

ESTUDO DO METAMORFISMO NAS FORMAÇÕES PROTEROZÓICAS NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MG.

F.R.M. PIRES & L.C. BERTOLINO

Departamento de Geologia - UFRJ

Abstract - The study of the metamorphism of Proterozoic units of the Quadrilátero Ferrífero is revisited in terms of the historical evolution and the application of the carbonate geothermometry method. Previous work indicates an eastward increase of the metamorphic grade and the relative distribution of the chlorite, biotite, kyanite and staurolite zones. Oxygen isotope and carbonate geothermometry values corroborate previous investigations. Microprobe analysis of coexisting calcite and dolomite indicate attainment of exchange equilibrium for samples of Águas Claras, Morro Agudo mines and Dom Bosco area. Temperatures of equilibrium obtained from calcite-dolomite pairs range from 283°C to 547°C.

Resumo - O estudo do metamorfismo das unidades proterozóicas do Quadrilátero Ferrífero é revisado em termos da evolução histórica e a aplicação do método de geotermometria por meio de carbonatos. Um mapa regional e uma tabela explicativa foi construída através da revisão de trabalhos prévios na área, confirmando um decréscimo do grau metamórfico de este para oeste e a relativa distribuição das zonas da clorita, biotita, cianita e estaurolita. Os valores termométricos obtidos através de isótopos de oxigênio e de geotermometria de carbonatos corroboram as investigações prévias. Análise de microsonda de calcita coexistente com dolomita indicam a mudança do equilíbrio para amostras das minas de Água Clara e Morro Agudo e área próximo a Dom Bosco. A temperatura de equilíbrio obtida pelo par calcita-dolomita ficou entre 283°C e 547°C.

INTRODUÇÃO

Trata o presente trabalho de uma revisão histórica sobre a evolução metamórfica do Quadrilátero Ferrífero, interessando principalmente o Supergrupo Minas, e portanto o Proterozóico. Uma ênfase maior foi voltada para os itabiritos do Grupo Itabira, tendo em vista a relativa facilidade de amostragem, sensibilidade da formação em revelar variações metamórficas e maiores possibilidades de correlações com áreas semelhantes. A evolução dos estudos e aparentemente as fases metamórficas, eventos ígneos, fases deformacionais e episódios termais constituem um atrativo para que a área seja estudada, muito embora a complexidade que cada um desses eventos causou tenha provocado muita discussão e debates. Uma

revisão dos trabalhos anteriores sobre o metamorfismo, enfocando principalmente as unidades proterozóicas reflete bem o relativo interesse e caráter intrincado do tema.

Amostras de itabirito dolomítico coletadas em vários pontos do Q.F. (Serra do Curral, Águas Claras, Sinformal Dom Bosco e Mina Morro Agudo) com objetivo de testar a aplicabilidade do método de geotermometria em carbonatos (Rice, 1977) foram analisadas através de microsonda eletrônica por um dos autores (F.R.P.) em estudos de pós-doutoramento.

Os trabalhos de microsonda foram realizados num equipamento CAMECA da Universidade do Wyoming, que decorreram no período de um ano (1986-1987) e tiveram a supervisão do Dr. B.R. Frost, do Departamento de Geologia da U.W.. Um resumo do trabalho

foi apresentado no Congresso Anual de Geologia do Geological Society of America, em Phoenix, outubro de 1987.

TRABALHOS PRÉVIOS

A primeira tentativa de estabelecer uma variação metamórfica no Quadrilátero Ferrífero deve-se a Dorr (1964) inspirado nos trabalhos de James (1955) sobre o Lago Superior, Michigan; Dorr sugeriu que as variações do tamanho do grão de quartzo na formação ferrífera seria função do metamorfismo, e demonstrou assim que na parte Este do Quadrilátero Ferrífero o grau metamórfico, mais elevado, atingiu a fácies almandina-anfibolito e que nas partes central e oeste, as rochas encontram-se sob a fácies xisto verde.

Na mesma época desenvolveram-se os trabalhos de mapeamento (Convênio USGS-DNPM) de diversas quadriculas do Quadrilátero Ferrífero que podemos analisar sob o ponto de vista metamórfico e preparar um quadro demonstrativo (Tabela I).

