



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**GÊNESE DAS FORMAÇÕES FERRÍFERAS DA PORÇÃO CENTRAL DO MAÇICO SÃO
JOSÉ DO CAMPESTRE, RIO GRANDE DO NORTE, NORDESTE DO BRASIL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº460

Joice Dias dos Santos de Moraes

Brasília
2020

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**GÊNESE DAS FORMAÇÕES FERRÍFERAS DA PORÇÃO CENTRAL DO MAÇICO SÃO
JOSÉ DO CAMPESTRE, RIO GRANDE DO NORTE, NORDESTE DO BRASIL**

Joice Dias dos Santos de Moraes

Área de Concentração: Geologia Regional

Orientador: Prof. Dr. Elton Luiz Dantas

Dissertação de mestrado
apresentada à Universidade de Brasília
como requisito para obtenção do título de
Mestre em Geologia.

BANCA EXAMINADORA

A) Prof^ª. Dr^ª. Paola Ferreira Barbosa - Membro Interno – IG/UnB

B) Prof. Dr. Clóvis Vaz Parente - Membro Externo – DEGEO/UFC

Brasília

2020

JOICE DIAS DOS SANTOS DE MORAES

GÊNESE DAS FORMAÇÕES FERRÍFERAS DA PORÇÃO CENTRAL DO MAÇICO SÃO JOSÉ DO CAMPESTRE, RIO GRANDE DO NORTE, NORDESTE DO BRASIL

Dissertação de mestrado apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília como requisito para obtenção de título de Mestre em Geologia.

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^ª. Paola Ferreira Barbosa
Membro Interno – IG/UnB

Prof. Dr. Clóvis Vaz Parente
Membro Externo – DEGEO/UFC

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

DM827g Dias dos Santos de Moraes, Joice
Gênese das Formações Ferríferas da Porção Central do Maciço
São José do Campestre, Rio Grande do Norte, Nordeste do
Brasil / Joice Dias dos Santos de Moraes; orientador Elton
Luiz Dantas. -- Brasília, 2020.
75 p.

Dissertação (Mestrado - Mestrado em Geologia) --
Universidade de Brasília, 2020.

1. Formações ferríferas. 2. Província Borborema. 3. Isótopos
Sm-Nd. 4. Geoquímica de rocha total. 5. Química mineral. I.
Luiz Dantas, Elton, orient. II. Título.

Nada no mundo é mais perigoso que a ignorância sincera e a estupidez consciente.

Martin Luther King Jr.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe amada pelo incentivo e apoio em tudo. Nunca chegaria aqui sem seu amor, paciência, bom humor, seu ombro amigo, dedicação, força e fé. Agradeço também à minha tia, exemplo de coragem e determinação, eu agradeço toda generosidade, compreensão, incentivo e apoio incondicional. Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado, por fomentar o conhecimento nas universidades e alavancar a ciência e a inovação em diversas áreas. Agradeço aos professores e técnicos da Universidade de Brasília (UnB), cada um à sua maneira, que incitaram a busca do conhecimento, desenvolvimento e conclusão dessa dissertação de mestrado. Em especial, agradeço ao Prof. Dr. Pedro Cordeiro, da Pontificia Universidad Católica de Chile, pela sua grandiosa alma: cheia de humanidade, tenacidade, felicidade e generosidade. Aos meus amigos amados de longa data e aos queridos amigos que tive o prazer de conhecer e conviver em Brasília, agradeço por todo carinho, alegria e cumplicidade compartilhados. Por fim, agradeço de coração a todos que contribuíram de alguma forma com mais essa experiência na minha vida.

RESUMO

Formações ferríferas são fontes vitais de minério de ferro para várias indústrias e podem ser importantes arquivos geológicos que registram vários estágios de eventos pós-deposicionais. Frequentemente, no entanto, exemplos altamente metamorfoseados ou deformados podem acomodar interpretações genéticas duvidosas, o que dificulta o uso dessas rochas como registros de eventos geológicos regionais e a aplicação das melhores técnicas de exploração mineral. Este trabalho concentra-se em rochas ricas em magnetita e quartzo fortemente retrabalhadas e rochas associadas do Maciço de São José do Campestre, um dos mais antigos fragmentos de crosta preservada da América do Sul. A classificação dessas rochas ricas em magnetita-quartzo como formações ferríferas não é direta, porque as montagens e texturas sedimentares primárias foram modificadas variavelmente pelo metamorfismo das fácies granulito durante um evento regional de migmatização paleoproterozóica. Assim, essas rochas poderiam ser interpretadas como derivadas de processos hidrotermais associados à zona de cisalhamento. Para abordar essa ambiguidade, apresentamos química mineral (magnetita), geoquímica de rocha total e isótopos Sm-Nd dessas rochas. Química da magnetita indica que as formações ferríferas pobres em piroxênio (Tipo B) são baixas em elementos, como Ti, Al, V e Mn, como esperado em formações ferríferas semelhantes em outros lugares. No entanto, a magnetita das formações ferríferas tipo A enriquecidas com piroxênio é mais rica em elementos traços e mais semelhante à cristalizada em sistemas de alta temperatura, como skarn e IOCG. Os $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ dessas rochas apresentam forte variação mesmo na escala de afloramento, indicando uma mistura altamente heterogênea, controlada localmente, de fonte arqueana, paleoproterozoica e, subordinadamente, neoproterozoica. Nós interpretamos que rochas ricas em magnetita-quartzo de São José do Campestre são formações ferríferas altamente metamorfoseadas que registraram a incorporação de elementos traços na estrutura de cristais de magnetita durante o metamorfismo de fácies granulito e a perturbação do sistema isotópico Sm-Nd em pelo menos um evento hidrotermal relacionado à deformação. Nosso estudo indica que mudanças metamórficas na química mineral e isótopos Sm-Nd de rocha total exigem parcimônia em seu uso para interpretação de ambientes deposicionais de cinturões polideformados. Formações ferríferas do Maciço de São José do Campestre são um exemplo importante de como as assinaturas metalogênicas primárias podem minar a classificação genética de minérios de ferro.

ABSTRACT

Iron formations are vital sources of iron ore for various industries and can be important geological archives recording multiple stages of post-depositional events. Frequently, however, highly metamorphosed or deformed examples can accommodate dubious genetic interpretation, which hampers the use of these rocks as records of regional geological events and the application of best mineral exploration techniques. This work focuses on strongly reworked magnetite-quartz-rich rocks and associated rocks from the São José do Campestre Massif, one of the oldest fragments of preserved crust in South America. The classification of these magnetite-quartz-rich rocks as iron formations is not straightforward because primary sedimentary assemblages and textures were variably modified by granulite facies metamorphism during a regional Paleoproterozoic migmatization event. Thus, these rocks could alternatively be interpreted as derived from shear zone-associated hydrothermal processes. To address this ambiguity, we present mineral chemistry (magnetite), whole-rock geochemistry, and Sm-Nd isotopes of these rocks. Magnetite chemistry indicates that pyroxene-poor iron formations (Type B) are low in trace elements such as Ti, Al, V, and Mn, as expected from similar iron formations elsewhere. However, magnetite from pyroxene-enriched Type A iron formations are richer in trace elements and more akin to that crystallized from higher temperature systems, such as skarn and IOCG. The $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ of these rocks show strong variation even at the outcrop scale indicating a locally-controlled, highly heterogeneous mixture of Archean, Paleoproterozoic, and, subordinately, Neoproterozoic source. We interpret that magnetite-quartz-rich rocks from the São José do Campestre are highly metamorphosed iron formations that registered the incorporation of trace elements into the structure of magnetite crystals during granulite-facies metamorphism and the perturbation of the Sm-Nd isotopic system in at least one deformation-related hydrothermal event. Our study indicates that metamorphic changes in mineral chemistry and whole-rock Sm-Nd isotopes demand parsimony in their use for interpretation of sin-depositional environments of polydeformed belts. The São José do Campestre Massif iron formations are an important example of how primary metallogenic signatures can undermine the genetic classification of iron ores.

SUMÁRIO

Lista de Figuras.....	xii
Lista de Tabelas.....	xiii

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Apresentação.....	1
1.2. Justificativa e objetivos.....	1
1.3. Localização e principais vias de acesso.....	2
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	2
3. CONTEXTO GEOLÓGICO.....	3
3.1 Província Borborema.....	3
3.2 Domínio Rio Grande do Norte.....	4
3.3 Maciço São José do Campestre.....	5
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	9

CAPÍTULO II

RESUMO

1. INTRODUÇÃO.....	2
2. CONTEXTO GEOLÓGICO.....	3
3. PETROGRAFIA.....	7
3.1 Formações Ferríferas.....	7
3.2 Ortognaisses.....	10
3.3 Paragnaisses.....	10
3.4 Rochas Calcissilicáticas.....	10
3.5 Mármore.....	11
3.6 Rochas metamáfica-ultramáficas.....	12
3.7 Intrusões graníticas.....	13
4. MÉTODOS.....	15
4.1 Geoquímica de Rocha Total.....	16
4.2 Química Mineral.....	19

4.3 Isótopos Sm-Nd.....	21
5. DISCUSSÕES.....	23
5.1 Gênese das formações ferríferas.....	23
5.1.1 Hipótese 1: Gênese por fluidos hidrotermais ao longo de zonas de cisalhamento.....	24
5.1.2 Hipótese 2: Formações ferríferas modificadas por metamorfismo.....	25
5.2 Alterações pós-deposicionais mineralógicas e isotópicas.....	27
6. CONCLUSÕES.....	29
7. AGRADECIMENTOS.....	30
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30
ANEXOS.....	35

Lista de Figuras

CAPÍTULO I

Figura 1 Mapa de localização da área de estudo.....2

Figura 2 Mapas regionais referentes à área de estudo. **A.** Mapa da Província Borborema com as zonas de cisalhamento (linhas pretas) de Patos e Pernambuco, separando os três setores. Os traços azuis separam os setores menores (domínios). Nomes dos domínios em azul e vermelho. Nomes das zonas de cisalhamento em verde (modificado de Delgado et al., 2013 e Silva, 2006) **B.** Mapa geológico do MSJC (modificado de Roig & Dantas, 2013).....8

CAPÍTULO II

Figura 1 Mapa geológico simplificado do Maciço São José do Campestre (Modificado de Dantas et al. 2004).....5

Figura 2 Mapa geológico local da área de estudo (Modificado de Abrahão Filho, 2016).....6

Figura 3 **A.** Amostra de mão da formação ferrífera bandada **B.** Amostra de mão da formação ferrífera maciça. **Fotomicrografia:** **C.** Formação ferrífera com cristais de magnetita nematoblástica, quartzo e actinolita. **D.** Formação ferrífera (Tipo A) com ortopiroxênio (ferrossilita) com contatos retos a ondulados com magnetitas subédricas a euédricas. **E.** Formação ferrífera (Tipo A) com magnetita e quartzo com textura granoblástica e clinopiroxênio com inclusões de magnetita subédrica a euédrica e quartzo. **F.** Formação ferrífera (Tipo A) com magnetita, euédrica a subédrica inclusa em clinopiroxênio fracamente alterado em contato com magnetita quartzo subédricas a anédricas. **G.** Formação ferrífera (Tipo B) com cristais de magnetita subédrica e quartzo com textura granoblástica. **H.** Magnetita martitzada de amostra da formação ferrífera **C. D. E. F. G.** sob luz polarizadas e nicois descruzados **H.** sob luz refletida. Abreviações minerais: **Mag**–magnetita, **Hem**–hematita, **Qtz**–quartzo, **Cpx**–clinopiroxênio, **Hb**–hornblenda, **Tr**–Tremolita, **Act**–actinolita.....9

Figura 4 **A.** Afloramento de ortognaisse migmatizado em contato (linhas vermelhas) tectônico ou intrusivo com rochas calcissilicáticas, anfíbolitos e olivina mármore. **B.** Detalhe do afloramento que mostra contato entre o ortognaisse migmatizado encaixante com xenólitos máficos calcissilicáticos (linhas verdes). **C.** Amostra de mão de anfíbolito. **D.** Amostra de mão de olivina mármore. **F.** Amostra de mão de tremolitito com magnetita. **Fotomicrografia:** **E.** Olivina mármore com cristais de olivina substituídos por calcedônia e parcialmente oxidados, em contato com trama de calcita. **G.** Piroxenitito com textura granoblástica poligonal. **H.** Anfíbolito com tremolita e plagioclásio subordinado. **I.** Tremolitito com magnetitas euédricas a subédricas. **J.** Rocha calcissilicática com clinopiroxênio e plagioclásio primários substituídos por granada e escapolita. **E. G. H. I. J. L. M.** sob luz polarizadas e nicois descruzados. **Abreviações minerais:** **Mag**–magnetita, **Qtz**–quartzo, **Cpx**–clinopiroxênio, **Pl**–plagioclásio, **Ol**–olivina, **Hb**–hornblenda, **Tr**–Tremolita, **Grt**–granada, **Cal**–calcita, **Scp**–escapolita, **Bt**–biotita.....14

Figura 5 Diagramas Harker (Harker, 2011) para amostras das formações ferríferas da área de estudo.....	18
Figura 6 Diagramas de elementos terras raras normalizados pelo PAAS (Taylor and McLennan, 1985) e diagramas multielementares normalizados ao condrito (McDonough and Sun, 1995) para formações ferríferas Tipo A e Tipo B, piroxenititos, calcissilicáticas, anfíbolitos e olivina mármores da área de estudo. Os campos em cinza representam a composição das formações ferríferas Tipo B para comparação.....	17
Figura 7 Diagrama de discriminação mineral de magnetita Al+Mn vs Ti+V (Dupuis & Beaudoin, 2011; Nadoll et al., 2014) para formações ferríferas da área de estudo mostrando tipos A, B e amostra de magnetita anfíbolito para comparação. Campos pontilhados referem-se à composição de magnetitas das formações ferríferas metamorizadas da China (Lan et al., 2019a).....	20
Figura 8 Modelo de evolução $\epsilon\text{Nd}(t)$ em função do tempo para formações ferríferas e rochas associadas do Maciço São José do Campestre. Três modelos $\epsilon\text{Nd}(t)$ (2.7, 2.0 e 0.58 Ga) foram calculados separadamente em associação a principais eventos do maciço para ilustrar a variação dos resultados entre distintas amostras coletadas no mesmo contexto geológico. Campos cinza e amarelo são correspondentes aos resultados de Sm-Nd de Silva Filho (2012) também para o Maciço São José do Campestre.....	22

Lista de Tabelas

CAPÍTULO II

Tabela 1 Análises representativas dos resultados de geoquímica de rocha total de elementos maiores, menores (wt.%) e traços (ppm) das formações ferríferas Tipo A e Tipo B, rochas calcissilicáticas, piroxenititos, anfibolitos e mármore da área de estudo.....	20
Tabela 2 Amostras das análises de química mineral de magnetita mais representativas das amostras das formações ferríferas da área de estudo.....	22
Tabela 3 Dados isotópicos de Sm-Nd em rocha total para amostras das formações ferríferas Tipo A e B da área de estudo.....	24

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

A presente dissertação será dividida em dois capítulos. O primeiro capítulo abordará brevemente aspectos gerais do projeto como apresentação, justificativa e objetivos, localização da área de estudo e geologia regional. O segundo capítulo será em forma de artigo.

A abordagem principal da pesquisa será a gênese das formações ferríferas do Maciço São José do Campestre, localizado no nordeste da Província Borborema, inserido no Domínio Rio Grande do Norte. O Maciço São José do Campestre é um bloco crustal arqueano com uma área de 6000 km² localizado no leste do estado do Rio Grande do Norte, nordeste do Brasil. Considerado o mais antigo fragmento de crosta continental existente na plataforma Sul Americana, o Maciço São José do Campestre possui um conjunto de rochas formadas ao longo de aproximadamente 700 Ma (3.41-2.65 Ga) (Dantas et al., 2013).

1.2 Justificativa e objetivos

Estudo de petrografia aliado às técnicas mais modernas aplicadas às rochas supracrustais arqueanas podem identificar protólitos e caracterizar possíveis eventos metamórficos e metassomáticos, que estas rochas foram submetidas, assim é possível identificar a gênese e quiçá o paleoambiente responsável por estas rochas, que podem representar fragmentos de crosta oceânica ou complexos de arcos de ilhas preservados com potencial para ocorrência de minerais metálicos.

Os objetivos da dissertação de mestrado são a investigação da gênese das formações ferríferas através de mapeamento, análise petrográfica, geoquímica de rocha total, alteração metamórfica da química da magnetita e da assinatura isotópica Sm-Nd das formações ferríferas encontradas na área de estudo situada dentro no Maciço São José do Campestre (Fig. 2), através de técnicas de

mapeamento, petrografia, geoquímica de rocha total, química mineral e geologia isotópica com a utilização do método Sm-Nd.

1.3 Localização da área de estudo

A área possui aproximadamente 226km² e está inserida no município de Senador Elói de Sousa no estado do Rio Grande do Norte (Fig. 1). Partindo da capital do estado, Natal, até a área de trabalho, segue-se pelas rodovias federais BR-304 até o início da BR-226, que dá acesso às cidades de Bom Jesus, Senador Elói de Sousa e Presidente Juscelino. A área de estudo encontra-se próxima e adjacentes à BR-226.

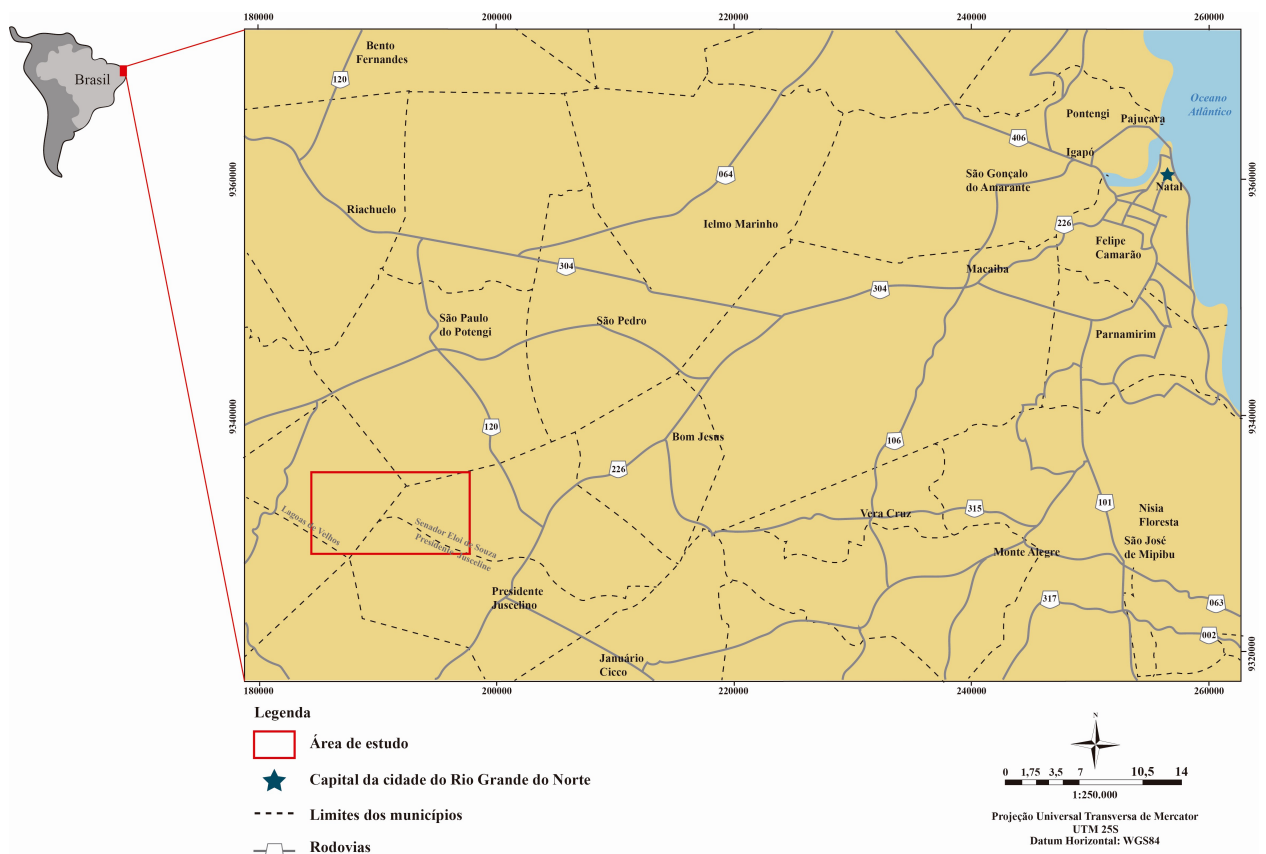


Fig. 1 Mapa de localização da área de estudo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse trabalho são aplicados os seguintes métodos:

1. Mapeamento geológico: mapeamento com alvo nas formações ferríferas no Maciço São José

do Campestre. Imagens de satélite e fotos aéreas e imagens serviram como base para o mapeamento;

2. Petrografia: descrição petrográfica e interpretação petrológica de amostras das unidades geológicas mapeadas com foco nas formações ferríferas do Maciço São José do Campestre;
3. Química Mineral: utilização de microsonda acoplada ao microscópio eletrônico para estudo da química mineral de magnetitas, piroxênios, anfibólios e granadas;
4. Geoquímica e geoquímica isotópica: **4.a.** Análise geoquímica de elementos maiores, de elementos terras raras e elementos traços como um dos parâmetros guia para as interpretações genéticas em termos de ambiente, processos, metassomatismo e enriquecimento em ferro nas formações ferríferas. **4.b.** Análise de isótopos de Sm-Nd como um dos parâmetros guia para as interpretações genéticas em termos de ambiente deposicional ou de enriquecimento supergênico das mineralizações. Estes estudos serão a determinação de idades modelo T_{DM} e $\epsilon Nd(t)$, que auxiliam a caracterização do ambiente geotectônico da região.

3. CONTEXTO GEOLÓGICO

3.1 Província Borborema

A Província Borborema (PB) (Fig. 2A) é uma unidade geotectônica localizada no nordeste do Brasil, ocupa uma área de aproximadamente 400.000 km², limitada ao norte e a leste pelo Oceano Atlântico e pela Bacia Potiguar, a oeste pela Bacia do Parnaíba e ao sul pelo Cráton do São Francisco.

A PB é correlacionada com províncias geotectônicas do Oeste Africano, devido a Orogenia Brasileira-Pan Africana (Almeida et al., 1977, 1981) arquitetada por uma tectônica direcional entre os crátons. São Francisco-Congo, São Luís-Oeste Africano e Amazônico, que impôs forte escape lateral tectônico ao longo das faixas de toda província.

De acordo com Jardim de Sá (1994), essa estruturação é resultado de uma série de colisões de terrenos alóctones ocorridas durante as orogêneses Cariris-Velho (1.1-0.9 Ga) e Brasileira (0.7-0.6 Ga), sendo facilmente visualizadas em imagens de satélite e confirmadas por modelagens gravimétricas regionais (Oliveira & Santos, 1993; Jardim de Sá et al., 1997). A direção W-E com

inflexões para SW-NE na PB forma um arranjo de estruturas complexas com zonas de cisalhamento transcorrentes, que evoluem localmente para empurrões (faixas) onde demarcam complexos gnáissicos-migmatíticos a granulíticos menos deformados (domínios) (Almeida et al., 1977, 1981; Brito Neves, 1983; Jardim de Sá, 1994; Tromppette, 1994; Dantas et al.; 2004; Dantas et al. 2013/2014).

Por conseguinte, a estrutura desses complexos é dividida em três setores - Setentrional, Transversal, Meridional-, separados pelos lineamentos de Patos e Pernambuco (Fig. 2A) - e compartimentada nas unidades: Faixa Sergipana, Faixa Riacho do Pontal, Faixa Seridó, Faixa Óros-Jaguaribe, Faixa Noroeste do Ceará, Domínio da Zona Transversal, Domínio Ceará Central e Domínio Rio Grande do Norte. Essas unidades são afetadas pela granitogênese Brasileira sin a pós-colisional e consistem em sequências de rochas vulcanossedimentares depositadas sobre um embasamento Arqueano-Neoproterozoico. Ademais, bacias fanerozóicas e coberturas sedimentares recentes recobrem a região atualmente (Jardim de Sá, 1994; Brito Neves et al., 1995; Brito Neves et al., 2000; Brito Neves et al., 2001; Van Schmus, 2011).

As faixas são cinturões móveis neoproterozóicos compostos por rochas metavulcanossedimentares de margem continental, sequências plataformais e pelágicas que foram gradualmente deformadas e cavalgadas umas sobre as outras, sobre os maciços crustais preservados e sobre o Cráton do São Francisco durante as colisões brasileiras. Lascas do embasamento e intrusões máfico-ultramáficas complementam a assembléia litológica (Caxito & Uhlein, 2013).

Os domínios são representados por um conjunto de rochas supracrustais mono e/ou policíclicas arqueanas a neoproterozoicas, englobando parte do embasamento gnáissico-migmatítico, sendo total ou parcialmente preservados dos esforços tectônicos atuantes sobre faixas. Ao norte do Lineamento Patos, limitado a leste e norte pelas coberturas fanerozóicas das Bacias Potiguar e Pernambuco-Paraíba e a oeste pela zona de cisalhamento Senador Pompeu, está localizado o Domínio Rio Grande do Norte onde está inserido o MSJC (Caxito & Uhlein, 2013).

3.2 Domínio Rio Grande do Norte

O Domínio Rio Grande do Norte (DRN) ocupa uma área de mais de 150.000 km² (Fig. 2A). A maior parte do seu embasamento é compreendida por abundantes ocorrências de ortognaisses tonalíticos a granodioríticos enriquecidos ou retrabalhados e por paragnaisses subordinados de idades variando entre 2.19 e 2.15 Ga (Dantas et al., 2004).

Valores de ϵ_{Nd} negativos indicam que houve envolvimento de crosta siálica antiga derivada de manto enriquecido (Brito Neves et al., 2000), a qual fora intensamente retrabalhada em diferentes níveis crustais durante eventos tectônicos sucessivos, desde o Arqueano até o Neoproterozóico (Jardim de Sá, 1994; Dantas, 1997).

3.3 Maciço São José do Campestre

O Maciço São José do Campestre (MSJC) (Fig. 2B) configura um bloco crustal arqueano-paleoproterozóico interno à Província Borborema (PB) de faixas móveis. O MSJC, com aproximadamente 6.000 km² (Dantas et al., 2004), está localizado na porção mais oriental do estado do Rio Grande do Norte (Almeida et al., 1977, 1981; Dantas et al., 2003; Dantas et al., 2004).

A atual posição geográfica-geológica do MSJC é função da tectônica direcional do final do Ciclo Brasileiro. Os blocos crustais funcionaram como anteparo para as faixas móveis que constituem a PB e são preservados de esforços tectônicos posteriores ao Paleoproterozóico (Caby et al., 1991; Trompette, 1994; Jardim de Sá, 1994; Dantas et al., 2003; Dantas et al., 2004). Segundo Brito Neves et al. (1995), as bordas do MSJC – anteriormente denominado de Maciço Caldas Brandão por Brito Neves (1983) – também sofrera influência da tectônica Cariris-Velho.

O maciço compreende uma sucessão de ortognaisses, rochas supracrustais, intrusões máfico-ultramáficas equilibradas em fácies anfibolito alto a granulito (Dantas, 1997; Dantas et al., 2004), intrudidas por sucessões de granitos tardios.

Os ortognaisses possuem variados graus de migmatitização com afinidade geoquímica tonalito-trondjhemito-granodiorito (TTG) com anfibolitos correlatos. Já as supracrustais são compostas por gnaisses quartzo-feldspáticos, cherts, metarenitos, xistos, anfibolitos, calcissilicáticas, formações ferríferas, mármore, gabros, basaltos de fundo oceânico e serpentinitos (Dantas et al., 2004). São rochas de nucleação e crescimento crustal essencialmente Arqueano (3.45-2.65 Ga), retrabalhadas por eventos de fusão parcial e consequente formação de migmatitos de 2.0 Ga e localmente de 600 Ma. Bacias fanerozóicas e coberturas sedimentares recentes recobrem atualmente a região (Caby et al., 1991; Trompette, 1994; Jardim de Sá, 1994, Dantas et al., 2004).

As rochas mais antigas do MSJC possuem idade de 3,45 Ga e configuram terrenos de ortognaisses tonalíticos, gabróicos e anfibolíticos de afinidade TTG pertencentes ao Gnaiss Bom Jesus com idades T_{DM} de 4.1 a 3,6 Ga e valores de ϵ_{Nd} (3.45 Ga) variando de -5,6 a +1,5, indicando que houvera contaminação crustal a partir uma crosta siálica pré-existente (Dantas *et al.*, 2013).

Outros TTGs – compostos de trondjemítos, gnaisses granodioríticos cinzas e lentes de meta-supracrustais – são geneticamente correlacionados em idades diferentes (3,35, 3,25 e 3,12 Ga) e agrupam-se na unidade geotectônica Complexo Presidente Juscelino (CPJ). As amostras do CPJ mostram valores de $\epsilon_{Nd}(t)$ positivos e negativos nas amostras de 3,35 Ga, principalmente negativos nas amostras posteriores a 3,25 Ga, indicando extensa, contribuição sílica (Dantas *et al.*, 2013). Uma suposição é que esses grupos de TTGs seriam derivados de uma coalescência de intrusões tonalíticas-granodioríticas em crosta máfico-ultramáfica capeadas por sedimentos primordiais do Eoarqueano.

Dantas *et al.* (2004) afirmam que em 3.03 há a formação de rochas calcissilicáticas, gnaisses e anfibolitos paraderivados, posicionados litoestratigraficamente no Complexo Senador Elói de Souza (CSES). Valores de $\epsilon_{Nd}(t)$ de -6,53 a -2,06 confirmam a evidente derivação crustal para as amostras do CSES.

Com base em Dantas *et al.* (2004), tem-se o Complexo Riacho da Telha (CRT). As rochas máfico-ultramáficas componentes do CRT dividem-se em piroxenitos, magnetita-cromita piroxenitos e olivina piroxenitos (Dantas *et al.*, 2004), lherzolitos, wherlitos (Alves de Jesus, 2011), piroxenitos, websteritos, olivina gabros, gabros e anfibolitos. O CRT possui rochas derivadas de fontes magmáticas heterogêneas com associação toleítica-komatiítica, classificados como do tipo MORB transicional. A Intrusão Riacho da Telha (IRT) trata-se de uma intrusão máfica-ultramáfica acamadada de formato elipsoidal com aproximadamente 2 quilômetros de extensão e 400 metros de largura máxima dividida em Unidade Ultramáfica (UUM) e Unidade Máfica (UM). Os isótopos de Nd evidenciam que o IRT é derivada de um magma primitivo com pouca contaminação crustal (Alves de Jesus, 2011).

