

METAMORFISMO DE BURITIRAMA, PARÁ

José V. Valarelli
 Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo
 Instituto de Pesquisas Tecnológicas
 J. Moacyr V. Coutinho
 Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo
 Rosa M. S. Bello
 Bolsista da FAPESP

ABSTRACT

The manganese protomylonites from the Serra de Buritirama, Brazil, are a suite of impure Mn-bearing siliceous carbonatic rocks, enclosed by impure siliceous marbles, pelitic, schists and quartzites.

The lack of graphite and the appearance of braunite, bixbyite and hausmanite are characteristic of the Mn-protomylonites of Buritirama. The mineralogical composition comprises Mn-calcite, Mn - kutnahorite, pyroxmangite, rhodonite, tephroite, spessartite, Mn-clinoamphibole and manganophyllite. Minor amounts of alabandite, sphalerite, Mn-spinel and pyrophanite are also found.

The interpretation of the solid-solution of the carbonates and the paragenesis braunite-hausmanite-Mn-carbonate are leading to the following temperature conditions of metamorphism: 550°C , $\log f_{\text{O}_2} = -8$. The mineral associations of the country rocks generally agree with these conditions of temperatures between 500 and 600°C . The pressure conditions have been estimated by the density of CO_2 - H_2O fluids in fluid inclusions to be about 3 kb at the inferred temperature of 550°C .

RESUMO

Os protomylonitos de manganês caracterizam-se de maneira geral pela sua natureza sílico-carbonática, ausência de grafita e presença de braunite, bixbyite e hausmanite em certos leitos. São constituídos essencialmente por carbonatos cuja composição varia entre Mn-calcita a Mn-kutnahorita, piroxenóides manganíferos (piroxmangita e rodonita), tefroita, espessartita, clinoanfíbolios manganíferos e mangano-filita. Como acessórios ocorrem alabandita, esfalerita, espinélio manganífero e pirofanita.

Soluções sólidas dos carbonatos indicam temperaturas superiores a 550°C para o pico do metamorfismo sofrido pelo protomylonito. A paragenese braunite + hausmanite + carbonato manganífero indica temperatura semelhante e $\log f_{\text{O}_2} = -8$. As associações das encaixantes calcossilicatadas e metapelíticas indicam temperaturas entre 500 e 600°C . Estudos de inclusões fluidas em grãos de quartzo somados aos dados acima indicam que em Buritirama o pico do metamorfismo atingiu as seguintes condições: $T = 550 \pm 50^{\circ}\text{C}$; $P = 3000 \pm 300$ atm; $\log f_{\text{O}_2} = -8$ e $X_{\text{CO}_2} > 0,8$.

INTRODUÇÃO

Este trabalho teve por objetivo a contribuição para o conhecimento das condições metamórficas a que foram submetidos os protomylonitos de manganês de Buritirama.

Os depósitos de manganês de Serra de Buritirama, Serra do Sereno e Azu, localizam-se na parte centro-leste do estado do Pará, numa região drenada pelo Rio Itacaiunas entre as coordenadas geográficas 5°30' e 6°06'S e 49°32' e 50°18' WGR.

Estudos preliminares da região (Anderson et al, 1974) já haviam demonstrado ser o protominério de Buritirama constituído por carbonatos, silicatos e óxidos de manganês. As considerações genéticas feitas neste trabalho basearam-se num estudo mais pormenorizado do protominério e das rochas encaixantes. Estas últimas são favoráveis ao estudo paragenético necessário ao estabelecimento das condições de metamorfismo de parte do Grupo Grão Pará que adquire no momento grande importância devido ao desenvolvimento de pesquisas minerais na região.

A jazida de manganês de Buritirama possui reservas médias em comparação com outras jazidas, mas seu melhor conhecimento e aproveitamento econômico pode ajudar a viabilidade do complexo industrial da região (Marabá-Carajás-Itaquí).

O trabalho de Anderson et al (1974) sobre Buritirama, bem como estudos regionais da área de Serra dos Carajás (Tolbert et al, 1971, 1973 e Beisegel et al, 1973) e do projeto RADAM (Lima et al, 1974) representaram suporte adequado para este estudo.

GEOLOGIA REGIONAL

A região da Serra de Buritirama é parte do Craton do Guaporé, unidade tectônica cratonizada no ciclo transamazônico.