Ainda sob o Convênio USGS-DNPM, Herz (1960) relatou a história metamórfica do Quadrilátero Ferrífero registrada em cinco eventos datados em: 2.700, 1.930, 1.350, 1.000 e 500 m.a., sendo os quatro mais antigos relacionados a intrusão de rochas ígneas e formação de gnaisses e o último evento, de características termais e acompanhada da formação de pegmatitos. Descreveu também três maiores períodos de orogenias, sendo o mais antigo relacionado a um metamorfismo regional de alta temperatura e alta pressão na fácies granada-anfibolito. Os efeitos metamórficos na fase seguinte foram limitados a metamorfismo termal ou de contato, durante a última fase orogênica o metamorfismo foi de baixo grau, fácies xisto verde, na zona da clorita, mas localmente ocorreu granitização e metamorfismo de contato com o aparecimento de estauroilita. Posteriormente Herz (1978) tentou caracterizar o metamorfismo do Quadrilátero Ferrífero através do estabelecimento de duas isógradas metamórficas (biotita e clorita) separando três zonas (clorita, biotita e estauroilita) e sugeriu um aumento no grau metamórfico para Sul e para Este, tendo proposto cinco eventos termais sendo o final síncrono a 500 m.a. e

acompanhado pela formação de pegmatitos e retrometamorfismo. Ainda comentou que o aumento de grau metamórfico na formação ferrífera é refletida pela mudança de hematita para hematita especular, e que sob grau mais baixo os itabiritos contêm caolinita, talco, clorita e pirofilita; com o aumento do grau, tremolita-actinolita aparecem e finalmente cummingtonita-grunerita são encontrados nos graus mais elevados de metamorfismo. Schorscher (1975) sugeriu a transição cloritóide-estauroilita na zona Este do Quadrilátero Ferrífero, delineando a isógrada da estauroilita-in/cloritóide-out, entre as fácies xisto verde e anfibolito.

Em região próxima ao canto SE do Quadrilátero Ferrífero, estudando rochas arqueanas, Cordani et al. (1976) propuseram dois períodos orogênicos situados em 2.700 m.a. (Ciclo Transamazônico), que constitui a principal fase de cristalização sintectônica e metamorfismo regional, sob fácies anfibolito, e em 500-600 m.a. (Ciclo Brasileiro), caracterizado por metamorfismo retrógrado, e tectônica de empurrões e fraturamento regional.

Pires (1979) observou que na região da junção das Serras do Curral e Moeda, o metamorfismo atingiu grau baixo com a presença de clorita e sericita nos filitos e Mg-riebeckita e grunerita, hematita micácea após magnetita, nos itabiritos formados durante a fase D_1 de deformação; porfiroblastos de muscovita em placas submilimétricas não orientadas nos filitos e quartzitos de grã fina, foram interpretados como originados pós-fase D_1 .

Hackspacher (1980) referiu-se ao metamorfismo na área do depósito de Águas Claras como tendo ocorrido recristalização sin a pós-deformação, "no qual a foliação S_1 é caracterizada pelo desenvolvimento de sericita"; talco, clorita e hematita especular foram igualmente formados ao longo de S_1 -planos.

Guba (1981) descreveu a deformação em Morro Agudo tendo relatado que hematita micácea e especularita ocorrem na zona central da jazida e magnetita em bandas junto aos contatos. Observou cianita e granada nos quartzitos ferruginosos e granada, estauroilita,