A Sequência Vulcanossedimentar Serra Caiada (SVSC) está no topo da estratigrafia do Arqueano do MSJC. Ela é composta principalmente por metassedimentos químicos-exalativos, como formações ferríferas bandadas e granulares e mármore (Silva Filho, 2012; Figueiredo, 2012).

De acordo com Silva Filho (2012), as idades modelo T_{DM} das formações ferríferas analisadas variam entre 3.5 e 2.4 Ga, sugerindo que diferentes fontes podem estar envolvidas na geração destas rochas. As idades de 3.7 Ga para algumas amostras podem ser interpretadas como a época de deposição e os valores de ϵ_{Nd} (3.7 Ga) entre +0,1 e +4,5 sugerem uma fonte mantélica para esses litotipos. São formações ferríferas que provavelmente refletem um *input* hidrotermal diversificado. Compõem-se principalmente por magnetita/hematita, quartzo, anfibólio (grunerita-cummingtonita) e piroxênio (hedenbergita) (Silva Filho, 2012; Figueiredo, 2012).

Mármore da SVSC são classificados em calcíticos, calcidolomíticos e dolomíticos. Figueiredo (2012) utiliza dados de geoquímica de elementos terras raras e isótopos para entender questões genéticas e conclui que as formações ferríferas atreladas aos mármore refletem posições distais em

ambiente de plataforma marinha, enquanto as não atreladas aos mármores permitem interpretar condições de fundo oceânico, em sítios proximais hidrotermais.

Todas essas unidades supracitadas do MSJC foram afetadas localmente na Orogenia Brasileira. Neste período houve espessamento crustal seguido de anatexia, bem como consequente formação de migmatitos e geração de granitoides de idades entre 620 e 580 Ma. Os granitoides de 580 Ma alojaram-se aproveitando zonas de fraqueza geradas pelos lineamentos brasileiros, de mesmo modo aproveitando a herança dos lineamentos arqueanos pretéritos (Dantas et al., 2004).

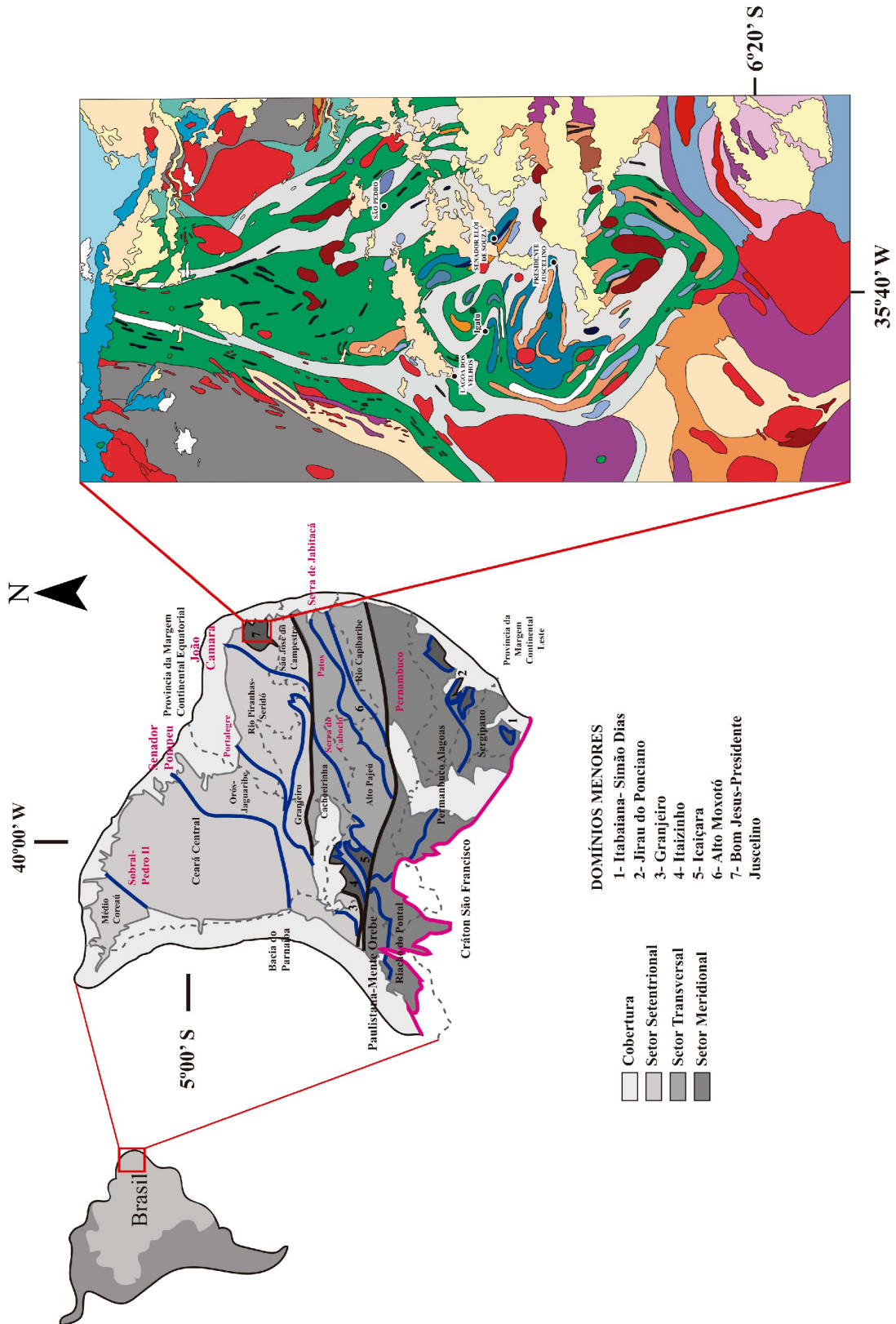


Fig. 2 Mapas regionais referentes à área de estudo. **A.** Mapa da Província Borborema com as zonas de cisalhamento (linhas pretas) de Patos e Pernambuco, separando os três setores. Os traços azuis separam os setores menores (domínios). Nomes dos domínios em azul e vermelho. Nomes das zonas de cisalhamento em verde (modificado de Delgado et al., 2013 e Silva, 2006) **B.** Mapa geológico do MSJC (modificado de Roig & Dantas, 2013).

UNIDADES GEOLÓGICAS



Fig. 2 Mapas regionais referentes à área de estudo. **A.** Mapa da Província Borborema com as zonas de cisalhamento (linhas pretas) de Patos e Pernambuco, separando os três setores. Os traços azuis separam os setores menores (domínios). Nomes dos domínios em azul e vermelho. Nomes das zonas de cisalhamento em verde (modificado de Delgado et al., 2013 e Silva, 2006) **B.** Mapa geológico do MSJC (modificado de Roig & Dantas, 2013) continuação.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, F.F.M., Brito Neves, B.B., Fuck, R.A., 1977. Províncias estruturais brasileiras. Atas VIII Simpósio de Geologia do Nordeste. Campina Grande, 363–391.
- Almeida, F.F.M., Hasui, Y., Brito Neves, B.B., Fuck, R.A., 1981. Brazilian Structural Provinces: an introduction. *Earth Sci. Rev.* 17 (1-2), 1–29.
- Alves de Jesus, B., 2011. Petrografia e geoquímica de rochas máfico-ultramáficas do maciço São José do Campestre, Província Borborema (Unpublished Master's Dissertation). Instituto de Geociências, Universidade de Brasília-UnB.
- Brito Neves, B.B., 1983. O Mapa Geológico do Nordeste Oriental do Brasil, Escala 1:1.000.000 (Free Teaching Thesis). Instituto de Geociências da Universidade de S. Paulo.
- Brito Neves, B.B., Van Schmus, W.R., Hackspacher, P.C., Santos, E.J., 1995. Geocronologia da Província Borborema: os fatos e as questões abertas. In: XVI Simp. Geol. Nordeste. Workshop Província Borborema, Recife, Atas 14, 2:410–413.
- Brito Neves, B.B., Dos Santos, E.J., Van Schmus, W.R., 2000. Tectonic history of the Borborema Province, Northeastern Brazil. In: Cordani, U., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., Campos, D.A. (Eds.), *Tectonic Evolution of South America*, 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro, Brazil, 151–182.
- Brito Neves, B.B., Campos Neto, M.C., Van Schmus, W.R., Santos, E.J., 2001. O “Sistema Pajeú-Paraíba” e o “Maciço” São José do Campestre no leste da Borborema. *Revista Brasileira de Geociências* 31 (2), 173–184.
- Caby, R., Sial, A.N., Arthaud, M., Vauchez, A., 1991. Crustal evolution and the Brasiliano Orogeny in Northeast Brazil. In: Dallmeyer, R. D.; Lécorché, J. P. (Eds.). *The West African Orogens and Circum-Atlantic Correlatives*. Berlin: Springer-Verlag, 373–397.
- Caxito, F.A., Uhlein, A., 2013. Arcabouço tectônico e estratigráfico da Faixa Riacho do Pontal, divisa Pernambuco-Piauí-Bahia. *Geonomos*, 21 (2), 19–37.
- Dantas, E.L., 1997. Geocronologia U-Pb e Sm-Nd de terrenos Arqueanos e paleoproterozóicos do Maciço Caldas Brandão, NE do Brasil (Tese de Doutorado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista-USP.
- Dantas, E.L.; Van Schmus, W.R.; Hackspacher, P.C.; Fetter, A.H.; Brito Neves, B.B.; Cordani, U.; Nutman, A.P.; Williams, I.S., 2004. The 3.4–3.5 Ga São José do Campestre massif, NE Brazil: remnants of the oldest crust in South America. *Precambrian Res.* 130, 1-4, 113–137.

- Dantas, E.L., Souza, Z.S., Wernick, E., Hackspacher, P.C., Martin, H., Xiaodong, D., Li, J.W., 2013. Crustal growth in the 3.4 to 2.7 Ga. São José de Campestre Massif, Borborema Province, NE Brazil. *Precambrian Res.* 227, 120–156.
- Dantas, E.L., Roig, H.L., 2013 (a). Programa Geologia do Brasil Folha SB.25-V-C-IV João Câmara. Carta Geológica. Escala 1:100.000. Brasília/DF: CPRM.
- Dantas, E.L., Roig, H.L., 2013 (b). Programa Geologia do Brasil Folha SB.25-Y-A-I São José do Campestre. Carta Geológica. Escala 1:100.000. Brasília/DF: CPRM.
- Delgado, I.M., Souza, J.D., Silva, L.C., Silveira Filho, N.C., Santos, R.A., Pedreira, A.J., Guimarães, J.T., Angelim, A.A., Vasconcelos, A.M., Gomes, I.P., Lacerda Filho, J.V., Valente, C.R., Perrotta, M.P., Heineck, C.A., 2003, Geotectônica do Escudo Atlântico, in: Bizzi, L.A., Schoobbenhaus, C., Vidotti, R.M., Gonçalves, J.H. (Eds.), *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil*. Brasília, CPRM, pp. 227-334.
- Figueiredo, B.S., 2012. Geoquímica e Gênese das formações ferríferas e metacarbonatos da porção sul do Maciço São José do Campestre, Província Borborema (Unpublished Master's Dissertation). Instituto de Geociências, Universidade de Brasília-UnB.
- Jardim de Sá, E.F., 1994. A Faixa Seridó (Província Borborema, NE Brasil) e o seu significado geodinâmico na cadeia Brasiliana/Pan-Africana (Unpublished Ph.D. Thesis). Instituto de Geociências, Universidade de Brasília-UnB.
- Jardim de Sá, E.F., Trindade, R.I.F., Hollanda, M.H.B.M., Galindo, A.C., Amaro, V.E., Souza, Z.S., Vignerresse, J.L., Landeaux, J.M., 1997. Syntectonic alkalic granites emplaced in a brasiliano-age strike-slip/extensional setting (eastern Seridó belt, NE Brazil). *International Symposium on Granites and associated Mineralizations*, Salvador, Brazil, 310–312.
- Oliveira, R. G., Santos, E. J., 1993. Seção geológica-geofísica e inferências geotectônicas na porção centro-sul da Província Borborema. In: *Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica*, 3. Resumo expandido 1, 643–747.
- Silva Filho, C.V.R., 2012. Isótopos de Nd aplicados a datação direta de formações ferríferas paleoarqueanas do Maciço São José do Campestre (Unpublished Master's Dissertation). Instituto de Geociências, Universidade de Brasília-UnB.
- Trompette, R., 1994. *Geology of Western Gondwana (2000-500 Ma) Pan African-Brasiliano Aggregation of South America and Africa*. A.A. Balkema (Ed.), Rotterdam.
- Van Schmus W.R., Kozuch M., Brito Neves B.B. (2011). Precambrian history of the Zona Transversal of the Borborema Province, NE Brazil: Insights from Sm-Nd and U-Pb geochronology. *Journal of Geotechnical Earthquake Engineering*, 31:227–252.

CAPÍTULO II

GÊNESE DAS FORMAÇÕES FERRÍFERAS DA PORÇÃO CENTRAL DO MACIÇO SÃO JOSÉ DO CAMPESTRE, RIO GRANDE DO NORTE, NORDESTE DO BRASIL

Joice Dias dos Santos de Moraes

RESUMO

Formações ferríferas são fontes vitais de minério de ferro para várias indústrias e podem ser importantes arquivos geológicos que registram vários estágios de eventos pós-deposicionais. Frequentemente, no entanto, exemplos altamente metamorfoseados ou deformados podem acomodar interpretações genéticas duvidosas, o que dificulta o uso dessas rochas como registros de eventos geológicos regionais e a aplicação das melhores técnicas de exploração mineral. Este trabalho concentra-se em rochas ricas em magnetita e quartzo fortemente retrabalhadas e rochas associadas do Maciço de São José do Campestre, um dos mais antigos fragmentos de crosta preservada da América do Sul. A classificação dessas rochas ricas em magnetita-quartzo como formações ferríferas não é direta, porque as montagens e texturas sedimentares primárias foram modificadas variavelmente pelo metamorfismo das fácies granulito durante um evento regional de migmatização paleoproterozóica. Assim, essas rochas poderiam ser interpretadas como derivadas de processos hidrotermais associados à zona de cisalhamento. Para abordar essa ambiguidade, apresentamos química mineral (magnetita), geoquímica de rocha total e isótopos Sm-Nd dessas rochas. Química da magnetita indica que as formações ferríferas pobres em piroxênio (Tipo B) são baixas em elementos, como Ti, Al, V e Mn, como esperado em formações ferríferas semelhantes em outros lugares. No entanto, a magnetita das formações ferríferas tipo A enriquecidas com piroxênio é mais rica em elementos traços e mais semelhante à cristalizada em sistemas de alta temperatura, como skarn e IOCG. Os $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ dessas rochas apresentam forte variação mesmo na escala de afloramento, indicando uma mistura

altamente heterogênea, controlada localmente, de fonte arqueana, paleoproterozoica e, subordinadamente, neoproterozoica. Nós interpretamos que rochas ricas em magnetita-quartzo de São José do Campestre são formações ferríferas altamente metamorfoseadas que registraram a incorporação de elementos traços na estrutura de cristais de magnetita durante o metamorfismo de fácies granulito e a perturbação do sistema isotópico Sm-Nd em pelo menos um evento hidrotermal relacionado à deformação. Nosso estudo indica que mudanças metamórficas na química mineral e isótopos Sm-Nd de rocha total exigem parcimônia em seu uso para interpretação de ambientes deposicionais de cinturões polideformados. Formações ferríferas do Maciço de São José do Campestre são um exemplo importante de como as assinaturas metalogênicas primárias podem minar a classificação genética de minérios de ferro.

1. INTRODUÇÃO

Formações ferríferas são rochas formadas por precipitação química a partir de água do mar, presentes em múltiplos cinturões de todo o mundo, são a principal fonte de minérios de ferro (Bekker et al., 2010). Desse modo, a determinação de gênese como formação ferrífera é um importante critério prospectivo para o potencial de uma ocorrência de óxidos de ferro. No entanto, outros processos geológicos como percolação de fluidos hidrotermais e hidrotermais-magmáticos também são capazes de produzir concentrações de ferro como as observadas em depósitos do tipo IOA e Fe-skarn (Meinert, 2005; Barton et al., 2014). Considerando-se que trabalhos de prospecção são facilitados pelo conhecimento de possíveis alterações hidrotermais ou vetores geoquímicos de mineralizações, a ausência de caracterização apropriada de ocorrências de minérios de ferro pode ser um impedimento para prospecção de uma determinada área e prejudicar descobertas de novos recursos.

Nesse sentido a determinação apropriada de características genéticas de ocorrências ricas em óxidos de ferro combinando aspectos geológicos, mineralógicos e geoquímicos pode impactar na descoberta de futuras jazidas. Recentemente a determinação de elementos traços em magnetita tornou-se importante na discussão de critérios para determinação genética, porque a incorporação de elementos como Ti, Al, Cr, V e Mn pode associar-se a sistemas de mais alta temperatura como os magmáticos (Nadoll et al., 2014). Portanto, espera-se que magnetitas de formações ferríferas sejam pobres nesses elementos considerando sua formação em um ambiente marinho (Dupuis & Beaudoin, 2011). Por outro lado, inúmeros terrenos contendo importantes formações ferríferas são metamorfizados e deformados, e os efeitos de alteração metamórfica na química da magnetita têm

sido pouco explorados, com exceção de alguns trabalhos em cinturões chineses (Lan et al., 2019a; 2019b). Metamorfismo e deformação, além de obliterar texturas primárias e transpor sequências estratigráficas, também promovem trocas de elementos entre minerais e, portanto, pode impactar o uso adequado de elementos traços na determinação do contexto genético de rochas com magnetita. Ademais, sistemas geoquímicos importantes para determinação de evolução tectônica como o sistema isotópico Sm-Nd e Pb-Pb também podem ser amplamente afetados por perturbações associadas com deformação polifásica, conforme observado no *greenstone belt* de Issua, Groenlândia (Frei et al., 1999; Haugaard et al., 2013). Exemplos desse cinturão indicam neoformação de minerais ricos em ETR durante eventos metamórficos que modificam a assinatura isotópica de análises de rocha total.

Considerando a ocorrência de múltiplos depósitos de classe mundial de ferro em formações ferríferas e incontáveis ocorrências menores, o Brasil é um laboratório natural para processos de formação e metamorfismo dessas rochas. Com o objetivo de detalhar o comportamento mineral e isotópico de formações ferríferas em cinturões polideformados, este trabalho fornece dados de mapeamento, química de rocha total, química de magnetita e isótopos de Sm-Nd de formações ferríferas pobremente estudadas do Arqueano no Maciço São José do Campestre, no nordeste do Brasil (Dantas et al., 2004; Dantas et al., 2013). O Maciço São José do Campestre foi formado em associação a pelo menos seis eventos magmáticos arqueanos, foi posteriormente deformado e metamorfozido em fácies anfíbolito alto a granulito em um evento de amalgamamento paleoproterozoico, e no Neoproterozoico passou por forte cisalhamento regional associado com a formação do Gondwana Oeste (Dantas et al., 2013). Nossos dados mostram que metamorfismo pode enriquecer a química de magnetita em elementos associados a sistemas de mais alta temperatura e gerar composições mais compatíveis com magnetita de IOCG e Skarn. Além disso, perturbações pós-deposicionais no sistema isotópico Sm-Nd observadas nessas rochas demonstram que dados de partição isotópica devem ser interpretados com cuidado em ambientes de formações ferríferas arqueanas que foram afetadas por metamorfismo polifásico.

2. CONTEXTO GEOLÓGICO

A Província Borborema, nordeste do Brasil, contém múltiplas sequências supracrustais e intrusões neoproterozoicas (Jardim de Sá, 1994; Nascimento et al., 2015) hospedadas em terrenos arqueanos a paleoproterozoicos do embasamento (Dantas et al., 2004; 2013; outras citações). A província resultou da convergência entre os paleocontinentes São Francisco-Congo e São Luis-West

Africa durante o amalgamamento do oeste da Gondwana, que gerou amplas zonas de cisalhamento transcorrentes regionais associadas à orogenia Brasileira, que evidenciam forte escape lateral em toda a província (Jardim de Sá, 1994; Trompette, 1994). Essas zonas de cisalhamento dividem a província em cinco domínios tectônicos, dentre os quais destaca-se o Domínio Rio Grande do Norte, onde se encontra o Maciço São José do Campestre (Almeida et al., 1981; Dantas et al., 2004).

O Maciço São José do Campestre (Fig. 1) é o fragmento de crosta continental mais antigo existente na Plataforma Sul Americana (Dantas et al., 2004) composto predominantemente por ortognaisses com afinidade TTG, anfíbolitos e rochas metassedimentares subordinadas, dentre as quais estão gnaisses e xistos quartzo-feldspáticos, calcissilicáticas, formações ferríferas, metacherts e mármore. Sua formação está associada a pelo menos seis eventos arqueanos de magmatismo entre 3.41-2.66 Ga (Dantas et al., 2013), que formaram fragmentos crustais posteriormente metamorfizados em fácies anfíbolito alto a granulito no Paleoproterozoico, conforme idades ao redor de 2.2 Ga fornecidas por isócronas de Rb-Sr e Sm-Nd (Souza et al., 2007), e com concomitante magmatismo félsico na forma de pequenos plutons (Dantas et al., 2013). Finalmente, a Orogenia Brasileiro gerou migmatitos durante espessamento crustal seguido de anatexia e intrusão de granitoides entre 0.62-0.58 Ga, que se alojaram ao longo de lineamentos brasileiros (Van Schmus et al., 2003).

As rochas mais antigas do Maciço São José do Campestre são ortognaisses tonalíticos de afinidade TTG pertencentes ao Gnaiss Bom Jesus com idade U-Pb em zircão de 3.45 Ga (Dantas et al., 2004). Idades modelo TDM entre 4.1 a 3.6 Ga e valores de ϵ_{Nd} (3.45 Ga) entre -5.6 a +1.5, indicam que houve contaminação crustal a partir de uma crosta siálica pré-existente (Dantas et al., 2013).

Outras rochas também com afinidade TTG, que indicam formação em três idades diferentes, 3.35, 3.25 e 3.12 Ga foram agrupadas na unidade geotectônica Complexo Presidente Juscelino (Dantas et al., 2004) e incluem trondhjemitos, gnaisses granodioríticos associadas com lentes de meta-supracrustais. Um conjunto de diques metamáficos de composição gabróica a norítica cortam rochas do Complexo Presidente Juscelino e mostram idades U-Pb em zircão ao redor 3.0 Ga (Dantas, 1996).

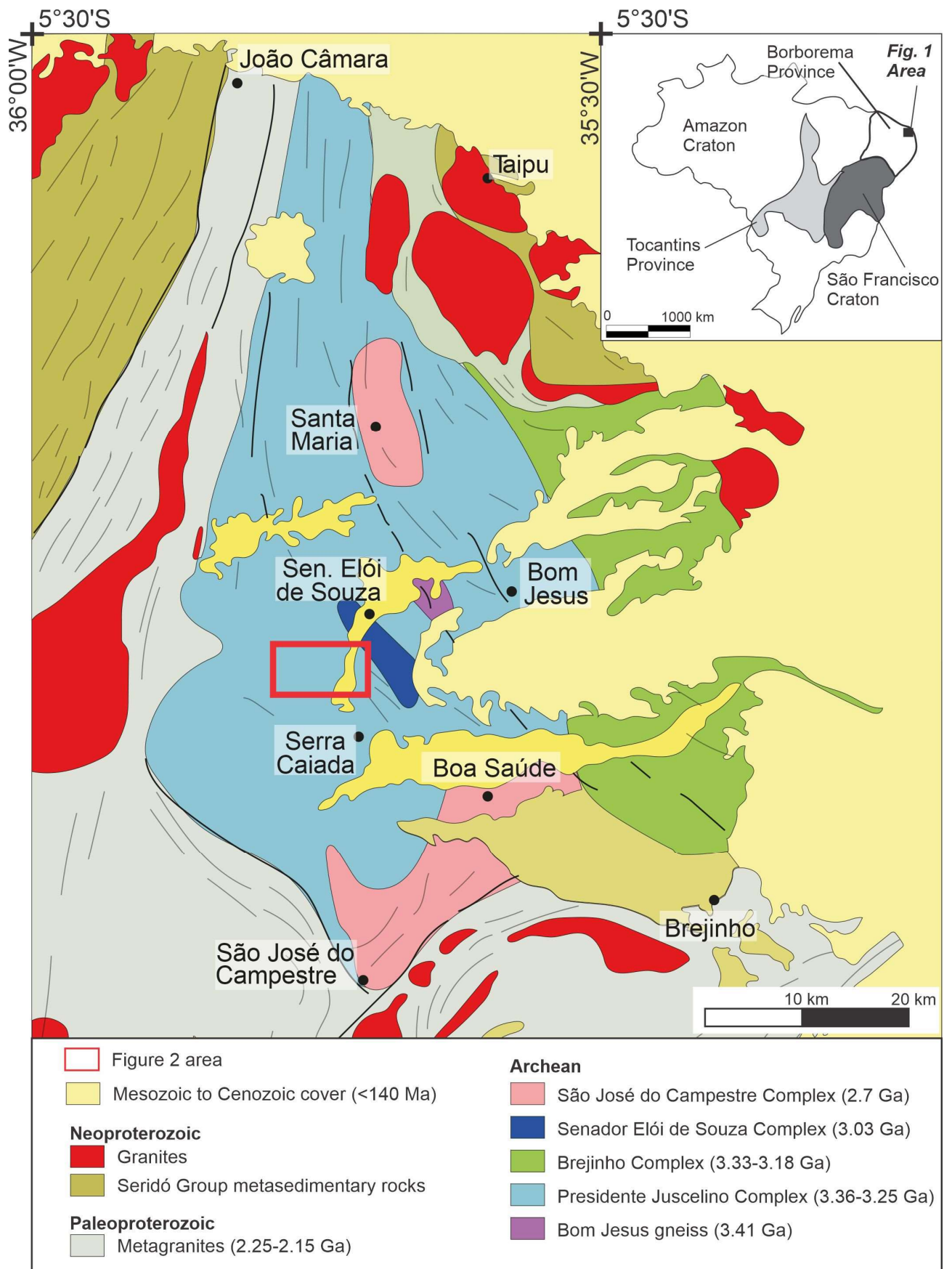


Fig. 1 Mapa geológico simplificado do Maciço São José do Campestre (Modificado de Dantas et al. 2004).

As diversas ocorrências de formações ferríferas distribuídas pelo Maciço São José do Campestre estão pobremente mapeadas e seu contexto geológico e idade de deposição são muito pouco compreendidas. Mapeamento de detalhe realizado na escala de 1:25.000 revelou múltiplas lentes boudinadas e estiradas de formações ferríferas aflorando por mais de 10 km numa faixa estreita de 800 metros entre os municípios de Senador Elói de Sousa, Presidente Juscelino e Lagoa dos Velhos no estado do Rio Grande do Norte. Lineamentos obtidos por imagens de satélite e medidas estruturais de campo evidenciam uma mega-estrutura dobrada (sinclínório) com linha de charneira de aproximadamente EW encurvando-se para N45E conforme a Figura 2 (Abrahão Filho, 2016).

As formações ferríferas da região estão encaixadas em um contexto de clinopiroxênio-anfibolito gnaisses, rochas calcissilicáticas, mármore, granada biotita gnaisses, biotita migmatitos e ortognaisses (Fig. 1; Fig. 2). Essas formações ferríferas ocorrem espacialmente associadas em escala de afloramento com duas unidades litológicas: a) unidade de gnaisses máficos a metaultramáficos; b) unidade de calcissilicáticas e mármore. No entanto, as relações de contato entre essas unidades são prejudicadas pela ausência de exposição. Diques félsicos róseos formam um enxame encaixado na sequência de formações ferríferas e encaixantes com direção preferencial NS como estruturas de dezenas de metros de comprimento. Adicionalmente, *stocks* arredondados de granitos de idade desconhecida estão encaixados nessa zona de cisalhamento, sendo o principal o corpo de direção aproximadamente EW.

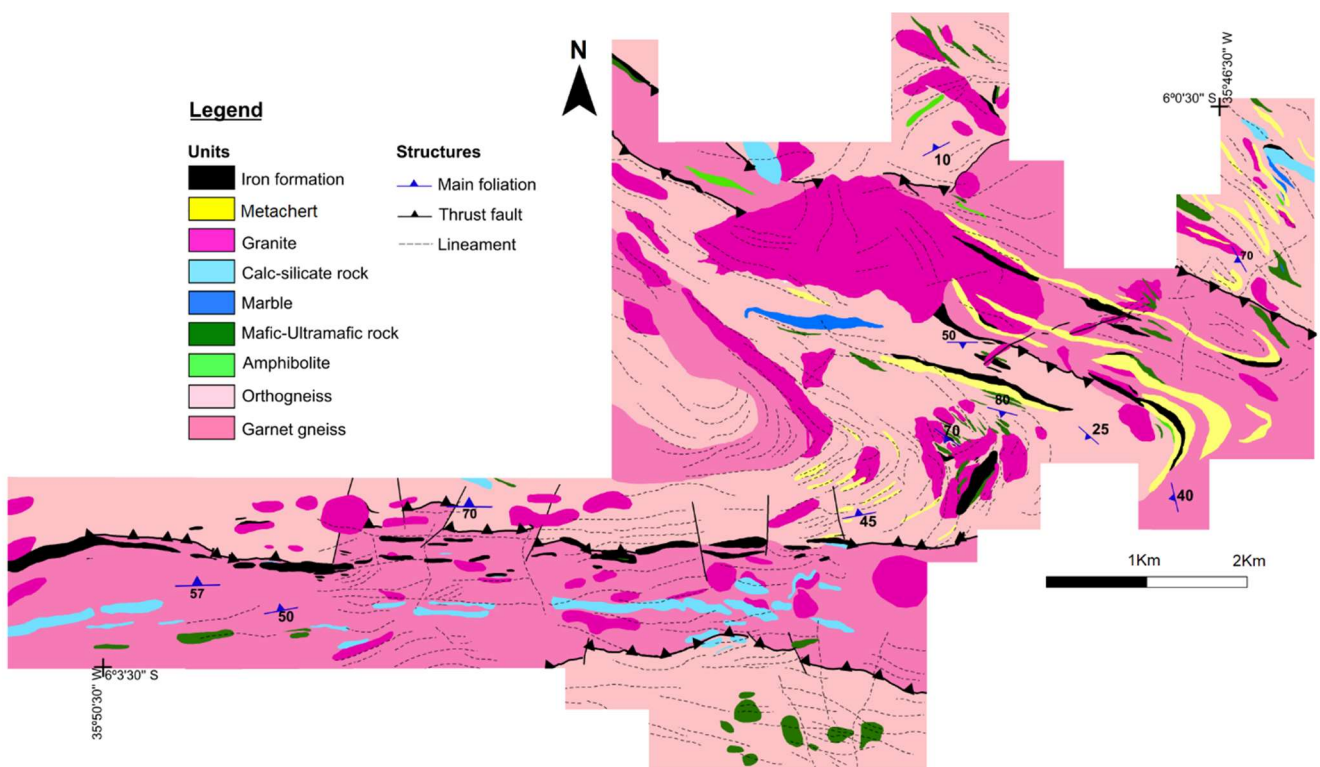


Fig. 2 Mapa geológico local da área de estudo (Modificado de Abrahão Filho, 2016).

