UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PETROLOGIA DOS MÁRMORES DE CAÇAPAVA DO SUL, RS.

Olavo José Bortolotto

Orientador: Prof. Dr. Marcos Aurélio Farias de Oliveira

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Área de Concentração Mineralogia e Petrologia

São Paulo
1986

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC
30900004650

Instituto de Geociências
BIBLIOTECA
T1284
e.2
U.S.P.

PETROLOGIA DOS MÁRMORES DE CAÇAPAVA DO SUL, RS.

Olavo José Bortolotto

Orientador: Prof. Dr. Marcos Aurélio Farias de Oliveira

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO EXAMINADORA

	nome	ass.
Presidente:	Dr. M.A.F.Oliveira	
Examinadores:	Dr. A.Choudhuri	Abit Choudhuri
	Dr. J.V.Valarelli	

São Paulo
1986

À memória de meu pai;

para a minha mãe.

Instituto de Geociências
BIBLIOTECA
T1284
U.S.P.

Ao Colégio Estadual "Dom Antonio Reis"

Faxinal do Soturno - RS.

ÍNDICE

RESUMO iv

ABSTRACT vi

ÍNDICE DAS TABELAS viii

ÍNDICE DAS FIGURAS ix

ÍNDICE DAS FOTOMICROGRAFIAS xii

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO 1

1.1. Objetivos do estudo 2

1.2. Localização da área 2

1.3. Trabalhos anteriores 3

CAPÍTULO 2 - METODOLOGIA 10

2.1. Difração de raios X 11

2.2. Fluorescência de raios X 12

2.3. Análise química de rocha total 12

2.4. Método de coloração de carbonatos 13

2.4.1. Preparo das soluções de coloração 13

2.5. Mineralogia química com a microssonda eletrônica. 14

2.5.1. Diopsídio 16

2.5.2. Olivina 16

2.5.3. Tremolita 17

2.5.4. Flogopita 18

2.5.5. Clorita 18

CAPÍTULO 3 - MINERALOGIA, PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DOS MÁRMORES 19

3.1. Generalidades 19

3.2. Descrição mineralógica 20

3.2.1. Dolomita 21
3.2.2. Calcita 22
3.2.3. Calcita ferrífera 23
3.2.4. Olivina 23
3.2.5. Serpentina 24
3.2.6. Flogopita 24
3.2.7. Anfibólio 25
3.2.8. Clorita 26
3.2.9. Piroxênio 27
3.2.10. Apatita 28
3.2.11. Titanita 28
3.2.12. Quartzo 29
3.2.13. Talco 29
3.2.14. Opacos 30
3.3. Determinações mineralógicas por difratometria de raios X 30
3.4. Quimismo mineral com a microssonda eletrônica ... 35
3.4.1. Anfibólios 35
3.4.2. Piroxênios 36
3.4.3. Olivinas 36
3.4.4. Micas 41
3.4.5. Cloritas 41
3.5. Composição modal 45
3.6. Composição química dos mármores 48
CAPÍTULO 4 - ANÁLISE DO METAMORFISMO 55
4.1. Tratamento dos dados 55
4.2. Composição da rocha 58
4.2.1. Pressão e composição da fase fluida 60
4.3. Interpretação dos dados 67

4.3.1. Interpretação das paragêneses 67

4.3.1.1. Associações nas quais o *talco* é o mineral metamórfico de maior temperatura 70

4.3.1.2. Associações nas quais a *tremolita* é o mineral metamórfico de maior temperatura 70

4.3.1.3. Associações nas quais o *diopsídio* é o mineral metamórfico de maior temperatura 72

4.3.1.4. Associações nas quais a *forsterita* é o mineral metamórfico de maior temperatura 72

4.3.2. Determinação do limite térmico superior do metamorfismo 73

4.3.3. Interpretação da pressão e composição da fase fluida 73

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES 76

AGRADECIMENTOS 79

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 82

ANEXO 87

RESUMO

A região de Caçapava do Sul, no Estado do Rio Grande do Sul, compreende, principalmente, a Quadrícula de mesmo nome e abrange cerca de 11.000 Km^2.

A referida região é caracterizada pela ocorrência de um batólito granítico (Granito Caçapava) com afloramento de 25 x 10 km, orientado no sentido N - S, e sobre o qual assenta-se a cidade supracitada.

O Granito Caçapava é circundado por um cinturão de metamorfitos pertencentes à Formação Vacacaí, Grupo Porongos (Pré-Cambriano Superior) (RIBEIRO et alii, 1966). Dentre os metamorfitos situa-se um corpo de rochas carbonatadas de aspecto lenticular, com contatos nítidos, interpenetrado por apófises graníticas e com um afloramento de aproximadamente 17 Km^2.

Foram estudadas amostras deste corpo de rochas por meio de microscopia, microssonda eletrônica, difratometria e espectrometria de raios X e análise química por via úmida, com o objetivo de identificar e caracterizar os minerais carbonáticos e silicáticos.

Por meio de técnicas de coloração, foi possível a distinção de dolomita (Do), calcita (Cc) e calcita ferrífera (Ccf).

As análises modal e química indicaram predominância de carbonatos sobre silicatos, estando estes últimos relacionados mais

às bandas da rocha.

Os minerais silicáticos detectados foram: talco, tremolita, diopsídio, forsterita, clorita e flogopita. Em menores quantidades aparecem titanita, apatita e quartzo, sendo comum, também, a serpentina oriunda de alteração da forsterita.

Lançados em mapa, os minerais índices mostraram a existência de um zoneamento metamórfico com rochas pertencentes à Fácies Piroxênio Hornfels, próximo ao contato, e de rochas da Fácies Albita-Epídoto Hornfels, em porções mais distantes, evidenciando, assim, metamorfismo térmico.

Com base em diagramas $T-X_{CO_2}$ para o sistema $CaO-MgO-SiO_2-CO_2-H_2O$, foi analisado o metamorfismo destas rochas e estimadas as temperaturas máximas da ordem de 560°C, compatíveis com as temperaturas magmáticas do Granito Caçapava.

A conclusão final advinda com os estudos ora realizados, sobre essas rochas carbonáticas, aponta no sentido de se tratarem de MÁRMORES DOLOMÍTICOS IMPUROS DE CONTATO, gerados durante o Ciclo Brasiliano (680 a 500 m.a.).

ABSTRACT

The Caçapava do Sul region, State of Rio Grande do Sul, comprises mainly the area of the same name and encompasses about 11.000 km^2.

This region is characterized by the occurrence of a granitic batolit (Caçapava Granite), that has an outcrop of about 25 by 10 km, oriented North-South, on which is located the homonymous city, Caçapava do Sul.

The Caçapava Granite is surrounded by a belt of metamorphites belonging to the Vacacaí Formation, Porongos Group (Upper Precanbrian) (RIBEIRO et alii, 1966). Among the metamorphites is located a carbonatic rock body, lens shaped, with clear contacts, interpenetrated by granitic apophises and with an outcrop of about 17 km^2.

Samples of this rock body were studied by microscopic, electronic microprobe, difratometry and spectrometry of X ray and chemical analysis aiming at identifying and characterizing the carbonatic and silicatic minerals.

Through staining techniques it was possible to distinguish dolomite (Do), calcite (Cc) and ferriferous calcite (Ccf).

The modal and chemical analysis showed that the carbonatic minerals were more abundant than the silicatic ones being these last ones restricted to of the rock bands.

The detected silicatic minerals were the following: talc,

tremolite, diopside, forsterite, chlorite and phlogopite. In smaller amounts titanite, apatite and quartz also occur. Serpentine resulting from alterations in the olivine is also very common.

Ploted on map, the index minerals showed the existence of a metamorphic zoneation in rocks belonging to a Piroxene-Hornfels Facies, near the contact, and rocks of the Albita-Epidoto Hornfels Facies, placed farther away from the granitic body. Therefore, this fact emphasizes the presence of thermal metamorphism.

Based on $T-X_{CO_2}$ diagrams for the $CaO-MgO-SiO_2-CO_2-H_2O$ system, the metamorphism of these rocks was analysed and its temperatures were estimated about 560°C, which conforms to the Caçapava Granite magmatic temperatures.

The final conclusions with these studies, about the carbonatic rocks, indicate that they are CONTACT IMPURE DOLOMITEC MARBLES, generated during the Brazilian Cicle (680-500 m.y.).

ÍNDICE DAS TABELAS

Tabela 1 - Composição química de tremolitas dos mármores de Caçapava do Sul, RS 37

Tabela 2 - Composição química de diopsídios dos mármores de Caçapava do Sul, RS 38

Tabela 3 - Composição química de olivinas dos mármores de Caçapava do Sul, RS 40

Tabela 4 - Composição química de flogopitas dos mármores de Caçapava do Sul, RS 42

Tabela 5 - Composição química de cloritas dos mármores de Caçapava do Sul, RS 43

Tabela 6 - Composição mineralógica modal de amostras dos mármores de Caçapava do Sul, RS 47

Tabela 7 - Análise química dos elementos principais dos mármores de Caçapava do Sul, RS 49

Tabela 8 - Assembléias mineralógicas das amostras dos mármores de Caçapava do Sul, RS 55

Tabela 9 - Representação simplificada das assembléias mineralógicas dos mármores de Caçapava do Sul, RS 56

Tabela 10 - Representação das paragêneses minerais simplificadas críticas dos mármores de Caçapava do Sul, RS 58

Tabela 11 - 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 70

ÍNDICE DAS FIGURAS

Figura 1 - Localização geográfica da área de ocorrência dos mármores dolomíticos impuros da região de Caçapava do Sul, RS 4

Figura 2 - Mapa geológico da área de ocorrência dos mármores dolomíticos impuros da região de Caçapava do Sul, RS. (Seg. Ribeiro, 1970, modif.) 5

Figura 3 - Anfibólios dos mármores de Caçapava do Sul, projetados no diagrama de Leake (1968) 39

Figura 4 - Piroxênios dos mármores de Caçapava do Sul, projetados de acordo com a nomenclatura dos clinopiroxênios de Poldervaart & Hess, 1951 (in: Deer, Howie & Zussman, 1971) 39

Figura 5 - Olivinas dos mármores de Caçapava do Sul, projetadas no diagrama de Deer, Howie & Zussman, 1977 (modif.)..... 40

Figura 6 - Cloritas dos mármores de Caçapava do Sul, projetadas do diagrama de Hey, 1954 (in: Deer, Howie & Zussman, 1971) 44

Figura 7 - Diagrama de composição 1/3 SiO_2 - (CaO+MgO) - (Na_2O + K_2O). As áreas das rochas sedimentares e a tendência das rochas ígneas são desenhadas segundo Wahlstrom & Kim (1959) .. 52

Figura 8 - Diagrama de composição Al_2O_3 - CaO - (MgO+FeO) Baseado em Wahlstrom & Kim (1959) 53

Figura 9 - Diagrama ACF mostrando os campos de composição química das principais rochas ígneas e sedimentares. 1-pelitos; 2-margas; 3-calcários; 4-rochas básicas; 5-rochas ultrabásicas;

6-grauvaques; 7-rochas quartzo-feldespáticas; 8-rochas ferríferas (Oliveira, 1980; baseado em Winkler, 1977) 54

Figura 10 - Dados químicos ($Ca-MgO-SiO_2$) dos mármores de Caçapava do Sul, lançados no diagrama triangular Cc-Do-Qz de Turner, 1968, 1981. ($P_{H_2O} = P_{CO_2} = P_{total}$ = 1 bária) 61

Figura 11 - Dados químicos ($CaO-MgO-SiO_2$) dos mármores de Caçapava do Sul, lançados no diagrama triangular Cc-Do-Qz de Turner, 1968, 1981. $P_{CO_2} = P_{total}$ = 1 bária) 62

Figura 12 - Dados químicos ($CaO-MgO-SiO_2$) dos mármores de Caçapava do Sul, lançados no diagrama triangular Cc-M-Qz. 63

Figura 13 - 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) .. 64

Figura 14 - Curvas de equilíbrio de rochas carbonatadas para determinação de paragêneses no triângulo Cc-Do-Qz (Turner, 1968, 1981), P_{CO_2} tot. 64

Figura 15 - Curvas de equilíbrio de rochas carbonatadas para determinação de paragênese no triângulo Cc-Do-Qz (Turner, 1968, 1981), $P_{CO_2} = P_{H_2O}$ 65

Figura 16 - Curvas de equilíbrio para reações de descarbonatação à pressão constante de água. P_{H_2O} = 1 kb. (Turner, 1968, 1981) 65

Figura 17 - Mapa de localização de assembléias mineralógicas críticas, ao longo da área de ocorrência dos mármores de Caçapava do Sul, com o traçado das linhas minerais índices de metamorfismo 66

Figura 18 - Diagrama de formação de tremolita (Tr), diopsídio (Di) e forsterita (Fo). Pressão total de 1.000 bárias. $P_{CO_2} + P_{H_2O} = P_{total}$. (Skippen, 1974) 69

Figura 19 - Diagrama isobárico T - X_{CO_2} para as reações (1) até (15). As linhas cheias foram determinadas experimentalmente; as interrompidas foram calculadas. (Winkler, 1977) 69

ÍNDICE DAS FOTOMICROGRAFIAS

Foto 1 - Banda de olivina serpentinizada, associada com calcita normal, em dolomita normal 31

Foto 2 - Microfissuras em dolomita normal preenchidas por calcita normal 31

Foto 3 - Banda de calcita normal e calcita ferrífera. Dolimita normal com microfraturas preenchidas por calcita normal 32

Foto 4 - Piroxênio com microfraturas preenchidas por serpentina e calcita normal 32

Foto 5 - Aspectos texturais (granular) da porção dolomítica. Olivina serpentinizada com inclusão de opacos 33

Foto 6 - Clorita com inclusão de calcita normal 33

Foto 7 - Banda de tremolita e calcita normal. Microfratura em dolomita normal preenchida por calcita normal 34

Foto 8 - Associação de tremolita, flogopita, calcita normal e dolomita normal 34

CAPÍTULO 1

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 de 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, resolveu-se desenvolver um estudo mais minucioso sobre as referidas rochas, a fim de melhor posicioná-las no contexto petrográfico, esclarecendo sua composição mineralógica e tentando elucidar sua evolução geológica.

Para tanto, incursões ao local foram feitas com a finalidade de conhecer a região do ponto de vista fisiográfico, coletar amostras, reavaliar o mapa geológico da área e contactar com os proprietários das "caieiras".

Como o acesso aos locais mais distantes das rodovias e caminhos era, na maioria das vezes, bastante dificultado pelos acidentes do relevo, foram visitados vinte pontos de onde se coletaram as amostras para exames mais detalhados.

Nos trabalhos de campo procurou-se identificar os contatos,

modificar as possíveis incorreções existentes em descrições anteriores, traçar as novas vias de acesso e determinar os locais de coleta de amostras.

O acesso às "caieiras" foi plenamente facilitado pelos seus proprietários que em momento algum se opuseram às intenções deste trabalho. Além disso, colocaram à disposição as análises químicas efetuadas por suas laboratoristas, análises estas que serviram de confronto para as aqui realizadas.

1.1. Objetivos do estudo

Face à importância econômica e geológica das rochas carbonatadas da região de Caçapava do Sul, julgou-se conveniente a execução de programa de pesquisa visando estudar pormenorizadamente sua mineralogia, petrografia e as relações de contato com o Granito Caçapava, como é conhecido o batólito sobre o qual assenta-se a cidade de mesmo nome.

Outrossim, tentou-se elucidar a história geológica das rochas, no que tange ao metamorfismo, bem como as relações de contato das rochas carbonatadas com o granito.

1.2. Localização da área

As rochas carbonatadas, objeto deste estudo, localizam-se entre os paralelos $30^{o}30'$ e $30^{o}36'$ LS, ao longo do meridiano $53^{o}25'$ WGr. Abrangem uma área de aproximadamente 17 km^2, localizada a

SE da cidade de Caçapava do Sul. (Fig. 1 e 2).

A principal rodovia que atravessa a região é a BR-392. Pequenas estradas municipais recortam-na, conduzindo a diversos locais onde estas rochas têm sido exploradas economicamente por várias empresas.

1.3. Trabalhos anteriores

De acordo com RIBEIRO et alii (1966), os trabalhos mais antigos sobre a região Caçapava-Lavras foram os de Gorceix (1874, 1875a e 1875b) e o de Groddeck (1879) que versavam sobre as ocorrências de cobre em Lavras e Caçapava do Sul. Depois destes, surgiram: o "Mapa Geológico da Zona Mineral do Rio Grande do Sul", elaborado por Dahne (1903); as notas sobre ocorrências de cobre e prata do Seival, publicadas por Walter (1912); os artigos de Englert (1928-1930) sobre o minério de cobre no Rio Grande do Sul e o reconhecimento geológico de Caçapava do Sul, efetuado por Carvalho (1929). Em 1932, este mesmo autor delineou a estratigrafia da região Caçapava-Lavras, separando as rochas metamórficas em duas grandes unidades estratigráficas: a mais antiga referida ao Arqueano e a mais jovem ao Algonquiano, onde se incluem todos os filitos, xistos e quartzitos de baixo e médio grau de metamorfismo. Ainda em 1932, criou a Série Camaquã abrangendo rochas eopaleozóicas e enquadrou na coluna estratigráfica elaborada por White (1908), em Santa Catarina, as rochas que atualmente são conhecidas como "formações gonduânicas".

Até 1941, os trabalhos geológicos efetuados no Rio Grande

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

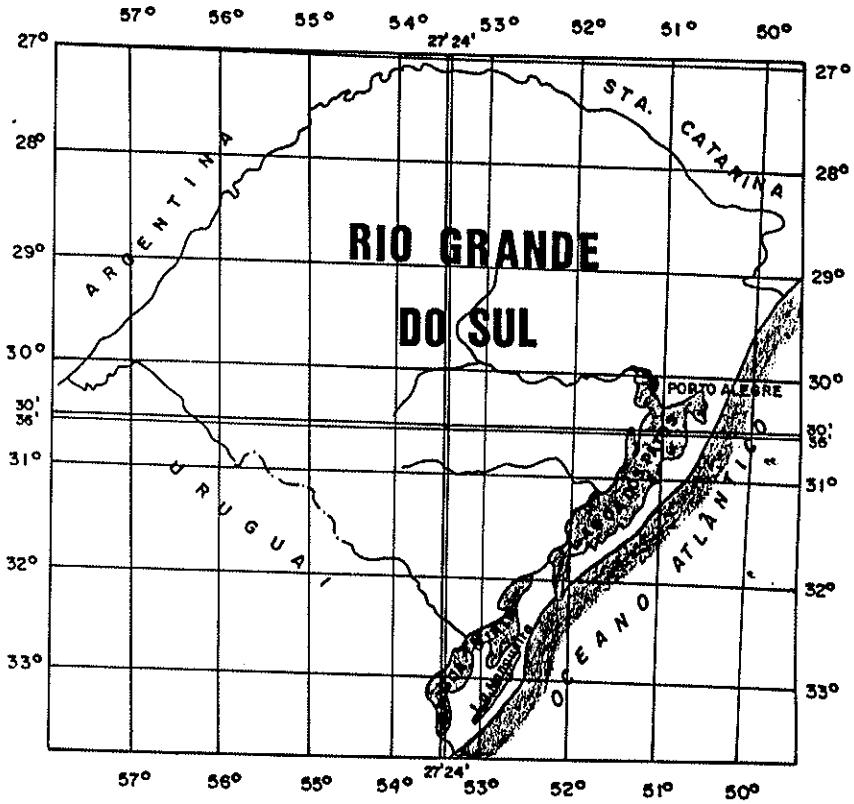


FIGURA 1a - Posição da área de ocorrência dos mármores dolomíticos impuros no grau de Caçapava do Sul (RS)

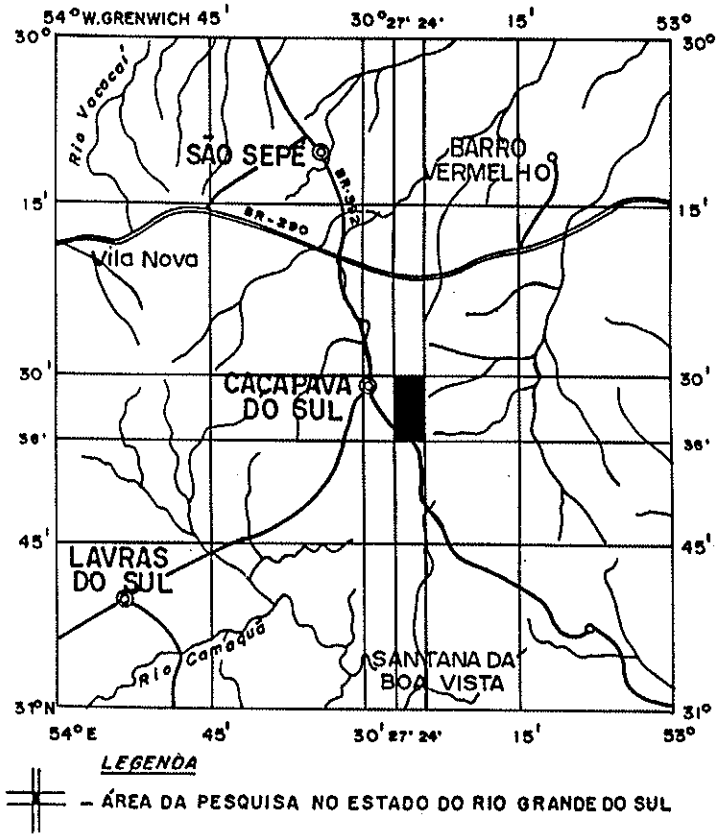
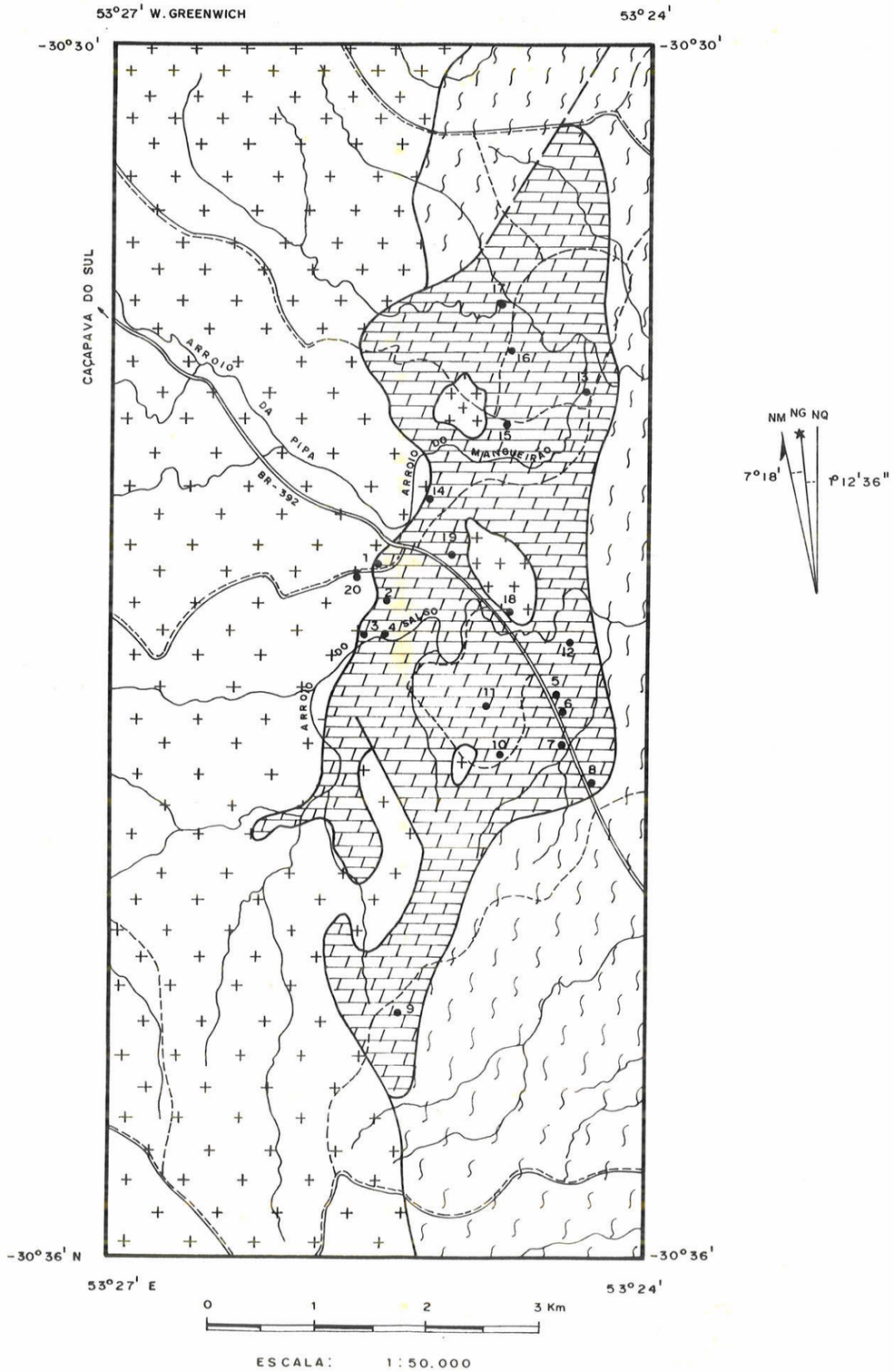


FIGURA 2 - Mapa geológico da área de ocorrência dos mármores dolomíticos impuros da região de Caçapava do Sul, RS. (Seg. Ribeiro, 1970, modif.)



LEGENDA

COLUNA ESTRATIGRÁFICA			
PERÍODO	FORMAÇÃO	LEG.	LITOLOGIAS
CAMBRIANO	BATÓLITO GRANÍTICO DE CAÇAPAVA DO SUL		LEUCOGRANITOS, SIENOGRANITOS, MONZOGRANITOS E GRANODIORITOS DE GRANULAÇÃO MÉDIA A FINA.
PRÉ-CAMBRIANO SUPERIOR	GRUPO POROGOS		MÁRMORES DOLOMÍTICOS IMPUROS
			ROCHAS METASSEDIMENTARES E METAVULCÂNICAS

CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

CONTATO GEOLÓGICO

FALHA

10 PONTO DE COLETA DE AMOSTRAS

CONVENÇÕES TOPOGRÁFICAS

RODOVIA FEDERAL

RODOVIA ESTADUAL

RODOVIA MUNICIPAL

REDE DE DRENAGEM

do Sul basearam-se mais na descrição e estudo de ocorrências minerais de interesse econômico, principalmente cobre e ouro.

Dentre os trabalhos anteriores relacionados especificamente com a área em questão, destaca-se o "Mapa Geológico Caçapava-Lavras", na escala 1:200.000, publicado em dezembro de 1941 por LEINZ, BARBOSA e TEIXEIRA. Considerado um marco na evolução do conhecimento geológico do Rio Grande do Sul, ele fornece importante contribuição à geologia do Escudo Sul-rio-grandense, incluindo conceitos sobre mineralizações cupríferas e uma síntese da geologia da região.

No período de 1941 a 1960, os trabalhos abrangeram as mineralizações cupríferas e ocorrências de carvão mineral.

O trabalho de MELCHER e MAU (1960): "Novas Observações Geológicas na Região de Caçapava do Sul", propôs algumas modificações na estratigrafia da região, como é o caso da Formação Maricá que aparece como Série, englobando inclusive rochas metamórficas que circundam o Granito Caçapava.

ROBERTSON (1966) continuou os estudos sobre a área, apresentando novas modificações na nomenclatura e estratigrafia. Assim, redefiniu a Série Camaquã, de Carvalho (1932), como Grupo Camaquã e posicionou no Grupo Porongos as rochas metamórficas que envolvem o Granito Caçapava. É deste grupo que fazem parte as rochas carbonatadas escolhidas como principal objeto de estudo desta pesquisa.

RIBEIRO et alii (1966), em seu trabalho "Geologia da Quadrícula de Caçapava do Sul", apresentam um mapa do grau de Caçapava, na escala 1:250.000, e posicionam os mármores e as outras

rochas metamórficas (filitos, muscovita-xistos, meta-grauvacas, clorita-xistos, anfibolitos, quartzitos etc.) que aparecem no contato com o Granito Caçapava, no Grupo Porongos, Formação Vacacaí (Pré-Cambriano Superior). Comentam, ainda, que sobre estas litologias desenvolvem-se produtos de metamorfismo de contato.

No tocante às relações entre as rochas encaixantes e o granito, os autores afirmam que o contato é de intrusão forçada, sendo as rochas da Formação Vacacaí empurradas e levantadas, mostrando auréola de metamorfismo de contato. Citam, também, que sobre o padrão geral de metamorfismo de contato observado na auréola ao redor do granito, encontram-se os efeitos térmicos provocados pelas diversas apófises deste granito que se intercalam nas rochas metamórficas.

Ainda com referência às rochas aqui estudadas, RIBEIRO (1970), no seu trabalho: "Geologia da Folha de Bom Jardim, RS.", classifica estas rochas como metamorfitos da Formação Vacacaí, derivados de rochas carbonatadas por ação do metamorfismo de contato. Descreve-as como "calcários e mármores de composição calcítico-dolomítica com um ou mais silicatos de cálcio e magnésio". Entre os silicatos mais comuns encontram-se, segundo o autor, talco, serpentina, asbestos anfibólicos, olivina, diopsídio e wollastonita. Neste mesmo trabalho, o autor individualiza a área de ocorrência dos mármores num mapa geológico na escala 1:50.000.

No texto explicativo da Carta do Brasil ao Milionésimo, WILLIG et alii (1974), referem-se às ocorrências de mármores, na borda leste do "stock de Caçapava", afetados pelo metamorfismo de contato do granito. Citam, também, suas utilizações industriais, como o fabrico de cal e corretivos de solo, a obtenção de cimento, etc.

SZUBERT e PRESOTO (1974) fazem uma avaliação global e representativa dos recursos calcários do Rio Grande do Sul. Concluem tratar-se de mármore e descrevem as características mineralógicas, texturais e estruturais destas rochas. Além disso, fazem um levantamento da potencialidade do Estado, no tocante às rochas carbonáticas, quanto à matéria prima para a fabricação de cimento e corretivo do solo.

