

Pesquisas em Geociências

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias>

Aproveitamento Industrial do Mármore da Sequência Metavulcano-Sedimentar Marmeleiro, Rio Grande do Sul, Brasil. Dados Petrográficos e Químicos

Rosemeri Soares Siviero, Gênova Maria Pulz

Pesquisas em Geociências, 28 (1): 49-64, set./dez., 2001.

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/20167>

Publicado por

Instituto de Geociências



Portal de Periódicos
UFRGS

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

Informações Adicionais

Email: pesquisas@ufrgs.br

Políticas: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/editorialPolicies#openAccessPolicy>

Submissão: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#onlineSubmissions>

Diretrizes: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#authorGuidelines>

Data de publicação - set./dez., 2001.

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

Aproveitamento Industrial do Mármore da Seqüência Metavulcano-Sedimentar Marmeleiro, Rio Grande do Sul, Brasil Dados Petrográficos e Químicos

ROSEMERI SOARES SIVIERO¹ & GÊNOVA MARIA PULZ²

¹ Curso de Pós-graduação, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Caixa Postal 15001, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS. rss@ifufrgs.br

² Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Caixa Postal 15001, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS. genova@portoweb.com.br

(Recebido em 05/01. Aceito para publicação em 10/01)

Abstract - This study presents chemical and petrographic properties of marble of the Marmeleiro metavolcano-sedimentary sequence, Southern Brazil. This rock is characterized by 80% of the pure calcite, 48 to 53.3 wt.% of CaO, 0.32 to 0.86 wt.% of MgO and neutralizing value between 75 and 91%. The elevated loss on ignition this rock makes possible the production of considerable amounts of CaO after calcinations. These characteristics are adequated for manufacture of Portland lime, as well as for agricultural lime.

Keywords - *Portland* lime, marble, rock chemistry, mineral chemistry.

INTRODUÇÃO

Os calcários e mármore têm grande demanda industrial pelas suas propriedades como matéria-prima para cimento, refratários, agente dessulfurante para diminuir os impactos ambientais, pedras ornamentais, corretivo de solo e ração para animais, dentre outros. Além das aplicações industriais, estas rochas se associam a depósitos minerais, tais como Pb-Zn±Ag (Anderson & Macqueen 1988), escarnitos de Cu-Au-Pb-Zn (Meinhert 1989) e reservatórios de água e petróleo (Hedberg 1964).

Diversos tipos de carbonato ocorrem nestas rochas, dentre os quais os mais comuns são calcita (CaCO_3) e dolomita (MgCaCO_3) e, subordinadamente, siderita (FeCO_3), ankerita [$\text{Ca}_2\text{MgFe}(\text{CO}_3)_4$] e magnesita (MgCO_3). Nos calcários recentes, aragonita (CaCO_3) é comum, mas é dificilmente preservada, pois inverte-se para calcita, devido a sua metaestabilidade à temperatura e pressões atmosféricas (Deer *et al.* 1992).

Dados oficiais do Ministério das Minas e Energia estimam que as reservas brasileiras de calcário ultrapassam 49 bilhões de toneladas medidas, as quais estão concentradas nos estados de Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Paraná (Anuário Mineral Brasileiro 1998). No *ranking* dos estados produtores

de calcário, o Rio Grande do Sul é o 19º colocado, com cerca de 16,3 milhões de toneladas de reservas medidas.

Durante o trabalho de mapeamento geológico realizado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1991) foi localizada uma nova ocorrência de mármore. Trata-se de mármore calcítico (Siviero *et al.* 2000) alojado na Seqüência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro, nos arredores do município de Torquato Severo (Fig. 1), a cerca de 320 km de Porto Alegre, que pode favorecer o desenvolvimento da fronteira do estado. O acesso a este novo prospecto de mármore pode ser feito percorrendo-se cerca de 15 km ao longo de uma estrada vicinal àquela que liga Lavras do Sul-Bagé, situada a cerca de 10 km de Lavras do Sul (Fig. 1).

Em geral, os fatores que influem no aproveitamento dos calcários e mármore como matéria-prima para fabricação de cimento e cal relacionam-se com as propriedades químicas da rocha. Dentre elas, destacam-se as quantidades de CaO, MgO e perda ao fogo, assim como o poder neutralizante da rocha. Este estudo descreve as características petrográficas e químicas do mármore da Seqüência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro, com vistas a contribuir para seu aproveitamento industrial.

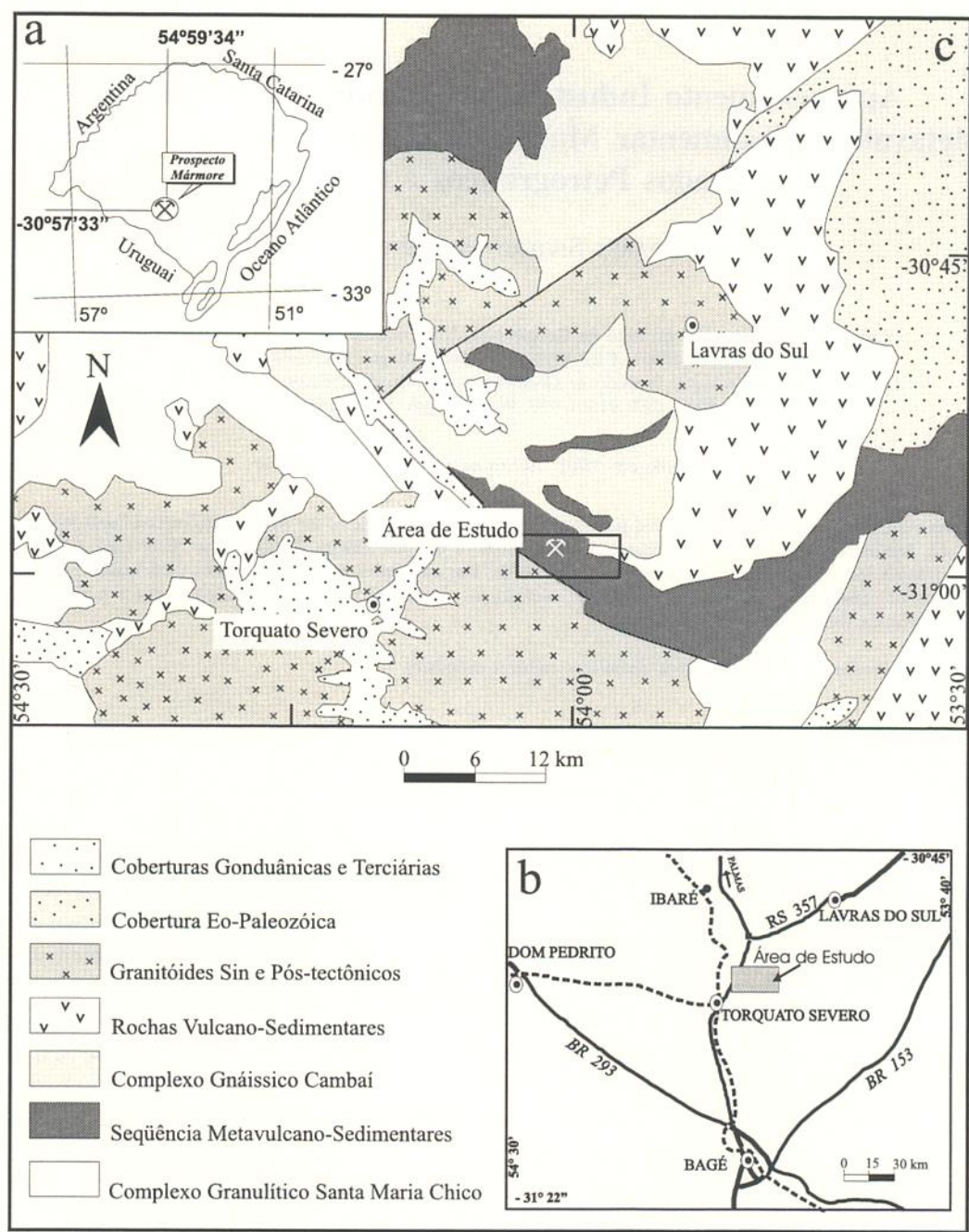


Figura 1 - a) Localização e b) vias de acesso ao prospecto de mármore da Seqüência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro, Estado do Rio Grande do Sul. c) Esboço da geologia da parte oeste do Escudo Sul-rio-grandense destacando a área do prospecto de mármore estudado (modificado de Gastal *et al.* 1992).

GEOLOGIA REGIONAL

A sudoeste da região do Arroio Marmeleiro aflora o Complexo Granulítico Santa Maria Chico (Fig. 1), o qual é constituído por granulitos básicos com granada, tonalitos, trondhjemitos, piroxenitos a anortositos, granada-silimanita gnaisses e raras formações ferríferas bandadas (Hartmann & Nardi 1983). A foliação destas rochas se orienta segundo noroeste e suas paragéneses são das fácies granulito

e anfibolito. Faixas de milonitos com paragéneses retrometamórficas da fácies xisto verde seccionam os litotipos deste complexo (Hartmann 1998). Dados radiométricos U-Pb (SHRIMP) de zircão de metabasalto e trondhjemito deste complexo obtidos por Hartmann *et al.* (1999) forneceram idades de 2.022 ± 18 Ma e 2.031 ± 40 Ma.

As rochas da Formação Cerro Mantiqueiras, conforme a denominação de Gõni (1962), afloram a nordeste da área mapeada. Esta unidade estratigrá-

fica agrupa diversas lentes alongadas de gabro, peridotito, serpentinito, bem como tremolita-quartzo xisto, tremolita-actinolita xisto e rochas carbonatadas com ankerita. Leite (1997) e Leite *et al.* (1995, 1998) interpretaram os litotipos desta unidade como partes de ofiolitos, com idade U-Pb (SHRIMP) de 828 e 690 Ma.

A área estudada delimita-se a nordeste com gnaisses derivados de trondhjemitos, dioritos, tonalitos e granodioritos do Complexo Gnáissico Cambaí (Fig. 1), os quais foram datados em 750-650 Ma pelo método Rb-Sr (Soliani Jr. 1986). A Sequência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro está em contato com o Complexo Gnáissico Cambaí, a qual é constituída por anfibolitos, talco xistos, mármore, rochas calcissilicáticas e metapelitos. Estas rochas apresentam paragêneses da fácies xisto verde a anfibolito. Segundo Fernandes *et al.* (1995) esta sequência metavulcano-sedimentar é o remanescente de uma crosta oceânica de bacia marginal.

