



As Formações Ferríferas do *Greenstone Belt* Morro do Ferro no Sudoeste do Estado de Minas Gerais

Nedson Humberto Fernandes^a, Sebastião Gomes de Carvalho^b & Tânia Maria Gomes Fernandes^a

Recebido em 12 de Maio de 2003 / Aceito em 07 de julho de 2003

Resumo

Estudos geológicos e petrográficos, acompanhados de análises de química de rocha dosadas para elementos maiores, foram realizados nos principais horizontes das formações ferríferas nas proximidades do depósito Fortaleza de Minas. Estes sedimentos químicos estão intimamente relacionados às lavas de filiação komatiítica pertencentes ao *greenstone belt* Morro do Ferro (GBMF). Geralmente, ocorrem como camadas contínuas e corpos lenticularizados descontínuos por vários quilômetros, exibindo estruturas bandadas e maciças. A estrutura bandada é evidenciada pela alternância de leitos escuros ricos em minerais opacos (predominantemente magnetita), e leitos esverdeados e esbranquiçados constituídos por minerais silicáticos (anfíbólios, clorita e quartzo, respectivamente). Nas formações ferríferas, ocorrem principalmente as fácies óxido-silicato e silicato, cada uma contendo vários outros subtipos, caracterizados através dos aspectos mineralógicos, texturais e estruturais. As análises dos elementos maiores mostraram similaridades geoquímicas entre as formações ferríferas do GBMF (fácies óxido-silicato e silicato) com as formações ferríferas Pré-Cambrianas da América do Norte, Austrália e África do Sul.

Palavras-Chaves: Formações Ferríferas Bandadas; Fácies Óxido-Silicato e Silicato; Geoquímica de Elementos Maiores

Abstract

Geologic and petrographic studies followed by major element chemical analysis were carried in rocks from the main iron-formations horizon around the Fortaleza de Minas deposits. These chemical sediments are intimately associated with komatiitic lavas, which belong to the Morro do Ferro greenstone belt. They generally form continuous layers and several kilometers discontinuous lenticular bodies, showing banded and massive structures. The banded structure is due to the alternation of dark beds rich in opaque minerals (chiefly magnetite), and green to white bands composed of silicates (amphibole, chlorite, and quartz). Oxide-silicate and silicate facies are the most common types that have many other subtypes, characterized by mineralogical, textural, and structural aspects. Analyses of the major elements in these rocks show similarities between the GBMF iron formations with Precambrian iron-formations of North America, Australia, and South Africa.

Keywords: Banded Iron-Formations; Oxide-Silicate and Silicate Facies; Major Elements Geochemistry

^aDepartamento de Geologia/CC/UFC, Bloco 912 - Campus Universitário do Pici - Fortaleza (CE)
 Tel.: (85) 288 – 9867, E-mail: nedsonhf@bol.com.br; taniamgf@bol.com.br

^bDepartamento de Petrologia e Metalogenia/IGCE/UNES, Av. 24 – A, 1515, Bela Vista – Rio Claro (SP)
 Tel.: (19) 3526 – 2809, E-mail: carvalho@rc.unesp.br

1. Introdução

As formações ferríferas bandadas presentes na região de Fortaleza de Minas (MG) ocorrem intercaladas em sucessões vulcano-sedimentares, localmente designadas como seqüências Inferior, Intermediária e Superior. Estas três sucessões integram o *greenstone belt* Morro do Ferro (GBMF), no sudoeste do estado de Minas Gerais (Brenner et al., 1990).

As sucessões inferiores e superiores exibem similaridades e consistem de vários derrames de basaltos komatiíticos e, subordinadamente, lentes de peridotitos komatiíticos portadores de textura *spinifex* interacamadados com os derrames basálticos. Em ambas às sucessões ocorrem vários e delgados níveis de formações ferríferas (fácies óxido-silicato e silicato). Um descontínuo e delgado nível de formação ferrífera (fácies óxido-silicato) marca o limite da seqüência Inferior com a seqüência Intermediária. A seqüência Intermediária é constituída por quatro ciclos vulcânicos, também separados entre si por níveis de formações ferríferas bandadas. Cada um desses ciclos apresenta, da base para o topo, pacotes pouco espessos de serpentinito, piroxenito e anfíbolito.

O presente trabalho tem como objetivo mostrar a distribuição e comportamento espacial das formações ferríferas bandadas, a caracterização petrográfica, bem como o padrão geoquímico dos elementos maiores, dando ênfase ao estabelecimento de sua faciologia.

2. Geologia Regional

O GBMF está inserido na Província Estrutural Tocantins de Almeida et al. (1981), limitado a noroeste e a leste pela Província São Francisco e a sul pela Província Mantiqueira.

O GBMF de Teixeira (1978) e Teixeira & Danni (1979) constitui um segmento linear, com largura média de 30 km, estendendo-se desde as proximidades da cidade de Cássia até Lavras (MG), por mais de 180 km (Brenner et al., 1990). Compõe-se por uma série de fatias subverticais e tem sua maior porção a sudeste de Fortaleza de Minas e a sul de Alpinópolis (Fig. 1). O GBMF

apresenta derrames komatiíticos com textura *spinifex* (Schmidt, 1983, Choudhuri et al., 1983), semelhantemente a vários *greenstones belts* arqueanos, além da presença de corpos de sulfetos maciços vulcanogênicos (VMS) de Ni - Cu - Co, na base desses derrames (Brenner et al. 1990). A porção mais contínua desse *greenstone belt* aflora entre Fortaleza de Minas e Bom Jesus da Penha por uma distância maior que 60 km. Teixeira et al. (1987) subdividiram o GBMF em três segmentos principais: Fortaleza de Minas, Alpinópolis e Bom Jesus da Penha – Jacuí (Fig. 2).

A unidade Morro do Níquel, base do segmento Fortaleza de Minas, contém o depósito Fortaleza de Minas, com cerca de 10 milhões de toneladas a 2,2% de Ni, 0,4% de Cu, 0,05% de Co e 1,2 ppm de EGP + Au. Essa unidade é composta por uma sucessão de derrames komatiíticos maciços e diferenciados, com zonas basais cumuláticas e zonas superiores com textura *spinifex*, além de derrames almofadados e brechas de fluxo. Os sedimentos químicos são constituídos, principalmente, por formações ferríferas bandadas fácies óxido-silicato e silicato (Fernandes et al., 1997; Fernandes, 1997). Fácies manganésíferas e sedimentos tufáceos também ocorrem como intercalações conjuntamente com as formações ferríferas bandadas, marcando o ciclo de um derrame vulcânico para outro.

A unidade Morro do Ferro, topo do segmento Fortaleza de Minas, é composta por sedimentos químicos (formação ferrífera bandada – fácies óxido), clásticos e tufáceos, com derrames vulcânicos subordinados de composição komatiítica, localmente apresentando texturas *spinifex* e cumuláticas e toleítica (Brenner et al., 1990).

O segmento Alpinópolis é composto, principalmente, por komatiitos com textura *spinifex* e, subordinadamente, vulcânicas básicas, formações ferríferas bandadas e *cherts* (Carvalho, 1982; Szabó, 1989; Carvalho 1990; Carvalho et al., 1993; Szabó, 1996).