Os trabalhos de graduação dos formandos de 1981, do Curso de Geologia da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), versaram sobre a região de Caçapava do Sul, que foi dividida em 10 áreas. Destas, apenas as denominadas como VI e VII abrangem parte do local escolhido para esta pesquisa.

Na área VII, as rochas em questão foram analisadas apenas em um afloramento, ao sul. Neste local, foram classificadas como mármores, apresentando um teor de 93% de carbonato. Os autores GUEDES e NAUMANN (1981) citam que a rocha possui coloração esbranquiçada e reage fortemente com ácido clorídrico. Entretanto, segundo os próprios autores, não foi determinado, a nível microscópico, o tipo de carbonato e a sua percentagem relativa, sendo feitas análises no Laboratório de Química daquela Universidade, as quais acusaram 29,5% de CaO e 7,1% de MgO.

Os responsáveis pelo trabalho sobre a área VI, BIANCHI e SETTER (1981), afirmam que os mármores perfazem apenas cerca de 4% da região mapeada. Citam a presença de quartzo (2% das lâminas), serpentina (3%), talco (1%), clorita (4%) e apatita (em uma delas). Epídoto e óxido de ferro aparecem como minerais secundários. Os referidos autores dizem, também, que a forsterita não aparece nestas litologias por estar totalmente serpentinizada.

Mais recentemente, BITENCOURT (1983) fez um estudo das rochas metamórficas localizadas ao norte e ao sul do Granito Caçapava e da relação entre elas e o corpo granítico. A partir do estudo destas duas áreas, a autora generaliza as condições de metamorfismo para a região, como sendo do tipo dínamo-termal, correspondendo à Fácies Xistos Verdes.

Por último, SARTORI e KAWASHITA (1985), num trabalho sobre a petrologia e geocronologia do batólito granítico de Caçapava do Sul, demonstram que sua intrusão nas rochas da Formação Vacacaí foi do tipo forçada e que suas características petrográficas, químicas e geológicas indicam tratar-se de um plutão de mesozona. De posse das datações radiométricas Rb-Sr, concluíram que sua consolidação ocorreu no Cambriano, o que está de acordo com datações prévias K-Ar, realizadas por MINIOLI e KAWASHITA (1971) e, também, com as idades Rb-Sr de CORDANI et alii (1974), recalculadas em seu trabalho.

CAPÍTULO 2

METODOLOGIA

Após estudos preliminares que abrangeram o levantamento bibliográfico do que havia sido feito na região, realizaram-se os trabalhos de campo que contaram com o auxílio do mapa geológico proposto por RIBEIRO (1970) e da carta topográfica da Folha de Caçapava do Sul, edição 1968, da Diretoria do Serviço Geográfico do Ministério do Exército, na escala 1:50.000.

A coleta de amostras baseou-se na disposição das rochas carbonatadas com referência ao batólito granítico e apófises, isto é, distância e proximidade destes, na sua localização dentro do próprio corpo carbonático e, também, na diferença de coloração. Este último critério, embora possa parecer vago, reveste-se de algum significado em se tratando de rochas carbonatadas pois, quando puras, mostram cor branca. As cores seriam, à primeira vista, um indicativo da presença de impurezas, fato este que foi comprovado nas análises posteriores.

O exame macroscópico das amostras foi realizado com o auxílio de uma lupa estereoscópica, de fabricação Zeiss, e teve como objetivo a descrição inicial e seleção de amostras para exame microscópico.

Na identificação das colorações, utilizou-se a tabela de

cores "Rock-Color Chart", distribuída pela "Geological Society of America".

O exame de aproximadamente 24 secções delgadas das rochas carbonáticas, processou-se num microscópio polarizador, modelo Standard WL, de fabricação Zeiss.

Para as análises modais utilizou-se um contador de pontos automático, usando-se a técnica preconizada por CHAYES (1949). O número médio de pontos por secção foi de 1.500.

Os trabalhos analíticos efetuados visaram, principalmente, a obtenção de dados para interpretação petrológica e geoquímica, sendo as técnicas empregadas discutidas a seguir:

2.1 - Difração de raios X

Com o objetivo de confirmar a presença de certos minerais silicáticos, já observados ao microscópio, junto aos carbonáticos, algumas amostras foram submetidas à análise por difração de raios X. A referida análise foi efetuada em rocha total, sendo as amostras trituradas a ponto de pó. Para melhor e mais facilmente identificar os picos representativos dos minerais silicáticos, fez-se, em cada amostra, uma análise da rocha "in natura" e outra da rocha previamente atacada por ácido clorídrico.

Foram realizados 16 difratogramas das rochas pertencentes ao corpo carbonático, utilizando-se, para isso, os laboratórios de raios X do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, equipados com aparelho de marca Rigaku Geigerflex, sendo o tubo de raios X da marca Toshiba.

As condições de operação foram: radiação: KαCu, TC - 1s, V.V.: 2°/min, CPS - 1.000.

2.2. Fluorescência de raios X

Empregando-se a técnica da fluorescência de raios X, foram efetivadas algumas análises em rocha total, com o intuito de se verificar o teor de alguns elementos traços, como Sr e Ba.

As análises foram conduzidas em equipamento existente nos laboratórios do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. A quantidade de material usado foi de aproximadamente 10 gramas de cada uma das 10 amostras selecionadas. O tempo de exposição à fluorescência foi de 20 segundos e os padrões utilizados foram GSP-1 e PCC-1.

2.3. Análise química de rocha total

Foram executadas análises químicas quantitativas, por via úmida, dos elementos principais, em 9 amostras consideradas representativas das rochas estudadas.

Para as determinações químicas, utilizaram-se os seguintes métodos analíticos: gravimétrico (SiO_2, H_2O e perda ao fogo), volumétrico (FeO e Fe_2O_3), complexométrico (Al_2O_3, CaO e MgO), colorimétrico (MnO, TiO_2 e P_2O_5) e fotométrico (Na_2O e K_2O).

Os trabalhos analíticos tiveram lugar no Laboratório de Química do Departamento de Mineralogia e Petrologia do Instituto

de Geociências da Universidade de São Paulo.

2.4. Método de coloração dos carbonatos

Durante a confecção das lâminas delgadas de amostras das rochas carbonatadas de Caçapava do Sul, empregou-se a técnica de coloração dos minerais carbonáticos por meio da Alisarina Vermelha Sulfonada (AVS) e Ferricianeto de Potássio (FP), visando a distinção entre minerais calcíticos e dolomíticos. Esta técnica foi levada a efeito passando pelas seguintes etapas:

1 - Confecção da lâmina delgada sem cobrir com lamínula.

2 - Imersão da lâmina na solução "C" durante um minuto.

3 - Lavagem cuidadosa da lâmina, em água corrente, deixando secar ao natural.

Se a cor resultar muito pálida, repetir a operação, deixando a lâmina em imersão por tempo um pouco maior.

4 - Colocar a lamínula.

2.4.1. Preparo das soluções de coloração

Solução "A":

0,1 g de AVS em 50 cc de HCl a 1,5%.

Solução "B":

1,0 g de FP em 50 cc de HCl a 1,5%.

Solução "C" (final):

30 cc de "A" + 20 cc de "B".

De acordo com esta técnica, os resultados obtidos serão

os seguintes:

Dolomita - incolor

Dolomita ferrífera - azul turquesa

Calcita - vermelha

Calcita ferrífera - roxa.

A este processo foram submetidas 24 lâminas delgadas e baseou-se em HUTCHISON (1974) e WOLF et alii (1967).

2.5. Mineralogia química com a microssonda eletrônica

Os dados analíticos referentes aos principais minerais silicáticos existentes nas rochas carbonatadas de Caçapava do Sul, foram obtidos, pelo autor, no Laboratório de Microssonda Eletrônica do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. Para isto, contou-se com o auxílio de um equipamento de fabricação ARL (Applied Research Laboratories), modelo EMX-SM, contendo 3 espectrômetros dispersivos e 3 pares de cristais (LiF/ADP, LiF/ADP e LiF/RAP). Os dados foram registrados numa teletipo acoplada ao conjunto.

As análises foram acompanhadas, paralelamente, pelo controle do fator de flutuação (drift), levado a efeito por meio de leituras periódicas dos padrões utilizados. Os valores para a correção dos fatores flutuação (drift) e radiação de fundo (background) foram obtidos através de gráficos correlacionando a variação da corrente de amostra e o número de contagens por segundo, equivalente à concentração do elemento a ser analisado, no padrão.

Os dados analíticos referentes aos fatores número atômico,

fluorescência secundária e absorção de massa, foram corrigidos segundo o método BENCE e ALBEE (1968), com o auxílio de programa BETA de computação, de uso interno do referido laboratório.

O fator tempo morto (dead time) foi considerado negligível, uma vez que as contagens nos contadores foram mantidas sempre abaixo do limite permissível de 5.000/segundo.

As condições de operação foram as seguintes: potencial de aceleração, 15 kV, corrente de amostra, 0,03 μA, tempo de integração nos contadores, 10" e diâmetro aproximado do feixe eletrônico, 1μ, para elementos aparentemente estáveis, e ampliado para cerca de 20μ para o Na e K que apresentam problemas de volatilização.

O programa analítico constou da análise dos principais minerais silicáticos presentes nas rochas estudadas, tais como: diopsídio, tremolita, olivina, flogopita e clorita. Para tanto, foram confeccionadas 9 secções delgadas das amostras consideradas mais significativas. Uma vez preparadas, as secções foram cobertas por uma película de C, utilizando-se um metalizador automático de fabricação Bendix.

A exatidão (accuracy) dos resultados varia de acordo com a concentração do elemento químico presente na fase mineral analisada. O erro foi estimado em 3% para os maiores e 5% para os menores.

Os valores referentes à reprodutibilidade (precision), que refletem mais as condições de operação, situam-se ao redor de 1%.

Os valores constantes das várias tabelas representam o resultado de cerca de 360 determinações tomadas em 90 grãos diferentes

dos diversos minerais analisados. Com o objetivo de detectar um possível zoneamento nos cristais, foram feitas, e isto de forma rotineira, leituras na porção central e nas bordas dos grãos, totalizando, em média, 4 pontos em cada. Como não houve evidência de zoneamento, não se fez necessária a realização de perfis analíticos.

2.5.1. Diopsídio

Objetivando uma melhor caracterização química desse mineral, procurou-se definir a presença de mais de uma fase mineralógica, junto às amostras marcadas por sua presença, bem como o tamanho adequado e ausência de fraturas e/ou alterações que pudessem prejudicar a visualização e, consequentemente, as análises.

Foram estudados cerca de 25 grãos diferentes deste mineral, totalizando aproximadamente 80 leituras em pontos diferentes.

Na parte analítica, recorreu-se a padrões cuja composição era a mais similar possível à da fase investigada. Assim, foram utilizados: clinopiroxênio (CPX-118), diopsídio com 2% TiO_2 (vidro) e diopsídio 85 - jadeíta 15 (vidro) para os elementos: Si, Mg, Ca, Fe e Al. A unidade de cálculo para as fórmulas químicas foi 6 átomos de oxigênio.

2.5.2. Olivina

Este mineral foi analisado parcialmente, com as fórmulas químicas expressas na base de 4 átomos de oxigênio. Com o intuito

de avaliar os teores das moléculas de forsterita e fayalita, os elementos analisados foram: Si, Fe e Mg, e os padrões utilizados: olivina (1741) e forsterita (Quebec).

Foram realizadas cerca de 100 leituras em pontos diferentes de aproximadamente 25 grãos deste mineral.

2.5.3. Tremolita

Com vistas a uma melhor caracterização química deste mineral e, também, para distingui-lo das flogopitas, nos locais onde opticamente a distinção se apresentava difícil, procedeu-se à análise tanto dos elementos principais, nas fases mais características, como dos elementos traços. As fórmulas químicas foram calculadas na base de 23 átomos de oxigênio. Como padrões foram usados: tremolita (Campolungo) e hornblenda (Kakanui), para as fases mais características, cujos elementos analisados foram: Si, Al, Fe, Mg e Ca. Para as menos características, além dos elementos supracitados, foram analisados ainda: Ti, Mn, Na, K, F e Ba.

Para estas análises utilizou-se os seguintes padrões: biotita (Universidade da Basiléia), biotita (≠ 3), biotita (≠ 1), tremolita (Falls Village), hornblenda (Wilberforce, Canadá) e benitoíta (San Benito) para Ba.

Para a análise das tremolitas, foram efetuadas cerca de 50 leituras em diferentes pontos de aproximadamente 14 grãos minerais.

2.5.4. Flogopita

A unidade de cálculo para as fórmulas químicas deste mineral foi 22 átomos de oxigênio. A exemplo da tremolita, procedeu-se, também, à análise dos elementos principais e alguns elementos traços. Como padrões foram usados: biotita (Universidade da Basiléia) para Si, Fe e Ti; biotita ($\neq$ 3) para Al, K, Mn e Na; clorita (MG-7) para Mg; tremolita (Campolungo) para Ca e benitoíta (San Benito) para Ba.

Efetivaram-se aproximadamente 60 leituras em cerca de 15 grãos deste mineral.

2.5.5. Clorita

Na sua caracterização, realizou-se a análise de elementos principais e traços. As fórmulas químicas foram calculadas na base de 28 átomos de oxigênio.

Efetuou-se cerca de 70 determinações, tomadas em diferentes grãos deste mineral, tendo-se o cuidado de realizar as leituras nos bordos e centro dos grãos.

Como padrões foram utilizados: biotita (Universidade da Basiléia) para Si, Ti e Fe; biotita ($\neq$ 3) para Al, K, Na, Mn e F; tremolita (Campolungo) para Ca; clorita (MG-7) para Mg e benitoíta (San Benito) para Ba.

CAPÍTULO 3

MINERALOGIA, PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DOS MÁRMORES

3.1. Generalidades

A região de Caçapava do Sul, RS., compreende, principalmente, a Quadrícula de mesmo nome. Localiza-se entre os meridianos 53° e 54° WGr e os paralelos $3o^{o}$ e 31° LS. Abrange aproximadamente 11.000 km^2. Sua denominação é oriunda do principal município e centro geográfico da área (Fig. 1).

A referida região é caracterizada pela ocorrência de um batólito granítico cujo afloramento, de forma aproximadamente elíptica, mostra dimensões de 25 x 10 km, possuindo seu eixo principal na direção norte-sul. A cidade de Caçapava do Sul está situada na porção centro-oeste da superfície do referido batólito (RIBEIRO et alii, 1966).

O corpo granítico é circundado por um cinturão de metamorfitos que se mostra estreito nos bordos leste e oeste, enquanto que nas extremidades norte e sul ele se alarga (BITENCOURT, 1983). Estes metamorfitos foram classificados por Goni et alii (1962)(in: RIBEIRO et alii, 1966) como pertencentes à Formação Vacacaí que, então, seria composta por xistos, filitos, quartzitos, mármores (calcíticos ou dolomíticos), anfibolitos etc.

Nas vizinhanças do granito, estas rochas metamórficas

mostram-se recobertas a NE pelos sedimentos da Formação Rio Bonito e a NW contactam com sedimentos da Formação Maricá (RIBEIRO, 1970). Este mesmo autor afirma que as bordas norte, leste e sul do Granito Caçapava mostram relações de contato típicas de intrusão com a Formação Vacacaí. Relações estas que se refletem tanto no aspecto estrutural como faciológico.

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 (Fig. 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 exijam 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 (Fotomicrografia 6).

3.2. Descrição mineralógica

A maioria dos minerais constituintes destas rochas foi

caracterizada ao microscópio. Entretanto, algumas amostras sofreram análise por difratometria, para auxiliar ou confirmar a identificação das fases, e por microssonda eletrônica, para a caracterização química.

3.2.1. Dolomita

É o principal constituinte mineralógico destas rochas, ocorrendo, de modo geral, como grãos equidimensionais, cuja disposição adquire o aspecto de mosaico. Seus contornos são irregulares, às vezes crenulados, e são comuns as geminações polissintéticas, por vezes em mais de uma direção.

O tamanho médio dos grãos varia de 0,20 mm a 0,60 mm. Outrossim, foram observados grãos com 1,35 mm (C-15a) e com 0,005 mm (C-5b). Em várias amostras (C-9f; C-9d; C-12a; C-12b; C-14a_2;C-17c; C-17e) nota-se a presença concomitante de dois tamanhos de grãos. Neste caso, os grãos de menor tamanho aparecem circundando os maiores e preenchendo os espaços entre eles (Fotomicrografia 6).

Em algumas amostras (C-9c; C-9d; C-9e; C-14a_1)observa-se a presença de microfraturas preenchidas por calcita (Fotomicrografias 2 e 5).

Em outros casos (CS-1; C-5b; C-5c; C5-d; C-5f; C-6; C-7; C-15a; C-17a) a dolomita aparece substituída pela calcita, mas, na maioria das vezes,a substituição é parcial. A forma original do grão é mantida e, como a substituição se processo das bordas para o centro, é freqüente a presença de "ilhas" de dolomita no interior da calcita.

3.2.2. Calcita

De modo geral apresenta-se na forma de grãos com tamanho médio que varoa de 0,12 mm a 0,30 mm, alcançando, em alguns casos, 0,80 mm e raramente 1,0 mm (C-19). O contorno dos mesmos, quando em contato entre si, é irregular, resultando em indivíduos subédricos. Entretanto, no limite com outros minerais, mostra interdigitações indicadoras de reação.

Aparece preenchendo fraturas na rocha e/ou microfraturas em alguns minerais (Fotomicrografias 2 e 7), como dolimita, anfibólio (C-7; C-8; C-12a), mica (C-17f), piroxênio C-19) e no interior de outros, como clorita (Fotomicrografia 6).

Ocorre substituindo parcial ou totalmente a dolomita, substituição esta que foi favorecida pela penetração de soluções ao longo de microfissuras na dolomita. Por isso, são comuns "ilhas" desta última no seu interior.

Associa-se mais intimamente à dolomita, substituindo-a, num processo que inicia nas bordas e vai em direção ao centro dos grãos. Não obstante, ocorre, também, junto a anfibólio, piroxênio, clorita, olivina e serpentina, constituindo bandas irregulares e descontínuas, nas rochas, cuja espessura varia desde poucos milímetros a alguns centímetros.

Mostra-se, também, associada ao talco e mica (C-5b). Nestes locais, seus grãos apresentam bordos serrilhados indicativos de reação.

3.2.3. Calcita ferrífera

Com freqüência, possui hábito granular cujos grãos, pequenos e aproximadamente equidimensionais, mostram um tamanho médio que varia de 0,1 mm a 0,20 mm. Em certos casos, alcançam 0,38 mm (C-17c) e 0,03 mm (C-5c).

Às vezes, formam aglomerados granulares, de grãos bastante pequenos, e com aspecto alongado e irregular (C-9d) (Fotomicrografia 3).

Associa-se, principalmente, à calcita, aparecendo, também, junto a anfibólio, clorita, quartzo e mica.

Em uma lâmina (C-17f), nota-se associação com clorita e talco formando microbandas e, também, sua inclusão em palhetas de mica.

Como regra, ocorre preenchendo fraturas na rocha, associada à calcita, embora seja bem menos abundante do que esta.

3.2.4. Olivina

Aparece na forma de grãos mais ou menos arredondados. Em geral, mostra-se alterada parcial ou totalmente em serpentina. Quando a alteração é completa, resta apenas o formato dos grãos originais (pseudomorfose) de olivina (Fotomicrografias 1 e 2).

O tamanho médio dos grãos está em torno de 0,25 mm, atingindo, porém, valores da ordem de 1,70 mm (C-15a) e 0,04 mm (C-10) como máximo e mínimo, respectivamente.

Com freqüência está associada à calcita, ao longo de bandas irregulares e descontínuas na rocha.

Em um caso (C-14a$_1$), nos grãos totalmente alterados em serpentina, observa-se a presença de massas microgranulares de óxido de ferro associadas (Fotomicrografia 5).

3.2.5. Serpentina

Ocorre na forma de massas fibrosas, de contornos mais ou menos arredondados, dispersas na rocha formando pontos isolados ou em pequenos agrupamentos.

Na maioria das vezes, seu formato lembra o dos minerais que lhes deram origem, uma vez que é produto de alteração da olivina. É comum, também, o seu aparecimento ao longo de clivagens e microfraturas em grãos de outros minerais, como piroxênio (Fotomicrografia 4).

Em geral, está associada à calcita formando microbandas onde, por vezes (C-9f), se juntam os anfibólios.

3.2.6. Flogopita

Com a forma de pequenas palhetas, aparece com tamanho médio de 0,25 mm, alcançando valores de 1,64 mm (C-17c) e 0,03 mm (C-13c) como máximo e mínimo, respectivamente.

Geralmente está associada à calcita e, às vezes, aos minerais silicáticos como a olivina (C-14a$_1$) e clorita (C-17f), além

de calcita ferrífera (C-9d; C-12b; C-17b; C-13b).

Ocorre dispersa pela rocha na forma de palhetas isoladas, ou, ao longo de microfraturas, onde mostram alteração quase total em clorita.

Alteração parcial em clorita é comum em quase todas as amostras, observando-se um tipo ou outro numa mesma palheta ou conjunto foliáceo.

Em algumas amostras (C-12a; C-14a_1; C-14a_2; C-17c; C-19), foram observados microdobras e microfissuras neste mineral, preenchidas geralmente por calcita e, em casos mais raros, por opacos (C-9d; C-12a).

3.2.7. Anfibólio

Apresenta-se na forma de cristais fibrosos, geralmente de contornos irregulares, mostrando-se, às vezes, subédricos a euédricos (C-9f; C-10; C-12a), ou mesmo euédricos (C-14a_2).

O seu comprimento médio gira em torno de 0,25 mm alcançando valores de 1,20 mm e 0,03 mm como máximo e mínimo, respectivamente. Em alguns casos, ocorrem dois tamanhos numa mesma lâmina (C-8), alcançando 0,65 mm, em média, os maiores, e 0,23 mm, os menores.

Na maioria das vezes, são nítidas as duas direções de clivagem com secções basais típicas (Fotomicrografia 8).

Com freqüência, associa-se à calcita e em menor proporção, à calcita ferrífera, talco, dolomita e demais silicatos.

Em certos casos, os grãos se mostram agrupados e orientados (C-7), formando pequenos acúmulos, com dimensões de alguns milímetros, também orientados (C-9f); ou constituindo bandas milimétricas e descontínuas, na maioria das vezes associados à calcita (C-9e; C-17c; C-5c).

Os cristais apresentam-se incolores, sem pleocroísmo e o ângulo de extinção, medido em secção de máxima birrefringência, mostra valores de ng $\wedge$ c = 11° - 17°, nas diversas lâminas examinadas.

Não raro, observa-se a penetração de calcita ao longo das fissuras e nas corrosões dos grãos, acompanhada, por vezes, pela dolomita (C-9f; C-12a; C-14a_2; C-17e) e, mais raramente, pelo talco (C-5f).

Em certos locais, nota-se um relacionamento mais direto com calcita (C-9f) e, em outros, a presença de clorita nos bordos (C-8).

3.2.8. Clorita

Aparece na forma de palhetas geralmente incolores, às vezes de cor levemente esverdeada (C-5b; C-13b; C-13c), com fraco pleocroísmo para verde-acastanhado. Seu tamanho médio é de 0,16 mm, alcançando valores de 0,80 mm e 0,06 mm como máximo e mínimo, respectivamente.

Em geral, as palhetas dispõem-se aleatoriamente, preenchendo espaços entre os carbonatos. Contudo, em alguns locais (C-13b; C-13c), mostram certa orientação, enquanto noutros (C-17c), agrupam-se

em determinadas porções da lâmina formando bandas juntamente com minerais silicáticos e calcita ferrífera.

Sua cor de interferência normalmente é anômala, representada por uma coloração azul-berlim (C-13b; C-5b), o que é característico para cloritas ricas em Mg.

Por vezes, nota-se associação com calcita que penetra ao longo de seus planos de clivagem (CS-1; C-5b; C-9d; C-17c; C-17f), ou está inclusa no seu interior (Fotomicrografia 6). Noutros casos, observa-se associação com serpentina (CS-1), talco (C-5b; C-17f) e dolomita (C-5b).

Outrossim, a presença de uma relação mais íntima entre clorita e flogopita, aparecendo as duas numa mesma palheta, indica sua origem pela alteração desta última (C-14a_2).

3.2.9. Piroxênio

Ocorre na forma de prismas curtos, subédricos a anédricos, de cor levemente esverdeada ou incolor e sem pleocroísmo. Com freqüência mostra fraturas e corrosões preenchidas por calcita (C-9e; C-10; C-14a_2), serpentina (C-10) (Fotomicrografia 4) e flogopita (C-14a_2).

É comum sua associação com calcita e, às vezes, com olivina e serpentina.

Na amostra C-19, o piroxênio é o principal constituinte mineralógico das bandas silicáticas que se alternam com os carbonatos.

O ângulo de extinção, medido em secções de máxima birrefringência, acusou valores de $ng \wedge c = 40^{o}$.

3.2.10. Apatita

É rara e se apresenta na forma de pequenos grãos anédricos e, às vezes, subédricos (C-12a), com o desenvolvimento parcial de três arestas de face hexagonal. São incolores, sem pleocroísmo, baixa birrefringência e seu tamanho médio é de 0,12 mm, alcançando 0,16 mm e 0,07 mm como valores máximo e mínimo, respectivamente.

O mineral é uniaxial negativo, associa-se freqüentemente à calcita e, às vezes, ao piroxênio e flogopita.

Sua disposição, na rocha, é aleatória.

Às vezes, alguns grãos (C-14a_2) se apresentam circundados por uma película de calcita.

3.2.11. Titanita

De alto relevo e cor amarelada, ocorre na forma de grãos isolados e espalhados entre os minerais silicáticos (C-17c).

Seu tamanho médio é de 0,20 mm e alguns grãos mostram o hábito losangular característico.

Associa-se, principalmente, à calcita.

3.2.12. Quartzo

Apresenta-se na forma de massas granulares, cujos grãos são pequenos, irregulares e com disposição em mosaico. Às vezes (C-13c; C-17a), aparece euédrico, geralmente isolado, com formato hexagonal bastante característico.

Ocorre comumente associado à calcita, acompanhando, inclusive, sua orientação, e exibe nítida extinção ondulante.

Por vezes, mostra "ilhas" de dolomita no seu interior (C-13b), outras vezes, apresenta preenchimentos de talco (C-17a).

Seu tamanho médio é de 0,08 mm, entretanto, certos cristais euédricos atingem 1,5 mm (C-17a).

Em certos casos, preenche microfraturas na rocha (C-13c), com espessura de 0,01 mm a 0,03 mm.

3.2.13. Talco

De birrefringência alta e formando agregados de minúsculos cristais, ocorre associado à calcita, principalmente, e, em segundo plano, à calcita ferrífera, anfibólio, clorita e dolomita.

Aparece preenchendo microfissuras em anfibólios (C-5f), substituindo parcialmente anfibólios e preenchendo espaços entre dolomita e clorita (C-6; C-7; C-17c).

Não é um mineral muito abundante, mas aparece em vários locais da área estudada.

3.2.14. Opacos

Ocorrem como massas microgranulares dispersas pela rocha ou obedecendo certa orientação, principalmente os planos de clivagem da dolomita.

Aparecem, também, em fissuras nos grãos de dolomita, anfibólio, flogopita e serpentina (Fotomicrografia 5).

3.3. Determinações mineralógicas por difratometria de raios X

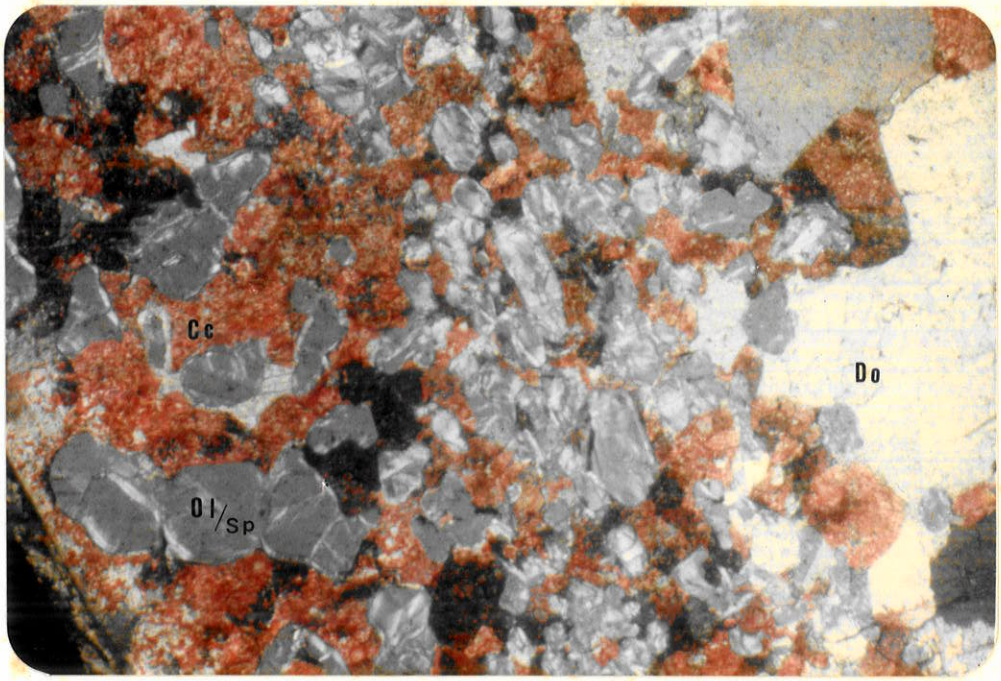
Com o intuito de investigar, por meio de outros métodos, a variação mineralógica das amostras dos mármores de Caçapava do Sul, observadas em secções delgadas, foram feitas análises por difração de raios X em 8 amostras. A metodologia e as condições de operação encontram-se descritas no Capítulo 2.

Na amostra C-9f foram detectados picos representativos de dolomita e calcita, confirmando sua presença, e de tremolita, serpentina, talco e clorita.

