

## Fatores controladores da variação de MgO nos mármorees da mina Rio Bonito (PR)

*Fabiana Gallina<sup>1</sup>, José Manoel dos Reis Neto<sup>2</sup> & Eduardo Salamuni<sup>2</sup>*

**Resumo** A mina Rio Bonito da Companhia de Cimentos Itambé é um depósito de mármore calcítico, usado na fabricação de cimento. Na mina existe uma faixa de mármore dolomítico em meio ao calcítico que gera grande quantidade de material estéril. O objetivo do presente estudo é determinar o fator controlador das variações de MgO no depósito de mármore calcítico. Os métodos utilizados foram análises geoquímicas de rocha total pelo método de fluorescência de raios X, análises mineralógicas por meio de difração de raios X, petrografia, análise estrutural e mapeamento cartográfico. O enfoque integrado dos diversos métodos mostrou resultados satisfatórios, que permitiu individualizar as frentes de lavra de mármore dolomítico e identificar os fatores controladores da sua variação. Os mármorees calcíticos possuem granulação fina e homogênea, enquanto que os dolomíticos têm granulação média-grossa, heterogênea, composta de matriz e clastos, constituindo material brechado. Os aumentos dos teores de MgO ocorreram por percolação de fluidos em zonas de fraqueza estrutural, resultando em mármorees dolomíticos brechados. O contato entre os mármorees calcíticos e dolomíticos é abrupto, controlado por fraturas subverticalizadas e oblíquas à foliação principal. Aplicando-se o modelo de Riedel para a área estudada, foi verificado que as direções dos planos de contato entre os mármorees calcíticos e dolomíticos são coincidentes com as fraturas de abertura, ou de extensão. Estas zonas de abertura, por onde houve a percolação dos fluidos, estão geneticamente relacionadas com a estrutura regional mais significativa, a falha transcorrente do Cerne.

*Palavras-chave:* mármorees calcíticos, variação de MgO, dolomitização.

**Abstract** *Controlling factors of the variation of MgO in marble of the mine Rio Bonito (PR).* The Rio Bonito mine of the Portland Itambé Company is a calcitic marble deposit used for the cement industry. There is a dolomitic front in the calcitic marble body, which generate huge amount of barren material. The main goal of the present research is to determine the key factors, responsible for the content variation of CaO and MgO in the marble deposit. The methods applied are: whole rock geochemical analysis by x-ray fluorescence, mineralogical analysis by x-ray diffraction, petrography and structural analysis. The calcitic marble is composed essentially of calcite, with fine and homogeneous grain size. The dolomitic marble is essentially composed of dolomite, medium to coarse, heterogeneous grain size. Breccias, with angular clasts in a fine matrix, are common in the dolomitic marble. The dolomitic marble has higher porosity because of the secondary dolomitisation. This process occurs by fluid percolation in structural weakness zones, leading to the breccia formation in the dolomitic marble. In spite of the dolomitic front has been generated by dolomitisation process, the structural is the main control. The contact between calcitic and dolomitic front is abrupt, marked by fractures. The fractures are sub-vertical, oblique to the main foliation. Applying Riedel model to the studied area, it is possible to observe that the strike of the contact plane of dolomitic and calcitic front matches up with the open fractures, or extensional faults. The open zones, responsible for the fluid percolation, are genetic related to the most important regional structure, the Cerne strike-slip fault.

*Keywords:* calcitic marbles, variation of MgO, dolomitization.

**INTRODUÇÃO** A Companhia de Cimentos Itambé tem apresentado a necessidade do conhecimento no que diz respeito à variação dos teores de MgO nos mármorees da mina Rio Bonito. A localização aproximada das frentes de lavra com alto teor de MgO já era conhecida, porém não era determinada a direção nem seus fatores condicionantes. A presença de mármorees com composição dolomítica gera quantidade significativa de rejeito e custos excessivos para seu desmonte e remoção até o local onde é armazenado como material estéril.

A pesquisa se desenvolveu a partir do mape-

amento de semidetalhe da área da mina Rio Bonito, análise das estruturas deformadoras predominantes e análises químicas, petrográficas e mineralógicas. Com esta base de informações e a concepção da deformação superimposta é possível fornecer subsídios para a compreensão dos fatores condicionantes de enriquecimento dos teores de MgO.

A hipótese levantada para o trabalho é que o mármore com teor elevado de MgO tenha sofrido processo de dolomitização e seu fator controlador é estrutural. Porém é necessário identificar se a dolomitização tem origem pri-

1 - UFPR, Departamento de Geologia, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Curitiba (PR), Brasil. E-mail: bi\_gallina@hotmail.com

2 - UFPR, Departamento de Geologia, Curitiba (PR), Brasil. E-mails: jmreis@ufpr.br, salamuni@mineropar.pr.gov.br

mária ou secundária e o fator controlador não tenha origem sedimentar, a partir da sedimentação ou diagênese.

**REVISÃO DA LITERATURA SOBRE DOLOMITIZAÇÃO** Existem diversas discussões na literatura a respeito de dolomitização. A maior delas é determinar se a dolomita é de origem “primária” (precipitada diretamente da água do mar e/ ou nos lagos salinos), ou origem “secundária” (pós-deposicional). Pesquisas a respeito do problema requerem uma combinação de estudos biológicos e termodinâmicos. Os argumentos são complexos e confusos.

As rochas carbonáticas são originadas de precipitações químicas e/ou bioquímica, formando concentrações de carbonatos de cálcio nas formas de aragonita ou calcita que dão origem aos calcários calcíticos. Por ação metassomática ou pela ação de soluções ricas em magnésio os calcários calcíticos são parcialmente ou totalmente convertidos em dolomitos com o passar do tempo, embora não possa ser descartada a existência de dolomitos sin-genéticos (primários) (Suguio 2003).

