçapava e ao metamorfismo que os afetou, podem ser sumarizados e concluídos os seguintes aspectos principais:

Os mármore, aqui estudados, têm composição relativamente restrita, com exceção das bandas silicosas.

Estas rochas foram termicamente afetadas pelo granito Caçapava e apófises que dele emanam, resultando, deste processo, a geração de rochas de metamorfismo de contato que, temporalmente, são mais jovens que as rochas metamórficas de baixo grau (fácies xistos verdes) nas quais ocorreu o alojamento do magma granítico.

Lançando-se em mapa os minerais índices: talco, tremolita, diopsídio e forsterita, verifica-se a existência de um zoneamento metamórfico com rochas pertencentes à fácies piroxênio hornfels, nas imediações do contato, e de rochas da fácies albita-éidoto hornfels, em posições mais distais.

As temperaturas do apogeu metamórfico foram estimadas em torno de 560°C, compatíveis com as temperaturas magmáticas do granito Caçapava.

A pressão total e a pressão da fase fluida foram estimadas em 1.000 bárias, valor igualmente compatível com o alojamento relativamente raso (3 a 4 km) atribuído ao granito Caçapava, tendo por base critérios geológicos, mineralógicos e geocronológicos.

A associação primária entre diopsídio e tremolita revela que da composição da fase fluida faziam parte, em quantidades consideráveis, tanto CO<sub>2</sub> como H<sub>2</sub>O.

A natureza do metamorfismo de contato não só é indicada pelas temperaturas localmente atingidas da ordem de 560°C e, portanto, incompatíveis com a fácies dos xistos verdes que caracteriza o Grupo Porongos ao nível regional, mas também, pelo gradiente geotérmico ostentado pelas rochas examinadas, igualmente incompatível com o metamorfismo de média pressão (metamorfismo Barrowiano) que caracteriza o Grupo Porongos.

Os estudos aqui expostos confirmam a natureza metamórfica de contato do anel rochoso envolvente do granito Caçapava, já preconizada por LEINZ (1941) e RIBEIRO (1970). Desta maneira, o granito Caçapava é nitidamente pós-tectônico em relação ao metamorfismo regional que afetou o Grupo Porongos, fato este confirmado por datações geocronológicas recentemente divulgadas por SARTORI & KAWASHITA (1985).

A análise do metamorfismo das rochas estudadas pode ser feita tendo por base os diagramas T - X<sub>CO<sub>2</sub></sub> para o sistema CaO - MgO - SiO<sub>2</sub> - CO<sub>2</sub> - H<sub>2</sub>O, após a eliminação das fases mineralógicas adicionais, presentes devido quer a processos sedimentares pré-metamórficos, quer devido a impurezas detectadas quimicamente. Estas parageneses são tanto de equilíbrio como de desequilíbrio, feição compatível com a natureza do "magma granítico Caçapava" que impediu uma distribuição térmica homogênea e de longa duração.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BITENCOURT, M.F. Metamorfitos da região de Caçapava do Sul, RS: Geologia e relações com o corpo granítico. Simp. Sul-Bras. Geologia, I, P. Alegre, p. 37-48. 1983.
- BORTOLOTTO, O.J. Petrologia dos Mármore de Caçapava do Sul, RS. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. 1986. (Inédito).