3. PETROGRAFIA

3.1 Formações Ferríferas

Formações ferríferas ocorrem na área de estudo como blocos rolados e, mais raramente, como corpos elípticos e lenticulares com dimensões médias entre 55 e 20 metros, mas que podem chegar até 800 m de comprimento e 130 m de largura (Fig. 2). Estão em contato indefinido com rochas máficas, ultramáficas, ortognaisses e paragnaisses em função da falta de afloramentos. Formações ferríferas ocorrem em todos setores da área do mapa da Figura 1, mas se concentram nas porções sudoeste, central, e, principalmente, ao longo da zona de cisalhamento associada aos flancos da dobra na porção sul (Fig. 2), onde as amostras do presente trabalho foram coletadas.

As formações ferríferas da área são maciças, demonstrando arranjo granoblástico de minerais, ou bandadas compostas por bandas centimétricas a milimétricas de magnetita fina intercaladas com bandas milimétricas a centimétricas de quartzo, piroxênio e anfibólio (Fig. 3A; B). Além disso, dois tipos de formações ferríferas são diferenciados petrograficamente: Tipo A contém quartzo, magnetita, piroxênio e anfibólio (Fig. 3C-F) e Tipo B (Fig. 3G) apresentam majoritariamente quartzo e magnetita, com raro piroxênio e anfibólio. Ambos os tipos são constituídos de magnetita (45-58%) e quartzo (35-55%), dispostas de forma bandada e maciça (Fig. 3A; B), não havendo correlação entre textura e tipo de formação ferrífera. Formações ferríferas Tipo A possuem textura nematoblástica marcada por magnetita, quartzo e na maior abundância de anfibólios e piroxênios: ferro-hornblenda, ferro-tschemakita, ferro-actinolita (1-10%), ferrossilita, hedenbergita e diopsídio (1-7%) (Fig. 3C). Como minerais acessórios ocorrem muscovita, epidoto e apatita (<1%). Formações ferríferas Tipo B (Fig. 3G) apresentam textura granoblástica inequigranular bimodal submilimétrica-milimétrica (piroxênio, anfibólio, magnetita e quartzo) a centimétrica (quartzo e magnetita), encontrando-se como arranjos granulares, que configuram mosaicos com cristais de magnetita e quartzo, além raríssimos piroxênio e anfibólio, ambos subordinados.

De maneira geral, magnetita ocorre como grãos de até 1 cm na matriz ou inclusa em piroxênios e anfibólios (Fig. 3E). Cristais de magnetita que seguem a foliação são majoritariamente hipidiomórficos a xenomórficos até ameboides, além de incorporar piroxênio, anfibólio e quartzo. Cristais finos de magnetita tendem a ser mais euédricos, enquanto cristais médios a grossos variam entre anédricas a subédricas. Magnetitas da matriz apresentam nível de oxidação intermediário e magnetitas apresentam-se parcialmente martitizadas, segundo seus planos cristalográficos {111} (Fig. 3H). Exibem por vezes textura poiquiloblástica em grãos isolados, também formam

aglomerados com contatos retos entre si. Quando inclusas nos cristais de piroxênio e anfibólio, magnetita atinge no máximo 0,1 mm

Quartzo é frequentemente euédrico a subédrico. Exibe extinção ondulante (moderada a forte) e formam agregados granoblásticos, às vezes em mosaico e também em trama de forma acompanhando o bandamento. Ademais, alguns cristais possuem contatos irregulares com cristais de magnetita.

Piroxênios são diopsídio, henderbegita, augita e ferrossilita. Alguns cristais de clinopiroxênio possuem alterações nos seus interiores, essas alterações são magnetita, anfibólio, epidoto e muscovita. Os clinopiroxênios por vezes são poiquiloblásticos. Alguns cristais de ferrossilita possuem alterações para anfibólio em suas bordas quando estão em contato com cristais de magnetita. Piroxênios que fazem parte da paragênese prógrada são euédricos a subédricos.

Hornblendas são xenoblásticas a hipidioblásticas, por vezes possuem textura poiquiloblástica com inclusões idiomórficas e globulares de cristais de magnetita e quartzo. Cristais de anfibólio possuem contatos irregulares com cristais de piroxênio e magnetita. Ferro-hornblendas/tschermakitas são inclusões em magnetitas e substituem diopsídio e henderbegita por retrometamorfose na paragênese de fácies anfibolito, e ferro-actinolita os substitui na fácies xisto verde.

Granada (grossulária), por vezes, aparece anédrica em contatos irregulares com magnetitas, anfibólios e piroxênios. Muscovita e epidoto são pontualmente vistos inclusos em cristais de piroxênio. Apatita possui cristais bem formados também em menor número.

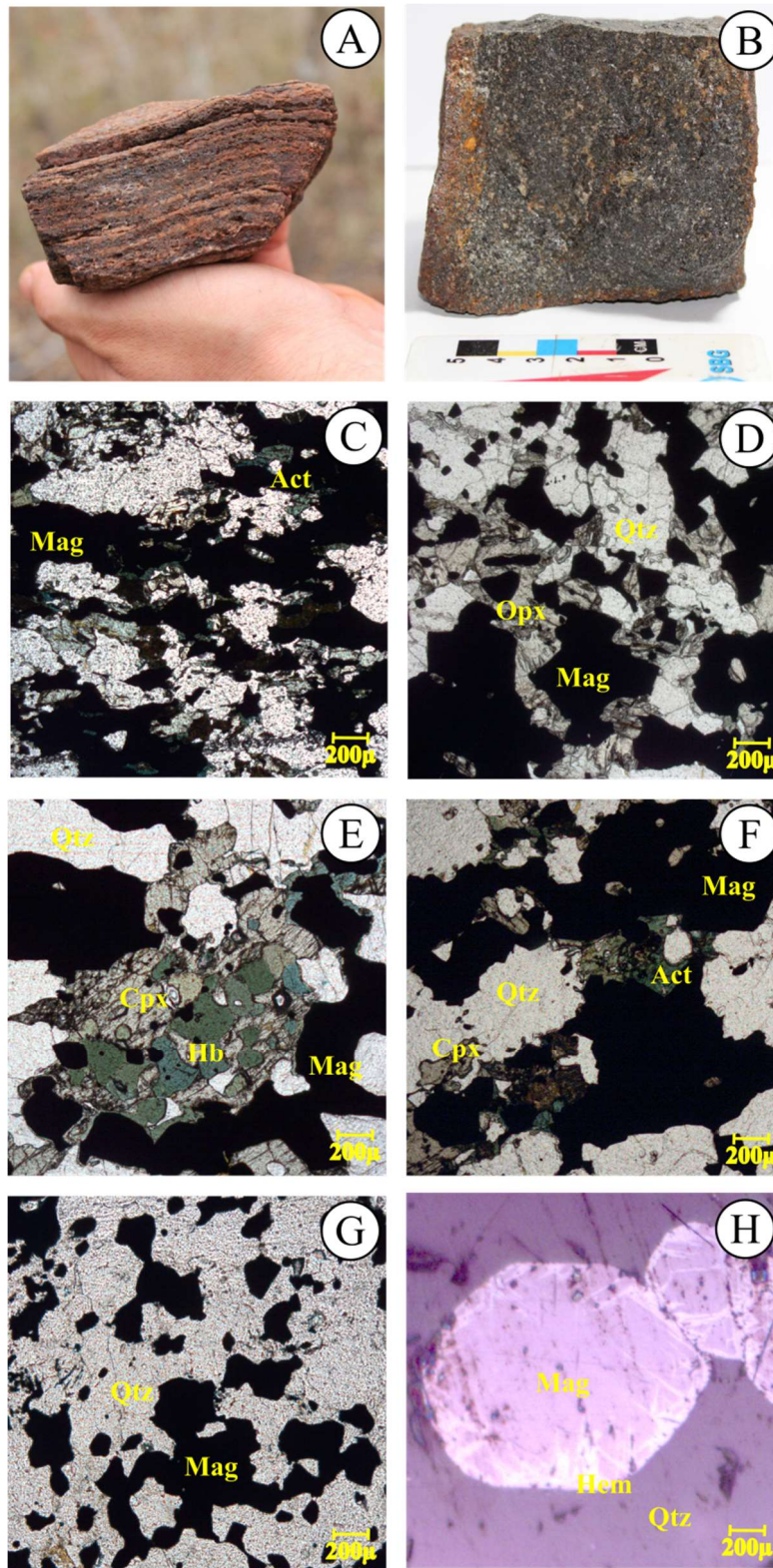


Fig. 3 A. Amostra de mão da formação ferrífera bandada B. Amostra de mão da formação ferrífera maciça. **Fotomicrografia:** C. Formação ferrífera com cristais de magnetita nematoblástica, quartzo e actinolita. D. Formação ferrífera (Tipo A) com ortopiroxênio (ferrossilita) com contatos retos a ondulados com magnetitas subédricas a euédricas. E. Formação ferrífera (Tipo A) com magnetita e quartzo com textura granoblástica e clinopiroxênio com inclusões de magnetita subédrica a euédrica e quartzo. F. Formação ferrífera (Tipo A) com magnetita, euédrica a subédrica incluída em clinopiroxênio fracamente alterado em contato com magnetita quartzo subédricas a anédricas. G. Formação ferrífera (Tipo B) com cristais de magnetita subédrica e quartzo com textura granoblástica. H. Magnetita martitizada de amostra da formação ferrífera C. D. E. F. G. sob luz

polarizadas e nicóis descruzados. **H.** sob luz refletida. Abreviações minerais: **Mag**–magnetita, **Hem**–hematita, **Qtz**–quartzo, **Cpx**–clinopiroxênio, **Hb**–hornblenda, **Tr**–Tremolita, **Act**–actinolita.

3.2 Ortognaisses

Ortognaisses da região estudada estão em contato tectônico com outras unidades e possuem bandamentos metamórficos, por vezes fitados, separados por bandas milimétricas a centimétricas de composição granítica a granodiorítica e outras de composição tonalítica a diorítica, alternadas por lentes ou faixas estritamente anfibolíticas (Fig. 4A). Ortognaisses possuem textura granonematoblásticas com bandas félsicas contém quartzo e feldspato alcalino (85%), hornblenda, biotita e minerais opacos subordinados (15%). Bandas intermediárias a máficas são formadas por plagioclásios e quartzo (70%), anfibólios, opacos e biotita (25%), aproximadamente.

3.3 Paragnaisses

Paragnaisses apresentam-se bandados, marcados pela alternância de porções leucocráticas e melanocráticas. As bandas mais claras são compostas por quartzo (40%), feldspato alcalino (20%), plagioclásio (15%), granada (20%), e subordinados exemplares de calcita, epidoto, mica branca e clorita totalizando em 5%. Enquanto as faixas melanocráticas são compostas por calcita, epidoto, biotita, hornblenda, clinopiroxênio, tremolita e actinolita completam a gama de minerais dessa unidade, principalmente posicionados nas porções mais escuras. Corpos de anfibolito presentes no contato são de ocorrência restrita quando comparados aos da unidade ortognaissica e distinguem-se dos anfibolitos dessa unidade pela presença de calcita.

3.4 Rochas Calcissilicáticas

Rochas calcissilicáticas leucocráticas e melanocráticas ocorrem como blocos rolados e, mais raramente, afloram como xenólitos nos gnaisses, corpos elipsoidais, lenticulares e seccionados com extensão máxima de ~ 800 m por 200 m, predominantemente em contato com rochas máficas-ultramáficas e mármore (Fig. 4. A; B). Rochas calcissilicáticas leucocráticas contém cristais xenomórficos a hipidomórficos com contatos ondulados e irregulares entre si (Fig. 4J; L). Possuem microclina (20-50%) com texturas de exsoluções pertíticas e mimerquíticas, quartzo (20%), calcita

(10%), biotita (6%), clorita (3%), micas brancas (2%), magnetita (5%), plagioclásio (5%), escapolita (5%), granada (5%), epidoto (5%), clinopiroxênio (3%), anfibólio (2%), acessórios como a titanita (3%). A estrutura das rochas é normalmente orientada, com foliação de clinopiroxênios descontínua que contorna agregados granoblásticos homônimos. Rochas calcissilicáticas melanocráticas são compostas por diopsídio-henderbegita (30-40%), hornblenda (14-25%), anortita, microclínio (25-50%), grossulária, andradita (5%), escapolita (2%), calcita (<1%), muscovita, sericita (<1%), quartzo (<1%), titanita (<1%) e forsterita (<1%). Apatita e zircão são acessórios.

Diopsídio-henderbegita são xenomórficos a hipidomórficos e zonados, com contatos levemente retos entre si e serrilhados quando próximos à granada, e subordinadamente são inclusões reliquias na escapolita e na granada. Plagioclásios também são xenomórficos a hipidomórficos e ocorrem parcialmente substituídos por escapolitas. Microclina forma agregados discordantes à estrutura orientada e mostram contatos interdigitados/reativos com a matriz piroxenítica. Granadas (grossulária e andradita) são idioblásticas a xenoblásticas, vermiculares a ameboides e subordinadamente apresentam textura granoblástica e em trama. Por vezes, crescem ao longo dos limites dos grãos da matriz, clivagens e planos de geminação dos plagioclásios, além de substituírem plagioclásio e hedenbergita. Textura simplectítica ocorre entre granadas (hóspedes) e plagioclásios e microclinas fracamente sericitizadas (hospedeiros). Magnetita ocorre como pequenos cristais em contatos principalmente com feldspatos. Sericita e titanita são secundárias idiomórficos a xenomórficos conformes à foliação. Epidoto e calcita ocorrem como alteração de plagioclásio e piroxênios.

3.5 Mármore

Mármore da região ocorrem como corpos lenticulares em contato com rochas calcissilicáticas, anfibolitos e, pontualmente, como lentes em corpos de rochas ultramáficas serpentinizadas. Possuem textura granoblástica a nematoblástica com calcita (80%), olivina (15%), magnetita (5%), apatita e flogopita (<1%) (Fig. 4D; E). Calcita é xenoblástica a granoblástica, frequentemente com clivagens e microfissuras preenchidas por magnetita. Olivinas são arredondadas, euhedrais, formando cristais isolados e/ou ocasionalmente aglomerados e subordinadamente estão oxidadas quando ocasionalmente possuem fraturas preenchidas por serpentina, quartzo e opacos. Magnetita é xenoblástica, raramente idioblástica e amebóide.

3.6 Rochas metamáfica-ultramáficas

Rochas metamórficas de composições ultramáficas a máficas ocorrem na área de estudo como metaperidotitos, metagabros, metapiroxenitos e anfibolitos como blocos rolados e, mais raramente, corpos lenticulares e elípticos associados espacialmente a formações ferríferas, rochas calcissilicáticas, mármore e metacherts.

Magnetita metaperidotito é composto por piroxênio (30%), olivina (20%), opacos (5-10%), serpentina (15-20%), acessórios (1%), quartzo/calcedônia (30%) dispostos em texturas ortocumuláticas e adcumuláticas (olivina e piroxênio), apesar da intensa serpentinização e silicificação. Olivina e piroxênios apresentam-se subédricos a euédricos e muito serpentinizados/silicificados enquanto magnetita é subédrica e inclusa em cristais de piroxênio ou em cristais anédricos junto às vênulas de quartzo.

Olivina metagabros possuem texturas adcumulática e ortocumulática subordinada, compostas de olivina (50-60%), clinopiroxênio (diopsídio 20-25%), plagioclásio (10-15%), opacos (1-2%), acessórios (1-2%). Plagioclásios são cumuláticos e englobam cristais euédricos de diopsídio e olivina enquanto magnetita ocorre em interstícios e como inclusões em piroxênio.

Magnetita-hornblenda metagabros são constituídos por plagioclásio (50%), hornblenda (20%), piroxênio (15%), magnetita (10%) e acessórios (2-5%) em textura adcumulática. Plagioclásios são euédricos e forma contatos retos com os outros cristais da trama cumulática. Piroxênios são anédricos a subédricos, e com bordas alteradas para hornblenda e apresentam texturas simplectíticas com plagioclásio. Magnetita ocorre como aglomerados, inclusões em anfibólitos e piroxênios ou grãos individuais bordejando plagioclásio.

Hornblenda metagabros são compostos por plagioclásio cumulático (anortita) (50-60%), piroxênio intersticial (25%), hornblenda (5-10%), opacos (2-4%) e apatita (2-3%). Plagioclásio ocorre como cristais arredondados a subarredondados com contatos irregulares com anfibólito e piroxênio, que geralmente estão oxidados.

Metapiroxenitos (Fig. 4G) são constituídos por ortopiroxênio (5-50%), clinopiroxênio (60-25%), plagioclásio (15%), olivina (4%), magnetita (1-3%) e acessórios (2-4%). Essas rochas possuem textura granoblástica poligonal formada por cristais subédricos a euédricos de ortopiroxênio, clinopiroxênio e olivina. Alguns piroxênios apresentam substituição entre clinopiroxênio (reliquiar) e ortopiroxênio. Plagioclásios são intercumuláticos com contatos irregulares entre si. Magnetita ocorre como grãos disseminados na fase intercumulus ou como inclusões em piroxênio.

Anfibolitos apresentam texturas nematoblásticas e são constituídos de tremolita e hornblenda (60-70%) de granulação fina a média (Fig. 4C; H). Plagioclásio, antofilita, biotita, magnetita, calcita,

quartzo e titanita completam a assembleia mineralógica (<10%). Anfibolitos podem apresentar conteúdo modal de magnetita (27%) em textura granoblástica (Fig. 4F; I).

3.7 Intrusões graníticas

Diques e pequenos stocks de granito, biotita-granito e magnetita granito ocorrem como corpos circulares, ovais e elípticos (Fig. 4M). Essas rochas cortam ortognaisses, paragnaisses, máficas-ultramáficas, calcissilicáticas e magnetitos, e são formadas por microclina (20-40%), quartzo (20-40%), plagioclásio (20-10%), hornblenda (4%), biotita (3%), magnetita (2%) e acessórios (1%). Microclina é subédrica, apresenta contatos irregulares com o quartzo e alteração para sericita e localmente pode apresenta exsolução peritítica. Biotita ocorre em contato com anfibólio enquanto opacos são intersticiais.

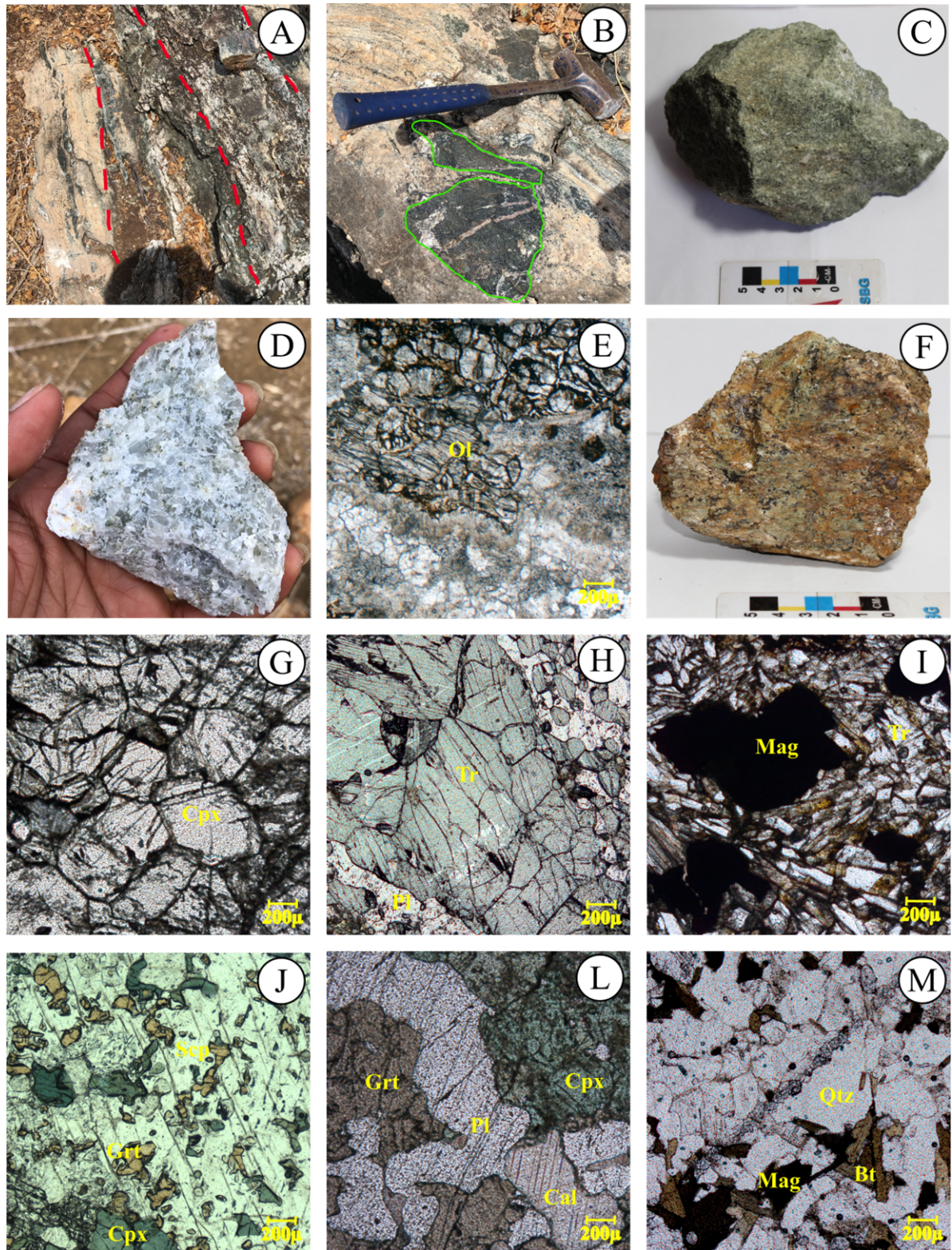


Fig. 4 **A.** Afloramento de ortogneisse migmatizado em contato (linhas vermelhas) tectônico ou intrusivo com rochas calcissilicáticas, anfibolitos e olivina mármore. **B.** Detalhe do afloramento que mostra contato entre o ortogneisse migmatizado encaixante com xenólitos máficos calcissilicáticos (linhas verdes). **C.** Amostra de mão de anfibolito. **D.** Amostra de mão de olivina mármore. **F.** Amostra de mão de tremolítico com magnetita. **Fotomicrografia:** **E.** Olivina mármore com cristais de olivina substituídos por calcedônia e parcialmente oxidados, em contato com trama de calcita. **G.** Piroxenitito com textura granoblástica poligonal. **H.** Anfibolito com tremolita e plagioclásio subordinado. **I.** Tremolítico com magnetitas euédricas a subédricas. **J.** Rocha calcissilicática com clinopiroxênio e plagioclásio primários substituídos por granada e escapolita. **E. G. H. I. J. L. M.** sob luz polarizadas e nicóis descruzados. Abreviações minerais: **Mag**–

magnetita, **Qtz**–quartzo, **Cpx**–clinopiroxênio, **Pl**–plagioclásio, **Ol**–olivina, **Hb**–hornblenda, **Tr**–Tremolita, **Grt**–granada, **Cal**–calcita, **Scp**–escapolita, **Bt**–biotita.

4. MÉTODOS

Amostragem sistemática das formações ferríferas e rochas associadas foi realizada em cinco campanhas de campo, que se iniciaram com a participação de Silva Filho, 2012, Figueiredo, 2012 e Abraão Filho, 2016. Do total de 45 amostras coletadas, 30 foram selecionadas para petrografia detalhada por microscópio de luz refletida e transmitida e 41 foram analisadas para química de rocha total. Quatro amostras foram selecionadas para determinação de composição química de magnetita e 9 para análise isotópica de Sm-Nd.

Para determinação de geoquímica de rocha total, 41 amostras das formações ferríferas e encaixantes foram britadas e pulverizadas no Laboratório de Geocronologia da Universidade de Brasília (UnB) e enviadas para digestão ácida no laboratório Acme Labs Vancouver, Canada. Elementos maiores (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , MnO , TiO_2 , P_2O_5) foram determinados por ICP-ES após fusão com metaborato de lítio e digestão em ácido nítrico. Elementos Ba, Cs, Ga, Hf, Nb, Rb, Sr, Ta, Th, U, Sc, V, Zr, Y, Cu, Pb, Zn, Ni e os elementos terras raras (La a Lu) foram analisados por fusão e digestão ácida (ácidos nítrico, hidrocloreídrico e hidrofluorídrico) por ICP-MS. Limites de detecção variam entre elementos (AcmeLabs, 2009).

À determinação de química mineral de magnetita, utilizou-se a microsonda eletrônica Superprobe JEOL JAX-8230 do Laboratório de Microsonda Eletrônica (LME) do Instituto de Geociências (IG) da Universidade de Brasília (UnB). As condições analíticas foram 15 kV de tensão e 10 nA de corrente com tempo de contagem de 20s e óxidos e silicatos naturais e sintéticos foram utilizados como padrões internos das análises.

Os resultados de 304 análises de magnetita distribuídas em quatro amostras (283, 523, 526 e 530) foram recalculados para átomos por unidade de fórmula Deer et al., (1992) e a proporção $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ dos óxidos foi retrocalculada Droop (1987). Em função do avançado grau de martitização observado em alguns grãos, acrescentamos um filtro nas análises químicas de magnetita e resultados de somatório total de óxidos menores que 96% e maiores que 101% foram desconsiderados.

Análises isotópicas de Sm-Nd seguiram o método descrito por Gioia e Pimentel (2000) no Laboratório de Geocronologia da Universidade de Brasília (UnB). Amostras de rocha total foram misturadas com uma solução de ^{149}Sm - Nd^{150} e dissolvidas em cápsulas. As extrações Sm e Nd das amostras de rocha total seguiram as técnicas de troca de cátions. As amostras Sm e Nd foram carregadas em filamentos de reevaporação de conjuntos de filamentos duplos, e as medidas isotópicas

foram realizadas em um multicoletor espectrômetro de massa Finnigan Triton em modo estático. Os índices $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ foram normalizados para $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,7219$, e a constante de decaimento utilizada foi $6,54 \times 10^{-12}$. Os valores de T_{DM} foram calculados seguindo as instruções de DePaolo (1981).

4.1 Geoquímica de rocha total

As diferenças petrográficas entre as formações ferríferas tipos A e B são bastante claras em termos de sua composição química (Tabela 1). De maneira geral, valores de SiO_2 variam entre 37,5-56,3 wt.% e Fe_2O_3 entre 40,6-58,9 wt.% e possuem uma forte correlação negativa (Fig. 5). Além disso, amostras do Tipo A (283, 283.2, 314, 521, 522, 523, 528, 528B, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 536, 537, 004, 058 e 094) mostram valores de SiO_2 entre 37,48-46,4 wt.% e Fe_2O_3 entre 50,3-58,9 wt.% enquanto as do Tipo B (524, 524.2, 525, 526, 526.2, 527, 527.2, 535 e 093) possuem valores de SiO_2 entre 44,1-56,32 wt.% e Fe_2O_3 entre 40,58-53,2 wt.% (Anexo 1).

Os dois tipos das formações ferríferas têm concentrações significativamente baixas de Al_2O_3 (0,07-1,5 wt.%) e TiO_2 (0,01-0,11 wt.%). Teores de MgO (0,03-2,98 wt.%) e CaO (0,02-3,52-wt.%) são baixos, mas não insignificantes. Esses óxidos – Al_2O_3 , TiO_2 , MgO e CaO – são indicativos de diferenças entre os tipos A e B (Fig. 5). O Tipo A é representado por amostras com valores mais elevados de Al_2O_3 (0,13-1,5 wt.%), TiO_2 (0-0,11 wt.%), MgO (0,89-2,98 wt.%) e CaO (0,18-3,52 wt.%), enquanto o Tipo B congrega aquelas amostras com valores um pouco menores de Al_2O_3 (0,07-0,58 wt.%), TiO_2 (0-0,02 wt.%), MgO (0,03-0,21 wt.%) e CaO (0-0,14 wt.%). O conteúdo de álcalis (Na_2O e K_2O) é significativamente baixo Na_2O (0-0,042 wt.%) e K_2O (0-0,172-wt.%), assim como de P_2O_5 (0,04 a 0,25 wt.%) e não revelam variações importantes entre os dois tipos de magnetitito (Tabela 1).

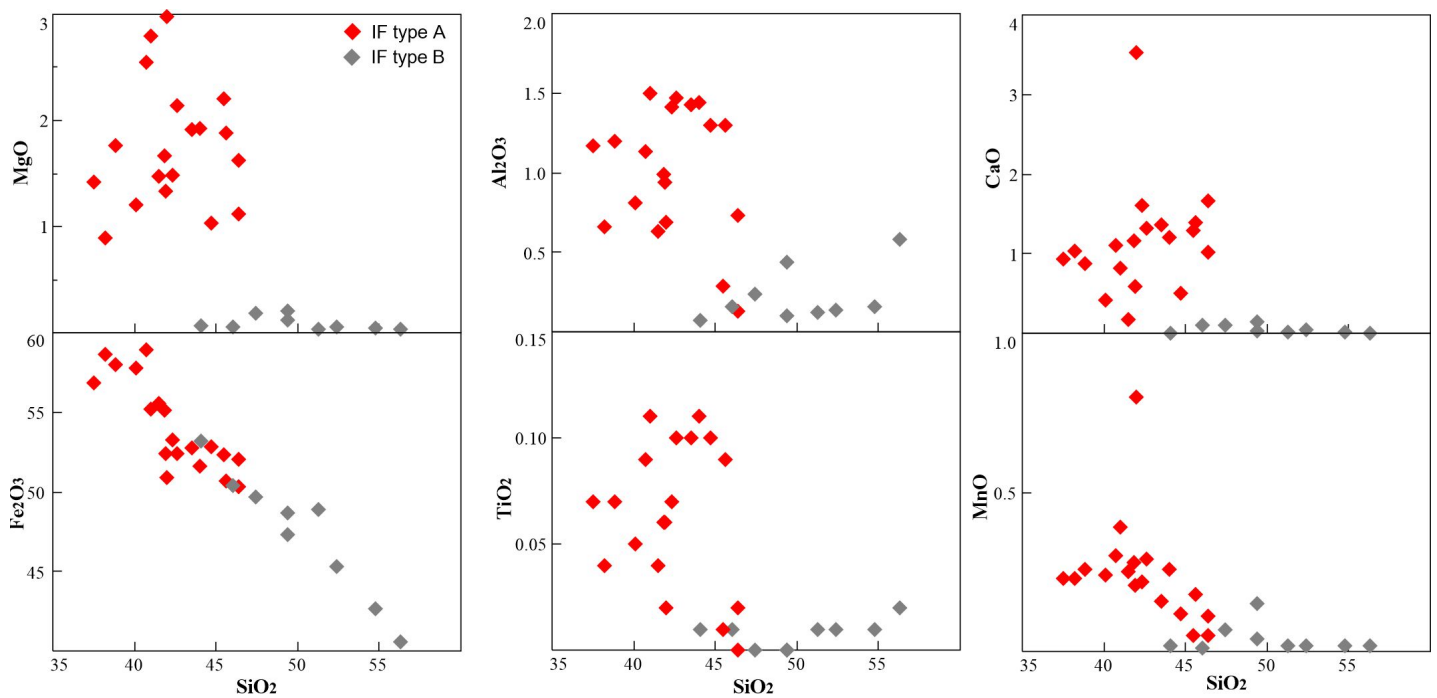


Fig. 5 Diagramas de elementos maiores vs. SiO_2 para amostras das formações ferríferas da área de estudo.