As rochas mais antigas da região pertencem ao Complexo Xingu e são constituídas por gnaisses e anfibólitos polimetamórficos.

Sobrepondo-se discordantemente ao embasamento mais antigo existe uma sequência metassedimentar pertencente ao Grupo Grão Pará, que na região da Serra dos Carajás é constituída por xistos, quartzitos e duas sequências metavulcânicas básicas que contêm a formação ferrífera.

Uma sequência sedimentar molassoide associada a rochas vulcânicas denominada de Grupo Uatuma sobrepõe-se discordantemente ao Grupo Grão Pará. As rochas sedimentares são constituídas por arenitos, conglomerados além de alternância de siltitos, folhelhos e calcários.

Acima dos vulcanitos do Grupo Uatuma existe uma sequência de cobertura sedimentar denominada Formação Gorotire.

Na região da Serra de Buritirama, as rochas do embasamento são constituídas por biotita gnaisses, hornblenda gnaisses e anfibólitos.

O Grupo Grão Pará nessa região inicia-se por um quartzito basal seguido por um pacote de xistos de litologia diversificada que contêm os horizontes de protominérios manganíferos sílico-carbonáticos e camadas de quartzito. Tais horizontes de ram origem aos depósitos de manganês de Buritirama por oxidação e enriquecimento supérgeo.

Em Buritirama existe uma isócrona Rb/Sr das rochas do Grupo Grão Pará na região do Rio Itacaiunas fornecendo idades de 1960 ± 20 m.a. (Gomes et al., 1975). Esses mesmos autores apresentam para um anfibolito da Serra de Buritirama idades K/Ar de 1961 ± 31 m.a. e para as metavulcânicas básicas da Serra dos Carajás, 1905 ± 59 m.a.

Na área existe também magmatismo do episódio Uatuma a partir de 1800 m.a. representado pelo Granito Carajás com isócrona Rb/Sr (Tassinari, 1978).

Trabalhos anteriores indicam que as rochas metassedimentares do Grupo Grão Pará, tanto na região de Serra dos Carajás como em Buritirama, sofreram metamorfismo de fácies xistos verdes a anfibolito (Beisegel et al, 1973; Issler, 1977; Gomes et al., 1975; Tolbert et al., 1971).

METODOLOGIA

Para a determinação das condições de metamorfismo dos protominérios manganíferos de Buritirama foram realizados vários estudos mineralógicos e petrográficos, incluindo determinações de propriedades ópticas em microscópio petrográfico e Platina Universal de Federov, além da utilização rotineira de difratometria Raios X

e estudos de composição química de minerais dos protominérios através da microsonda eletrônica.

As paragéneses obtidas foram utilizadas para estabelecer as condições de metamorfismo, baseando-se em estudos experimentais das reações do sistema Mn-Si-C-O-H e nos dados termodinâmicos disponíveis.

Estudos de inclusões fluidas em grãos de quartzo, dos protominérios e encaixantes, feitos por Valarelli e Von Raumer (1975) enriqueceram os dados de densidade de crítica de CO₂ e forneceram a correlação entre temperatura e pressão nas associações de Buritirama.

DESCRIÇÃO DOS PROTOMINÉRIOS

De modo geral o protominério é constituído por mármores e xistos calcossilicatados manganíferos, sendo as encaixantes formadas por intercalações de calco-anfibólito - mica xistos, mármores calcossilicatados e quartzitos. As encaixantes calcossilicatadas evidenciaram associações importantes para a caracterização das condições metamórficas.

O estudo mineralógico e petrográfico pormenorizado de amostras dos testemunhos de vários furos de sonda permitiram a descrição dos seguintes tipos de protominérios:

Mármores calcossilicatados - essencialmente constituídos por clinopiroxênios manganíferos, carbonatos (Mn-calcita-Mn-kutnahorita) manganofilite e espessartita como inclusões finas em carbonatos. Em algumas amostras é encontrado feldspato potássico como maior constituinte.

Em veios observa-se anfibólito manganífero substituindo os clinopiroxênios.

Piroxmangita Mármores - contêm essencialmente carbonato (kutnahorita) de granulação 0,2 a 0,4 mm e espessartita fina (0,01 mm) numa textura em mosaico, com porfiroblastos de piroxmangita de 2 a 10 mm. Em alguns casos a piroxmangita pode constituir mais que 35% dos minerais presentes estando associada a restos de olivina serpentinizada. Em outros casos a piroxmangita ao lado de kutnahorita e Mn-flogopita constituem uma rocha de granulação uniforme a menos das granadas mais finas.