Diversas ocorrências de granitóides pós-tectônicos afloram na porção oeste do Escudo Sul-riograndense. A nordeste da área estudada ocorre o Granito Lavras do Sul (Figura 1), de composição granodiorítica a diorítica, que grada para sienogranitos pertíticos (Nardi 1984) de afinidade shoshonítica. Dados radiométricos U-Pb (SHRIMP) deste granitóide forneceram idade de cristalização de 583 ± 11 (Leite *et al.* 1998).

A sul da área ocorrem litotipos do Complexo Granítico Santo Afonso, caracterizado por granodioritos, monzogranitos e sienogranitos (Hartmann & Nardi 1982), incluindo as suítes intrusivas Santo Afonso, Saibro e a suíte subvulcânica Vauthier. Soliani Jr. (1986) obteve isócrona Rb-Sr de 568 ± 48 Ma, com razão inicial de 0,708, a qual foi atribuída à participação de fusões crustais (Soliani Jr. *et al.* 1999).

Na área deste estudo, a unidade de rochas vulcano-sedimentares está representada por andesitos do Membro Hilário, que forneceram 510 Ma e 535 Ma pelo método K-Ar (Ribeiro & Teixeira 1970). Na porção oeste do Escudo Sul-riograndense também afloram coberturas Eo-Paleozóicas (Grupo Camaquã), assim como gonduânicas e terciárias.

GEOLOGIA DA ÁREA

A Sequência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro aflora como uma faixa alongada, segundo NE-SE, constituída por metapelitos, quartzitos, mármore e rochas calcissilicáticas associadas com xis-

tos magnesianos e anfibolitos. O mármore ocorre como uma lente alongada, que aflora, por cerca de 300 m², nas proximidades do contato da Sequência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro com o Complexo Granítico-Gnáissico (Figura 2).

A possança da lente de mármore permanece desconhecida, pois os trabalhos de prospecção ainda não foram concluídos. Esta rocha é cinza esbranquiçada e tem bandamento composicional, dado pela alternância de bandas de carbonato e de silicatos (Fig. 3). *Boxworks* cúbicos, de 0,2 a 0,5 cm de diâmetro, provavelmente de pirita oxidada, ocorrem disseminados nas bandas ricas em silicatos. O bandamento tem orientação N70-86W/40-52 NE, está polideformado e seccionado por fraturas NE, com mergulho para NW ou SE. Algumas fraturas são preenchidas por veios e vênulas de quartzo leitoso com disseminações de sulfetos. Em lâmina delgada, o bandamento é definido por domínios granoblásticos de calcita, que se alternam com bandas milimétricas ricas em minerais do grupo do epidoto e quartzo (Fig. 3).

Os metapelitos afloram em cristas, sem continuidade lateral, formando pacotes de espessura variável. A foliação, por vezes crenulada, está orientada segundo NW, localmente E-W. São rochas rosa acinzentada gradando para preto em superfície inalterada, devido ao aumento da quantidade de matéria carbonosa. Dentre as feições características destas rochas, destaca-se a variação tanto da granulometria, como da quantidade de matéria carbonosa, de uma amostra para outra. Além disso, apresentam uma diversidade de texturas e estruturas, como exemplificam os *ribbons* e *augens* de quartzo (de até 0,3 cm de diâmetro maior) e *boxworks* (com até 0,4 cm de diâmetro maior), assim como porfiroblastos de andalusita, euédricos, de até 0,1 mm de diâmetro maior, ou alongados com até 1,5 cm. As variedades mais comuns são mica-quartzo xisto, clorita-quartzo-mica xisto ora límpidos, ora carbonosos e filito carbonoso.

A sudeste da lente de mármore afloram talco xistos e anfibolitos sobrepostos aos metapelitos. A lente de talco xisto é constituída por talco, carbonato, clorita, quartzo, epidoto, minerais opacos e serpentina. O anfibolito é composto por hornblenda, plagioclásio, quartzo, granada, epidoto, titanita, carbonato, apatita e minerais opacos.

Variedades de quartzo xisto e quartzito apresentam continuidade lateral tanto em afloramento, como em escala de fotografias aéreas. Afloram em cristas, com espessuras de 60 cm até 3 m, sobrepos-

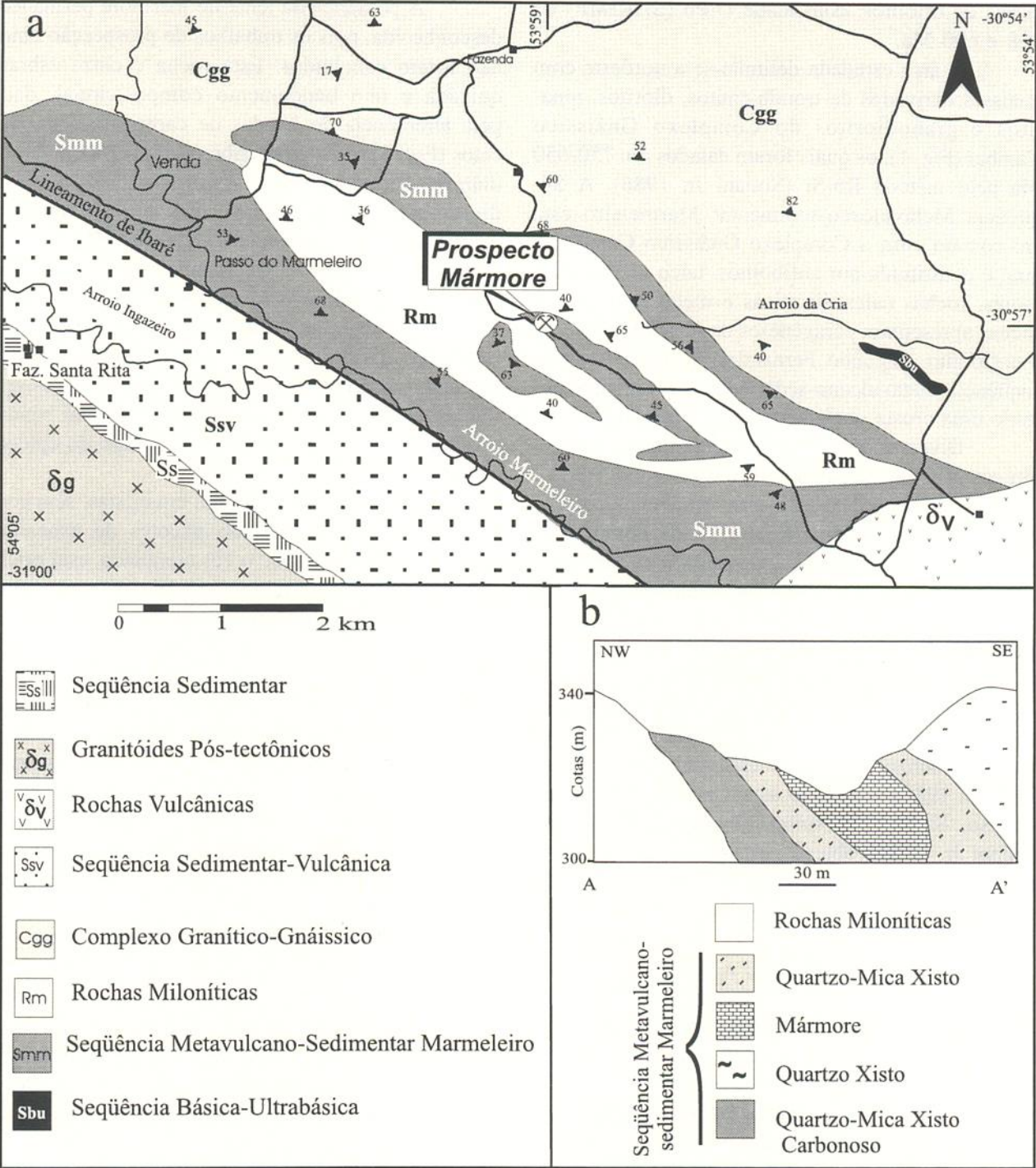


Figura 2 - a) Geologia da região do prospecto de mármore estudado. b) Perfil geológico destacando a intercalação da lente de mármore nas rochas da Seqüência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro.