Elementos traços não parecem refletir tão claramente diferenças entre as formações ferríferas tipos A e B (Fig. 6), com a exceção de valores de Sr, Nb, Zr e Hf, que parecem ser mais frequentemente enriquecidos nas formações ferríferas Tipo A, verifica-se uma sobreposição dos campos composicionais totais. Para efeitos de comparação, a Figura 6 também apresenta dados de elementos traços de encaixantes representativas das formações ferríferas. Três amostras de Tipo B (527.2, 526, 527.1) possuem altos valores de Zn relativos a amostragem com teores de 124, 130 e 170 ppm, respectivamente. Cinco amostras de Tipo A (528, 521, 522, 532 e 523) apresentam pequenos enriquecimentos nos teores de Cr entre 41 e 61,58 ppm. Seis amostras dos Tipo A e Tipo B possuem valores de V acima da baixa média de 3,69 ppm são 524 (8 ppm), 283.2 (11 ppm), 283.1 (12 ppm), 528B (14 ppm), 314 (19 ppm) e 93 (21 ppm). Baixos teores de Zr (2-33 ppm), Hf (0-0,9 ppm) e Rb (0,1-9,7 ppm) nos dois tipos de magnetitos. Concentrações são baixas para elementos incompatíveis como o Th (0,7-3,6 ppm). Amostras com altos valores de Ni estão com teores entre 10,1-37,2 ppm, Cu (0,7-220,2 ppm) e Sc (<1-12 ppm).

O somatório de elementos terras raras ΣETR varia entre 18,93 ppm e 519,97 ppm nas formações ferríferas da região estudada enquanto Pr/Yb entre 1,56-12,38 ppm e Tb/Yb entre 0,65-2,31 indicam leve depleção de ETRL e enriquecimento relativo de ETRP para quase todas as amostras (Fig. 6). Ao contrário dos elementos traço, os ETR ressaltam diferenças importantes entre os tipos A e B (Fig. 6): o Tipo A varia entre 27,67 e 519,4 ppm e o Tipo B entre 18,93 a 48,49 ppm. Além disso, enquanto o Tipo A possui anomalias de Eu ($\text{Eu}/\text{Eu}^*_{\text{CN}}$ de 0,79 a 1,89), o Tipo B somente as apresenta quando a concentração de Eu está próxima do limite de detecção do método ($\text{Eu}/\text{Eu}^*_{\text{CN}} = 1,23$ a 2,55). Outra importante diferença os tipos A e B se reflete nas anomalias de Ce (Fig. 6) com as formações ferríferas

Tipo A apresentando valores de Ce/Ce^*_{CN} entre 0,26 e 1,05 e as Tipo B entre 0,15 a 0,22. Os elementos terras raras das rochas encaixantes variam bastante entre si, com padrões ETR de rochas ultramáficas semelhantes aos das formações ferríferas Tipo A enquanto padrões de calcissilicáticas possuem enriquecimento em ETRP com relação aos ETRL muito mais pronunciado que os demais litotipos (Fig. 6).

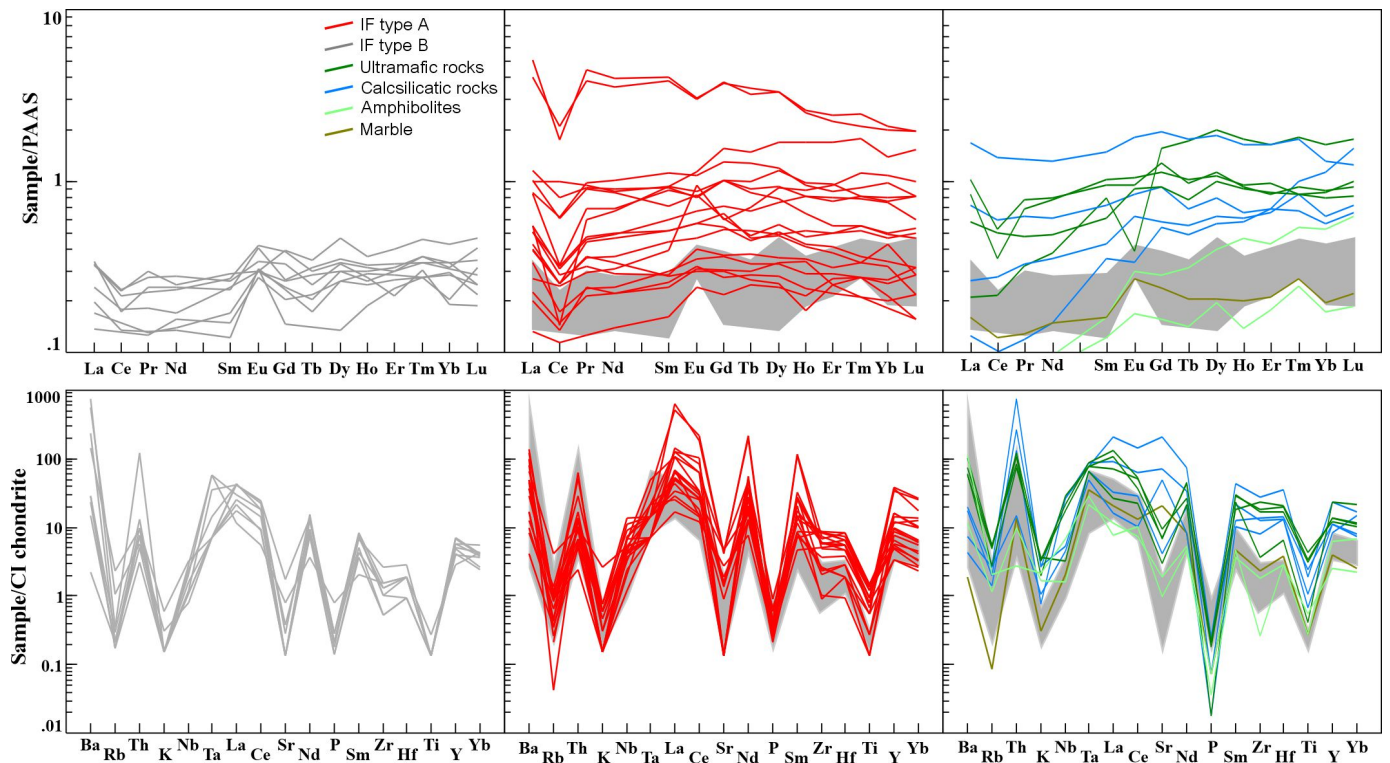


Fig. 6 Diagramas de elementos terras raras normalizados pelo PAAS (Taylor and McLennan, 1985) e diagramas multielementares normalizados ao condrito (McDonough and Sun, 1995) para formações ferríferas Tipo A e Tipo B, piroxenititos, calcissilicáticas, anfíbolitos e olivina mármores da área de estudo. Os campos em cinza representam a composição das formações ferríferas Tipo B para comparação.

Tabela 1 Análises representativas dos resultados de geoquímica de rocha total de elementos maiores, menores (wt.%) e traços (ppm) das formações ferríferas Tipo A e Tipo B, rochas calcissilicáticas, piroxenititos, anfíbolitos e mármores da área de estudo.

Rock	Iron Formation							Iron Formation							Calc-silicate rock			Piroxenite			Amphibolite			Marble
	Type A							Type B																
	Sample	94	283.2	314	522	531	533	537	93	524	524.2	526.2	527	527.2	535	525.1	525.2	601.2	528A	528D	600	37.1	508F	603
SiO ₂	45.44	41.90	42.62	41.00	40.10	41.50	38.80	56.32	54.80	46.00	51.30	47.40	44.10	49.40	45.9	39.6	43.4	48.8	48.7	54.5	54.2	47.3	43.2	1.37
TiO ₂	0.01	0.06	0.10	0.11	0.05	0.04	0.07	0.02	0.01	0.01	<0.01	0.00	<0.01	0.00	0.05	0.08	0.14	0.25	0.23	0.03	0.02	0.44	0.04	<0.01
Al ₂ O ₃	0.29	0.94	1.47	1.50	0.81	0.63	1.20	0.58	0.16	0.16	0.12	0.24	0.07	0.10	9.83	19.7	17.75	5.27	5.36	1.8	1.14	10.2	0.58	0.03
Fe ₂ O ₃	52.36	52.40	52.39	55.22	57.80	55.57	57.99	40.58	42.65	50.40	48.90	49.67	53.20	48.67	11.8	5.46	11.6	13.95	14	3.98	6.56	6.33	28.2	0.39
MnO	0.05	0.21	0.29	0.39	0.24	0.25	0.26	0.02	0.02	0.01	0.02	0.07	0.02	0.15	0.32	0.08	0.16	0.58	0.59	0.31	0.43	0.24	0.37	0.11
MgO	2.20	1.33	2.14	2.79	1.20	1.47	1.76	0.03	0.05	0.06	0.03	0.19	0.07	0.12	6.73	3.77	2.96	7.71	7.62	15.05	14.5	9.42	15.6	21
CaO	1.29	0.59	1.32	0.82	0.42	0.18	0.87	<0.01	0.02	0.10	0.02	0.10	<0.01	0.03	22.8	27.1	22.9	21.9	21.7	23.3	23.4	23.3	8.56	32.8
Na ₂ O	0.02	0.04	0.03	0.02	0.01	0.00	0.02	0.01	0.00	0.03	0.03	0.00	0.03	0.00	0.69	0.36	0.61	0.39	0.36	0.5	0.33	0.47	0.18	<0.01
K ₂ O	0.01	0.04	0.04	0.04	0.01	0.01	0.03	0.01	0.00	0.01	0.01	0.04	0.01	0.01	0.07	0.05	0.17	0.22	0.21	0.24	0.11	0.07	0.14	0.01
P ₂ O ₅	0.25	0.11	0.12	0.11	0.08	0.08	0.07	0.08	0.06	0.22	0.06	0.04	0.05	0.04	0.005	0.02	0.07	0.06	0.06	0.005	0.02	0.27	0.01	0.01
Cr ₂ O ₃	0.00	<0.002	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<0.002	<0.002	0.00	<0.002	0.00	0.001	0.001	0.002	0.011	0.011	0.004	0.001	<0.002	0.01	<0.002
LOI	-2.10	0.96	-0.70	-1.46	-0.73	0.26	-1.44	2.00	1.94	2.23	0.60	1.27	1.48	1.15	0.76	4.2	0.38	0.42	0.1	1.17	1.06	0.54	2.1	45.2
Total	101.92	98.62	100.52	102.00	100.72	99.75	101.07	97.65	97.78	99.23	101.09	97.75	99.04	98.53	98.99	100.48	100.33	99.58	98.98	100.9	101.77	98.65	99.01	100.92
Sc	<1	1.0	11.0	<1	<1	11.0	1.0	1.0	5.0	<1	<1	10.0	<1	<1	2	2	3	6	7	2	<1	7	1	<1
V	<8	11.0	19.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.0	0.0	8.0	<5	0.0	<5	0.0	47	104	46	44	43	13	10	24	46	<5
Co	69.9	56.0	88.5	0.0	0.0	0.0	0.0	66.1	0.0	95.0	118.0	0.0	56.0	0.0	53	36	43	90	75	58	33	38	31	8
Ni	4.4	2.0	13.7	10.1	3.0	0.5	0.0	16.0	5.2	<1	<1	0.0	<1	0.0	17	12	13	52	49	10	18	<1	3	1
Cu	0.7	1.0	1.3	30.3	29.8	20.1	60.1	10.7	20.1	<1	<1	39.9	14.0	220.2	1	1	<1	2	1	1	1	1	69	2
Zn	4.0	<2	9.0	60.0	20.0	20.0	30.0	25.0	20.0	21.0	49.0	170.0	124.0	10.0	200	149	108	237	232	118	91	153	105	7
Ga	0.8	3.3	1.4	3.8	1.7	2.2	2.4	1.1	0.9	1.3	3.5	1.2	1.1	0.6	35.3	56.8	52.8	8.8	9.1	7.5	5.1	35.8	23.1	0.5
Rb	0.8	2.0	1.5	2.6	2.0	2.1	2.8	0.8	0.5	0.5	0.5	5.4	0.4	0.4	6.1	3.3	6.3	12.3	12.6	6.4	2.7	6.6	4.8	0.2
Sr	34.0	31.1	6.6	10.9	0.0	0.0	0.0	12.9	0.0	5.8	2.7	0.0	2.1	0.0	356	518	1540	50.2	50.4	21.8	13.9	605	7.2	37.7
Zr	3.5	19.0	31.7	32.0	23.0	9.0	22.0	6.0	10.0	6.0	5.0	5.0	4.0	2.0	31	49	106	71	65	14	<2	521	7	4
Nb	0.5	1.1	1.7	2.7	1.0	0.9	1.1	0.6	0.0	0.5	0.7	0.8	0.3	0.0	1.1	6.5	6.6	5.2	4.3	0.8	0.4	40.8	1.7	0.2
Cs	0.1	0.2	<0.1	0.1	0.2	0.4	0.1	<0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.87	0.24	0.38	1.14	1.21	0.21	0.14	0.84	0.18	0.06
Ba	197.0	337.0	24.0	90.0	20.0	0.0	70.0	1813.0	570.0	36.1	5.4	350.0	56.9	70.0	17.5	10.4	47.4	182.5	245	147.5	27.9	19.7	266	7.1
Hf	0.2	0.5	0.7	0.8	0.6	0.3	0.6	0.2	0.3	0.2	<0.2	0.2	<0.2	0.0	1.4	1.4	3.8	2.1	1.8	0.7	0.3	14.8	0.3	<0.2
Ta	0.3	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.0	0.8	0.8	0.1	0.5	0.1	0.7	1.2	1.1	1.2	1.1	0.9	0.3	3.9	0.4	0.4
Pb	2.5	<2	0.1	60.0	80.0	60.0	60.0	11.8	80.0	<2	<2	50.0	<2	60.0	7	42	10	12	14	4	3	36	<2	<2
Th	0.3	0.2	0.3	0.4	0.3	0.1	0.3	3.6	0.3	0.2	0.2	0.3	0.1	0.2	0.43	3.8	21.3	3.53	2.45	2.19	0.29	140.5	0.8	<0.05
U	0.3	<0.05	<0.1	0.1	0.1	0.0	0.2	1.2	4.1	0.1	0.4	1.7	1.6	0.3	1.75	3.42	8.37	2.08	1.6	2.82	0.2	28.7	0.39	<0.05
Ag	<0.1	<0.5	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.5	<0.5	<0.1	<0.5	<0.1	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
As	<0.5	<5	<0.5	40.0	50.0	<0.5	<0.5	0.7	20.0	7.0	<5	40.0	<5	<0.5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	6	<5	<5
Cd	<0.1	1.0	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1.3	1.0	<0.1	1.4	<0.1	0.7	<0.5	<0.5	1	1.3	0.5	<0.5	<0.5	1.3	<0.5
Mo	0.1	2.0	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.3	0.1	2.0	2.0	0.1	5.0	0.6	1	1	<1	1	1	<1	<1	<1	1	<1
Tl	<0.1	<10	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<10	<10	<0.1	<10	<0.1	<10	<10	<10	10	<10	<10	10	<10	<10	<10
Sn	<1	1.0	<1	0.0	0.0	0.0	0.0	<1	0.0	1.0	6.0	0.0	4.0	0.0	15	3	5	6	4	2	1	25	14	1
La	30.3	121.0	10.1	12.1	16.4	16.4	25.8	9.7	10.2	2.7	7.2	4.1	9.9	5.9	3.8	22	50	31.1	25	6.3	2.7	293	1.8	3.5
Ce	38.7	133.0	11.0	16.1	19.7	9.2	39.2	14.7	11.1	3.4	11.4	5.7	14.8	8.6	6.3	38.5	89	33.3	22.4	13.8	4.5	569	6.4	5.6
Pr	6.4	27.2	1.7	2.5	3.3	4.2	6.9	2.1	1.7	0.4	1.3	0.9	2.0	0.9	0.85	4.4	9.57	5.53	4.91	2.29	0.58	59	0.59	0.52
Nd	22.1	92.0	6.2	9.5	12.7	17.5	26.4	6.5	6.2	1.7	4.4	4.1	7.2	3.5	3.9	16	34.4	20.8	20.3	9.9	2.5	204	2.2	1.9
Sm	3.2	17.4	1.3	2.0	2.7	4.2	5.1	1.3	1.1	0.3	1.1	0.7	1.2	0.6	1.6	3.23	6.73	4.33	4.56	3.56	0.72	30.3	0.55	0.31
Eu	0.7	2.6	0.3	0.4	0.6	1.0	1.0	0.3	0.4	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.74	1.6	0.84	0.93	0.34	0.26	2.74	0.15	0.09
Gd	2.3	14.3	1.4	2.0	2.7	5.8	4.9	1.0	1.0	0.6	1.5	0.8	1.2	0.9	2.07	3.5	7.35	4.84	4.28	5.96	1.08	20.1	0.6	0.3
Tb	0.3	2.1	0.2	0.3	0.4	0.9	0.8	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.31	0.44	1.13	0.63	0.65	1.1	0.2	2.55	0.09	0.05
Dy	1.9	11.6	1.2	1.7	2.6	5.9	4.2	1.0	1.2	0.5	1.6	0.9	1.2	0.9	1.98	2.82	6.57	4	3.81	7.07	1.4	13.4	0.68	0.36
Y	15.3	52.7	8.7	14.9	25.1	57.5	18.5	4.5	10.7	7.7	9.1	6.2	6.5	9.1	13.3	17.5	36.7	21.7	21.2	36.3	10	54.5	3.9	2.8
Ho	0.4	2.0	0.2	0.4	0.7	1.3	0.8	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.46	0.53	1.3	0.74	0.77	1.4				

amostra de magnetita-anfibolito (~ 20% magnetita modal) revelou resultados intermediários entre amostras tipo A e B com valores de TiO_2 (<0,38%), Al_2O_3 (0,13%), Mn_2O_3 (<0,44%), CaO (<0,11%), MgO (<0,27%) e SiO_2 (2,2-0,05%) (Anexo 2).

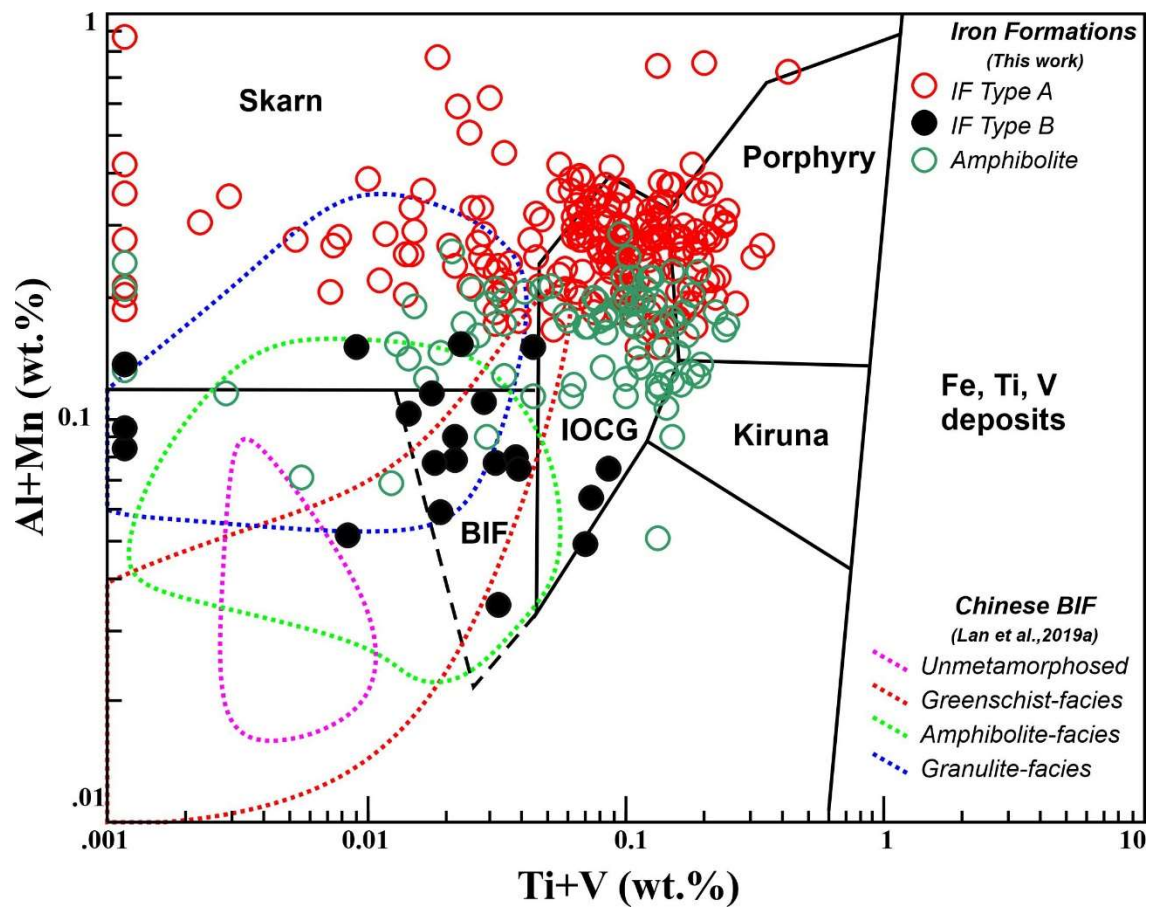


Fig. 7 Diagrama de discriminação mineral de magnetita Al+Mn vs Ti+V (Dupuis & Beaudoin, 2011; Nadoll et al., 2014) para formações ferríferas da área de estudo mostrando tipos A, B e amostra de magnetita anfibolito para comparação. Campos pontilhados referem-se à composição de magnetitas de formações ferríferas metamorfizadas da China (Lan et al., 2019a).

Tabela 2 Amostras das análises de química mineral de magnetita mais representativas das amostras das formações ferríferas da área de estudo.

Rock	Type A IF										Type B IF					Amphibolite									
Mineral	Mag 1	Mag 2	Mag 3	Mag 4	Mag 5	Mag 1	Mag 2	Mag 3	Mag 4	Mag 5	Mag 1	Mag 2	Mag 3	Mag 4	Mag 5	Mag 1	Mag 2	Mag 3	Mag 4	Mag 5	Mag 1	Mag 2	Mag 3	Mag 4	Mag 5
Sample	283	283	283	283	283	523	523	523	523	523	530	530	530	530	530	526	526	526	526	526	603	603	603	603	603
SiO ₂	0.06	0.45	0.18	0.13	0.35	0.12	0.18	0.07	0.19	0.13	0.30	0.13	0.13	0.07	0.07	0.15	0.16	0.23	0.21	0.16	0.02	0.05	0.05	0.31	0.46
TiO ₂	0.07	0.14	0.06	0.55	0.10	0.17	0.06	0.13	0.08	0.42	0.14	0.15	0.25	0.00	0.08	0.14	0.00	0.00	0.05	0.00	0.35	0.03	0.03	0.12	0.22
Al ₂ O ₃	0.37	0.28	0.29	0.33	0.40	0.33	0.39	0.58	0.34	0.36	0.89	0.37	0.64	0.34	1.65	0.14	0.16	0.08	0.14	0.18	0.07	0.05	0.05	0.08	0.01
Fe ₂ O ₃	68.52	67.95	68.11	67.73	67.86	68.63	68.54	68.40	68.31	68.50	67.99	68.61	68.28	68.72	68.27	68.50	68.07	68.07	67.59	67.39	68.73	69.35	68.11	68.35	67.75
FeO	31.27	31.74	31.38	31.69	31.55	31.56	31.34	31.47	31.54	31.30	31.71	31.27	31.58	31.18	31.61	31.30	30.88	30.88	30.72	30.77	31.24	30.69	31.61	31.22	31.73
MnO	0.13	0.00	0.02	0.15	0.16	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.35	0.09	0.03	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.23	0.26	0.26	0.24	0.16
MgO	0.01	0.01	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.06	0.07	0.02	0.04	0.23	0.05	0.03	0.03	0.01	0.01	0.02	0.07	0.07	0.06	0.05
CaO	0.00	0.02	0.00	0.04	0.03	0.03	0.02	0.00	0.00	0.03	0.28	0.00	0.05	0.01	0.00	0.00	0.04	0.04	0.05	0.03	0.00	0.02	0.02	0.00	0.02
Na ₂ O	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.02	0.05	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.02	0.02	0.02	0.07	0.01	0.03	0.05	0.05	0.03	0.00
K ₂ O	0.00	0.03	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.02	0.02	0.00
Cr ₂ O ₃	0.09	0.00	0.00	0.02	0.10	0.00	0.00	0.02	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.16	0.29	0.02	0.03	0.03	0.05	0.00	
V ₂ O ₃	0.00	0.05	0.02	0.00	0.00	0.01	0.04	0.03	0.09	0.02	0.01	0.07	0.00	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.03	0.01	0.02
NiO	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Total</i>	100.52	100.70	100.07	100.72	100.59	100.9	100.6	100.8	100.6	100.8	101.4	101.0	101.1	100.5	102.1	100.3	99.4	99.3	99.0	98.9	100.7	100.7	100.3	100.5	100.4
	Formula based on 32 oxygen					Formula based on 32 oxygen					Formula based on 32 oxygen					Formula based on 32 oxygen					Formula based on 32 oxygen				
Ni	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Si	0.002	0.017	0.007	0.005	0.013	0.005	0.007	0.003	0.007	0.006	0.011	0.005	0.005	0.155	0.003	0.006	0.006	0.006	0.008	0.006	0.001	0.002	0.013	0.012	0.018
Ti	0.002	0.004	0.002	0.016	0.003	0.005	0.002	0.004	0.002	0.004	0.004	0.004	0.007	0.002	0.002	0.004	0.000	0.000	0.002	0.000	0.010	0.001	0.006	0.003	0.006
Cr	0.003	0.000	0.000	0.001	0.003	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.009	0.000	0.001	0.008	0.001	0.000
Sc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
V	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.003	0.000	0.000	0.002	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
Al	0.017	0.013	0.013	0.015	0.018	0.015	0.018	0.026	0.015	0.006	0.040	0.017	0.029	0.028	0.073	0.006	0.007	0.007	0.006	0.008	0.003	0.002	0.000	0.004	0.001
Fe3+	1.972	1.948	1.968	1.944	1.948	1.967	1.968	1.960	1.962	1.976	1.929	1.963	1.949	1.661	1.917	1.976	1.982	1.982	1.974	1.971	1.976	1.993	1.956	1.967	1.951
Mg	0.000	0.001	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.003	0.003	0.004	0.001	0.003	0.005	0.003	0.002	0.002	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.004	0.003
Fe2+	0.004	0.016	0.009	0.017	0.015	0.008	0.005	0.005	0.008	0.005	0.012	0.005	0.008	0.149	0.000	0.005	0.003	0.003	0.004	0.005	0.008	0.000	0.015	0.009	0.021
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Al	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe ³⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000
Fe ²⁺	0.996	0.995	0.999	0.993	0.992	0.997	0.996	0.997	0.999	0.998	0.989	0.989	0.994	0.991	0.986	0.998	0.997	0.997	0.993	0.996	0.991	0.981	0.994	0.989	0.994
Mn	0.004	0.000	0.001	0.005	0.005	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.011	0.003	0.002	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.007	0.009	0.002	0.008	0.005
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Co	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.011	0.000	0.002	0.002	0.000	0.000	0.002	0.002	0.002	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001
Na	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.001	0.004	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.001	0.004	0.000	0.002	0.001	0.001	0.005	0.001	0.002	0.003	0.002	0.002	0.000
K	0.000	0.001	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

4.3 Isótopos Sm-Nd

Quatro amostras da formação ferrífera Tipo A (523, 528B, 530, 533) e três amostras da formação ferrífera Tipo B (524, 526, 527) foram coletadas para determinação de dados isotópicos Sm-Nd. Adicionalmente, uma amostra de metachert (508B) e uma amostra de rocha calcissilicática (508E) foram coletadas para determinação isotópica das rochas encaixantes (Tabela 3). Apesar de estarem no mesmo contexto geológico, formações ferríferas tipo A e B e suas encaixantes mostram ampla variação composicional (Fig. 8). Formações ferríferas Tipo A possuem valores de $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ entre 0.0618 e 0.1512 e idades T_{DM} entre 1.91 e 3.19 Ga, enquanto que formações ferríferas Tipo B têm valores de $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ entre 0.0155 e 0.1112 e idades T_{DM} entre 1.35 e 2.33 Ga. Uma amostra de calcissilicática e uma amostra de chert coletadas no mesmo afloramento possuem valores bastante distintos de $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$, respectivamente, 0.1255 e 0.0932.

As idades de deposição dessas formações ferríferas e de suas encaixantes são desconhecidas, mas estão em um contexto regional de rochas formadas entre 3.7 e 2.7 Ga (Dantas et al., 2004; 2013). No entanto, a grande variação de idades $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ gera idades T_{DM} sem significado geológico e prejudica a interpretação do ϵ_{Nd} inicial. A Tabela 3 apresenta ϵ_{Nd} calculados para 2.70 Ga, idade do último evento magmático no Arqueano registrado no Maciço São José do Campestre, assumindo-se um sistema fechado desde então. Os valores calculados de $\epsilon_{\text{Nd}}(2.7 \text{ Ga})$ variam entre -15.28 e -1.32, excluindo-se valores extremamente positivos que não apresentam significado geoquímico. Idade inicial de 2.70, entretanto, não acomoda amostras das formações ferríferas Tipo B e a amostra da encaixante calcissilicática.