O segmento Bom Jesus da Penha – Jacuí ocorre a sul e leste do segmento Fortaleza de Minas, constituída, predominantemente, por

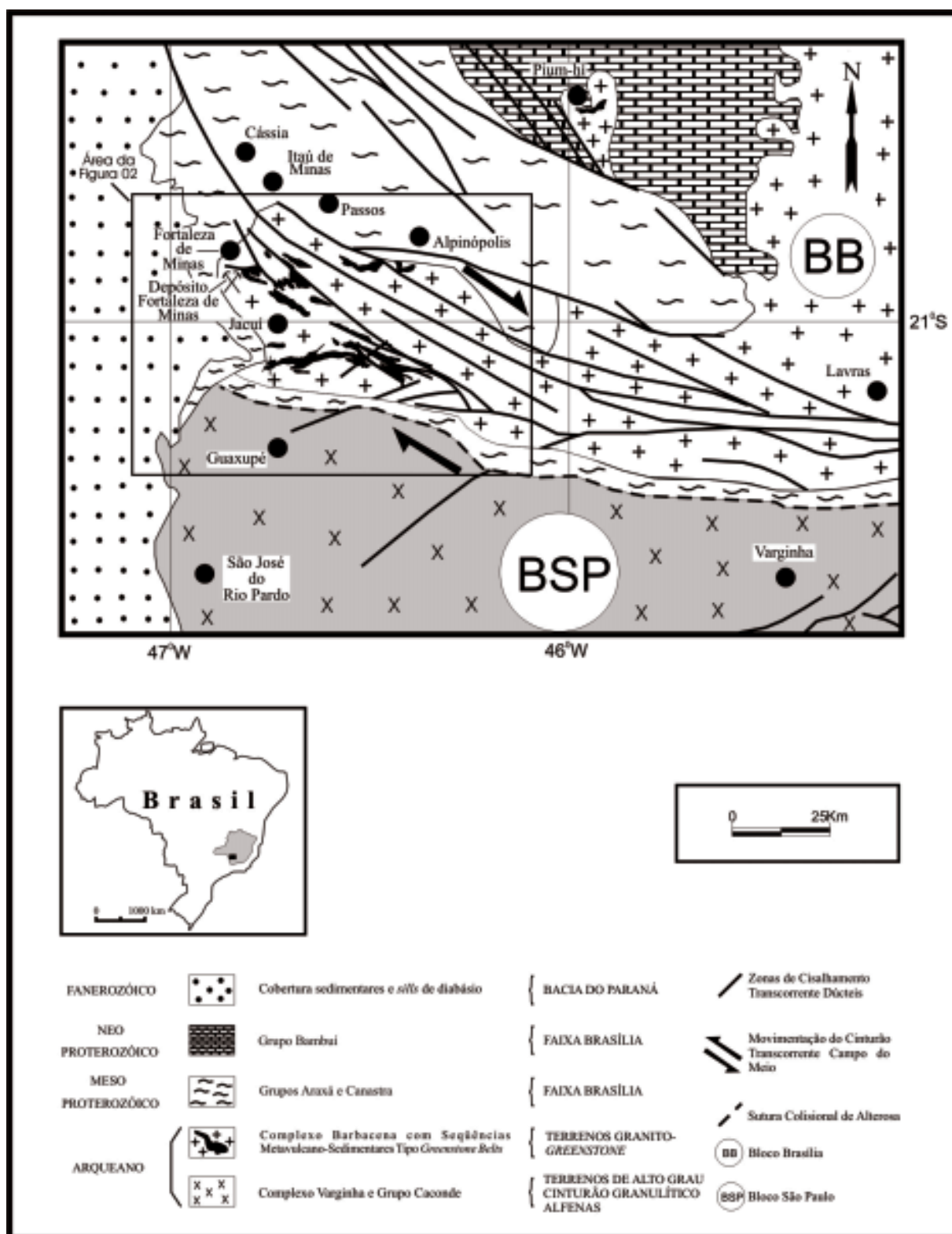


Fig. 1. Entidades geotectônicas na Província Tocantins no sudoeste do estado de Minas Gerais. Fonte: Schobbenhaus *et al.* (1981).