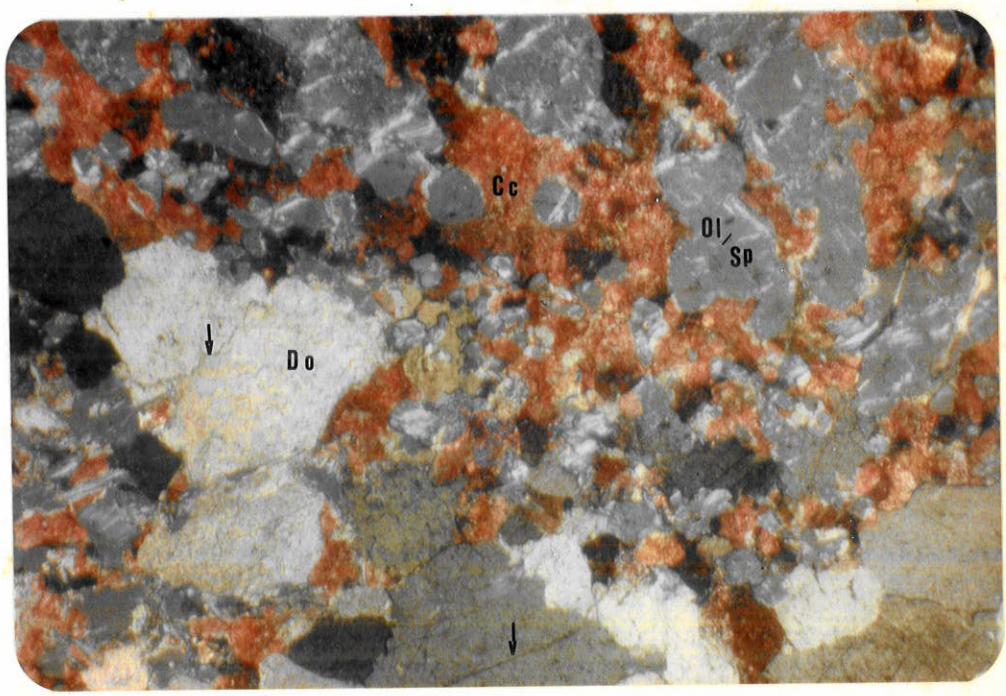
As amostras C-13b e C-13c revelaram, novamente, a predominância dos carbonatos e acusaram o aparecimento de clorita, quartzo e mica, comuns a ambas, e talco, restrito à C-13b.

Nas amostras C-17c, C-17e e C-17f apareceram em maior quantidade os carbonatos, seguidos de clorita e talco, em todas, titanita, na C-17c, e flogopita, quartzo e tremolita na C-17e.

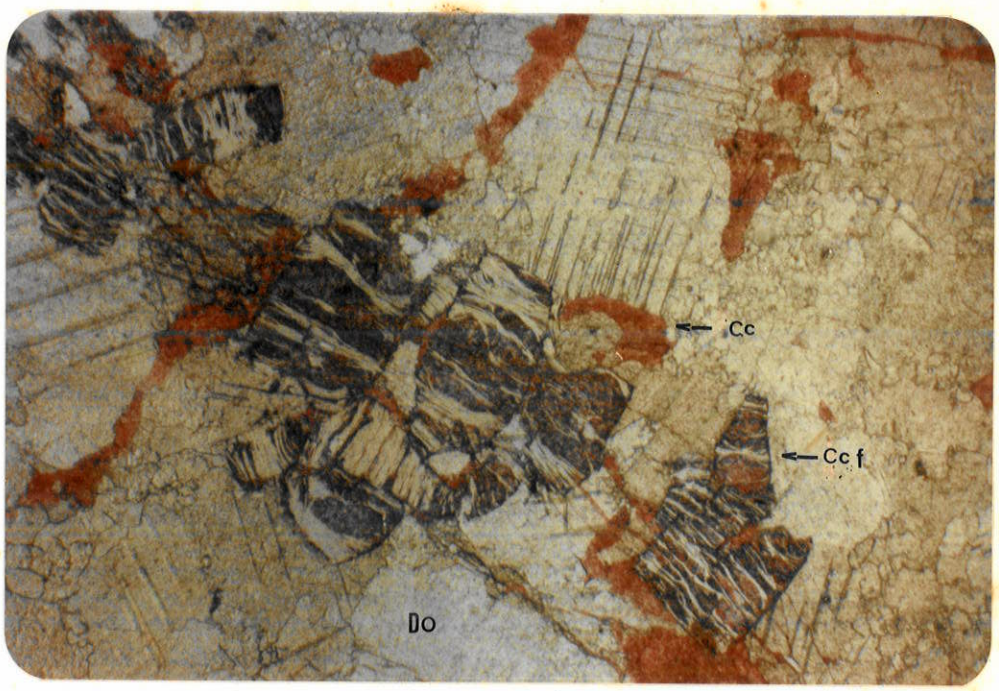
Os feldspatos, embora tenham sido detectados por esta análise, não foram observados em lâmina delgada devido à sua ocorrência extremamente restrita (Difratogramas no ANEXO).



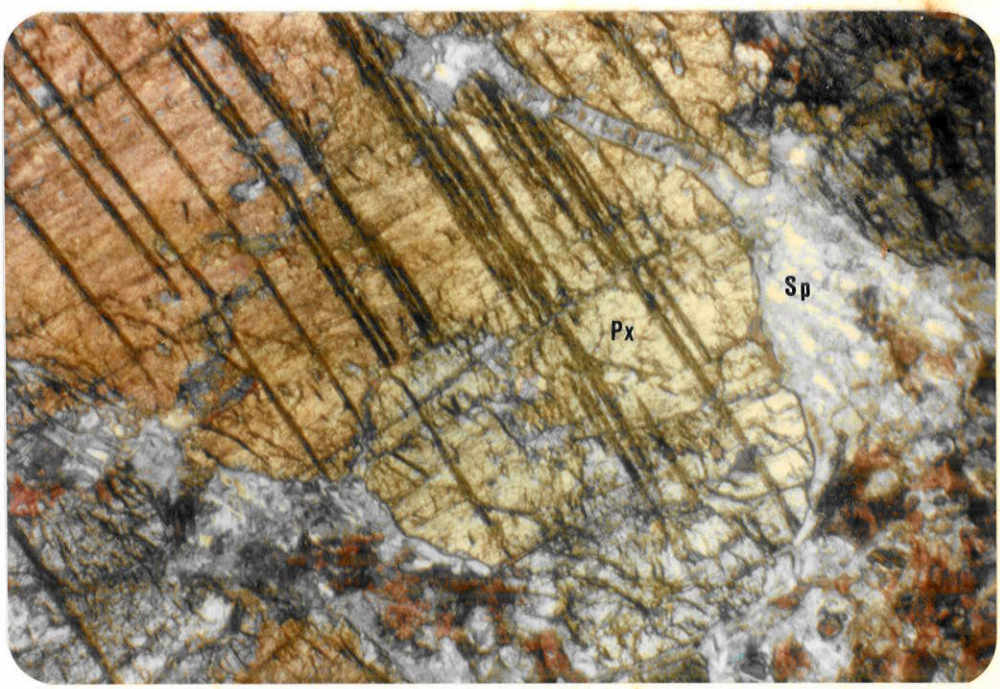
Fotomicrografia 1 - À esquerda, banda com predominância de calcita (Cc) e olivina serpentinizada (Ol/Sp). À direita, dolomita (Do). Nícois semicruzados. Aumento 45 X.



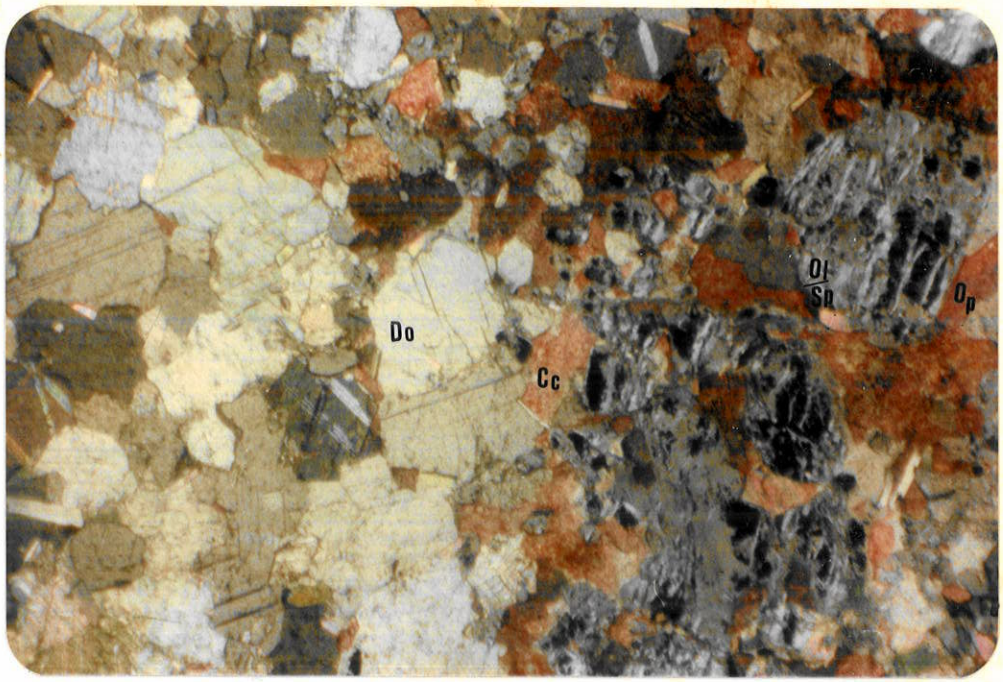
Fotomicrografia 2 - Grãos de dolomita (Do) mostrando microfissuras preenchidas por calcita (Cc). Banda com predominância de calcita (Cc) e olivina serpentinizada (Ol/Sp). Nícois semicruzados. Aumento 45 X.



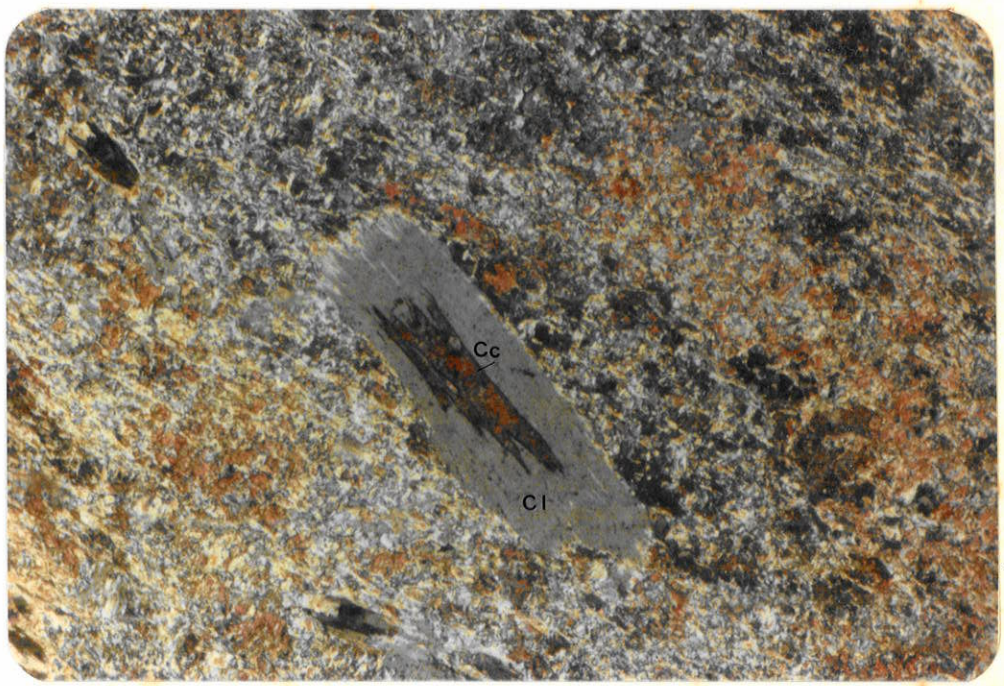
Fotomicrografia 3 - Banda mostrando associação de calcita (Cc) e calcita ferrífera (Ccf), além de microfraturas em dolomita (Do) preenchidas por calcita. Nícois paralelos. Aumento 45 X.



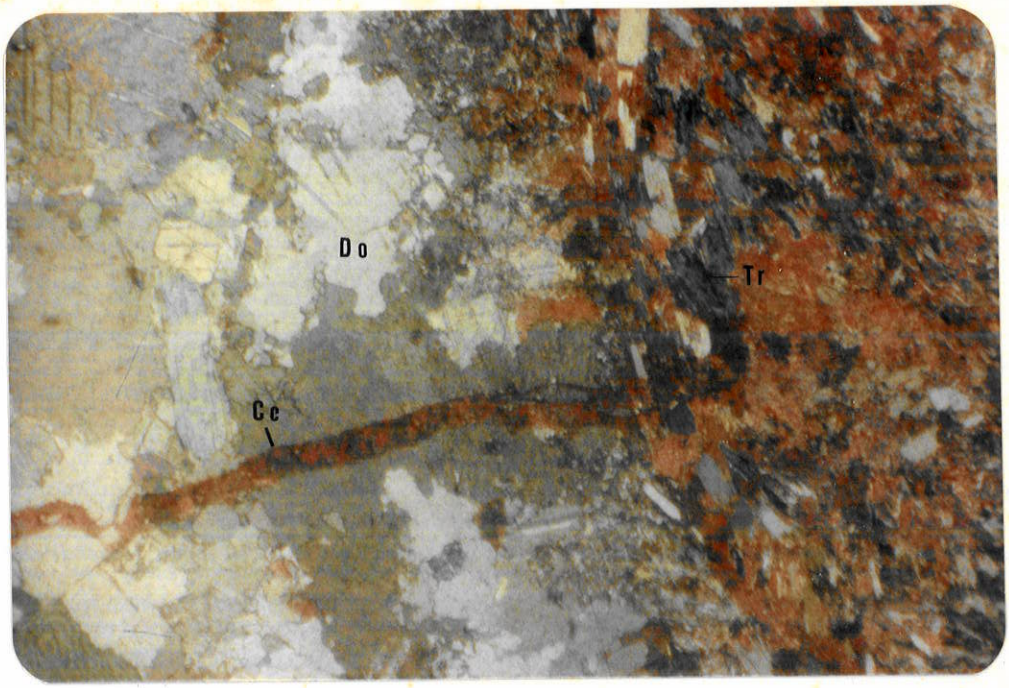
Fotomicrografia 4 - Microfissuras em piroxênio (Px) preenchidas por serpentina (Sp) associada à calcita (Cc). Nícois semicruzados. Aumento 100 X.



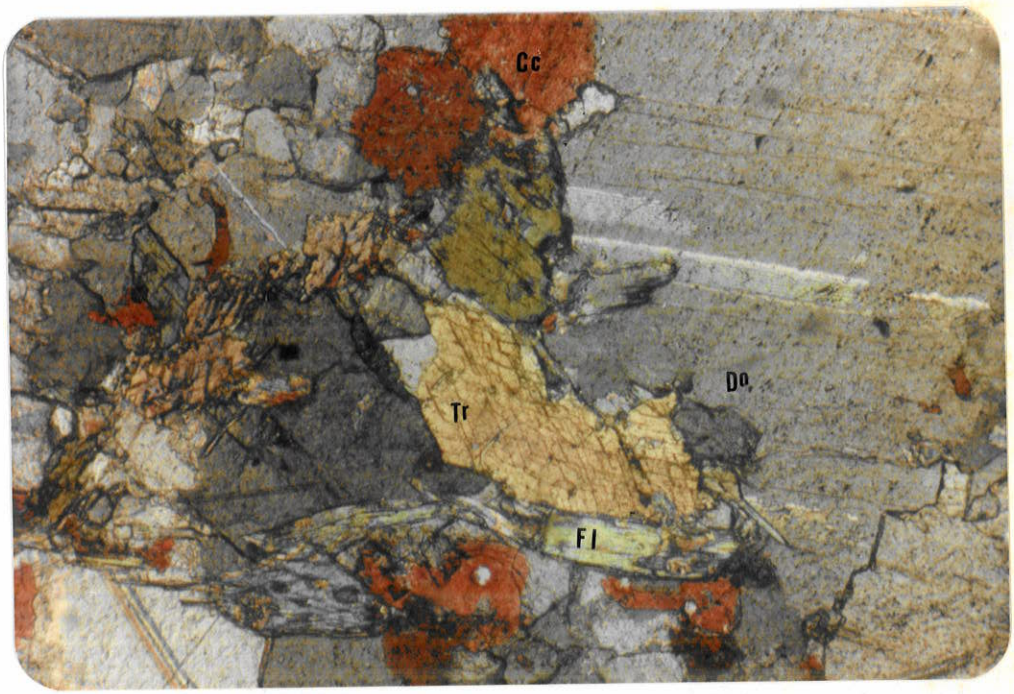
Fotomicrografia 5 - Aspecto granular da banda dolomítica (Do), à esquerda. À direita, associação de calcita (Cc) e olivina serpentinizada (Ol/Sp) com inclusões de opacos (Op). Nícois semicruzados. Aumento 45 X.



Fotomicrografia 6 - Clorita (Cl) com calcita (Cc) no seu interior, numa textura granoblástica fina. Nícois semicruzados. Aumento 100 X.



Fotomicrografia 7 - Microfratura em dolomita (Do) preenchida por calcita (Cc). À direita, banda com predominância de calcita (Cc) e tremolita (Tr). Nícois semicruzados. Aumento 45 X.



Fotomicrigrafia 8 - Tremolita (Tr) entre dolomita (Do), calcita (Cc) e flogopita (Fl). Nícois semicruzados. Aumento 100 X.

3.4. Quimismo mineral com a microssonda eletrônica

Na caracterização química dos minerais, recorreu-se à técnica de análise com a microssonda eletrônica, nas condições de operação referidas no Capítulo 2.

As amostras foram selecionadas de acordo com a freqüência de aparecimento dos minerais a serem analisados. Em alguns casos, entretanto, este trabalho foi dificultado tendo em vista a alteração apresentada por certos minerais, como olivinas, o pequeno tamanho de outros, como cloritas, e o número reduzido de alguns, como flogopitas.

A seguir, são descritos os minerais analisados.

3.4.1. Anfibólios

O estudo dos anfibólios baseou-se, inicialmente, em observações ópticas. Contudo, para uma melhor caracterização e conseqüente classificação, efetuou-se, com a microssonda eletrônica, a análise dos elementos Si, Mg, Ca, Fe e Al, nos grãos opticamente mais características, e Ti, Mn, Na, K e F, além dos elementos anteriormente citados, para os indivíduos menos característicos, do ponto de vista óptico.

As leituras foram realizadas em cerca de 14 grãos deste tipo mineralógico e as condições de operação e padrões empregados estão descritos no Capítulo 2.

A composição química, apresentada na Tabela 1, mostra que não há zoneamento nos minerais analisados.

De acordo com os resultados obtidos e lançados no diagrama da Figura 3, foi possível identificá-los como *tremolitas*.

3.4.2. Piroxênios

A determinação, por microssonda, das concentrações de Si, Mg, Ca, Fe e Al foi feita tendo por objetivo principal a caracterização química dos piroxênios e sua classificação.

As leituras efetuaram-se em aproximadamente 25 grãos diferentes deste mineral e as condições de operação e padrões utilizados estão descritos no Capítulo 2.

A composição química parcial consta da Tabela 2 e os dados obtidos e lançados no diagrama da Figura 4 permitiram classificá-los como *diopsídios* e *endiopsídios*.

3.4.3. Olivinas

Fe, Si e Mg foram os elementos analisados com o intuito de caracterizar este mineral e identificar sua espécie.

Pelo fato de se apresentarem parcial ou totalmente alterados, o trabalho de seleção de grãos e amostras tornou-se um pouco difícil. Entretanto, a relativa abundância deste mineral (aparece em 9 das 25 amostras estudadas) permitiu um bom número de análises e, consequentemente, sua caracterização.

Os resultados obtidos constam da Tabela 3 e o cálculo das percentagens de Fe e Mg permitiu classificá-las como forsteritas (Fig. 5).

Tabela 1 - Composição química de tremolitas dos mármores de Caçapava do Sul, RS.

Amostra nº	CS-5b		C-9e
	n	b	n
SiO_2	54,70	55,30	53,26
TiO_2	0,00	0,01	0,12
Al_2O_3	0,27	0,31	1,61
FeO	0,33	0,50	0,21
MnO	0,00	0,04	0,00
MgO	26,62	26,32	25,79
CaO	13,27	11,99	12,79
Na_2O	0,07	0,06	0,84
K_2O	0,25	0,04	0,15
BaO	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00
Total	95,51	94,57	94,77

Fórmula estrutural expressa na base de 23 átomos de oxigênio.

Si	7,658	7,766	5,526
Al^{IV}	0,045	0,051	0,268
Al^{VI}	-	-	-
Ti	0,000	0,001	0,013
Fe	0,039	0,059	0,025
Mn	0,000	0,005	0,000
Mg	5,556	5,510	5,431
Ca	1,990	1,804	1,935
Na	0,018	0,016	0,230
K	0,044	0,007	0,028
Ba	0,000	0,000	0,000
F	0,000	0,000	0,000
Y	5,595	5,575	5,469
X	2,052	1,827	2,193

Amostra nº	CS-5c		$C-14_{a2}$	
	n	b	n	b
SiO_2	57,35	56,02	55,88	56,77
Al_2O_3	0,25	0,24	0,14	0,11
FeO	1,06	1,20	0,31	0,30
MgO	25,78	26,29	25,72	25,56
CaO	12,90	13,21	13,71	13,83
Total	97,34	96,96	95,76	96,57

Fórmula estrutural expressa na base de 23 átomos de oxigênio.

Si	7,839	7,724	7,776	7,823
Al^{IV}	0,041	0,039	0,023	0,018
Al^{VI}	-	-	-	-
Fe	0,121	0,138	0,036	0,035
Mg	5,252	5,403	5,334	5,250
Ca	1,888	1,951	2,044	2,042

Obs.: n - núcleo; b - borda.
Y - Posições estruturais dos cátions: Mg, Mn e Fe.
X - Posições estruturais dos cátions: Ca, Na e K.

TABELA 2 - Composição química de diopsídios dos mármores de Caçapava do Sul.

Amostra nº	Cs-5b I	CS-5b III		C-9e I		C-9e III		C-10 I		C-10 II		C-10 III		C-19 III	
	n	n	b	n	b	n	b	n	b	n	b	n	b	n	b
SiO_2	61,83	57,20	57,25	56,27	56,74	52,31	54,73	54,61	54,81	53,39	53,80	50,31	50,15	52,71	53,37
Al_2O_3	0,06	0,05	0,10	0,06	0,01	0,18	0,11	0,02	0,02	0,09	0,02	0,02	0,04	0,06	0,06
FeO	0,36	1,04	0,73	0,18	0,20	0,27	0,32	0,84	0,83	0,90	0,81	0,98	0,88	0,28	0,27
MgO	25,10	23,14	25,24	19,54	21,34	23,72	25,01	20,07	19,65	20,61	19,83	19,38	20,94	23,04	23,55
CaO	13,34	17,86	15,56	25,78	25,61	22,81	18,18	25,53	25,48	25,42	25,17	26,03	25,31	12,88	12,87
Total	100,69	99,29	98,88	101,83	103,90	99,29	98,35	101,07	100,79	100,41	99,63	96,72	97,32	88,97	90,12
Fórmula estrutural expressa na base de 6 átomos de oxigênio															
Si	2,111	2,031	2,025	1,991	1,969	1,903	1,970	1,959	1,970	1,934	1,958	1,908	1,887	2,055	2,053
Al^{IV}	-	-	-	0,003	0,001	0,008	0,005	0,001	0,001	0,004	0,001	0,001	0,002	-	-
Al^{VI}	0,002	0,002	0,004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,003	0,003
Fe	0,010	0,031	0,022	0,005	0,006	0,008	0,010	0,025	0,025	0,027	0,025	0,031	0,028	0,009	0,009
Mg	1,277	1,224	1,331	1,031	1,104	1,286	1,342	1,073	1,053	1,113	1,076	1,095	1,174	1,339	1,350
Ca	0,488	0,680	0,590	0,977	0,952	0,889	0,701	0,981	0,981	0,987	0,982	1,057	1,020	0,898	0,897
%Fe	0,57	1,60	1,13	0,25	0,29	0,37	0,49	1,20	1,21	1,27	1,20	1,42	1,26	0,40	0,40
%Mg	71,94	63,26	68,50	51,22	53,54	58,91	65,37	51,61	51,14	52,33	51,66	50,16	52,84	59,62	59,84
%Ca	27,49	35,14	30,37	48,53	46,17	40,72	34,14	47,19	47,65	46,40	47,14	48,42	45,90	39,98	39,76

Obs.: n - núcleo; b - borda.

FIGURA 3 - Anfibólios dos mármores de Caçapava do Sul, projetados no diagrama de Leake (1968).

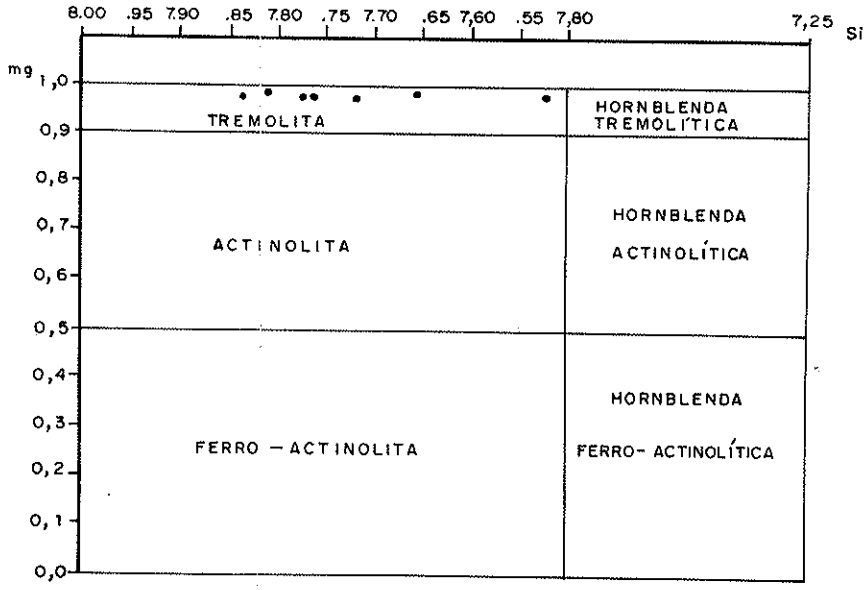


FIGURA 4 - Piroxênios dos mármores de Caçapava do Sul, projetados de acôrdo com a nomenclatura dos clinopiroxênios de Poldervaart & Hess, 1951 (In: DEER, Howie & Zussman , 1971).

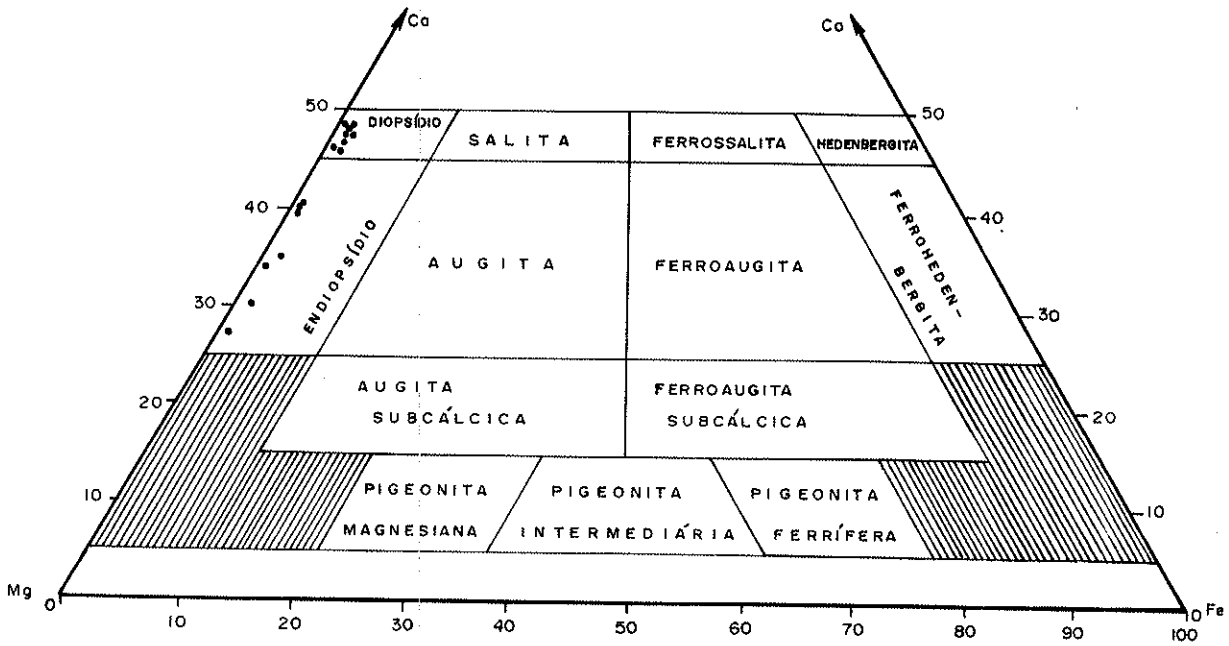


Tabela 3 - Composição química de olivinas dos mármores de Caçapava do Sul, RS.

Amostra nº	C-19		C-10 I		C-10 II		C-10 III	
	n	b	n	b	n	b	n	b
SiO_2	40,03	39,02	40,61	40,37	40,01	39,45	39,54	39,69
FeO	0,18	0,20	6,19	6,13	6,20	6,05	5,39	5,97
MgO	39,67	38,92	50,73	50,87	50,93	50,74	50,22	48,74
Total	79,88	78,14	97,53	97,37	97,14	96,24	95,15	94,40
Fórmula estrutural expressa na base de 4 átomos de oxigênio								
Si	1,149	1,146	1,003	0,999	0,993	0,989	0,998	1,011
Fe	0,004	0,005	0,128	0,127	0,129	0,127	0,114	0,127
Mg	1,697	1,703	1,867	1,876	1,885	1,896	1,890	1,851
Fayalita	0,24	0,29	6,42	6,34	6,41	6,28	5,69	6,42
Forsterita	99,76	99,71	93,58	93,66	93,59	93,72	94,31	93,58

Obs.: n - núcleo; b - borda.