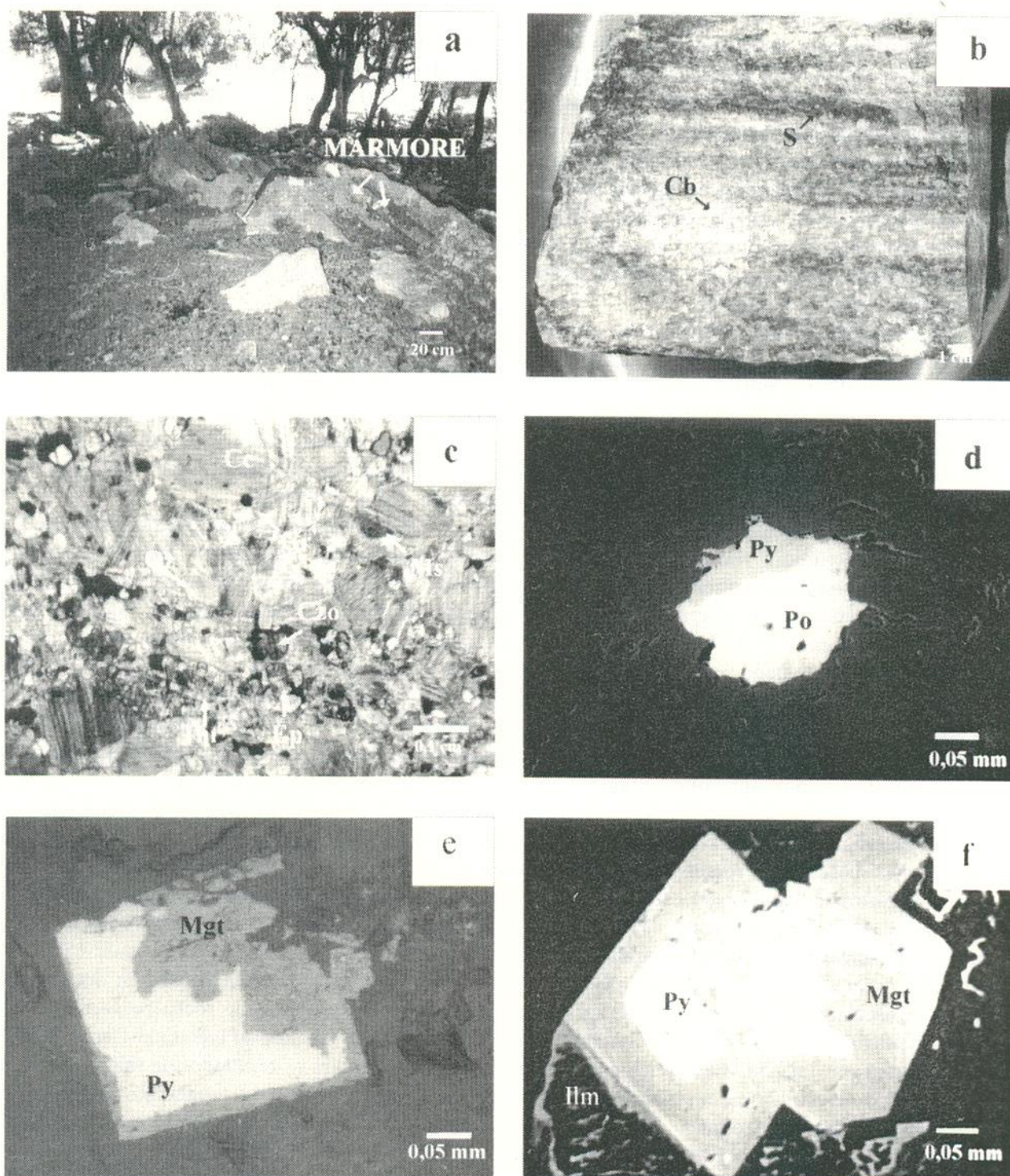


Figura 3 - Mármore da Seqüência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro. a) Vista de afloramento do mármore. b) Amostra de mão do mármore destacando o bandamento composicional dado pela alternância de bandas ricas em silicatos (S) e carbonatos (Cb). c) Fotomicrografia, em luz polarizada (2,5 x), do mármore mostrando bandas de carbonatos (Cb) e domínios com quartzo (Qz), granada (Gr), epidoto (Ep), clinozoisita (Czo), muscovita (Ms) e turmalina (Tur). d) Imagem BSE do mármore destacando o intercrescimento de pirita (Py) e pirrotita (Po). e) Imagem BSE do mármore mostrando as substituições de pirita (Py) por magnetita (Mgt). f) Imagem BSE do mármore ilustrando as relações texturais entre a pirita (py), magnetita (Mgt) e ilmenita (Ilm).

to por metapelitos carbonosos. A paragênese é constituída por quartzo, mica branca, minerais opacos e matéria carbonosa (pequena quantidade). Em amostra de mão, estas rochas são brancas azuladas ou cinza prateada, quando inalteradas; contudo, apresenta alteração alaranjada, pulverulenta, em superfície intemperizada, devido à alteração dos minerais opacos. Fraturas realçadas por película ocre ou preenchidas por quartzo leitoso seccionam a foliação, que é marcada pelo alinhamento de lamelas de mica branca ou por níveis de matéria carbonosa. Nestas rochas aparecem *boxworks* cúbicos, com até 0,2 mm de diâmetro maior, os quais contêm restos de material amarelado amorfo ou quartzo.

O Complexo Granítico-Gnáissico sobrepõe a Sequência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro e é seccionado por diques radiais de andesitos. Estes litotipos são porfíricos e constituídos por feldspato alcalino, plagioclásio, quartzo, biotita, anfibólio, piroxênio e minerais opacos, os quais apresentam granulometria variada. A proporção modal destes gnaisses plotada no triângulo QAP (Streckeisen 1976) permite distinguir variedades tonalíticas, granodioríticas e monzograníticas. No Complexo Granítico Gnáissico também ocorrem diversas variedades petrográficas de anfibolito, incluindo epidoto anfibolito, granada anfibolito e quartzo anfibolito. As amostras de mão do anfibolito são cinza esverdeadas com estrutura foliada, marcada pelo alinhamento dos cristais de anfibólio. A paragênese é composta por anfibólio, plagioclásio, quartzo, epidoto, diopsídio, clinozoisita, granada, titanita, carbonato, apatita e minerais opacos.

Rochas vulcânicas representadas por andesitos, lamprófiros e piroclásticas estão em contato com o limite sudeste da Sequência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro. Estas rochas também foram observadas como pequenos corpos (não cartografáveis na escala deste trabalho) no interior desta sequência metavulcano-sedimentar. Os litotipos vulcânicos afloram em lajeados nas drenagens, assim como em cortes de estrada ou em blocos alinhados *in situ* nas encostas e em diques. São rochas de coloração acinzentada, pouco alteradas e estruturalmente concordantes com as encaixantes (metapelitos, granito-gnaisses e rochas básicas).

MÉTODOS ANALÍTICOS

Perfis geológicos (escala 1:25.000) precedidos de interpretação de fotografias aéreas (escala

1:60.000 e 1:25.000) foram levantados na área dos mármore para descrição e coleta de amostras. As amostras foram descritas sob lupa binocular e microscópio petrográfico. Em cada lâmina delgada foi feita a análise modal dos minerais com o auxílio do contador de pontos, possibilitando a contagem de 1.000 a 2.000 pontos por lâmina.

Quinze amostras foram pulverizadas ($\# < 0,062$ mm) e analisadas por difração de raios X (DRX). Os minerais associados ao carbonato foram concentrados a partir da lavagem a quente com HCl em cerca de 5 g de mármore pulverizado. Os dados foram obtidos com difratômetro SIEMENS® (modelo D5000), calibrado para operar com: 2θ de 2° a 80° ; com incremento de $0,02^\circ$ 2θ ; tempo de contagem 1 s; tubo radiação de $\text{CoK}\alpha$; voltagem de 40 kV e corrente de 30 mA, fendas de 1° e 1° (divergente e espalhamento) e cristal monocromador de grafite. Os resultados foram interpretados com auxílio do programa DIFFRACT/AT® utilizado com base de dados JCPDS/89.

Dados de microsonda eletrônica com o sistema quantitativo *Wavelength Dispersive System* (WDS) em equipamento Cameca® (modelo 5x50) foram obtidos em lâminas delgadas e polidas metalizadas com carbono. Nas análises de carbonato, micas e clinozoisita (Tabs. 1 a 3), o aparelho operou com voltagem de aceleração de 15 keV, tempo de contagem de 10 s e feixe de elétrons de 1 μm . O aparelho operou com 5 nA nas análises de carbonato e micas e com 25 nA nas de clinozoisita. A química dos sulfetos (Tab. 4) foi determinada com 20 keV, 25 nA, tempo de contagem de 20 s e feixe de elétrons de 5 μm . Imagens tridimensionais *backscattering* (BSE) e elétrons secundários do carbonato e dos sulfetos foram obtidas com o equipamento Cameca® utilizando voltagem de 15 keV.

A composição do mármore foi determinada em cerca de 10 gramas de rocha pulverizada ($\# < 0,0620$ mm) no laboratório Lakefield-Geosol LTDA. A tabela 5 contém os resultados de fluorescência de raios X, após fusão com tetraborato de lítio e os dados de perda ao fogo (PF), obtidos por calcinação a 1000°C . Os teores de Au, Ag, Cr, Cu, Pb, Sn e Zn foram determinados por espectrometria de plasma com acoplamento indutivo (ICP) e os teores de S foram obtidos por fluorescência de raios X em pó prensado (Tab. 6). O poder neutralizante (PN) foi determinado em 1 grama de rocha pulverizada ($\# < 0,0620$ mm), conforme adaptação da norma 6473/1996 da ABNT.

Tabela 1 - Composição, em peso e proporção atômica, do carbonato do mármore da região do Arroio Marmeleiro, obtida por microsonda eletrônica. Teores de Sr abaixo do limite de detecção em todas as análises. Em cada grão foram analisados de 1 a 3 pontos (Cc = calcita; N = núcleo do grão; B = borda do grão).

Análise	% peso					Cátions com base 6 oxigênios			
	Mg(CO ₃)	Ca(CO ₃)	Mn(CO ₃)	Fe(CO ₃)	Total	Mg	Ca	Mn	Fe
Cc1 _N	0,40	97,24	0,00	0,09	99,04	0,004	0,847	0,000	0,001
Cc1 _B	0,37	97,95	0,00	0,14	99,76	0,004	0,851	0,000	0,001
Cc2 _N	0,38	97,68	0,00	0,06	99,42	0,009	1,990	0,000	0,001
Cc2 _B	0,09	97,67	0,00	0,00	99,06	0,002	1,998	0,000	0,000
Cc3 _N	0,32	98,81	0,00	0,11	100,56	0,008	1,991	0,000	0,002
Cc3 _{B1}	0,26	98,89	0,00	0,12	100,59	0,006	1,992	0,000	0,002
Cc3 _{B2}	0,47	98,17	0,00	0,14	100,08	0,011	1,986	0,000	0,003
Cc4 _N	0,64	98,45	0,00	0,20	100,59	0,015	1,981	0,000	0,004
Cc4 _{B1}	0,57	98,32	0,00	0,03	100,92	0,014	1,986	0,000	0,006
Cc4 _{B2}	0,49	98,35	0,04	0,03	100,23	0,012	1,987	0,001	0,000
Cc5 _N	0,65	97,34	0,05	0,21	99,55	0,016	1,980	0,001	0,004
Cc5 _{B1}	0,28	99,17	0,01	0,19	100,96	0,007	1,990	0,000	0,003
Cc5 _{B2}	0,71	97,96	0,06	0,16	100,20	0,017	1,979	0,001	0,003
Cc6 _N	0,73	98,38	0,02	0,18	100,61	0,017	1,979	0,000	0,003
Cc6 _{B1}	0,63	98,42	0,02	0,19	100,55	0,015	1,982	0,000	0,003
Cc6 _{B2}	0,53	98,40	0,00	0,03	100,26	0,013	1,987	0,000	0,000
Cc7 _B	0,67	98,35	0,03	0,18	100,53	0,016	1,981	0,001	0,003
Cc8 _N	0,71	97,78	0,10	0,20	100,09	0,017	1,978	0,002	0,004
Cc9 _N	0,69	98,39	0,00	0,08	100,48	0,017	1,982	0,000	0,001
Cc9 _B	0,37	97,97	0,04	0,08	99,76	0,009	1,989	0,001	0,001
Cc10 _B	0,72	98,01	0,00	0,26	100,29	0,017	1,978	0,000	0,005

Tabela 2 - Dados composicionais de microsonda eletrônica, em peso e proporção atômica, das micas do mármore da Sequência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro. Em cada grão foi analisado 1 ponto (Phl = flogopita e Ms = muscovita).