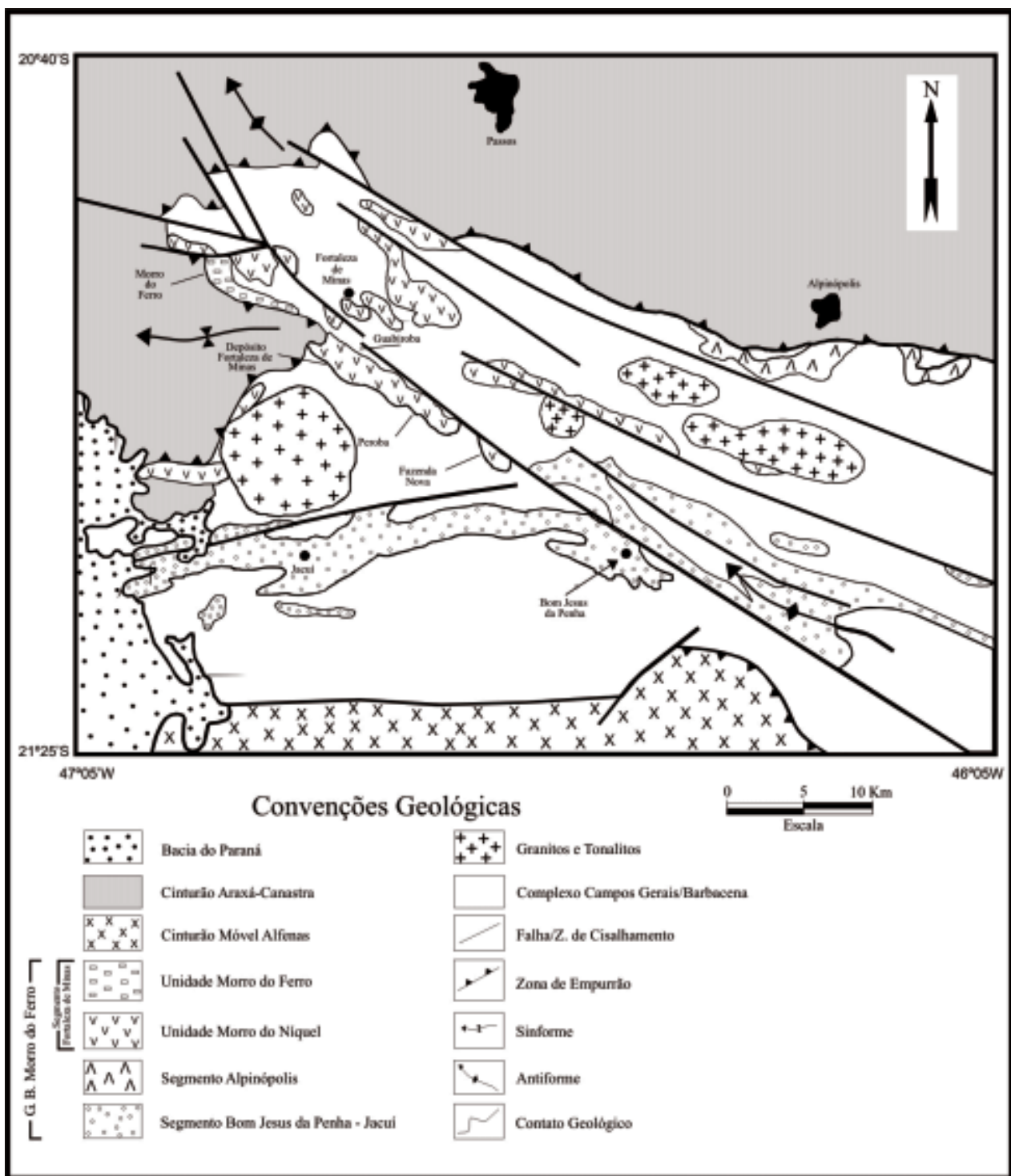


Fig. 2. Mapa de localização do *greenstone belt* Morro do Ferro (GBMF) no sudoeste do estado de Minas Gerais. Fonte: Brenner *et al.* (1990).

metassedimentos aluminosos com menores proporções de metabasaltos, anfibolitos e talco xistos (Brenner *et al.*, 1990).

3. As Formações Ferríferas do GBMF

Na região de Fortaleza de Minas, as formações ferríferas bandadas presentes no GBMF ocorrem como níveis mais ou menos

delgados em uma espessa pilha composta por rochas vulcânicas (serpentinóis, metapiroxenóis, metaperidotóis e metabasaltos). Esses horizontes, que representam períodos de quiescência do vulcanismo, apresentam espessuras variáveis desde milímetros (microlaminações a microbandamento) até metros (macrobandamento). Geralmente, formam corpos lenticularizados, podendo apresentar continuidades por vários quilômetros.

As formações ferríferas bandadas exibem estruturas bandadas e/ou maciças. A estrutura bandada é caracterizada pela alternância de leitos escuros ricos em minerais opacos (predominantemente magnetita), esverdeados e esbranquiçados, constituídos por minerais silicáticos (anfíbólios, clorita e quartzo). Subordinadamente, ocorrem leitos constituídos de sulfetos que se alternam com as camadas de composição silicatadas e óxidos. Os diferentes tipos de anfíbólios representados nas formações ferríferas do GBMF foram caracterizados através de química mineral em microsonda eletrônica.

Levando-se em consideração os aspectos mineralógicos e texturais das formações ferríferas bandadas relacionadas ao GBMF em Fortaleza de Minas, foi possível caracterizar as fácies óxido-silicato e silicato, que, por sua vez, foram subdivididas em sete litotipos principais (Tab. 1).

3.1. Fácies Óxido-Silicato

A fácies óxido-silicato é representada, principalmente, pela presença de magnetita. A magnetita ocorre, principalmente, em níveis nos tipos bandados alternados com quartzo + anfíbólios + clorita, e disseminada nos interstícios dos minerais silicáticos nos tipos de transição para a fácies silicato.

Os termos bandados apresentam-se, caracteristicamente, com coloração cinza-clara a cinza-esverdeada, subordinadamente escura, e com granulometria fina a média. Os micro, macro e mesobandamentos são caracterizados pela alternância rítmica de níveis magnetíticos contínuos, de coloração escura, e níveis silicáticos compostos por ferro-actinolita, hornblenda, membros da série cummingtonita-grünerita,

quartzo e subordinadamente clorita.

As espessuras das bandas oscilam de milímetros (microbandas) a centímetros (mesobandas) nas porções mais silicáticas, e de submilimétrica a milimétrica (microbandas e microlaminações) nas porções contendo minerais sulfetados e óxidos (Foto 1). As microlaminações e mesobandas são plano-paralelas, muitas vezes difusas, onduladas ou levemente dobradas. O contato entre estes níveis é, em geral, brusco ou com gradação entre as bandas, dada pela presença de magnetita ocorrendo intersticialmente aos minerais silicáticos. Diversas gerações de fraturas afetam, discordantemente, o bandamento principal da rocha, preenchidas por remobilizações de carbonatos e sulfetos (pirrotita, calcopirita e pentlandita).

Microscopicamente, a fácies óxido-silicato possui textura granonematoblástica a granolepidoblástica, com fenoblastos de anfíbólios, até porções com textura milonítica, em regiões mais deformadas, caracterizadas por anfíbólios pisciformes. Orientação segundo uma direção é marcada por ripas de anfíbólios e clorita, anfíbólios pisciformes e quartzo recristalizado (grãos recuperados com forte extinção ondulante). Mineralogicamente, é composta principalmente por proporções variadas entre os membros da série cummingtonita-grünerita, ferro-actinolita, hornblenda, magnetita, clorita, quartzo, carbonato, pirrotita, calcopirita e pentlandita. Esta rocha pode ser subdividida em outras duas variedades (subtipos), levando-se em consideração a predominância de ocorrência do tipo de anfíbólio determinado em microsonda eletrônica com a magnetita. A primeira variedade é composta por clinoanfíbólios com alto teor de cálcio (ferro-actinolita e hornblenda) e a segunda é composta por clinoanfíbólios com baixo teor de cálcio, representados pelos membros da série cummingtonita-grünerita.

O termo não-bandado é, caracteristicamente, homogêneo, com coloração cinza-esverdeada e granulometria média a fina. De maneira geral, destaca-se a ocorrência granular da magnetita envolta intersticialmente e aleatoriamente por minerais silicáticos, principalmente ferro-

Tab. 1. Resumo das fácies e litotipos das formações ferríferas bandadas do *greenstone belt* Morro do Ferro.