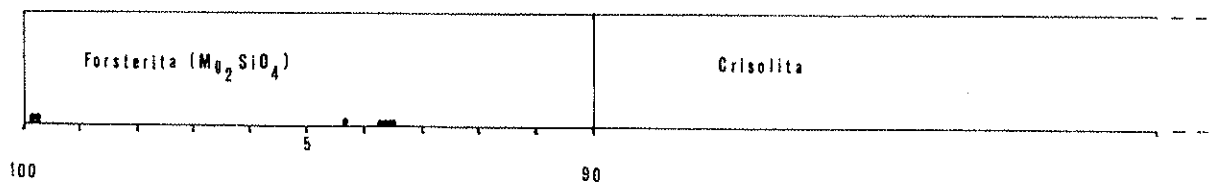


Figura 5 - Olivinas dos mármores de Caçapava do Sul, projetadas no diagrama de DEER, HOWIE & ZUSSMAN, 1977 (modif.).

3.4.4. Micas

Para esse mineral foram analisados os elementos: Fe, Ti, Mg, Mn, Na, Ca, F, Ba, K, Si e Al. A composição química e a fórmula estrutural constam da Tabela 4.

As condições de operação e os padrões utilizados estão descritos no Capítulo 2.

De acordo com os resultados obtidos no cálculo das percentagens de Fe e Mg, foi possível classificá-las como *flogopitas*.

3.4.5. Cloritas

As cloritas foram submetidas à análise dos mesmos elementos das micas por se mostrarem opticamente confundíveis com estas. Suas maiores quantidades em Si e Mg, entretanto, permitiram a sua distinção das micas.

A composição química e a fórmula estrutural constam da Tabela 5.

As condições de operação e os padrões empregados estão descritos no Capítulo 2.

De acordo com os resultados obtidos e lançados no diagrama da Figura 6, pôde-se concluir tratarem-se de *talco-cloritas*.

Tabela 4 - Composição química de flogopitas dos mármores de Caçapava do Sul, RS.

Amostra nº	Cs-5B		$C-14a_1$		C-9e		$C-14a_2$	
	n	b	n	b	n	b	n	b
SiO_2	38,69	38,59	39,54	39,50	41,85	41,23	41,51	41,32
TiO_2	0,22	0,18	0,09	0,08	0,17	0,19	0,19	0,26
Al_2O_3	12,20	12,27	19,09	18,69	12,93	12,82	13,70	13,96
FeO	2,92	2,48	0,42	0,44	0,33	0,29	0,53	0,54
MnO	0,02	0,07	0,00	0,00	0,08	0,02	0,01	0,02
MgO	31,89	31,44	35,41	35,20	32,42	29,86	35,54	32,47
CaO	0,60	0,70	0,14	0,18	0,11	0,11	0,20	0,15
Na_2O	0,01	0,03	0,02	0,02	0,03	0,36	0,32	0,16
K_2O	0,34	0,26	0,00	0,00	7,00	9,69	7,84	9,85
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,36	0,52	0,08	0,07
Total	86,89	86,02	94,71	94,11	95,28	95,09	99,92	98,80
Fórmula estrutural expressa na base de 22 átomos de oxigênio								
Si	5,669	5,700	5,232	5,260	5,746	5,776	5,484	5,570
Al^{IV}	2,107	2,137	2,768	2,740	2,092	2,116	2,133	2,218
Al^{VI}	-	-	0,209	0,193	-	-	-	-
Ti	0,025	0,020	0,009	0,008	0,018	0,021	0,019	0,026
Fe	0,357	0,306	0,046	0,049	0,037	0,035	0,058	0,061
Mn	0,003	0,000	0,000	0,000	0,010	0,003	0,001	0,002
Mg	6,964	6,922	6,983	6,987	6,635	6,235	6,999	6,524
Ca	0,094	0,111	0,020	0,026	0,016	0,017	0,029	0,022
Na	0,002	0,009	0,006	0,006	0,009	0,097	0,081	0,042
K	0,064	0,056	0,000	0,000	1,225	1,732	1,321	0,693
Ba	0,000	0,000	0,000	0,000	0,019	0,029	0,004	0,004
Y	7,349	7,248	7,247	7,237	6,700	6,294	7,077	6,613
X	0,160	0,176	0,026	0,032	1,250	1,846	1,431	1,757
% Fe	4,88	4,23	0,65	0,70	0,55	0,56	0,82	0,93
% Mg	95,12	95,77	99,35	99,30	99,45	99,44	99,18	99,07

Obs.: FeO - calculado como Fe_{total}

n - núcleo; b - borda.

Y - Posiçoes estruturais dos cátions: Mg, Mn e Fe.

X - Posições estruturais dos cátions: Ca, Na e K.

Tabela 5 - Composição química de cloritas dos mármores de Caçapava do Sul, RS.

Amostra nº	C-9e		$C-14a_2$	
	n	b	n	b
SiO_2	44,52	45,10	44,88	45,06
TiO_2	0,06	0,05	0,11	0,17
Al_2O_3	3,34	2,22	2,73	3,54
FeO	0,16	0,14	0,55	0,51
MnO	0,02	0,02	0,00	0,00
MgO	40,51	40,89	41,80	40,06
CaO	0,14	0,36	0,19	0,18
Na_2O	0,09	0,06	0,10	0,10
K_2O	5,29	3,06	2,70	3,86
BaO	0,20	0,17	0,00	0,26
F	0,00	0,00	0,60	0,60
Total	94,33	92,07	93,66	94,34
Fórmula estrutural expressa na base de 28 átomos de oxigênio				
Si	7,827	8,000	7,784	7,811
Al^{IV}	0,173	0,000	0,216	0,189
Al^{VI}	0,519	0,466	0,343	0,534
Ti	0,008	0,007	0,015	0,023
Fe	0,024	0,021	0,080	0,074
Mn	0,003	0,003	0,000	0,000
Mg	10,616	10,816	10,806	10,350
Ca	0,027	0,069	0,036	0,034
Na	0,030	0,022	0,032	0,035
K	1,186	0,693	0,597	0,852
Ba	0,014	0,012	0,000	0,017
F	0,000	0,000	0,328	0,330
Y	11,170	11,313	11,244	10,981
X	1,243	0,784	0,665	0,921

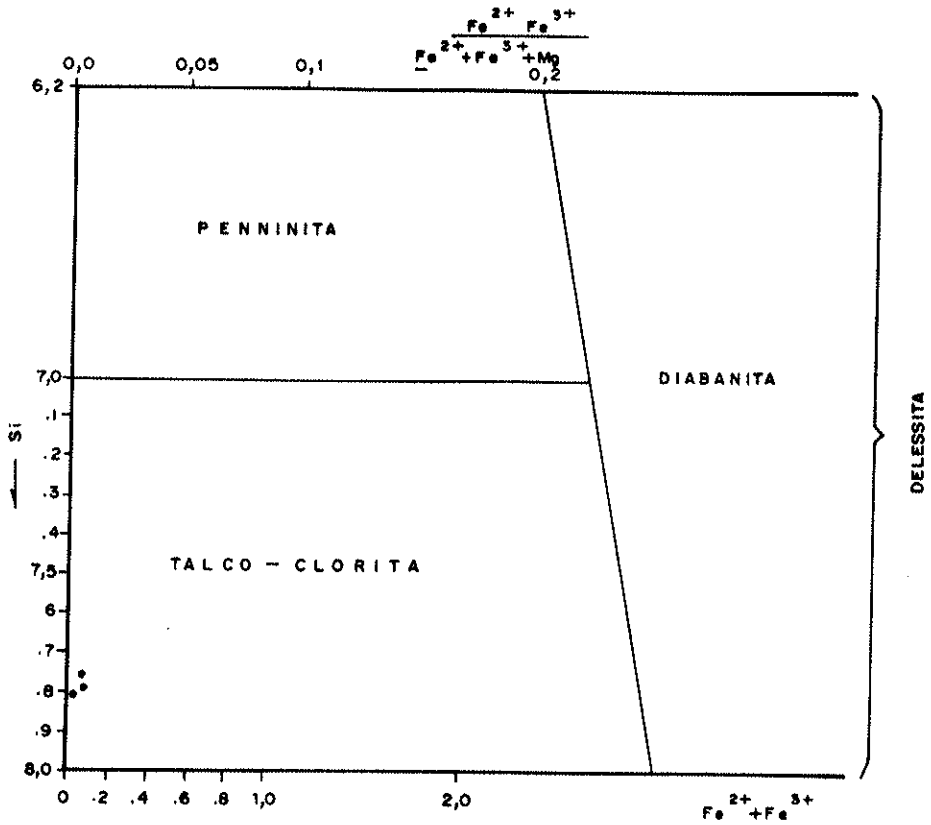
Obs.: n - núcleo; b - borda.

Y - Posições estruturais dos cátions: Mg, Mn e Fe.

X - Posições estruturais dos cátions: Ca, Na e K.

FeO - calculado como Fe_{total}

FIGURA 6 – Cloritas dos mármores de Caçapava do Sul, projetadas no diagrama de Hey, 1954 (in: DEER, Howie & Zussman, Rock Forming Minerals , 1971).



Obs.: O Fe_{total} foi calculado como Fe^{2+}

3.5. Composição modal

Foram efetuadas análises modais em 24 lâminas delgadas. Estas análises foram levadas a efeito por meio de um contador de pontos, adaptável ao microscópio de polarização, e usando-se a técnica descrita em CHAYES (1949). Os resultados obtidos constam da Tabela 6.

A dolomita é o mineral predominantemente na maioria das amostras, atingindo, em alguns casos (C-5d; C-9c; C-17e), percentagens superiores a 90%, o que permite classificá-las como *mármores dolomíticos*.

Algumas amostras (C-5f; C-6; C-7; C-19) apresentam valores baixos para este mineral. Isto deve-se ao fato de possuírem estrutura bandada, o que, na análise modal, dificulta a obtenção de um percentual realmente significativo desta fase para a rocha. Outrossim, a própria extensão da lâmina não foi suficiente, em alguns casos, para abranger maior quantidade de constituintes mineralógicos, daí a razão de terem sido feitas mais de uma lâmina do mesmo local.

Outro motivo que causou o registro de baixas percentagens de dolomita, em algumas lâminas, foi o de termos orientado a confecção das mesmas abrangendo mais as bandas silicáticas, a fim de melhor caracterizar as espécies dos seus minerais constituintes e sua abundância na rocha.

Por outro lado, observou-se que todas as amostras, cujas lâminas foram feitas em locais com estrutura maciça, apresentavam percentagens altas de minerais carbonáticos, notadamente de dolomita. Isto sugere que os minerais silicáticos se encontram,

principalmente, nas bandas, ocorrendo em pequena quantidade dispersos de modo aleatório pela rocha.

A calcita está presente em todas as lâminas estudadas, ocorrendo, de modo geral, em quantidades menores que a dolomita, à qual aparece freqüentemente associada. A variação de uma lâmina para outra reflete sua disposição em bandas, nem sempre apanhadas na sua totalidade pela secção.

Dos carbonatos, a calcita ferrífera é o que ocorre em menor quantidade, aparecendo em apenas oito das lâminas descritas. Está comumente associada à calcita, parecendo ser produto de substituição desta.

Dentre os minerais silicáticos presentes, o anfibólio é um dos mais abundantes, perfazendo, em algumas amostras, altas percentagens das bandas (C-6; C-5c; C-7). Ocorre em maior quantidade nas porções leste e sul da área estudada. Comumente está associado à calcita, parecendo, às vezes, estar substituído por este mineral (C-9f).

A flogopita, também um dos minerais mais abundantes dentre os silicáticos, tem suas maiores presenças distribuídas nas porções central e norte da área. Geralmente alterada em clorita, tem suas ocorrências concomitantes a esta e distribuição semelhante.

Olivina, total ou parcialmente alterada em serpentinas, aparece, de maneira bem evidente, espalhada pela área, preferencialmente nas bandas silicáticas.

São poucas as ocorrências de piroxênio que se restringem a cinco lâminas dentre as estudadas. Sua presença parece estar

Tabela 6 - Composição mineralógica modal de amostras dos mármores de Caçapava do Sul, RS.

Amostra nº	Dol.	Cc.	Cc.Fer.	Diop.	Trem.	Flog.	Oliv/ Serp	Talco	Clor.	Quar.	Titan.	Apat.
CS-1	79,9	9,7	-.-	0,2	1,6	1,9	6,7	-.-	Tr.	-.-	-.-	-.-
C-5b	80,0	20,0	-.-	-.-	Tr.	Tr.	-.-	Tr.	Tr.	-.-	-.-	-.-
C-5c	25,2	28,3	Tr.	-.-	46,5	-.-	-.-	-.-	-.-	-.-	-.-	-.-
C-5d	94,5	4,7	-.-	-.-	0,8	Tr.	-.-	-.-	-.-	-.-	-.-	-.-
C-5f	3,1	44,2	-.-	-.-	52,5	0,2	-.-	Tr.	-.-	-.-	-.-	-.-
C-6	1,5	18,5	-.-	-.-	80,0	-.-	-.-	Tr.	-.-	-.-	-.-	-.-
C-7	-.-	16,6	-.-	-.-	83,4	-.-	-.-	Tr.	-.-	-.-	-.-	-.-
C-8	41,6	40,0	2,7	-.-	15,7	-.-	-.-	Tr.	-.-	-.-	-.-	-.-
C-9c	91,6	5,4	-.-	-.-	-.-	-.-	3,0	-.-	-.-	-.-	-.-	-.-
C-9d	73,0	14,9	3,5	-.-	-.-	3,2	-.-	-.-	5,4	-.-	-.-	-.-
C-9e	78,3	8,4	-.-	Tr.	3,1	5,4	4,8	-.-	-.-	-.-	-.-	-.-
C-9f	39,8	18,6	-.-	-.-	14,4	-.-	10,4	11,7	5,1	-.-	-.-	-.-
C-10	13,5	23,5	-.-	42,3	Tr.	-.-	20,7	-.-	-.-	-.-	-.-	-.-
C-12a	88,2	4,8	-.-	-.-	5,5	1,5	-.-	-.-	-.-	-.-	-.-	Tr.
C-12b	84,4	8,2	4,4	-.-	-.-	1,4	-.-	-.-	Tr.	1,6	-.-	-.-
C-13b	84,8	5,9	3,0	-.-	-.-	0,2	-.-	Tr.	5,3	0,8	-.-	-.-
C-13c	86,8	1,6	1,2	-.-	-.-	0,7	-.-	-.-	4,2	5,5	-.-	-.-
C-14a$_1$	66,5	17,4	-.-	-.-	-.-	7,3	8,8	-.-	-.-	Tr.	-.-	-.-
C-14a$_2$	37,9	32,4	-.-	0,7	7,2	21,8	-.-	-.-	-.-	-.-	-.-	Tr.
C-15a	34,0	35,6	-.-	-.-	-.-	0,2	30,2	-.-	-.-	-.-	-.-	Tr.
C-17c	35,2	15,0	4,8	-.-	3,6	4,5	-.-	22,1	13,0	-.-	1,8	Tr.
C-17e	90,2	2,4	-.-	-.-	1,8	5,0	-.-	0,6	Tr.	Tr.	-.-	-.-
C-17f	85,0	3,6	3,4	-.-	-.-	Tr.	-.-	5,2	2,8	-.-	-.-	-.-
C-19	2,3	4,4	-.-	78,2	-.-	9,7	0,6	2,2	-.-	2,6	-.-	-.-

condicionada a locais próximos ao corpo granítico.

O talco, relativamente comum mas aparecendo em pequenas quantidades, tem, geralmente, suas maiores ocorrências registradas na região norte da área (C-17c).

O quartzo aparece em pequenas quantidades e está mais restrito às regiões norte e nordeste da área.

A titanita foi observada apenas no extremo norte do corpo carbonático e em percentagens muito pequenas.

3.6. Composição química dos mármores

A seleção das amostras para análises químicas em rocha total foi realizada por meio de uma triagem, inicialmente com base na observação das características macroscópicas, culminando, posteriormente, na escolha definitiva, com o auxílio da análise microscópica. Desta forma, foram selecionadas nove amostras que melhor representassem as variedades petrográficas, procurando-se, ao mesmo tempo, manter uma distribuição espacial mais homogênea possível do corpo estudado.

Os dados obtidos nestas análises químicas constam da Tabela 7 e foram utilizados para caracterizar a variação dos óxidos principais e no fornecimento de subsídios para determinar as condições físico-químicas reinantes durante o metemorfismo dos mármores e as diferentes fácies metamórficas atingidas por estas rochas. Cabe ressaltar, contudo, que na determinação dos dois últimos fatores foi utilizada, paralelamente, a assembléia mineralógica da Tabela 6.

Tabela 7 - Análise química dos elementos principais dos mármores de Caçapava do Sul, RS.

	CS-1	C-5c	C-8	C-9e	C-10	C-13b	C-14a$_2$	C-15a	C-19
SiO_2	3,50	19,90	4,28	4,00	15,09	4,87	7,20	12,50	42,32
Al_2O_3	4,30	n.d.	1,02	1,37	1,76	3,54	2,79	n.d.	2,21
CaO	29,78	30,06	31,52	30,02	29,49	34,27	28,17	31,40	18,89
MgO	21,12	18,13	21,57	22,44	18,81	16,21	22,29	21,01	25,86
Fe_2O_3	0,02	0,37	0,13	n.d.	n.d.	0,38	n.d.	n.d.	n.d.
FeO	0,35	0,72	0,30	0,50	1,08	0,72	0,53	1,54	0,54
MnO	n.d.	0,11	n.d.	n.d.	0,14	0,36	n.d.	n.d.	n.d.
TiO_2	0,18	0,18	0,30	0,12	0,20	0,20	0,26	0,20	0,12
P_2O_5	0,06	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,06	0,03	0,05
Na_2O	1,93	0,87	0,80	1,10	0,74	0,88	1,40	1,21	0,82
K_2O	0,22	0,05	0,03	0,08	0,03	0,03	0,54	0,10	0,27
H_2O^-	0,51	0,47	0,54	0,28	0,55	0,20	0,40	0,72	0,65
Perda ao fogo	38,01	29,09	39,45	40,04	32,07	38,29	36,33	31,26	8,25
Total	99,98	99,98	99,98	99,98	99,99	99,99	99,97	99,97	99,98
					Elementos traços (ppm)				
Ba	80	70	115	95	40	85	30	80	130
Sr	56	60	37	144	144	85	70	43	15
Razão CaO/MgO	1,4	1,7	1,5	1,3	1,6	2,1	1,3	1,5	0,7

De acordo com os resultados das análises químicas das amostras, pode-se observar que as percentagens de CaO e MgO, além da Perda ao Fogo que inclui quantidades de CO_2, caracterizam-nas como *carbonatadas*.

Os valores de CaO apresentam uma variação de 28,0% a 31,0%, excetuando-se a amostra C-19 que, por ser mais representativa de uma banda da rocha, exibe percentagem mais baixa deste óxido, estando enriquecida em sílica.

MgO demonstra maiores variações (16,0% a 25,0%), embora com percentagens mais baixas se comparado com CaO.

Outro componente importante é a sílica. Sua variação é grande e reflete a presença, em maior e menor quantidade, de minerais silicáticos nas rochas. As amostras C-5c e C-10, por exemplo, possuem os maiores teores em SiO_2. Comparando-se com a análise modal (Tabela 6) percebe-se que estas amostras possuem elevadas percentagens de minerais silicáticos, como tremolita e diopsídio. Já os altos teores de SiO_2 da amostra C-15a refletem-se na presença de grande percentagem de olivina/serpentina e, em menor quantidade, flogopita.

Para efeito de comparação e interpretação petrográfica, foram elaborados diagramas, construídos a partir do trabalho de WAHLSTROM e KIM (1959), onde esses autores representam os campos de variação para os diversos tipos de rochas sedimentares, além da tendência das rochas ígneas. Esses diagramas: 1/3 SiO_2-(CaO+MgO)-(Na_2O+K_2O) e Al_2O_3-CaO-(MgO+FeO) estão representados nas Figuras 7 e 8, respectivamente.

Projetando-se as amostras nos referidos diagramas observa-se

que os pontos caem em campos sedimentares, mais especificamente para rochas de composição semelhante aos calcários e dolomitos, o que nos permite determinar sua natureza pré-metamórfica.

Ainda procurando confirmar as tendências apresentadas pelas rochas nos diagramas anteriores, utilizou-se o diagrama triangular ACF, cujos campos de variação dos diversos grupos de rochas sedimentares e magmáticas são baseados principalmente no trabalho de WINKLER (1977) e GIRARDI (1979).

Ao observar-se a Figura 9 pode-se notar que a maioria das amostras projetadas, com exceção da C-19 que corresponde a uma banda silicática, cai no campo das rochas calcárias e suas imediações, corroborando, assim, os resultados anteriores.

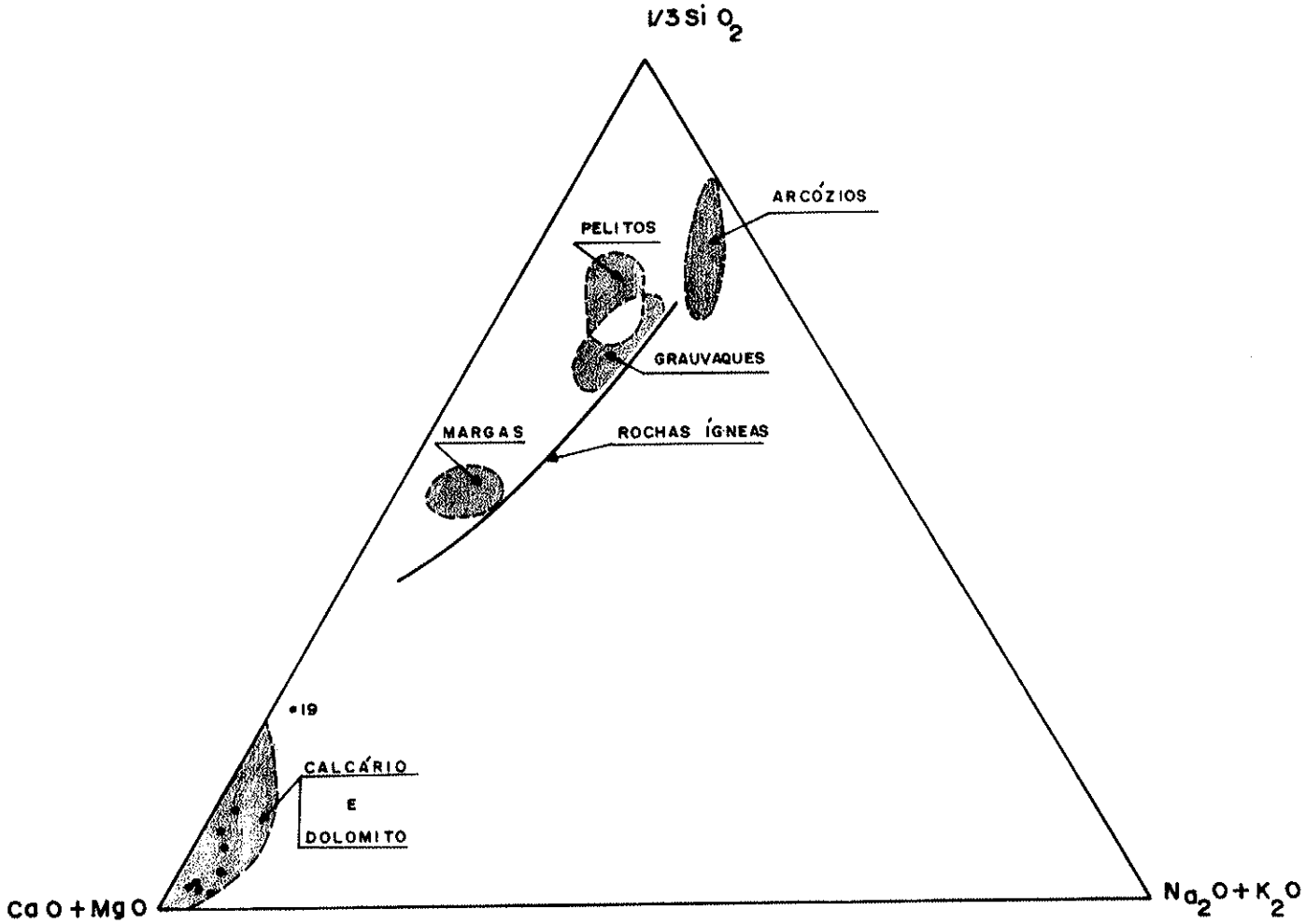
As análises químicas fornecidas por duas indústrias de "calcário" da região, mostram valores de 28,61 $\pm$ 1,5% para CaO e de 16,98 $\pm$ 1,3% para MgO. Num confronto destas análises com as realizadas neste trabalho, observa-se que as maiores concentrações de Mg estão diretamente relacionadas com as bandas silicáticas, uma vez que as maiores percentagens deste elemento foram detectadas em amostras extraídas destas bandas.

Por outro lado, nota-se que as análises efetuadas pelas indústrias são coincidentes com as porções mais carbonáticas das rochas, justificando, assim, sua exploração econômica.

Na tentativa de buscar alguma correlação entre os teores de elementos traços (Ba, Sr) e os elementos maiores (CaO), construiram-se diagramas binários relacionando-os entre sí.

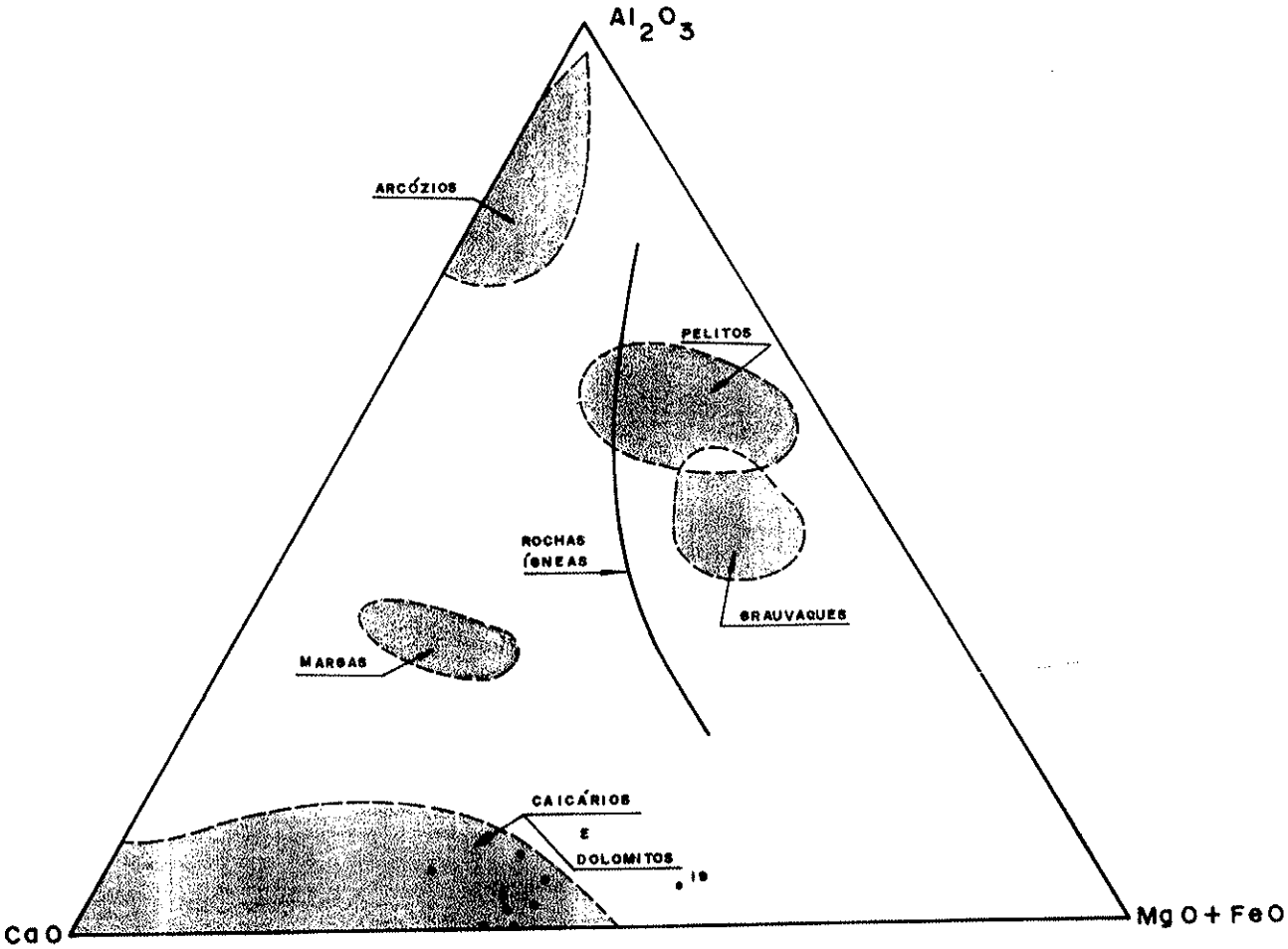
Os pontos, em geral, distribuiram-se de modo aleatório nos diagramas, demonstrando não haver relação entre eles.