Alternativamente, foi calculado ϵ_{Nd} inicial para 2.0 Ga, que estaria associado ao forte evento de deformação Paleoproterozóica datado no maciço, com valores entre -19.4 e -0.97 (novamente excluindo-se resultados extremamente positivos). Essa idade inicial tampouco acomoda todas as amostras analisadas e não é capaz de explicar resultados isotópicos de duas amostras das formações ferríferas. Finalmente, também acrescentamos a título de comparação o último evento tectonotermal no maciço, por volta de 0.58 Ga, que fornece $\epsilon_{\text{Nd}}(0.58 \text{ Ma})$ entre -27.6 e -13.11 e abarca todas as amostras.

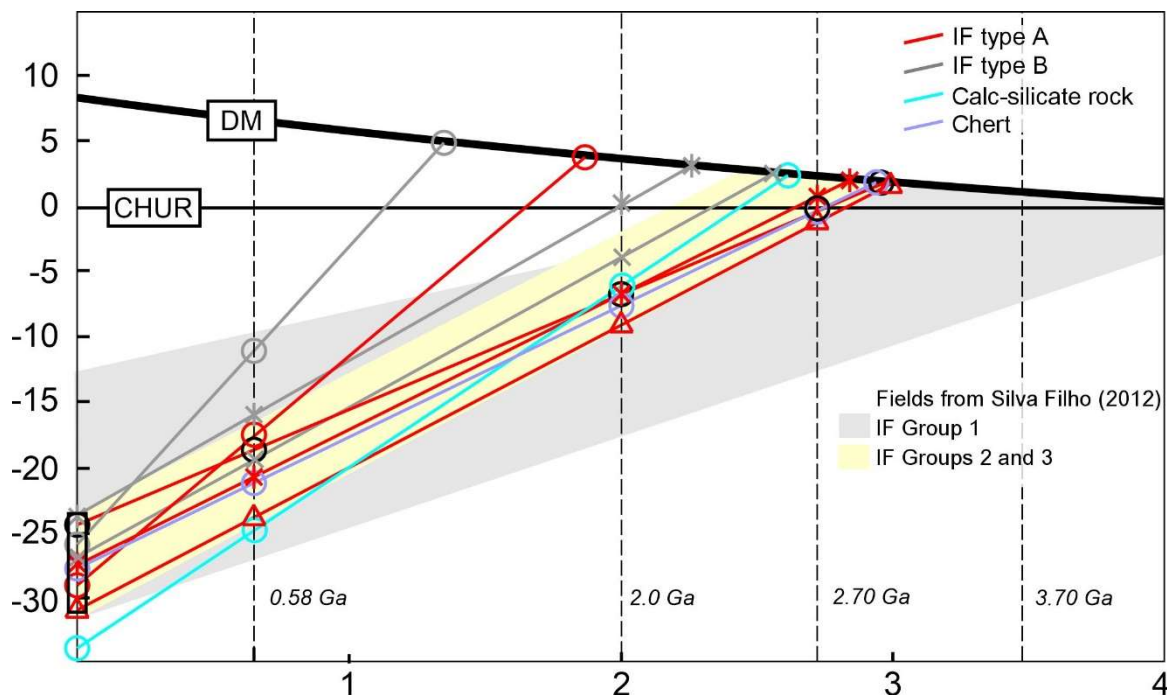


Fig. 8 Modelo de evolução $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ em função do tempo para formações ferríferas e rochas associadas do Maciço São José do Campestre. Três modelos $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ (2.7, 2.0 e 0.58 Ga) foram calculados separadamente em associação a principais eventos do maciço para ilustrar a variação dos resultados entre distintas amostras coletadas no mesmo contexto geológico. Campos cinza e amarelo são correspondentes aos resultados de Sm-Nd de Silva Filho (2012) também para o Maciço São José do Campestre.

Tabela 3 Dados isotópicos de Sm-Nd em rocha total para amostras das formações ferríferas Tipo A e B da área de estudo.

Rock	Sample	Sm (ppm)	Nd (ppm)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	Error ($\times 10^{-6}$)	$\epsilon_{\text{Nd}}(0)$	$\epsilon_{\text{Nd}}(2.70 \text{ Ga})$	$\epsilon_{\text{Nd}}(2.0 \text{ Ga})$	$\epsilon_{\text{Nd}}(580 \text{ Ma})$	$T_{\text{DM}}(\text{Ga})$
Type A IF	523	6.42	62.791	0.0618	0.511128	± 18	-29.46	34.55498165	16.56453099	-19.48318387	1.91
	528B	4.219	20.937	0.1218	0.511236	± 7	-27.35	-1.329113585	-8.153596762	-21.82790811	3.01
	530	1.395	5.580	0.1512	0.511049	± 15	-30.99	-15.28921204	-19.40896242	-27.66376323	-
	533	3.601	16.227	0.1341	0.51139	± 43	24.34	-2.608194535	-8.309283673	-19.73263485	3.19
Type B IF	524	0.314	1.752	0.1085	0.511427	± 2	-23.63	7.076086413	-0.975713273	-17.10921569	2.33
	526	1.139	44.534	0.0155	0.511278	± 6	-26.53	40.95720159	22.95527271	-13.11544121	1.35
	527	1.060	5.759	0.1112	0.511248	± 11	-27.12	2.615569068	-5.182138274	-20.80651234	2.67
Chert	508B	7.305	35.19	0.1255	0.5112	± 12	-28.05	31.21429436	13.22983305	-22.80588086	3.21
Calc-silicate	508E	2.687	17.435	0.0932	0.510884	± 11	-34.22	27.41869162	9.441035258	-26.58104349	2.73

5. DISCUSSÕES

5.1 Gênese das formações ferríferas

Formações ferríferas da área de estudo estão inseridas no multifásico e pouco conhecido contexto tectônico do Maciço São José do Campestre que incluiu pelo menos seis episódios deformacionais e/ou magmáticos: 3.45 Ga, 3.3 Ga, 3.25 Ga, 3.18 Ga, 3.0 Ga e 2.7 Ga (Dantas et al., 2004). Adicionalmente, o maciço é cercado por rochas formadas entre 2.15 e 2.0 Ga com assinaturas tanto juvenil quanto indicativas de reciclagem crustal que sugerem um evento de colagem de múltiplos terrenos Paleoproterozóicos. O pico dessa acreção é registrado como uma família de grãos de zircão metamórfico em amostras do tonalito Bom Jesus, com idades ~ 2.0 Ga (Dantas et al., 1998; Dantas et al., 2004). Finalmente, o maciço passou por mais um evento de deformação e metamorfismo neoproterozoicos ao redor de 0.58 Ga associados ao Brasiliano.

Trabalhos anteriores que estudaram as rochas ricas em magnetita do Maciço São José do Campestre interpretam sua gênese como formações ferríferas derivadas de precipitação química a partir de água de mar durante o Arqueano (Silva Filho, 2012; Figueiredo, 2012; Abrahão Filho, 2016). Entretanto, a dominância de rochas encaixantes ortoderivadas, a presença de rochas ultramáficas com alto conteúdo modal de magnetita, paragêneses minerais com escapolita, biotita e apatita e também a ocorrência de remobilização de magnetita em rochas ultramáficas sugerem que a formação dessas rochas ricas em ferro, ou pelo menos parte delas, pode ter dependido de forte influência de fluidos hidrotermais. Portanto, os dados texturais, isotópicos, de química de magnetita e de química de rocha total podem representar dois contextos: a) formações ferríferas modificadas por hidrotermalismo ou b) magnetitos hidrotermais associados a zonas de cisalhamento ou a ferro-skarns, com algumas

semelhanças ao distrito de Hudson Highlands, no EUA (Kalczynski & Gates, 2014) e a depósitos de ferro hidrotermal na China (Zhang et al., 2014).

5.1.1 Hipótese 1: Gênese por fluidos hidrotermais ao longo de zonas de cisalhamento

Dados de relações de campo, paragênese mineral, texturas e química mineral podem ser interpretados com uma gênese bastante distinta à de precipitação química a partir da água do mar. Em primeiro lugar, rochas encaixantes dominantes na área são gnaisses e migmatitos ortoderivados e também rochas máfica-ultramáficas (Dantas et al., 2013). Mesmo formações ferríferas do tipo Algoma, amplamente associadas com magmatismo submarino, possuem associação espacial importante com xistos, paragneisses e quartzitos (Gross, 1993). Na área de estudo, apenas restritas lentes de mármore e rochas calcissilicáticas, também granulitizadas, poderiam ser interpretadas como ortoderivadas. Em segundo lugar, dados de química de magnetita das formações ferríferas na área de estudo indicam maior enriquecimento em elementos traços que o esperado para magnetita de BIF (Fig. 7).

Magnetitas das formações ferríferas Tipo A plotam predominantemente no campo de IOCG e Skarn e subordinadamente no de pórfiros, enquanto as do Tipo B plotam predominantemente no campo das BIFs. Em terceiro lugar, formações ferríferas do Maciço São José do Campestre possuem idades modelo bastante variáveis e sugestivas de mistura de fontes Arqueanas com fontes mais jovens (Fig. 8), incompatível com interpretações anteriores de que essas rochas se depositaram antes de 3.0 Ga (Abrahão Filho, 2016). Logo, se o sistema Sm-Nd manteve-se fechado desde a deposição, essas idades modelo seriam compatíveis com mistura entre fluidos hidrotermais jovens associadas com orogênias Paleoproterozóica e Neoproterozóicas e fontes isotópicas antigas associadas às encaixantes arqueanas.

Por outro lado, características mineralógicas das formações ferríferas do Maciço São José do Campestre diferem de outros exemplos de deposição de ferro hidrotermal. Percolação de fluidos orogênicos por zonas de cisalhamento foi o modelo genético proposto para os minérios de ferro da região de Hudson Highlands, nos EUA (Kalczynski & Gates, 2014). Nesse contexto fluidos ácidos percolaram ao longo de zonas de fratura em gnaisses metavulcânicos gerando veios maciços de magnetita ladeados por halos de alteração cálcica marcados por escapolita, calcita, anfibólio, clinopiroxênio e ortopiroxênio. Entretanto, a formação de magnetitos maciços segundo este modelo gerou minérios sem quartzo, portanto incompatíveis com a paragênese das rochas ricas em magnetita do Maciço São José do Campestre. Outro ambiente predominantemente hidrotermal possível seria o

associado a ferro-skarns semelhantes à maior parte dos depósitos de ferro da China (Zhang et al., 2014). Esses skarns chineses, assim como as rochas ricas em magnetita do Maciço São José do Campestre, também possuem relação espacial com encaixantes carbonáticas e mineralogia de alteração contendo granada, escapolita e quartzo. No entanto, depósitos chineses possuem clara relação espacial com rochas intrusivas félsicas a intermediárias e seus produtos de metamorfismo de contato, enquanto essa relação não é tão clara em nossa área de mapeamento, talvez em função da ausência de afloramentos. Além disso, sulfetação é bastante comum em ferro-skarns enquanto quartzo é mencionado como acessório, não como mineral formador de rocha. Essas importantes diferenças mineralógicas argumentam contra um modelo genético puramente hidrotermal.

5.1.2 Hipótese 2: Formações ferríferas modificadas por metamorfismo

Paragênese e relações texturais de rochas com magnetita e quartzo com piroxênio, anfibólio e granada do Maciço São José do Campestre mostram características amplamente compatíveis com formações ferríferas em outras partes do mundo, geradas a partir de precipitação de água do mar e posteriormente modificadas durante a diagênese (Bekker et al., 2010; Alfimova et al., 2019). A coexistência de texturas bandadas, marcadas pela alternância de bandas ricas em quartzo e bandas ricas em magnetita e outras ocorrências de formações ferríferas com texturas granulares também são compatíveis com ocorrências similares de formações ferríferas bandadas e granulares na mesma região, conforme observado no depósito de ferro Kouambo, margem noroeste do cráton do Congo (Sylvestre et al., 2016) e em formações ferríferas do cráton Bundelkhand (Alfimova et al., 2019). Adicionalmente, química de rocha demonstra fortes semelhanças entre os magnetititos do Maciço São José do Campestre e formações ferríferas de diferentes idades como concentrações baixas de elementos maiores como Ti, Al, Mg, Mn e Ca e de elementos traços como Zn, Cr, Sr e V e também de ETR, semelhante a outros BIFs em todo o mundo (Klein, 2005).

Se as rochas ricas em magnetita do Maciço São José do Campestre representam de fato formações ferríferas, sua química de rocha total deveria ser capaz de fornecer informações sobre condições da bacia onde se formaram. Nesse contexto, os baixos conteúdos de Ti e Al podem ser interpretados como indicativos de baixo a inexistente transporte siliciclástico para a bacia (Murray et al., 1992; Bau, 1993). Enriquecimento em Cr (até 360,81 ppm) sugere contribuição de máfica crustal. No entanto, quando comparado com crosta continental superior, são observadas concentrações extremamente baixas com elementos incompatíveis como Th, Hf, Sc e Zr que refletem origem não-detrítica para os silicatos (Mloszewska et al., 2012). Contribuição detrítica também é limitada pela

baixa concentração de HFSE (Th, Zr, Hf e Sc), que são normalmente enriquecidos em crosta evoluída. Além disso, anomalia de Cério ($Ce/Ce^*_{CN} = 0,26-1,05$) presente em várias amostras pode ser indicativo de alteração intempérica, uma vez que as amostras apresentam martitização das magnetitas (Fig. 3H). Alternativamente, anomalia de Ce sugere a influência de dois ambientes: água do mar e, especialmente, fluido hidrotermal. (Bau & Koschinsky, 2009). Ambientes marinhos oxigenados mostram forte anomalia negativa de Ce, enquanto que águas suboxidadas e anóxicas não apresentam anomalias negativas de Ce. Isso ocorre de acordo com dissolução redutora das partículas ricas em Mn e Fe em deposição (Planavsky et al., 2010; Bekker et al., 2010). Resultados de anomalias de európio normalizadas ao condrito sugerem comportamentos diferentes entre formações ferríferas tipos A e B (Fig. 6) com fraca anomalia de Eu ($Eu/Eu^*_{CN} = 1,02-1,89$) para amostras representante da Tipo A e $Eu (Eu/Eu^*_{CN}) = 1,237$ a $2,55$ para amostras da Tipo B, característica de formações ferríferas paleoproterozoicas tardias (Planavsky et al., 2010).

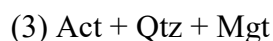
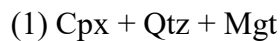
Amostras do Tipo A possuem anomalias de Ce e fraca anomalia de Eu. Anomalias de Ce e Eu ocorrem pela mudança no estado de oxidação em relação de oxirredução em ambientes sedimentares e oceânicos (Bekker et al., 2010; Planavsky et al., 2010). Anomalias de negativas de Ce indicam o teor de oxigenação no ambiente, enquanto anomalias de Eu negativas indicam considerável distância da fonte de fluido hidrotermal e baixas temperaturas (Bau, 1991; Bau & Dulski, 1996). Amostras da Tipo B, que não contêm anomalias de Ce, por outro lado possuem anomalias de Eu positivas que podem estar associadas às soluções hidrotermais no ambiente de formação dessas rochas como consequência de aumento de temperatura e diminuição do Eh. Anomalias de Ce também podem indicar processos metamórficos e/ou metassomáticos, alterações diagenéticas e intemperismo (Johannesson et al., 2006). Outras fontes de metais incorporados em formações ferríferas podem estar associadas a fluidos hidrotermais de fundo oceânico de alta ou baixa temperatura (Bau & Moller, 1992; Bolhar et al., 2004; Alexander et al., 2008).

Dados de química de magnetita deste trabalho sugerem ampla variação de concentrações de Ti e V com relação a Al e Mn ressaltadas no gráfico de classificação de magnetita da Figura 11 (Dupuis & Beaudoin, 2011, Nadoll et al., 2014). Essa variação indica composições compatíveis com o campo de BIFs para formações ferríferas Tipo B, porém compatíveis com IOCG, pórfiros e skarns para aquelas do Tipo A. Uma possível explicação para esse enriquecimento anômalo de elementos traços em magnetitas das formações ferríferas Tipo A seria o rearranjo químico durante metamorfismo e incorporação de elementos advindos de minerais acessórios como piroxênios e anfibólios. Portanto, a química da magnetita das formações ferríferas do Tipo B, que possuem baixo conteúdo modal de acessórios permaneceria compatível com o campo de BIFs pela ausência de difusão de Ti, V, Al e Mn apesar do metamorfismo. Uma explicação semelhante foi oferecida por Lan et al., (2019) para

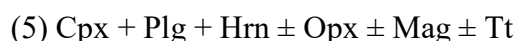
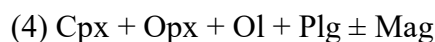
magnetita de formações ferríferas bandadas da China metamorizadas até a fácies granulito. Estes autores, no entanto, associam o aumento no conteúdo de traços de magnetita com o incremento da temperatura durante o metamorfismo.

5.2 Alterações pós-deposicionais mineralógicas e isotópicas

As formações ferríferas da região foram submetidas a diferentes estágios de transformações pós-deposicionais. Em condições de metamorfismo regional prógrado desenvolveu-se a associação de (1) clinopiroxênio + quartzo + magnetita, que chega a fácies anfibolito superior/granulito caracterizada pela blastese de (2) ortopiroxênios (ferrosilita), clinopiroxênios (hedenbergita), anfibólios (ferro-hornblenda/tschermakita) e granada. Paragênese retrógrada indicativa de fácies xisto-verde é marcada por (3) ferro-actinolita, ferro-hornblenda/tschermakita + quartzo + magnetita e, em menor quantidade, epidoto consumindo diopsídio, ferro-hornblenda/tschermakita e magnetita. Assim, dois eventos metamórficos afetaram as formações ferríferas do Maciço São José do Campestre, o primeiro de alto grau (de anfibolito alto a granulito) e o segundo em fácies xisto-verde, sugerindo retrometamorfismo (Bucher and Grapes, 2011).



Encaixantes metamáfico-ultramáficas que incluem magnetita metaperidotito com serpentina, metapiroxenititos, magnetitas-hornblenda metagabros e hornblenda metagabros de granulação média, em geral com texturas cumuláticas preservadas, e anfibolitos indicam o metamorfismo em alto grau (4) (5) e retrometamorfismo. Agregados de clinopiroxênio e anfibólio em textura granoblástica indicam recristalização de minerais máficos sob condições metamórficas. Retrometamorfismo em fácies anfibolito/xisto-verde superior é sugerido pela paragênese calcita, hornblenda, actinolita-tremolita, serpentina e epidoto (6) (Bucher and Grapes, 2011).



Rochas calcissilicáticas, por outro lado, registram condições metamórficas de fácies granulito marcadas pela assembleia hedenbergita, plagioclásio, escapolita, granada e titanita (7) (8), e, sequencialmente, retrometamorfismo em fácies anfibolito inferior-xisto verde com a blastese de granada, anfibólio, epidoto, calcita e sericita (9), substituindo diopsídio-hedenbergita e plagioclásio.

(7) Cpx + Plg + Tt

(8) Hd + Plg + Esc + Grt + Ti

(9) Grt + Act + Ep + Cc + Ser

Alternativamente, paragêneses minerais indicativas de fácies xisto-verde também podem ser interpretadas como representativas de alteração hidrotermal confinadas a zonas de cisalhamento. Rochas máfica-ultramáficas próximas às formações ferríferas do Maciço São José do Campestre apresentam pelo menos um evento metassomático conectado a fluidos salinos carbonáticos que influenciam essas litologias, detectados pela presença de grunerita, escapolita e calcita ligadas à interação de granitos neoproterozóicos com rochas piroxeníticas (Abrahão Filho, 2016). Rochas encaixantes e formações ferríferas possuem minerais que também podem evidenciar alteração hidrotermal como escapolita, sericita, biotita, flogopita, apatita, calcita e titanita. Entretanto, este trabalho interpreta que as texturas das formações ferríferas aliadas a paragênese com predominância de quartzo e magnetita com raros sulfetos sugere que as paragêneses minerais das formações ferríferas e rochas encaixantes correspondem a metamorfismo regional de rochas já originalmente ricas em magnetita e quartzo. Neoformação mineral subordinada pode estar relacionada com remobilização hidrotermal posterior.

Influência hidrotermal seria capaz de explicar a mobilidade de terras raras sugerida pelo sistema isotópico Sm-Nd para as formações ferríferas do Maciço São José do Campestre (Fig. 8). Essa perturbação seria capaz de afetar de forma distinta formações ferríferas e rochas encaixantes que, segundo relações de campo, formaram-se no mesmo contexto geológico e estaria associada a mistura entre distintas fontes isotópicas durante eventos tectonotermais paleoproterozóicos e neoproterozóicos.

Dados de $\epsilon_{Nd(t)}$ inconsistentes com idades interpretadas de deposição também foram encontradas nos dados de Silva Filho (2012) em formações ferríferas a 80 km a norte/sul/leste/oeste da área de estudo deste trabalho. As formações ferríferas descritas por Silva Filho (2012) também possuem variações importantes de elementos como Al, Ca, Mn, Ti e de padrões ETR em rocha total que permitiram ao autor delimitar três grupos de formações ferríferas. O Grupo 1 de Silva Filho (2012) apresenta idades T_{DM} mais antigas, entre 3.9-3.4, representado na Figura 8 pelo campo cinza, que não encontram equivalente nas amostras do presente trabalho. Essas idades T_{DM} poderiam significar que as formações ferríferas do Grupo 1 foram preservadas de perturbação do sistema isotópico e correspondem a um dado com significado geológico. Os grupos 2 e 3 de Silva Filho (2012), por outro lado, representados como o campo amarelo na Figura 8, apresentam idades T_{DM} entre 3.1-2.4 compatíveis com nossos dados para a maior parte das formações ferríferas Tipo A e encaixantes analisadas. Considerando-se que todas as formações ferríferas estudadas neste trabalho e aquelas de

Silva Filho são parte do mesmo contexto geológico, o sistema Sm-Nd deveria apresentar valores semelhantes para elas conforme observado em formações ferríferas de cinturões deformados na China (Huang et al., 2019; Lan et al., 2019b).

Um distúrbio semelhante no sistema Sm-Nd é reportado em formações ferríferas bandadas arqueanas de idade ~ 3.71 Ga do Complexo Issua, na Groenlândia, e são interpretadas como modificação da assinatura Sm-Nd por sobrecrecimento de apatita durante evento regional termo-metamórfico em ~ 2.85 Ga (Frei et al., 1999). De forma semelhante, os dados isotópicos das formações ferríferas do Maciço São José do Campestre também podem ser interpretados como resultantes de mistura entre fontes arqueanas derivadas das rochas do complexo e fontes paleoproterozoicas associadas com percolação de fluidos por zonas de cisalhamento durante o evento regional acrescionário datado de 2.0 Ga (Dantas et al., 1998). Idades T_{DM} mesoproterozoicas de duas amostras das formações ferríferas na área de estudo (Tabela 3) que não possuem significado geológico na área de estudo, sugerem perturbação adicional por evento tectonotermal posterior, talvez associado à deformações Neoproterozóicas. Portanto, os valores absolutos de ϵ_{Nd} e as idades T_{DM} reportadas neste trabalho não possuem significado geológico real, enquanto os valores relativos são interpretados como indicativos de perturbação do sistema isotópico original que mais provavelmente associa-se com deposição anterior a 3.0 Ga.

6. CONCLUSÕES

Mapeamento geológico, geoquímica de rocha total e química mineral permitiram a proposição de um modelo genético para rochas ricas em magnetita do Maciço São José do Campestre. Essas rochas formaram-se por precipitação química a partir de um oceano arqueano que, pelo menos localmente, teve um importante aporte hidrotermal e contribuição detrítica insignificante. No entanto, a classificação genética dessas rochas como formações ferríferas não é óbvia pela escassez de encaixantes paraderivadas e porque paragêneses e texturas sedimentares foram modificadas por metamorfismo em fácies anfíbolito alto a granulito durante um evento regional de migmatização (Dantas et al., 2013). Além disso, as formações ferríferas estudadas são fortemente associadas com zonas de cisalhamento Paleoproterozóicas e que permitem uma segunda hipótese de derivação por percolação de fluidos hidrotermais ricos em ferro. De fato, dados Sm-Nd sugerem mistura de fontes Arqueanas e Paleoproterozóicas para a maior parte das formações ferríferas estudadas.

A assinatura isotópica é interpretada como sobreposição composicional por percolação de fluidos ao longo de zonas de cisalhamento durante evento regional de deformação ocorrido ao redor de 2.0 Ga e talvez alguma influência posterior durante a Orogenia Brasileira, no Neoproterozóico. A composição química da magnetita é outro dado que também pode ser aplicado de forma ambígua na interpretação da gênese das rochas estudadas. Apesar de magnetita das formações ferríferas ser geralmente pobre em elementos traços como Ti, Al, V e Mn, a composição de grãos das formações ferríferas da região estudada mostra amplo espalhamento composicional dentro do campo de BIF's, IOCG, pórfiros e Skarns (Fig. 7).

Este trabalho argumenta que esse enriquecimento é compatível com assimilação por difusão química de elementos originalmente hospedados em silicatos ferro-magnesianos da paragênese original. Nosso estudo sugere que química da magnetita e isotópica de rocha total podem ser modificadas por eventos posteriores, demandando parcimônia na sua aplicação para interpretações de ambientes sin-deposicionais. As formações ferríferas do Maciço São José do Campestre são um exemplo de como eventos metamórficos e hidrotermais podem mascarar assinaturas metalogenéticas primárias e prejudicar a classificação genética de minérios de ferro.

7. AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa é o resultado da dissertação de mestrado na Universidade de Brasília, Brasil, parcialmente financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Bolsa CAPES) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq - Brasil) para bolsas de pesquisa contínua.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrahão Filho, E.A.F., 2016. Tholeitic high-Fe mafic magmatism and the protolith of mesoarchean iron-rich exotic pyroxenitic rocks in São José do Campestre Massif, NE Brazil. (Unpublished Master's Dissertation).
- AcmeLabs Services & Fees, 2009. Acme Analytical Laboratories Ltd., Acme analytical laboratories Ltd. Vancouver B. C. pp. 36.

- Alfimova, N., Razac, M.B., Felitsynb, S., Matrenicheva, V., E. Bogomolovb, E., Nasipuric, P., Saha, L., Patie, J.K., Kumar, V., 2019. Isotopic Sm-Nd signatures of Precambrian Banded Iron Formation from the Fennoscandian shield, East-European Platform, and Bundelkhand craton, India. *Precambrian Research* 328, 1-8.
- Almeida, F.F.M., Hasui, Y., Brito Neves, B.B., Fuck, R.A., 1981. Brazilian Structural Provinces: an introduction. *Earth Science Reviews* 17, 1–29.
- Alexander, B., Bau, M., Andersson, P., Dulski, P., 2008. Continentally-derived solutes in shallow Archean seawater: Rare earth element and Nd isotope evidence in iron formation from the 2.9Ga Pongola Supergroup, South Africa. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 72, 378–394.
- Barton, M.D., 2014. Iron Oxide (–Cu–Au–REE–P–Ag–U–Co) Systems, in: Holland, H.D., Tuerkerian, K.K. (Eds.), *Earth Systems and Environmental Sciences, Treatise on Geochemistry*, pp. 515–536.
- Bau, M., Möller, P., 1992. Rare-earth element fractionation in metamorphogenic hydrothermal calcite, magnesite and siderite. *Mineralogy and Petrology*, 45: 231–246.
- Bau, M., 1993. Effects of syn- and post-depositional processes on the rare earth elemental distribution in Precambrian iron formations. *European Journal of Mineralogy* 5, 257–267.
- Bau, M., Koschinsky, A., 2009. Oxidative scavenging of cerium on hydrous Fe oxide: Evidence from the distribution of rare earth elements and yttrium between Fe oxides and Mn oxides in hydrogenetic ferromanganese crusts. *Geochemical Journal* 43, 37–47.
- Bekker, A., Slack, J.F., Planasvsky, N., Krapez, B., Hofmann, A., Konhauser, K.O., Rouxel, O., 2010. Iron formation: a sedimentary product of the complex interplay among mantle, tectonic, and biospheric processes. *Society Economic Geology* 105, 467–508.
- Bolhar, R., Kamber, B.S., Moorbath, S., Fedo, C.M. & Whitehouse, M.J., 2004. Characterisation of Early Archaean chemical sediments by trace element signatures. *Earth and Planetary Science Letters* 222, 43–60.
- Bucher, K., Grapes, R., 2011. *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. 8th ed., Springer, Berlin.
- Dantas, E.L., 1996. Geocronologia U-Pb e Sm-Nd de terrenos Arqueanos e paleoproterozóicos do Maciço Caldas Brandão, NE do Brasil (Unpublished Ph.D. Thesis). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista-UNESP, Rio Claro, Brasil, 206 pp.
- Dantas, E.L., Hackspacher, P.C, Van Schmus, W.R., Brito Neves, B.B., 1998. Archean accretion in the São José do Campestre Massif, Borborema Province, Northeast Brazil. *Revista Brasileira de Geociências* 28, 221–228.

