

PETROGRAFIA E LITOQUÍMICA DAS FORMAÇÕES FERRÍFERAS BANDADAS DA REGIÃO DE QUIXERAMOBIM - BOA VIAGEM, CEARÁ, BRASIL

César Ulisses Vieira VERÍSSIMO ¹, Christiano MAGINI ¹, Clóvis Vaz PARENTE ¹,
José de Araújo NOGUEIRA NETO ¹, Afonso Rodrigues de ALMEIDA ¹,
Otaciél de Oliveira MELO ¹, Michel Henri ARTHAUD ¹ (*in memoriam*),
Glória Maria Silva HAMELAK ², Leiliane Rufina de AZEVEDO ²

(1) Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Blocos 912/913, Campus do Pici. Avenida Humberto Monte, s/n. CEP 60455-790. Fortaleza, CE. Endereços eletrônicos: verissimo@ufc.br; magini2005@hotmail.com; clovis@ufc.br; nogueira@ufc.br; afonso@ufc.br; otaciél@ufc.br; arthaud@ufc.br

(2) Bolsista de Mestrado CNPq, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici. Avenida Humberto Monte s/n. CEP 60455-790. Fortaleza, CE. Endereços eletrônicos: hamelak@hotmail.com; leiliane@hotmail.com

Introdução
Arcabouço Geológico
Petrografia
Geoquímica
Elementos Maiores
Elementos Terras Raras
Conclusões
Referências Bibliográficas

RESUMO – Duas novas ocorrências de formações ferríferas bandadas (BIF's) foram identificadas nas regiões de Folhas Boa Viagem e Quixeramobim (Estado do Ceará). Elas estão associadas às rochas neoarqueanas a paleoproterozóicas do Complexo Cruzeta, cujas idades modelo ($Sm/Nd - T_{DM}$) variam de 2,3 a 3,2 Ga. As análises químicas de elementos maiores em seis amostras mostram uma composição química relativamente simples, com SiO_2 e Fe_2O_3 representando mais de 96% de sua composição total. Quando normalizado pelo NASC, o padrão de distribuição dos ETR sugere dois grupos distintos: o primeiro inclui as BIF's de Quixeramobim, com somatório de ETR muito alto (121,65 e 119,37) e caracterizado também pelo aumento gradativo do fracionamento dos ETR, do Lantânio (La) em direção ao Lutécio (Lu). Neste grupo duas amostras analisadas exibem anomalia moderadamente positiva de európio ($Eu_n/Eu^* = 1,31$ e $1,49$). O segundo grupo é representado pelas BIF's de Boa Viagem que possuem um somatório de ETR muito variado (6,23 a 189,44) sem anomalias positivas de európio ($Eu_n/Eu^* = 0,77$ a $0,99$). Estes padrões são interpretados considerando a distância da posição do sítio de deposição de ferro em relação à área fonte deste elemento. Os padrões exibidos pelas BIF's de Quixeramobim diferem sobremaneira dos apresentados pelas BIF's arqueanas do Tipo Algoma, mas são comparáveis aos padrões exibidos pelas BIF's tipo Lago Superior ($Eu_n/Eu^* > 1$ e < 2), onde as anomalias pouco expressivas de európio são interpretadas como decorrentes da pequena participação de fluidos hidrotermais no ambiente de deposição.

Palavras-chave: Formações Ferríferas Bandadas, Geoquímica de elementos maiores e Terras Raras.

ABSTRACT – *C.U.V. Verissimo, C. Magini, C.V. Parente, J. de A. Nogueira Neto, A.R. de Almeida, O. de O. Melo, M.H. Arthaud, G.M.S. Hamelak, L.R. de Azevedo - Petrography and lithochemistry of banded iron formations of Quixeramobim – Boa Viagem region, Ceara, Brazil.* Two new occurrences of banded iron formations (BIF's) had been identified in the regions of Quixeramobim and Boa Viagem, Ceará State. The occurrences are associated to the Neoproterozoic to Paleoproterozoic rocks of the Cruzeta Complex, whose $Sm/Nd - T_{DM}$ model ages vary between 2,3 and 3,2 Ga. The chemical analyses of major elements in six samples show a relatively simple chemical composition, with SiO_2 and Fe_2O_3 representing more than 96% of their total composition. When normalized by NASC, the REE distribution shows two different groups: the first one correspond to the Quixeramobim BIF's with REE total concentration very high (121,65 and 119,37) and characterized also by the gradual increase of the REE fractionation from La to Lu. In this group, two analyzed samples show moderately positive europium anomalies ($Eu_n/Eu^* = 1,31$ and $1,49$). The second group is the Boa Viagem one that has a REE total concentration very large (6,23 the 189,44) without europium anomalies ($Eu_n/Eu^* = 0,77$ a $0,99$). The REE patterns of the two groups are interpreted considering the local of iron deposition in relation to distance from the source. The REE patterns show by Quixeramobim BIF's are very different from the patterns present by archean BIF's Algoma type, though similar to Lago Superior type where the weak anomalies of europium ($Eu_n/Eu^* > 1$ e < 2) are related to the little participation of hydrothermal fluids in the depositional basin.

Keywords: Banded Iron Formations, Major and Rare-Earth Elements Geochemistry.

INTRODUÇÃO

Pesquisas realizadas através do convênio UFC/ PLGB) durante o ano de 2006 resultaram na descoberta CPRM (Programa Levantamento Geológico Básico - de novas ocorrências de BIF's (Formações Ferríferas

Bandadas) no estado do Ceará, associadas a rochas neoarqueanas a paleoproterozóicas do Complexo Cruzeta (CPRM, 2006; Verissimo et al., 2008). São corpos de dimensões decamétricas a quilométricas, lenticulares, encaixados em gnaisses neoarqueanos. Representam parte da história vulcano-sedimentar do complexo, que é produto de uma tectônica policíclica onde pelo menos dois eventos tectônicos são reconhecidos, o Transamazônico e o Brasileiro (Arthaud et al., 2008). Estas novas ocorrências, apresentam-se

microdobradas e microbandadas, com anomalias em ferro em torno de 47% (FeO_T). Os corpos localizam-se à margem de estradas carroçáveis nas localidades de Pirabibu, 20 km a NW da cidade de Quixeramobim; e Curupati, 12 km a sul da cidade de Boa Viagem (Figura 1). Estudos geoquímicos e petrográficos, em caráter pioneiro no Estado do Ceará, foram realizados com objetivo de caracterizar e comparar as referidas ocorrências, com outras descritas no Brasil (Quadrilátero Ferrífero) e outras partes do mundo.