TABELA I

ÁREA AUTOR (DATA)	UNIDADE LITOLÓGICA			FÁCIES	OBSERVAÇÕES
	ITABIRITO	DOLOMITO	PELITO	METAMÓRFICO	
Congonhas Guild (1957)	Ta, chl, trem act	Ta, chl, anf, musc.	Se, musc, chl Ky, gra, ctd.	Xisto verde	Anomalia metamórfica para produzir paragé-ese de grau mais alto nos pelitos em Paço Fundo.
Nova Lima / Rio Acima Gair (1962)	Bi, chl, trem ?	Se	Se, Ky, chl, Bi	Baixo grau	Granada e estauroлита, encontradas em Sabará.
Dom Bosco / Ouro Branco Johnson (1962)	Se, Ta, anf cumm (?)	Se, chl, act, phl, cumm? Bi, trem.	Se, chl, Bi ctd, epi ou stp, sph, ap, turm, zo, ky	Xisto verde (zonas da clorita e biotita)	Cianita considerada hidro- mal; diopsídio, epidoto, actinolita em BIF arqueano, antes considerado como Minas.
Itabira Dorr e Barbosa (1963)	Ta, chr, chl, Bi ou stp.		Se, gra, turm, Ky	Xisto verde	Sericita e granada no Saba- rá; veios de andalusita- muscovita e coríndon.
Itabirite-Maca- cos . Pomerene (1964)	Ta, chl, pyr, anf.	Ta	Chl	Fraco (mild)	Estauroлита e granada no Sabará; veios de andalusita- muscovita e coríndon.
Pico do Itabirito Wallace (1965)	Bi, chl, Ta Kao, turm.	Chl	Se, fuchs, Ky, pyr, chl, musc, turm.	Baixo grau (zona da clorita)	Estauroлита na formação Nova Lima.
Monlevade / R. Piracicaba Reeves (1966)	Act, hbl, Se-musc, Bi, gra.		musc Se, Bi, ap, Ky, gra, est.	Almandina- anfíbolito	Gnaisses e xistos da formação Elefante no topo do Supergrupo Minas
W-Serra do Curral Simmons (1968)	Trem, comm- kupf.		Chl, Se, turm.	Baixo grau	Granada no Sabará.
Barão de Cocais Simmons (1968)	Trem, act?	Se, chl	Se, chl	Baixo grau (zona clorita)	Clorita, cianita no quartzito Cambotas. Andalusita no xisto do embasamento.
Gongo Soco Moore (1969)	Se, bi, trem.	Se, Ta, phl	Se, chl, ctd, sph, stp, epi?	Xisto verde	Sericita, clorita, epidoto no Sabará.
Alegria Maxwell (1972)	Anf, Ta	Musc, chl	Se, chl, Ky, musc, turm, fuch	Zona da clorita-biotita	Cloritóide no quartzito Cambotas.

Abreviações : Ta = talco; chl = clorita; trem = tremolita; act = actinolita; anf = anfíbolio; musc = muscovita; se = sericita; Ky = cianita; gra = granada; ctd = cloritóide; Bi = biotita; phl = flogopita; sph = titanita; cumm = cummingtonita; epi = epidoto; ap = apatita; turm = turmalina; zo = zoisita; stp = estiplomelana; pyr = pirita; hbl = hornblenda.

hornblenda, magnetita, biotita, "amianto" e talco no xisto verde, interpretado como uma intrusão básica; cianita, estauroлита, "amianto" e magnetita foram encontrados orientados segundo eixos F_1 , ocorrendo alguma reorientação da cianita pelos eixos F_2 .

Estudando o depósito de Timbopeba, Lauenstein (1983) caracterizou três diferentes associações minerais com temperaturas correspondentes: 1) Itabirito com talco, formado as expensas da reação dolomita + quartzo + H_2O em temperatura de $390^{\circ}C$; 2) Itabirito com anfibólio tremolita, por transformação do talco e/ ou dolomita em temperaturas de $430^{\circ}C$; 3) Itabirito com diopsídio, por modificações na tremolita e/ou dolomita em faixa térmica entre 490° e $580^{\circ}C$.

Müller et al. (1982) confirmaram a existência das duas zonas metamórficas de Schorscher (1975), utilizando-se das temperaturas de formação de pares de quartzo-óxido de Fe obtidas pela determinação dos valores de $d^{18}O$; na zona oeste do Quadrilátero Ferrífero (fácies xisto verde) o quartzo é mais enriquecido em "oxigênio pesado", que na zona este, em fácies anfibolito.