Análise	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MgO	CaO	FeO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O	Total
Ms46	51,96	0,00	27,11	0,00	6,15	0,23	0,72	0,08	9,87	4,59	100,70
Ms47	52,11	0,03	28,58	0,00	4,84	0,25	0,45	0,17	9,57	4,60	100,59
Ms67	50,30	0,11	31,10	0,07	3,13	0,15	0,49	0,17	10,23	4,57	100,32
Phl57	43,86	0,13	12,64	0,02	24,96	0,05	2,66	0,00	10,43	4,26	99,02
Phl62	43,48	0,15	14,42	0,02	23,93	0,03	3,26	0,11	9,87	4,29	99,58
Phl63	42,85	0,43	14,01	0,00	24,17	0,09	3,43	0,09	10,31	4,27	99,64
Phl64	43,20	0,10	13,55	0,05	24,26	0,09	3,48	0,06	10,34	4,26	99,37
Cátions com base em 22 oxigênios											
Ms46	6,80	0,00	4,18	0,00	1,20	0,03	0,08	0,02	1,65		13,95
Ms47	6,79	0,00	4,39	0,00	0,94	0,03	0,05	0,04	1,59		13,83
Ms67	6,60	0,01	4,81	0,01	0,61	0,02	0,05	0,04	1,71		13,86
Phl57	6,17	0,01	2,10	0,00	5,23	0,01	0,31	0,00	1,87		15,70
Phl62	6,07	0,02	2,37	0,00	4,98	0,00	0,38	0,03	1,76		15,62
Phl63	6,01	0,05	2,32	0,00	5,06	0,01	0,40	0,03	1,85		15,72
Phl64	6,08	0,01	2,25	0,01	5,09	0,01	0,41	0,02	1,86		15,72

Tabela 3 - Composição da clinozoisita, em peso e proporção atômica, do mármore da região do Arroio Marmeleiro, obtida por microsonda eletrônica. Em cada grão foi analisado 1 ponto (Czo = clinozoisita).

Análise	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MgO	CaO	MnO	FeO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O	Total
Czo68	40,08	0,06	32,62	0,03	0,03	23,60	0,00	0,35	0,01	0,02	1,96	98,76
Czo71	40,10	0,08	32,28	0,04	0,00	23,95	0,01	0,42	0,00	0,00	1,96	98,83
Czo73	39,93	0,02	32,54	0,00	0,05	23,79	0,00	0,37	0,00	0,00	1,96	98,66
Czo74	39,91	0,04	32,54	0,07	0,02	23,67	0,00	0,44	0,00	0,01	1,96	98,67
Czo78	39,99	0,04	32,52	0,02	0,03	23,85	0,00	0,34	0,00	0,00	1,96	98,73
Czo82	40,09	0,03	32,56	0,03	0,01	23,81	0,01	0,31	0,02	0,01	1,96	98,84
Czo83	39,94	0,00	32,50	0,04	0,02	23,79	0,00	0,36	0,03	0,00	1,96	98,65
Czo85	39,85	0,00	32,66	0,06	0,04	23,73	0,00	0,33	0,02	0,00	1,96	98,65
Czo88	40,02	0,09	32,49	0,06	0,02	23,95	0,03	0,34	0,00	0,01	1,96	98,97
Cátions com base em 13 oxigênios												
Czo68	6,13	0,01	5,88	0,00	0,02	3,86	0,00	0,27	0,01	0,02		15,93
Czo71	6,13	0,01	5,82	0,01	0,00	3,93	0,00	0,05	0,00	0,00		15,95
Czo73	6,11	0,00	5,87	0,00	0,01	3,90	0,00	0,05	0,00	0,00		15,95
Czo74	6,11	0,00	5,87	0,01	0,01	3,89	0,00	0,06	0,00	0,00		15,95
Czo78	6,11	0,01	5,86	0,00	0,02	3,91	0,00	0,04	0,00	0,00		15,95
Czo82	6,13	0,00	5,86	0,00	0,00	3,90	0,00	0,04	0,01	0,00		15,94
Czo83	6,12	0,00	5,87	0,01	0,01	3,90	0,00	0,05	0,01	0,00		15,95
Czo85	6,10	0,00	5,89	0,01	0,01	3,89	0,00	0,04	0,01	0,00		15,95
Czo88	6,11	0,01	5,85	0,08	0,00	3,92	0,00	0,04	0,00	0,00		15,95

Tabela 4 - Dados composicionais dos sulfetos, em peso e proporção atômica do mármore da região do Arroio Marmeleiro, obtidos por microsonda eletrônica. Em cada grão foram analisados de 1 a 2 pontos (Py = pirita e Po = pirrotita). Teores de Co, As, Au, Ag, Te e Bi abaixo do limite de detecção em todas as análises.

Grão	Análise	Fe	Ni	Cu	S	Total	% atômica			
							Fe	Ni	Cu	S
1	Po121	59,33	0,24	0,02	39,76	99,36	46,05	0,18	0,01	53,75
2	Po123	59,78	0,25	0,06	39,60	99,79	46,28	0,18	0,04	53,41
	Po124	60,10	0,06	0,00	39,00	100,20	46,27	0,04	0,00	53,63
3	Po126	59,80	0,10	0,05	39,94	99,89	46,17	0,07	0,03	53,70
4	Po128	59,66	0,42	0,01	40,20	100,30	45,85	0,31	0,00	53,82
5	Po130	59,72	0,08	0,04	40,01	99,42	46,10	0,06	0,03	53,79
	Po131	59,87	0,10	0,08	39,96	100,11	46,16	0,07	0,06	53,66
6	Po132	59,57	0,12	0,04	39,70	99,26	46,20	0,09	0,03	53,62
7	Po135	59,32	0,12	0,02	39,77	99,42	46,06	0,08	0,01	53,78
	Po136	59,26	0,15	0,05	39,68	99,14	46,09	0,11	0,03	53,75
8	Po137	59,93	0,18	0,00	40,25	100,36	46,00	0,13	0,00	53,81
9	Po140	59,92	0,15	0,05	39,73	99,86	46,33	0,11	0,03	53,50
10	Po141	59,65	0,16	0,04	39,13	99,03	46,58	0,12	0,02	53,22
11	Po142	59,51	0,10	0,01	39,71	99,36	46,19	0,07	0,01	53,68
12	Po146	59,80	0,16	0,02	39,86	99,99	46,17	0,12	0,01	53,61
13	Po147	60,08	0,22	0,01	40,05	100,36	46,18	0,16	0,00	53,62
	Po148	59,27	0,23	0,04	40,04	99,61	45,84	0,17	0,03	53,93
7	Py134	42,08	0,06	10,61	48,05	100,80	31,13	0,04	6,90	61,90
11	Py143	47,16	0,11	0,03	52,29	99,59	34,08	0,08	0,02	65,82
12	Py145	47,11	0,18	0,06	52,22	99,63	34,03	0,00	0,00	65,75

Tabela 5 - Composição química do mármore da região do Arroio Marmeleiro. Valores expressos em % peso, exceto para o poder neutralizante (PN), expresso em percentagem.

Amostra	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	PF	PN
E-1	4,4	0,04	1,0	0,38	0,01	0,32	52,2	0,21	0,16	0,018	40,84	91,4
E 5	2,8	0,04	1,1	0,43	0,01	0,38	53,3	0,12	0,17	0,019	41,55	88,61
E 9	4,4	0,04	1,1	0,57	0,02	0,36	52,2	0,11	0,22	0,024	40,54	83,14
E 11	8,3	0,07	1,7	0,72	0,03	0,39	49,3	0,14	0,25	0,047	38,77	80,12
E 13	5,6	0,07	1,4	1,2	0,02	0,42	51	0,17	0,24	0,034	39,48	87,10
E 15	3,3	0,03	0,79	0,65	0,02	0,48	52,6	< 0,10	0,11	0,016	40,93	89,89
E 21	5,3	0,05	1,2	0,46	< 0,01	0,39	51,3	< 0,10	0,21	0,02	40,37	83,68
E 23	7,6	0,06	1,3	0,77	0,04	0,58	50,2	0,17	0,18	0,046	38,92	38,73
E 25	9,5	0,11	1,9	0,9	0,05	0,61	48	0,38	0,24	0,046	37,93	80,02
E 29	5,3	0,05	0,96	0,55	0,03	0,52	52	0,1	0,18	0,018	40,21	91,06
E 31	12,2	0,14	2,6	1,4	0,07	0,69	46,3	0,29	0,44	0,048	35,74	74,77
E 33	7,7	0,08	2,1	1,1	0,05	0,46	49,2	0,28	0,33	0,053	37,96	84,56
T B	8,2	0,08	2,4	2,1	0,05	0,86	47,3	< 0,10	0,44	0,03	37,43	80,02
T C	4,3	0,03	0,86	0,41	0,02	0,43	52,2	< 0,10	0,22	0,025	41,17	84,56
68	9,7	0,07	2,3	0,98	0,05	0,51	48,4	0,12	0,2	0,037	37,49	92,17
68 A4	5,8	0,06	1,5	0,53	0,02	0,38	51,4	0,17	0,28	0,021	39,55	87,14

Tabela 6 - Teores de Au, Ag, Cr, Cu, Pb, Sn, Zn e S, expressos em ppm, do mármore da Sequência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro.

Amostra	Au	Ag	Cr	Cu	Pb	Sn	Zn	S
E 1	< 5	< 1,0	7,4	5,6	< 3,0	< 10	7,2	310
E 5	< 5	< 1,0	5,2	6,6	< 3,0	< 10	6,5	340
E 9	< 5	< 1,0	20	14	< 3,0	< 10	11	240
E 11	< 5	< 1,0	14	9,7	< 3,0	< 10	14	250
E 13	< 5	< 1,0	6,7	27	< 3,0	< 10	15	970
E 15	< 5	< 1,0	1,9	5,1	< 3,0	< 10	4	< 50
E 21	< 5	< 1,0	6,6	7,3	< 3,0	< 10	11	270
E 23	< 5	< 1,0	4,5	8,4	12	< 10	14	540
E 25	< 5	< 1,0	16	11	7,1	< 10	9,7	550
E 29	< 5	< 1,0	4,2	5,5	< 3,0	< 10	7,4	650
E 31	< 5	< 1,0	38	14	4,8	< 10	18	680
E 33	41	< 1,0	27	16	< 3,0	< 10	18	940
T B	< 5	< 1,0	4,4	449	7	< 10	32	3440
T C	< 5	< 1,0	4,2	20	< 3,0	< 10	7,2	240
68	< 5	< 1,0	8,3	12	8,7	< 10	15	410
68 A4	< 5	< 1,0	3,2	7,9	< 3,0	< 10	6,2	670

PETROGRAFIA DO MÁRMORE

As amostras de mármore consistem de uma associação de calcita, quartzo, mica branca, albita, epidoto, zoisita, alanita, clinozoisita, titanita, turmalina, wolastonita, granada e minerais opacos.