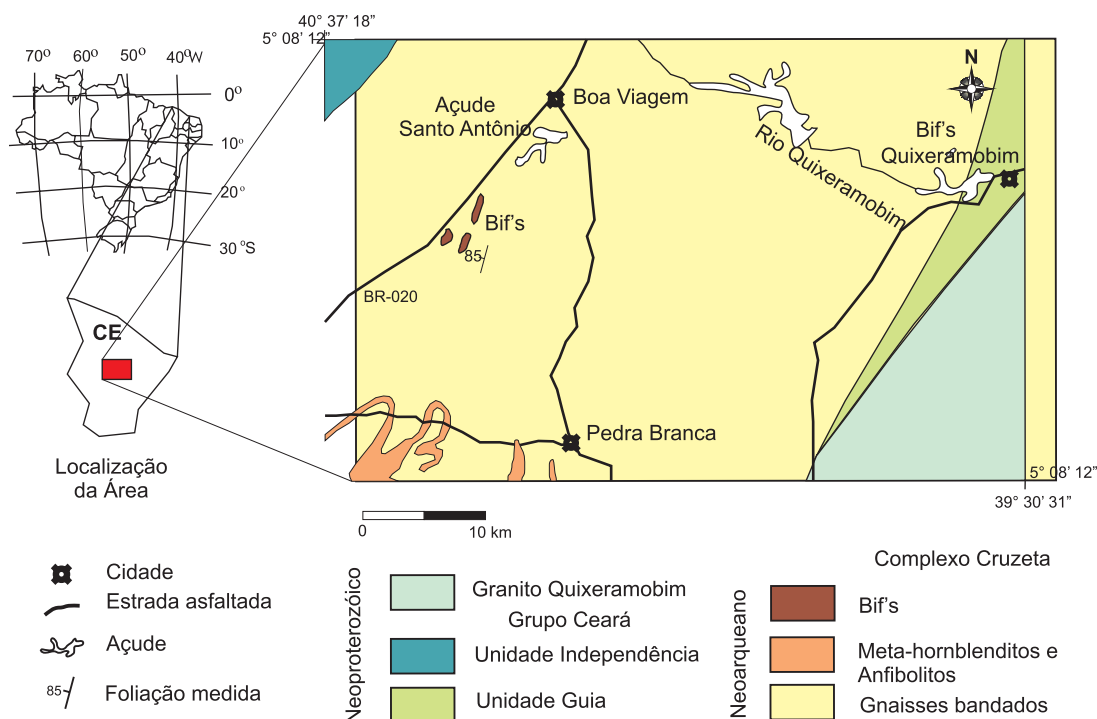


FIGURA 1. Mapa Geológico simplificado do Complexo Cruzeta na Região central do Domínio Ceará Central com as principais ocorrências de BIF's.

ARCABOUÇO GEOLÓGICO

A geologia da área insere-se no Domínio Ceará Central (DCC) proposto por Caby & Arthaud (1986) e revisado por Fetter (1999), CPRM (2006) e, mais recentemente, por Arthaud (2007). Segundo os autores acima o DCC é composto por quatro unidades geotectônicas: 1. Embasamento Arqueano; 2. Terrenos Acrescionários do Paleoproterozóico; 3. Terrenos Neoproterozóicos: Santa Quitéria e Metassedimentos 4. Coberturas Neoproterozóicas. Em descrição mais atual Arthaud (2008) reclassifica estas quatro unidades, subdividindo-as em: a) embasamento policíclico (Complexo Cruzeta e Sequência Choró-Algodões); b) coberturas metassedimentares monocíclicas (Grupo Ceará); c) complexo anatético-ígneo monocíclico

(Complexo Tamboril-Santa Quitéria); d) granitos brasileiros e molassas tardi-brasilianas.

As duas ocorrências de BIF's e estão inseridas no Complexo Cruzeta (Figura 1), composto por gnaisses bandados formados a partir de protólitos vulcano-sedimentares e de rochas ígneas granodioríticas/tonalíticas. São comuns, ainda, a ocorrência de rochas básicas e ultrabásicas, como meta-hornblenditos, anfíbolitos, talco-xistos e formações ferríferas bandadas (BIF's). As rochas do complexo são intensamente deformadas em condições de metamorfismo de fácies anfíbolito alto até a anatexia, produzindo em toda sua extensão feições migmatíticas. Sua deformação ocorreu em pelo menos dois eventos:

(i) um de baixo ângulo com tectônica de *Nappe* (Transamazônico) e (ii) outro de alto ângulo onde ocorreu o predomínio de movimentos transcorrentes (Brasiliano). O intervalo das idades modelos apresentado pelos protólitos das rochas (Sm/Nd - T_{DM}) do Complexo Cruzeta, varia entre 2.3 Ga e 3.0 Ga. Já datações U/Pb em zircão de ortognaisses tonalíticos na localidade do Açude Flores, município de Quixeramobim, registraram idade de 1.87 Ga (Fetter, 1999). Os dados TDM mostram que no complexo encontram-se fontes tanto de rochas arqueanas como paleoproterozóicas.

As ocorrências de ferro destacam-se na topografia local formando pequena morraria alongada na direção NNE-SSW, onde o topo é sustentado por rocha *in situ* e as encostas contêm blocos e fragmentos angulosos resultantes da desagregação e intemperismo das formações ferríferas. Em Boa Viagem as BIF's ocorrem como lentes dentro dos gnaisses, formando uma crista alongada na direção NE-SW de aproximadamente 1 km e largura de 150 m, com

mergulho sub-vertical em torno de 85 graus para NW (Prancha 1, Fotos 1 e 2).

Nas proximidades de Quixeramobim as BIF's formam pequenos lajedos de extensões decamétricas, configurando pequenas colinas e ondulações no relevo. Em ambas as ocorrências as rochas apresentam-se compactas, são e exibindo típica estrutura bandada, alternando bandas milimétricas a centimétricas de minerais opacos (hematita, magnetita, martita) com bandas de quartzo + anfibólios (Prancha 1). Em amostra de mão a rocha é densa, tem coloração cinza escura à avermelhada, foliada e com forte orientação dos planos na direção N-S. As BIF's sofreram uma história deformacional englobando dois eventos: o primeiro com deformação dúctil tangencial em sistema de Nappes que afetou todo o Complexo Cruzeta (Arthaud 2007 e Hamelack et al., 2007) durante o mesoproterozóico. A segunda com deformação dúctil/rúptil com zonas de cisalhamentos transcorrentes, verticalizando as BIF's durante o neoproterozóico (Brasiliano) formando lineamentos regionais e continentais.