FÁCIES	SUB-UNIDADE	TIPOS DE ANFIBÓLIO	MINERALOGIA OPACA	ESTRUTURA/TEXTURA
* Óxido-Silicato	* Micro a mesobandada com predominância de clinofibólitos cálcio-magnesianos * Micro a mesobandada com predominância de clinofibólito Fe-Mg-Mn	* Predominância de ferro-actinolita e hornblenda * Predominância de cummingtonita-grünherita	* Ambas associações apresentam predomínio de magnetita dispostas em bandas, com pirrotita como mineral acessório e calcopirita com pentlandita como traços, respectivamente * Magnetita ocorre intersticialmente entre grãos de anfibólios, com pirrotita e calcopirita ocorrendo em pequenas venulações	* Texturas granomatemoblástica a porfirogranomatemoblástica até miloníticas em porções de mais alta deformação (anfibólios pisciformes) * Sem bandamento característico (naciça), com orientações incipientes de magnetita octaédrica. Textura grano-natemoblástica
	* Sem bandamento com cristais de magnetita geralmente com hábito octaédrico envolvidos aleatoriamente por minerais silicáticos	* Ferro-actinolita, hornblenda e cummingtonita-grünherita ocorrendo proporcionalmente	* Predominância de traços de pirrotita e calcopirita. Magnetita não ocorre nesta fácies	* Micro a mesobandamento de quartzo e anfibólios. Texturas nematogramoblástica a nematemoblástica
	* Micro a mesobandada sem magnetita e com pouco sulfeto	* Proporções variadas de ferro-actinolita e cummingtonita-grünherita	* Predomínio de pirrotita, com magnetita e calcopirita subordinada	* Textura brechada com grãos cisalhados, milonitizados, com formas ovóides, arredondadas até subangulosas de quartzo, anfibólio e carbonato, envolvidos por remobilizações sulfetadas tardias
* Silicato	* Fragmentos angulares a subarredondados de quartzo, anfibólios e magnetita envolvidos por uma massa sulfetada * Incipientemente micro a mesobandada de ferro-actinolita	* Ferro-actinolita (único anfibólio) * Ferro-actinolita (único anfibólio)	* Predominância de magnetita e pirrotita	* Micro a mesobandada com bandas de pirrotita + magnetita, anfibólios e quartzo. Textura nematogramoblástica a nematemoblástica
	* Micro a mesobandada de ferro-actinolita e hornblenda	* Predominância de ferro-actinolita e hornblenda subordinadamente cummingtonita-grünherita	* Predomínio de pirrotita com magnetita subordinada e traços de calcopirita	* Micro a mesobandada com bandas de sulfetos + óxidos, quartzo e anfibólios. Textura nematogramoblástica com fenoblastos anfibólios
	* Micro a mesobandada com textura granomatemoblástica * Micro a mesobandada com textura nematogramoblástica	* Apresenta proporções variadas de cummingtonita-grünherita e ferro-actinolita * Apresenta proporções variadas de cummingtonita-grünherita e ferro-actinolita. Quartzo ocorre em grandes proporções	* Predominância de magnetita e pirrotita, com traços de calcopirita e pentlandita como "flames" na pirrotita	* Micro a mesobandada com bandas de anfibólio, quartzo e sulfetos + óxido. Textura nematogramoblástica a nematemoblástica



Foto 1. Camadas contínuas de magnetita (porções escuras) alternando com camadas de minerais silicáticos como quartzo, anfibólios e clorita (porções claras) da formação ferrífera bandada (fácies óxido-silicato). O bandamento plano-paralelo possui espessuras centimétricas (macrobandamento).

actinolita, hornblenda e membros da série cummingtonita-grünerita. Em alguns locais desta litologia, verifica-se uma orientação muito incipiente marcada por cristais de magnetita. Planos tardios de fratura cortam a rocha e são preenchidos, posteriormente, por remobilizações de sulfetos, principalmente pirrotita com calcopirita associada. Esta rocha pode ser interpretada como uma transição entre os termos mais bandados da fácies óxido-silicato e os tipos da fácies silicato.

Microscopicamente, a rocha possui textura granonematoblástica, localmente caracterizada por fenoblastos octaédricos de magnetita em uma matriz silicática. Uma direção é marcada pelas orientações de ripas de anfibólios e anfibólios pisciformes, magnetita e palhetas de clorita. A rocha é composta por proporções oscilantes de ferro-actinolita, membros da série cummingtonita-grünerita, hornblenda, clorita, magnetita, pirrotita e calcopirita.

3.2. Fácies Silicato

A fácies silicato é representada por subtipos de rochas caracterizadas pela presença de níveis de diferentes tipos de anfibólios + clorita

alternados com níveis quartzosos (Tab. 1). Os subtipos possuem bandamento proeminente, com espessura das bandas variando de milímetros a centímetros (Foto 2). As bandas possuem coloração esverdeada e clara, caracteristicamente representadas por alternâncias rítmicas plano-paralelas de anfibólios como ferro-actinolita, hornblenda ferro-actinolítica, ferro-hornblenda, cummingtonita-grünerita e clorita com o quartzo.

Ao microscópio, exibe textura granonematoblástica média marcada por grãos de anfibólios e quartzo, nematogranoblástica em porções medianamente deformadas até nema-toblástica, em porções muito deformadas, com desenvolvimento de anfibólios pisciformes.

Mineralogicamente, é composta principalmente por ferro-actinolita, hornblenda ferro-actinolítica, ferro-hornblenda, cummingtonita-grünerita, clorita, quartzo, carbonatos, pirrotita, pentlandita e calcopirita.

4. Geoquímica de Rocha

Os diferentes tipos existentes de formações ferríferas mostram regularidades no que diz respeito à composição química dos seus

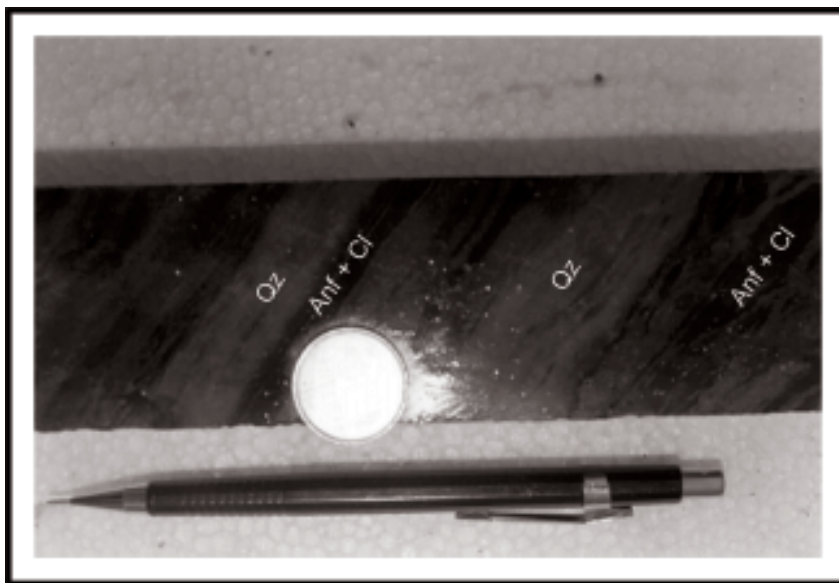


Foto 2. Camadas contínuas alternadas de minerais silicáticos, principalmente quartzo (porções claras) e de anfíbólios + clorita (porções escuras) da formação ferrífera bandada (fácies silicato). O bandamento plano-paralelo possui espessuras variando desde milímetros até centímetros.

elementos maiores. As variações existentes são interpretadas como relacionadas aos diferentes minerais presentes, bem como, ao bandamento composicional e sua extensão lateral.

4.1. Elementos Maiores

As fácies óxido-silicato e silicato apresentaram valores variados para a soma de SiO_2 e Fe_2O_3 T compreendidos entre 71,32 a 90,82% e 68,91 a 89,67%, respectivamente (Tabs. 2 e 3). O teor de Fe_2O_3 T na fácies óxido-silicato varia entre 26,49 e 41,94 %, enquanto que para a fácies silicato, os valores estão compreendidos entre 19,19 e 44,36%. Os valores de SiO_2 nas fácies óxido-silicato e silicato estão compreendidos, respectivamente, entre 37,29 a 50,96%, e 37,59 a 57,66%.