Rosiére (1983), estudou a região do Pico do Itabirito e concluiu que no itabirito a magnetita é pré-deformativa, tendo sofrido martitização e a hematita apresenta-se em diferentes gerações: Hematita I (em agregados de cristais xenomórfos, em parte produto de martitização); ambas sofreram recristalização sintectônica durante a fase D_1 de deformação. Hematita II, em cristais xenomórfos a hipidiomórfos orientados preferencialmente segundo a xistosidade S_1 . Especcularitas I e II, de origem sin-deformativa, encontram-se orientadas segundo S_1 (Especcularita I) e subordinadamente segundo S_2 (Especcularita II), formada durante o desenvolvimento de S_2 -planos.

Pires et al. (1984) caracterizaram 2 fases metamórficas (M_1 e M_2) na região de Dom Bosco, sendo a primeira (M_1) coincidente com a fase D_2 de deformação; durante M_1 (progrado e de fácies xisto verde) foram

identificados quartzo, muscovita, sericita, clorita, cloritóide, cianita, topázio, magnetita e hematita nos pelitos. Durante M_2 , tardi- ou pós- D_3 foram formados muscovita, cloritóide e pirofilita. Posteriormente (Pires e Neves, 1985) foi observado que os minerais considerados como tendo se desenvolvido ao longo de S_2 foram na realidade formados segundo a xistosidade S_1 e portanto sin- D_1 . Delinearam a isógrada da cianita na região a oeste de Ouro Preto, sugerindo a ausência de topázio na zona da cianita-in.

Quémeneur (1984) propôs, para o Sinclinal Dom Bosco, a existência de 4 fases deformacionais e 5 eventos metamórficos (quatro afetando a sequência Minas). Interpretou que o crescimento de cianita e cloritóide se verificou após ou no final da fase tectônica D_1 e talvez no início de D_2 ; durante a fase D_1 acreditou terem se formado muscovita e clorita. Descreveu no capítulo de metamorfismo pós-tectônico, "de contato", fibras de anfibólio (grunerita ou cummingtonita) nos itabiritos do viaduto do Funil, aparentemente por reativação do Complexo Bação.

Chemale Jr. et al. (1987) sobre a região de Itabira notaram a existência de uma fase metamórfica sin- D_1 variando de xisto verde de anfibolito inferior, com o aumento de grau da mina da Conceição para a mina do Cauê e das partes internas do Sinclínório de Itabira para rochas vulcano-sedimentares, mais externas e profundas; na mina da Conceição observaram a passagem da clorita para biotita e na mina do Cauê ocorrendo rochas de fácies xisto verde superior a anfibolito inferior, com granada e tschermakita em anfibolitos; descreveram sericita, carbonato, clorita, biotita e apatita, além de quartzo, hematita e rara magnetita martitizada nos itabiritos; mencionaram (Evangelista et al., 1986), que nas minas Cauê, Dois Córregos e Conceição a temperatura atingida durante a fase metamórfica principal foi de 410 a $540^{\circ}C$. Registraram, localmente, a recristalização metamórfica de sericita, clorita e opacos nas clivagens formadas durante D_3 , e minerais pós- D_3 (biotita, muscovita e cloritóide e

possivelmente granada).

Estudos texturais (Gomes, 1986a) revelaram a formação de protomilonitos (S_1) nos gnaisses e metassedimentos na zona próxima do contato do domo do Baçõ e concomitante formação dos minerais metamórficos principais nos xistos Nova Lima. Essa paragênese metamórfica foi estudada com ponto de vista geotermométrico (Gomes, 1986b), tendo obtido no par granada-biotita temperaturas entre 520 ° e 750°C, (600 ° a 710 °C no par granada-cordierita), segundo diagrama de Thompson (1976), 500 ° e 750°C e 520° e 690°C (Perchuk et al., 1981). Ainda segundo o trabalho de Perchuk, as condições báricas oscilaram entre 6,0 e 7,2 Kbar. O par granada-cordierita utilizado para análise geobarométrica, segundo Lee e Holdaway (1977) entre 5,4 Kbar (700°C) e 5,8 Kbar (720°C) e Perchuk et al. (1981) entre 5,0 Kbar (600°C) e 6,8 Kbar (700°C).