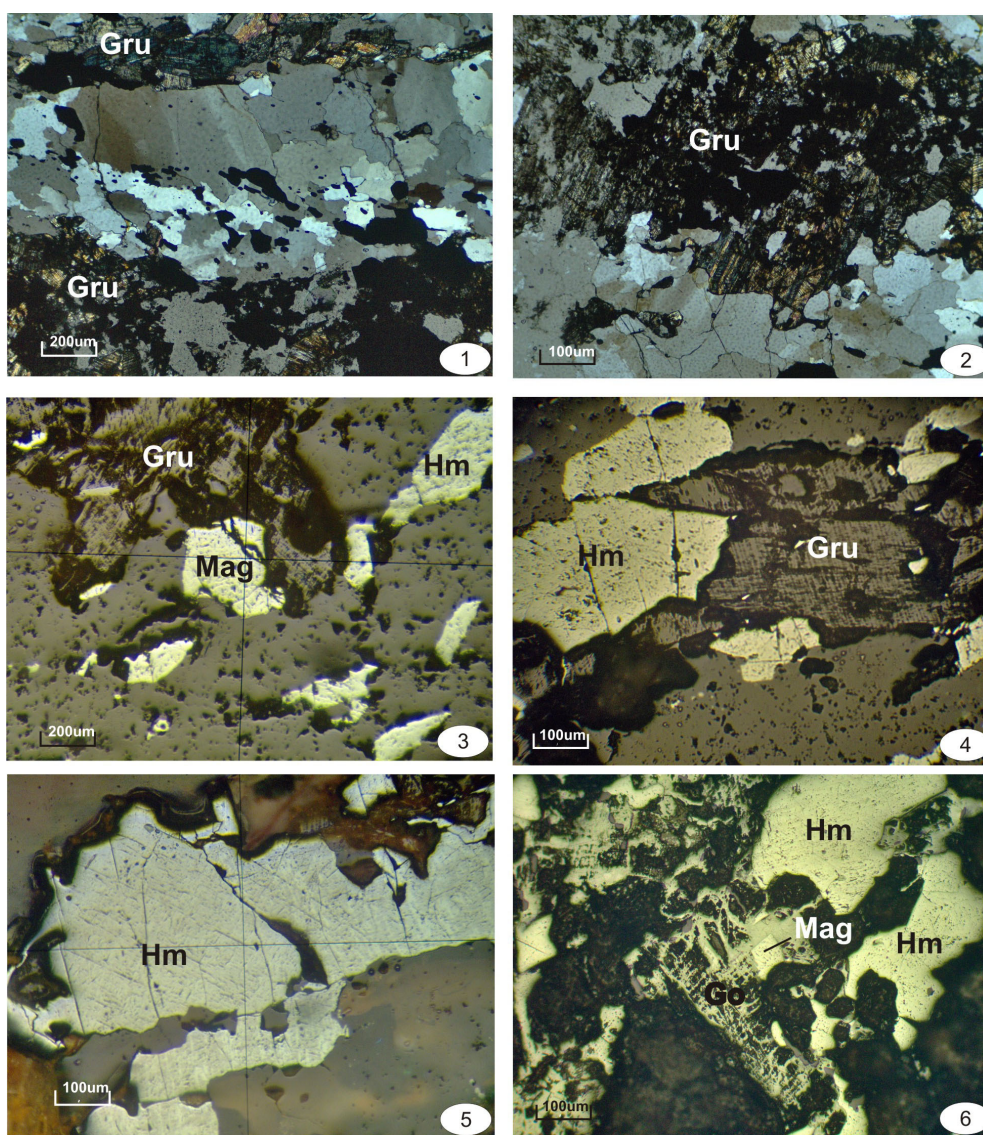
PRANCHA 1. Foto 1 - Ocorrência de ferro localizada na porção central da Folha Boa Viagem formando pequena morraria orientada norte-sul. Foto 2 - Detalhe da foliação/bandamento verticalizado das formações ferríferas de Boa Viagem. Foto 3 - Detalhe mostrando bandamento dobrado intercalando bandas de quartzo e bandas contendo minerais de ferro (óxidos e silicatos). Foto 4 - Biotita-muscovita gnaisses leucocráticos, encaixantes das formações ferríferas da Folha Boa Viagem.

PETROGRAFIA

Em lâmina, a textura das BIF's varia de granoblástica média/fina a microbandada. Os cristais de quartzo são subeudrais a anedrais, por vezes lenticulares, com extinção ondulante, mostrando contatos poligonais, serrilhados ou retos com opacos e anfibólios orientados (Prancha 2, Fotomicrografias 1, 2 e 4). Os anfibólios são da série *cummingtonita-grunerita*, via de regra em cristais geminados mostrando grau avançado de alteração para oxi-hidróxidos de ferro (Prancha 2, Fotomicrografias 1 e 2). As

observações petrográficas sugerem que os anfibólios formaram-se no pico metamórfico do facies anfibolito durante movimentos tangenciais no mesoproterozóico. Também foram recristalizados opacos, representados principalmente pela hematita, grande parte pseudomórfica da magnetita (Prancha 2, Fotomicrografias 3, 4, 5 e 6). Além de quartzo, anfibólio e minerais de ferro ocorrem, ainda, como traços a actinolita-tremolita, biotita e epidoto.

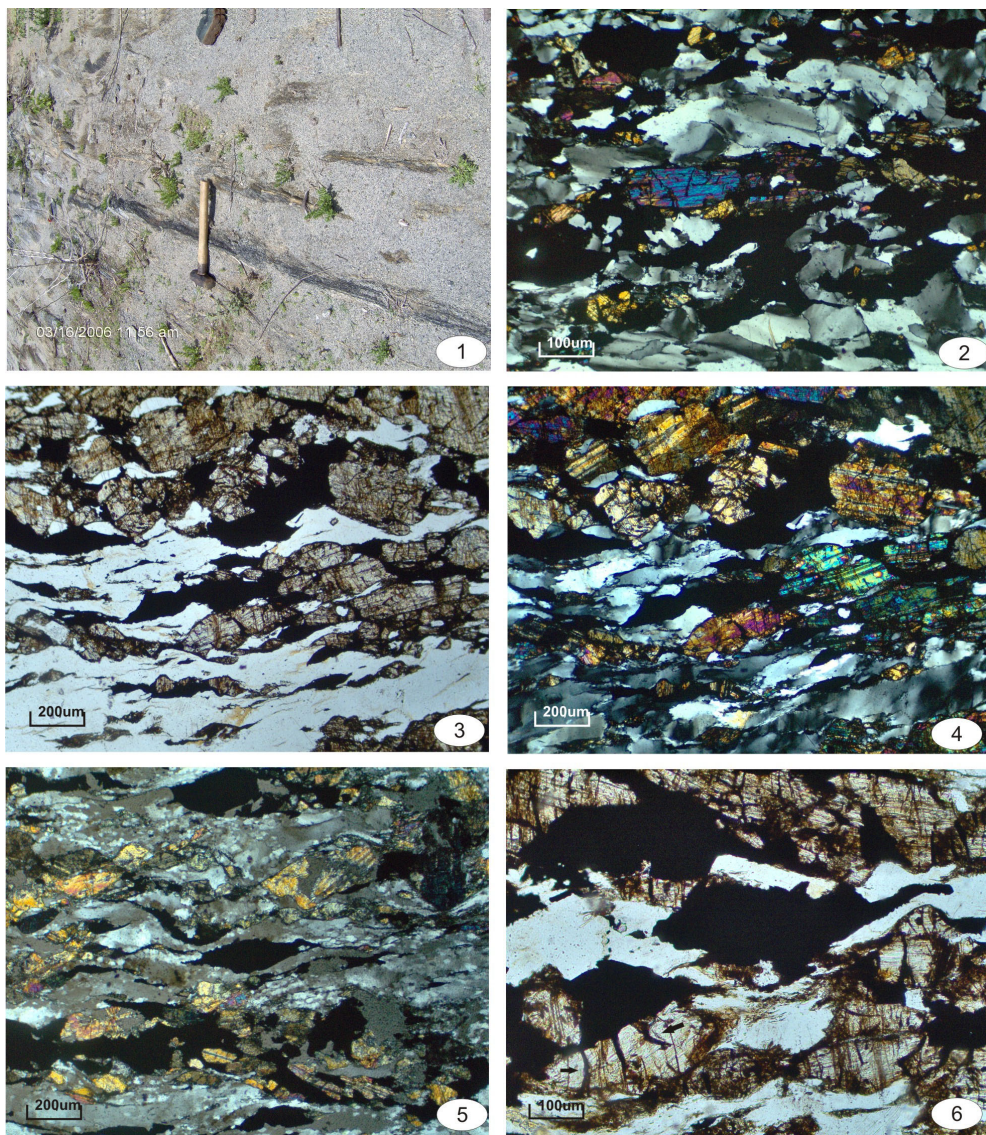
Na folha Quixeramobim as ocorrências de ferro