Nas duas fácies, o MgO e CaO são anômalos. Os valores estão relacionados a grandes quantidades de anfíbólios cálcico-magnesianos e anfíbólios ferro-magnesianos. Os valores de Al_2O_3 são variáveis nas fácies óxido-silicato e silicato. O MnO, Na_2O , K_2O , P_2O_5 e TiO_2 são muito baixos para as duas fácies, semelhantes as composições químicas das principais formações ferríferas mundiais Pré-Cambrianas. A correlação negativa entre o SiO_2 e o Fe_2O_3 T caracteriza uma

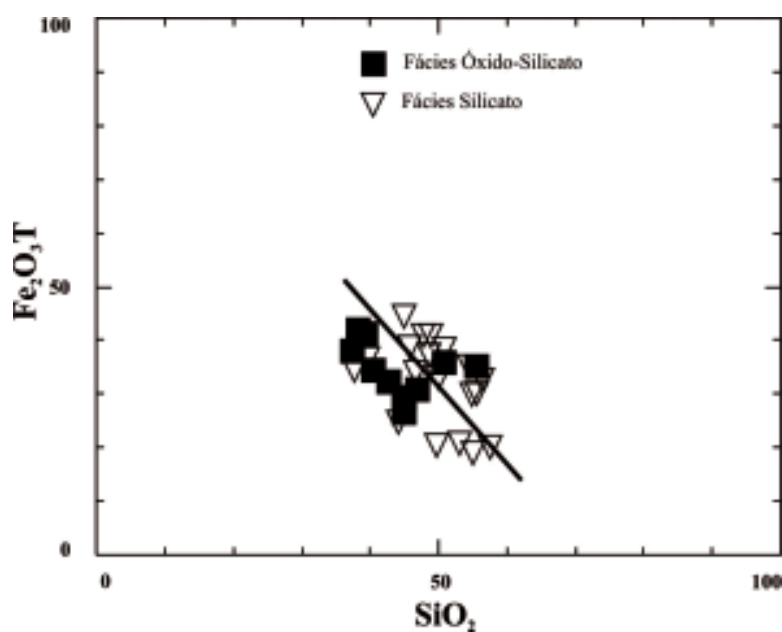
composição entre quartzo e minerais de ferro nas formações ferríferas bandadas do GBMF (Fig. 3). Essa característica evidencia um bandamento representado por níveis quartzosos alternados com níveis de fases ricas em ferro.

Os valores médios dos elementos maiores concentrados nas fácies óxido-silicato e silicato são similares com aqueles obtidos nas formações ferríferas bandadas dos tipos Algoma da América do Norte, incluindo *Temagami* e *Kirkland Lake*, *Kenora-Dryden*, *Melville Península*, *N.W.T.*, *Great Whale River*, *Québec*, *Michipicoten*, *Geraldton*, *Lake St. Joseph*, *Ontário*, *Bathurst* e *N.B.* (Gross & McLeod, 1980), *Biwabik* (Lepp, 1966) e Austrália, incluindo *Brockman* (Trendall & Blockey, 1970), *Yilgarn* (Gole, 1981), folhelho-ferruginoso de *Yilgarn* e *Isua* (Dymek & Klein, 1988), como descrito na Tab. 4 e Fig. 4.

Essa mesma comparação pode ser realizada com as formações ferríferas bandadas do Tipo Lago Superior no Canadá (fácies óxido e demais fácies) de Gross & McLeod (1980) da África do Sul, incluindo *Kuruman* (fácies óxido) de Klein & Beukes (1989), *Labrador Trough* de Gross & Zajac (1983), *Griqualand* (magnetita *chert*) e *Kuruman* (magnetita *chert*) de Horstmann & Hälbich (1995).

Tab. 2. Dados analíticos dos elementos maiores para as amostras da fácies óxido-silicato nas formações ferríferas bandadas do *greenstone belt* Morro do Ferro.

Óxidos (%)	Amostras										MÉDIA
	FM 01	FM 02	FM 03	FM 04	FM 05	FM 06	FM 07	FM 08	FM 09	FM 10	
SiO ₂	46,90	39,48	50,96	44,83	55,69	37,29	42,83	44,92	38,13	40,38	44,14
TiO ₂	0,17	0,01	0,03	0,05	0,05	0,04	0,02	0,02	0,00	0,05	0,04
Al ₂ O ₃	1,68	0,18	0,57	0,62	0,49	0,69	1,21	0,36	0,11	0,75	0,67
Fe ₂ O ₃ T	31,01	41,33	35,85	26,49	35,13	37,86	32,35	29,42	41,94	34,48	34,59
MnO	0,36	0,07	0,36	0,18	0,26	0,38	0,36	0,42	0,57	0,26	0,32
MgO	11,39	5,03	4,51	21,25	4,03	10,14	11,48	12,39	4,90	9,83	9,50
CaO	7,58	12,58	5,93	5,36	3,12	9,89	10,90	11,50	13,49	13,23	9,36
Na ₂ O	0,05	0,05	0,11	0,00	0,08	0,02	0,10	0,04	0,02	0,10	0,06
K ₂ O	0,02	0,01	0,04	0,01	0,07	0,10	0,02	0,01	0,01	0,06	0,04
P ₂ O ₅	0,09	0,19	0,11	0,09	0,13	0,14	0,22	0,05	0,17	0,15	0,13
LOI	0,74	1,07	1,53	1,11	0,94	3,44	0,50	0,84	0,66	0,71	1,15
TOTAL	99,99	100,00	100,00	99,99	99,99	99,99	99,99	99,97	100,00	100,00	99,99
SiO ₂ + Fe ₂ O ₃ T	77,91	80,81	86,81	71,32	90,82	75,15	75,18	74,34	80,07	74,86	78,73

Fig. 3. Diagrama binário caracterizando a relação do Fe₂O₃T versus SiO₂ nas formações ferríferas bandadas do *greenstone belt* Morro do Ferro.

Tab. 3. Dados analíticos dos elementos maiores para as amostras da fácies silicato nas formações ferríferas bandadas do *Greenstone Belt* Morro do Ferro.