O carbonato é cinza claro, tem diâmetro maior que 0,1 a 0,3 mm, clivagem perfeita e maclas lamelares. Perfaz cerca de 72 a 79% do volume da rocha. Nos difratogramas de raios X (Fig. 4), é caracterizado pelas distâncias interplanares de 3,04; 2,28 e 2,49 Å, típicas da calcita. A clivagem está ora deformada em *kink bands*, ora substituída por minerais opacos. Alguns porfiroclastos apresentam cominuição periférica.

O quartzo constitui cerca de 8,5 a 17 % da rocha. É incolor, anédrico, com 0,01 a 0,1 mm de diâmetro maior, tem extinção ondulante e caráter biaxial positivo, denotando deformação. Ocorre como porfiroclastos com inclusões de mica branca e de minerais opacos ou como inclusões na calcita.

A mica branca é incolor, com diâmetro maior que 0,1 mm e perfaz de 0,8 a 4,5 % do volume da rocha. É caracterizada pelo relevo alto em relação ao carbonato, clivagem perfeita, extinção paralela e, por vezes, ondulante. As bordas e clivagens deste filossilicato estão corroídas por minerais opacos e epidoto. Ocorre nos interstícios do carbonato, em contatos retos. Nos difratogramas de raios X, a mica é identificada pelas distâncias interplanares de 9,94; 4,96 e 4,49 Å (Fig. 4).

A albita é anédrica, incolor, com diâmetro maior de até 0,4 mm, apresenta maclas polissintéticas. Ocorre na matriz (< 1% do volume modal), em geral alterada por uma massa de epidoto e mica branca de baixa cristalinidade. Nos DRX apresenta distâncias interplanares de 3,77; 3,67 e 3,19 Å (Fig. 4).

O epidoto perfaz de 0,5 a 3,5% do volume da rocha. Em lâmina delgada é amarelo pálido a castanho, com diâmetro maior inferior a 0,3 mm e tem extinção oblíqua. Ocorre concentrado em determinadas bandas da rocha.

A zoisita é euédrica, com diâmetro maior inferior a 0,3 mm, pleocroísmo fraco de verde a rosa claro, relevo alto em relação ao epidoto e extinção reta. Este mineral ocorre disperso em determinadas bandas da rocha perfazendo < 1,5% do volume modal, em geral associado com epidoto e turmalina.

A alanita ocorre em grãos colunares, com clivagem, relevo alto e pleocroísmo amarelo pálido a castanho claro e extinção paralela. Ocorre dispersa na matriz e perfaz < 1% do volume modal.

A clinozoisita mostra-se como prismas incolores de relevo baixo, extinção oblíqua e perfaz cerca de 0,3 a 1,5% do volume da rocha. Apresenta fraturas, por vezes realçadas por uma película ocre. O mineral ocorre junto com os minerais opacos inclusos na calcita ou disseminado nas bandas de silicatos.

A titanita é losangular e perfaz < 0,2% do volume da rocha. Os cristais são castanhos com diâmetro maior de até 0,1 mm. Ocorre inclusa no carbonato ou dispersa nas bandas com o quartzo e epidoto.

A turmalina tem forma prismática alongada (0,1 a 0,3 mm de comprimento) e perfaz de 0,5 a 1,3% do volume modal. É caracterizada pelo relevo alto se comparado ao epidoto, tem pleocroísmo amarelo pálido a castanho. Ocorre em fraturas ou concentrada em determinadas bandas junto com minerais do grupo do epidoto. Nos DRX é caracterizada pelas distâncias interplanares de 6,37; 2,57 e 2,12 Å (Fig. 4).

A wolastonita é incolor, tem secção triangular, diâmetro maior de até 0,1 mm e extinção oblíqua com ângulo de 36°. Ocorre inclusa no carbonato totalizando < 0,1% do volume modal.

A granada é incolor, arredondada, com diâmetro maior inferior a 0,1 mm, relevo baixo em relação ao carbonato e é isótropa. Ocorre inclusa na calcita perfazendo 0,5% da modal.

Os minerais opacos estão representados por pirita, pirrotita, calcopirita, calcocita, magnetita, hematita e ilmenita, os quais, em conjunto, totalizam cerca de 2,5% do volume modal da rocha. Estes minerais são ora euédricos, ora anédricos, com até 0,4 mm de diâmetro maior. Ocorrem inclusos ou intersticiais ao carbonato, ao longo da clivagem da mica branca ou adjacente aos minerais do grupo do epidoto e turmalina.

A pirita, sob luz refletida, apresenta poder refletor alto, é branca amarelada, sem pleocroísmo e isótropa. Ocorre em grãos euédricos a subédricos, com diâmetro maior entre 0,2 e 0,4 mm.

A calcocita é branca azulada, sem pleocroísmo, anisotropia realçada pela alternância de tons cinza azulado a esverdeado. Ocorre disseminada na matriz e intersticial à turmalina.

A calcopirita é caracterizada por seu poder refletor mais baixo que a calcocita, tem cor branca amarelada, sem pleocroísmo e reflexões internas. Ocorre substituindo pirita e magnetita.

A pirrotita é euédrica, com diâmetro menor que 0,1 mm, foi identificada nas análises de micros-

sonda eletrônica e imagens *BSE*. Ocorre disseminada ou substituindo as bordas da pirita (Fig. 3).

A magnetita é euédrica com diâmetro maior de até 0,3 mm, foi identificada por seu poder refletor mais baixo que a pirita, cor amarela e ausência de pleocroísmo. Ocorre nas bordas da pirita ou intersticial à calcita, por vezes, alterada para ilmenita (Fig. 3). A hematita foi identificada por difração de raios X por meio das distâncias interplanares de 3,68; 271 e 1,45 Å (Fig. 4).

QUÍMICA MINERAL

A química de alguns minerais do mármore estudado foi determinada por microsonda eletrônica, para obter informações que possam contribuir para o seu aproveitamento industrial.

O carbonato é composicionalmente homogêneo, como demonstra a constância das proporções de Ca e Mg da borda ao núcleo dos grãos (Tab. 1). Os teores de CaCO_3 variam de 97 a 99,16% peso e os de MgCO_3 de 0,26 a 0,72% peso, típico da calcita (Fig. 5). Os demais elementos, como Fe, Sr e Mn, ocorrem em teores próximos do limite de detecção.

Os dados analíticos de mica em contato com o carbonato (Tab. 2) possibilitam a distinção de muscovita e flogopita (Fig. 6) no diagrama ternário Al_2O_3 -MgO-FeO (Miyano & Miyano 1982). A composição da clinozoisita situa-se no campo da espécie de mineral do grupo do epidoto rico em Al_2O_3 (Tab. 3; Fig. 7), isto é na molécula de Czo (Della Ventura *et al.* 1996).

A composição média da maioria dos grãos de pirita é caracterizada por 50,17% peso de S e 44,61% peso de Fe (Tab. 4; Fig. 8), a qual se aproxima da fórmula ideal deste sulfeto (Fig. 8). A razão Fe/S (atômica) é da ordem de 0,5. A média dos teores de Ni é de 0,116% peso e os teores de Au, Ag, Co, Zn, Cu, As, Bi e Te estão próximos ao limite de detecção por microsonda eletrônica. No núcleo de alguns grãos foi detectado cerca de 10% peso de Cu, os quais compensam a deficiência em Fe.

A pirrotita é composicionalmente homogênea e contém entre 39,26 e 40,24% peso de S e de 59,26 a 60,10% peso de Fe (Tab. 4; Fig. 8). A razão Fe/S (atômica) é da ordem de 0,86 e sua composição (Fig. 8) está próxima da fórmula ideal da variedade monoclínica (Fe_7S_8) a qual contém por 46,7% atômica de Fe (Mukaiyama & Izawa 1970). Os teores de Au, Ag, Zn, Cu, As, Bi, Te e Co estão próximos

do limite de detecção por microsonda eletrônica e o Ni atinge, em média, 0,29% peso.

QUÍMICA DE ROCHA

A composição química dos mármore estudados é mostrada nas figuras 9 e 10 e tabelas 5 e 6. Os teores de CaO situam-se entre 48 a 53,3% peso e os de MgO entre 0,32 a 0,86% peso, com razão MgO/CaO da ordem de 0,01, típicos de calcários calcíticos (Pettijhon 1957) metamorfizados.

A razão $\text{CaCO}_3/\text{MgCO}_3$ ultrapassa 10 e a quantidade de minerais não-carbonatados é inferior a 8%, o que corresponde a calcários puros (Guimarães 1989). Esta proporção modal reflete o predomínio de calcita sobre os silicatos, óxidos e sulfetos. Contudo, a proporção de minerais não-carbonatados pode atingir até 20% nas estreitas bandas, as quais correspondem a níveis mais impuros.

No conjunto de amostras analisadas, os teores de Au, Ag, Cr, Sn, Cu, Zn, Pb, e S são baixos, exceto uma amostra com valores elevados de Cu e S (Fig. 10; Tab. 6). A proporção de Fe_2O_3 é da ordem de 0,38 a 2,1% peso e participa da composição de alguns silicatos (Tabs. 2 a 4), que é refletida pela correlação positiva do Fe_2O_3 com os teores de SiO_2 e Al_2O_3 e negativa com CaO (Fig. 11).

O teor de PF situa-se entre 36 e 41% peso e tem correlação positiva com o CaO e negativa com SiO_2 e Fe_2O_3 (Fig. 12), o que decorre das proporções de CO_2 da rocha. O poder neutralizante desta rocha varia entre 75 e 91% (Tab. 5), ultrapassando o valor mínimo (67%) estabelecido pela Portaria nº 3, de 12.06.86, da Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária do Rio Grande do Sul.

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Os calcários e mármore têm diversas aplicações industriais, exigindo características petrográficas e composicionais específicas. A indústria de cimento *portland* considera os calcários e mármore com < 4% peso de MgO total e baixa razão MgO/CaO como ideais para o aproveitamento. Por outro lado, o emprego desta rocha como corretivo de solo e cal exige teores de MgO superiores a 4% peso e alta razão MgO/CaO (Moraes 1996). Os calcários também podem ser aproveitados como material desulfurante de gases provenientes da combustão do carvão, desde que com altos teores de CaO, facilitando a sulfatação do carvão (Moraes *et al.* 1994).