Segundo Suguio, (*op cit*) as dolomitas primárias são oriundas de cristais que ocorrem por precipitação em água por nucleação espontânea. Para isto ocorrer há algumas condições especiais, sendo elas: altas temperaturas, pH baixo e salinidade 6 a 8 vezes superior a salinidade normal.

O processo de dolomitização é um processo natural pelo qual o calcário calcítico transforma-se em dolomito, em função da substituição parcial do carbonato de cálcio original, por carbonato de magnésio ( $MgCO_3$ ). O fenômeno diagenético de dolomitização parece progredir com o tempo. Os calcários dolomíticos são mais frequentes entre as rochas carbonáticas mais antigas.

Amaral (1975) estudou o processo de dolomitização em brechas intraformacionais na Formação Irati, onde os locais pesquisados apresentavam o suposto ambiente de deposição da Formação. Apresentavam salinidade elevada, pH alcalino, número restrito de espécies viventes e relevo suave. O autor acredita que as altas salinidades associadas a condições topográficas especiais seriam responsáveis pela evaporação intensa e conseqüente concentrações dos solutos. Precipitando-se o cálcio sob forma de sulfatos, os íons de magnésio perduram em solução, e com isso, aumentando a relação Mg/Ca.

Porém a salinidade elevada é imprescindível tanto quanto a existência de poros que permitem a percolação das soluções concentradas mais densas, que fazem deslocar a água conata menos densa, cujo papel é o de remover o cálcio formado na reação dolomitizante. Quanto maior a salinidade do ambiente, maior a concentração dos íons de MgO (Amaral 1971). Segundo Badiozamani (1972) citado por Amaral (1975) a mistura da água do mar com água doce ativa a substituição de cálcio pelo magnésio.

Segundo Hatch & Rastall (1952), citado em Amaral (*op cit*), o dolomito secundário exibe romboedros formados pela recristalização da calcita atacada por soluções magsianas, havendo diminuição do volume e dando origem a uma porosidade secundária, podendo chegar a 15%.

Com a recristalização as estruturas primárias são obliteradas e o processo costuma ser irregular e relacionado a fraturas e/ou falhas, ou ainda à estratificação, pelo fato constituírem zonas propícias à percolação dos fluidos.

Segundo Tucker (1990) cinco categorias dos modelos de dolomitização são correntemente avaliadas para a interpretação de gênese de dolomitos antigos, sendo então o modelo evaporítico (*sabkha*), refluxo de escoamento (*seepage-reflux*), zona de mistura meteórica-marinha (*mixing zone*), soterramento (*burial*) e modelos de água do mar (*seawater models*). Cada um envolve um diferente tipo de fluido de dolomitização e ambiente geológico, mas há uma sobreposição entre os modelos.

A maioria das dolomitas formadas atualmente é de ambientes evaporíticos do tipo *sabkha*. Crostas dolomíticas ocorrem atualmente em planícies de maré como de *Andros Island* e Bahamas, por exemplo.

O modelo de refluxo de escoamento (*seepage-reflux*) envolve a geração de fluidos de dolomitização por meio da evaporação de lagoas e a descida desses fluidos em sedimentos subjacentes dos carbonatos.

A lógica no modelo da zona de mistura meteórica-marinha (*mixing-zone*) afirma ser mais fácil precipitar dolomita de uma solução diluída. De modo que se a água do mar com sua relação Mg/Ca de 5,2 for misturada com água meteórica (*freshwater*), a relação Mg/Ca é mantida, mas alguns dos obstáculos cinéticos devido à força iônica elevada da água do mar são removidos.

Evidências de precipitação de dolomita durante o modelo de soterramento (*burial*) podem ser encontradas em muitas rochas dolomíticas, mas se formações inteiras de carbonatos podem ser dolomitizadas em profundidade é ainda uma matéria de debate. O principal mecanismo defendido neste modelo é a compactação das rochas carbonáticas e a expulsão de fluidos ricos em  $Mg^{+2}$  na borda e na plataforma carbonática.

No modelo de dolomitização em água do mar para uma plataforma carbonática, as correntes marinhas são bombeadas juntamente com um refluxo de águas hipersalinas, provindas de lagoas e com as correntes de maré da linha de costa. Nesta zona que se precipitariam as dolomitas.

Na maioria dos modelos discutidos por Tucker (1990), a fonte de  $Mg^{+2}$  é a água do mar, e os problemas cinéticos na precipitação de dolomita de água do mar são superados, diluindo ou evaporando esta dolomita.

**OBJETIVOS** O principal objetivo é fornecer informações no que diz respeito aos mármores da mina Rio Bonito, determinar os fatores controladores da variação de MgO, identificar as principais direções e deformações das estruturas, bem como a direção dos vetores de enriquecimento dos teores de MgO.

**MATERIAS E MÉTODOS** Os métodos utilizados são análises geoquímicas de rocha total pelo método de fluorescência de raios X, análises mineralógicas por meio de difração de raios X, petrografia por meio da descrição de lâminas delgadas,

análise estrutural e cartografia geológica.

**LOCALIZAÇÃO** A região da mina Rio Bonito, pertencente à Cia de Cimentos Itambé, situa-se no Planalto de Curitiba, porção leste do Estado do Paraná, próximo a Serra de São Luiz do Purunã, no município de Campo Largo, aproximadamente a 55 km de Curitiba.

**APRESENTAÇÃO DOS DADOS E DISCUSSÕES** As rochas na mina Rio Bonito estão dispostas em forma de bancadas a céu aberto com as frentes mais extensas voltadas para as faces sul e norte.

A maior parte dos mármore da mina são calcíticos, de cor cinza-escuro, com veios e venulações também de calcita, sem orientação preferencial. De uma forma geral a deformação dúctil é proeminente, definida por uma foliação fina nas fácies carbonáticas, e por uma clivagem ardosiana nas fácies mais argilosas (margosas). Esta foliação encontra-se paralela ao acamamento sedimentar, tem caráter heterogêneo, tornando-a por vezes evidente e penetrativa e fortemente anastomosada, por vezes mascarada pelo posterior sistema de fraturas.