METAMORFISMO E GEOTERMOMETRIA

Um resumo dos estudos metamórficos sobre o Quadrilátero Ferrífero pode ser observado na Fig. 1. Nesse mapa pode-se observar os valores consistentes da geotermometria de carbonatos e de isótopos de oxigênio na região do Sinformal Dom Bosco. Na região de Morro Agudo ocorrem discrepâncias, provavelmente devido a re-equilíbrio termal brasileira.

Os estudos geotermométricos em carbonatos datam desde meados da década de 50 (Graf e Goldsmith, 1955), culminando com os trabalhos de Rice (1977), que estabeleceu a equação para determinação do equilíbrio termodinâmico em função da fração molar de $MgCO_3$ na molécula de calcita em coexistência com dolomita, e da temperatura absoluta.

Pelo mapa (Fig. 1) pode-se observar a distribuição de quatro zonas metamórficas (clorita, biotita, cianita e estauroilita) seguindo aproximadamente a configuração das unidades proterozóicas e conseqüentemente os pacotes estratigráficos (Herz, 1978). Pode-se notar a maior área de ocorrência da zona da clorita nas partes oeste e centroeste

(Antiformal Curral e Sinformal Moeda) com trechos da zona da cianita e biotita. Grande parte da zona da biotita ocupa área do Greenstone Belt Rio das Velhas. A zona da estauroilita abrange trechos restritos no Sinformal Dom Bosco e faixa sobre rochas consideradas anteriormente na Formação Sabará, atualmente relacionadas ao Grupo Nova Lima. Na zona de grau mais elevado foi delineada isógrada da estauroilita (Schorsch, 1975 e Müller et al., 1982) baseado na transição cloritóide-estauroilita e geotermometria em isótopos de oxigênio. Essa isógrada separa zonas de temperaturas acima de 500°C (faixa 512-814°C) e abaixo ou ligeiramente ao redor de 500°C (faixa 394-572°C). A área próximo a Itabira parece corresponder a reaquecimento diferencial ou englobar áreas com estauroilita no embasamento.

Uma isógrada restrita da cianita no Sinformal Dom Bosco (Pires e Neves, 1985) que coincide aproximadamente com a zona da estauroilita delimita também o aparecimento e estabilidade do topázio. Os valores geotermométricos através de isótopos de oxigênio são mais elevados que os obtidos em carbonatos, apesar de ter sido estudada a mesma formação, sendo enigmática a razão da discrepância, se considerarmos alguns dados muito próximos como no Funil (520 e 500°C) e Ouro Preto (544 ° e 594°C). Aparentemente o erro verificado na obtenção dos valores isotópicos, da ordem de 100°C nos casos extremos e 25°C nos menores pode ser interpretado como origem das divergências.

$$\text{Log}_{10}X = -1690/T(^{\circ}\text{K}) + 0.795$$

Onde X é a fração molar de $MgCO_3$ existente na calcita em equilíbrio com a dolomita e T a temperatura absoluta (°K). Aplicando-se a equação acima em amostras de itabirito carbonático do Morro Agudo, Pedreira Rodeio e Hargreaves (Sinclinal Dom Bosco) e Mina Aguas Claras, analisados em microsonda eletrônica, foi preparada a tabela com os resultados (Tabela II). Nota-se relativa concordância com os valores obtidos por Souza e Müller (1988) e padrão geral de

decréscimo termal de este para oeste nos valores de Müller et al. (1982). Devido a ter considerado como integrantes do SGr. Minas os xistos da Formação Sabará a isógrada da biotita (Herz, 1978) a norte da Serra do Curral

se prolonga demasiadamente na zona da clorita. Entretanto o delineamento das isógradas é compatível com os valores termométricos.

TABELA II

Análise química de carbonatos (fração molar)

LOCALIDADE: MORRO AGUDO

AMOSTRA: MA 6781

	21	22	26	30	31	34	MÉDIA
Ca	0,9030	0,9129	0,8794	0,8657	0,8807	0,8647	0,8844
Mg	0,0113	0,0124	0,0066	0,0076	0,0059	0,0074	0,0085
Fe	0,0087	0,0052	0,0000	0,0000	0,0002	0,0000	0,0023
Mn	0,0719	0,0706	0,1247	0,1356	0,1219	0,1379	0,1104
T°C	398	400	341	356	341	353	367