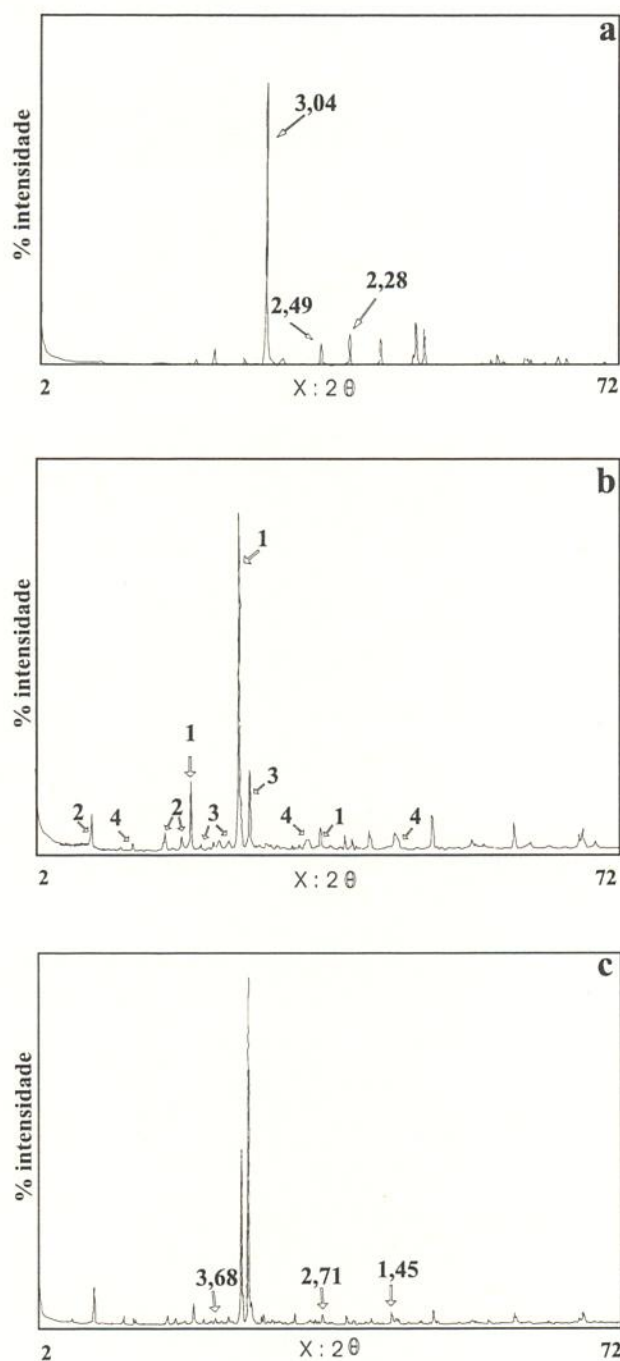


Figura 4 - Difrátogramas de raios X do mármore da Seqüência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro. a) Picos característicos da calcita (amostra 68). b) Destaque dos picos das impurezas do mármore representadas por: 1 - quartzo, 2 - mica branca, 3 - albíta e 4 - turmalina (amostra 68). c) Picos correspondentes às distâncias interplanares da hematita (amostra E13).

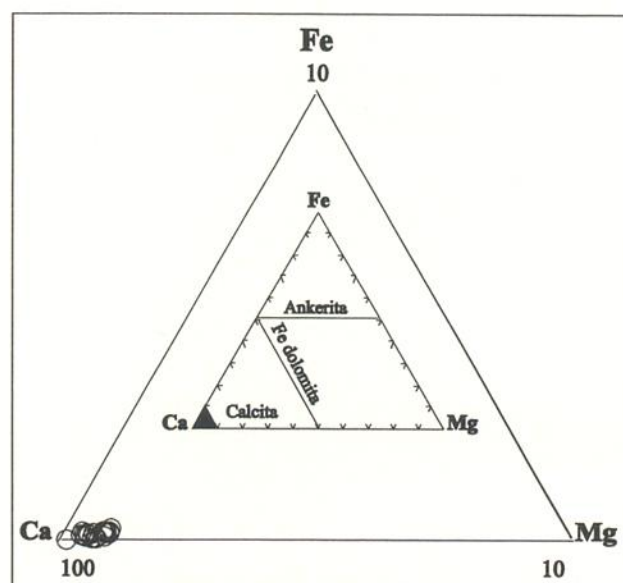


Figura 5 - Diagrama Ca-Mg-Fe (% atômica) mostrando a homogeneidade composicional da calcita do mármore da Seqüência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro.

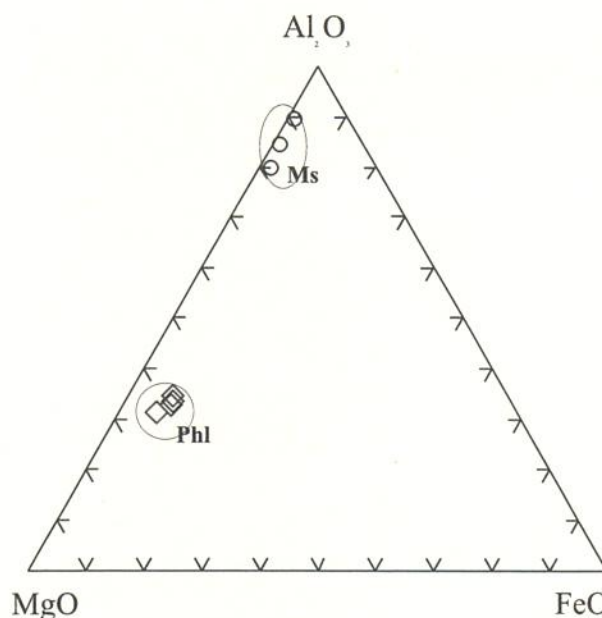


Figura 6 - Diagrama Al_2O_3 -MgO-FeO (% molar) mostrando a variação composicional das micas representadas por muscovita (Ms) e flogopita (Phl) do mármore da Seqüência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro.

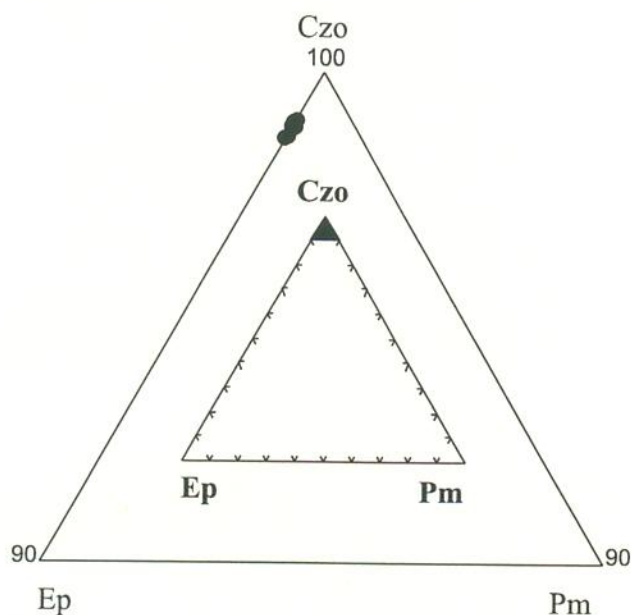


Figura 7 - Diagrama Czo-Ep-Pm indicando os campos dos minerais do grupo do epidoto (% atômica) do mármore da Sequência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro. A área ampliada mostra distribuição das análises dentro do campo da clinozoisita. (Czo = clinozoisita, Ep = epidoto e Pm = piemontita).

Os teores de CaO e MgO do mármore estudado é da mesma ordem de grandeza de outros mármore do Rio Grande do Sul, os quais são explorados para cimento Vila Palma (São Gabriel), Palmas e Pedreiras (Arroio Grande), segundo Szubert & Presotto (1974). Os teores destes óxidos também se assemelham aos da Folha Cantagalo e Santa Maria Madalena no Rio de Janeiro (Reis 1997), os quais são explorados para cimento.

Os teores de SiO_2 combinado com o somatório das proporções de CaO e MgO (Fig. 13) coincidem com as especificações técnicas exigidas para sua utilização como componente do cimento (Hershey & Maher 1963).

Apesar de baixos, os teores de Fe_2O_3 ultrapassam o máximo permitido (0,1%) para seu aproveitamento pela indústria de refratários, pois em aquecimento poderá resultar na mudança de cor do material produzido (Carr & Rooney 1983). Além disso, a quantidade de Fe_2O_3 é maior do que a en-

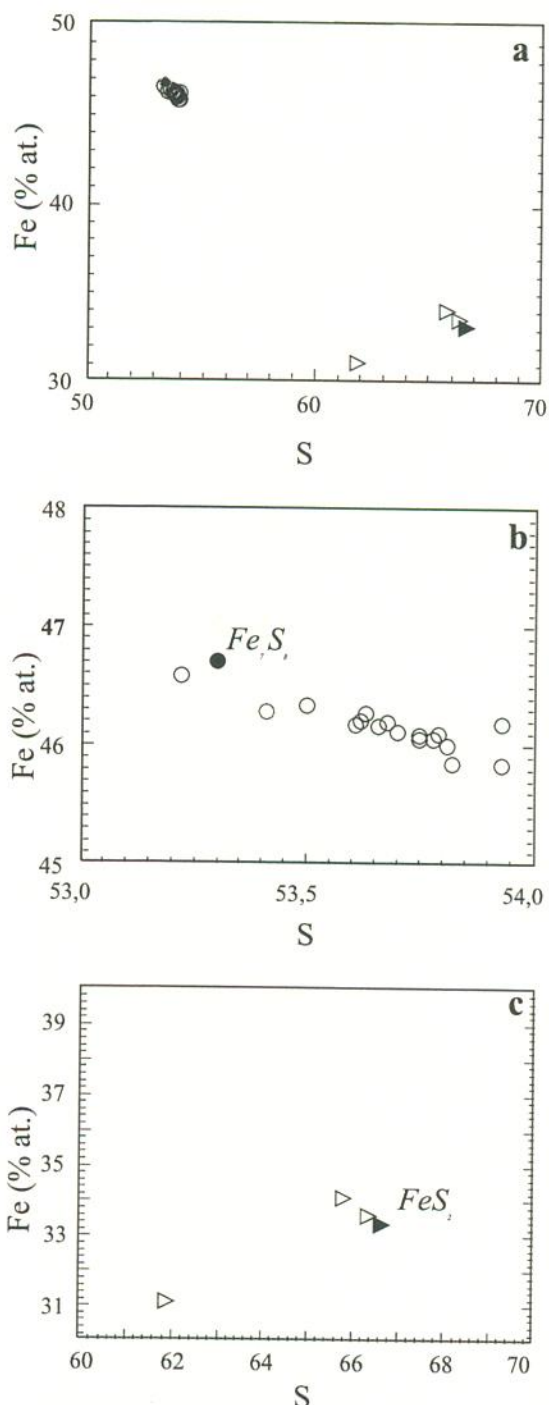


Figura 8 - a) Diagrama binário Fe versus S (% atômica) mostrando a composição dos sulfetos do mármore da Sequência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro. b) Composição da pirrotita deste estudo (o) e a composição ideal (•) da pirrotita monoclínica (Fe_7S_8). c) Química da pirita deste estudo (Δ) e a composição ideal (FeS_2) deste sulfeto ($\blacktriangle$).