Uma segunda foliação (Sn+1) pode ser observada de forma heterogênea, cortando a foliação principal e gerando uma clivagem de fratura, por vezes preenchidas por minerais de calcita.

Algumas partes da frente de lavra são representadas por metacalcários, com acamamento reliquiar. Em lâmina o acamamento é incipiente, visualizando apenas cristais de calcita com granulação fina, em meio a fraturas estilolíticas preenchidas por calcitas, orientadas segundo o plano do acamamento e da foliação Sn.

Ocorrem porções da mina com mármore dolomítico brechado. Afloram em uma faixa na parte central da mina, com aproximadamente 100 metros de largura. Os mármore são constituídos por matriz e clastos de dolomito. Os clastos são facetados com tamanho milimétrico a centimétrico, não possuem orientação nem estruturas sedimentares preservadas.

Os mármore dolomíticos registram maior alteração superficial em relação aos mármore calcíticos, pelo fato de ter porosidade secundária. Este fato ocorre em função dos cristais de dolomita possuem granulação maior em relação ao mármore calcítico. São mais densos e sua estrutura cristalina mais compacta em relação à calcita, o que implica no aumento de volume dos poros da rocha (Shinn 1998).

Do ponto de vista petrográfico a diferença é caracterizada em função dos mármore calcíticos possuem granulação fina e homogênea dos minerais de calcita, enquanto que os mármore dolomíticos possuem cristalização média-grossa e heterogênea dos minerais de dolomita.

Em uma pequena faixa dentro da mina, apenas em um nível da frente sul, afloram os metaconglomerados de material pouco coeso, com foliação principal Sn contornando e deformando os clastos e seixos. O metaconglomerado é polimítico com matriz suportada, seus seixos e clastos são de quartzo e material carbonático de tamanho centimétrico, e sua matriz constituída de

quartzo, muscovita e carbonatos.

Na mina o contato entre os mármore calcíticos e dolomíticos é abrupto (Figs. 1 e 2). A figura 3 mostra a vista parcial das bancadas da frente norte.

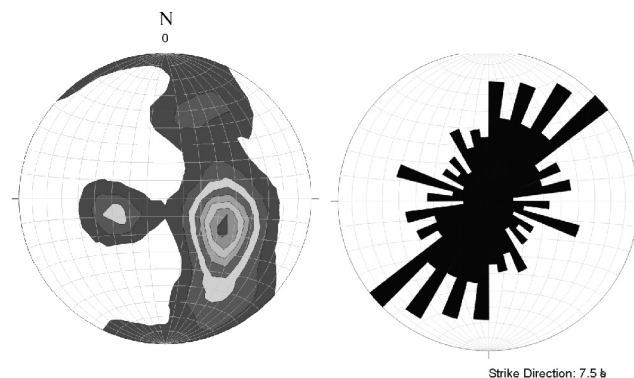


Figura 1 - Contato abrupto de frente calcítica com dolomítica.

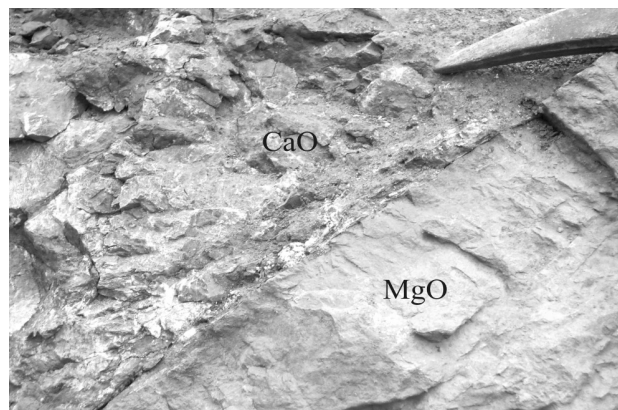


Figura 2 - Detalhe do contato abrupto entre as frentes calcíticas e dolomíticas.

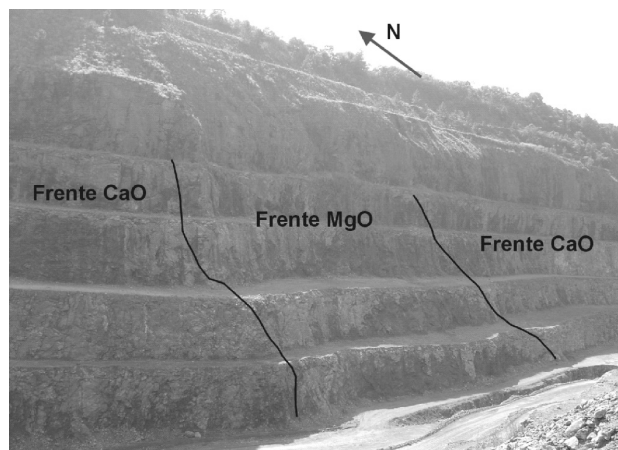


Figura 3 - Vista parcial da mina mostrando as bancadas e contatos aproximados das frentes calcíticas e dolomíticas.



Nas rochas carbonáticas encontram-se dobras abertas a suaves e eixos subhorizontalizados (Fig. 4). Além deste sistema há um segundo padrão de dobras com grandes amplitudes e comprimentos de onda e eixos subverticais (Figs. 5 e 6). A foliação Sn sofreu pelo menos duas fases de deformação posteriores, podendo ser caracterizado o redobramento do tipo domo-bacia.

Estes tipos de dobras que deformaram a foliação principal foram descritos e identificados por Salamuni (1995) em afloramentos do Núcleo Betara, próximos a Zona de Cisalhamento Lancinha-Cubatão, na região de Rio Branco do Sul-PR.