- BORTOLOTTO, O.J. Petrografia dos M̄armores de Caçapava do Sul, RS. *Ciênciã e Natura*, 9:37-65, 1987.
- BUCHER-NURMINEN, K. On the mechanism of contact aureole formation in dolomitic country by the Adamello intrusion (northern Italy). *Am. Miner.*, 67: 1101-1117. 1982.
- CHAYES, F. A simple point-counter for thin section analyses. *Am.Min.*, 134: 1-11, 1949.
- HOVER GRANATH, V.C.; PAPIKE, J.J. & LABOTKA, T.C. The Notch Peak Contact Metamorphic Aureole, Utah: Petrology of the Big Horse Limestone Member of the Orr Formation. *Geol.Soc.Amer.Bull.*, 94: 889-906. 1983.
- HUTCHINSON, C.S. Laboratory Handbook of Petrographic Techniques. J. Wiley & Sons. N. York. 1974.
- LATTANZI, P.; RYE, D.M. & RICE, J.M. Behavior of  $^{13}\text{C}$  and  $^{18}\text{O}$  in carbonates during contact metamorphism at Marysville, Montana: implications for isotope systematic in impure dolomitic limestones. *Am. Journ. Sci.*, 280: 890-906. 1980.
- LEINZ, V.; BARBOSA, A.F. & TEIXEIRA, E.A. Mapa Geol̄ogico Caçapava-Lavras. Rio Grande do Sul. Dir. Prod. Min., Publ. 6, 39p. 1941.
- METZ, P. Experimentelle Untersuchung der Metamorphose von kieselig dolomitischen Sedimenten II. Die Bildungsbedingungen des Diopsids. *Contr. Mineral. and Petrol.*, 28: 221-250. 1970. (cit. em WINKLER, 1977).
- METZ, P. & PUHAN, D. Experimentelle Untersuchung der Metamorphose von kieselig dolomitischen Sedimenten I. Die Gleichgewichtsdaten der Reaktion  $3 \text{ dolomit} + 4 \text{ quartz} + 1 \text{ H}_2\text{O} \rightleftharpoons 1 \text{ talc} + 3 \text{ calcit} + 3 \text{ CO}_2$  f̄ur Gesamtgasdrucke von 1.000, 3.000 und 5.000 Bar. *Contr. Mineral. and Petrol.*, 26: 302-314. 1970. (cit. em WINKLER, 1977).
- METZ, P. & PUHAN, D. Korrektur zur Arbeit "Experimentelle Untersuchung der Metamorphose von kieselig dolomitischen Sedimenten I. Die Gleichgewichtsdaten der Reaktion  $3 \text{ dolomit} + 4 \text{ quartz} + 1 \text{ H}_2\text{O} \rightleftharpoons 1 \text{ talc} + 3 \text{ calcit} + 3 \text{ CO}_2$  f̄ur die Gesamtgasdrucke von 1.000, 3.000 und 5.000 Bar". *Contr. Mineral. and Petrol.* 31: 163-170. 1971. (cit. em WINKLER, 1977).
- METZ, P. & TROMMSDORFF, V. On phase equilibria in metamorphosed siliceous dolomites. *Contr. Mineral. Petrol.*, 18: 305-309. 1968.
- MIYASHIRO, A. Metamorphism and Metamorphic Belts. George Allen & Unwin Ltd., London. 1975.
- RIBEIRO, M.; BOCCHI, P.R.; FIGUEIREDO F̄, P.M. & TESSARI, R.L. Geologia da Quadr̄cula de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. *Div.Fom.Prod.Min.*, Bol.127. 232p. 1966.
- RIBEIRO, M. Geologia da Folha de Bom Jardim, Rio Grande do Sul, Brasil. *Dep.Nac.Prod.Min., Div.Geol. e Min.*, Bol.247, 142p. 1970.
- SARTORI, P.L.P. & KAWASHITA, K. Petrologia e geocronologia do bat̄olito gran̄tico de Caçapava do Sul, RS. *An. II Simp̄sio Sul-*

- brasileiro de Geologia, Florianópolis, SC., p. 102-115. 1985.
- SKIPPEN, G.B. Experimental Data for Reactions in Siliceous Marbles. Journ. Geol. 79: 457-481. 1971.
- SKIPPEN, G.B. An Experimental Model for Low Pressure Metamorphism of Siliceous Dolomitic Marbles. Am. Journ. Sci., 274: 487-509. 1974.
- TROMMSDORFF, V. & SCHWANDER, H. Brucitmarmore in den Bergelleralpen: Schweizer. min. pet. Mitt., 49: 333-340. 1969. (cit. em TURNER, 1968).
- TURNER, F.J. Metamorphic Petrology - Mineralogical and Field Aspects. McGraw-Hill Book Co., USA. 1968.
- TURNER, F.J. Metamorphic Petrology - Mineralogical, Field and Tectonic Aspects. McGraw-Hill Book Co., USA. 1981.
- WILLIAM, H.; TURNER, F.J. & GILBERT, C.M. Petrografia. Ed. Polígono. S. Paulo. 1954.
- WINKLER, H.G.F. Petrogênese das Rochas Metamórficas. Ed. Edgard Blücher Ltda. S. Paulo. 1977.

Recebido em dezembro, 1988; aceito em dezembro, 1988.