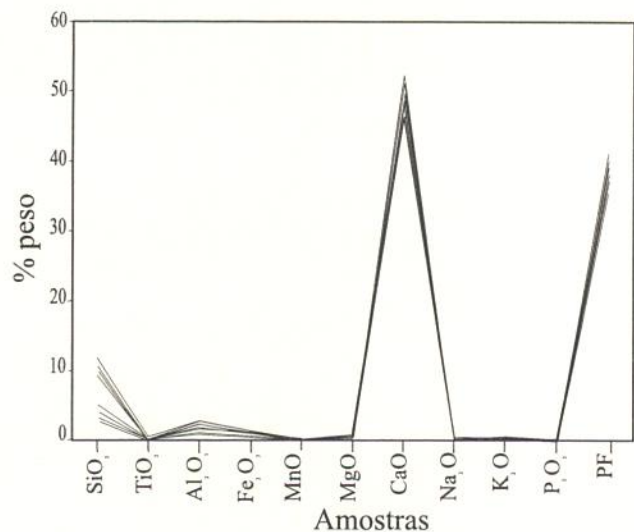


Figura 9 - Variação composicional das amostras de mármore da Sequência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro.

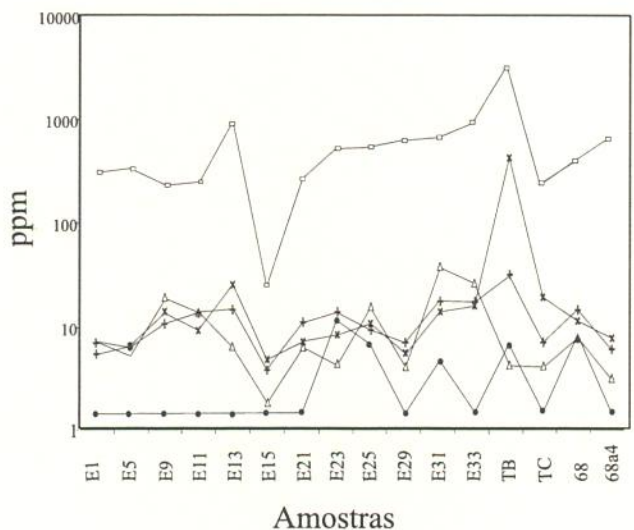


Figura 10 - Diagrama da abundância de Cr (Δ), Cu (x), Pb ($\bullet$), Zn (+) e S ($\square$) no mármore da Sequência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro, mostrando a homogeneidade composicional das amostras.

contrada em outros mármore do Rio Grande do Sul, que apresentam em torno de 0,69 % peso de Fe_2O_3 (Szubert & Presotto 1974).

O principal constituinte da perda ao fogo destas rochas é o CO_2 , o que favorece a obtenção de um produto final com elevados teores de CaO por calcinação ($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$) e, portanto, é matéria-prima ideal para diversos fins industriais (Limaverde *et al.* 1987). Segundo a norma 9551/86 da ABNT, o produto da calcinação do mármore é dividido nas classes A, B e C, quanto aos teores de

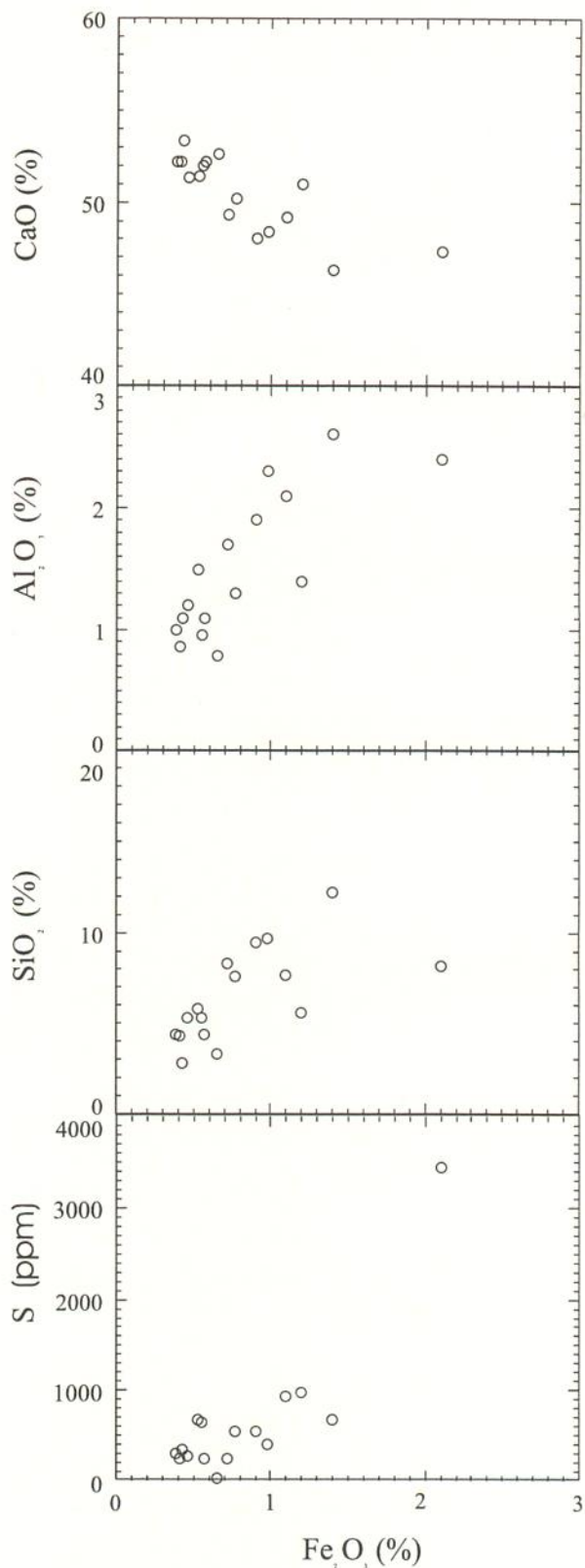


Figura 11 - Correlações dos teores de CaO, SiO_2 , Al_2O_3 e S das amostras de mármore da Sequência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro versus Fe_2O_3 da rocha.

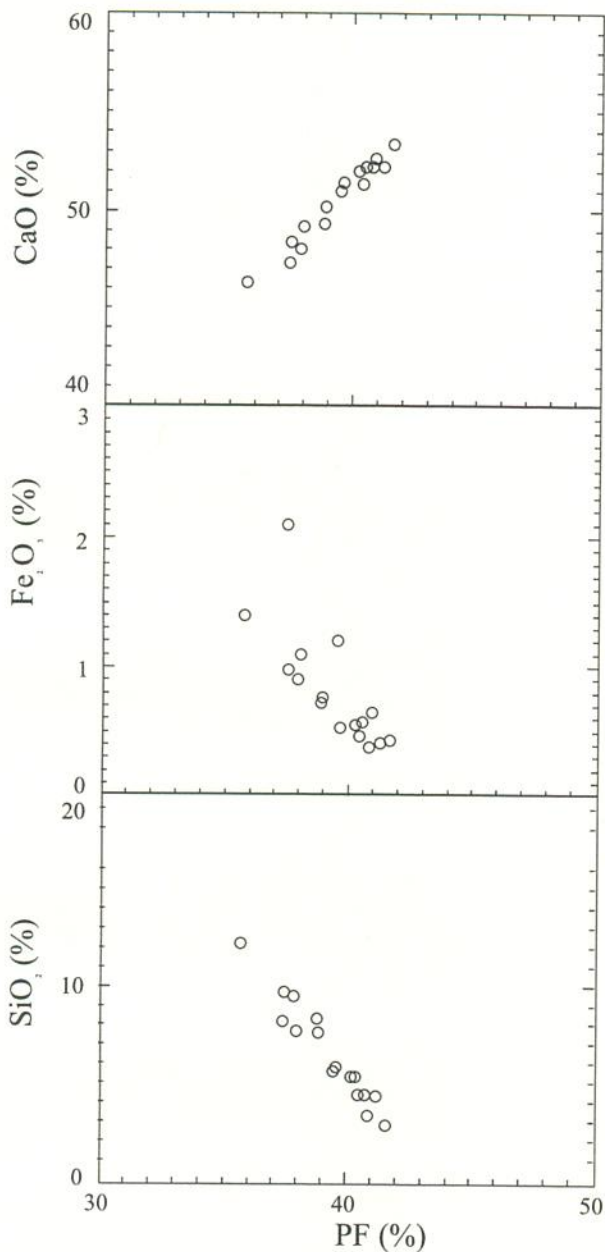


Figura 12 - Diagramas de correlação dos teores de CaO , SiO_2 e Fe_2O_3 versus PF das amostras de mármore Seqüência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro.

P_2O_5 e S, para utilização como cal para aciária. Mesmo antes da calcinação, a maioria das amostras do mármore apresentam teores de P_2O_5 e S muito baixos (Tabs. 5 e 6), os quais correspondem a cales das classes A até C, predominando a classe A.

Os resultados do poder neutralizante (PN) somados com a composição do mármore estudado também são adequados para sua utilização como corretivo de solo. Segundo a Portaria nº 3 da Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária do Rio Grande do Sul (1986), os valores do PN combinados com a proporção de $\text{CaO} + \text{MgO}$ (superiores a 38 %) indicam sua adequação para fins agrícolas.