Braunite Mármores - nessas rochas encontram-se massas e/ou disseminações de Braunite intercrecidas por Mn-calcita, manganofilite, feldspato potássico e clinopiroxênio de manganês. As manchas de concentração de minerais opacos contêm minúsculas inclusões de manganófilite. Ainda são encontrados nessas rochas veios silicáticos constituídos por quartzo, rodonita e espessartita, além de veios submilimétricos de clinopiroxênios, clinopiroxênios e carbonatos.

Tefroita Alabandita Mármores - O carbonato dessas rochas apresenta composição variando de kutnahorita a rodocrosita e contêm inclusões de granadas finas. Apresenta textura granoblástica orientada com porfiroblastos de tefroita (2-3 mm) incluindo carbonato e granadas finas. Alabandita ocorre em certos níveis, tanto finamente disseminada, como sob a forma de cristais de 0,5 a 2,0 mm. Ainda é encontrada a esferulita e acessórios como piroxmangita e hausmanita.

Xistos Calcossilicatados - trata-se de rochas orientadas apresentando estratos com percentagens variadas de manganofilite, clinopiroxênio, espessartita e carbonato de manganês.

Ainda pode ocorrer feldspato potássico, pirrotita, barita e clorita formada a partir da manganofilite.

Essas rochas apresentam textura granoblástica e/ou lepidoblástica dependendo da concentração dos minerais presentes nos estratos distintos.

Mineralogia dos Protominérios - Os carbonatos são quase inteiramente compostos por MnCO₃, CaCO₃ com menores percentagens de MgCO₃.

Dois piroxenóides foram identificados: piroxmangita associada a carbonatos mais ricos em manganês e rodocrosita associada a carbonatos mais ricos em cálcio (Bello et al., 1976).

A olivina é a tefroita (Mn₂SiO₄) com 15 a 23 mol % de forsterita (Mg₂SiO₄) e pequenas quantidades de faialita (Fe₂SiO₄) e larnita (Ca₂SiO₄).

A granada encontrada no protomínério de Buritirama é a espessartita com pequenas proporções de grossulária, pirope, almandina e andradita.

Além desses minerais ainda temos a flogopita manganêsífera, classificada como manganofilita; clinopiroxênios manganêsíferos e anfibólitos manganêsíferos.

Os principais minerais metálicos encontrados foram: braunita, alabandita, pirrotita, esfalerita, pirofanita e hausmanita.

DISCUSSÃO DAS CONDIÇÕES DE METAMORFISMO

O estudo mineralógico do protomínério permitiu a caracterização das seguintes associações mineralógicas:

1. carbonato + piroxmangita + tefroita
2. tefroita + carbonato + espessartita + pirofanita
3. tefroita + carbonato + piroxmangita + espessartita
4. carbonato + tefroita + espessartita + alabandita + (esfalerita)
5. carbonato + braunita + manganofilita + Mn-anfibólito
6. Mn-clinopiroxênio + carbonato + manganofilita + espessartita
7. Mn-clinopiroxênio + rodonita + carbonato
8. rodonita + carbonato + espessartita
9. Mn-clinopiroxênio + rodonita + carbonato + braunita
10. Mn-clinopiroxênio + Mn-clinoanfibólito + manganofilita + espessartita + carbonato
11. piroxmangita + manganofilita + carbonato
12. piroxmangita + Mn-clinoanfibólito + carbonato + espessartita
13. piroxmangita + carbonato + espessartita + manganofilita
14. carbonato + braunita + hausmanita
15. carbonato + hausmanita

Analisando-se essas associações pela regra das fases, pode-se numa primeira aproximação, considerar um sistema de cinco componentes fixos: Mn-Ca-Mg-Al-Si (desprezando-se o Fe, K) e de três componentes móveis: CO_2 , H_2O e S_2 . Assim, parâmetros sem flogopita, de quatro fases sólidas, indicam um sistema trivariante. Adicionando-se a flogopita equivale a considerar um sistema de seis componentes com a inclusão do potássio e o sistema permanece trivariante para associações com cinco fases sólidas e uma fase fluída, normalmente observadas.