- Dantas, E.L.; Van Schmus, W.R.; Hackspacher, P.C.; Fetter, A.H.; Brito Neves, B.B.; Cordani, U.; Nutman, A.P.; Williams, I.S., 2004. The 3.4–3.5 Ga São José do Campestre massif, NE Brazil: remnants of the oldest crust in South America. *Precambrian Research* 130, 113–137.
- Dantas, E.L., Souza, Z.S., Wernick, E., Hackspacher, P.C., Martin, H., Xiaodong, D., Li, J.W., 2013. Crustal growth in the 3.4 to 2.7 Ga. São José de Campestre Massif, Borborema Province, NE Brazil. *Precambrian Research* 227, 120–156.
- Deer, W. A., Howie, R. A., Zussman, J., 1992. An introduction to the rock forming minerals, second ed. Prentice Hall, New York.
- DePaolo, D. J., 1981. A neodymium and strontium isotopic study of the Mesozoic calc-alkaline granitic batholiths of the Sierra Nevada and Peninsular Ranges, California. *Journal of Geophysical Research* 86, 10470–10488.
- Nascimento, D, Leite, M.A., Galindo, A.C., Medeiros, V.C., 2015. Ediacaran to Cambrian magmatic suites in the Rio Grande Do Norte domain, extreme Northeastern Borborema Province (NE of Brazil): current knowledge. *Journal of South American Earth Sciences* 58, 281–299.
- Droop, G.T.R., 1987. A general equation for estimating Fe³⁺ concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria. *Mineralogical Magazine* 51, 431–435.
- Dupuis, C., Beaudoin, G., 2011. Discriminant diagrams for iron oxide trace element fingerprinting of mineral deposit types. *Mineralium Deposits* 46, 319–335.
- Figueiredo, B.S., 2012. Geoquímica e Gênese das formações ferríferas e metacarbonatos da porção sul do Maciço São José do Campestre, Província Borborema (Unpublished Master's Dissertation). Instituto de Geociências, Universidade de Brasília-UnB.
- Frei, R., Bridgwater, R.D., Rosing, M., Stecher, O., 1999. Controversial Pb-Pb and Sm-Nd isotope results in the early Archean Isua (West Greenland) oxide iron formation: preservation of primary signatures versus secondary disturbances. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 63, 473–488.
- Gioia, S.M.C.L., Pimentel, M.M., 2000. The Sm-Nd isotopic method in the Geochronology Laboratory of the University of Brasília. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 72, 219–245.
- Gross, G.A., 1993. Industrial and genetic models for iron ore in iron-formations. *Geological Survey of Canada Special Papers* 40, 151–170.
- Haugaard, R., Frei, R., Stendal, H., Konhauser, K., 2013. Petrology and geochemistry of the ~2.9 Ga Itilliarsuk banded iron formation and associated supracrustal rocks, West Greenland: Source characteristics and depositional environment. *Precambrian Research*. 229, 150–176.

- Huang, B., Kusky, T.M., Wanga, L., Denga, H., Wanga, J., Fua, D., Penga, H., Ninga, W., 2019. Age and genesis of the Neoproterozoic Algoma-type banded iron formations from the Dengfeng greenstone belt, southern North China Craton: Geochronological, geochemical and Sm–Nd isotopic constraints. *Precambrian Research* 333, 105437.
- Jardim de Sá, E.F., 1994. A Faixa Seridó (Província Borborema, NE Brasil) e o seu significado geodinâmico na cadeia Brasileira/Pan-Africana (Unpublished Ph.D. Thesis). Instituto de Geociências, Universidade de Brasília-UnB.
- Kalczynski, M.J., Gates, A.E., 2014. Hydrothermal alteration, mass transfer and magnetite mineralization in dextral shear zones, western Hudson Highlands, New York, United States. *Ore Geology Review*. 61, 226–247.
- Klein, C., 2005. Some Precambrian banded iron-formations (BIFs) from around the world: their age, geologic setting, mineralogy, metamorphism, geochemistry, and origin. *American Mineralogist* 90, 1473–1499.
- Lan, C., Yang, A.Y., Wang, C.L., Zhao, T.P., 2019a. Geochemistry, U-Pb zircon geochronology and Sm-Nd isotopes of the Xincai banded iron formation in the Southern margin of the North China Craton: implications on Neoproterozoic seawater compositions and solute sources. *Precambrian Research* 326, 240–257.
- Lan, C., Zhao, T., Chen, W.T., Long, X., 2019b. Trace elemental modification in magnetite from high-grade metamorphosed BIFs in the Southern North China Craton. *Ore Geology Rev.* 112, 103019.
- McDonough, W.F., Sun, S.-S., 1995. The composition of the Earth. *Chemical Geology* 120, 223–253.
- Meinert L.D., Dipple G.M., Nicolescu S., 2005. World Skarn Deposits. *Econ. Geol.* 100th Anniversary Volume, 299–336.
- Mloszewska, A.M., Pecoits, E., Cates, N.L., Mojzsis, S.J., O'Neil, J., Robbins, L.J., Konhauser, K.O., 2012. The composition of Earth's oldest iron formations: the Nuvvuagittuq Supracrustal Belt (Quebec, Canada). *Earth and Planetary Science Letters* 317–318, 331–342.
- Murray, R.W., Buchholtz ten Brink, M.R., Gerlach, D.C., Russ III, G.P., Jones, D.L., 1992. Rare earth major and trace element compositions of Monterey and DSDP chert and associated host sediment, assessing the influence of chemical fractionation during diagenesis. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 56, 2657–2671.
- Nadoll, P., Angerer, T., Mauk, J.L., French, D., Walshe, J., 2014. The chemistry of hydrothermal magnetite: A review. *Ore Geology Reviews* 61, 1–32.

- Planavsky, N., Bekker, A., Rouxel, O. J., Kamber, B., Hofmann, A., Knudsen, A., Lyons, T. W., 2010. Rare Earth Element and yttrium compositions of Archean and Paleoproterozoic Fe formations revisited: New perspectives on the significance and mechanisms of deposition. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 74, 6387–6405.
- Silva Filho, C.V.R., 2012. Isótopos de Nd aplicados a datação direta de formações ferríferas paleoarqueanas do Maciço São José do Campestre (Unpublished Master's Dissertation). Instituto de Geociências, Universidade de Brasília-UnB
- Souza, Z.S., Martin, H., Peucat, J.J., Sa, E.F.J., Macedo, M.H.F., 2007. Calc-alkaline magmatism at the Archean–Proterozoic transition: the Caico Complex Basement (NE Brazil). *Journal of Petrology* 48, 2149–2185.
- Sylvestre, G., Laure, N.T.E., Djibril, K.N.G., Arlette, D.S., Cyriel, M., Timoléon, N., Paul, N.J., 2017. A mixed seawater and hydrothermal origin of superior-type banded iron formation (BIF) hosted Kouambo iron deposit, Palaeoproterozoic Nyong series, Southwestern Cameroon: constraints from petrography and geochemistry. *Ore Geology Reviews* 80, 860-875.
- Taylor, S.R., McLennan, S.M., 1985. *The Continental Crust: its Composition and its Evolution*, Blackwell, Oxford, 312 pp.
- Trompette, R., 1994. Geology of Western Gondwana (2000-500 Ma) Pan African-Brasiliano Aggregation of South America and Africa. A.A. Balkema (Ed.), Brookfield, Rotterdam, pp. 350.
- Van Schmus, W.R., Brito Neves, B.B., Williams, I.S., Hackspacher, P.C., Fetter, A.H., Dantas, E.L., Babinski, M., 2003. The Seridó Group of NE Brazil, a late neoproterozoic pre-tectonic syn-collisional basin in West Gondwana: insights from SHRIMP U-Pb detrital zircon ages and Sm-Nd crustal residence (TDM) ages. *Precambrian Research* 127, 287–327.
- Zhang, Z., Hou, T., Santosh, M., Li, H., Li, J., Zhang, Z., Song, X., Wang, M., 2014. Spatio-temporal distribution and tectonic settings of the major iron deposits in China: An overview. *Ore Geology Reviews* 57, 247-263.

Anexo 1 Análises representativas dos resultados de geoquímica de rocha total de elementos maiores, menores (wt.%) e traços (ppm) das formações ferríferas Tipo A e Tipo B, rochas calcissilicáticas, piroxenititos, anfíbolitos e mármore da área de estudo.

Rock Sample	Iron Formation																											
	Type A										Type B																	
	4	58	94	283	283.2	314	521	522	523	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	93	524	524.2	525	526	526.2	527	527.2	535
SiO2	41.83	41.99	45.44	37.48	41.90	42.62	44.00	41.00	42.30	43.50	44.70	38.20	40.10	45.60	41.50	46.40	49.40	46.40	38.80	56.32	54.80	46.00	52.40	49.40	51.30	47.40	44.10	49.40
TiO2	0.06	0.02	0.01	0.07	0.06	0.10	0.11	0.11	0.07	0.10	0.10	0.04	0.05	0.09	0.04	0.00	0.02	0.07	0.07	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	<0.01	0.00	<0.01	0.00
Al2O3	0.99	0.69	0.29	1.17	0.94	1.47	1.44	1.50	1.41	1.43	1.30	0.66	0.81	1.30	0.63	0.13	0.10	0.73	1.20	0.58	0.16	0.16	0.14	0.44	0.12	0.24	0.07	0.10
Fe2O3	55.15	50.91	52.36	56.82	52.40	52.39	51.58	55.22	53.29	52.76	52.83	58.63	57.80	50.66	55.57	52.04	48.67	50.31	57.99	40.58	42.65	50.40	45.29	47.32	48.90	49.67	53.20	48.67
MnO	0.28	0.80	0.05	0.23	0.21	0.29	0.26	0.39	0.22	0.16	0.12	0.23	0.24	0.18	0.25	0.05	0.15	0.11	0.26	0.02	0.02	0.01	0.02	0.04	0.02	0.07	0.02	0.15
MgO	1.67	2.98	2.20	1.42	1.33	2.14	1.92	2.79	1.48	1.91	1.03	0.89	1.20	1.88	1.47	1.12	1.62	1.76	0.03	0.05	0.06	0.06	0.21	0.03	0.19	0.07	0.12	
CaO	1.17	3.52	1.29	0.94	0.59	1.32	1.20	0.82	1.61	1.36	0.51	1.04	0.42	1.39	0.18	1.02	0.03	1.66	0.87	<0.01	0.02	0.10	0.04	0.14	0.02	0.10	<0.01	0.03
Na2O	0.02	0.04	0.02	0.03	0.04	0.03	0.02	0.02	0.04	0.04	0.01	0.01	0.01	0.03	0.00	0.01	0.00	0.02	0.02	0.01	0.00	0.03	0.01	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00
K2O	0.02	0.01	0.01	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	0.05	0.02	0.01	0.01	0.17	0.01	0.00	0.01	0.01	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02	0.01	0.04	0.01	0.01
P2O5	0.11	0.17	0.25	0.12	0.11	0.12	0.09	0.11	0.08	0.09	0.08	0.06	0.08	0.08	0.08	0.19	0.04	0.10	0.07	0.08	0.06	0.22	0.08	0.06	0.06	0.04	0.05	0.04
Cr2O3	0.00	0.00	0.00	<0.002	0.00	<0.002	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<0.002	0.00	0.00	<0.002	0.00	<0.002	0.00
LOI	-1.50	-1.30	-2.10	1.50	0.96	-0.70	-1.14	-1.46	-1.26	-1.20	-0.14	0.33	-0.73	-1.19	0.26	-0.89	1.15	-0.80	-1.44	2.00	1.94	2.23	1.93	1.30	0.60	1.27	1.48	1.15
Total	101.30	101.13	101.92	98.32	98.62	100.52	100.69	102.00	100.54	101.40	100.70	99.77	100.72	101.38	99.75	100.97	98.53	100.99	101.07	97.65	97.78	99.23	98.05	97.64	101.09	97.75	99.04	98.53
Sc	2.0	1.0	<1	12.0	1.0	11.0	4.0	<1	5.0	8.0	<1	<1	<1	<1	11.0	2.0	<1	1.0	1.0	1.0	5.0	<1	8.0	<1	<1	10.0	<1	<1
V	<8	<8	<8	12.0	11.0	19.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.0	0.0	8.0	0.0	0.0	<5	0.0	<5	0.0
Co	107.3	31.8	69.9	53.8	56.0	88.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	66.1	0.0	95.0	0.0	0.0	118.0	0.0	56.0	0.0	
Ni	5.9	37.2	4.4	7.0	2.0	13.7	0.2	10.1	30.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.1	0.0	0.0	16.0	5.2	<1	1.3	0.0	<1	0.0	<1	0.0	0.0
Cu	0.7	3.9	0.7	1.4	1.0	1.3	30.4	30.3	19.8	29.7	30.1	29.9	29.8	40.0	20.1	50.2	220.2	70.4	60.1	10.7	20.1	<1	49.8	3.2	<1	39.9	14.0	220.2
Zn	5.0	10.0	4.0	9.0	<2	9.0	50.0	60.0	20.0	40.0	20.0	0.0	20.0	20.0	20.0	50.0	10.0	20.0	30.0	25.0	20.0	21.0	0.0	130.0	49.0	170.0	124.0	10.0
Ga	1.4	4.8	0.8	1.0	3.3	1.4	4.5	3.8	2.7	6.3	3.6	1.8	1.7	2.9	2.2	1.1	0.6	1.4	2.4	1.1	0.9	1.3	1.1	1.1	3.5	1.2	1.1	0.6
Rb	1.0	<0.1	0.8	2.1	2.0	1.5	3.1	2.6	2.2	2.5	1.9	0.8	2.0	9.7	2.1	0.5	0.4	1.1	2.8	0.8	0.5	0.5	0.7	2.5	0.5	5.4	0.4	0.4
Sr	13.6	34.0	34.0	29.7	31.1	6.6	0.0	10.9	0.0	10.2	11.5	0.0	20.3	0.0	10.7	0.0	9.7	0.0	12.9	0.0	5.8	0.0	0.0	2.7	0.0	2.1	0.0	0.0
Zr	14.4	9.8	3.5	28.1	19.0	31.7	33.0	32.0	23.0	33.0	26.0	10.0	23.0	20.0	9.0	4.0	2.0	8.0	22.0	6.0	10.0	6.0	4.0	2.0	5.0	5.0	4.0	2.0
Nb	0.8	1.8	0.5	1.0	1.1	1.7	2.2	2.7	1.3	3.3	1.7	0.6	1.0	1.3	0.9	1.3	0.0	0.3	1.1	0.6	0.0	0.5	0.4	0.2	0.7	0.8	0.3	0.0
Cs	<0.1	<0.1	0.1	0.2	0.2	<0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.0	0.2	0.3	0.4	0.0	0.0	0.1	0.1	<0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0
Ba	40.0	240.0	197.0	117.0	337.0	24.0	30.0	90.0	290.0	120.0	90.0	10.0	20.0	160.0	0.0	0.0	70.0	40.0	70.0	1813.0	570.0	36.1	70.0	1330.0	5.4	350.0	56.9	70.0
Hf	0.4	0.2	0.2	0.6	0.5	0.7	0.9	0.8	0.5	0.7	0.9	0.2	0.6	0.6	0.3	0.0	0.0	0.3	0.6	0.2	0.3	0.2	0.0	0.0	<0.2	0.2	<0.2	0.0
Ta	0.3	0.2	0.3	0.2	0.5	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	0.0	0.8	0.1	0.1	0.8	0.1	0.5	0.1
Pb	0.3	0.3	2.5	0.3	<2	0.1	70.0	60.0	100.0	100.0	110.0	80.0	80.0	90.0	60.0	80.0	60.0	70.0	60.0	11.8	80.0	<2	80.0	30.0	<2	50.0	<2	60.0
Th	1.8	0.4	0.3	0.2	0.2	0.3	0.9	0.4	1.5	0.4	0.5	0.2	0.3	0.3	0.1	0.4	0.2	0.3	0.3	3.6	0.3	0.2	0.4	0.2	0.2	0.3	0.1	0.2
U	0.3	0.1	0.3	<0.1	<0.05	<0.1	0.1	0.1	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.3	0.3	0.1	1.2	4.1	0.1	3.8	1.8	0.4	1.7	1.6	0.3
Ag	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.5	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.5	<0.1	<0.1	<0.5	<0.1	<0.5	<0.1
As	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<5	<0.5	40.0	40.0	20.0	50.0	50.0	40.0	50.0	<0.5	<0.5	20.0	<0.5	30.0	<0.5	0.7	20.0	7.0	20.0	<0.5	<5	40.0	<5	<0.5
Cd	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1.0	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1.3	<0.1	<0.1	1.0	<0.1	1.4	<0.1
Mo	0.2	1.1	0.1	0.1	2.0	0.1	0.1	0.2	0.7	0.6	0.2	0.1	0.2	0.4	0.1	0.1	0.6	0.1	0.1	0.3	0.1	2.0	0.2	0.3	2.0	0.1	5.0	0.6
Tl	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<10	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<10	<0.1	<0.1	<10	<0.1	<10	<0.1
Sn	<1	<1	<1	<1	1.0	<1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<1	0.0	1.0	0.0	0.0	6.0	0.0	4.0	0.0
W	799.5	236.2	497.6	401.3	830.0	622.6	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	4.0	1.0	0.0	1.0	2.0	0.0	1.0	1.0	542.8	3.0	1435.0	4.0	1.0	1520.0	1.0	852.0	0.0
La	6.0	8.1	30.3	152.2	121.0	10.1	15.1	12.1	29.8	6.7	34.5	11.8	16.4	4.0	16.4	15.1	5.9	12.9	25.8	9.7	10.2	2.7	9.8	5.1	7.2	4.1	9.9	5.9
Ce	8.7	15.7	38.7	110.6	133.0	11.0	20.4	16.1	63.5	9.6	51.6	16.2	19.7	7.3	9.2	18.1	8.6	16.3	39.2	14.7	11.1	3.4	13.7	5.6	11.4	5.7	14.8	8.6
Pr	1.7	2.1	6.4	31.6	27.2	1.7	3.4	2.5	6.7	1.5	6.5	2.6	3.3	0.9	4.2	2.3	0.9	3.2	6.9	2.1	1.7	0.4	1.6	0.9	1.3	0.9	2.0	0.9
Nd	5.8	8.0	22.1	102.3	92.0	6.2	12.9	9.5	22.8	5.8	23.4	8.7	12.7	3.6	17.5	7.5	3.5	12.0	26.4	6.5	6.2	1.7	6.0	3.6	4.4	4.1	7.2	3.5
Sm	1.2	1.8	3.2	18.0	17.4	1.3	2.3	2.0	4.2	1.1	4.1	1.3	2.7	0.7	4.2	1.3	0.6	2.3	5.1	1.3	1.1	0.3	1.2	0.8	1.1	0.7	1.2	0.6
Eu	0.3	0.8	0.7	2.7	2.6	0.3	0.5	0.4	0.8	0.3	0.7	0.3	0.6	0.2	1.0	0.4	0.3	0.5	1.0	0.3	0.4	0.3	0.4	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3
Gd	1.1	2.3	2.3	14.1	14.3	1.4	2.4	2.0	3.9	1.2	3.8	1.1	2.7	0.8	5.8	1.4	0.9	2.1	4.9	1.0	1.0	0.6	1.5	0.9	1.5	0.8	1.2	0.9
Tb	0.2	0.5	0.3	2.2	2.1	0.2	0.3	0.3	0.6	0.2	0.6	0.2	0															

Anexo 1 Análises representativas dos resultados de geoquímica de rocha total de elementos maiores, menores (wt.%) e traços (ppm) das formações ferríferas Tipo A e Tipo B, rochas calcissilicáticas, piroxenititos, anfíbolitos e mármores da área de estudo (continuação).

Rock	Calcissilicate Rock					Piroxenite			Amphibolite			Marble	
Sample	508E	525.1	525.2	601.1	601.2	528A	528D	600	37.1	508F	603	37.2	508A
SiO ₂	43.6	45.9	39.6	49.4	43.4	48.8	48.7	54.5	54.2	47.3	43.2	3.83	1.37
TiO ₂	0.06	0.05	0.08	0.18	0.14	0.25	0.23	0.03	0.02	0.44	0.04	0.02	<0.01
Al ₂ O ₃	19.4	9.83	19.7	3.6	17.75	5.27	5.36	1.8	1.14	10.2	0.58	0.38	0.03
Fe ₂ O ₃	6.66	11.8	5.46	15.35	11.6	13.95	14	3.98	6.56	6.33	28.2	1.85	0.39
MnO	0.15	0.32	0.08	0.75	0.16	0.58	0.59	0.31	0.43	0.24	0.37	0.18	0.11
MgO	2.28	6.73	3.77	8.62	2.96	7.71	7.62	15.05	14.5	9.42	15.6	4.87	21
CaO	23.1	22.8	27.1	22.5	22.9	21.9	21.7	23.3	23.4	23.3	8.56	49.9	32.8
Na ₂ O	1.45	0.69	0.36	0.21	0.61	0.39	0.36	0.5	0.33	0.47	0.18	0.01	<0.01
K ₂ O	0.09	0.07	0.05	0.18	0.17	0.22	0.21	0.24	0.11	0.07	0.14	0.02	0.01
P ₂ O ₅	0.02	0.005	0.02	0.06	0.07	0.06	0.06	0.005	0.02	0.27	0.01	0.02	0.01
Cr ₂ O ₃	<0.002	0.001	0.001	0.005	0.002	0.011	0.011	0.004	0.001	<0.002	0.001	0.003	<0.002
LOI	1.99	0.76	4.2	0.45	0.38	0.42	0.1	1.17	1.06	0.54	2.1	38.9	45.2
Total	98.9	98.99	100.48	101.32	100.33	99.58	98.98	100.9	101.77	98.65	99.01	100	100.92
Sc	1	2	2	4	3	6	7	2	<1	7	1	1	<1
V	30	47	104	27	46	44	43	13	10	24	46	8	<5
Co	50	53	36	37	43	90	75	58	33	38	31	20	8
Ni	1	17	12	33	13	52	49	10	18	<1	3	8	1
Cu	1	1	1	15	<1	2	1	1	1	1	69	4	2
Zn	80	200	149	225	108	237	232	118	91	153	105	8	7
Ga	69.1	35.3	56.8	8.1	52.8	8.8	9.1	7.5	5.1	35.8	23.1	1.1	0.5
Rb	3.2	6.1	3.3	4.5	6.3	12.3	12.6	6.4	2.7	6.6	4.8	0.2	0.2
Sr	887	356	518	30.2	1540	50.2	50.4	21.8	13.9	605	7.2	151.5	37.7
Zr	49	31	49	53	106	71	65	14	<2	521	7	9	4
Nb	1.5	1.1	6.5	1.3	6.6	5.2	4.3	0.8	0.4	40.8	1.7	0.5	0.2
Cs	0.65	0.87	0.24	0.72	0.38	1.14	1.21	0.21	0.14	0.84	0.18	0.03	0.06
Ba	9.5	17.5	10.4	42.8	47.4	182.5	245	147.5	27.9	19.7	266	4.5	7.1
Hf	1.8	1.4	1.4	1.5	3.8	2.1	1.8	0.7	0.3	14.8	0.3	0.4	<0.2
Ta	1	0.7	1.2	0.9	1.1	1.2	1.1	0.9	0.3	3.9	0.4	0.5	0.4
Pb	22	7	42	7	10	12	14	4	3	36	<2	<2	<2
Th	23	0.43	3.8	7.78	21.3	3.53	2.45	2.19	0.29	140.5	0.08	0.4	<0.05
U	9.82	1.75	3.42	5.76	8.37	2.08	1.6	2.82	0.2	28.7	0.39	0.7	<0.05
Ag	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.5	<0.5
As	<5	<5	<5	<5	10	<5	<5	<5	<5	6	<5	<5	<5
Cd	<0.5	0.7	<0.5	1.1	<0.5	1	1.3	0.5	<0.5	<0.5	1.3	<0.5	<0.5
Mo	1	1	1	<1	<1	1	1	<1	<1	<1	1	1	<1
Tl	<10	<10	<10	<10	<10	10	<10	<10	10	<10	<10	<10	<10
Sn	14	15	3	10	5	6	4	2	1	25	14	1	1
W	368	658	515	509	468	918	475	917	403	284	237	450	36
La	30.4	3.8	22	7.8	50	31.1	25	6.3	2.7	293	1.8	4.8	3.5
Ce	55.6	6.3	38.5	17.6	89	33.3	22.4	13.8	4.5	569	6.4	7.9	5.6
Pr	5.35	0.85	4.4	2.33	9.57	5.53	4.91	2.29	0.58	59	0.59	0.92	0.52
Nd	17.7	3.9	16	9.3	34.4	20.8	20.3	9.9	2.5	204	2.2	3.9	1.9
Sm	2.55	1.6	3.23	1.93	6.73	4.33	4.56	3.56	0.72	30.3	0.55	0.72	0.31
Eu	1.07	0.3	0.74	0.55	1.6	0.84	0.93	0.34	0.26	2.74	0.15	0.24	0.09
Gd	1.92	2.07	3.5	2.22	7.35	4.84	4.28	5.96	1.08	20.1	0.6	0.91	0.3
Tb	0.27	0.31	0.44	0.35	1.13	0.63	0.65	1.1	0.2	2.55	0.09	0.13	0.05
Dy	1.72	1.98	2.82	2.19	6.57	4	3.81	7.07	1.4	13.4	0.68	0.72	0.36
Y	11.4	13.3	17.5	17.2	36.7	21.7	21.2	36.3	10	54.5	3.9	6.2	2.8
Ho	0.31	0.46	0.53	0.49	1.3	0.74	0.77	1.4	0.37	2.24	0.11	0.16	0.06
Er	0.86	1.58	1.57	1.51	3.73	1.94	2.23	3.81	0.99	5.44	0.41	0.48	0.14
Tm	0.12	0.33	0.22	0.28	0.58	0.31	0.28	0.6	0.18	0.67	0.08	0.09	0.05
Yb	0.58	2.5	1.24	1.38	2.9	1.96	1.91	3.63	1.15	3.68	0.38	0.43	0.14
Lu	0.1	0.5	0.21	0.23	0.4	0.3	0.32	0.56	0.2	0.48	0.06	0.07	0.03
ΣREEY	130.0	39.8	112.9	65.4	252.0	132.3	113.6	96.6	26.8	1261.1	18.0	27.7	15.9

Anexo 2 Amostras das análises de química mineral de magnetita mais representativas das amostras das formações ferríferas da área de estudo.

Mineral	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag		
Rock	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	Amph	Amph	Amph	Amph	
Sample	C1_mag1	C1_mag1	C1_mag1	C2_mag1	C2_mag1	C2_mag1	C2_mag1	C2_mag1	C2_mag1	C2_mag1	C2_mag1	C2_mag1	C2_mag1	C2_mag1	C2_mag1	C2_mag1	C2_mag1	C2_mag1	C1_mag1	C1_mag1	C1_mag1	C1_mag1	
SiO ₂	0.13	0.56	0.17	0.07	0.07	0.38	0.53	0.18	0.08	0.10	0.05	0.09	0.18	1.84	0.17	0.51	0.51	0.62	0.21	0.19			
TiO ₂	0.21	0.25	0.13	0.00	0.22	0.30	0.12	0.13	0.14	0.06	0.10	0.11	0.00	0.00	0.16	0.15	0.18	0.06	0.00	0.17			
Al ₂ O ₃	2.04	0.46	0.43	0.34	0.30	0.46	0.69	0.44	0.43	0.62	0.53	0.62	0.32	1.06	0.36	0.03	0.04	0.05	0.04	0.00			
Fe ₂ O ₃	66.26	67.05	67.22	68.72	68.30	67.13	65.30	66.75	67.48	68.13	68.67	65.53	67.23	61.70	68.30	66.61	65.74	66.99	67.74	67.71			
FeO	31.25	31.54	30.57	31.18	31.42	31.71	30.90	30.54	30.87	31.00	31.03	29.74	30.48	32.26	31.43	30.88	30.58	31.23	30.45	30.46			
MnO	0.15	0.22	0.14	0.03	0.02	0.06	0.00	0.19	0.12	0.20	0.13	0.09	0.07	0.10	0.14	0.18	0.19	0.29	0.08	0.39			
MgO	0.21	0.02	0.05	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04	0.06	0.01	0.11	0.03	0.06	0.08	0.04	0.02	0.04			
CaO	0.01	0.00	0.05	0.01	0.00	0.06	0.15	0.02	0.04	0.16	0.16	0.18	0.00	0.03	0.00	0.04	0.10	0.10	0.03	0.06			
Na ₂ O	0.01	0.07	0.06	0.01	0.01	0.01	0.00	0.03	0.00	0.00	0.02	0.02	0.06	0.03	0.02	0.02	0.02	0.00	0.05	0.02			
K ₂ O	0.02	0.03	0.00	0.01	0.00	0.01	0.06	0.00	0.01	0.00	0.02	0.02	0.02	0.03	0.00	0.04	0.00	0.00	0.03	0.03			
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.09	0.10	0.10	0.08	0.15	0.04	0.02	0.07	0.11	0.00	0.12	0.00	0.14	0.00	0.05	0.02	0.00	0.00			
V ₂ O ₅	0.05	0.00	0.01	0.02	0.00	0.05	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.04	0.04	0.05	0.00	0.02	0.00	0.03	0.01	0.00			
NiO	0	0	0	0.004	0	0.016	0.037	0	0	0	0.031	0.005	0	0.05	0	0.004	0	0.059	0	0			
<i>Total</i>	100.3	100.2	98.9	100.5	100.5	100.3	98.0	98.4	99.2	100.4	100.9	96.5	98.5	97.3	100.8	98.5	97.5	99.5	98.7	99.1			
<i>M</i>	Ni	0	0	0	0.00012	0	0.00049	0.00116	0	0	0.00095	0.00016	0	0.00157	0	0.00013	0	0.00183	0	0			
	Si	0.00481	0.02151	0.00652	0.00268	0.00275	0.01445	0.02056	0.00687	0.00306	0.0039	0.00183	0.00342	0.00698	0.07162	0.00663	0.01995	0.02012	0.024	0.00834	0.00753		
	Ti	0.00598	0.00727	0.0037	0	0.00624	0.0086	0.00346	0.00381	0.00396	0.00158	0.00292	0.00317	0	0.00462	0.00431	0.00539	0.0016	0	0.00485			
	Cr	0	0	0.00282	0.00305	0.00305	0.00227	0.00466	0.00126	0.00067	0.00202	0.00331	0	0.00357	0	0.00422	0	0.00159	0.00052	0	0		
	Sc	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	V	0.00158	0	0.00019	0.00074	0	0.00144	0.00131	0	0.00022	0	0	0.00111	0.00134	0.00163	0	0.00069	0	0.00099	0.00028	9.3E-05		
	Al	0.09112	0.02058	0.01952	0.01523	0.01361	0.02085	0.0315	0.02041	0.01971	0.02779	0.0238	0.02884	0.01447	0.0488	0.01621	0.00115	0.00186	0.00246	0.00193	0		
	Fe ³⁺	1.88774	1.92808	1.96162	1.97662	1.96608	1.93064	1.91741	1.95938	1.96561	1.95937	1.96533	1.95907	1.97196	1.8101	1.9587	1.95312	1.94738	1.94484	1.98663	1.97804		
	Mg	0.00877	0.00125	0.00289	0.00157	0.0016	0.00222	0.00244	0.00256	0.0015	0.0016	0.00186	0.00344	0.00041	0.00616	0.00165	0.00372	0.00493	0.0023	0.00105	0.0022		
	Fe ²⁺	0	0.0213	0.00274	0	0.00666	0.01905	0.01749	0.0057	0.00527	0.00374	0	0.00079	0.00127	0.06013	0.00797	0.01694	0.01874	0.02146	0.00177	0.00729		
	ΣM	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
<i>T</i>	Al	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	Fe ³⁺	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Mg	0.00308	0	0	0.0006	0	0	0	0	0	0	0.00023	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Fe ²⁺	0.98965	0.98671	0.98877	0.99678	0.99864	0.99437	0.99083	0.99074	0.9941	0.98706	0.98702	0.98728	0.99242	0.99159	0.99386	0.98926	0.98782	0.9864	0.99053	0.98166		
	Mn	0.00484	0.00706	0.00473	0.0011	0.00062	0.00197	0	0.00621	0.00403	0.00644	0.00425	0.00286	0.00228	0.00324	0.00452	0.00581	0.0063	0.00951	0.00257	0.01282		
	Zn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Co	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Ca	0.00041	0	0.00191	0.00053	0	0.00237	0.00623	0.00063	0.00162	0.00635	0.00656	0.00766	0	0.00142	0	0.00146	0.00405	0.00409	0.00138	0.00262		
	Na	0.00095	0.00496	0.00459	0.00074	0.00074	0.00104	0	0.00242	0	0.00015	0.00111	0.00139	0.00446	0.00212	0.00163	0.00128	0.00183	0	0.00408	0.00166		
	K	0.00106	0.00127	0	0.00024	0	0.00024	0.00294	0	0.00025	0	0.00082	0.00081	0.00085	0.00164	0	0.00219	0	0	0.00144	0.00124		
ΣT	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
Fe ³⁺ /Fe _T	0.65606	0.65668	0.66425	0.66477	0.66167	0.65577	0.65536	0.66289	0.66294	0.66416	0.66568	0.66474	0.66493	0.6325	0.6616	0.65999	0.65925	0.65866	0.66689	0.66668			

Anexo 2 Amostras das análises de química mineral de magnetita mais representativas das amostras das formações ferríferas da área de estudo (continuação).