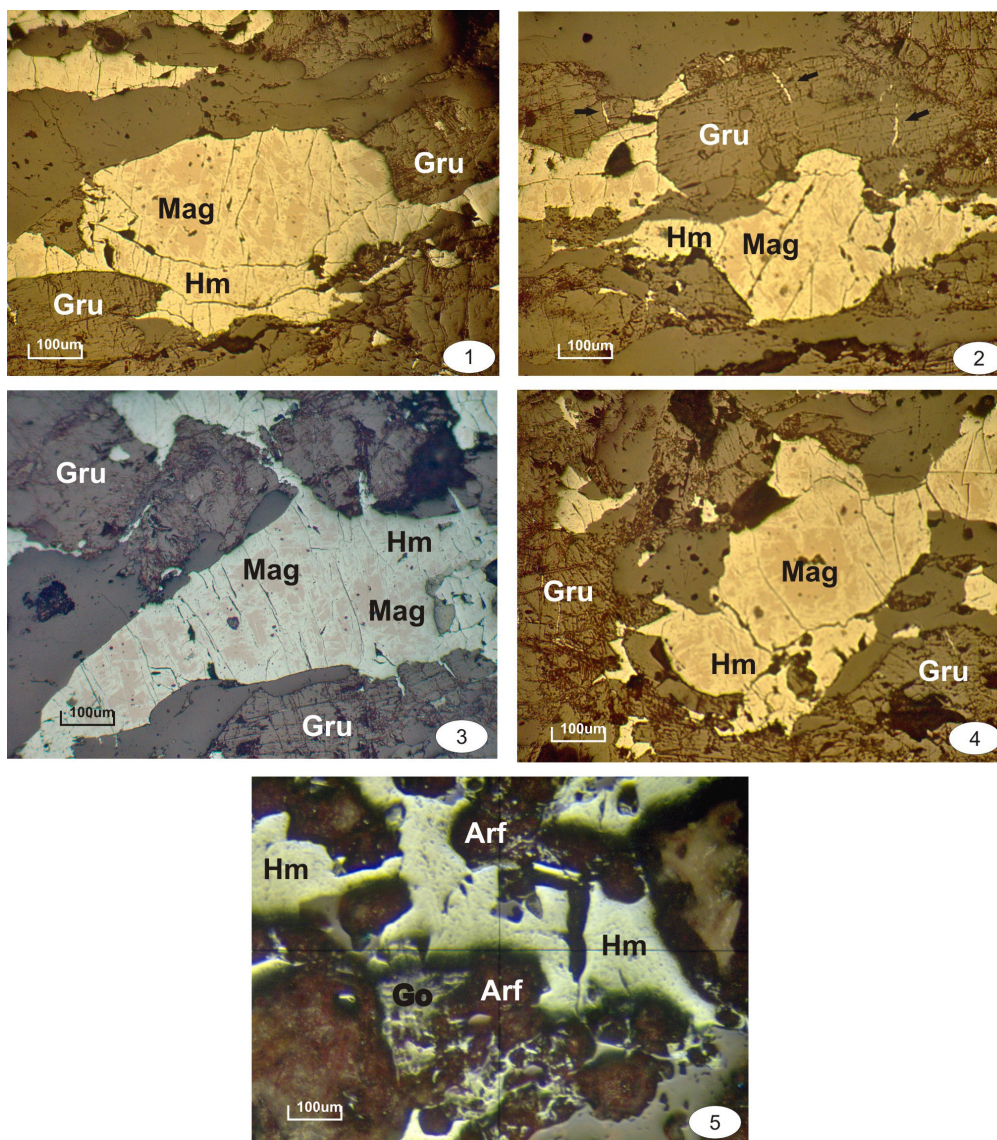
PRANCHA 2. Fotomicrografia 1 - Bandamento composicional das BIFs de Boa Viagem. Observar grãos lenticulares de quartzo e níveis contendo óxidos e oxi-hidróxidos de ferro, em parte provenientes da alteração da grunerita (porção inferior da foto). NC parcialmente cruzados. Fotomicrografia 2 - Anfibólios da série cummingtonita-grunerita mostrando grau avançado de alteração para oxi-hidróxidos de ferro. Luz transmitida. NC parcialmente cruzados. Fotomicrografia 3 - Magnetita hipidiomórfica (Mag) em contato com anfibólios ferríferos (Gru) da série cummingtonita-grunerita. Luz refletida. Fotomicrografia 4 - Detalhe de banda rica em ferro, contendo hematita (Hm) em contato com grunerita (Gru). Luz refletida. Fotomicrografia 5 - Hematita (Hm) pseudomórfica da magnetita. Luz refletida. Fotomicrografia 6 - Fase secundárias de Goethita (Go) preenchendo cavidades e envolvendo cristais de hematita (Hm) e magnetita (Mag). Luz refletida.

são menos expressivas e ocorrem em faixas métricas a decamétricas, intercaladas em meio aos gnaisses do Complexo Cruzeta (Prancha 3, Foto 1). Microscopicamente, apresenta estrutura bandada e milonítica com mineralogia essencial representada por quartzo (~40%), anfibólio (~30%) e hematita (~30%) (Prancha 3, Fotomicrografias 2, 3, 4, 5 e 6; Prancha 4, Fotomi-

crografias 1 e 2). Como minerais secundários e acessórios observa-se goethita, actinolita e raros cristais de apatita. As bandas são constituídas de quartzo recristalizado/fitado + hematita + anfibólio e hematita + anfibólio + quartzo em proporções aproximadamente iguais (Prancha 3, Fotomicrografias 2, 3, 4 e 5; Prancha 4, Fotomicrografias 1 e 2).