Óxidos (%)	Amostras																			MÉDIA
	FM12	FM13	FM14	FM15	FM16	FM17	FM18	FM19	FM20	FM21	FM22	FM23	FM24	FM25	FM26	FM27	FM28	FM29		
SiO ₂	50,83	45,66	44,00	48,88	46,73	39,73	48,40	54,40	56,51	55,69	49,98	55,95	44,94	37,59	49,75	55,15	57,66	53,08	49,61	
TiO ₂	0,03	0,00	0,05	0,02	0,02	0,12	0,02	0,01	0,01	0,02	0,12	0,00	0,02	1,07	0,59	0,23	0,24	0,24	0,15	
Al ₂ O ₃	0,35	0,28	3,21	0,29	0,30	1,51	0,43	0,20	0,25	0,26	1,15	0,05	0,30	0,50	5,52	4,64	5,73	5,72	1,64	
Fe ₂ O ₃ T	38,55	38,66	24,91	40,79	34,01	36,75	37,46	35,19	32,66	30,28	33,12	30,02	44,36	34,62	20,44	19,19	20,20	20,81	32,26	
MnO	0,64	0,53	0,36	0,68	0,49	0,52	0,23	0,35	0,36	0,47	0,33	0,42	0,34	0,71	0,16	0,14	0,13	0,10	0,39	
MgO	3,00	4,21	12,51	3,36	5,39	6,86	5,39	4,16	3,36	3,46	5,98	1,96	5,11	5,82	13,04	5,34	6,19	5,57	5,51	
CaO	5,10	7,70	11,03	4,98	10,72	11,23	3,92	3,94	5,64	7,90	6,90	10,28	4,30	18,44	7,05	3,95	3,73	2,91	7,07	
Na ₂ O	0,06	0,02	0,05	0,03	0,09	0,05	0,06	0,05	0,03	0,02	0,14	0,04	0,02	0,20	0,49	0,19	0,14	0,44	0,11	
K ₂ O	0,10	0,03	0,05	0,08	0,04	0,06	0,04	0,02	0,03	0,03	0,17	0,00	0,05	0,09	0,04	0,06	0,06	0,05	0,06	
P ₂ O ₅	0,13	0,09	0,07	0,12	0,11	0,09	0,10	0,08	0,08	0,12	0,10	0,15	0,17	0,24	0,08	0,04	0,09	0,02	0,11	
LOI	1,20	2,83	3,77	0,77	2,12	3,08	3,95	1,59	1,07	1,76	2,01	1,14	0,39	0,72	2,84	11,07	5,83	11,06	3,10	
TOTAL	99,99	100,01	100,01	100,00	100,02	100,00	100,00	99,99	100,00	100,01	100,00	100,01	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	
SiO ₂ + Fe ₂ O ₃ T	89,38	84,32	68,91	89,67	80,74	76,48	85,86	89,59	89,17	85,97	83,10	85,97	89,30	72,21	70,19	74,34	77,86	73,89	81,87	

Tab. 4. Dados analíticos médios dos elementos maiores para as amostras de formações ferríferas bandadas Pré-Cambrianas da América do Norte, Austrália, África do Sul, Índia e Brasil.

Óxidos (%)	Amostras															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
SiO ₂	47,20	47,10	50,50	48,70	46,12	48,20	49,07	40,84	49,88	50,24	47,81	55,67	48,01	45,16	67,75	36,44
TiO ₂	0,03	0,07	0,14	0,21	0,04	0,03	0,04	0,42	0,00	0,02	0,04	0,06	0,02	0,01	0,02	0,05
Al ₂ O ₃	1,39	1,50	3,00	3,70	0,86	0,47	0,70	8,88	0,53	0,07	0,62	1,36	0,17	0,31	0,15	0,50
Fe ₂ O ₃ T	44,50	40,10	41,10	37,70	40,87	47,42	45,26	40,91	49,12	45,66	44,06	33,09	46,29	50,40	30,5	62,00
MnO	0,59	0,63	0,18	0,24	0,66	0,08	0,55	1,06	0,12	0,10	1,15	0,63	0,46	0,21	0,17	0,04
MgO	1,24	1,93	1,53	2,00	2,88	2,39	3,46	5,06	0,72	2,55	4,00	6,70	3,43	2,99	0,18	0,11
CaO	1,58	2,24	1,51	1,87	1,79	1,81	2,68	3,63	0,00	3,13	4,30	3,97	2,75	2,09	0,57	0,05
Na ₂ O	0,12	0,13	0,31	0,43	0,05	0,49	0,11	0,33	0,03	0,02	0,17	0,05	0,18	0,44	0,04	0,01
K ₂ O	0,14	0,20	0,58	0,62	0,14	0,71	0,10	0,18	0,02	0,03	0,20	0,20	0,18	0,43	0,03	0,01
P ₂ O ₅	0,06	0,08	0,21	0,23	0,07	0,22	0,16	0,11	0,05	0,12	0,04	0,16	0,02	0,24	0,03	0,05
TOTAL	96,85	93,98	99,06	95,70	93,48	101,82	102,13	101,42	100,47	101,94	102,39	101,89	101,51	102,28	99,44	99,26
SiO ₂ + Fe ₂ O ₃ T	91,70	87,20	91,60	86,40	86,99	95,62	94,33	81,75	99,00	95,90	91,87	88,76	94,30	95,56	98,25	98,44

(1) Fácies óxido - Tipo Lago Superior (Gross & McLeod, 1980); (2) Todas as fácies - Tipo Lago Superior, englobando as bacias Labrador Norte, Labrador Central, Labrador Sul, Mistassini - Albanel, Belcher Islands e Gunflint todas no Canadá (Gross & McLeod, 1980); (3) Fácies óxido - tipo Algoma (Gross & McLeod, 1980); (4) Todas as fácies - Tipo Algoma, englobando as áreas Temagami e Kirkland Lake, Kenora-Dryden, Melville Peninsula, N.W.T., Great Whale River, Québec, Michipicoten, Geraldton, Lake St. Joseph, Ontário, Bathurst e N.B. (Gross & McLeod, 1980); (5) Formação ferrífera Biwabik - Tipo Algoma (Lepp, 1966); (6) Formação ferrífera Brockman - Tipo Algoma (Trendall & Blockley, 1970); (7) Formação ferrífera Yilgarn - Tipo Algoma (Gole, 1981); (8) Fe-folhelho Yilgarn (Gole, 1981); (9) Formação ferrífera Sokoman - Tipo Lago Superior - Labrador (Gross & Zajac, 1983); (10) Formação ferrífera Kuruman - fácies óxido - Tipo Lago Superior (Klein & Beukes, 1989); (11) Formação ferrífera não-metamórfica - Labrador Trough (Klein 1974; 1978; Klein & Fink, 1976; LESHER 1978); (12) Formação ferrífera Isua - Tipo Algoma (Dymek & Klein, 1988); (13) Formação ferrífera bandada Griqualand - *magnetita chert* - Tipo Lago Superior (Horstmann & Hällich, 1995); (14) Formação ferrífera bandada Kuruman - *magnetita chert* - Tipo Lago Superior (Horstmann & Hällich 1995); (15) Formação ferrífera bandada do Chitradurga Schist Belt - Índia - fácies óxido - Tipo Lago Superior ou Algoma (Rao Gnaneshwar & Naqvi, 1995); (16) Formação ferrífera bandada - Mina Alegria - Fácies Óxido, tipo Lago Superior (Veríssimo, 1999).

No que concerne aos teores de SiO_2 , observam-se semelhanças entre as várias formações ferríferas bandadas, porém os valores de $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T}$ ostentam diferenças significativas, e, por conseguinte, os valores de $\text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3\text{T}$ são mais elevados nas formações ferríferas bandadas do Canadá, Estados Unidos e Austrália.

Os valores médios de Al_2O_3 , caracterizados nas fácies óxido-silicato e silicato das formações ferríferas bandadas de Fortaleza de Minas, também se apresentam correlacionáveis com aqueles encontrados nas principais formações ferríferas bandadas do Tipo Algoma da América do Norte (Canadá e Estados Unidos) e Austrália (Fig. 4). Possivelmente, a explicação para tais similaridades relaciona-se com a baixa frequência de minerais filossilicáticos na composição destas formações ferríferas bandadas. No que concerne à fácies silicato das formações ferríferas bandadas de Fortaleza de Minas, os valores médios de Al_2O_3 são mais elevados e também semelhantes à fácies óxido e todas as fácies das formações ferríferas bandadas do Canadá e no folhelho-ferruginoso de *Yilgarn* e *Isua*.