Devido ao intenso anastomosamento e as fases de dobramento a distribuição nos diagramas de contorno máximo dos pólos apresenta dispersão dos valores. No diagrama de contorno máximo dos pólos (Fig. 7), verificou-se que os planos representativos da foliação Sn possuem atitudes médias de N30E/ 50-60 NW e, secundariamente as atitudes têm direção N60W/ 20-30 NE. O diagrama de rosetas mostra que a maior moda possui direção NE/NW e, secundariamente direção NW /NE. Apesar da dispersão das con-

centrações das medidas, a deformação da foliação Sn de uma forma geral, tende a caracterizar de uma dobra aberta com ângulo interflancos de 75°.

No sistema rúptil a deformação também é heterogênea, causando em algumas porções intenso fraturamento. A direção preferencial é para NE/NW, com muita dispersão no quadrante.

O croqui da mina (Fig. 8) mostra em detalhe as bancadas e um esboço das frentes calcítica e dolomítica. Como as análises químicas foram feitas nas frentes das bancadas não é possível afirmar o quanto estas frentes dolomíticas avançam em profundidade e a norte. Ao sul da mina existe o contato com o quartzito e o filito. O desenho mostra apenas a possível direção preferencial das frentes dolomíticas. Apesar do anastomosamento do plano de contato as maiores concentrações das medidas são N70-80W.

O contato entre os mármore calcíticos (não brechados) e dolomíticos (brechados) se faz por meio de um sistema de fraturas. Apesar do anastomosamento do plano de contato entre os mármore, há uma tendência ao posicionamento oblíquo á foliação principal.

Na mina foram coletadas amostras de todos os

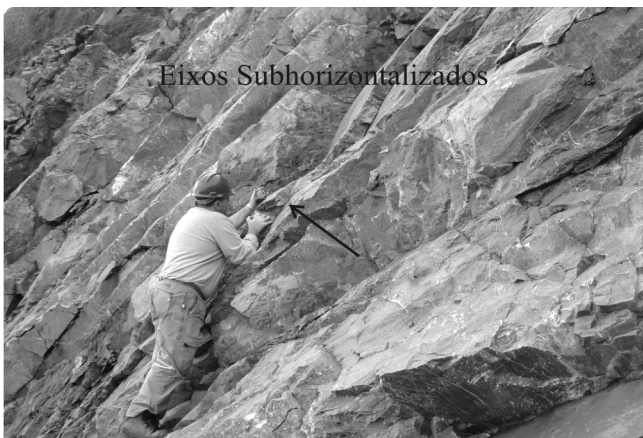


Figura 4 - Foliação Sn com dobras abertas a suaves e eixos subhorizontalizados.



Figura 6 - Foliação Sn com eixos subhorizontalizados e subverticalizados.



Figura 5 - Padrão de redobramento da foliação Sn.

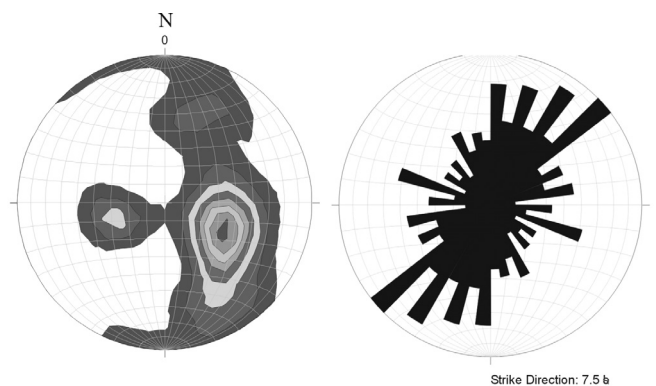


Figura 7 - Diagrama de contorno máximo dos pólos (hemisfério inferior) e diagrama de rosetas. Total 630 atitudes da foliação Sn.