Entre as assembléias encontradas destaca-se a associação de carbonato manganêsífero + piroxmangita + tefroita prevista no sistema teórico Mn-Si-C-O-H como resultado da reação:



Peters et al (1974), mostram essa reação sob $n^\circ 10$ num diagrama isobárico $T - \log f_{\text{O}_2}$ supondo $P_T = 2000$ bars e $X_{\text{CO}_2} = 1$, para a qual tem-se uma temperatura de equilíbrio de 600°C . O aumento da pressão total tende a aumentar a temperatura de equilíbrio dessa reação, ao mesmo tempo que a fração molar de CO_2 inferior a 1 tende a diminuí-la.

Outra associação importante encontrada foi: clinopiroxênio manganêsífero + rodonita + braunita + carbonato manganêsífero. Essa associação mostra a influência do CaO no tipo de piroxenóide manganêsífero formado. A rodonita coexiste com carbonato mais rico em CaO e possui mais CaO que a piroxmangita.

Abrecht e Peters (1975) estudaram a associação de clinopiroxênio manganêsífero (Johansenita) com os piroxenóides de manganês (piroxmangita, rodonita e busitamita). Embora o diagrama experimental apresentado por esses autores seja um diagrama de síntese efetuado à 2000 bars, existe a possibilidade da associação Johansenita-rodonita ser estável acima de 500°C , afirmação que é tanto mais verdadeira quanto maior a pressão total.

A paragenese carbonato + braunita + hausmanita no sistema puro Mn-Si-C-O-H corresponde a um ponto isobárico invariante que fixaria $\log f_{\text{O}_2}$ em aproximadamente -8 e temperatura em torno de 450°C a 2000 bars, considerando-se $X_{\text{CO}_2} = 1$ (Peters et al, 1974 e Bello, 1978).

No entanto, o carbonato associado à braunita nos braunita mármores, não é uma rodocrisita pura, mas sim uma mangano-calcita. Na interpretação dos dados, de-

ve-se portanto levar em conta a atividade do MnCO_3 nesse carbonato. A mangano calcita é uma solução sólida de CaCO_3 e MnCO_3 significando que a atividade do MnCO_3 nesse carbonato é menor que 1, o que implica num aumento da fugacidade de O_2 quando comparado a MnCO_3 puro.

A braunita pode ser formada a partir de várias reações: reação entre rodocrisita e quartzo, oxidação da piroxmangita ou ainda pela reação entre óxidos de manganês e quartzo ou piroxenóides (Peters et al, 1974).

A reação entre rodocrisita e quartzo no metamorfismo progressivo normalmente forma piroxenóides associados à rodocrisita ou raramente a quartzo quando houver excesso de sílica. Por outro lado, em nenhum caso foi observada oxidação de piroxenóides. Quando esses minerais são afetados por veios ou por retrometamorfismo, nota-se seja serpentinização seja transformação em anfibólitos.

Esses fatos indicam que provavelmente a braunita foi formada a partir da reação entre o quartzo e óxidos de manganês. Estes últimos poderiam ser produto do metamorfismo de hidróxidos sedimentares.

Nos braunita mármores são encontrados veios e massas silicáticas que apresentam associações complexas. Algumas vezes a partir de um núcleo de quartzo + apatita + barita e feldspato potássico há passagem gradual para zonas de rodonita granoblástica de granulação grosseira (até 7 mm). No contato entre as zonas de rodonita e as massas de braunita e óxidos existe uma faixa milimétrica de clinopiroxênio + clinoanfibólito + Mn-flogopita.

Provavelmente trata-se de fenômeno de remobilização de sílica que ocorre a pequenas distâncias em condições metamórficas não longe do metamorfismo, visto os resultados das inclusões fluídas dos cristais de quartzo. Assim, a rodonita dessas faixas representaria reação entre a sílica e carbonatos manganêsíferos enquanto que a associação de clinopiroxênios, clinoanfibólitos e Mn-flogopita deve representar reação entre carbonatos pouco manganêsíferos e a mesma sílica, acompanhada pela alteração de silicatos e aluminossilicatos.

Ao lado dessas considerações foram obtidos dados importantes sobre a composição dos carbonatos encontrados nos protomínérios. Comparando-se a composição dos carbonatos analisados que pertencem ao sistema $\text{MnCO}_3 - \text{CaCO}_3 - \text{MgCO}_3$, com os dados de Goldsmith e Graf (1957) para o sistema $\text{MnCO}_3 - \text{CaCO}_3$ constata-se que a composição da maioria dos nossos carbonatos caem dentro da região de completa miscibilidade, acima de 500°C .