FIGURA 7 - Diagrama de composição 1/3 SiO_2-(CaO + MgO) - ($Na_2O + K_2O$)* As áreas das rochas sedimentares e a tendência das rochas ígneas são desenhadas segundo WAHLSTROM & KIM (1959)



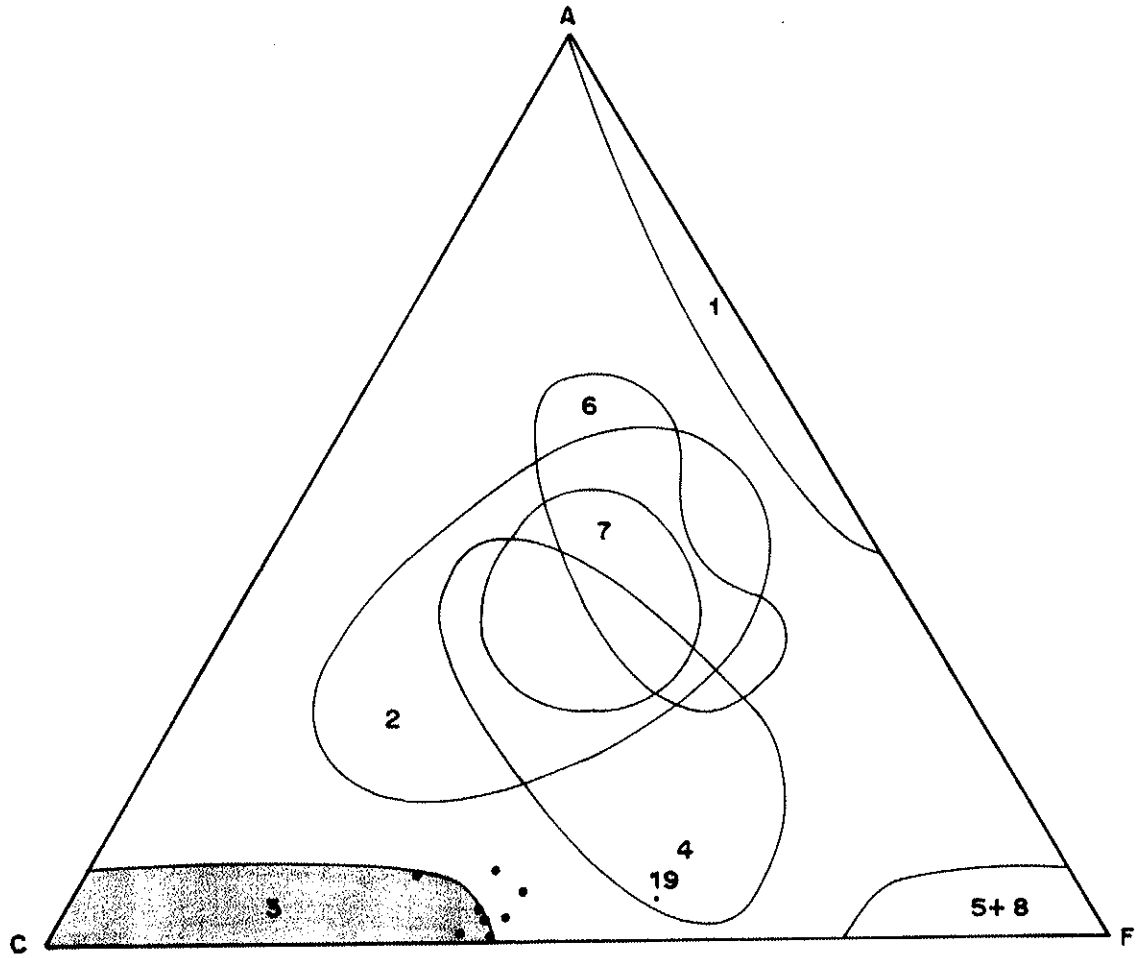
* Óxidos: % em peso.

FIGURA 8 – Diagrama de composição Al_2O_3 – CaO – (MgO + FeO)* Baseado em WAHLSTROM & KIM (1959)



* Óxidos: % em peso.

FIGURA 9 - Diagrama ACF mostrando os campos de composição química das principais rochas ígneas e sedimentares. 1 - pelitos; 2 - margas; 3 - calcários; 4 - rochas básicas; 5 - rochas ultrabásicas; 6 - grauvaques; 7 - rochas quartzo - feldspáticas; 8 - rochas ferríferas (OLIVEIRA, 1980; baseado em WINKLER, 1977)



CAPÍTULO 4

ANÁLISE DO METAMORFISMO

4.1. Tratamento dos dados

Os estudos mineralógicos e petrográficos evidenciaram, para os mármores da região de Caçapava do Sul, RS., as associações listadas na Tabela 8.

Tabela 8 - 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_2)
Dolomita-calcita-forsterita (C-9c)
Dolomita-calcita-quartzo-forsterita-flogopita (C-14a_1)
Dolomita-calcita-apatita-forsterita-flogopita (C-15a)
Dolomita-calcita-tremolita-diopsídio-forsterita-flogopita-clorita (CS-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)

Como dolomita, calcita e quartzo são minerais da fase pré-metamórfica que permanecem ainda, em maior ou menor quantidade,

elaborou-se a Tabela 9 onde estão representadas, de modo mais simplificado, as associações mineralógicas dos tipos petrográficos estudados.

Tabela 9 - Representação simplificada das associações mineralógicas dos mármores de Caçapava do Sul.

-	-	-	-	Fl	Cl	-	Do	Cc	Qz	etc.(*)
Tc	Tr	-	-	-	-	-	Do	Cc	Qz	etc.
Tc	Tr	-	-	Fl	-	-	Do	Cc	Qz	etc.
Tc	Tr	-	-	Fl	Cl	-	Do	Cc	Qz	etc.
Tc	-	-	-	Fl	Cl	-	Do	Cc	Qz	etc.
-	Tr	-	-	-	-	-	Do	Cc	Qz	etc.
-	Tr	-	-	Fl	-	-	Do	Cc	Qz	etc.
-	Tr	Di	-	Fl	-	-	Do	Cc	Qz	etc.
-	-	-	Fo	-	-	-	Do	Cc	Qz	etc.
-	Tr	Di	Fo	-	-	-	Do	Cc	Qz	etc.
-	-	-	Fo	Fl	-	-	Do	Cc	Qz	etc.
Tc	Tr	-	Fo	-	Cl	-	Do	Cc	Qz	etc.
-	Tr	Di	Fo	Fl	-	-	Do	Cc	Qz	etc.
Tc	-	Di	Fo	Fl	-	-	Do	Cc	Qz	etc.
-	Tr	Di	Fo	Fl	Cl	-	Do	Cc	Qz	etc.

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

Alguns minerais listados na Tabela 9, entretanto, não fornecem indicações precisas sobre o grau metamórfico, caso específico da flogopita e clorita magnesiana, minerais estáveis desde brandas até enérgicas condições metamórficas (TROMMSDORF et al., 1969).

A presença de flogopitas e cloritas magnesianas, 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 magnesiana) e do K (flogopita), conforme revelam os dados químicos da Tabela 7.

A natureza fortemente magnesiana das cloritas presentes nas amostras estudadas, foi confirmada por características ópticas (cor de interferência anômala) e através de análises químicas por microssonda eletrônica, cujos resultados constam da Tabela 5. 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 microssonda eletrônica, além da difratometria de raios X, estando os resultados representados na Tabela 4.

Face a estas considerações, na Tabela 10 são visualizadas apenas as associações mineralógicas do sistema Do-Cc-Qz consideradas críticas, do ponto de vista petrológico, para os mármores de Caçapava do Sul, e sua representação espacial faz-se através da Figura 17.

BUCHER-NURMINEN, 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 mármores de Caçapava do Sul, o que pode ser visualizado na Figura 17.

As linhas são traçadas de modo aproximado, a partir das associações mineralógicas vistas em lâminas e correspondem ao primeiro aparecimento destas associações consideradas críticas.

Tabela 10 - 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	○

4.2. Composição da rocha

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

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-metamorfico.

Da Tabela 7 constam as análises químicas de 9 amostras de rochas carbonáticas impuras que fazem parte das encaixantes do Granito Caçapava. Para melhor visualizar a flutuação composional, os dados foram lançados nos gráficos: 1/3 SiO_2-(Na_2O + K_2O)-(CaO+MgO), CaO Al_2O_3 - (MgO + FeO) e ACF, das figuras 7, 8 e 9, respectivamente.

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 10 e 11. Nelas são lançados os dados químicos dos mármores de Caçapava do Sul.

Comparando-se as associações mineralógicas descritas no item anterior, observa-se que muitas delas coincidem com as associações teóricas representadas nas Figuras 10 e 11, 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 paragêneses com wollastonita e nem com monticelita (Fig. 12).

Segundo TURNER (1968, 1981) a pressões parciais de CO_2 de 1 bária, as associações descritas desenvolvem-se num intervalo de temperatura de 190°C até valores superiores a 410°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.

4.2.1. 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 13 (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_{CO_2}, a temperatura necessária para a formação de wollastonita é gradativamente maior.

A fase fluida de rochas carbonáticas impuras é composta essencialmente por H_2O e 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 CO_2 é um componente resultante da decomposição dos carbonatos, em presença de sílica, acentuada pelo aumento da temperatura.

A Figura 14 (TURNER, 1981) mostra a influência, nas reações metamórficas, de uma fase fluida composta somente por CO_2, revelando um aumento das temperaturas de reação com o aumento da pressão de CO_2. Este caso é, particularmente, importante para as reações de descarbonatação (decomposição dos carbonatos).

Já as Figuras 15 e 16 (TURNER, 1981) demonstram, para as mesmas rochas (representadas composicionalmente através de um triângulo Cc-Do-Qz), a influência de uma fase fluida composta por H_2O

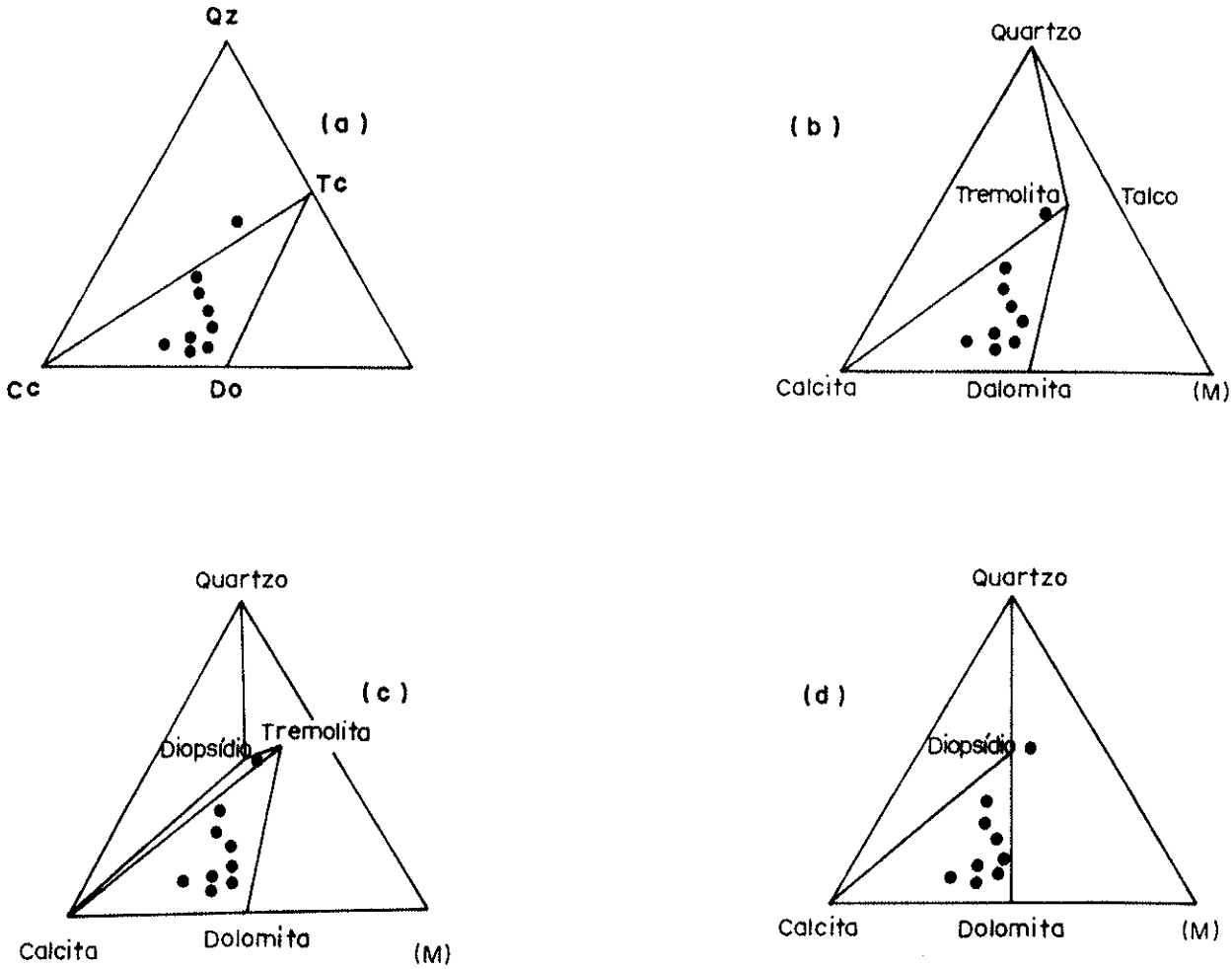


Figura 10 - Dados químicos (CaO - MgO - SiO_2) dos mármores de Caçapava do Sul, lançados no diagrama triangular Cc-Do-Qz de TURNER, 1968, 1981.

($P_{H_2O} = P_{CO_2} = P_{total} = 1$ bária)

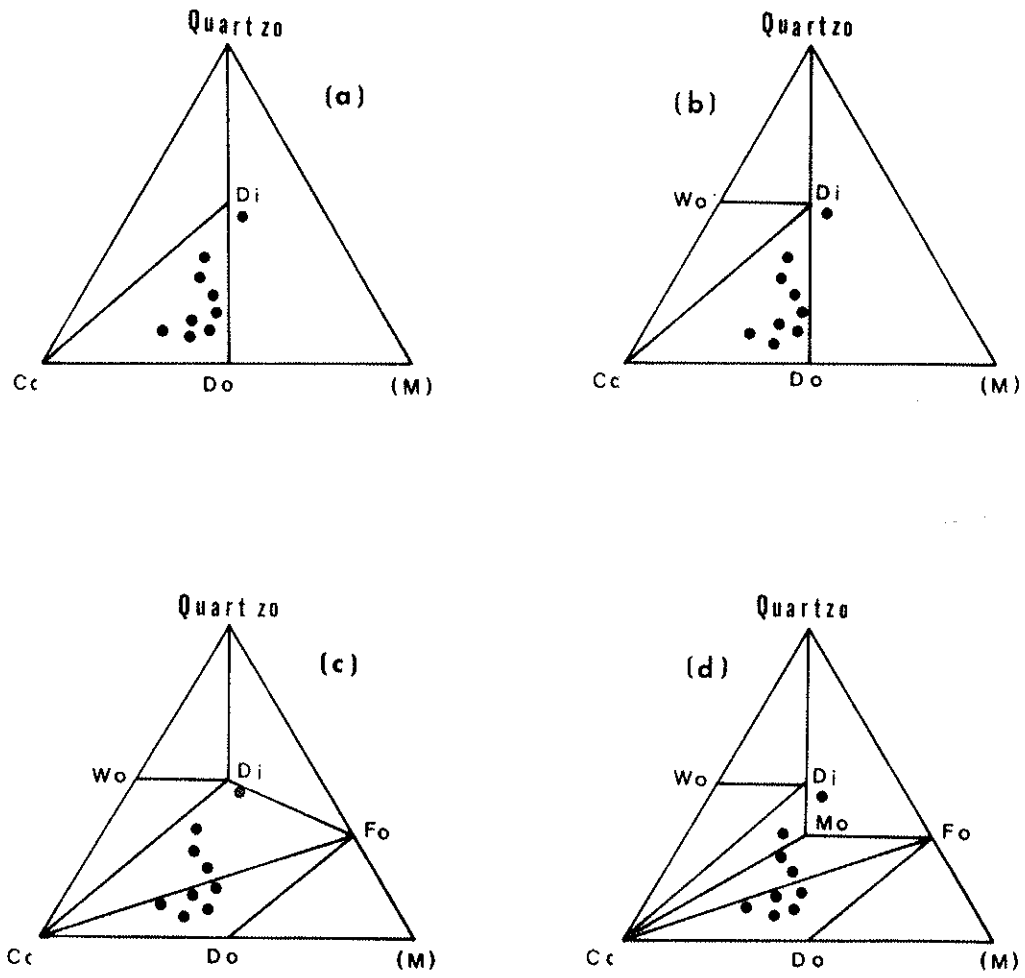


Figura 11 - Dados químicos (CaO - MgO - SiO_2) dos mármores de Caçapava do Sul, lançados no diagrama triangular Cc-Do-Qz de Turner, 1968, 1981.

$P_{CO_2} = P_{total} = 1$ bária)

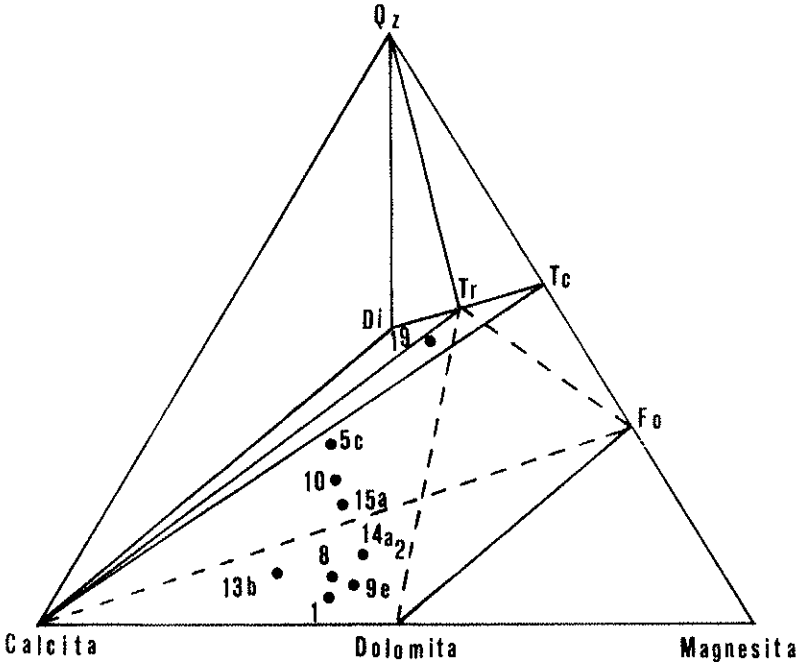


Figura 12 - Dados químicos (CaO - MgO - SiO_2) dos mármores de Caçapava do Sul, lançados no diagrama triangular Cc-M-Qz.

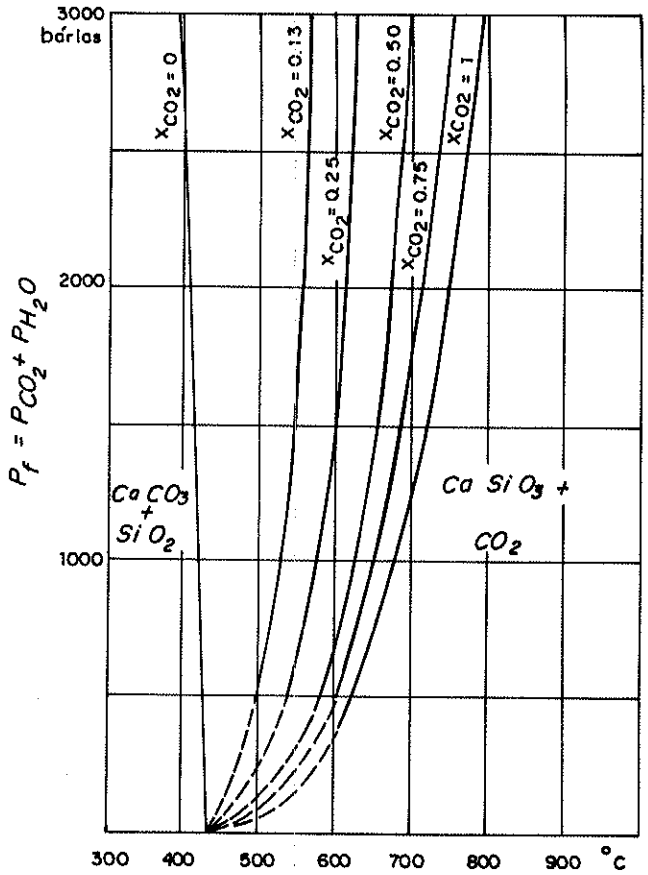


FIGURA 13 Diagrama P-T da formação de wollastonita mostrando a influência da pressão da fase fluida na temperatura das reações. (Seg. GREENWOOD, 1967 e HARKER & TUTTLE, 1956; in WINKLER, 1977).

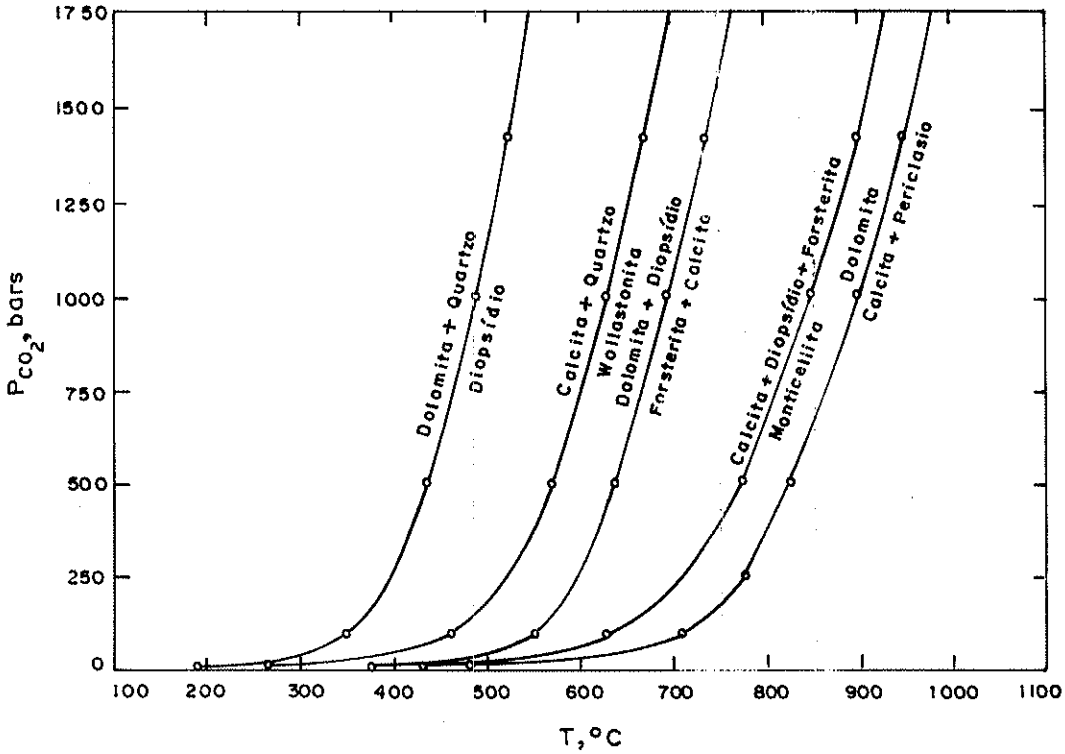


FIGURA 14 Curvas de equilíbrio de rochas carbonatadas para determinação de paragêneses no triângulo Cc - Do - Qz (TURNER, 1968, 1981), P_{CO_2} tot.

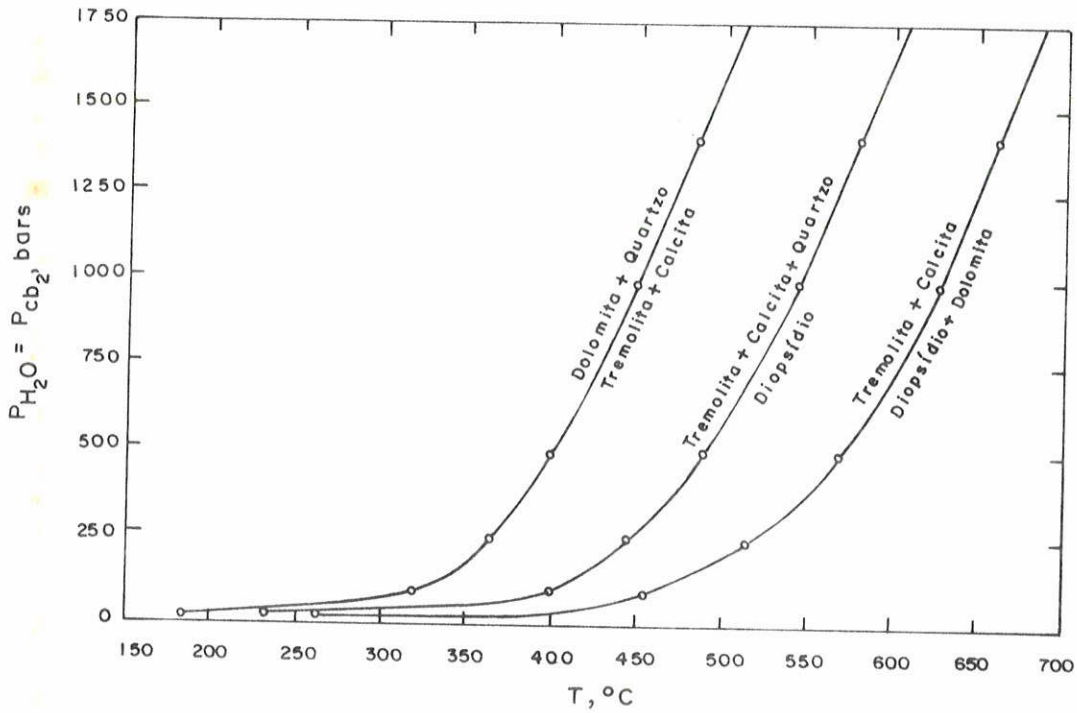


FIGURA 15 Curvas de equilíbrio de rochas carbonatadas para determinação de paragêneses no triângulo Cc - Do - Qz (TURNER, 1968, 1981), $P_{CO_2} = P_{H_2O}$

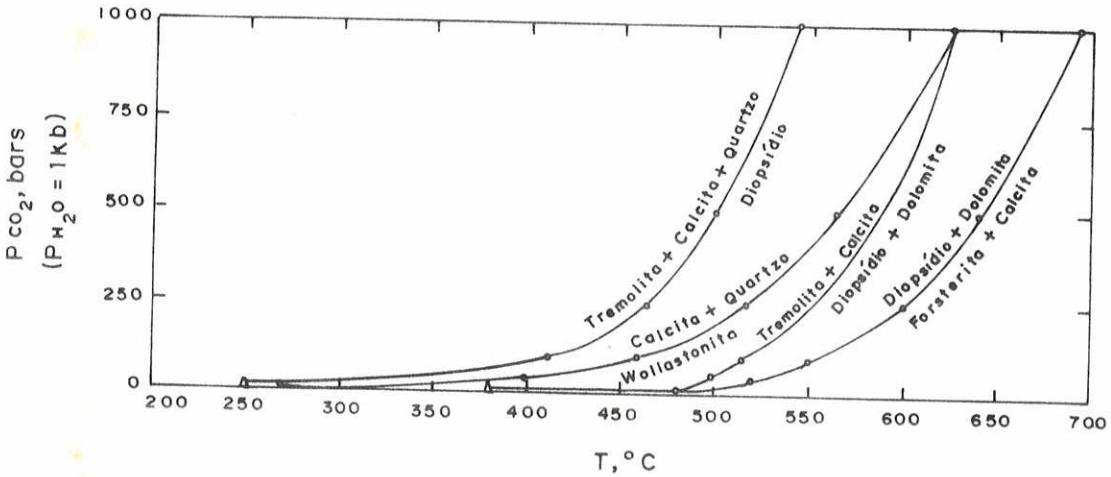
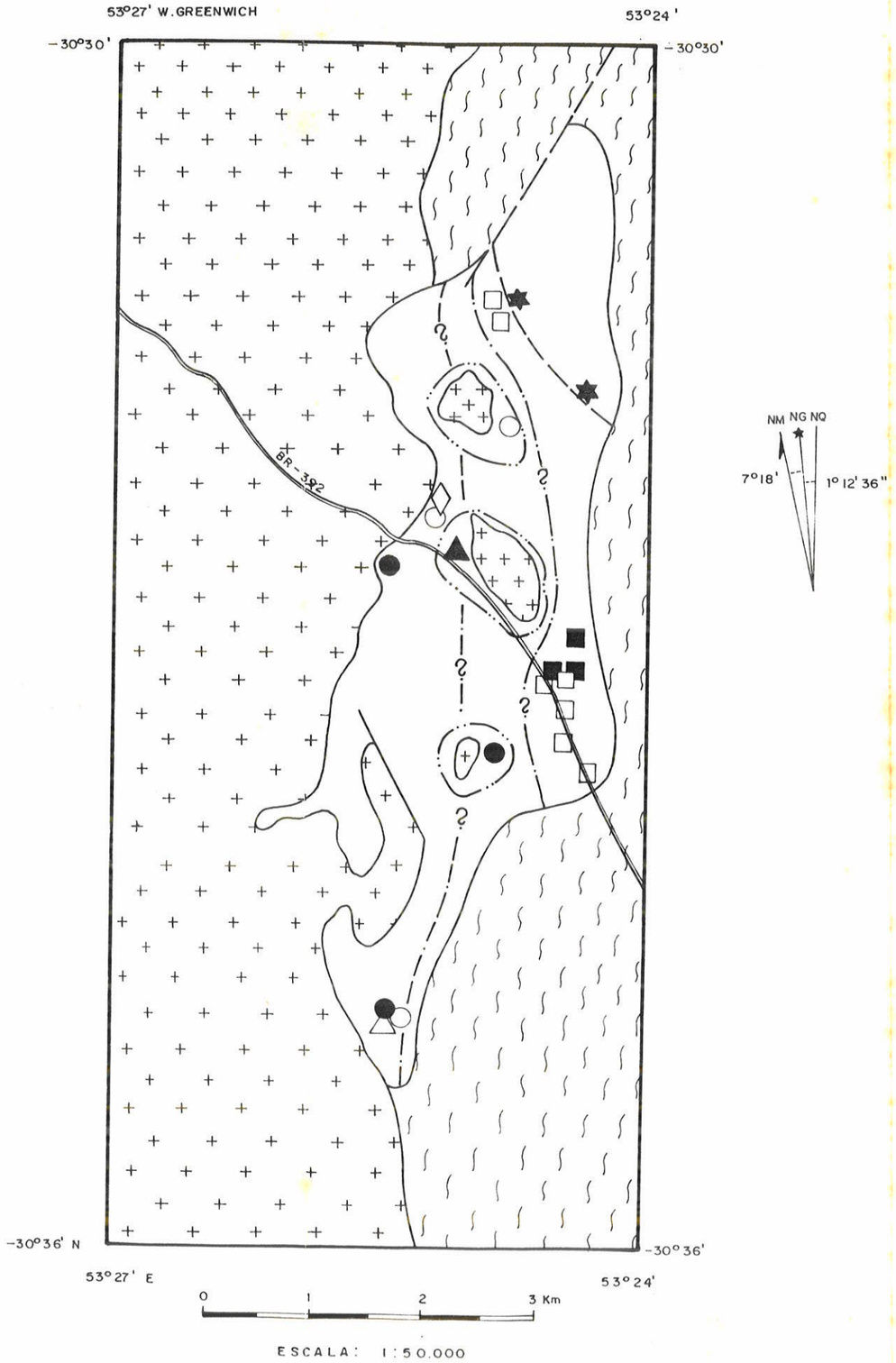


FIGURA 16 Curvas de equilíbrio para reações de descarbonatação à pressão constante de água — P_{H_2O} = 1 kb. (TURNER, 1968, 1981).