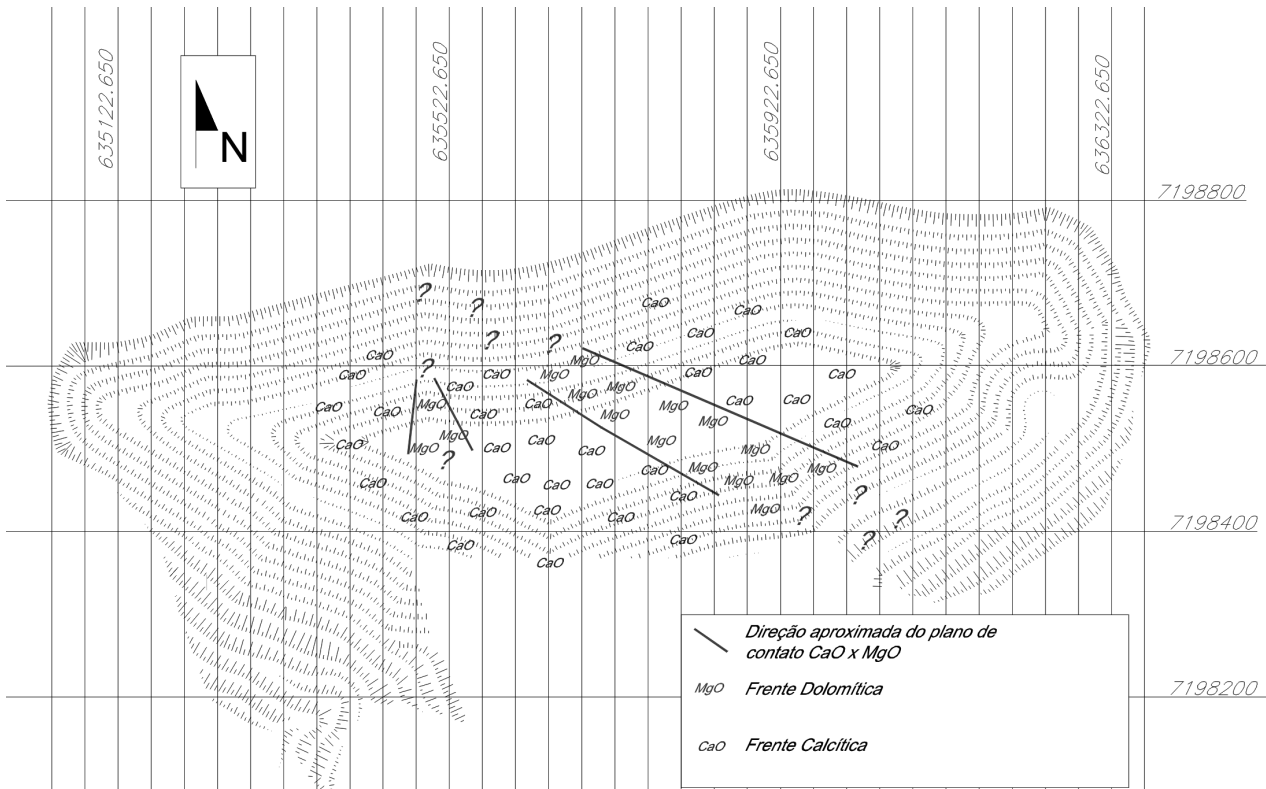


Figura 8 - Esboço da mina com planos aproximados de contato das frentes calcíticas e dolomíticas.

tipos de mármores, inclusive dos metaconglomerados.

No caso dos metaconglomerados que ocorrem em forma de uma fina lente restrita, as análises foram feitas de três formas: inicialmente coletadas amostras como um todo (clastos do conglomerados mais a matriz), formando uma mistura do material e posteriormente foram divididos os clastos da matriz, e analisados separadamente. Como observado na tabela 3 os maiores teores são de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{CaO}$ , seguidos de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{MgO}$ .

As análises químicas mostraram que nos mármores dolomíticos a concentração média dos teores de  $\text{MgO}$  são de 16% e  $\text{CaO}$  de 32%, enquanto que nos mármores calcíticos os teores de  $\text{MgO}$  são de 0,8% e  $\text{CaO}$  de 52%. Os teores de  $\text{SiO}_2$  em algumas amostras, tanto nos mármores dolomíticos como nos calcíticos, apresentaram teores maiores que 10%. Porém as amostras que apresentaram teores de  $\text{SiO}_2$  mais elevados estão concentradas nos mármores dolomíticos (Tabs. 1 e 2).

As análises químicas dos metaconglomerados mostram que os teores de  $\text{MgO}$  não ultrapassam 8%. O que torna este material estéril são os elevados teores de  $\text{SiO}_2$  (Tab. 3).

O gráfico da figura 9 mostra a relação dos teores de  $\text{MgO}$  X  $\text{CaO}$  das análises químicas realizadas nos mármores da mina. Fica evidente que existe uma relação entre esses teores, ou seja, à medida que aumenta o  $\text{CaO}$ , há uma diminuição de  $\text{MgO}$ , com uma variação média de 20%. A maior concentração mostra que os valores de  $\text{CaO}$  próximos de 50% possuem valores menores que 5% de  $\text{MgO}$ , e a segunda maior concentração mostra que quando há o aumento dos teores de  $\text{MgO}$ ,

em torno de 20%, há uma queda nos teores de  $\text{CaO}$ , para aproximadamente 30%.

Os difratogramas (Fig. 10 e 11) mostram os resultados reunidos de cada grupo de amostras (calcíticos e dolomíticos), caracterizando os picos dos minerais mais significativos.

Nos difratogramas dos mármores calcíticos (Fig. 10) há uma coincidência dos picos, onde todos mostram que o principal mineral constituinte da rocha é a calcita, e que de acordo com as análises químicas, os teores da  $\text{CaO}$  estão contidos neste mineral. Subordinariamente, nos picos menos significativos, há minerais

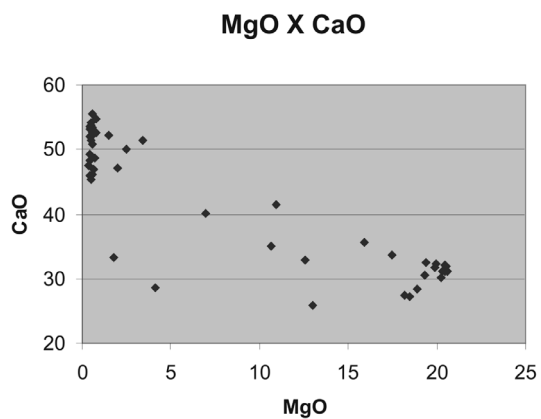


Figura 9 - Gráfico de  $\text{MgO}$  x  $\text{CaO}$  dos mármores da mina.

Tabela 1 - Resultados químicos das amostras dos mármore calcíticos (26 amostras).

Perda ao Fogo	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>
39.10	53.32	0.23	4.90
42.00	53.34	0.49	2.3
40.29	51.25	0.34	3.33
42.75	54.41	0.45	0.93
41.87	52.41	0.38	3.6
41.06	50.98	0.96	2.75
42.10	52.67	0.57	2.52
39.74	51.44	0.49	3.94
42.72	54.80	0.76	1.12
43.43	51.44	3.44	0.89
43.21	55.55	0.57	0.92
41.59	47.18	2.00	3.48
41.86	52.29	1.46	2.60
40.90	49.97	2.48	4.01
41.79	53.72	0.52	2.51
40.66	52.03	0.44	2.96
42.89	55.45	0.55	1.12
39.18	48.65	0.73	7.99
41.67	52.62	0.62	3.68
41.23	52.14	0.55	3.34
41.87	53.16	0.41	3.10
42.35	53.34	0.58	1.75
42.08	53.64	0.45	2.83
37.75	43.45	0.79	12.52
42.54	54.13	0.52	0.25
40.90	50.84	0.53	5.52

de quartzo e muscovita.

Nos difratogramas das amostras dos mármore dolomíticos também há coincidência dos picos e estão condizentes com as análises químicas. Conforme os difratogramas (Fig. 11) o principal mineral constituinte da rocha é a dolomita, e subordinariamente calcita, quartzo e muscovita.