Os valores anômalos de Al_2O_3 , como os encontrados nas formações ferríferas bandadas do folhelho-ferruginoso de *Yilgarn* (Gole, 1981), são explicados pela presença de clorita, anfibólios e de granadas na sua composição.

Para as formações ferríferas bandadas de Fortaleza de Minas na fácies silicato, os valores anômalos de Al_2O_3 encontrados são caracterizados pela ocorrência significativa de clorita e de anfibólios (cummingtonita-grünerita, actinolita, ferro-actinolita, hornblenda ferro-actinolítica e ferro-hornblenda). Para as formações ferríferas bandadas de *Isua* - fácies óxido (Austrália), os valores medianos de Al_2O_3 são derivados, principalmente, da presença de clorita e anfibólios na sua composição.

Semelhanças no comportamento do MgO e o CaO , presentes nas formações ferríferas bandadas de Fortaleza de Minas, também são observadas quando comparadas com as principais formações ferríferas bandadas do tipo Algoma Pré-Cambrianas (Fig. 4).

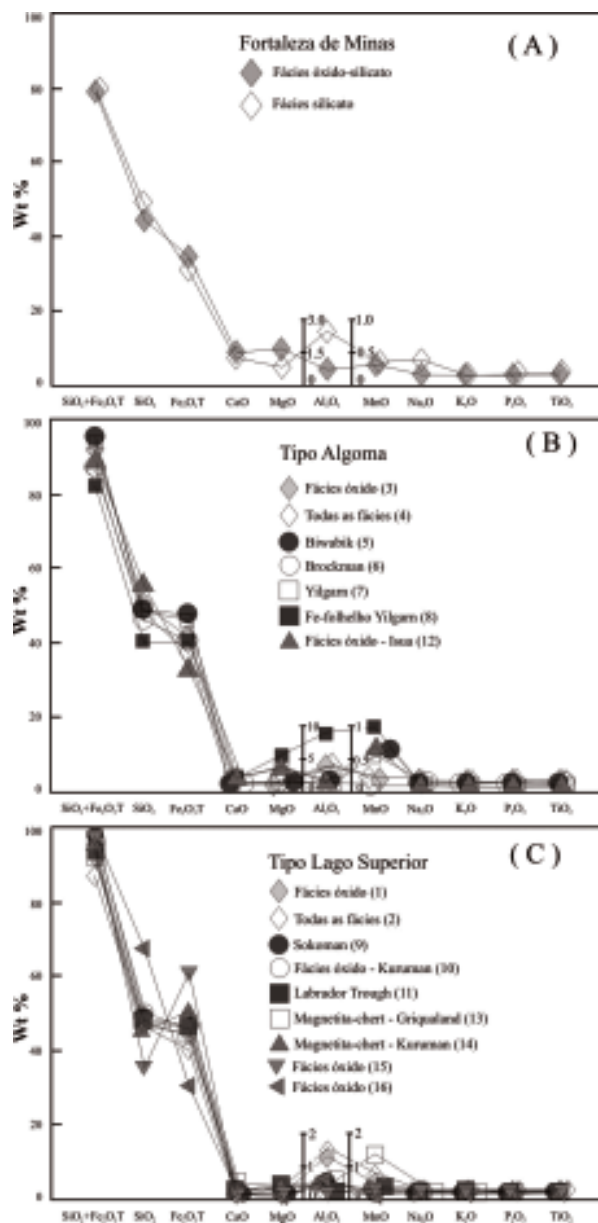


Fig. 4. Média dos elementos maiores nas formações ferríferas bandadas das áreas estudadas e Pré-Cambrianas. Fortaleza de Minas (A); Tipo Algoma (B); Tipo Lago Superior (C). Referências na Tab. 4.

A presença de MgO e CaO nas fácies óxido-silicato e silicato, respectivamente, é bastante próximos daqueles encontrados no folhelho-ferruginoso de *Yilgarn* e *Isua*. Outras formações ferríferas bandadas do tipo Algoma também possuem altos valores de MgO e CaO , porém menores do que os observados em Fortaleza de

Minas, como é o caso para as do Canadá para a fácies óxido e para todas as fácies, *Biwabik* dos Estados Unidos e *Brockman* e *Yilgarn* da Austrália. Esses valores são resultados de proporções menores de minerais cálcico-magnesianos como carbonatos, anfibólios e clorita na composição mineralógica das formações ferríferas bandadas acima mencionadas.

Os álcalis, como Na_2O e K_2O , do P_2O_5 , TiO_2 e MnO , são pouco expressivos em Fortaleza de Minas. Este padrão também ocorre em quase todas as formações ferríferas bandadas Pré-Cambrianas, seja dos tipos Algoma, Lago Superior ou Rapitan (Tab. 4). As diferenças existentes nos valores do SiO_2 , $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T}$, CaO , MgO , MnO , P_2O_5 e TiO_2 , são aceitáveis, por conta da evolução policíclica das bacias de deposição nos diferentes tipos de formações ferríferas em todo o mundo, incluindo as de Fortaleza de Minas. Outro aspecto importante é as condições de atuação dos processos supergênicos que interagiu com cada tipo de formação ferrífera após a sua exposição. O padrão geoquímico do SiO_2 , $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T}$, CaO , MgO , MnO , P_2O_5 e TiO_2 nas formações ferríferas de Fortaleza de Minas é similar aos encontrados para a maioria das formações ferríferas do tipo Algoma em todo o mundo. As variações existentes nos valores dos elementos álcalis Na_2O e K_2O também podem ser resultado dos diferentes graus de alteração supergênica que cada formação ferrífera bandada tenha sofrido no seu ambiente de deposição (Horstmann & Hälbich, 1995).

5. Conclusões

As formações ferríferas estudadas no *greenstone belt* Morro do Ferro, na região de Fortaleza de Minas (MG), estão representadas pelas fácies óxido-silicato e silicato. Por sua vez, as fácies foram subdivididas em sete subunidades distintas caracterizadas e diferenciadas pelos minerais silicáticos (anfibólios, quartzo, clorita, etc), óxidos (magnetita), sulfetos (pirrotita, calcopirita e pentlandita), bem como pela presença ou ausência de bandamento. A fácies

óxido-silicato está representada por duas subunidades: i) a primeira bandada com alternâncias de leitos de magnetita com níveis de anfibólios + clorita + quartzo; e ii) uma segunda, sem bandamento com porfiroblastos de magnetita intersticial as fases silicatadas. A fácies silicato está representada por cinco subunidades diferenciadas pelo tipo de anfibólio dominante, caracterizado em microsonda eletrônica e comumente apresentando um bandamento proeminente. Os anfibólios caracterizados quimicamente desta fácies são actinolita, ferro-actinolita, hornblenda ferro-actinolítica e os membros da série cummingtonita-grünerita. A química de rocha dosada para elementos maiores mostrou que as fácies óxido-silicato e silicato do GBMF em Fortaleza de Minas (MG) apresentam similaridades entre si e com as principais formações ferríferas Pré-Cambrianas do tipo Algoma e Lago Superior da América do Norte, Austrália e África do Sul.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo (FAPESP), pelos recursos da Reserva Técnica utilizados durante todo o Doutorado de N.H. Fernandes, como também, pela bolsa de estudo inserida no processo N° 97/12378-3.