FIGURA 17 - Mapa de localização de assembléias mineralógicas críticas, ao longo da área de ocorrência dos mármores de Caçapava do Sul, com o traçado das linhas de minerais índices de metamorfismo.



COLUNA ESTRATIGRÁFICA			
PERÍODO	FORMAÇÃO	LEG.	LITOLOGIAS
CAMBRIANO	BATÓLITO GRANÍTICO DE CAÇAPAVA DO SUL	+ + + + + + + + + + + +	LEUCOGRANITOS, SIENOGRANITOS, MONZOGRANITOS E GRANODIORITOS DE GRANULAÇÃO MÉDIA A FINA.
PRÉ-CAMBRIANO SUPERIOR	GRUPO PORONGOS		MÁRMORES DOLOMÍTICOS IMPUROS
			ROCHAS METASSEDIMENTARES E METAVULCÂNICAS

SIMBOLOGIA

Associações mineralógicas críticas de metamorfismo

★ – Tc ± Do – Cc – Qz

□ – Tr – Tc ± Do – Cc – Qz

■ – Tr ± Do – Cc – Qz

◇ – Di – Tr ± Do – Cc – Qz

△ – Fo – Tr – Tc ± Do – Cc – Qz

▲ – Fo – Di – Tc ± Do – Cc – Qz

● – Fo – Di – Tr ± Do – Cc – Qz

○ – Fo ± Do – Cc – Qz

Linhas de minerais índices de metamorfismo

– – – – – – – – – – – – – – LINHA DO TALCO

–•–•–•–•–•–•–•– LINHA DA TREMOLITA

– – •– – – •– – – •– – – LINHA DA FORSTERITA

–••–••–••–••–•• "ILHAS TÉRMICAS" (APÓFISES GRANÍTICAS)

e 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 13 (WINKLER, 1977).

4.3. Interpretação dos dados

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

4.3.1. Interpretação das paragêneses

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

3 dolomita + 4 quartzo + 1 H_2O = 1 talco + 3 calcita + 3 CO_2 (1)

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)

4 tremolita + 5 dolomita = 13 diopsídio + 6 forsterita + 10 CO_2 + 4 H_2O (15)

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 mármores dolomíticos 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:

Tc - Tr - Qz

Tr - Di - Qz

Fo - Tr - Di

Fo - Tc - Tr

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 e KAWASHITA (1985), pode ser estimada em 1.000 bárias. A partir desse dado e com base na Figura 18 (SKIPPEN, 1974) e Figura 19 (WINKLER, 1977), é possível se conhecer os intervalos de temperatura de formação do talco, tremolita, diopsídio e forsterita, ressaltados na Tabela 11.

FIGURA 18 - Diagrama de formação de Tremolita (Tr), Diopsídio (Di) e Forsterita (Fo). Pressão total de 1.000 bárias. $Pco_2 + PH_2O$ = P Total. (SKIPPEN , 1974).

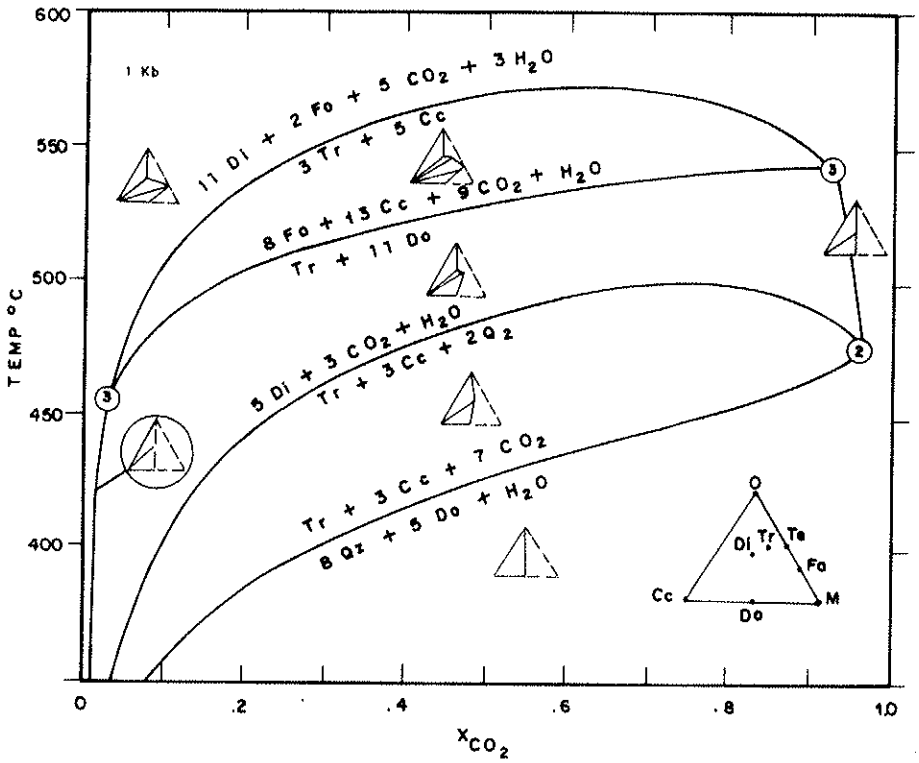


FIGURA 19 - Diagrama isobárico T - Xco_2 para as reações (1) até (15). As linhas cheias foram determinadas experimentalmente; as interrompidas foram calculadas. (WINKLER , 1977).

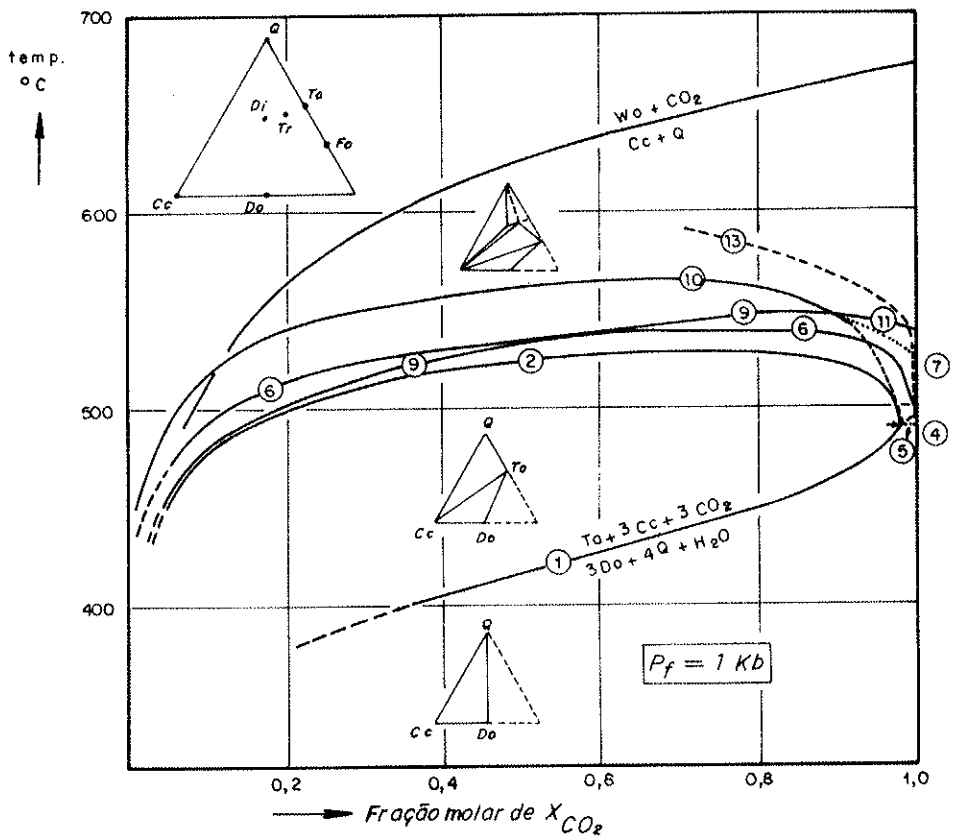


Tabela 11 - Intervalo de temperatura de formação dos minerais Tc-Tr-Di-Fo à pressão total de 1.000 bárias e fração molar de X_{CO_2} entre 0,2 e 0,8.

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

4.3.1.1. 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 (Fig. 10,a). Esta revela que a associação *Co-Do-Tc* foi a que caracterizou a quase totalidade das amostras estudadas, no estágio final do metamorfismo.

Segundo METZ (1970) e METZ e 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 (Fig. 19).

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

As paragêneses contendo tremolita como mineral metamórfico

de mais alta temperatura, estão representadas na Figura 10 (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 de tremolita, que se tenham desenvolvido, tenham sido as de número (2) e (3).

A formação de tremolita, segundo SKIPPEN (1974), à P_{total} de 1.000 bárias, desenvolve-se num intervalo de temperatura de 400°C a 450°C (Fig. 18).

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 10, 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 (Tabela 6). 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. Esta é uma possibilidade bastante concreta, como relatada no Capítulo 3.

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 da tremolita a partir do talco.

4.3.1.3. 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* (Fig. 10, c) mostra, por outro lado, que a fase fluida era constituída por H_2O e CO_2, já que no sistema *Qz-Cc-Do-*CO_2 a associação estável é constituída por *Cc-Di-Do*.

Observando-se, outrossim, a Figura 11 (b), fica perfeitamente explicada a ausência de tipos portadores de wollastonita, mineral metamórfico coexistente com o diopsídio.

Segundo SKIPPEN (1974), as temperaturas de formação do diopsídio podem ser consideradas no intervalo de 450°C a 490°C (Figura 18).

4.3.1.4. 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 11 (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 (item 4.3.1.2.) e revela simultaneamente a importância da P_{H_2O} no processo metamórfico aqui enfocado.

A formação de forsterita a 1.000 bárias 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 18.

4.3.2. 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 18 e 19 que mostram temperaturas da ordem de 560°C para P_{total} de 1.000 bárias.

4.3.3. Interpretação da pressão e composição da fase fluida.

Considerando que o corpo de mármore está sevindo 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 bárias) 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 e 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 o 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 forma de um aquecimento heterogêneo,

o que se reflete em freqüentes paragêneses de desequilíbrio, efetivamente observadas (Tabela 10).

d - Levando-se em consideração que tanto o granito como suas rochas encaixantes são vinculados a um mesmo ciclo tecto-orogênico (Ciclo Brasiliano) 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 11 (c) e Figura 10 (a).

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

No presente trabalho foram apresentados, descritos, quantificados e discutidos os mármores impuros pertencentes à faixa litológica envolvente do Granito Caçapava. Em relação a estas rochas e ao metamorfismo que as afetou, podem ser sumarizados e concluídos os seguintes aspectos principais:

1 - Os mármores, aqui estudados, têm composição química relativamente restrita, com exceção das bandas silicosas.

2 - 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.

3 - 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-epídoto 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.

4 - 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.

5 - A associação primária entre diopsídio e tremolita revela que da composição da fase fluida faziam parte, em quantidades consideráveis, tanto CO_2 quanto H_2O.

6 - 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.

7 - 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 e KAWASHITA (1985).

8 - A análise do metamorfismo das rochas estudadas pode ser feita tendo por base os diagramas T - X_{CO_2} para o sistema CaO - MgO-SiO_2 - CO_2 - H_2O, após a eliminação das fases mineralógicas adicionais, presentes devido quer a processo sedimentares pré

metamórficos, quer devido a impurezas detectadas quimicamente. Estas paragêneses 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.

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento das diferentes etapas deste estudo tornou-se possível graças à inestimável cooperação de várias pessoas e instituições que, através de auxílios financeiros, serviços, orientações e sugestões, tornaram viável a sua execução. A essas instituições e pessoas, relacionadas a seguir, registramos os nossos mais sinceros agradecimentos:

Universidade Federal de Santa Maria, pela concessão de afastamento para realização do Curso de Pós-Graduação e de suporte financeiro ao projeto.

Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, por possibilitar a execução do Curso.

CAPES, pela concessão da bolsa de estudos para a realização do Curso de pós-graduação.

Professor Doutor Marcos Aurélio Farias de Oliveira, pela orientação e revisão do texto.

Professor Doutor Pedro Luiz Pretz Sartori, pelo inestimável auxílio prestado na escolha da área a ser estudada, nos trabalhos de campo, nas descrições microscópicas e na discussão do assunto.

Professor Doutor Eberhardt Wernick e Professor Mestre Antonio Carlos Artur, pela imprescindível ajuda advinda com a leitura do texto, interpretação dos resultados e pela disponibilidade para discussões e sugestões.

Professor Doutor Excelso Ruberti, pelo auxílio prático nos experimentos com a microssonda eletrônica, análise e interpretação dos resultados.

Professor Doutor Raphael Hypolito e pessoal técnico do Laboratório de Química do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo: Sandra Andrade, Jocelei Mara Andretta Ricardo Silva Cardenette e Manoel Balbino, pela execução das análises químicas.

Professor Doutor Umberto Giuseppe Cordani e Professor Doutor Koji Kawashita, pelas facilidades propiciadas ao autor, na condução dos trabalhos analíticos realizados junto aos laboratórios do Centro de Pesquisas Geocronológicas do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, bem como à laboratorista Margarida Martins, pelas análises por fluorescência de raios X.

Colegas do Curso de Pós-Graduação e professores do Departamento de Mineralogia e Petrologia, bem como dos demais Departamentos, do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, pelo incentivo e solidariedade sempre presentes quando da realização do Curso e deste trabalho.

Senhora Melany Thereza Isauk e Senhor Cláudio Hopp, pela confecção das secções delgadas.

Senhor João Batista de Souza, do Laboratório de raios X, pelos trabalhos de difratometria de raios X.

Química Nely C. Abascal, pelo auxílio nos resultados das análises químicas das indústrias de "calcário".

Professora Doutora Neusa Martins Carson, do Departamento de Letras Clássicas, Filologia e Linguística, da Universidade Federal de Santa Maria, pela revisão do "abstract".

Senhor Arthur Hector Cunha, assessor técnico do Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Maria, pela cuidadosa elaboração dos mapas e figuras.

Senhor Fredkson Antonio Pinto, pelo zeloso trabalho de datilografia do texto.

Senhor Jaime Alves da Silva e toda equipe de funcionários da Seção Gráfica do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, pelos trabalhos de cópia, impressão e encadernação desta obra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENCE, A.E. & ALBEE, A.L. - 1968 - Empirical correction factors the electron microanalysis of silicates and oxides. J.Geol., 76: 382-403.

BIANCHI, J.F. & SETTER, O. - 1981 - Mapeamento Geológico da Região de Caçapava do Sul, RS. UNISINOS. Trab. Graduação. (Inédito).

BITENCOURT, M.F. - 1983 - Metamorfitos da Região de Caçapava do Sul, RS. Geologia e relações com o corpo granítico. Atas do I Simpósio Sul-brasileiro de Geologia, P. Alegre, 37-48.

BUCHER-NURNIMEN, K. - 1982 - On the mechanism of contact aureole formation in dolomitic country by the Adamello intrusion (northern Italy). Am. Miner., 67: 1101-1117.

CHAYES, F. - 1949 - A simple point-counter for thin section analyses. Am. Miner., 134: 1-11.

CORDANI, U.G.; HALPERN, M. & BERENHOLK, M. - 1974 - Comentários sobre as determinações geocronológicas da Folha de Porto Alegre. *In*: WILLIG, C.D. et alii. Carta geológica do Brasil ao milionésimo; folha Porto Alegre (SH.22), folha Lagoa Mirim (SI.22); Brasília, DNPM, 99 p., p.70.84.

DEER, W.A.; HOWIE, R.A. & ZUSSMAN, J. - 1977 - An Introduction to the Rock-Forming Minerals. Longman. London.

GIRARDI, V.A.V. - 1979 - Metamorfismo e seus produtos. Curso de pós-graduação. Instituto de Geociências, USP. (Inédito).

GREENWOOD, H.J. - 1967 - Mineral equilibria in the system $MgO-SiO_2-H_2O-CO_2$, *in* Abelson, P.H., ed., Researches in geochemistry, v.2:

New York, John Wiley & Sons, p. 542-567. (cit. em WINKLER, 1977).

GUEDES, F.A.R. & NAUMANN, M.P. - 1981 - Mapeamento Geológico da Região de Caçapava do Sul, RS. UNISINOS. Trab. Graduação. (Inédito).

HARKER, R.I. & TUTTLE, O.F. - 1956 - Experimental data on the P_{CO_2}-T curve for the reaction calcite + quartz $\rightleftharpoons$ wollastonite + carbon dioxide. Am. Journ. Sci., 254: 231-256. (cit. em WINKLER, 1977).

HEY, M.H. - 1954 - A new review of the chlorites. Min. Mag. 30: p. 277. (cit. em DEER et alii, 1977).

HOVER GRANATH, V.C.; PAPIKE, J.J. & LABOTKA, T.C. - 1983 - 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.

HUTCHISON, C.S. - 1974 - Laboratory Handbook of Petrographic Techniques. J. Wiley & Sons. N. York.

LATTANZI, P.; RYE, D.M. & RICE, J.M. - 1980 - Behavior of 13_C and 18_O in carbonates during contact metamorphism at Marysville, Montana: implications for isotope systematic in impure dolomitic limestones. Am. Journ. Sci., 280: 890-906.

LEAKE, B.E. - 1968 - A catalog of analysed calciferous and subcalciferous amphiboles together with their nomenclature and associated minerals. Geol.Soc.Am.Spec.Paper, 98. 210 p. (cit. em HUTCHISON, 1974).

LEINZ, V.; BARBOSA, A.F. & TEIXEIRA, E.A. - 1941 - Mapa Geológico Caçapava-Lavras. Rio Grande do Sul. Dir. Prod. Min., Publ. 6, 39 p.

MELCHER, G.C. & MAU, H. - 1960 - Novas observações geológica na Região de Caçapava do Sul, RS. An. Acad. Brasil. Ciênc., 32(1): 43-50.

METZ, P. - 1970 - Experimentelle Untersuchung der Metamorphose von kieselig dolomitischen Sedimenten II. Die Bildungsbedingungen des Diopsids. Contr. Mineral. and Petrol., 28: 221-250. (cit. em WINKLER, 1977).

METZ, P. & PUHAN, D. - 1970 - Experimentelle Untersuchung der Metamorphose von kieselig dolomitischen Sedimenten I. Die Gleichgewichtsdaten der Reaktion 3 dolomit + 4 Quartz+ 1 $H_2O \rightleftharpoons$ 1 Talk + 3 calcit + 3 CO_2 für Gesamtgasdrucke von 1.000, 3.000 und 5.000 Bar. Contr. Mineral. and Petrol., 26: 302-314. (cit. em WINKLER, 1977).

METZ, P. & PUHAN, D. - 1971 - Korrektur zur Arbeit "Experimentelle Untersuchung der Metamorphose von kieselig dolomitischen Sedimenten I. Die Gleichgewichtsdaten der Reaktion 3 dolomit + 4 Quartz + 1 $H_2O \rightleftharpoons$ 1 Talk + 3 calcit + 3 CO_2 für die Gesamtgasdrucke von 1.000, 3.000 und 5.000 Bar". Contr. Mineral. and Petrol. 31: 163-170. (cit. WINKLER, 1977).

METZ, P. & TROMMSDORFF, V. - 1968 - On phase equilibria in metamorphosed siliceous dolomites. Contr. Mineral. Petrol., 18: 305-309.

MINIOLI, B. & KAWASHITA, K. - 1971 - Contribuição à estratigrafia do Eo-Paleozóico do Escudo Riograndense. An. XXV Congr. Brasil. Geol., 1: 193-198, São Paulo.

MIYASHIRO, A. - 1975 - Metamorphism and Metamorphic Belts. George Allen & Unwin Ltd., London.

OLIVEIRA, M.A.F. de - 1980 - Petrologia das rochas granulíticas da Faixa Paraíba do Sul, Estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais. Tese de Livre Docência, UNESP, Rio Claro, SP. (Inédito).

POLDERVAART, A. & HESS, H.H. - 1951 - Pyroxenes in the crystallization of basaltic magma. Journ. Geol. 59: p. 472. (cit. em DEER

et alii, 1977).

RIBEIRO, M.; BOCCHI, P.R.; FIGUEIREDO Fº, P.M. & TESSARI, R.L. -1966- Geologia da Quadrícula de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. Div.Fom.Prod.Min., Bol. 127; 232 p.

RIBEIRO, M. - 1970 - Geologia da Folha de Bom Jardim, Rio Grande do Sul, Brasil. Dep.Nac.Prod.Min., Div.Geol. e Min., Bol. 247, 142 p.

ROBERTSON, J.F. - 1966 - Revisão da estratigrafia e nomenclatura das unidades litológicas na área de Caçapava-Lavras, Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Notas e Estudos da Escola de Geologia, Porto Alegre, 1(2):41-54.

SARTORI, P.L.P. & KAWASHITA, K. - 1985 - Petrologia e geocronologia do batólito granítico de Caçapava do Sul, RS. An. II Simpósio Sul-brasileiro de Geologia, Florianópolis, SC., p.102-115.

SKIPPEN, G.B. - 1971 - Experimental Data for Reactions in Siliceous Marbles. Journ. Geol. 79: 457-481.

SKIPPEN, G. - 1974 - An Experimental Model for Low Pressure Metamorphism of Siliceous Dolomitic Marble. Am. Journ. Sci., 274: 487-509.

SZUBERT, E.C. & PRESOTTO, C.A. - 1974 - Geologia e reservas dos calcários metamórficos do Rio Grande do Sul. An. XXVIII Congr. Brasil. Geol.

TROMMSDORFF, V. & SCHWANDER, H. - 1969 - Brucitmarmore in den Bergelleralpen: Schweizer. min. pet. Mitt., 49: 333-340. (cit. em TURNER, 1968).

TURNER, F.J. - 1968 - Metamorphic Petrology - Mineralogical and Field Aspects. McGraw-Hill Book Co., USA.

TURNER, F.J. - 1981 - Metamorphic Petrology- Mineralogical, Field and Tectonic Aspects. McGraw-Hill Book Company. New York.

WAHLSTROM, E.E. & KIM, O.J. - 1959 - Precanbrian rocks of the Hall Valley Area, Front Range, Colorado. Bull. Geol. Soc. Am., 70: 1217-1244.

WILLIAM, H.; TURNER, F.J. & GILBERT, C.M. - 1954 - Petrografia. Ed. Polígono. S.Paulo.

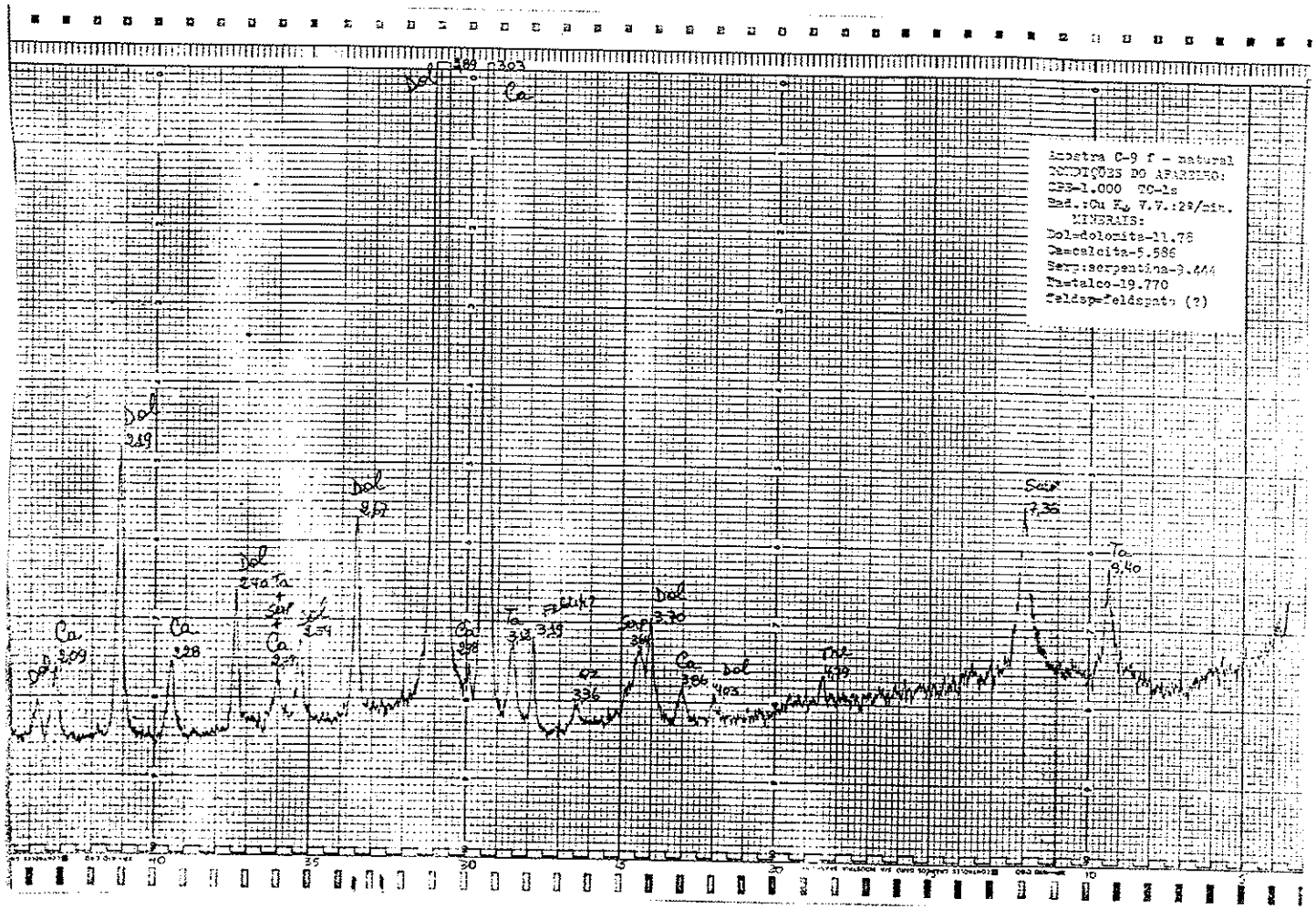
WILLIG, C.D.; VALENTINI, N.; CONTE, C.N.; ZIR FILHO, J.A.; & MONACO, O.A. - 1974 - Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo. Fl. P.Alegre (SH.22); Fl. Lagoa Mirim (SI.22). DNPM, 99 p.

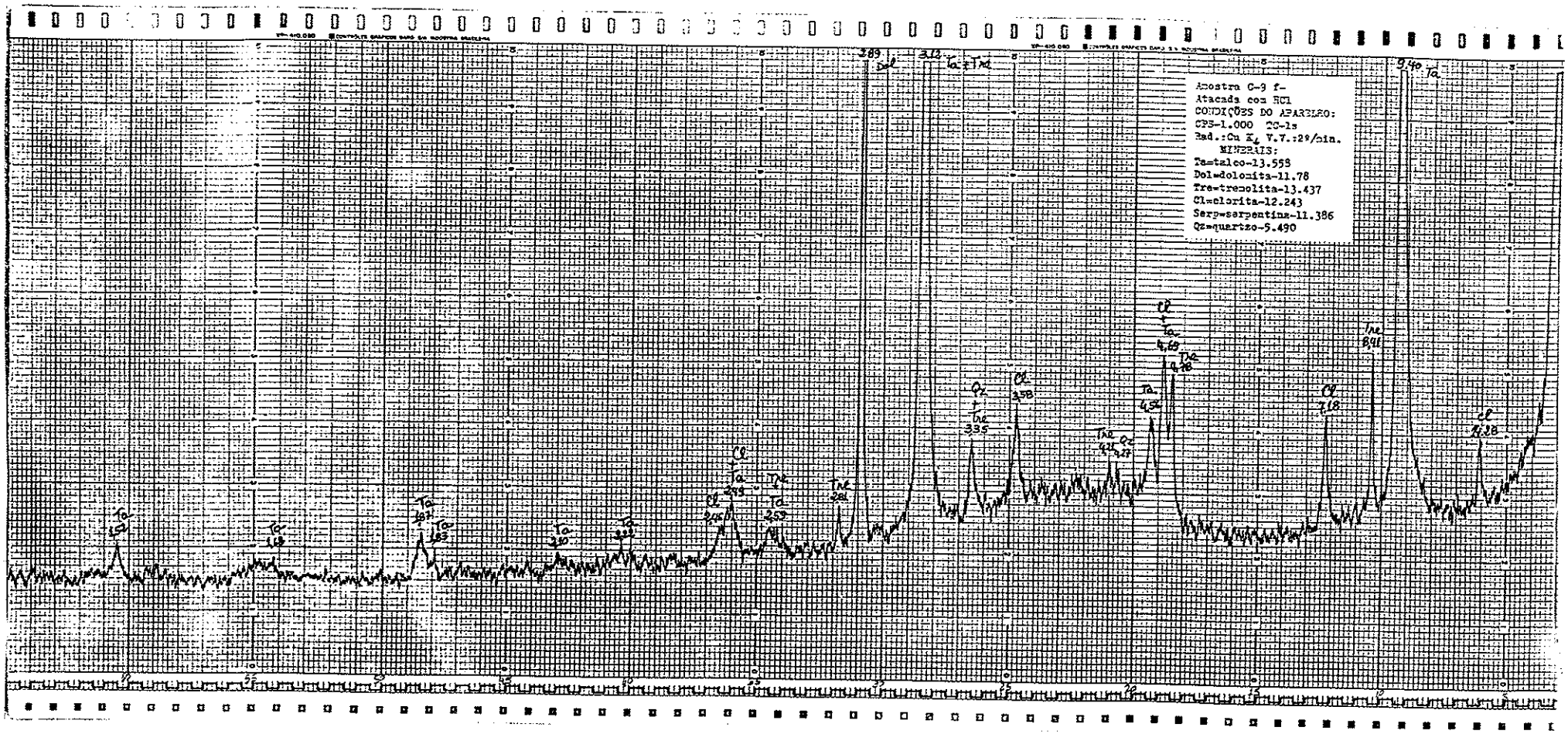
WINKLER, H.G.F. - 1977 - Petrogênese das Rochas Metamórficas. Ed. Edgard Blücher Ltda. S.Paulo.