Na figura 12, onde é apresentado o difratograma com a interpretação dos dois tipos de mármore (calcítico e dolomítico), verifica-se que os picos principais são de calcita para as amostras de mármore não brechados e da dolomita nos mármore brechados.

De acordo com Hatch & Rastall (1952), citado por Amaral (1975) a dolomitização secundária pode ser gerada por processo de percolação de fluidos em zonas de fraqueza estrutural. Neste processo houve o rompimento dos grãos de calcita nos mármore calcíticos e o CaO foi substituído pelo MgO, recristalizando como dolomita. Inicialmente houve a cristalização dos clastos, e em uma fase mais tardia, com pressão menor, a cristalização da matriz. Posteriormente, em outra fase,

Tabela 2 - Resultados químicos das amostras dos mármore dolomíticos (22 amostras).

Perda ao Fogo	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>
43.26	38.61	11.78	1.93
44.96	30.14	20.37	1.62
45.45	30.32	20.11	1.36
46.70	31.09	20.61	0.25
44.79	35.69	15.88	1.08
46.20	32.52	19.41	0.42
46.29	31.21	20.35	0.85
36.05	25.92	13.01	15.49
39.08	40.18	6.97	7.67
45.69	31.69	19.86	0.41
29.90	33.36	1.77	23.10
42.63	32.82	12.59	1.19
46.80	32.02	20.46	0.18
45.34	33.71	17.46	0.85
46.26	31.05	20.48	0.82
45.37	30.23	20.22	1.53
42.29	24.91	20.62	5.05
44.27	41.53	10.92	0.71
29.98	24.47	4.43	29.68
46.39	32.36	19.97	0.67
46.70	31.98	20.55	0.33
45.99	30.58	19.32	0.83

houve a cristalização das calcitas nas fraturas por processos de percolação de águas superficiais.

A dolomitização foi posterior à geração dos mármore calcíticos. A hipótese dos mármore dolomíticos terem sido gerados por processos de dolomitização primária é descartada pelo fato de nenhum dos modelos apresentados por Tucker (1990) se enquadrarem.

O fator determinante para a caracterização da condição de dolomitização secundária é que as frentes dolomíticas estão em contato abrupto, apresentam composição química distinta e são balizadas por sistemas de fraturas em relação às frentes calcíticas.

O conduto mais provável para a circulação dos

Tabela 3 - Resultados químicos das amostras dos metaconglomerados.

Amostra	Perda ao Fogo	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Mix	21.69	15.68	4.10	45.57	4.02	6.33
Mix	33.76	25.05	3.28	21.35	4.70	10.36
Cimento	23.65	13.93	6.56	39.24	4.36	8.39
Clastos	31.13	23.23	7.95	27.80	3.44	3.83

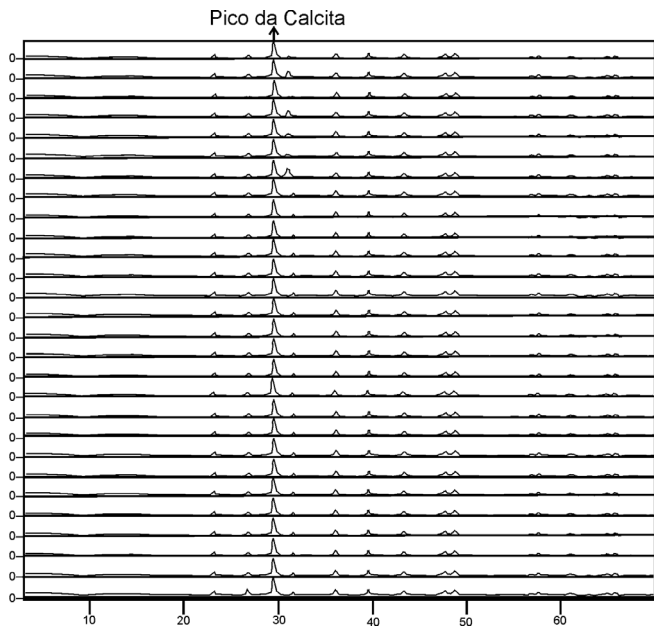


Figura 10 - Difratomogramas reunidos das amostras dos mármore calcíticos.

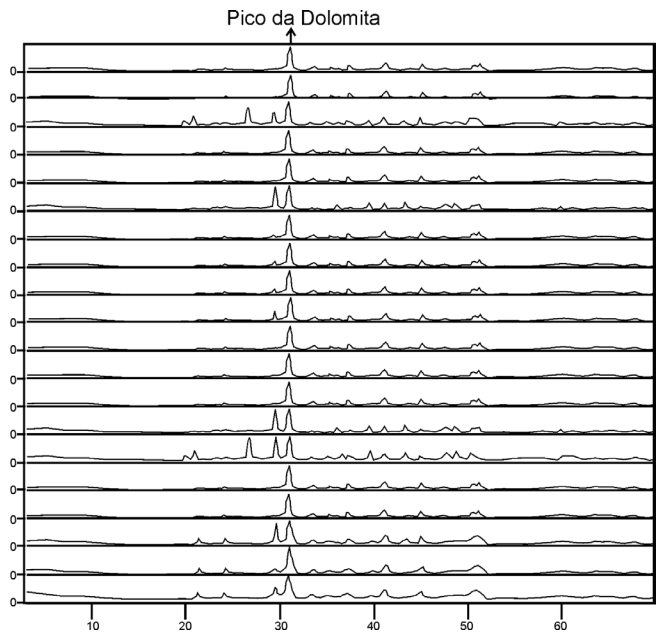


Figura 11 - Difratomogramas reunidos das amostras dos mármore dolomíticos.