AMOSTRA: MA 6775

	39	40	41	MÉDIA
Ca	0,9801	0,9693	0,9894	0,9796
Mg	0,0219	0,0249	0,0106	0,0191
Fe	0,0060	0,0047	0,0050	0,0052
Mn	0,0008	0,0004	0,0000	0,0004
T°C	473	499	387	460

LOCALIDADE: PEDREIRA RODEIO

AMOSTRA: 1504

	6	7	15	18	19	20	MÉDIA
Ca	0,8993	0,9474	0,9155	0,9427	0,9350	0,9505	0,9278
Mg	0,0230	0,0252	0,0258	0,0179	0,0234	0,0236	0,0229
Fe	0,0609	0,0487	0,0510	0,0416	0,0501	0,0526	0,0529
Mn	0,0058	0,0066	0,0065	0,0104	0,0087	0,0083	0,0083
T°C	492	499	507	454	490	488	487

LOCALIDADE: ÁGUAS CLARAS

AMOSTRA: 0029

	4	5	7	9	12	MÉDIA
Ca	0,9514	0,9588	0,9640	0,9682	0,9614	0,9608
Mg	0,0025	0,0066	0,0028	0,0026	0,0023	0,0034
Fe	0,0030	0,0092	0,0050	0,0126	0,0205	0,0101
Mn	0,0048	0,0085	0,0123	0,0073	0,0090	0,0084
T ^o C	260	341	268	262	253	283

LOCALIDADE: HARGREAVES

AMOSTRA: LF 492

	17	27	33	MÉDIA
Ca	0,8851	0,8893	0,9041	0,8928
Mg	0,0257	0,0216	0,0217	0,0230
Fe	0,0707	0,0682	0,0655	0,0681
Mn	0,0098	0,0115	0,0119	0,0111
T ^o C	508	483	481	491

AMOSTRA: LF 492

	1	7	8	10	13	MÉDIA
Ca	0,8713	0,8863	0,8751	0,8750	0,8775	0,8770
Mg	0,0364	0,0271	0,0328	0,0334	0,0350	0,0329
Fe	0,0304	0,0234	0,0300	0,0280	0,0250	0,0274
Mn	0,0705	0,0655	0,0639	0,0619	0,0672	0,0658
T ^o C	549	515	547	550	557	547

BIBLIOGRAFIA

- CHEMALE Jr., F., 1987. Tektonische, lagerstättenkundliche und petrographische untersuchungen in Eisenerzrevier Itabira, Minas Gerais, Brasilien: Clausthaler. Dokt. Diss. 140 p.
- CORDANI, U.G., KAWASHITA, G., MÜLLER, G., QUADE, H., REIMER, V. & ROSER, H., 1976. Interpretação tectônica e petrológica de dados geocronológicos do embasamento no bordo sudeste do Quadrilátero Ferrífero, MG. In: An. Acad. bras. Ciênc., v. 48 (4). Rio de Janeiro.
- DORR, J.V.N., 1964. Supergene iron ones of Minas Gerais, Brazil: *Econ. Geol.*, V. 59, p. 1204-1240.
- GRAF, D. & GOLDSMITH, J. R., 1955. Dolomite-magnesian-calcite-relations at elevated temperatures and CO₂ pressures. *Geoch. et Cosmoch. Acta*, v. 7, p. 109-128.
- GOMES, C.J.S., 1986a. Estudos estruturais e texturais no Complexo de Bação e nos metassedimentos adjacentes, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: *CONG. BRAS. GEOL.*, 34, Goiânia, 1986. SBG, V. 3, p. 1232-1245.
- GOMES, N.S., 1986b. Determinações