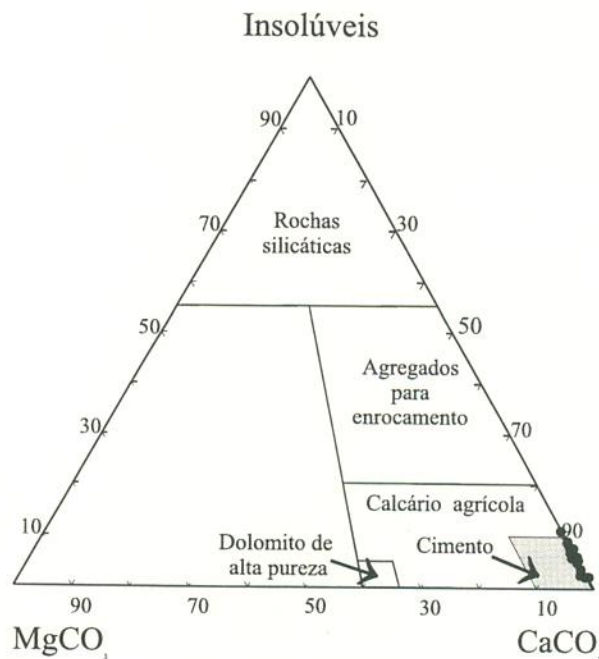


Figura 13 - Diagrama Insolúveis- MgCO_3 - CaCO_3 , expresso em % peso, mostrando que a composição do mármore (•) da Seqüência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro situa-se no campo dos materiais aproveitados para cimento e calcário para agricultura (modificado de O'Driscoll 1988). Os minerais não carbonatados correspondem à fração insolúvel.

Do exposto conclui-se que a presença de cerca de 80% calcita pura somada as características químicas do mármore estudado são adequadas para o aproveitamento desta rocha como matéria-prima tanto para a fabricação de cimento *portland*, como para fins agrícola, entre outros.

Agradecimentos - Os autores externam sua gratidão à coordenação e funcionários do Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica (CPGq-IG-UFRGS) pelo auxílio na preparação das amostras por via úmida, microsonda eletrônica e difração de raios X, assim como à FAPERGS (Processo nº 99/1298 2) e ao PRONEX/FINEP/UFRGS (Processo nº 76971/006 00) pelo suporte financeiro fornecido a esta pesquisa. E aos dois relatores anônimos da Revista Pesquisas em Geociências pelas sugestões ao original. A primeira autora também agradece a CAPES pela bolsa de mestrado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, G. M. & Macqueen, R. W. 1988. Mississippi valley-type lead-zinc deposits. In: Roberts, R. G. & Sheahan, P. (eds.). *Ore Deposit Models*. Canada, Geological Association of Canada, p. 79-90.
- Anuário Mineral Brasileiro. 1998. Brasília, Departamento Nacional de Produção Mineral, v. 27, 404 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1986. *Cal virgem para aciária*. NBR 9551-Norma EB 1689, Comitê 28, 6 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1996. *Cal virgem e cal hidratada*. NBR 6473 - Análise Química - (origem MB 342), Comitê 18, 5 p.
- Carr, D. D. & Rooney, L. F. 1983. Limestone and dolomite. In: Lefond, S. J. (ed.) *Industrial minerals and rocks: nonmetallics other than fuels*. New York, Society of Mining Engineers, p. 833-868.

- Deer, W. A.; Howie, R. A. & Zussman, J. 1992. **An introduction to the rock-forming minerals**. London, Longman, 696 p.
- Della Ventura, G.; Monttana, A.; Parodi, G. C. & Griffin, W. L. 1996. FTIR spectroscopy in the OH-stretching region of monoclinic epidote from Praborna (St. Marcel, Aosta valley, Italy). **European Journal of Mineralogy**, 8: 655-665.
- Fernandes, L. A. D.; Menegat, R.; Costa, A. F. U.; Koester, E.; Porcher, C. C.; Tommasi, A.; Kraemer, G.; Ramgrab, G. E. & Camozzato, E. 1995. Evolução tectônica do cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-rio-grandense: parte I – uma contribuição a partir do registro geológico. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, 25 (4): 351-374.
- Gastal, M. C. P.; Schmitt, R. S. & Nardi, L. V. S. 1992. Granitóides da parte centro/sudoeste do Escudo Sul-rio-grandense. Novos dados e discussões sobre a gênese e tipologia do magmatismo alcalino. **Pesquisas**, 19 (2): 174-182.
- Goñi, J. C.; Goso, H. & Issler, R. S. 1962. Estratigrafia e geologia econômica do Pré-Cambriano e Eo-Paleozóico Uruguaio e Sul-rio-grandense. **Avulso da Escola de Geologia**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 3: 1-105.
- Guimarães, J. E. P. 1989. Terminologia de calcários, dolomitos e da cal. São Paulo, **Associação Brasileira dos Produtores de Cal**, 24 p.
- Hartmann, L. A. 1998. Deepest exposed crust of Brazil – Geochemistry of Paleoproterozoic depleted Santa Maria Chico Granulites. **Gondwana Research**, 1 (3/4): 331-341.
- Hartmann, L. A. & Nardi, L. V. S. 1982. Os granitos Santo Afonso, Saibro e Vauthier da região do Arroio Santa Maria Chico, Dom Pedrito, RS – Geologia, petrologia e química de elementos maiores, com interpretação geotectônica. **Acta Geologica Leopoldensia**, 12: 153-158.
- Hartmann, L. A. & Nardi, L. V. S. 1983. Contribuição à geologia da região oeste do Escudo Sul-rio-grandense. In: SIMPÓSIO SUL BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1., 1983, Porto Alegre. **Atas...** Porto Alegre, SBG. v. 1, p. 9-18.
- Hartmann, L. A.; Leite, J. A. D.; McNaughton, N.J. & Santos, J.O.S. 1999. Deepest exposed crust of Brazil – SHRIMP establishes three events. **Geology**, 27 (10): 947-950.
- Hedberg, H. D. 1964. Geological aspects of the origin of petroleum. **American Association Petroleum Geologist Bulletin**, 48: 1755-1803.
- Hershey, R. E. & Maher, S. W. 1963. Limestone and dolomite resource of Tennessee. **Tennessee Division of Geology**, 65, 231p.
- Leite, J. A. D. 1997. A origem dos harzburgitos da Seqüência Cerro Mantiqueiras e implicações tectônicas para o desenvolvimento do Neoproterozóico no sul do Brasil. Porto Alegre. 243p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Leite, J. A. D.; McNaughton, H. J. & Chemale Jr., F. 1998. SHRIMP U/Pb zircon geochronology of Neoproterozoic juvenile and crustal-reworked terranes in Southernmost Brazil. **International Geology Review**, 40: 688-705.
- Leite, J. A. D.; McNaughton, H. J.; Hartmann, L. A & Chemale Jr., F. 1995. Age and tectonic setting of metabasalts and metagranitoids from the Cerro Mantiqueiras region: evidence from SHRIMP U/Pb zircon dating and Pb/Pb. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 5, 1995, Gramado. **Boletim de Resumos Expandidos...** Gramado, SBG. v. 1, p. 389-390.
- Limaverde, J. A.; Souza, E. T. & Gomes, F. A. L. 1987. A indústria de calcários e dolomitos no nordeste. Fortaleza, Banco Nordeste do Brasil. **Estudos Econômicos e Sociais**, 34, 304 p.
- Meihnert, L. D. 1989. Gold skarn deposits – Geology and exploration criteria. **Economy Geology Monograph**, 6: 537-552.
- Moraes, F. C. 1996. **Caracterização geológica e tecnológica dos mármores gaúchos visando seu uso como agente dessulfurante dos gases da combustão do carvão**. Porto Alegre. 124p. Dissertação de Mestrado em Engenharia, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Moraes, F. C.; Pires, C. A. F. & Jablonski, A. 1994. Estudo estatístico preliminar de variáveis geológicas para caracterização tecnológica dos calcários do Rio Grande do Sul. **EGATEA**, 22 (1): 89-95.
- Mukaiyama, H. & Izawa, E. 1970. Phase relations in the Cu-Fe-S system: the cooper-deficient part. In: Tsumi, T. (ed.). **Volcanism and ore genesis**. Tokyo, University of Tokyo, p. 339-355.
- Myano, T. & Miyano, S. 1982. Ferri-annite from the Dales Geogee Member iron-formations, Wittenoom area, western Australia. **American Mineralogist**, 67: 1179-1194.
- Nardi, L. V. S. 1984. **Geochemistry and petrology of the Lavras Granite Complex, RS, Brazil**. Londres. 268p. Tese de Doutorado em Geociências, Universidade de Londres.
- O'Driscoll, M. 1988. Dolomite – More than crushed stone. **Industrial Minerals**, 252: 37-63.
- Pettijohn, F. J. 1957. **Sedimentary rocks**. New York, Harper & Brothers, 718 p.
- Reis, A. P. 1997. Depósitos de rochas carbonáticas do nordeste do Estado do Rio de Janeiro. In: Schobbenhaus C., Queiroz, E. T. & Coelho, C.E.S. **Principais depósitos minerais do Brasil: Rochas e minerais industriais**. Brasília, Departamento Nacional Produção Mineral, v. 4C, p. 403-418.
- Ribeiro, M. & Teixeira, C. A. S. 1970. Datações de rochas do Rio Grande do Sul e sua influência nos conceitos estratigráficos e geotectônicos locais. **Iheringia**, 5: 19-54.
- Rio Grande do Sul. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. 1986. **Portaria nº 03**, de 12 de junho de 1986. Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 16 de junho de 1986. Seção I, p. 8673.
- Siviero, R. S.; Pulz, G. M. & Oliveira, A. S. 2000. Petrografia dos mármores da região Arroio Marmeleiro, sudoeste de Lavras do Sul, Estado do Rio Grande do Sul. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 52., 2000, Brasília. **Anais...** SBPC. [CD-ROM].
- Soliani Jr., E. 1986. **Os dados geocronológicos do Escudo Sul-rio-grandense e suas implicações de ordem geotectônica**. São Paulo, 425 p. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Soliani Jr.; Koester, E. & Fernandes, L. A. D. 1999. A geologia isotópica do Escudo Sul-rio-grandense. Parte II: Os dados isotópicos e interpretações petrogenéticas. In: Holz, M. & De Ros, L.F. (eds.). **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Centro de Investigação do Gondwana – CIGO (Ed. CIGO/UFRGS), 2000, 445 p.
- Streckeisen, A. L. 1976. To each plutonic rock its proper name. **Earth Science Review**, 12: 1-33.
- Szubert, E. C. & Presotto, C. A. 1974. **Projeto inventário de calcário no Rio Grande do Sul**. Relatório Final da Solicitação de Serviço, n. 02/72 (SUDESUL – CPRM).
- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1991. **Mapeamento Geológico 1:25.000 de parte das folhas Lavras do Sul e Coxilha do Tabuleiro**, RS. Porto Alegre, Trabalho de Graduação, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.