Referências Bibliográficas

- Almeida, F. F. M., Brito Neves, B. B. & Fuck, R. A., 1981, Brazilian structural province: an introduction. *Earth. Sci. Rev.*, **17**: 1-29.
- Brenner, T. L., Teixeira, N. A., Oliveira, J. A. L., Franke, N. D. & Thompsom, J. F. H., 1990, The O'toole Nickel Deposit, Morro do Ferro, Brazil. *Econ. Geol.*, **85** (5): 904-920.
- Carvalho, S. G., 1982, Geologia, petrologia e metalogenia da Sequência Vulcano-Sedimentar de Alpinópolis (MG). Tese de Doutorado, IG/USP, São Paulo (SP), 216p.
- Carvalho, S. G., Choudhuri, A., Fiori, A. P., Oliveira, M. A. F. & Soares, P. C., 1982, Paragêneses e possível origem dos xistos básicos e ultrabásicos em Fortaleza de Minas

- e Arredores – MG. Anais do Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador, **2**: 641-647.
- Carvalho, S. G., Soares, P. C., Antonio, M. C., Zanardo, A. & Oliveira, M. A. F., 1990, Geologia da Seqüência Vulcano-Sedimentar de Alpinópolis (MG). Rev. Brasil. Geoc., **23** (1): 38-51.
- Choudhuri, A., Szabó, G. A. J. & Ebert, H. D., 1983, Feições estruturais e texturais dos derrames ultramáficos a norte e noroeste de Petúnia, sul de Minas Gerais. Ciências da Terra, **7**: 18-20.
- Dymek, R. F. & Klein, C., 1988, Chemistry, petrology and origin of banded iron-formations lithologies from the 3800 Ma Isua supracrustal belt, West Greenland. Prec. Res., **39**: 247-302.
- Fernandes, N. H., Carvalho, S. G., Brenner, T. L. & Zanardo, A., 1997, Caracterização geológica, petrográfica e química das formações ferríferas relacionadas com o Depósito Fortaleza de Minas no Sudoeste de Minas Gerais. Anais do V Simpósio De Geologia do Sudeste, Penedo-Itatiaia, **1**: 412-413.
- Fernandes, N.H., 1997, Caracterização petrográfica e química das formações ferríferas bandadas do Depósito Fortaleza de Minas em Fortaleza de Minas (MG). Dissertação de Mestrado. IGCE/UNESP – Rio Claro (SP), 166p.
- Gole, M. J., 1981, Archean banded iron-formation, Yilgarn Block, Western Australia. Econ. Geol., **76**: 1954-1975.
- Gross, G. A. & McLeod, C. R., 1980, A preliminary assessment of the chemical composition of iron formation in Canada. Can. Mineral, **18**: 223-229.
- Gross, G. A. & Zajac, I. S., 1983, Iron-formation in fold belts marginal to the Ungava Craton. In: A.F. Trendall & R. C. Morris (Ed.), Iron-Formations: Facts and Problems. Elsevier, Amsterdam, 253-294.
- Horstmann, U. E & Hälbich, I. W., 1995, Chemical composition of banded iron-formations of the Griqualand West Sequence, Northern Cape Province, South Africa, in comparison with other Precambrian iron formations. Prec. Res., **72**: 109-145.
- Klein, C., 1974, Greenalite, stilpnomelane, minnesotaite, crocidolite and carbonates in a very low-grade metamorphic Precambrian iron-formation. Can. Mineral., **12**: 475-496.
- Klein, C., 1978, Regional metamorphism of proterozoic iron-formations, Labrador Trough, Canada. Am. Mineral., **63**: 898-912.
- Klein, C. & Beukes, N. J., 1989, Geochemistry and sedimentology of a facies transition from limestone to iron-formation deposition in the early Proterozoic Transvaal Supergroup, South Africa. Econ. Geol., **84**: 1733-1774.
- Klein, C. & Fink, R. P., Petrology of the Sokoman Iron Formation in the Howells River area, at the western edge of the Labrador Trough. Econ. Geol., **71**: 453-487.
- Lepp, H., 1966, Chemical composition of the Biwabik Iron Formation, Minnesota. Econ. Geol., **61**: 243-250.
- Leshner, C. M., 1978, Mineralogy and petrology of the Sokoman Iron Formations near Ardua Lake, Quebec. Can. J. Earth Sci., **15**: 480-500.
- Rao Gnaneshwar, T. & Naqvi, S.M., 1995, Geochemistry, depositional environment and tectonic setting of the BIF's of the Late Arcaean Chitradurga Schist Belt, India, **121**: 217-243.
- Schmidt, W., 1983, Die Geologie der Araxá Gruppe in Südwest Minas Gerais, Brasilien, unter besonderer Berücksichtigung des Grüstein-Gürtels von Fortaleza de Minas. Tese de Dotoramento - Universidade de Freiburg, Alemanha, 134p.
- Schobbenhaus, C., Campos, D. A., Derze, G. & Asmus, H. E., 1981, Mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente, incluindo depósitos minerais. DNPM, Brasília.
- Szabó, G. A. J., 1989, Contexto geológico e petrologia das rochas meta-ultramáficas de Alpinópolis, MG. Dissertação de Mestrado, IG/USP, São Paulo, 203 p.
- Szabó, G. A. J., 1996, Petrologia da suíte metaultramáfica da Seqüência Vulcano-Sedimentar Morro do Ferro na Região de sul

- a oeste de Alpinópolis, MG (Domínio Norte do Complexo Campos Gerais). Tese de Doutorado, IG/USP, São Paulo, 354 p.
- Teixeira, N. A., 1978, Geologia, petrologia e prospecção geoquímica da Sequência Vulcano-Sedimentar Morro do Ferro, Fortaleza de Minas (MG). Dissertação de Mestrado, IG-UnB, Brasília, 220 p.
- Teixeira, N. A. & Danni, J. C. M., 1979, Petrologia das lavas ultrabásicas e básicas da Sequência Vulcano-Sedimentar Morro do Ferro, Fortaleza de Minas (MG). *Rev. Bras. Geoc.*, **17**: 209-220.
- Teixeira, N. A., Gaspar, J. C., Brenner, T. L., Cheney, J. T. & Marcheto, C. M. L., 1987, Geologia e implicações geotectônicas do Greenstone Belt Morro do Ferro (Fortaleza de Minas, MG). *Rev. Bras. Geoc.*, **17**: 209-220.
- Trendall, A.F. & Blockley, J.G., 1970, The iron-formations of the Precambrian Hamersley Group, Western Australia. *Aust. Geol. Surv., Bull.*, 366 p.
- Veríssimo, C. U. V., 1999, Jazida de Alegria: Gênese e Tipologia dos Minérios de Ferro (Minas 3, 4 e 5 - Porção Ocidental). Tese de Doutorado, IGCE/UNESP, Rio Claro, 234p.