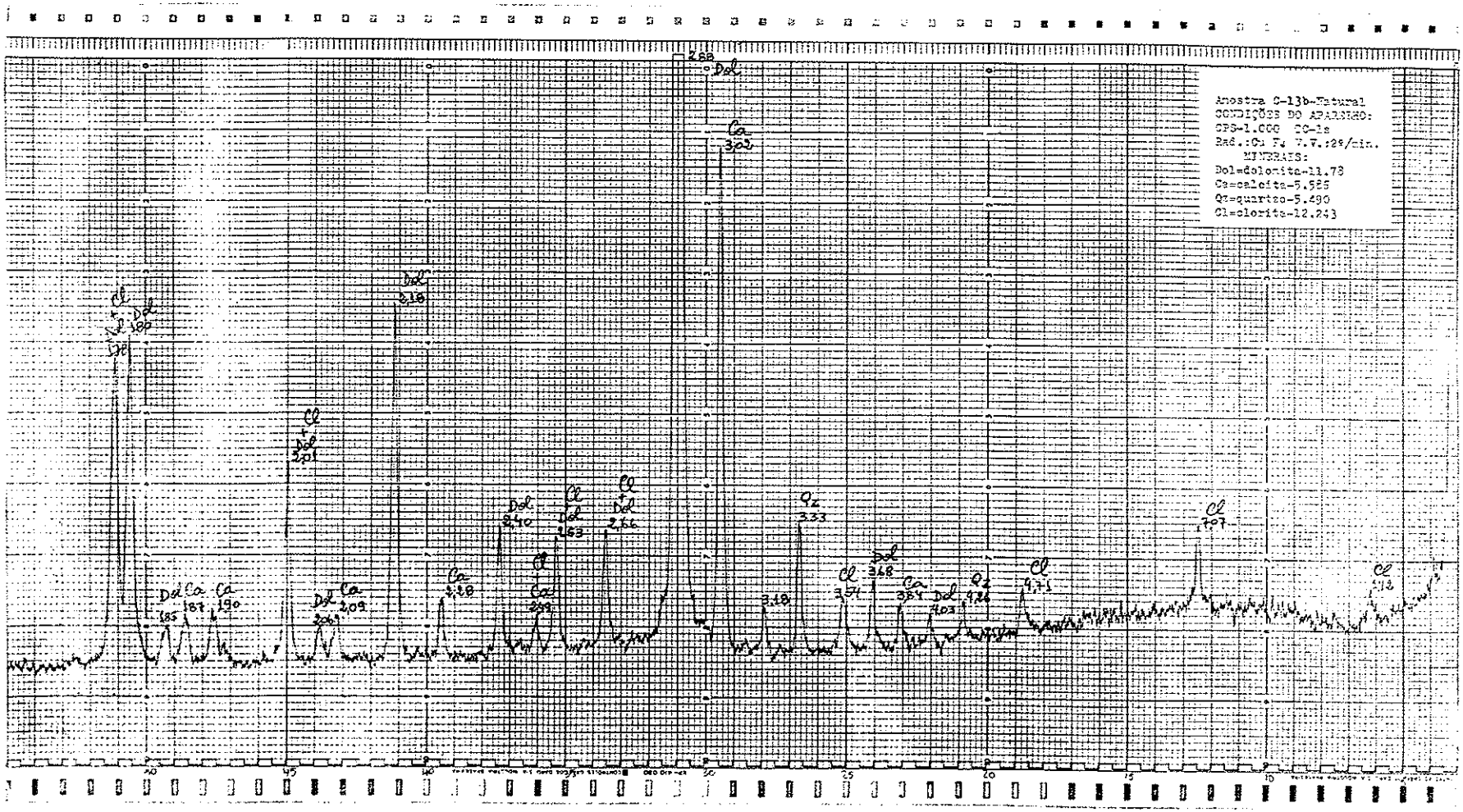
WOLF, K.H.; EASTON, A.J. & WARNE, S. - 1967 - Techniques of Examining and Analysing Carbonate Skeletons, Minerals and Rocks. Elsevier Publ.Co. Amsterdam. p.253-341.

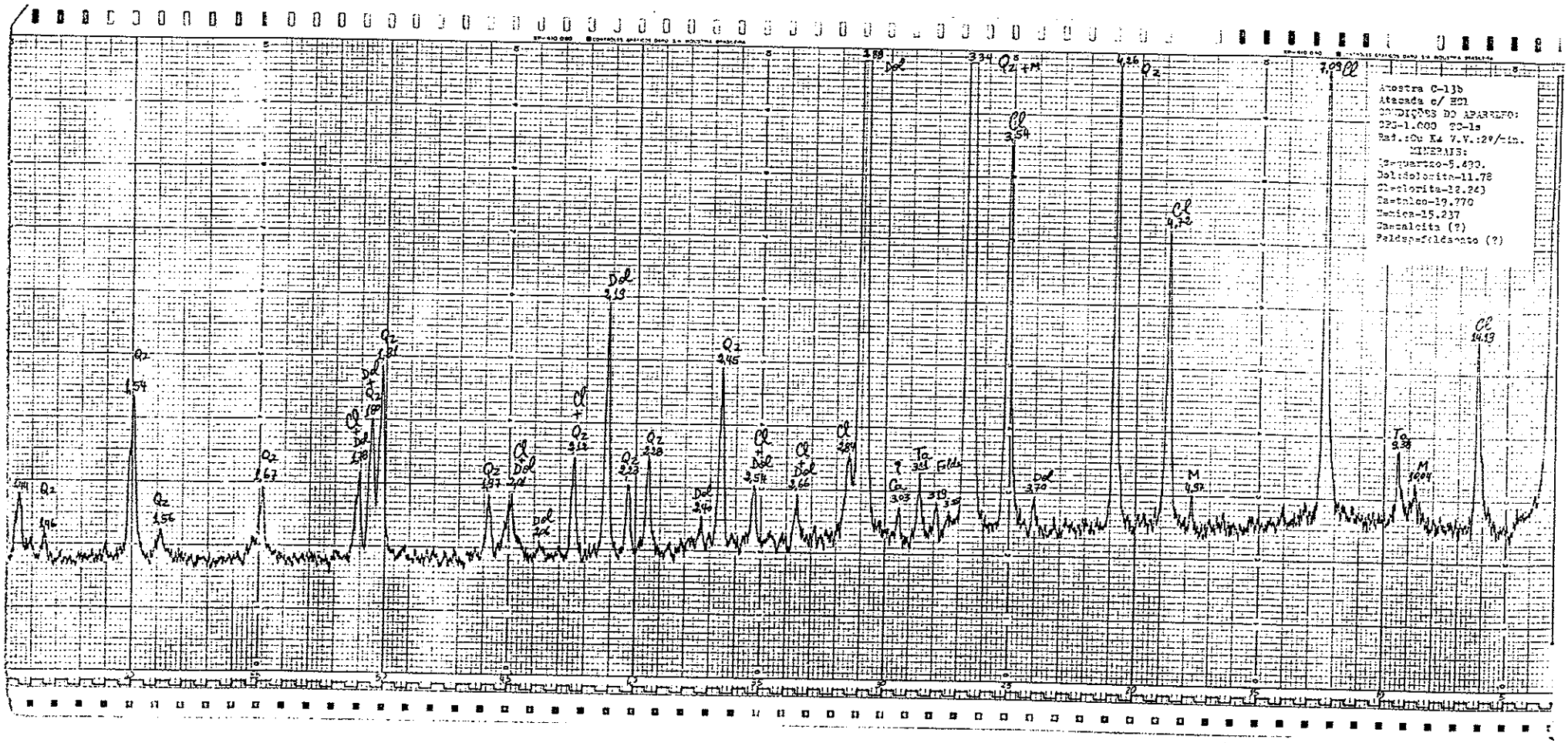
A N E X O

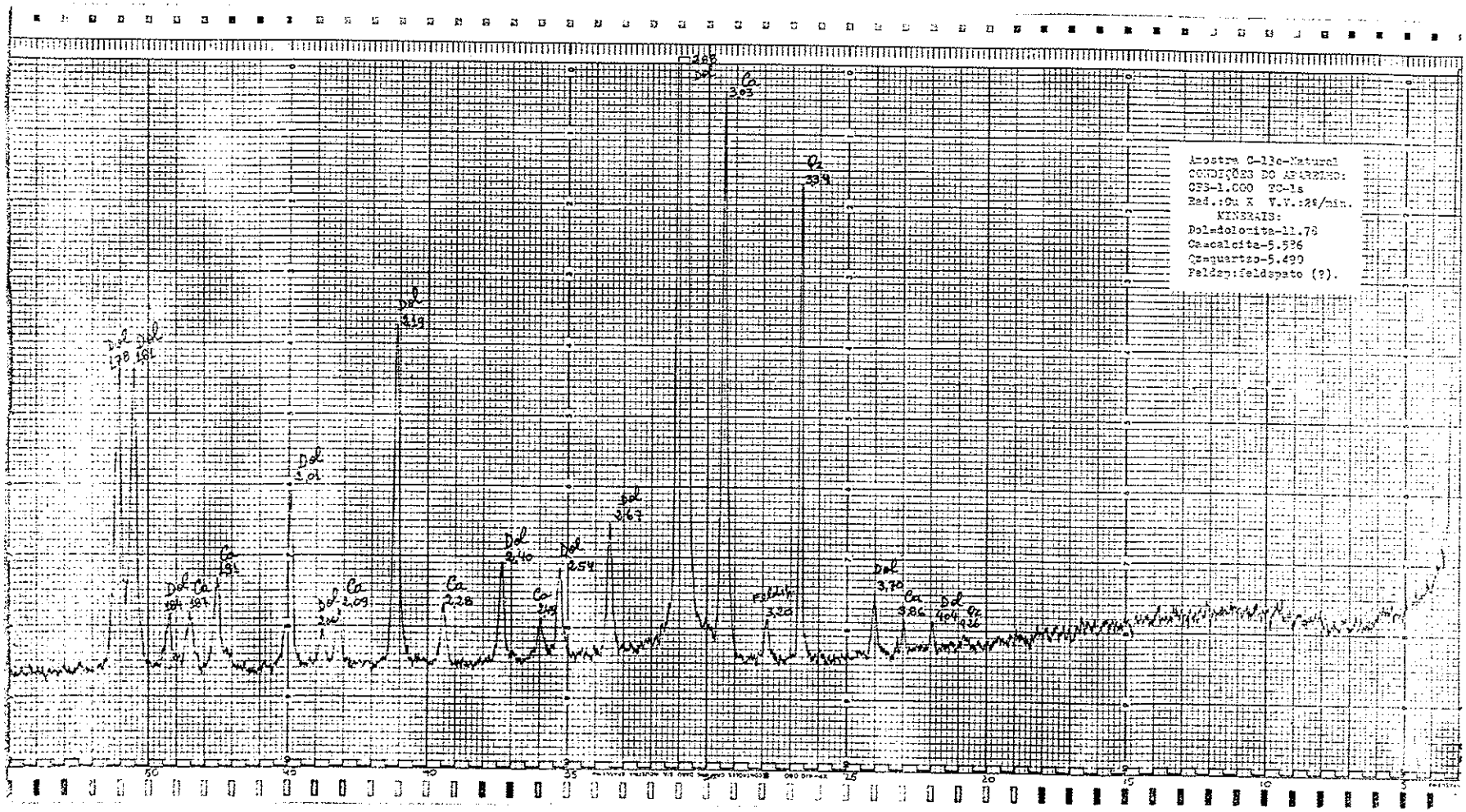
Difratogramas de raios X de amostras dos mármores dolomíticos impuros de Caçapava do Sul, RS.

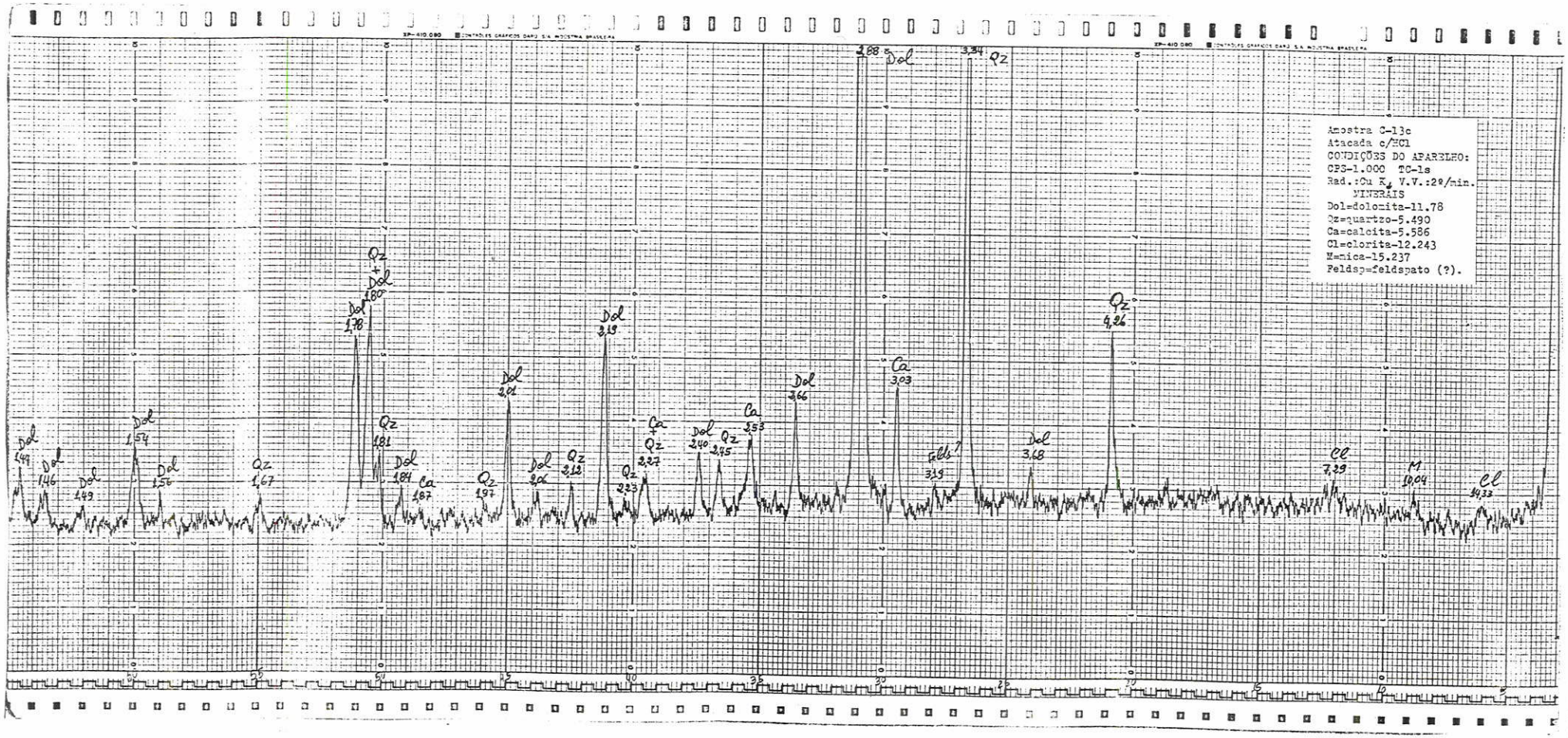

Amostra C-9 f - natural
CONDIÇÕES DO APARELHO:
CPS-1.000 TC-1s
Rad.:Cu Kα V.V.:2º/min.
MINERAIS:
Dol=dolomita-11.78
Ca=calcita-5.586
Serp:serpentina-9.444
Ta=talco-19.770
Feldsp=feldspato (?)

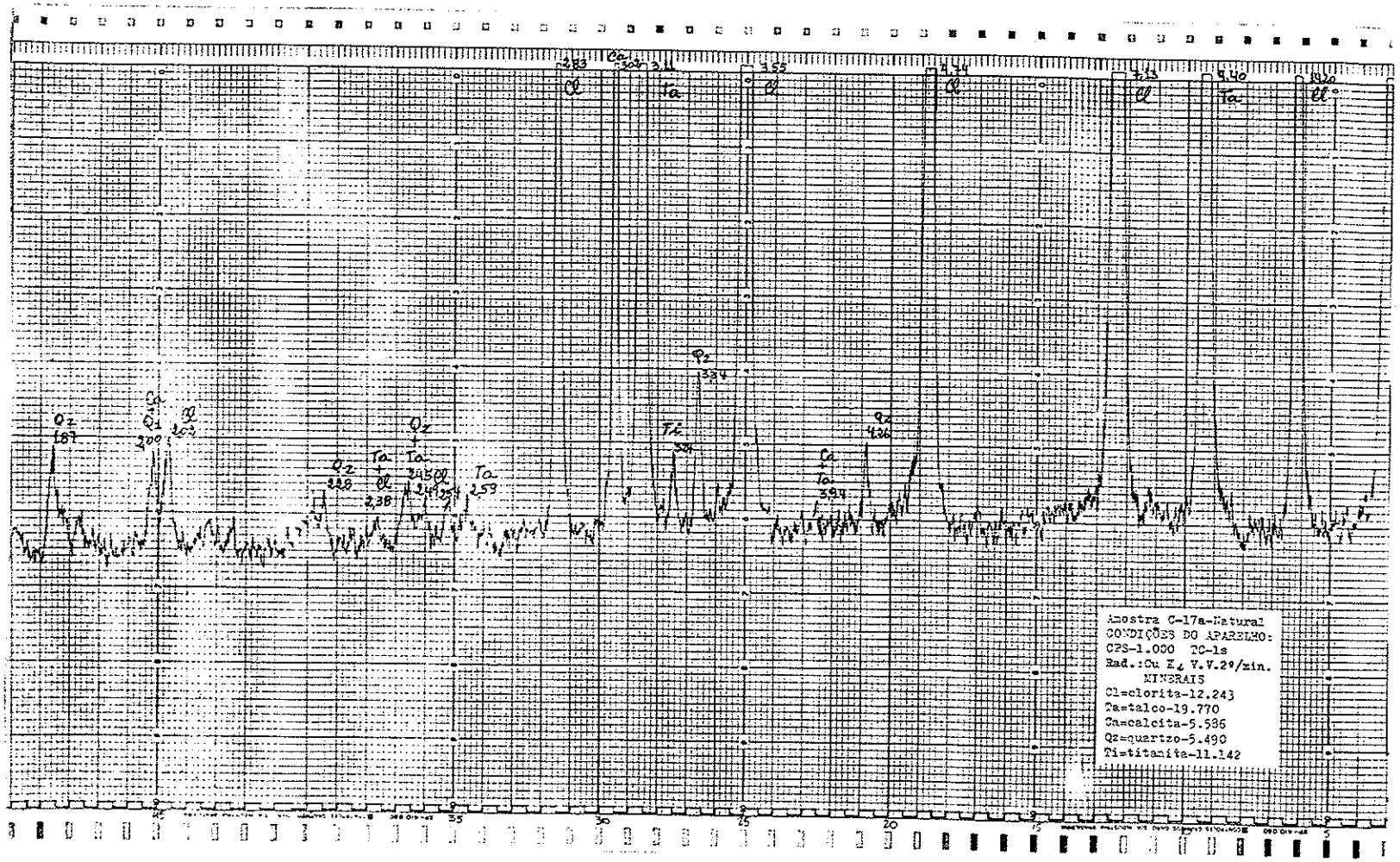

Amostra C-9 f-
Atacada com HCl
CONDIÇÕES DO APARELHO:
CPS-1.000 2S-1s
Rad.:Cu Kα V.T.:2º/min.
MINERAIS:
Ta=talco-13.558
Dol=dolomita-11.78
Tre=tremolita-13.437
Cl=clorita-12.243
Serp=serpentina-11.386
Qz=quartzo-5.490

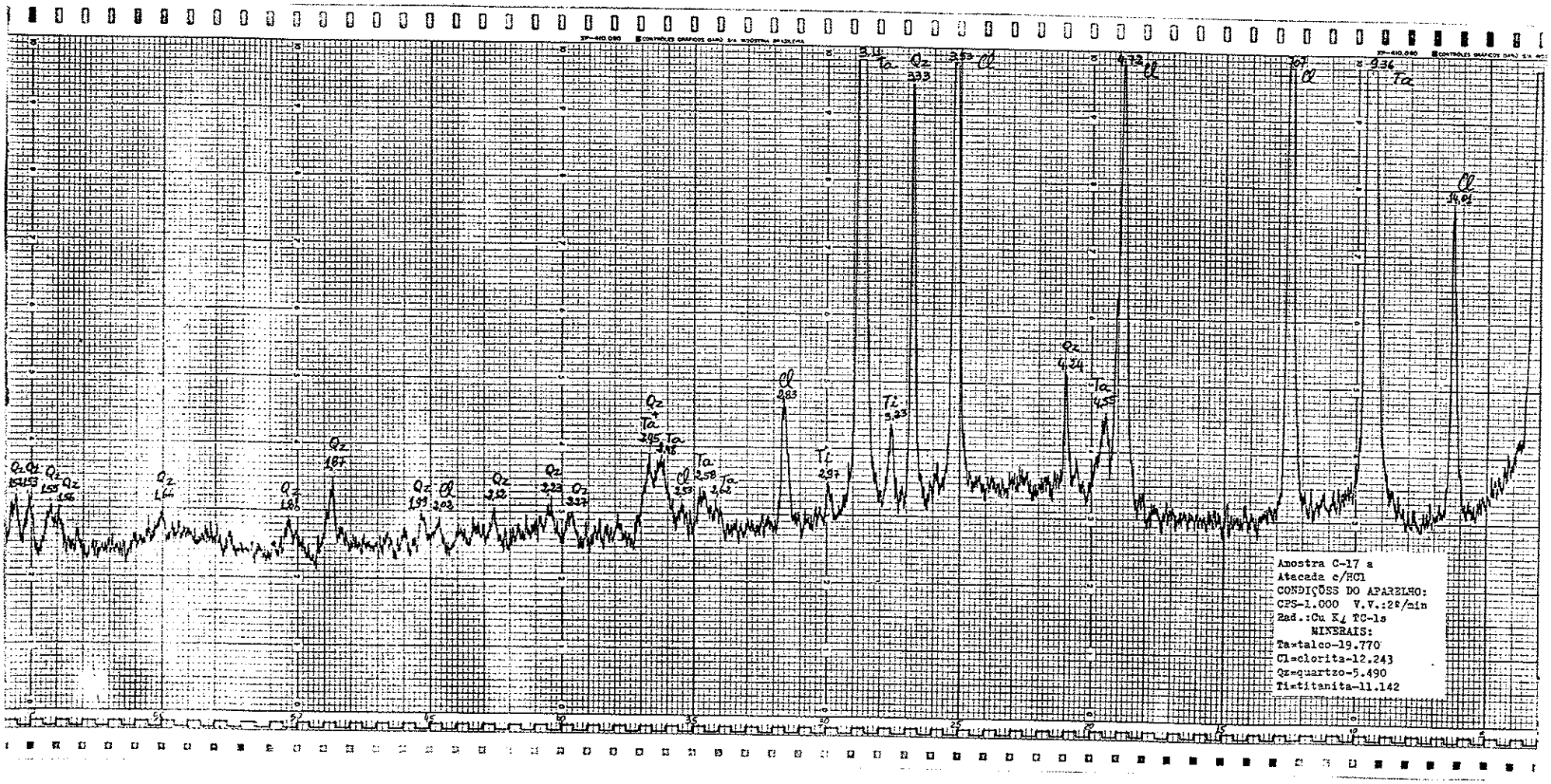

Amostra C-13b-Natural
CONDIÇÕES DO APARELHO:
CPS-1.000 CC-1s
Rad.:Cu Fx V.V.:2º/min.
MINERAIS:
Dol=dolomita-11.78
Ca=calcita-5.585
Qz=quartzo-5.490
Cl=clorita-12.243
Dol
Ca
3.02
Cl
Dol
1.80
Dol
2.16
Cl
Dol
2.01
Dol
2.40
Cl
Dol
2.63
Cl
Dol
2.66
Qz
3.33
Cl
3.54
Dol
3.68
Ca
3.84
Dol
4.03
Qz
4.26
Cl
4.71
Cl
7.07
Cl
13.13
Dol
1.85
Ca
1.87
Ca
1.90
Dol
2.09
Ca
2.09
Ca
2.18
Cl
Ca
2.49
3.10

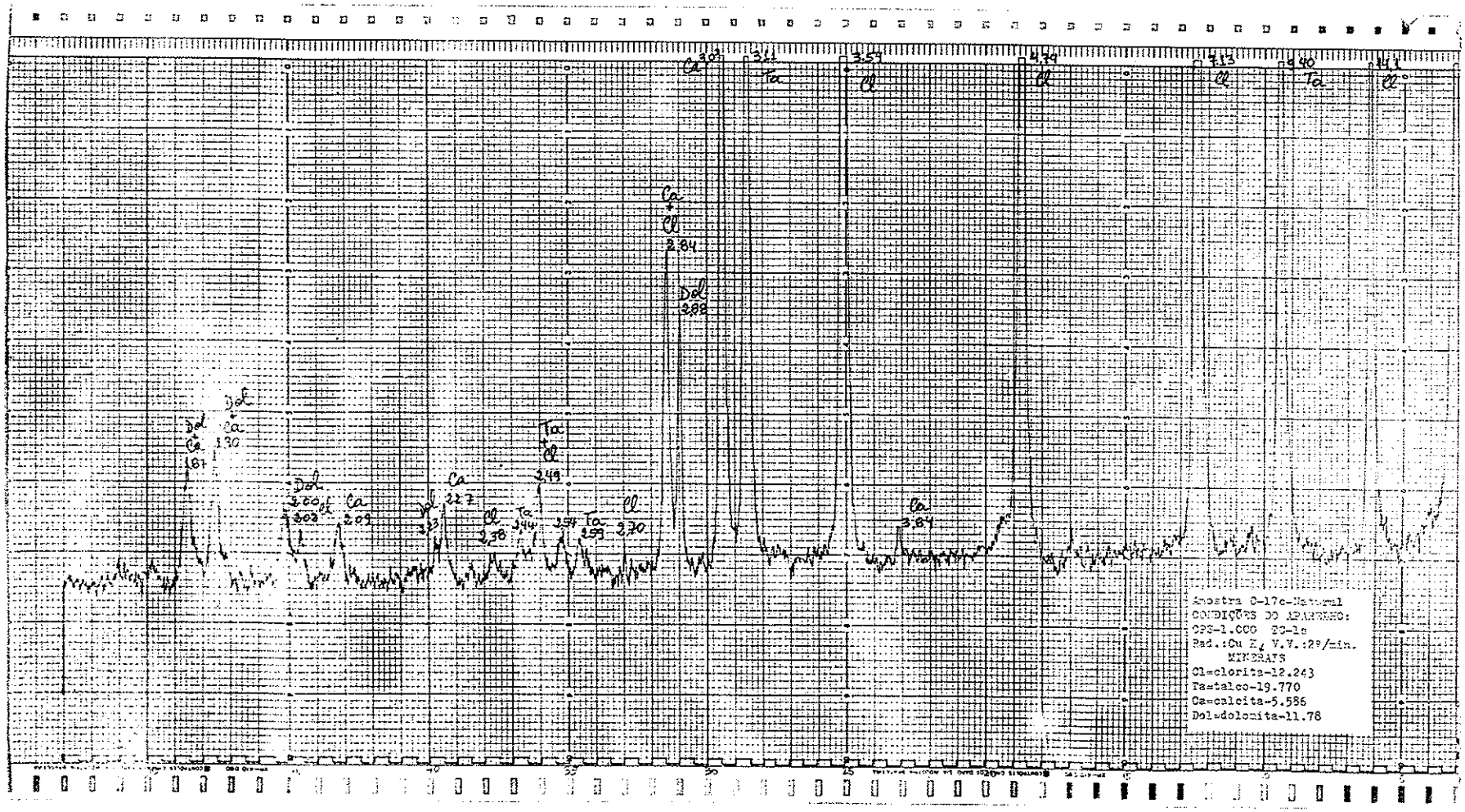

Amostra C-13b
Atacada c/ HCl
CONDIÇÕES DO APARELHO:
CPS-1.000 CC-1s
Rad.:Cu Kα V.V.:2º/min.
MINERAIS:
Q-quartzo-5.430.
Dol-dolomita-11.78
Cl-clorita-12.243
Ta-talco-19.770
Mica-15.237
Calcita (?)
Feldsp-feldspato (?)