Mineral	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag
Rock	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph
Sample	Cl mag	Cl mag	Cl mag	Cl mag	Cl mag	Cl mag	Cl mag	Cl mag	Cl mag	Cl mag	Cl mag	Cl mag	Cl mag	Cl mag	Cl mag	Cl mag	Cl mag	Cl mag	Cl mag	Cl mag	Cl mag
SiO ₂	0.21	0.05	0.18	0.46	0.42	0.35	0.84	0.69	0.42	0.43	0.58	0.75	0.35	0.02	0.67	0.49	0.78	0.42	0.72	0.30	0.30
TiO ₂	0.14	0.03	0.08	0.39	0.05	0.23	0.06	0.12	0.26	0.16	0.00	0.00	0.30	0.35	0.08	0.05	0.12	0.25	0.16	0.04	0.04
Al ₂ O ₃	0.05	0.05	0.03	0.06	0.04	0.03	0.04	0.03	0.01	0.06	0.02	0.02	0.01	0.07	0.07	0.01	0.03	0.00	0.06	0.03	0.03
Fe ₂ O ₃	67.62	69.35	67.76	65.73	66.59	67.86	65.48	65.36	66.29	67.75	65.37	65.35	67.93	68.73	66.90	67.04	65.78	66.78	66.89	68.34	68.34
FeO	30.64	30.69	30.49	30.75	30.68	31.17	30.92	30.88	30.78	31.47	30.18	30.71	31.51	31.24	31.20	31.02	31.02	30.87	31.71	31.02	31.02
MnO	0.22	0.26	0.27	0.22	0.30	0.27	0.24	0.24	0.36	0.30	0.28	0.18	0.20	0.23	0.22	0.13	0.28	0.28	0.16	0.23	0.23
MgO	0.05	0.07	0.07	0.14	0.06	0.07	0.16	0.02	0.09	0.01	0.09	0.09	0.05	0.02	0.11	0.09	0.12	0.10	0.05	0.06	0.06
CaO	0.02	0.02	0.00	0.00	0.02	0.03	0.02	0.02	0.00	0.05	0.05	0.03	0.02	0.00	0.05	0.03	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00
Na ₂ O	0.03	0.05	0.04	0.03	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.03	0.04	0.00	0.02	0.00	0.01	0.03	0.03
K ₂ O	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.04	0.03	0.01	0.00	0.03	0.02	0.02	0.00	0.00	0.03	0.02	0.03	0.03	0.00	0.00
Cr ₂ O ₃	0.00	0.03	0.06	0.00	0.10	0.09	0.00	0.02	0.00	0.10	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.04	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
V ₂ O ₅	0.00	0.03	0.06	0.03	0.00	0.06	0.00	0.00	0.06	0.05	0.03	0.06	0.00	0.02	0.00	0.06	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00
NiO	0	0	0.004	0.033	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.032
<i>Total</i>	99.0	100.7	99.0	97.8	98.3	100.2	97.8	97.4	98.3	100.4	96.6	97.2	100.4	100.7	99.4	98.9	98.3	98.8	99.9	100.1	
<i>M</i>																					
Ni	0	0	0.00012	0.00104	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00099
Si	0.008	0.00206	0.00683	0.01789	0.01642	0.0135	0.03303	0.02711	0.01642	0.0163	0.02312	0.02943	0.01329	0.00076	0.02567	0.01891	0.03031	0.01634	0.02777	0.01148	0.01148
Ti	0.004	0.00092	0.00242	0.01139	0.00153	0.00655	0.00165	0.0035	0.0077	0.00461	0	0	0.0087	0.01003	0.00229	0.0014	0.00364	0.00726	0.00448	0.00118	0.00118
Cr	0	0.00103	0.00178	0	0.00309	0.00282	0	0.00047	0	0.00297	0	0.00047	0	0.00048	0	0.00129	0	0	0.00097	0	0
Sc	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V	0	0.0008	0.0019	0.00085	0	0.00178	0	0	0.00194	0.00156	0.00083	0.0019	0	0.00061	0.00056	0	0.00175	0	0.00117	0.00012	0.00012
Al	0.00215	0.00234	0.00114	0.00263	0.00166	0.00113	0.00194	0.00158	0.00046	0.00275	0.00094	0.00098	0.00036	0.00329	0.00323	0.00059	0.00147	0	0.00263	0.00154	0.00154
Fe ³⁺	1.97679	1.99285	1.97969	1.93994	1.95934	1.95767	1.93055	1.93814	1.94971	1.95134	1.95385	1.9397	1.95731	1.97596	1.94292	1.95878	1.93121	1.95458	1.9332	1.97521	1.97521
Mg	0.00284	0	0.00423	0.00801	0.00367	0.00383	0.00917	0.00135	0.00536	0.0008	0.00533	0.00506	0.00257	0.00125	0.00616	0.00515	0.0068	0.0058	0.00303	0.00344	0.00344
Fe ²⁺	0.00621	0	0.00188	0.01825	0.01428	0.01272	0.02366	0.02785	0.01841	0.01967	0.01594	0.02247	0.01777	0.00762	0.01918	0.01387	0.02481	0.01603	0.02675	0.00604	0.00604
ΣM	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>T</i>																					
Al	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe ³⁺	0	0.00142	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mg	0	0.00416	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe ²⁺	0.9892	0.98084	0.98809	0.99058	0.98915	0.98682	0.9896	0.98979	0.9878	0.98765	0.98666	0.9906	0.99119	0.99066	0.98787	0.99336	0.98724	0.98823	0.99175	0.99047	0.99047
Mn	0.00714	0.00851	0.00871	0.00744	0.00997	0.00867	0.0078	0.00788	0.01185	0.00985	0.00949	0.00615	0.00639	0.00741	0.00732	0.00431	0.00922	0.00909	0.00533	0.00732	0.00732
Zn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Co	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ca	0.00071	0.00066	0.00017	0	0.00088	0.00103	0.00076	0.00093	0	0.00205	0.002	0.00135	0.00078	0	0.00219	0.00104	0.00121	0.00092	0.00045	0	0
Na	0.00241	0.00348	0.00263	0.00198	0	0.00305	0	0	0	0.00045	0.00023	0.00084	0.00067	0.00193	0.00262	0	0.00144	0.00023	0.00089	0.00216	0.00216
K	0.00055	0.00093	0.0004	0	0	0.00044	0.00185	0.00141	0.00035	0	0.00162	0.00106	0.00098	0	0.00129	0.0009	0.00154	0.00157	4.9E-05	4.9E-05	4.9E-05
ΣT	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Fe ³⁺ /Fe _T	0.66509	0.67032	0.66664	0.65788	0.66132	0.662	0.6558	0.65571	0.65959	0.65954	0.66088	0.65986	0.66436	0.65862	0.66041	0.65615	0.66059	0.65494	0.66467		

Anexo 2 Amostras das análises de química mineral de magnetita mais representativas das amostras das formações ferríferas da área de estudo (continuação).

Mineral	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag
Rock	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph
Sample	C10 mag	C10 mag	C10 mag	C10 mag	C10 mag	C10 mag	C11 mag	C11 mag	C11 mag	C2 mag1	C2 mag1	C2 mag1	C2 mag3	C2 mag3	C2 mag4	C2 mag4	C2 mag5	C2 mag5	C3 mag1	C3 mag1	C3 mag2
SiO ₂	1.54	1.43	0.27	0.29	0.55	0.69	0.85	0.48	0.85	0.25	0.631	0.69	0.4	0.494	0.871	0.551	0.813	0.937	1.189	1.045	
TiO ₂	0.33	0.14	0.02	0.19	0.05	0.02	0.00	0.22	0.13	0.00	0.032	0.021	0.048	0.116	0.148	0.167	0	0.004	0	0.183	
Al ₂ O ₃	0.08	0.11	0.05	0.03	0.03	0.05	0.03	0.01	0.08	0.09	0.108	0.093	0.043	0.02	0.045	0.046	0.018	0.05	0.071	0	
Fe ₂ O ₃	63.72	63.03	67.59	67.25	66.43	65.95	66.57	67.27	64.85	67.20	65.6022	65.28	66.8202	66.556	64.9629	65.434	65.0993	64.959	64.6327	63.9929	
FeO	31.34	30.95	30.26	30.49	30.78	31.02	31.53	31.49	31.03	30.34	30.6241	30.43	30.6793	30.749	30.9503	30.6005	30.4876	30.6769	31.3604	31.0331	
MnO	0.20	0.16	0.13	0.25	0.28	0.07	0.20	0.18	0.24	0.26	0.238	0.121	0.144	0.25	0.316	0.142	0.194	0.23	0.124	0.185	
MgO	0.27	0.16	0.09	0.07	0.07	0.06	0.13	0.07	0.08	0.08	0.086	0.152	0.051	0.052	0.135	0.102	0.126	0.136	0.216	0.092	
CaO	0.12	0.10	0.03	0.00	0.05	0.01	0.02	0.02	0.02	0.00	0.042	0.035	0.023	0.027	0.048	0.048	0.034	0.006	0.015	0.046	
Na ₂ O	0.11	0.09	0.07	0.07	0.01	0.03	0.00	0.00	0.02	0.00	0.008	0.052	0.038	0.016	0	0.014	0.047	0.063	0	0.026	
K ₂ O	0.06	0.02	0.04	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.03	0.016	0	0	0.022	0.011	0.004	0.005	0	0.034	0.011	
Cr ₂ O ₃	0.00	0.05	0.00	0.00	0.05	0.00	0.04	0.09	0.00	0.00	0	0.094	0.008	0.025	0.001	0	0	0	0.168	0	
V ₂ O ₅	0.08	0.07	0.06	0.05	0.00	0.00	0.03	0.00	0.07	0.00	0.05	0.008	0.058	0	0.016	0	0	0.038	0.004	0.039	
NiO	0	0.046	0.011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.054	0	0.004	0	0	0.033	0	
<i>Total</i>	97.8	96.3	98.6	98.7	98.3	97.9	99.4	99.8	97.4	98.3	97.4	97.0	98.3	98.4	97.5	97.1	96.8	97.1	97.8	96.7	
<i>M</i>																					
Ni	0	0.00146	0.00034	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0017	0	0.00013	0	0	0.00104	0	
Si	0.05979	0.05665	0.01032	0.0114	0.02152	0.02689	0.03278	0.01835	0.03342	0.00962	0.02484	0.02726	0.01563	0.01929	0.03422	0.02177	0.03218	0.03694	0.04646	0.0414	
Ti	0.00955	0.00405	0.00059	0.00547	0.00141	0.00059	0	0.00637	0.00394	0	0.00095	0.00062	0.00141	0.00341	0.00437	0.00496	0	0.00012	0	0.00545	
Cr	3.1E-05	0.00153	0	0	0.00154	0	0.00122	0.0028	0	0	0	0.00294	0.00025	0.00077	3.1E-05	0	0	0	0.00519	0	
Sc	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
V	0.00234	0.00219	0.00175	0.0015	0	0	0.00077	0	0.00215	0	0.00158	0.00025	0.00182	0	0.0005	0	0	0.0012	0.00013	0.00124	
Al	0.00353	0.00532	0.00248	0.00142	0.00129	0.00231	0.00136	0.00036	0.00366	0.00415	0.00501	0.00433	0.00198	0.00092	0.00208	0.00214	0.00084	0.00232	0.00327	0	
Fe ³⁺	1.86638	1.87745	1.98108	1.96952	1.95236	1.94517	1.93163	1.94764	1.92063	1.97845	1.94325	1.94069	1.96475	1.95523	1.92074	1.94566	1.93867	1.92717	1.9002	1.90761	
Mg	0.01555	0.00915	0.00344	0.00406	0.00425	0.00327	0.00753	0.00425	0.00469	0.00484	0.00505	0.00895	0.00297	0.00303	0.00791	0.00601	0.00743	0.00799	0.01258	0.00543	
Fe ²⁺	0.04283	0.04219	0	0.00662	0.01762	0.02177	0.02471	0.02023	0.03152	0.00293	0.01933	0.01495	0.01119	0.01566	0.03014	0.01933	0.02088	0.02425	0.03114	0.03887	
ΣM	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
<i>T</i>																					
Al	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Fe ³⁺	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Mg	0	0	0.00167	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Fe ²⁺	0.97755	0.98264	0.98562	0.98565	0.98773	0.99492	0.99211	0.9932	0.98987	0.98966	0.98888	0.99049	0.99139	0.9883	0.98691	0.99194	0.9882	0.98725	0.99357	0.98929	
Mn	0.00653	0.00543	0.00442	0.00811	0.00933	0.00222	0.0064	0.00577	0.0081	0.00845	0.00793	0.00405	0.00477	0.00827	0.01052	0.00475	0.0065	0.00768	0.0041	0.00621	
Zn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Co	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ca	0.00496	0.00403	0.00117	4.2E-05	0.00188	0.00042	0.00095	0.00078	0.00089	4.2E-05	0.00177	0.00148	0.00096	0.00113	0.00202	0.00203	0.00144	0.00025	0.00063	0.00195	
Na	0.00823	0.00714	0.00498	0.00521	0.00106	0.00243	0	0.00114	0.00015	0.00061	0.00398	0.00288	0.00121	0	0.00107	0.00361	0.00482	0	0.002		
K	0.00273	0.00076	0.00214	0.00099	0	0.00054	0.00025	0	0.0017	0.0008	0	0	0.0011	0.00055	0.0002	0.00025	0	0.00169	0.00056		
ΣT	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Fe ³⁺ /Fe _T	0.64653	0.64689	0.66777	0.66498	0.66009	0.65674	0.65514	0.65775	0.65283	0.66591	0.6584	0.65873	0.66213	0.66073	0.6538	0.658	0.65768	0.6558	0.64966	0.64978	

Anexo 2 Amostras das análises de química mineral de magnetita mais representativas das amostras das formações ferríferas da área de estudo (continuação).

Mineral	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag		
Rock	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph		
Sample	C3 mag2	C3 mag3	C3 mag3	C3 mag3	C4 mag1	C4 mag1	C4 mag1	C5 mag1	C5 mag1	C5 mag1	C5 mag2	C5 mag2	C5 mag2	C5 mag2	C5 mag3	C5 mag8	C5 mag8	C5 mag9	C5 mag9	C5 mag9	C5 mag9	C6 mag1	
SiO ₂	0.342	0.496	0.853	0.595	0.823	0.272	0.027	0.494	1	1.247	1.052	0.748	0.427	0.385	0.425	0.794	0.514	1.056	0.653	0.43			
TiO ₂	0.219	0.117	0.239	0.259	0.128	0.001	0.084	0.139	0.22	0.226	0.031	0.02	0.167	0.096	0.27	0.052	0.246	0.292	0.196	0.099			
Al ₂ O ₃	0.01	0.006	0.059	0.051	0.06	0.045	0.028	0.015	0.036	0.113	0.05	0.085	0.058	0.024	0.046	0.027	0.057	0.02	0.056	0.03			
Fe ₂ O ₃	68.109	66.4	64.7004	64.4735	65.434	67.2251	69.331	66.8623	64.7601	63.6184	64.9694	65.2348	66.3355	67.1269	66.1315	65.1112	66.5831	64.5459	65.9456	66.7313			
FeO	31.6096	30.1933	30.9576	30.2976	31.1005	30.2829	30.9851	30.8753	31.2348	30.9111	30.8895	30.5937	30.5554	30.9262	30.4649	30.4769	31.3626	31.4766	30.8541	30.8732			
MnO	0.072	0.446	0.222	0.212	0.279	0.288	0.291	0.274	0.164	0.272	0.189	0.17	0.265	0.192	0.281	0.253	0.144	0.199	0.304	0.256			
MgO	0.025	0.105	0.119	0.113	0.115	0.065	0.042	0.092	0.217	0.197	0.133	0.099	0.091	0.076	0.073	0.115	0.06	0.116	0.072	0.069			
CaO	0.029	0.056	0.046	0.046	0.029	0.044	0	0.07	0	0.085	0.095	0.068	0.016	0.059	0.043	0.073	0.024	0.02	0.036	0			
Na ₂ O	0.03	0.083	0.01	0.03	0	0.01	0.016	0.027	0.033	0.049	0.071	0.024	0.013	0	0.047	0.053	0	0.019	0.026	0.003			
K ₂ O	0.013	0.018	0.028	0.005	0.017	0.041	0	0.008	0.002	0.048	0	0.017	0.033	0	0.025	0	0.007	0.026	0.035	0.001			
Cr ₂ O ₃	0.271	0.339	0	0.043	0.041	0	0.001	0.111	0.05	0.025	0.034	0	0.005	0.058	0	0.024	0	0	0	0.017			
V ₂ O ₅	0	0.043	0.021	0.032	0.077	0.071	0.044	0.04	0.034	0.027	0	0.002	0	0.042	0.035	0.05	0.028	0.036	0.007	0.042			
NiO	0	0	0.011	0	0.046	0	0	0	0	0	0	0	0	0.026	0	0	0.007	0	0.004	0			
Total	100.7	98.3	97.3	96.2	98.1	98.3	100.8	99.0	97.8	96.8	97.5	97.1	98.0	99.0	97.8	97.0	99.0	97.8	98.2	98.6			
<i>M</i>	Ni	0	0	0.00035	0	0.00144	0	0	0	0	0	0	0	0.00081	0	0	0.00022	0	0.00013	0			
	Si	0.01305	0.01935	0.03359	0.02373	0.03214	0.01063	0.00103	0.01915	0.03914	0.04917	0.04127	0.02954	0.01674	0.01494	0.01667	0.03135	0.01993	0.04133	0.02551	0.01676		
	Ti	0.00629	0.00343	0.00708	0.00777	0.00376	2.9E-05	0.00241	0.00405	0.00648	0.0067	0.00091	0.00059	0.00492	0.0028	0.00797	0.00154	0.00718	0.0086	0.00576	0.0029		
	Cr	0.00818	0.01046	0	0.00136	0.00127	0	3E-05	0.0034	0.00155	0.00078	0.00105	0	0.00015	0.00178	0	0.00075	0	0	0	0.00052		
	Sc	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	V	0	0.00135	0.00066	0.00102	0.00241	0.00222	0.00135	0.00124	0.00107	0.00085	0	6.3E-05	0	0.00131	0.0011	0.00158	0.00087	0.00113	0.00022	0.00131		
	Al	0.00045	0.00028	0.00274	0.0024	0.00276	0.00207	0.00126	0.00069	0.00166	0.00525	0.00231	0.00396	0.00268	0.0011	0.00213	0.00126	0.0026	0.00092	0.00258	0.00138		
	Fe ³⁺	1.95556	1.94952	1.91742	1.9348	1.92262	1.97718	1.99166	1.95068	1.9071	1.88753	1.91767	1.93841	1.95648	1.96033	1.95231	1.93467	1.94266	1.90084	1.93838	1.95772		
	Mg	0.00142	0.00611	0.00699	0.00672	0.00669	0.00379	0.00226	0.00532	0.01266	0.01158	0.00778	0.00583	0.00532	0.0044	0.00427	0.00677	0.00347	0.00677	0.00419	0.00401		
	Fe ²⁺	0.01506	0.0095	0.03117	0.02221	0.02691	0.00407	0	0.01546	0.03035	0.03813	0.029	0.02161	0.01371	0.01254	0.01555	0.02207	0.02307	0.04042	0.02324	0.01538		
	ΣM	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
<i>T</i>	Al	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	Fe ³⁺	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	Mg	0	0	0	0	0	0	0.00013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	Fe ²⁺	0.99364	0.97575	0.98848	0.9883	0.98871	0.98582	0.98928	0.98567	0.99196	0.98117	0.98433	0.98874	0.98789	0.99124	0.98403	0.98439	0.99393	0.98983	0.98472	0.99127		
	Mn	0.00233	0.01474	0.0074	0.00716	0.00923	0.00953	0.00941	0.009	0.00544	0.00908	0.00628	0.00569	0.0088	0.00631	0.00934	0.00846	0.00473	0.0066	0.01006	0.00845		
	Zn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	Co	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	Ca	0.00119	0.00234	0.00194	0.00197	0.00121	0.00184	0	0.00291	0	0.00359	0.00399	0.00288	0.00067	0.00245	0.00181	0.00309	0.001	0.00084	0.00151	0		
	Na	0.00222	0.00628	0.00076	0.00232	0	0.00076	0.00118	0.00203	0.0025	0.00375	0.0054	0.00184	0.00099	0	0.00357	0.00406	0	0.00144	0.00197	0.00023		
	K	0.00063	0.0009	0.00141	0.00025	0.00085	0.00204	0	0.0004	1E-04	0.00241	0	0.00086	0.00165	0	0.00125	0	0.00035	0.0013	0.00174	5E-05		
	ΣT	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Fe ³⁺ /Fe _T	0.65971	0.66428	0.65283	0.65691	0.65434	0.66637	0.66813	0.66084	0.65102	0.64934	0.65427	0.65736	0.6614	0.66136	0.66138	0.6578	0.65638	0.64851	0.65789	0.66042			

Anexo 2 Amostras das análises de química mineral de magnetita mais representativas das amostras das formações ferríferas da área de estudo (continuação).

Mineral	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag		
Rock	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph		
Sample	C6 mag1	C6 mag3	C6 mag3	C6 mag3	C6 mag3	C6 mag3	C7 mag1	C7 mag1	C7 mag2	C8 mag1	C8 mag1	C9 mag1	C9 mag1	C9 mag2	C9 mag2	C9 mag2	C9 mag2	C9 mag3	C9 mag3	C9 mag3	C9 mag4	C9 mag4	
SiO ₂	0.61	2.209	0.532	0.542	0.7	0.296	0.983	1.157	0.52	0.79	0.463	0.641	0.314	0.458	0.374	0.67	0.438	0.795	0.419	0.183			
TiO ₂	0.128	0	0.239	0.039	0.168	0.152	0	0.183	0.096	0.22	0.176	0.104	0.12	0.224	0.103	0	0.283	0.252	0.219	0.203			
Al ₂ O ₃	0.08	0.13	0.054	0.039	0.021	0.021	0.037	0.067	0.028	0.032	0.068	0.027	0.082	0.014	0.063	0.035	0.043	0.051	0.025	0.068			
Fe ₂ O ₃	66.4352	62.3888	66.0552	65.8217	66.0899	67.0809	65.8225	64.9489	66.6424	66.4283	68.0463	66.2323	68.3452	67.7535	67.4493	67.0164	67.0002	65.9932	66.8353	67.9858			
FeO	31.1337	32.3904	30.8835	30.3606	31.1503	30.8417	31.4069	31.3779	30.8402	31.5988	31.46	30.9972	31.2151	31.7325	30.9362	30.9987	31.2442	31.6013	30.8956	30.8425			
MnO	0.24	0.301	0.186	0.208	0.248	0.255	0.301	0.251	0.251	0.163	0.296	0.17	0.242	0.155	0.255	0.352	0.166	0.1	0.185	0.182			
MgO	0.092	0.175	0.081	0.088	0.057	0.047	0.108	0.142	0.049	0.109	0.098	0.1	0.063	0.049	0.039	0.125	0.024	0.074	0.061	0.057			
CaO	0.058	0	0.036	0.059	0.059	0.002	0.009	0.049	0	0.029	0.016	0.002	0	0.015	0.009	0.042	0.056	0.078	0.085	0.004			
Na ₂ O	0	0.034	0.02	0.021	0.017	0	0.002	0.059	0.041	0.03	0.025	0.03	0.026	0	0.039	0	0.029	0	0.033	0.055			
K ₂ O	0.024	0.071	0.027	0.021	0.014	0	0.029	0.019	0.004	0.009	0	0.003	0.02	0	0	0.028	0.007	0.038	0	0			
Cr ₂ O ₃	0.06	0.033	0.024	0	0	0	0.058	0	0	0.016	0.033	0	0.049	0	0.008	0	0.038	0	0	0.001			
V ₂ O ₅	0.094	0.037	0.027	0	0.015	0.025	0.045	0	0.037	0.008	0	0	0.01	0.015	0.062	0	0.036	0	0.022	0.033			
NiO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.039	0.044	0	0	0	0			
<i>Total</i>	99.0	97.8	98.2	97.2	98.5	98.7	98.8	98.3	98.5	99.4	100.7	98.3	100.5	100.4	99.3	99.3	99.4	99.0	98.8	99.6			
<i>M</i>	Ni	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00121	0.00137	0	0	0			
	Si	0.02365	0.08593	0.0208	0.0214	0.02725	0.01153	0.03812	0.04502	0.02027	0.03045	0.01765	0.02502	0.01201	0.01753	0.01447	0.02588	0.01692	0.03079	0.01629	0.00706		
	Ti	0.00373	0	0.00703	0.00116	0.00492	0.00445	0	0.00536	0.00281	0.00638	0.00505	0.00305	0.00345	0.00645	0.003	0	0.00823	0.00734	0.0064	0.00589		
	Cr	0.00184	0.00101	0.00074	0	0	0	0.00178	0	0	0.00049	0.00099	0	0.00148	0	0.00024	0	0.00116	0	0	3.1E-05		
	Sc	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	V	0.00292	0.00115	0.00085	0	0.00047	0.00078	0.0014	0	0.00116	0.00025	0	0	0.00031	0.00046	0.00192	0	0.00112	0	0.00069	0.00102		
	Al	0.00366	0.00596	0.00249	0.00181	0.00096	0.00096	0.00169	0.00307	0.00129	0.00145	0.00306	0.00124	0.0037	0.00063	0.00287	0.00159	0.00196	0.00233	0.00115	0.00309		
	Fe ³⁺	1.93801	1.82611	1.94313	1.95573	1.9362	1.96629	1.92049	1.90157	1.95469	1.92683	1.95239	1.94504	1.9665	1.95096	1.96296	1.94802	1.94799	1.92328	1.95527	1.97406		
	Mg	0.00532	0.01015	0.00472	0.00518	0.00331	0.00273	0.00624	0.00824	0.00285	0.00626	0.00557	0.00582	0.00359	0.0028	0.00225	0.0072	0.00138	0.00427	0.00354	0.00328		
	Fe ²⁺	0.02088	0.06969	0.02024	0.01471	0.02689	0.01326	0.03029	0.03674	0.01694	0.02788	0.01528	0.01983	0.00896	0.02118	0.01229	0.01609	0.01988	0.03198	0.01667	0.00556		
ΣM	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2			
<i>T</i>	Al	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	Fe ³⁺	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Mg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Fe ²⁺	0.98852	0.984	0.98947	0.98788	0.98738	0.9915	0.98816	0.98429	0.98842	0.9908	0.98794	0.99188	0.98926	0.99436	0.98835	0.98537	0.98973	0.99161	0.98788	0.98977		
	Mn	0.00788	0.00992	0.00616	0.00696	0.00818	0.00841	0.00988	0.00827	0.00829	0.00532	0.00956	0.00562	0.00784	0.00502	0.00835	0.01152	0.00543	0.00328	0.00609	0.00595		
	Zn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Co	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Ca	0.00241	0	0.00151	0.0025	0.00246	8.3E-05	0.00037	0.00204	0	0.0012	0.00065	8.4E-05	0	0.00061	0.00037	0.00174	0.00232	0.00324	0.00354	0.00017		
	Na	0	0.00256	0.00152	0.00161	0.00128	0	0.00015	0.00445	0.0031	0.00224	0.00185	0.00227	0.00193	0	0.00292	0	0.00217	0	0.00249	0.00411		
	K	0.00119	0.00352	0.00135	0.00106	0.0007	0	0.00143	0.00094	0.0002	0.00044	0	0.00015	0.00098	0	0	0.00138	0.00035	0.00188	0	0		
ΣT	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
Fe ³⁺ /Fe _T	0.65753	0.63411	0.65805	0.66109	0.65623	0.66182	0.65346	0.65064	0.66036	0.65416	0.66057	0.65783	0.6633	0.65766	0.66236	0.66046	0.65864	0.65265	0.6606	0.6648			

Anexo 2 Amostras das análises de química mineral de magnetita mais representativas das amostras das formações ferríferas da área de estudo (continuação).