Além disso, em uma amostra foram encontrados carbonatos coexistentes cujas composições se encontram na região de duas fases imiscíveis dos dois lados do solvus à temperatura de 535°C no sistema $\text{CaCO}_3 - \text{MnCO}_3$. No entanto, o conteúdo de Mg e Fe desses carbonatos faz com que o solvus no sistema $\text{MnCO}_3 - \text{CaCO}_3 - \text{MgCO}_3$ se encontre a temperaturas mais elevadas, o que pode ser visto nos diagramas de Goldsmith e Graf (1960). Comparando a composição dos carbonatos de Buritirama os dados de Goldsmith e Graf (1960) chega-se a valores de temperaturas entre 500 e 600°C (Bello, 1978).

Infelizmente faltam dados teóricos e experimentais para analisar a influência da espessartita, da manganofilita e dos clinoanfibólitos manganêsíferos, que ocorrem em várias assembléias, no deslocamento ou na particularização dos equilíbrios. Muito falta ainda para a análise completa da presença de alabandita, espinelio, pirofanita e outros acessórios.

ROCHAS ENCAIXANTES

Nas rochas encaixantes predominam minerais calco-magnesianos.

Nas rochas mais carbonáticas é comum a associação isobárica divariante calcita + diopsídio + tremolita, cujos campos de estabilidade são muito variáveis em função de P, T e X_{CO_2} (Skippen, 1974).

Em algumas lâminas foi encontrada a associação isobárica univariante calcita + diopsídio + tremolita + quartzo que indica pressão de fluido superior a 1,5 kb à temperaturas superiores a 550°C indicada pela composição dos carbonatos vista anteriormente. Esse equilíbrio apresenta um patamar em diagrama isobárico ($T - X_{\text{CO}_2}$) com o máximo valor de temperatura à $X_{\text{CO}_2} = 0,8$. Essa temperatura varia de 540°C à pressão de 1 kb até 655°C à 5 kb (Winkler, 1976).

A associação isobárica invariante calcita + dolomita + tremolita + diopsídio + quartzo também foi encontrada indicando um alto valor de X_{CO_2} e temperaturas entre 500 e 600°C dependendo da Pressão total (Winkler, 1976, Skippen, 1974).

Estudos de inclusões fluídas em grãos de quartzo de protomínérios e encaixantes (Valarelli e Von Raumer, 1975) revelaram a presença de inclusões de várias gerações com diferentes frações de CO_2 .

As inclusões primárias eram mono e bifásicas, contendo quase que exclusivamente CO_2 líquido e gás enquanto que as tardias eram trifásicas com diminuição da concentração de CO_2 devido a presença de H_2O líquido de alta salinidade.

O resultado do estudo das inclusões primárias fornece um valor médio da temperatura de homogeneização entre 8 e 9°C que corresponde a uma densidade crítica de CO_2 de 0,87g/m³. (Landolf, Boernstein tables, 1960). Esse valor de densidade crítica conforme os dados de Kennedy (1974) representa um gradiente de 10°C/53 bars, fornecendo para o pico do metamorfismo de Buritirama pressões da ordem de 3.000 ± 300 atm às temperaturas consideradas de $550 \pm 50^\circ C$.

CONCLUSÕES

O estudo das assembléias mineralógicas de protomínérios e rochas encaixantes, bem como as considerações quanto à composição dos carbonatos encontrados no protomínério indicam para o pico do metamorfismo temperaturas superiores a $550^\circ C$. Os estudos de inclusões fluídas somados aos dados anteriores indicam as seguintes condições para o metamorfismo de Buritirama: $T = 550 \pm 50^\circ C$; $P = 3000 \pm 300$ atm; $\log f_{O_2} = -8$. X_{CO_2} maior que 0,8. Tais condições devem ter ocorrido durante o metamorfismo regional progressivo no ciclo orogênético transamazônico, visto os resultados das datações K/Ar e Rb/Sr fornecerem idades concordantes de 1960 m.a. Nenhum outro fenômeno de monta ocorreu depois desse evento a não ser pequenos cisalhamentos, remobilizações e acomodações.