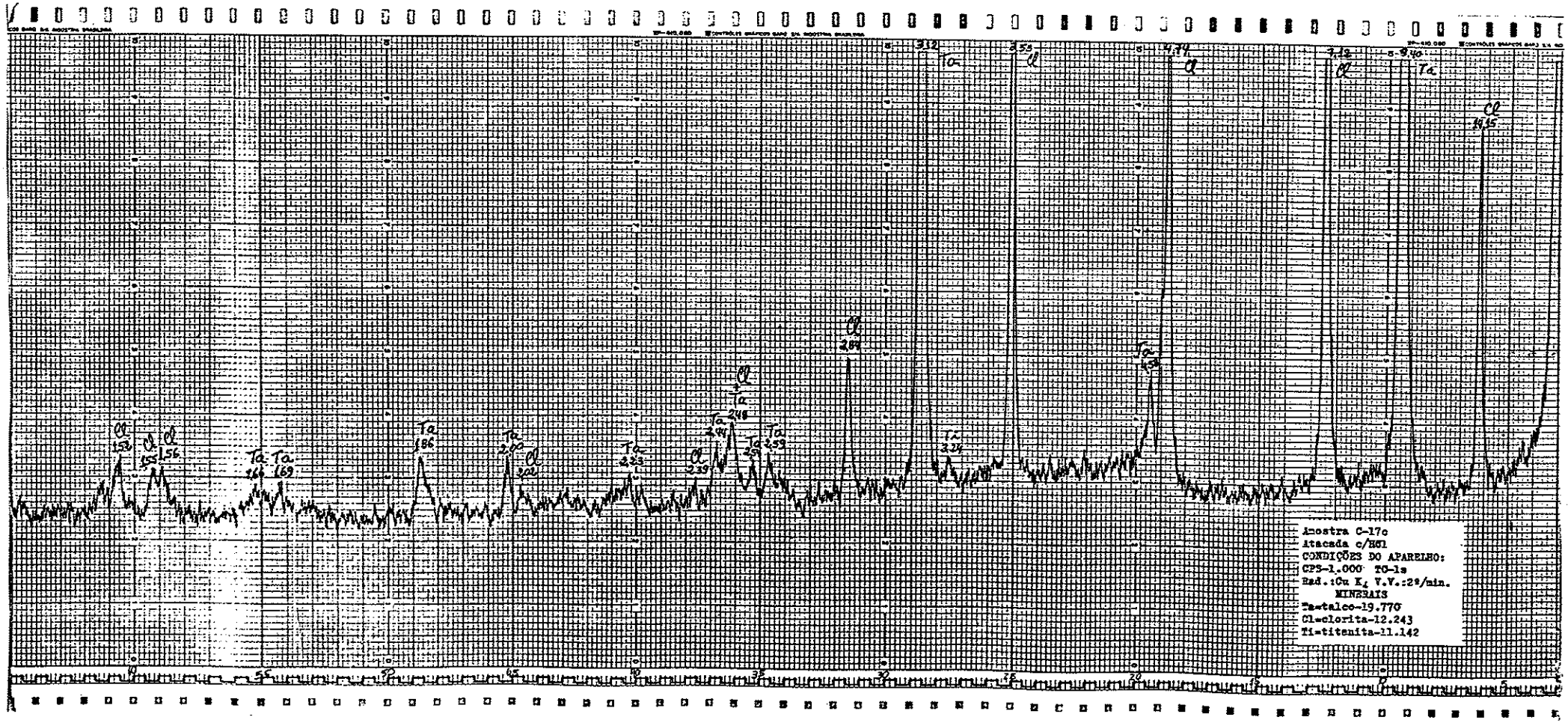

Amostra C-11c-Natural
CONDIÇÕES DO APARELHO:
CPS-1.000 TC-1s
Rad.:Cu K V.V.:2º/min.
MINERAIS:
Dol=dolomita-11.78
Ca=calcita-5.596
Qz=quartzo-5.490
Feldsp:feldspato (?).

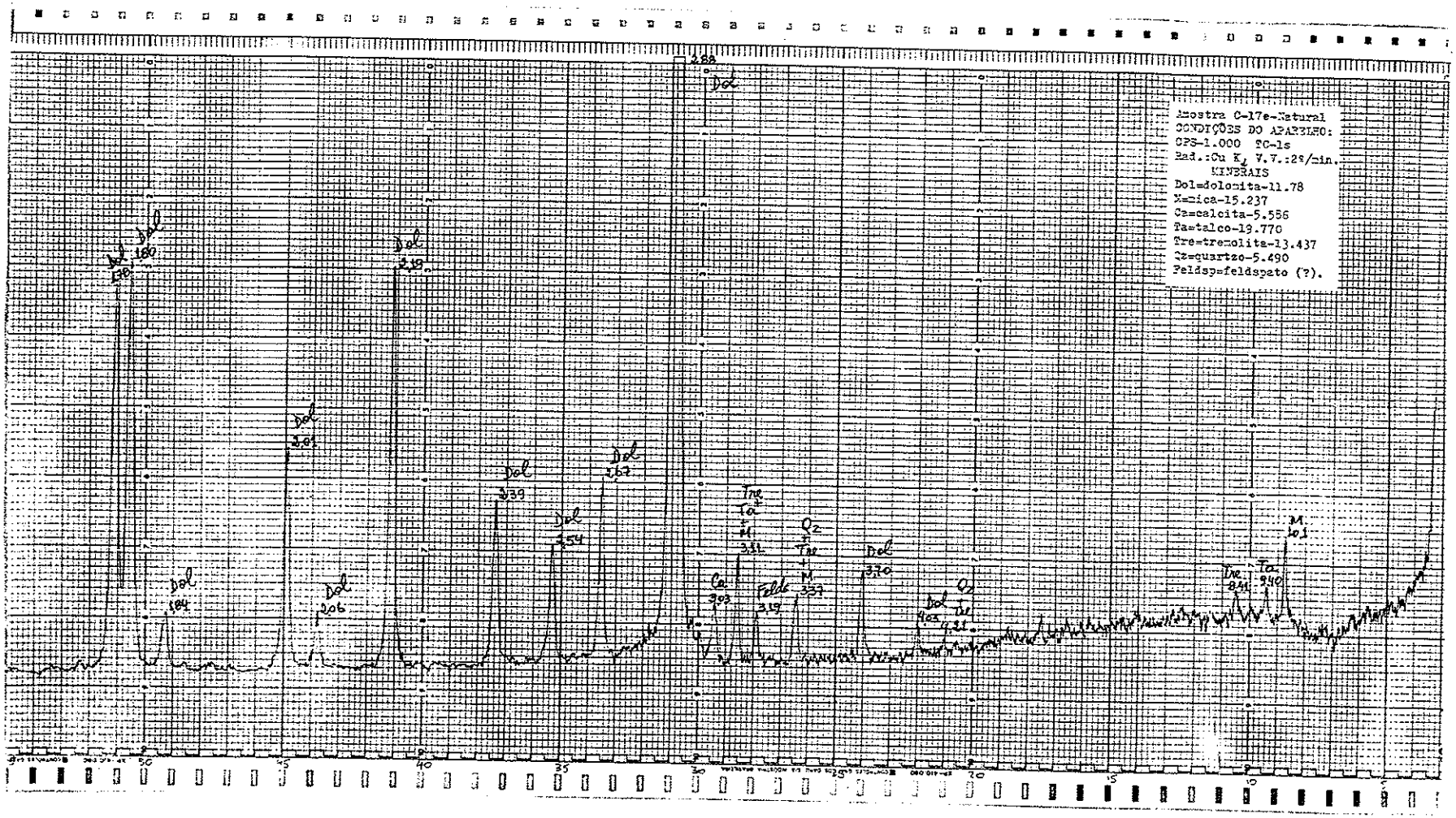

Amostra C-13c
Atacada c/HCl
CONDIÇÕES DO APARELHO:
CPS-1.000 TC-1s
Rad.:Cu Kα V.V.:2º/min.
MINERAIS
Dol=dolomita-11.78
Qz=quartzo-5.490
Ca=calcita-5.586
Cl=clorita-12.243
M=mica-15.237
Feldsp=feldspato (?).
Dol 1,49
Dol 1,46
Dol 1,49
Dol 1,54
Dol 1,56
Qz 1,67
Dol 1,78
Qz + Dol 1,80
Qz 1,81
Dol 1,84
Ca 1,87
Qz 1,97
Dol 2,01
Dol 2,04
Qz 2,12
Dol 2,19
Qz 2,23
Ca + Qz 2,27
Dol 2,40
Qz 2,45
Ca 2,53
Dol 2,66
Dol 2,88
Dol 3,24
Qz
Ca 3,03
Feldsp? 3,19
Dol 3,68
Qz 4,26
Cl 7,29
M 10,04
Cl 14,33

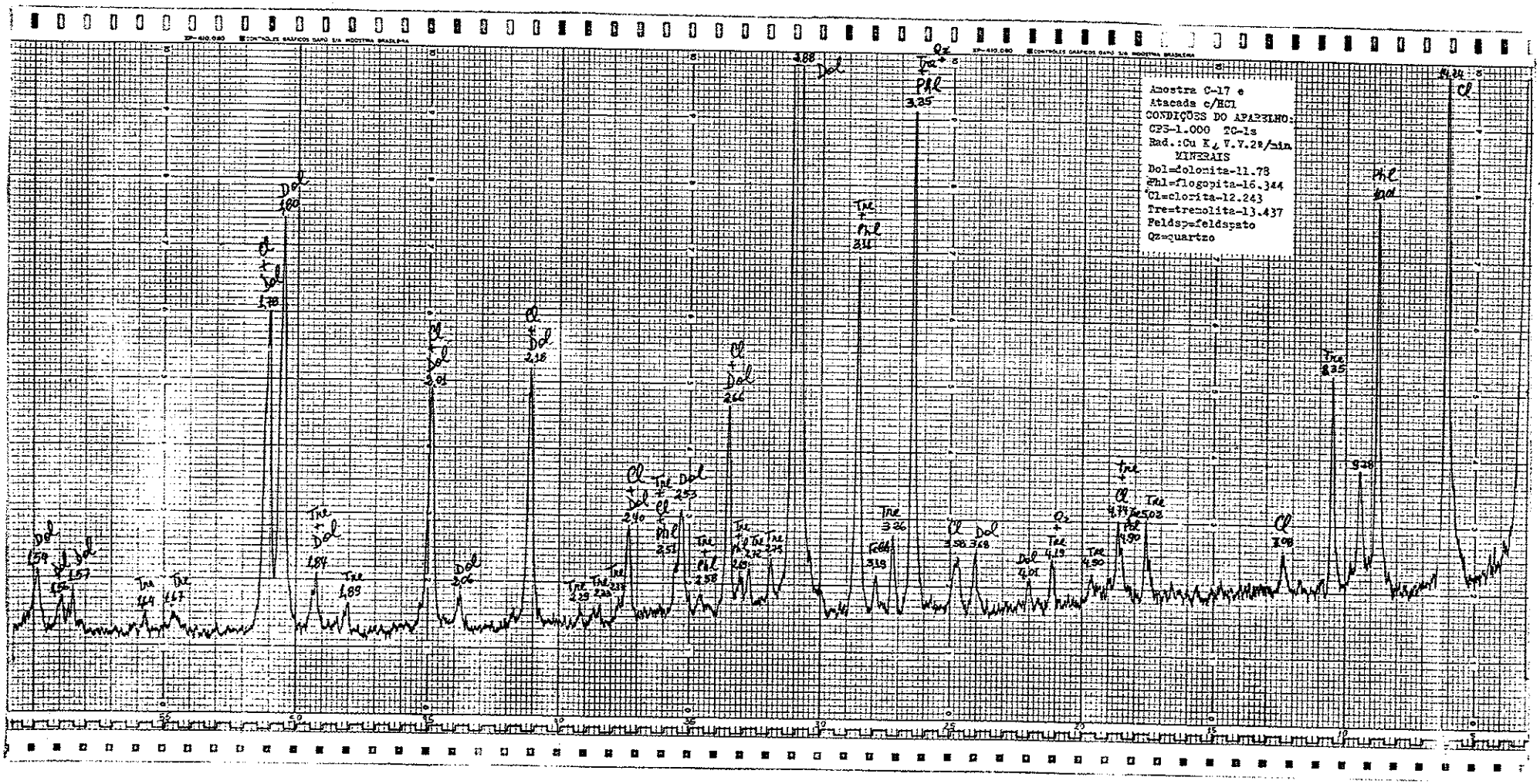

Amostra C-17a-Natural
CONDIÇÕES DO APARELHO:
CPS-1.000 TC-1s
Rad.:Cu Kα V.V.2º/min.
MINERAIS
Cl=clorita-12.243
Ta=talco-19.770
Ca=calcita-5.586
Qz=quartzo-5.490
Ti=titanita-11.142

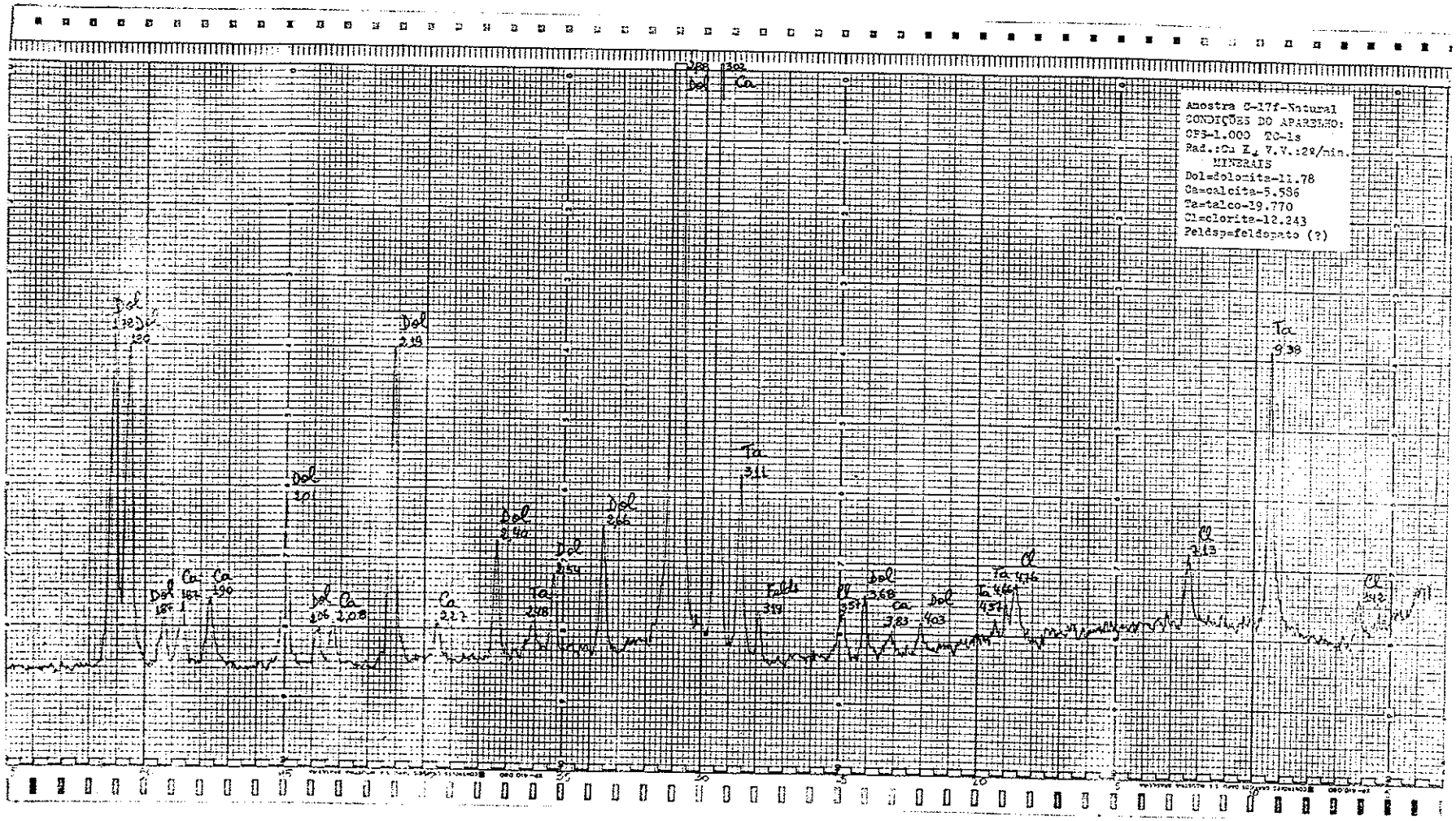

Amostra C-17 a
Atacada c/HCl
CONDIÇÕES DO APARELHO:
CPS-1.000 V.V.:2º/min
Rad.:Cu Kα TC-1s
MINERAIS:
Ta=talco-19.770
Cl=clorita-12.243
Qz=quartzo-5.490
Ti=titanita-11.142

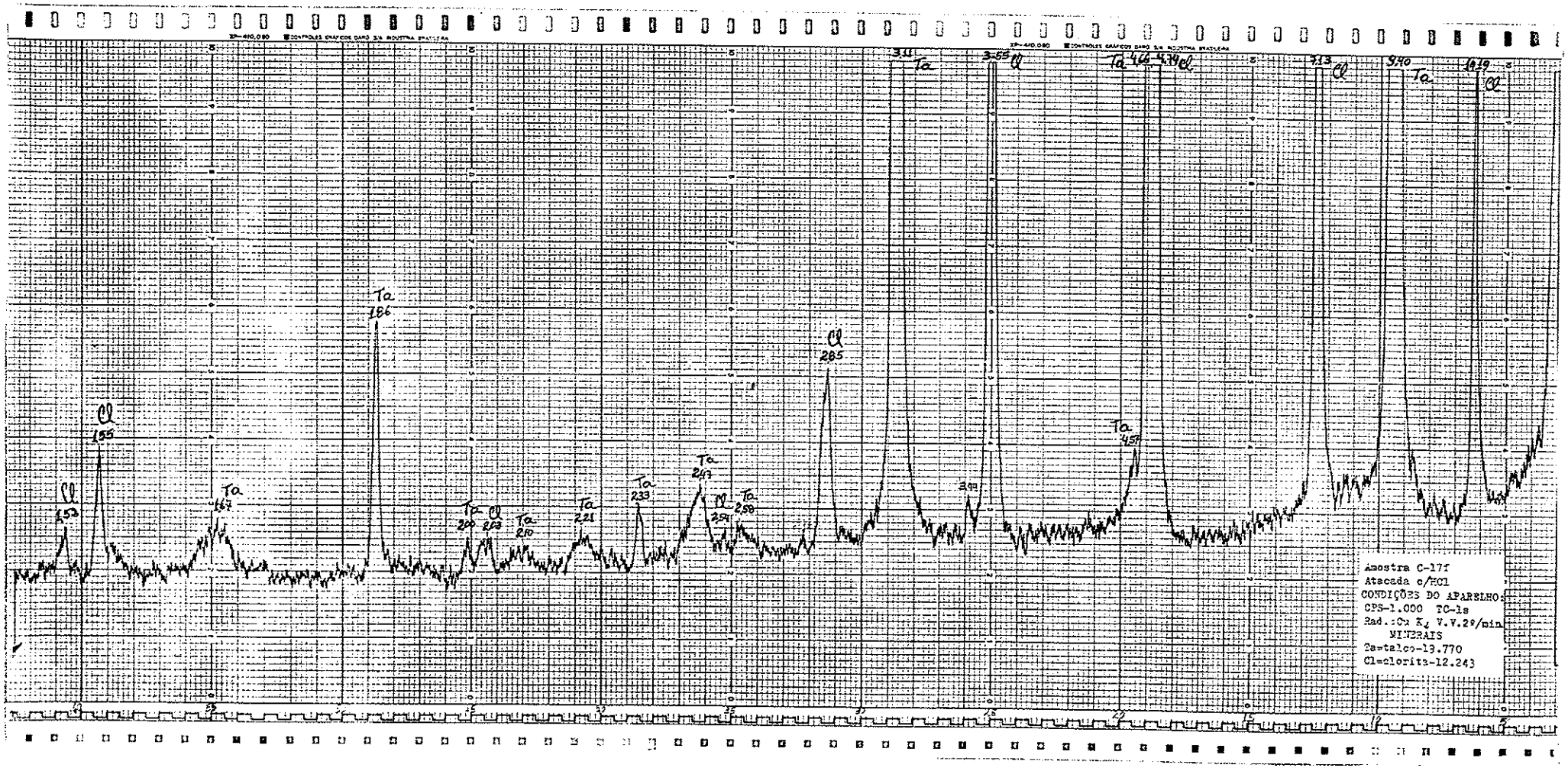

Amostra 0-17c-Natural
CONDIÇÕES DO APARELHO:
CPS-1.000 SC-1s
Rad.:Cu Z, V.V.:2º/min.
MINERAIS
Cl=clorita-12.243
Ta=talco-19.770
Ca=calcita-5.586
Dol=dolomita-11.78

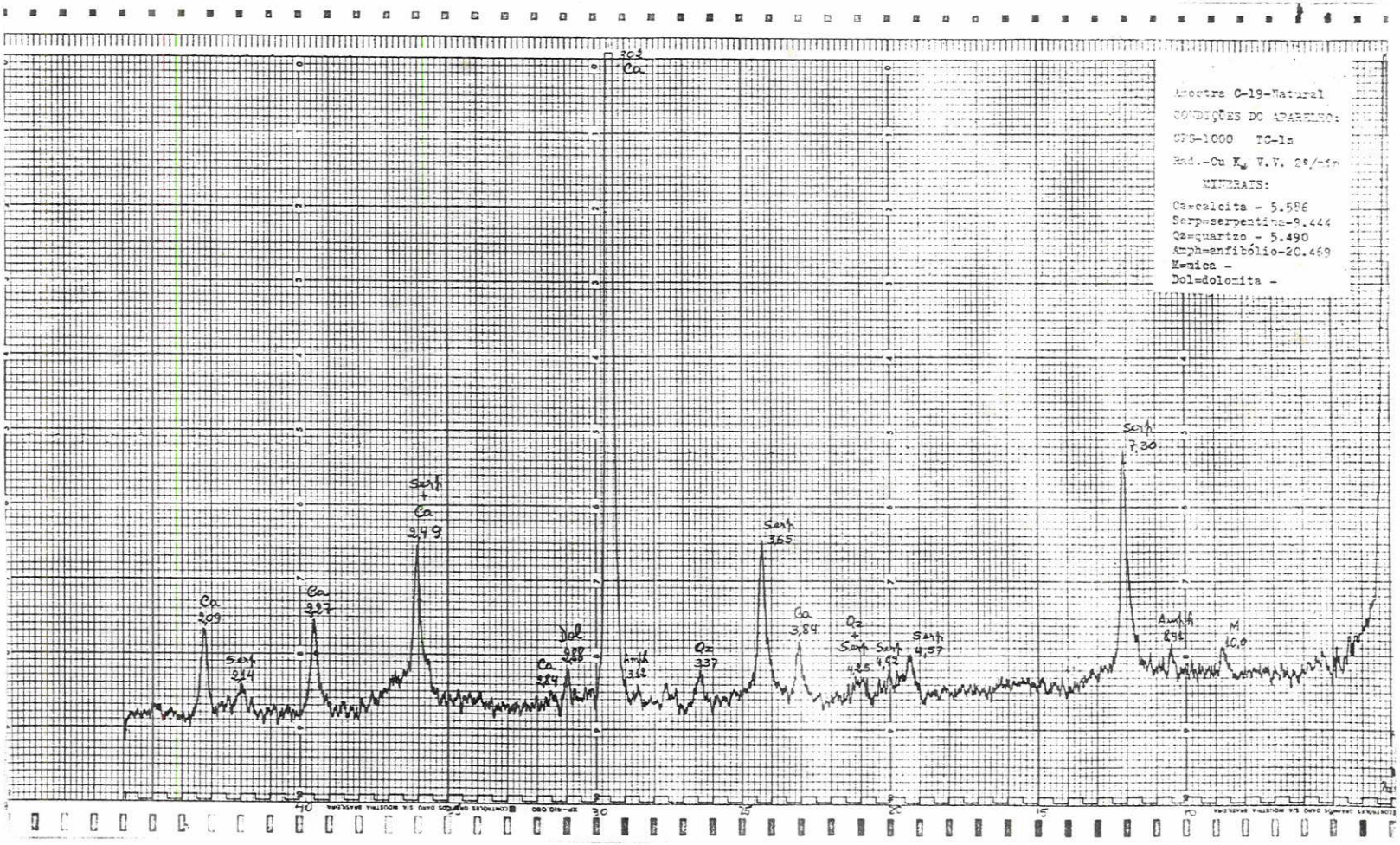

Amostra C-17c
Atacada c/HCl
CONDIÇÕES DO APARELHO:
CPS-1.000 TC-1s
Rad.:Cu Kα V.V.:2º/min.
MINERAIS
Ta=talco-19.770
Cl=clorita-12.243
Ti=titanita-11.142

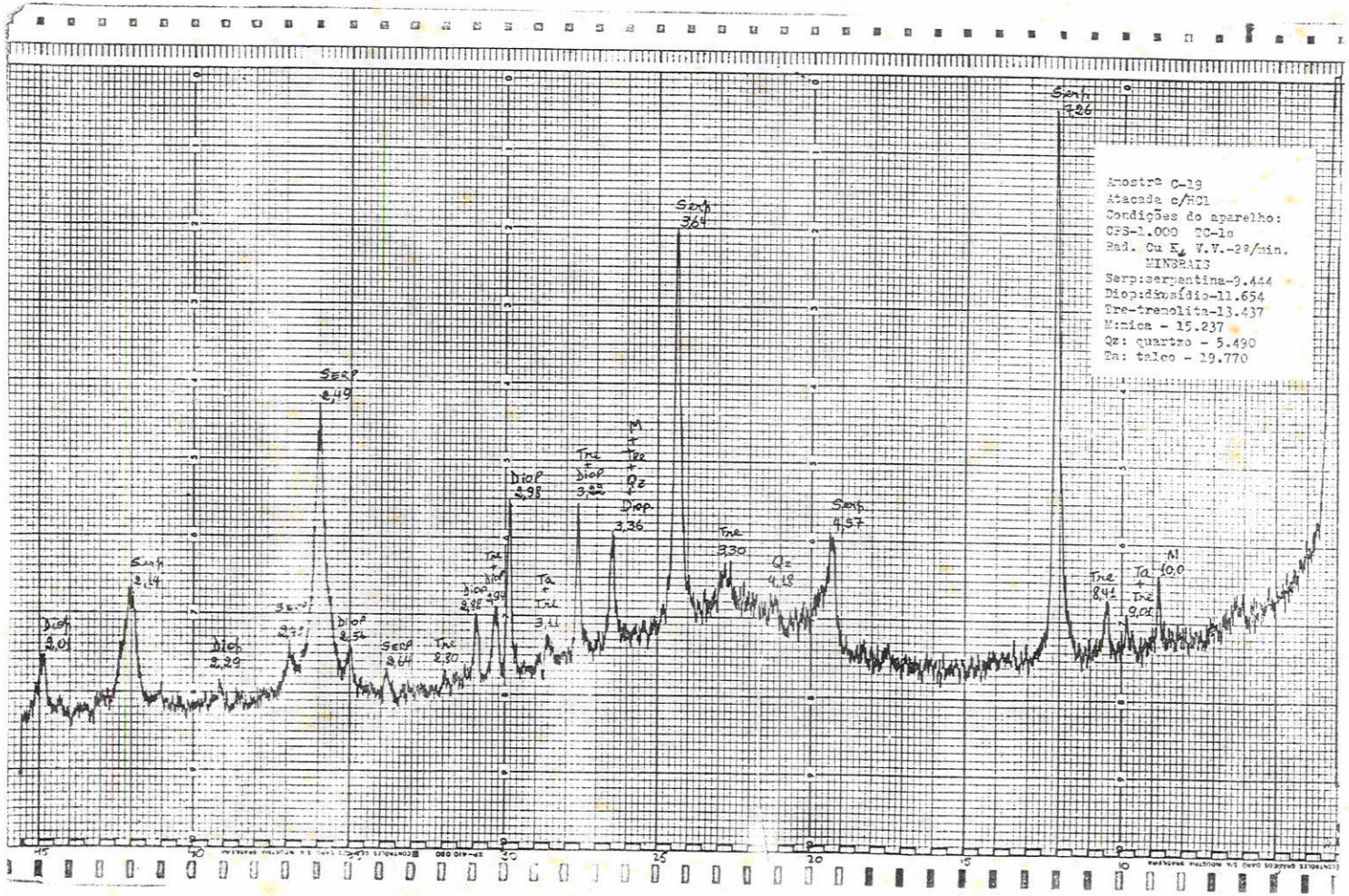

Amostra C-17e-Natural
CONDIÇÕES DO APARELHO:
CPS-1.000 TC-1s
Rad.:Cu Kα V.V.:2º/min.
MINERAIS
Dol=dolomita-11.78
M=mica-15.237
Ca=calcita-5.556
Ta=talco-19.770
Tre=tremolita-13.437
Qz=quartzo-5.490
Feldsp=feldspato (?).
Dol
Tre
Ta
M
Qz
Ca
Feldsp


Amostra C-17 e
Atacada c/HCl
CONDIÇÕES DO APARELHO:
CPS-1.000 TC-1s
Rad.:Cu K, V.V.2°/min.
MINERAIS
Dol=dolomita-11.78
Phl=flogopita-16.344
Cl=clorita-12.243
Tre=tremolita-13.437
Feldsp=feldspato
Qz=quartzo


Amostra C-17f-Natural
CONDIÇÕES DO APARELHO:
OPS-1.000 TC-1s
Rad.:Cu Z4 V.V.:2º/min.
MINERAIS
Dol=dolomita-11.78
Ca=calcita-5.586
Ta=talco-19.770
Cl=clorita-12.243
Feldsp=feldspato (?)


Cl 153
Cl 155
Ta 167
Ta 186
Ta 200
Cl 203
Ta 210
Ta 221
Ta 233
Ta 247
Cl 254
Ta 258
Cl 285
3.11 Ta
3.55 Cl
Ta 4.46
4.74 Cl
Ta 4.57
7.13 Cl
9.40 Ta
10.19 Cl
Amostra C-171
Atacada c/HCl
CONDIÇÕES DO APARELHO:
CPS-1.000 TC-1s
Rad.:Cu Kα V.V.2º/min
MINERAIS
Ta=talco-19.770
Cl=clorita-12.243


Amostra C-19-Natural
CONDIÇÕES DO APARELHO:
CPS-1000 TC-1s
Rad.-Cu Kα V.V. 2°/-in
MINERAIS:
Ca=calcita - 5.586
Serp=serpentina-9.444
Qz=quartzo - 5.490
Amph=anfibólio-20.469
M=mica -
Dol=dolomita -
Ca 2,09
Serp 2,14
Ca 2,27
Serp + Ca 2,49
Dol 2,88
Ca 2,84
Amph 3,12
Qz 3,37
Serp 3,65
Ca 3,84
Qz + Serp 4,25
Serp 4,42
Serp 4,57
Serp 7,30
Amph 8,51
M 10,0


Amostra C-19
Atacada c/HCl
Condições do aparelho:
CPS-1.000 TC-1s
Rad. Cu Kα V.V.-2θ/min.
MINERAIS
Serp:serpentina-9.444
Diop:diopsídio-11.654
Tre-tremolita-13.437
M:mica - 15.237
Qz: quartzo - 5.490
Ta: talco - 19.770
Serp 7.26
Serp 3.64
Serp 4.57
Serp 2.49
Serp 2.14
Diop 2.01
Diop 2.29
Serp 2.27
Diop 2.54
Serp 3.64
Tre 2.30
Diop 2.98
Tre 3.20
Ta 3.11
Tre 3.36
Tre 3.30
Qz 4.18
Tre 8.41
Ta 9.01
M 10.0