- geotermométricas e geobarométricas em paragêneses minerais de alto grau metamórfico no Complexo do Baçõ, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: *CONG. BRAS. GEOL.*, 34, Goiânia, 1986. SBG, V. 4, p. 1424-1436.
- GUBA, I.V., 1981. Strukturgeologische Untersuchungen im Eisenreicherzkoerper der Morro Agudo im Nordesten des Eisernen Vierecks/Minas Gerais, Brasilien: *Zbl. Geol. Palaont.*, V. 1, p. 385-396.
- HACKSPACHER, P.C. 1979. Strukturelle und texturelle Unterktuelle zur internen deformation des Eisenreicherzkoerpers der Grube Águas Claras, bei Belo Horizonte/Minas Gerais, Brasilien: *Clausthaler Geol. Abh.*, 34: 164 p..
- HERZ, M., 1960. Minor element abundance in a part of the Brazilian shield. *Geoch. et Cosmoch. Acta*, v. 21, n 12. p. 81-89.
- HERZ, M., 1978. *Metamorphic Rocks of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil*. Washington. *USGS-Prof. Paper*. 641-c, 81p..
- JAMES, H.L., 1955. Zones of Regional metamorphism in the Precambrian of Northern Michigan: *Geol.Soc. America Bull.*, V. 66, p. 1455-1488.
- LAUENSTEIN, V.H.J., 1983. Fazieskretische mineralparagenesesh im Bereich der Eisenerzgrube Timbopeba im ostlichen Grenzbereich des Eisernen Vierecks, Minas Gerais, Brasilien: *Zbl. Geol. Palaont.*, V. 1, p. 472-481.
- LEE, S.M. & HOLDAWAY, M.S., 1977. Significance of Fe-Mg cordierite stability relations on temperature, pressure and water pressure in cordierite granulites. *Geophys. Monogr.* 20: AGU, p. 79-94, Washington.
- MULLER, G; HOEFS, J. and SCHUSTER, H.K., 1982. Polymetamorphic relations of oxygen isotope variations with deformation history. *Contrib. Mineral. Petrol.*, v. 79, p. 241-251.
- PERCHUCK, L.L.; PODLESSII, K.K. & ARNOVI, C.H.L., 1971. Calculation of thermodynamic propersties of end-member minerals from natural parageneses. In: R.C. NEWTON, A.; NAVROTSKY, B.J. WOOD, Eds.: *Thermodynamics of Minerals and Melts*, p. 111-129. Springer., New York.
- PIRES, F.R.M, 1979. Structural geology and stratigraphy at the junction of the Curral Anticline and Moeda Syncline: Unpub. PhD thesis, Michigan Technological University ,220 p..
- PIRES, F.R.M.; PALERMO, N. e SARCIA, M.N.G., 1984. Análise de deformação e revisão lito-estratigráfica do Supergrupo Minas no Sinclinal Dom Bosco, Quadrilátero Ferrífero, MG.. In: *CONG. BRAS. GEOL.*, 33, Rio de Janeiro. 1984. p. 3151-3165.
- PIRES, F.R.M. e NEVES, M.T., 1985. Gênese dos depósitos de cianita do Distrito de Ouro Preto, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: *III SIMP. GEOL. MINAS GERAIS*, V. 5, P. 251-263.
- QUÉMENEUR, J., 1984. Contribuição a tectônica e ao metamorfismo da região de Rodrigo Silva oeste de Ouro Preto (MG). In: *CONG. BRAS. GEOL.*, 33, Rio de Janeiro, 1984, SBG. Resumos, p. 180-181.
- RICE, J.M., 1977. Contact metamorphism of impure dolomitic limestone in the Boulder aureola. *Montana. Contrib. Mineral. Petrol.*, n 59, p. 237-259.
- ROSIÉRE, C.A., 1983. A recrystalização do minério de ferro da Jazida do Pico de Itabirito no Quadrilátero, MG. e suas implicações genéticas: In: *II SIMP. GEOL. DE MINAS GERAIS*, p. 173-186.
- SCHORSCHER, H.D., 1975. Entwicklung des polymetamorphen Prakambrisehen raumes Itabira, MG, Brasilien. *Reipreeth-Karl Universtat, Heidelberg*. 340 p..
- SOUZA, P.C. E MULLER, G., 1988. Geotermometria em rochas da Formação Gandarela, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. In: *CONG. BRAS. GEOL.*, 35, Belém, 1988. V. 3, p. 1193-1202.
- THOMPSON, A.B., 1976. Mineral reactions in pelitic rocks: I Prediction of P-T-X (Fe-Mg) phase relations. *Amer. Jour. Sci.* 276, p. 401-424.