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam expressar seus agradecimentos:

- à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo apoio dado a Srta. Rosa Maria da Silveira Bello, um dos autores (bolsa de pós-graduação) e a José Vicente Valarelli (estágio na Universidade de Berna, Suíça).

- à Cia Meridional de Mineração, na pessoa do Dr. Robert C. Dyer que forneceu meios para transporte e alojamento para coleta de amostras, além de franquear todos os testemunhos de sondagem aos autores.

- ao Prof. Dr. Sommerauer do ETH, Zurich, pelos dados de microsonda eletrônica, ao Prof. Dr. Jurgen Von Raumer da Universidade de Fribourg, Suíça, pela colaboração na obtenção dos dados de inclusões fluídas, ao Prof. Dr. Tjerk Peter da Universidade de Berna pelas suas discussões.

- ao Prof. Dr. Rainer Schultz pela sua contribuição nas discussões paragenéticas, críticas e sugestões.

BIBLIOGRAFIA

- Abrecht, J. e Peters, Tj. - 1975 - Hydrothermal synthesis of piroxenoides in the system $MnSiO_3 - CaSiO_3$ at $P_f = 2$ kb. Contrib. Mineral. Petrol. 50 : 241 - 246.
- Anderson, W.L., Dyer, R.C. e Torres, D.D. - 1974 - Ocorrências de manganês na Bacia do Rio Itacaiunas, Centro-Leste do Estado do Pará. Anais do XXVIII Congr. Bras. Geol., 6: 149 - 164.
- Beisegel, W.R., Bernardelli, A.L., Drummond, N.F., Ruff, A.W. e Tremaine, J.W. -

1973- Geologia e recursos minerais da Serra dos Carajás. Rev. Bras. Geoc., 3(4): 215 - 242.

- Bello, R.M.S. - 1978 - Condições de metamorfismo de Buritirama, Pará e de Serra do Navio, Amapá. Tese de mestrado - IG-USP, 154 pg., inédito.
- Bello, R.M.S., Candia, M.A.F., Coutinho, J.M.V. e Valarelli, J.V. - 1976 - Ocorrência simultânea de piroxangita e rodonita em protomínérios de manganês brasileiros. XXIX Congr. Bras. Geol., Belo Horizonte, Resumos, p. 315.
- Goldsmith, J.R. e Graf, D.L. - 1957 - The system $CaO - MnO - CO_2$. Solid-solution and decomposition relations. Geochimica et Cosmochimica. Acta, 11: 310-334.
- Goldsmith, J.R. e Graf, D.L. - 1960 - Subsolidus relations in the system $CaCO_3 - MgCO_3 - MnCO_3$. Journal of Geology, 68: 324-335.
- Gomes, C.B., Cordani, U.G. e Basei, M.A.S. - 1975 - Radiometric ages from the Serra dos Carajás area, Northern, Brazil. Geol. Soc. America Bull., 86: 939-942.
- Issler, R.S. - 1977 - Esboço Geológico - Tectônico do Cráton do Guaporé. Rev. Bras. Geoc., 7(3): 177-211.
- Kennedy, G.C. - 1974 - Pressure-volume-temperature relations in CO_2 at elevated temperatures and pressures. Amer. Journal Science, 252: 225-241.
- Landolf - Boernstein - 1960 - Tables - Springer Verlag, Berlin - Göttingen - Heidelberg.
- Lima, M.L.C. de, Montalvão, R.M.G. de, Issler, R.S., Oliveira, A.S., Basei, M.A.S., Araújo, J.F.V. e Silva, G.C. da - 1974 - Geologia da folha NA/BA-22, Macapá In Brasil DNRM-Proj. RADAM. Folha NA/NB 22, Macapá (Levant. Rec. Nat. 6).
- Peters, Tj., Valarelli, J.V. e Candia, M.A.F. - 1974 - Petrogenetic Grids on the system $Mn-Si-C-O-H$. Rev. Bras. Geoc., 4(1): 15-26.
- Skippen, G.B. - 1974 - An experimental model for low pressures metamorphism of siliceous dolomitic marble. Amer. J. Sci. 274: 487-509.
- Tassinari, C.C.G. - 1978 - Comunicação pessoal.
- Von Raumer, J. e Valarelli, J.V. - 1975 - Comunicação pessoal.
- Winkler, H.G.F. - 1976 - Petrogenesis of Metamorphic Rocks. Springer - Verlag New York, Heidelberg, Berlin: 112-128; 202-233.