PRANCHA 3. Foto 1 - Lentes centimétricas de BIFs intercaladas nos gnaisses do Complexo Cruzeta. Folha Quixeramobim. Próximo a localidade de Pirabibu. Fotomicrografia 2 - Bandamento composicional dos BIFs de Quixeramobim. Bandas ricas em quartzo intercaladas com bandas contendo silicatos (grunerita) e óxidos de ferro (hematita). Nc. parcialmente cruzados. Luz transmitida. Fotomicrografia 3 - Foliação milonítica nos BIFs de Quixeramobim. Bandas/lentes ricas em quartzo intercaladas com bandas/lentes contendo anfibólios da série cumingtonita-grunerita e óxidos de ferro. Observar geminação e cores de polarização características dos anfibólios. Nc. descruzados. Luz transmitida. Fotomicrografia 4 - Idem foto anterior - Nicóis cruzados. Luz transmitida. Fotomicrografia 5 - Aspecto anastomosado da foliação milonítica nos BIFs de Quixeramobim. Porfiroclastos de grunerita e óxido de ferro imersos em matriz fina de quartzo recristalizado/fitado. Nc. parcialmente cruzados. Luz transmitida. Fotomicrografia 6 - Detalhe dos porfiroclastos de grunerita e magnetita e da alteração de oxi-hidróxido de ferro ao longo de fraturas e clivagem dos anfibólios ferríferos (Setas). Nc. descruzados. Luz transmitida.



PRANCHA 4. Fotomicrografias 1 a 4 - Cristais lenticulares/tabulares de hematita pseudomórfica da magnetita (Mag). Observar restos de magnetita no interior da hematita (Hm) e a associação com anfibólios ferríferos, compondo as bandas ricas em ferro das BIFs de Quixeramobim. As setas na Fotomicrografia 2 mostram a migração de ferro ao longo de fraturas e clivagens dos anfibólios da série cummingtonita-grünerita (Gru). Luz refletida. Fotomicrografia 5 - Fase secundária de Goethita (Go) e material argilomórfico (Arf) preenchendo cavidades nas formações ferríferas de Quixeramobim. Luz refletida.

O anfibólio é da série cummingtonita-grünerita e ocorre na forma de porfiroclastos, quase sempre geminados, imersos na matriz fina de quartzo recristalizado/fitado configurando uma textura milonítica (Prancha 3, Fotomicrografias 3, 4, 5 e 6). Ao longo das fraturas no anfibólio é possível observar a alteração para oxi-hidróxidos de ferro em seções delgadas e polidas (Prancha 3, Fotomicrografia 6 e Prancha 4, Fotomicrografia 2). A grünerita está sempre presente nas formações ferríferas bandadas de fácies silicato metamorfizadas, e é diagnóstica de assembléias que atingiram médio/alto grau metamórfico, variando da isógrada da biotita a da estauroлита/cianita (Klein, 1983). Os óxidos de ferro são representados essencialmente por hematita pseudomórfica da magnetita (martita).

Apesar da intensa deformação ter obliterado a forma cúbica dos cristais de magnetita, a observação de seções polidas permitiu reconhecer relictos isotrópicos de magnetita de cor castanho-rosada em luz refletida, inclusive nos cristais lenticulares de hematita, formando localmente uma textura “em treliça” caracteristicamente desenvolvida durante o processo de martitização da magnetita (Prancha 4, Fotomicrografias 1 a 4). A presença de cristais tabulares de magnetita em zonas de cisalhamento dúcteis, mostrando estágio avançado de martitização (Prancha 4, Fotomicrografias 1, 2 e 3), representa forte indício de formação de hematita a partir da magnetita através da mobilização de fluidos em condições metamórficas. Não foram percebidas, nas amostras estudadas no microscópio,

evidências de fases minerais precursoras da magnetita. Os cristais não contêm restos de carbonatos, hematita ou sinais de sobrecrecimento de grãos a partir de uma fase mais antiga de magnetita. Goethita ocorre secundariamente preenchendo cavidades deixadas pela

dissolução de silicatos. Pontuações avermelhadas ocorrem também no interior das cavidades, sugerindo existência de fases criptocristalinas mais hidratadas (argilomorfos) desenvolvidas em condições superficiais (Prancha 4, Fotomicrografia 5).

GEOQUÍMICA

ELEMENTOS MAIORES

A Tabela 1 mostra os resultados das análises químicas por ICP-ES realizadas no laboratório da ACME *Analytical Laboratories LTD* para os óxidos maiores de seis amostras de formações ferríferas bandadas localizadas nas Folhas Quixeramobim e Boa Viagem. A partir desses dados observa-se que a composição química das formações ferríferas é relativamente simples, com SiO_2 e Fe_2O_3 representando mais de 96% de sua composição total. Os teores dos demais óxidos são pouco variáveis e extremamente baixos.

Algumas diferenças podem ser observadas, quando se compara as formações ferríferas da folha Quixeramobim (CQ 30, CQ30a e CQ30d) com as de Boa Viagem (PRC 1914, PRC1914A e PRC 1914C). Os teores de MgO , CaO , MnO e P_2O_5 são maiores

para as BIF's de Quixeramobim em relação as de Boa Viagem. Somente os teores de Al_2O_3 são maiores para as BIF's de Boa Viagem quando comparadas às de Quixeramobim. Independente destas diferenças, as formações ferríferas estudadas podem ser comparadas geoquimicamente com as BIF's do fácies óxido-silicato metamorfizadas, e mineralogicamente, aos itabiritos anfíbolíticos reconhecidos na região do Quadrilátero Ferrífero (Veríssimo, 1999; Veríssimo et al., 2002) (Tabela 1).

ELEMENTOS TERRAS RARAS

Com exceção de duas amostras de BIFs de Boa Viagem (PRC 1914 e PRC 1914A) os teores absolutos dos ETR são muito altos quando comparados às diversas formações ferríferas pré-cambrianas, com a somatória total variando entre 119,37 e 189,44 (Tabela 2).