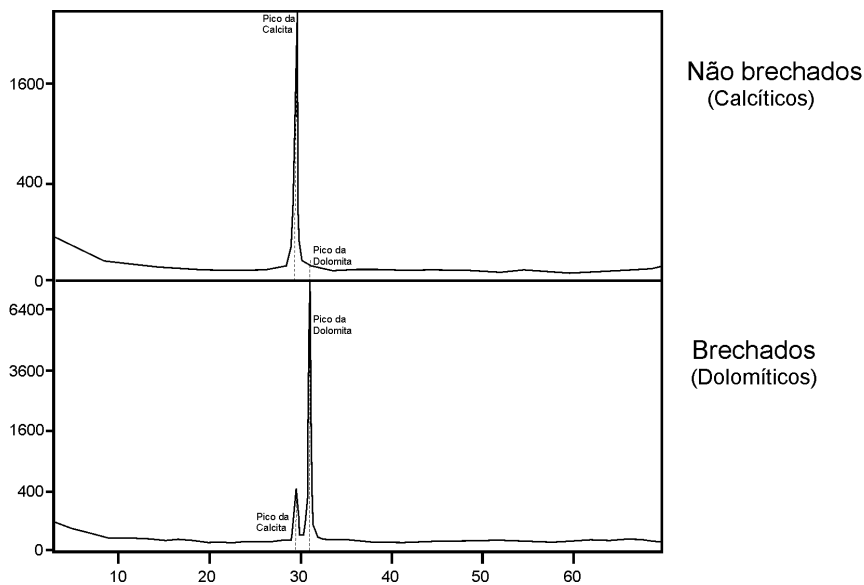


Figura 12 - Difrátograma comparativo dos mármore calcítico e dolomítico.

fluidos durante a brechação seria por fraturas distensionais ou por zonas de fraqueza estrutural pré-existent. Nestes condutos/zonas de abertura é que o CaO teria sido substituído pelo MgO.

A estrutura deformacional mais proeminente próximo da mina é uma falha transcorrente dextral, componente da Falha do Cerne, com direção aproximada N60E. A falha transcorrente do Cerne também está próxima da mina, a cerca de 2 Km a sul. A direção preferencial da porção brechada é N70-80W, seguida de três concentrações menores: N60-70E, N80-90E e N50-60W.

Na figura 13 o diagrama de rosetas mostra a di-

reção dos planos de contato das frentes calcíticas com as dolomíticas. Quando estes planos de contato são sobrepostos ao modelo de Riedel (1929) há uma concordância das direções das fraturas e obtém-se: (a) Direção principal das zonas brechadas N70-80W: estariam relacionadas às fraturas de abertura/ fraturas T de partição; (b) As direções: N80-90E e N50-60W: seriam os pares conjugados de cisalhamento R e R'; (c) A direção N60-70E: seria a própria direção da falha transcorrente.

Apesar do anastomosamento e direções variadas do plano de contato das frentes dolomíticas em relação as calcíticas a maior moda das medidas é N70-80W.



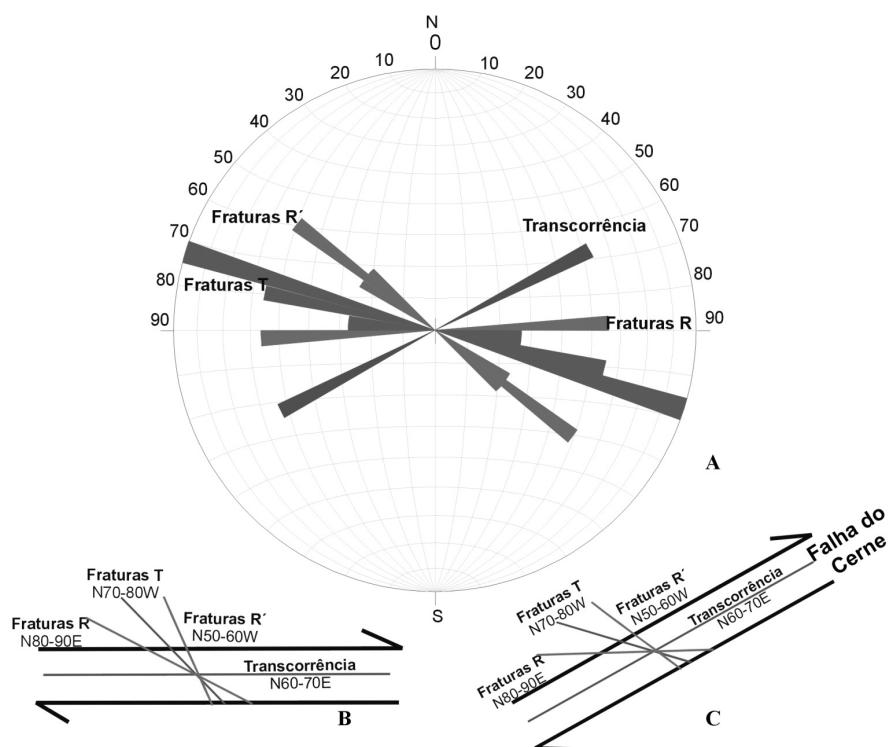


Figura 13 - Diagrama de rosetas dos planos de contato e direções dos contatos aplicados a Riedel.

**CONCLUSÕES** Neste trabalho foi realizado o estudo dos mármore da Mina Rio Bonito caracterizando estas rochas química, petrográfica, mineralógica e estruturalmente. Os métodos utilizados foram análises geoquímicas de rocha total pelo método de fluorescência de raios X, análises mineralógicas por meio de difração de raios X, petrografia e análise estrutural. O enfoque integrado dos diversos métodos mostrou resultados que permitiram individualizar as frentes de mármore dolomítico e identificar fatores controladores de sua ocorrência no mármore calcítico.