TABELA 1. Análises químicas dos elementos maiores das formações ferríferas bandadas de Quixeramobim - CE, Boa Viagem - CE e do Grupo Itabira - Quadrilátero Ferrífero, MG

	1	2	CQ 30	CQ 30a	CQ 30d	PRC 1914	PRC 1914A	PRC 1914C	3	4
SiO₂	51,35	50,65	51,44	51,65	50,96	53,89	56,03	50,65	47,10	48,96
Al₂O₃	0,28	0,77	0,28	0,35	0,21	1,02	0,28	1,00	0,14	0,12
Fe₂O₃	45,83	43,93	45,85	45,18	46,47	42,96	42,02	46,81	50,40	48,08
MgO	1,83	0,33	1,58	2,31	1,61	< 0,01	0,97	< 0,01	<0,10	0,04
CaO	0,59	0,07	0,61	0,62	0,53	0,06	0,12	0,03	<0,05	0,07
Na₂O	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	<0,01	0,17
K₂O	0,04	0,04	< 0,04	0,05	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,01	< 0,01
TiO₂	0,03	0,02	< 0,01	0,08	< 0,01	0,02	0,02	0,01	<0,05	0,15
P₂O₅	0,17	0,07	0,22	0,15	0,16	0,05	0,08	0,08	<0,05	0,08
MnO	0,12	0,04	0,08	0,17	0,10	0,03	0,06	0,02	0,04	< 0,01
LOI	-0,26	1,23	-,1	-,6	-,1	2,0	0,4	1,3	1,5	0,1
Soma	99,98	99,99	100,00	99,99	99,97	100,06	100,01	99,91	100,04	99,7

1 - Média dos teores de elementos maiores para as amostras de BIFs da Folha Quixeramobim (CQ 30).

2 - Média dos teores de elementos maiores para as amostras de BIFs da Folha Boa Viagem (PRC 1914). CQ30, CQ30a e CQ30d – Amostras de BIFs da Folha Quixeramobim. PRC 1914, PRC1914A e PRC1914C – Amostras de BIFs da Folha Boa Viagem.

3 - Amostra de Itabirito Anfíbolítico (PG1514) (f. óxido-silicato metamorfizada) do G. Itabira (Mina de Alegria, Quadrilátero Ferrífero) (e.g. Veríssimo, 1999).

4 - Média de três amostras de BIF's do Grupo Itabira (S. Piedade e Pico do Itabirito, Quadrilátero Ferrífero) (e.g. Klein & Almeida, 2000).

TABELA 2. Teores dos elementos de terras-raras para as formações ferríferas bandadas do Complexo Cruzeta: CQ 30 e CQ 30d – Quixeramobim; PRC 1914, PRC 1914A e PRC 1914C – Boa Viagem (este trabalho); 1 - Serra do Curral – Grupo Itabira (fácies óxido) – tipo Lago Superior – 2,4 a 2,5 Ga (e.g., Raposo & Ladeira, 1993); 2 - Mina de Alegria – Grupo Itabira (fácies óxido-silicato) – tipo Lago Superior – 2,4 a 2,5 Ga (e.g., Veríssimo et al., 2002); 3 – Brockman – Grupo Hamersley – Austrália (fácies óxido) – tipo Lago Superior – 2,49 Ga (Derry & Jacobsen, 1990); 4 – Isua – Groenlândia (fácies óxido) - tipo Algoma – 3.7 a 3.8 Ga (e.g., Shimizu et al., 1990); 5 – Fazenda Cachoeira – Grupo Nova Lima – MG (fácies óxido) – tipo Algoma – 2.7 a 3.0 Ga (e.g., Raposo & Ladeira, 1993). Σ ETR - somatória dos elementos de terras-raras, ETRL - elementos de terras-raras leves, ETRP - elementos de terras-raras pesados, Eu_n/Eu^* - fator de enriquecimento do európio normalizado pelo NASC (Taylor & McLennan, 1985).

	CQ 30	CQ 30d	PRC 1914	PRC 1914A	PRC 1914C	1	2	3	4	5
La	42.1	40.8	1.4	3,7	57.5	2.54	2.04	2.77	3.48	5.12
Ce	53.4	63.3	1.4	7.4	50.1	3.98	6.35	5.05	5.18	10.88
Pr	4.85	6.47	0.39	0.72	15.16	ND	ND	ND	ND	ND
Nd	14.2	20.5	1.5	2.8	47.7	1.49	4.99	2.29	1.87	3.96
Sm	1.8	2.4	0.3	0.6	7.7	0.46	1.39	0.39	0.27	0.72
Eu	0.54	0.64	0.06	0.11	1.34	0.06	0.50	0.13	0.18	0.33
Gd	1.39	1.91	0.38	0.58	4.26	0.52	1.59	0.56	0.32	0.62
Tb	0.23	0.29	0.05	0.10	0.60	ND	ND	ND	ND	ND
Dy	1.26	1.27	0.27	0.61	2.82	0.43	1.95	0.69	0.37	0.44
Ho	0.24	0.26	0.06	0.12	0.40	0.09	0.43	ND	ND	0.08
Er	0.77	0.72	0.15	0.40	0.97	0.32	1.37	0.63	0.25	0.21
Tm	0.11	0.11	0.06	0.06	0.13	ND	ND	ND	ND	ND
Yb	0.66	0.61	0.18	0.37	0.67	0.41	1.59	0.79	0.24	0.21
Lu	0.10	0.09	0.03	0.06	0.09	0.11	0.26	ND	0.04	0.03
ETRL	116.35	113,47	4.99	15.22	178.16	8.48	14.76	10.5	10.8	20.68
ETRP	5.3	5,9	1.24	2.41	11.28	1.94	7.72	2.8	1.4	1.92
Σ ETR	121.65	119,37	6.23	17.63	189.44	10.40	22.48	13.3	12.2	22.6
Eu_n/Eu^*	1.49	1.31	0.77	0.82	0.99	0.53	1.45	1.44	2.66	2.19

Analisando-se os dados químicos e os variogramas de ETR das formações ferríferas estudadas pode-se separar, grosso modo, dois grupos. O primeiro grupo inclui as BIF's de Quixeramobim, com somatórios totais de ETR muito altos (121,65 e 119,37) e caracterizado também pelo aumento gradativo do fracionamento dos ETR, do Lantânio (La) em direção ao Lutécio (Lu) (Figuras 2, 3 e Tabela 2). Neste grupo as duas amostras analisadas exibem anomalia moderadamente positiva de európio ($Eu_n/Eu^* = 1,31$ e $1,49$). O segundo grupo, representado pelas BIF's de Boa Viagem, possui somatório total de ETR muito variado (6,23 a 189,44) e nenhuma amostra exibe anomalia de európio ($Eu_n/Eu^* = 0,77$ a $0,99$). Os variogramas mostram padrões bem diferentes dos padrões clássicos apresentados pelas formações ferríferas arqueanas e paleoproterozóicas, mundialmente conhecidas (Figura 4 e Tabela 2).

Uma das amostras (PRC 1914A) praticamente não apresenta qualquer fracionamento de ETR em relação ao padrão NASC (*North American Shale Composite*). As outras duas (PRC 1914 e PRC 1914C) exibem anomalias negativas de cério. A amostra

PRC 1914C também é caracterizada pelo fracionamento dos ETRL em reação aos ETRP (Figura 3). As anomalias negativas de cério nas BIF's de Boa Viagem podem ser explicadas pela precipitação do Ce^{3+} ou incorporação deste elemento em fases de óxi-hidróxidos manganésíferos, a medida que são registradas ocorrências de gonditos e formações manganésíferas nos arredores de Boa Viagem (CPRM, 2006; Veríssimo et al., 2008).

Quando comparamos os fatores de enriquecimento do európio normalizado pelo NASC das BIF's de Quixeramobim com os fatores de diversas BIF's mundialmente conhecidas, verifica-se que os valores ($Eu_n/Eu^* = 1,31$ e $1,49$) são comparáveis as BIF's tipo Lago Superior, paleoproterozóicas, localizadas no Quadrilátero Ferrífero (Grupo Itabira) (Brasil) e Austrália (Grupo Hamersley) (Eu_n/Eu^* entre = $1,32$ e $1,45$). Os fatores de enriquecimento de európio para as amostras de BIF's tipo Algoma das regiões da Groenlândia (Isua) e do Quadrilátero Ferrífero (G. Nova Lima) são maiores (Eu_n/Eu^* entre = $2,19$ e $2,66$) (Tabela 2) e, comumente associadas a seqüências tipo *greenstone belts* arqueanas.

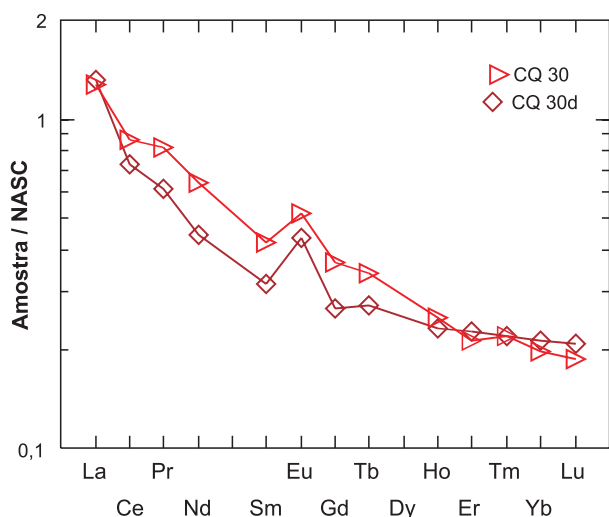


FIGURA 2. Variogramas da concentração dos ETR para as formações ferríferas bandadas da folha Quixeramobim normalizados pelo NASC. CQ 30 e CQ 30d.

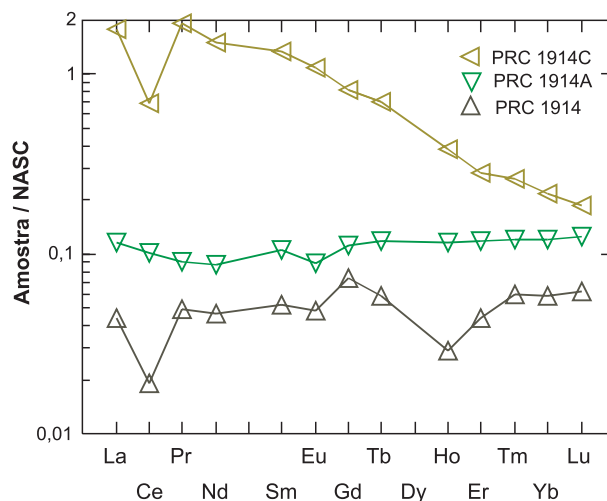


FIGURA 3. Variogramas da concentração dos ETR para as formações ferríferas bandadas da folha Boa Viagem normalizados pelo NASC. PRC 1914C, 1914A e 1914.

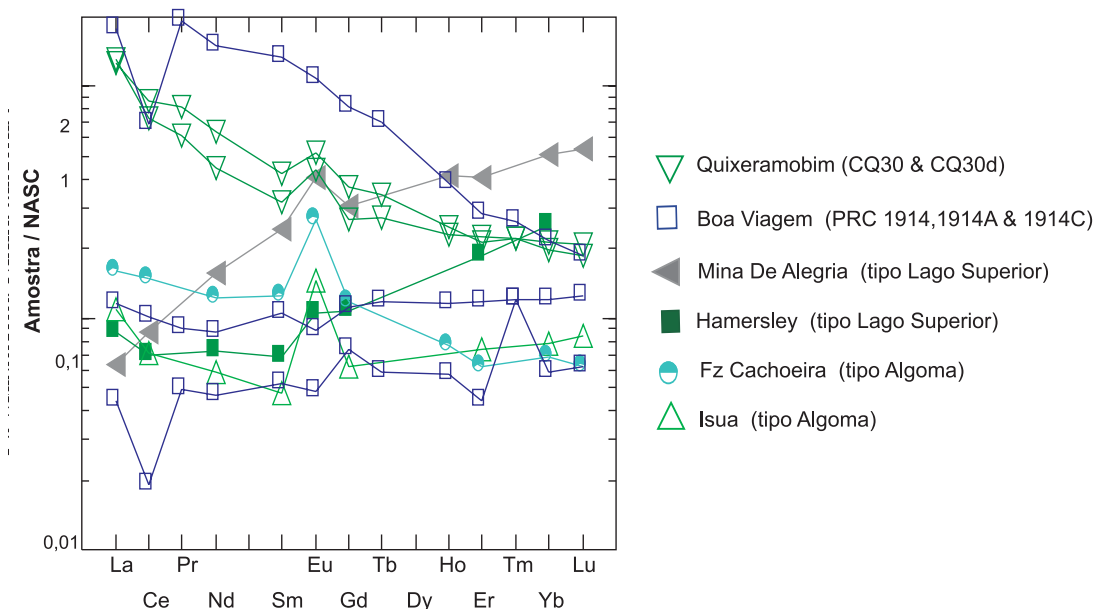


FIGURA 4. Variogramas da concentração dos ETR para as formações ferríferas bandadas de Quixeramobim (CQ 30 e CQ30d), Boa Viagem (PRC 1914, 1914A, 1914C), Mina de Alegria - G. Itabira (tipo Lago Superior), G. Hamersley - Austrália (tipo Lago Superior), Isua - Groenlândia (tipo Algoma), Fazenda Cachoeira - Grupo Nova Lima (tipo Algoma) normalizados pelo NASC.