As rochas são em sua maioria mármore calcíticos, de cor cinza-escuro, com venulações também de calcita, sem orientação preferencial. Normalmente apresenta forte padrão de deformação. A deformação dúctil é proeminente, com foliação principal (Sn) paralela ao acamamento sedimentar, algumas vezes é possível observar uma segunda foliação (Sn+1) perpendicular à foliação principal. Em lâmina observa-se granulação fina de cristais de calcita e venulações preenchidas também por calcita.

Os mármore de uma forma geral têm foliação Sn marcante, paralela ao acamamento sedimentar, penetrativa, anastomosada e heterogênea, possui dobras abertas a suaves e eixos subhorizontalizados. Existe um segundo padrão de dobramento da foliação Sn, com eixos subverticalizados, caracterizando três fases de deformação, configurando um padrão de deformação tipo domo-bacia.

Algumas porções são representadas por metacalcários, onde é possível visualizar o acamamento reliquiar. Em lâmina o acamamento é incipiente, visualizando apenas cristais de calcita com granulação fina, em meio a

fraturas estilolíticas preenchidas por calcita, orientadas segundo o plano do acamamento e da foliação.

Apresentam partes com mármore dolomítico brechado. Os mármore são constituídos por cimento e clastos de dolomita. Os clastos são facetados com tamanho milimétrico a centimétrico, não têm orientação nem estruturas sedimentares preservadas. Estes mármore possuem maior nível de alteração superficial em relação ao mármore calcítico, devido ao processo de dolomitização que gerou uma porosidade secundária.

A direção preferencial da foliação Sn é N30E/55NW e subordinariamente N60W/25NE, configurando uma dobra aberta. Para o sistema rúptil as juntas têm direção preferencial N45-80E/NW, e as falhas N60W/SW.

O cisalhamento rúptil, tornou o plano de contato dos mármore calcíticos com os dolomíticos anastomosado e por sistema de fraturas, com as maiores concentrações das medidas são N70-80W.

As análises químicas realizadas nos mármore calcíticos mostraram que os valores médios de teores de CaO são de 52% e de MgO 0,8%. Os mármore dolomíticos têm 32% de CaO e 16% de MgO. A diferença dos teores de CaO do mármore calcítico em relação ao dolomítico é de 20%, e a relação de variação dos teores de MgO entre os mármore calcítico e dolomítico é 16%.

Mineralogicamente por meio das interpretações das difrações de raios X é confirmado que os teores de CaO dos mármore calcíticos estão contidos nos minerais de calcita, e os teores de MgO dos mármore dolomíticos estão nos minerais de dolomita.

Com o controle das deformações dúctil e rúptil



e a observação das estruturas, é possível afirmar que o fator condicionante (controlador) destas frentes dolomíticas é estrutural, por meio de cisalhamento rúptil. Apesar do anastomosamento do plano de contato (fraturas) dos mármores calcíticos com os dolomíticos, há uma tendência ao posicionamento perpendicular à foliação principal, sendo abrupto e limitado pelas fraturas.

Este contato abrupto é determinado por meio das fraturas subverticalizadas, granulação da rocha, diferença de cor e diferentes assinaturas geoquímicas.

O mármore dolomítico brechado foi gerado por processo de dolomitização secundária, e o fator controlador é estrutural.

As direções de percolação dos fluidos estão relacionadas ao regime rúptil. Com a entrada dos fluidos nas fraturas houve o rompimento e brechação do material, e o CaO dos mármores foi substituído pelo MgO.

Aplicando o modelo de Riedel para a área estudada, verifica-se que as direções dos planos de conta-

to das frentes calcíticas e dolomíticas são coincidentes com as fraturas de abertura, ou de extensão. Estas zonas de abertura, por onde houve a percolação dos fluidos, estão geneticamente relacionadas com a estrutura regional mais significativa, a falha transcorrente do Cerne.

Porém como os dados químicos, mineralógicos, petrográficos e estruturais foram obtidos em amostras de superfície (frentes de lavra), é necessária a investigação por meio de furos de sondagem.

Sugere-se ainda o mapeamento estrutural das novas bancadas, conforme o desenvolvimento da mina, verificando o plano de contato das frentes CaO e MgO.

**Agradecimentos** A Universidade Federal do Paraná-UFPR, especialmente ao Departamento de Geologia. A Companhia de Cimentos Itambé pela parceria criada com a Universidade Federal do Paraná, subsidiando a pesquisa. Ao LAMIR-Laboratório de Análise de Minerais e Rochas pelas análises realizadas.

### Referências

- Amaral S.E. 1971. Geologia e Petrologia da Formação Irati (Permiano) do Estado de São Paulo. *Boletim Instituto de Geociências e Astronomia-USP*, **6**:03-82.
- Amaral S.E. 1975. Sobre os dolomitos e o processo da dedolomitização na Formação Irati (Permiano) do estado de São Paulo. *Boletim Instituto de Geociências USP*, **6**:21-32.
- Riedel W. 1929. Zur mechanik geologischer brucherscheinungen. Ein beitrag zum problem der fiederspaltten. *Zentralblatt für Mineralogie, Verlagsbuchhandlung*, **1919b**:354-368.
- Salamuni E. 1995. Dobramentos e redobramentos superpostos na porção sul da zona de cisalhamento Lancinha-Cubatão. *Boletim Paranaense de Geociências*, **43**:135-149.
- Shinn E 1998. Tidal Flat. In: Shoole P.A, Bebout D.G, Moore C.H. (ed.) *Carbonate Depositional Enviroments*. 4ª ed., Oklahoma, Tulsa, AAPG, 173-207.
- Suguio K. 2003. *Geologia sedimentar*. 1ª ed., São Paulo, Edgard Blucher Ltda/EDUSP, 400p.
- Tucker M.E. 1990. Dolomites and dolomitization models. In: Tucker M.E. & James N. (eds.) *Carbonate Sedimentology*. Ontário, Blackwell Science Geological Association of Canadá, p.365-400.

**Manuscrito ID 8066**

**Submetido em 29 de maio de 2007**

**Aceito em 14 de março de 2009**