CONCLUSÕES

A grande maioria dos exemplos conhecidos de BIF's arqueanas e paleoproterozóicas exibe anomalia positiva pronunciada de Eu quando os valores de ETR são normalizados pelo padrão NASC. Este enriquecimento é geralmente interpretado como decorrência da contribuição de soluções hidrotermais na água do mar durante a precipitação dos sedimentos ferríferos. Os padrões de ETR obtidos, com anomalias

positivas de Europium para as BIF's de Quixeramobim e ausentes nas BIF's de Boa Viagem podem ser interpretados considerando a posição do sítio de deposição de ferro em relação à área fonte deste elemento. Segundo esta linha de raciocínio, as BIF's de Boa Viagem estariam localizadas em posição distal e as de Quixeramobim mais próximas a área fonte. Entretanto, algumas outras observações devem ser

levadas em consideração. As anomalias moderadamente positivas de európio ($Eu_n/Eu^* = 1,31$ e $1,49$) exibidas pelas BIF's de Quixeramobim diferem sobremaneira das apresentadas pelas BIF's arqueanas do Tipo Algoma. Os valores são mais próximos aos das BIF's paleoproterozóicas do Tipo Lago Superior ($Eu_n/Eu^* > 1$ e < 2), onde as anomalias pouco expressivas são interpretadas como decorrentes da pequena participação dos fluidos hidrotermais no ambiente de deposição das BIF's.

Com relação a economicidade dos depósitos de ferro estudados, destaca-se a ocorrência de ferro de Boa Viagem pela sua dimensão, entretanto, analisando unicamente os dados químicos disponíveis, tanto as

ocorrências de Quixeramobim como as de Boa Viagem se assemelham aos itabiritos anfíbolíticos do Quadrilátero Ferrífero os quais, constituem ainda, uma reserva estratégica. Os teores altos de alumínio e fósforo influenciam negativamente nos processos de separação da sílica e concentração do ferro, especialmente, em meio aquoso, dificultando seu aproveitamento econômico.

Vale ressaltar que em função do caráter preliminar da pesquisa, poderão ser reconhecidas, com o desenvolvimento das pesquisas em escala de detalhe na área, outras fácies sedimentares típicos de formações ferríferas bandadas, bem como, será possível uma melhor avaliação do seu potencial econômico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARTHAUD, M.H. **Evolução neoproterozóica do Grupo Ceará (Domínio Ceará Central, Nordeste do Brasil): da sedimentação à colisão continental brasileira**. Brasília, 2007. 132 p. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.
- ARTHAUD, M.H.; CABY, R.; FUCK, R.A.; DANTAS, E.L.; PARENTE, C.V. Geology of the Northern Borborema Province, NE Brazil and its correlation with Nigeria, NW Africa. In: PANKHURST, R.J., TROUW, R.A.J.; BRITO NEVES, B.B.; DE WIT, M.J. (Orgs.), **West Gondwana: Pre-Cenozoic Correlations Across the South Atlantic Region**. Londres: Geological Society of London, 1a. ed., v. 294, p. 49-67, 2008.
- CABY, R. & ARTHAUD, M.H. Major Precambrian nappes of the Brazilian Belt, Northeast Brazil. **Geology**, v. 14, p. 871-874, 1986.
- CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Programa de Mapeamento geológico Básico das folhas SB 24-V-D-III (Quixeramobim), SB 24-V-D-II (Boa Viagem) e SB 24-V-B-V (Itatira), Estado do Ceará, Escala 1:100.000**. Ceará: Convênio Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil, 218 p., 2006.
- DERRY, L.A. & JACOBSEN, S.B. The chemical evolution of Precambrian seawater: Evidence from REEs in banded iron formations. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 54, p. 2965-2977, 1990.
- FETTER, A.H. **U-Pb and Sm/Nd geochronological constraints on the crustal framework and geologic history of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications of the assembly Gondwana**. Kansas, 1999. 164 p. Tese (Doutorado em Geologia) – Departamento de Geologia, Universidade de Kansas, Lawrence, USA.
- HAMELACK, G.M.S.; AZEVEDO, L.R.P. DE; NOGUEIRA NETO, J.A.; MAGINI, C. Relações Petrogenéticas dos Gnaisses da Região de Pedra Branca (Domínio Ceará Central), Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO GEOQUÍMICO DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, 9, 2008, Cabo Verde. **Boletim de Resumos...** Portugal: Universidade de Aveiro/Universidade de Cabo Verde, 2008, p. 110.
- KHAN, R.M.K. & NAQVI, S.M. Geology, geochemistry and genesis of BIF of Kushtagi schist belt, Archean Dharwar Craton, India. **Mineral Deposita**, v. 31, p. 123-133, 1996.
- KLEIN, C. Diagenesis and metamorphism of Precambrian banded iron-formations. In: TRENDALL, A.F. & MORRIS, R.C. (Eds.), **Iron-Formation: Facts and Problems**. Amsterdam: Elsevier, p. 417-469, 1983.
- KLEIN, C. & ALMEIDA E.A. Geochemistry and Petrology of Some Proterozoic Banded Iron-Formations of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **Economic Geology**, v. 95, p. 405-428, 2000.
- RAPOSO, F.O. & LADEIRA, E.A. Litogeoquímica de elementos terras raras de itabiritos da Serra do Curral, Quadrilátero Ferrífero, MG. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 7, 1993, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia/MG, 1993, p. 95-98.
- RAPOSO, F.O. & LADEIRA, E.A. Padrões de terras-raras de algumas formações ferríferas arqueanas do Quadrilátero Ferrífero. **A terra em revista**, p. 19-23, 1995.
- SHIMIZU, H.; UMEMOTO, N.; MASUDA, A.; APPEL, P.W.U. Sources of iron-formations in the Archean Isua and Malene supracrustals, West Greenland: Evidence from La-Ce and Sm-Nd isotopic data and REE abundances. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 54, p. 1147-1154, 1990.
- TAYLOR, S.R. & McLENNAN, S.M. **The Continental crust: Its Composition and Evolution**. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 312 p., 1985.
- VERÍSSIMO, C.U.V. **Jazida de Alegria: Gênese e Tipologia dos Minérios de Ferro (Minas 3,4 e 5 – Porção Ocidental)**. Rio Claro, 1999. 234 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- VERÍSSIMO, C.U.V.; MAGINI, C.; PARENTE, C.V.; NOGUEIRA NETO, J.A.; ALMEIDA, A.R.; MELO, O.O.; HAMELAK, G.M.S. Formações Ferríferas Bandadas da Região de Quixeramobim - Boa Viagem, Estado do Ceará, Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO DE GEOQUÍMICA DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, 9, 2008, Cabo Verde. **Boletim de Resumos...** Portugal: Universidade de Aveiro/Universidade de Cabo Verde, 2008, p. 107.
- VERÍSSIMO, C.U.V.; SCHRANK, A.; PIRES, F.R.M.; HASUI, Y.; ZANARDO, A.; PARENTE, C.V. Geochemical Study of the Itabirite Iron Ores of the Alegria Mine – Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON IRON ORES, 2002, Perth. **Proceedings...** Perth, Austrália: CSIRO/AusIMM, 2002, p. 95-105.

Manuscrito Recebido em: 1 de setembro de 2008
Revisado e Aceito em: 30 de junho de 2009