Mineral	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	
Rock	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	
Sample	33	C11	m3	C11	m3	C11	m3	C11	m3	C11	m3	C11	m3	C2	m3	C2	m3	C2	m3	C2	m3	C2	m3
SiO ₂	1.968	3.216	2.235	1.386	1.451	1.167	3.037	0.644	0.705	1.628	0.233	0.309	0.473	1.174	1.089	0.131	1.017	1.625	0.278	1.183			
TiO ₂	0.137	0.133	0	0.036	0	0.156	0	0	0.051	0.016	0.32	0.215	0.011	0.158	0	0.553	0.234	0	0.301	0.107			
Al ₂ O ₃	0.391	0.424	0.404	0.585	0.502	0.332	0.364	0.407	0.277	0.433	0.491	0.52	0.419	0.372	0.326	0.325	0.499	0.567	0.611	0.388			
Fe ₂ O ₃	62.4066	59.4585	61.8851	64.4138	63.8874	64.8582	60.0076	64.8182	66.0773	63.88	66.9605	66.4306	66.5605	65.4527	64.9981	67.7301	64.9189	63.8084	67.2139	64.7622			
FeO	32.4444	34.5379	33.2486	32.6144	32.007	32.2095	33.8599	30.8776	31.4446	32.6867	31.4	30.9678	31.0719	32.4156	31.7426	31.6855	32.011	32.4171	31.424	31.918			
MnO	0.115	0.134	0.101	0.031	0.103	0.14	0.07	0.109	0.04	0.034	0.161	0	0.076	0.164	0.18	0.15	0.026	0.19	0.159	0.207			
MgO	0.056	0.009	0	0.015	0.041	0	0.022	0.075	0.038	0	0	0.037	0.002	0	0.028	0.032	0.048	0.013	0.034	0.023			
CaO	0.045	0.068	0.034	0.071	0	0.019	0.046	0	0.017	0.008	0.047	0.133	0.049	0.065	0.098	0.036	0.029	0.056	0.043	0.061			
Na ₂ O	0.107	0.022	0	0.002	0.039	0.009	0.066	0	0.013	0.014	0	0.023	0.022	0.026	0	0	0.043	0.041	0.019	0.021			
K ₂ O	0	0.03	0.021	0	0.034	0.018	0.043	0	0.013	0.049	0	0.02	0.017	0	0	0.007	0.001	0.013	0.007	0.019			
Cr ₂ O ₃	0.041	0.086	0.009	0	0.061	0.027	0.075	0.238	0	0.008	0.024	0.076	0	0.034	0.033	0.017	0.006	0	0.09	0.023			
V ₂ O ₅	0.032	0	0	0.011	0.044	0	0.051	0.05	0	0.063	0.019	0	0.036	0	0.02	0	0	0	0	0			
NiO	0	0	0	0	0.078	0	0	0.002	0	0	0	0	0	0	0	0.05	0	0	0.083	0			
<i>Total</i>		97.7	98.1	97.9	99.2	98.2	98.9	97.6	97.2	98.7	98.8	99.7	98.7	98.7	99.9	98.5	100.7	98.8	98.7	100.3	98.7		
<i>M</i>	Ni	0	0	0	0	0.00244	0	0	6.3E-05	0	0	0	0	0	0	0.00153	0	0	0.00255	0			
	Si	0.07656	0.12403	0.08681	0.05332	0.05632	0.04511	0.11777	0.02537	0.02738	0.06283	0.00897	0.01199	0.01837	0.04494	0.04228	0.005	0.03931	0.0627	0.01062	0.04579		
	Ti	0.00401	0.00386	0	0.00104	0	0.00454	0	0	0.00149	0.00046	0.00927	0.00628	0.00032	0.00455	0	0.01586	0.0068	0	0.00865	0.00312		
	Cr	0.00126	0.00262	0.00028	0	0.00187	0.00083	0.0023	0.00741	0	0.00024	0.00073	0.00233	0	0.00103	0.00101	0.00051	0.00018	0	0.00272	0.0007		
	Sc	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	V	0.001	0	0	0.00034	0.00137	0	0.00159	0.00158	0	0.00195	0.00059	0	0.00112	0	0.00062	0	0	0	0	0		
	Al	0.01793	0.01927	0.01849	0.02652	0.02296	0.01512	0.01664	0.0189	0.01268	0.01969	0.02228	0.02378	0.01917	0.01678	0.01492	0.01461	0.02273	0.02578	0.02752	0.0177		
	Fe ³⁺	1.82675	1.72546	1.80866	1.86457	1.86579	1.88633	1.75102	1.92137	1.9312	1.85499	1.93993	1.94007	1.94483	1.88515	1.89889	1.9435	1.88813	1.85253	1.93295	1.8863		
	Mg	0.00325	0.00052	0	0.00086	0.00237	0	0.00127	0.0044	0.0022	0	0	0.00214	0.00012	0	0.00162	0.00182	0.00277	0.00075	0.00194	0.00133		
	Fe ²⁺	0.06925	0.12425	0.08577	0.05335	0.04689	0.04808	0.10941	0.0209	0.02505	0.05983	0.01824	0.01341	0.01607	0.04756	0.04066	0.01717	0.04008	0.05824	0.01304	0.04507		
ΣM	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2			
<i>T</i>	Al	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	Fe ³⁺	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	Mg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	Fe ²⁺	0.98627	0.98969	0.99422	0.99591	0.992	0.99307	0.9887	0.99636	0.99635	0.9951	0.99281	0.99175	0.99296	0.99009	0.99001	0.99334	0.99468	0.98777	0.99134	0.98817		
	Mn	0.00379	0.00438	0.00332	0.00101	0.00339	0.00458	0.0023	0.00364	0.00132	0.00111	0.00525	0	0.0025	0.00532	0.00592	0.00484	0.00085	0.00621	0.00515	0.00679		
	Zn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Co	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Ca	0.00188	0.00281	0.00141	0.00293	0	0.00079	0.00191	0	0.00071	0.00033	0.00194	0.00553	0.00204	0.00267	0.00408	0.00147	0.0012	0.00231	0.00176	0.00253		
	Na	0.00807	0.00164	0	0.00015	0.00293	0.00067	0.00496	0	0.00098	0.00105	0	0.00173	0.00166	0.00193	0	0	0.00322	0.00307	0.00141	0.00158		
	K	0	0.00148	0.00104	0	0.00168	0.00089	0.00213	0	0.00064	0.00241	0	0.00099	0.00084	0	0	0.00034	4.9E-05	0.00064	0.00034	0.00094		
ΣT	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
Fe ³⁺ /Fe _T	0.63379	0.60768	0.62613	0.6399	0.64234	0.64435	0.61458	0.65383	0.65407	0.63747	0.65738	0.65872	0.6584	0.64498	0.64818	0.65792	0.64598	0.63912	0.65806	0.6461			

Anexo 2 Amostras das análises de química mineral de magnetita mais representativas das amostras das formações ferríferas da área de estudo (continuação).

Mineral	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag
Rock	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF
Sample	13	C6	ma3	C6	ma3	C6	ma3	C6	ma3	C6	ma3	C6	ma3	C6	ma3	C6	ma3	C6	ma3	C6	ma3
SiO ₂	1.093	0.842	0.553	0.49	0.413	0.382	2.921	1.834	1.722	0.306	0.502	1.274	1.177	1.815	0.417	2.562	0.505	1.383	0.245	0.597	
TiO ₂	0	0.072	0.36	0.004	0.264	0.22	0.125	0.112	0.04	0.184	0.004	0	0.108	0.074	0.3	0.218	0	0.184	0	0.072	
Al ₂ O ₃	0.523	0.619	0.358	0.341	0.428	0.289	0.696	0.542	0.397	0.317	0.552	1.347	0.541	0.411	0.339	0.506	0.505	0.354	0.325	0.388	
Fe ₂ O ₃	66.225	64.7529	66.215	66.7119	66.5394	66.9585	60.0215	63.56	63.8248	66.1423	65.7593	64.6114	65.5575	62.8482	65.9051	60.4354	66.5729	63.9294	67.7761	67.1417	
FeO	32.4127	31.5053	31.6787	31.4367	31.4109	31.2388	34.2184	33.3736	32.6674	30.9152	30.8347	32.8316	32.4073	32.6231	31.1976	33.664	31.2457	32.1862	31.1382	31.686	
MnO	0.13	0.155	0.051	0	0.051	0.026	0.074	0.03	0.064	0.101	0.094	0.112	0.056	0.162	0.103	0.07	0.154	0.051	0.092	0.056	
MgO	0.012	0.036	0.043	0	0.016	0.046	0.023	0.044	0.008	0.01	0.014	0.004	0.006	0.047	0.036	0.044	0	0.013	0.015	0.031	
CaO	0.035	0	0.053	0.015	0	0.021	0.047	0.041	0.017	0.021	0.016	0.011	0.002	0.088	0	0.065	0.035	0.021	0.071	0.054	
Na ₂ O	0.024	0	0.007	0	0.031	0.047	0.02	0	0.053	0	0.037	0	0.07	0	0.013	0.023	0	0.042	0	0	
K ₂ O	0.009	0.011	0.028	0	0.013	0	0.058	0.021	0.029	0	0.012	0.014	0	0.02	0.007	0.009	0.021	0.031	0	0.054	
Cr ₂ O ₃	0.018	0.102	0.026	0	0	0.022	0.035	0.109	0	0	0.117	0	0.008	0.048	0.067	0	0	0.017	0.058	0	
V ₂ O ₅	0	0.021	0.016	0.051	0.045	0	0.025	0	0.006	0.042	0	0.032	0	0	0.024	0	0.028	0	0.055	0.077	
NiO	0	0	0.009	0	0	0	0	0	0	0	0	0.061	0.004	0	0	0	0	0.007	0.011	0	
Total	100.5	98.1	99.4	99.0	99.2	99.3	98.3	99.7	98.8	98.0	97.9	100.3	99.9	98.1	98.4	97.6	99.1	98.2	99.8	100.2	
M	Ni	0	0	0.00028	0	0	0	0	0	0	0	0.00186	0.00012	0	0	0	0.00022	0.00034	0	0	
	Si	0.04157	0.03281	0.02132	0.01898	0.01596	0.01476	0.11246	0.07005	0.06641	0.01198	0.01963	0.04829	0.04496	0.07045	0.01625	0.09956	0.01954	0.05375	0.00943	0.02284
	Ti	0	0.00211	0.01044	0.00012	0.00767	0.0064	0.00362	0.00322	0.00116	0.00542	0.00012	0	0.0031	0.00216	0.0088	0.00637	0	0.00538	0	0.00207
	Cr	0.00054	0.00314	0.00079	0	0	0.00067	0.00107	0.00329	0	0	0.00362	0	0.00024	0.00147	0.00206	0	0	0.00052	0.00176	0
	Sc	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	V	0	0.00066	0.00049	0.00158	0.00139	0	0.00077	0	0.00019	0.00132	0	0.00097	0	0	0.00075	0	0.00087	0	0.0017	0.00236
	Al	0.02344	0.02842	0.01627	0.01557	0.01949	0.01316	0.03158	0.0244	0.01804	0.01463	0.02544	0.06017	0.02436	0.0188	0.01557	0.02317	0.02303	0.01621	0.01474	0.01749
	Fe ³⁺	1.89509	1.89849	1.92083	1.94465	1.93481	1.94736	1.73878	1.8268	1.85203	1.94924	1.93486	1.84294	1.88445	1.83551	1.93285	1.76715	1.93807	1.8697	1.96294	1.93295
	Mg	0.00068	0.00209	0.00247	0	0.00092	0.00265	0.00132	0.00251	0.00046	0.00058	0.00082	0.00023	0.00034	0.00272	0.00209	0.00255	0	0.00075	0.00086	0.00177
	Fe ²⁺	0.03868	0.03228	0.02711	0.0191	0.01975	0.01499	0.11041	0.06974	0.06172	0.01682	0.01553	0.04553	0.04242	0.0689	0.02163	0.1012	0.0185	0.05346	0.00823	0.02051
	ΣM	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
T	Al	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Fe ³⁺	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fe ²⁺	0.99218	0.99434	0.99425	0.99938	0.99537	0.99476	0.99131	0.99633	0.99182	0.99577	0.99281	0.99528	0.99292	0.99003	0.99527	0.99281	0.99247	0.99275	0.99407	0.99334
	Mn	0.00419	0.00511	0.00167	0	0.00167	0.00085	0.00241	0.00097	0.00209	0.00335	0.00311	0.0036	0.00181	0.00533	0.0034	0.0023	0.00505	0.00168	0.003	0.00181
	Zn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Co	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ca	0.00143	0	0.00219	0.00062	0	0.00087	0.00194	0.00168	0.0007	0.00088	0.00067	0.00045	8.2E-05	0.00366	0	0.00271	0.00145	0.00087	0.00293	0.00221
	Na	0.00177	0	0.00052	0	0.00232	0.00352	0.00149	0	0.00396	0	0.0028	0	0.00518	0	0.00098	0.00173	0	0.00316	0	0
	K	0.00044	0.00055	0.00138	0	0.00064	0	0.00285	0.00102	0.00143	0	0.0006	0.00068	0	0.00099	0.00035	0.00045	0.00104	0.00154	0	0.00264
	ΣT	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Fe ³⁺ /Fe _T	0.64768	0.64903	0.65286	0.65628	0.65588	0.65854	0.61214	0.63148	0.63741	0.65812	0.6574	0.63908	0.64541	0.63415	0.65526	0.61763	0.65719	0.64121	0.66198	0.65595	

Anexo 2 Amostras das análises de química mineral de magnetita mais representativas das amostras das formações ferríferas da área de estudo (continuação).

Mineral	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	
Rock	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	
Sample	83	C9	m83	C9	m83	C9	m83	C9	m83	C9	m83	C9	m83	C9	m83	C9	m83	C9	m83	C9	m83	C9	m83
SiO ₂	0.811	4.113	0.542	1.906	0.939	1.149	0.717	1.185	0.224	2.282	0.243	0.457	0.66	0.301	0.123	0.185	0.473	0.068	0.346	0.144			
TiO ₂	0.304	0	0.024	0.233	0.035	0.092	0.173	0.064	0.024	0.213	0.137	0.084	0.369	0.11	0.166	0.075	0.273	0.131	0	0.142			
Al ₂ O ₃	0.386	0.539	0.263	0.584	0.374	0.446	0.33	0.434	0.371	0.312	0.306	0.523	0.455	0.379	0.334	0.341	0.472	0.584	1.662	0.359			
Fe ₂ O ₃	66.1568	57.0421	67.2861	63.1892	65.6357	64.973	66.8757	64.5316	65.4352	60.6916	67.1827	67.0098	63.5009	67.2729	68.628	68.3097	65.1927	68.3974	66.8658	68.0933			
FeO	32.3711	35.2241	31.6	33.3112	31.747	31.8452	32.0103	31.8064	30.1064	32.9164	30.9191	31.5536	30.8998	30.9059	31.5587	31.537	31.1646	31.4671	31.9142	31.2877			
MnO	0.106	0.161	0.115	0.054	0	0.174	0.053	0.091	0.091	0.037	0.076	0.142	0.055	0.014	0	0.048	0.088	0	0.143				
MgO	0.024	0.055	0	0.009	0	0.041	0.017	0.013	0.013	0	0	0.003	0.044	0	0.004	0.019	0.063	0.016					
CaO	0.012	0.1	0.021	0.027	0.021	0.035	0	0	0.044	0.077	0.001	0.027	0.048	0.005	0.031	0	0	0	0.042				
Na ₂ O	0	0.048	0	0.058	0.04	0.047	0.022	0.065	0	0.033	0.027	0	0.015	0.078	0.019	0	0.013	0	0				
K ₂ O	0	0.021	0.006	0.021	0.015	0.038	0.026	0	0	0.038	0.034	0.008	0	0.002	0	0.024	0	0.014	0				
Cr ₂ O ₃	0	0.181	0	0.026	0.015	0.032	0.032	0.016	0	0.101	0	0	0	0.001	0	0.083	0.111	0.015	0	0.049			
V ₂ O ₅	0.033	0.017	0.056	0.009	0.02	0.037	0.009	0.051	0	0	0.034	0.008	0	0.031	0.013	0.085	0	0.032	0	0.011			
NiO	0	0	0.058	0	0.056	0.007	0	0.013	0	0	0	0	0.022	0	0	0.042	0.013	0	0				
Total	100.2	97.5	100.0	99.4	98.9	98.9	100.3	98.3	96.3	96.7	99.0	99.8	96.0	99.1	100.9	100.6	97.8	100.8	100.9	100.3			
M	Ni	0	0	0.00179	0	0.00174	0.00022	0	0.00041	0	0	0	0.00071	0	0	0.00132	0.0004	0	0				
	Si	0.03099	0.15874	0.02081	0.07291	0.03633	0.04439	0.02739	0.04605	0.00893	0.08969	0.00943	0.01755	0.02631	0.01164	0.00469	0.00706	0.01854	0.00259	0.01307	0.00552		
	Ti	0.00874	0	0.00069	0.0067	0.00102	0.00267	0.00497	0.00187	0.00072	0.0063	0.004	0.00243	0.01107	0.0032	0.00476	0.00215	0.00805	0.00375	0	0.00409		
	Cr	0	0.00552	0	0.00079	0.00046	0.00098	0.00097	0.00049	0	0.00314	0	0	0	3.1E-05	0	0.00251	0.00344	0.00045	0	0.00148		
	Sc	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	V	0.00101	0.00053	0.00172	0.00028	0.00062	0.00115	0.00028	0.00159	0	0	0.00106	0.00025	0	0.00096	0.0004	0.0026	0	0.00098	0	0.00034		
	Al	0.01738	0.02452	0.0119	0.02633	0.01705	0.02031	0.01485	0.01988	0.01743	0.01445	0.01399	0.02367	0.02138	0.01728	0.01499	0.01534	0.0218	0.02621	0.07399	0.01621		
	Fe ³⁺	1.90215	1.65658	1.94367	1.81872	1.91091	1.88883	1.92209	1.88709	1.96326	1.79486	1.9618	1.93652	1.90502	1.95799	1.96713	1.96229	1.92258	1.95968	1.90055	1.96276		
	Mg	0.00137	0.00316	0	0.00051	0	0.00233	0.00098	0.00077	0.00076	0	0	0.00018	0.00254	0	0.00023	0.00108	0.00355	0.00091				
	Fe ²⁺	0.03836	0.15095	0.01942	0.07377	0.03187	0.04145	0.02713	0.04163	0.00888	0.0908	0.00971	0.01959	0.03534	0.00636	0.00804	0.00805	0.02404	0.00486	0.00885	0.00869		
ΣM	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2			
T	Al	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	Fe ³⁺	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Mg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Fe ²⁺	0.99608	0.98598	0.9951	0.99182	0.99539	0.98747	0.99539	0.99211	0.99505	0.99111	0.99375	0.99388	0.99493	0.99339	0.99733	0.99883	0.99742	0.99716	0.99933	0.99364		
	Mn	0.00343	0.00526	0.00374	0.00175	0	0.00569	0.00171	0.003	0.00307	0.00123	0.0025	0.00462	0.00186	0.00046	0	0.00159	0.00284	0	0.00464			
	Zn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Co	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Ca	0.00049	0.00413	0.00086	0.00111	0.00087	0.00145	0	0.00188	0.00324	4.2E-05	0.00111	0.00205	0.00021	0.00127	0	0	0	0	0.00172			
	Na	0	0.00359	0	0.0043	0.003	0.00352	0.00163	0.0049	0	0.00251	0.00203	0	0.00116	0.00585	0.0014	0.00099	0	0	0			
	K	0	0.00103	0.00029	0.00102	0.00074	0.00187	0.00127	0	0.00191	0.00168	0.00039	0	9.9E-05	0	0.00117	0	0.00067	0				
ΣT	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
Fe ³⁺ /Fe _T	0.64774	0.59301	0.65705	0.63056	0.65038	0.64736	0.65275	0.64608	0.66166	0.62392	0.66159	0.65645	0.64901	0.66199	0.66178	0.66089	0.65304	0.66167	0.6534	0.66196			

Anexo 2 Amostras das análises de química mineral de magnetita mais representativas das amostras das formações ferríferas da área de estudo (continuação).

Mineral	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	
Rock	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	
Sample	13	C1	ma3	C1	ma3	C1	ma3	C1	ma3	C1	ma3	C1	ma3	C1	ma3	C1	ma3	C2	ma3	C2	ma3	C2	ma3
SiO ₂	0.094	0.748	0.103	0.132	0.183	0.083	0.138	0.536	0.16	0.106	0.137	0.595	0.464	0.465	0.421	0.158	0.95	0.295	0.384	0.254			
TiO ₂	0.674	0.046	0.079	0.419	0.273	0.137	0.024	0.242	0.145	0.015	0.261	0.011	0.134	0.098	0.364	0.134	0	0.234	0.048	0.231			
Al ₂ O ₃	1.358	0.376	0.41	0.359	0.419	0.398	0.996	0.384	0.39	0.369	0.528	0.331	0.453	0.441	0.378	0.461	0.435	0.326	0.412	0.311			
Fe ₂ O ₃	65.7228	65.0871	68.4869	68.0697	66.8116	67.9256	67.3293	64.7043	67.0285	67.7176	67.1541	64.5911	64.7279	66.1542	65.6199	66.4974	64.0764	66.2476	65.0909	67.451			
FeO	31.8006	31.2976	31.2866	31.691	31.051	31.2316	31.1992	30.9781	30.9378	30.4978	31.2288	30.3739	30.6738	31.3305	31.3442	30.7556	30.768	31.0014	30.4671	31.5796			
MnO	0	0.067	0.15	0	0.067	0	0.091	0	0.086	0.094	0	0.048	0	0.03	0.029	0	0.058	0.029	0	0			
MgO	0.046	0.024	0	0.002	0	0.038	0.058	0	0	0.048	0.027	0.069	0.01	0.023	0.016	0.033	0.025	0.009	0.005	0			
CaO	0.009	0.013	0	0.033	0	0	0	0.109	0.001	0.086	0.005	0.011	0	0	0.004	0.032	0.159	0.019	0.014	0.027			
Na ₂ O	0.009	0	0	0.016	0.026	0	0	0	0.007	0.027	0	0.027	0.009	0	0.012	0.003	0.046	0	0	0			
K ₂ O	0	0	0.013	0.033	0.003	0	0	0	0.015	0.015	0.027	0.014	0.012	0	0.001	0	0.019	0.024	0.013	0			
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0.049	0.016	0.108	0.093	0.031	0.075	0	0.03	0.067	0	0.007	0	0.024	0.058			
V ₂ O ₅	0.039	0.015	0	0.021	0	0.033	0.014	0.028	0	0.009	0	0	0	0.057	0	0.028	0.012	0.069	0.009	0			
NiO	0.035	0	0	0	0	0	0	0	0	0.053	0.009	0	0	0	0	0	0.031	0.052	0	0			
<i>Total</i>	99.8	97.7	100.5	100.8	98.8	99.8	99.9	97.0	98.9	99.1	99.4	96.1	96.5	98.6	98.3	98.1	96.6	98.3	96.5	99.9			
<i>M</i>	Ni	0.00108	0	0	0	0	0	0	0	0.00165	0.00028	0	0	0	0	0.00097	0.00166	0	0	0.00976			
	Si	0.0036	0.02934	0.00394	0.00503	0.00711	0.00319	0.00529	0.02118	0.00622	0.00411	0.00529	0.02371	0.01844	0.01808	0.01643	0.00618	0.0376	0.01152	0.01526	0.00976		
	Ti	0.0194	0.00136	0.00227	0.01201	0.00798	0.00397	0.00069	0.00719	0.00424	0.00044	0.00758	0.00033	0.004	0.00287	0.01069	0.00394	0	0.00688	0.00144	0.00668		
	Cr	0	0	0	0	0	0	0.00148	0.0005	0.00332	0.00285	0.00095	0.00236	0	0.00092	0.00207	0	0.00022	0	0.00075	0.00176		
	Sc	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	V	0.0012	0.00047	0	0.00064	0	0.00102	0.00043	0.00089	0	0.00028	0	0	0	0.00178	0	0.00088	0.00038	0.00216	0.00029	0		
	Al	0.06124	0.01738	0.01847	0.01612	0.01918	0.01805	0.04497	0.01788	0.01785	0.01684	0.02402	0.01554	0.02121	0.0202	0.01739	0.02126	0.02029	0.01501	0.0193	0.01409		
	Fe ³⁺	1.89224	1.92076	1.96975	1.95194	1.95276	1.96662	1.94115	1.92398	1.9592	1.97371	1.95063	1.93681	1.93521	1.93521	1.92726	1.95784	1.9084	1.94723	1.94692	1.95126		
	Mg	0.00262	0.0014	0	0.00011	0	0.00218	0.00331	0	0	0.00012	0.00155	0.0041	0.00059	0.00133	0.00093	0.00192	0.00148	0.00052	0.0003	0		
	Fe ²⁺	0.01863	0.02929	0.00557	0.01414	0.01298	0.00498	0.00267	0.02837	0.00918	0	0.0097	0.01714	0.02055	0.01961	0.02523	0.00797	0.03164	0.01571	0.01408	0.01645		
ΣM	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2			
<i>T</i>	Al	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	Fe ³⁺	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Mg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00265	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Fe ²⁺	0.99896	0.99723	0.99451	0.99587	0.99569	1	0.99705	0.99539	0.99586	0.98793	0.99846	0.99511	0.9987	0.99901	0.99792	0.99843	0.98682	0.99705	0.99874	0.99889		
	Mn	0	0.00223	0.00486	0	0.0022	0	0.00295	0	0.00283	0.00308	0	0.00162	0	0.00099	0.00096	0	0.00194	0.00096	0	0		
	Zn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Co	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Ca	0.00037	0.00055	0	0.00135	0	0	0	0.00461	4.2E-05	0.00357	0.00021	0.00047	0	0	0.00017	0.00134	0.00674	0.0008	0.0006	0.00111		
	Na	0.00067	0	0	0.00118	0.00196	0	0	0	0.00053	0.00203	0	0.00209	0.00069	0	0.00091	0.00023	0.00353	0	0	0		
	K	0	0	0.00063	0.0016	0.00015	0	0	0	0.00074	0.00074	0.00133	0.00071	0.00061	0	5E-05	0	0.00096	0.0012	0.00066	0		
ΣT	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
Fe ³⁺ /Fe _T	0.65029	0.65171	0.66325	0.65901	0.6594	0.6618	0.66006	0.6527	0.66094	0.66642	0.65926	0.65675	0.65501	0.65515	0.65322	0.66049	0.65203	0.65785	0.6578	0.65774			

Anexo 2 Amostras das análises de química mineral de magnetita mais representativas das amostras das formações ferríferas da área de estudo (continuação).

Mineral	Mag IF	Mag IF	Mag IF	Mag IF	Mag IF	Mag IF	Mag IF	Mag IF	Mag IF	Mag IF	Mag IF	Mag IF	Mag IF	Mag IF	Mag IF	Mag IF	Mag IF	Mag IF	Mag IF	Mag IF	Mag IF															
Rock	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF															
Sample	3	C2	ma23	C2	ma3	C2	ma3	C2	ma3	C2	ma3	C3	ma3	C3	ma3	C4	ma3	C4	ma3	C4	ma3	C5	ma3	C5	ma3	C5	ma3	C5	ma3	C5	ma3	C5	ma3			
SiO ₂	0.79	0.165	0.516	0.35	0.213	0.974	0.308	0.287	0.162	0.894	1.109	0.537	1.06	0.344	0.488	0.111	0.383	1.445	0.19	0.178																
TiO ₂	0.167	0.151	0.074	0.499	0.083	0.271	0.119	0.063	0.087	0.15	0.172	0.121	0	0.161	0.271	0.244	0.196	0.148	0.144	0.059																
Al ₂ O ₃	0.327	0.373	0.445	0.448	0.364	0.389	0.432	0.246	0.329	0.417	0.33	0.459	0.366	0.456	0.408	0.359	0.434	0.362	0.377	0.392																
Fe ₂ O ₃	64.8007	67.4542	65.8876	64.7456	66.095	63.6057	67.9866	67.5134	68.3517	65.1842	63.7685	66.4088	64.9009	66.3337	67.6592	67.8551	66.4367	64.0735	67.8515	68.5394																
FeO	31.4053	30.6818	30.9404	31.0919	30.1848	31.2805	31.1518	30.9165	31.3613	31.0792	30.521	31.6584	31.6632	30.857	31.8933	31.4801	31.2023	32.7216	31.4363	31.3414																
MnO	0.09	0.091	0.155	0.023	0.133	0.075	0.08	0.068	0.029	0.065	0.013	0	0.027	0.097	0.086	0	0.107	0	0.049	0																
MgO	0.009	0	0.022	0	0.007	0.038	0.033	0	0.011	0.048	0.039	0.018	0	0.027	0	0	0.012	0.011	0	0																
CaO	0.026	0.011	0.03	0.017	0.052	0.002	0.061	0	0	0.011	0.081	0.023	0.044	0	0.031	0.002	0	0	0.014	0.015																
Na ₂ O	0	0.052	0.017	0	0.046	0.054	0.06	0.026	0.006	0.131	0.147	0	0.042	0.039	0.044	0.004	0.019	0.012	0	0.052																
K ₂ O	0.007	0.042	0.019	0.014	0	0	0.053	0.055	0.022	0.015	0.079	0.006	0	0	0.031	0	0.008	0.004	0	0																
Cr ₂ O ₃	0	0.007	0	0	0	0.068	0.167	0	0.007	0.069	0.024	0.057	0	0	0	0	0.015	0.031	0	0																
V ₂ O ₅	0	0.028	0.05	0.026	0.032	0.004	0	0	0	0.004	0.036	0.091	0	0.042	0.039	0.046	0.006	0.019	0	0.041																
NiO	0	0.044	0	0	0	0	0	0	0	0	0.052	0.03	0	0.069	0.006	0	0	0	0	0																
Total	97.6	99.1	98.2	97.2	97.2	96.8	100.5	99.2	100.4	98.1	96.4	99.4	98.1	98.4	101.0	100.1	98.8	98.8	100.1	100.6																
M	Ni	0	0.00137	0	0	0	0	0	0	0	0.00166	0.00093	0	0.00216	0.00018	0	0	0	0	0																
	Si	0.031	0.00639	0.02014	0.01381	0.00841	0.03848	0.01175	0.01112	0.0062	0.03483	0.04391	0.0207	0.04132	0.0134	0.01853	0.00426	0.01486	0.05583	0.00729	0.00679															
	Ti	0.00493	0.0044	0.00217	0.01481	0.00247	0.00805	0.00342	0.00184	0.00251	0.0044	0.00512	0.00351	0	0.00472	0.00774	0.00705	0.00572	0.0043	0.00416	0.00169															
	Cr	0	0.00021	0	0	0	0.00212	0.00504	0	0.00021	0.00213	0.00075	0.00174	0	0	0	0.00046	0.00095	0	0	0															
	Sc	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0															
	V	0	0.00087	0.00156	0.00082	0.00101	0.00013	0	0	0	0.00012	0.00114	0.00281	0	0.00131	0.00119	0.00142	0.00019	0.00059	0.00125	0															
	Al	0.01512	0.01703	0.02047	0.02083	0.01694	0.01811	0.01943	0.01123	0.01484	0.01914	0.0154	0.02085	0.01681	0.02093	0.01825	0.01624	0.01985	0.01648	0.01706	0.01763															
	Fe ³⁺	1.91337	1.96628	1.93556	1.92183	1.96382	1.89072	1.95221	1.96754	1.96905	1.9108	1.89991	1.92647	1.90372	1.94446	1.93277	1.96003	1.94016	1.86281	1.96004	1.96799															
	Mg	0.00053	0	0.00128	0	0.00041	0.00224	0.00188	0	0.00063	0.00279	0.0023	0.00103	0	0.00157	0	0.00069	0.00063	0	0	0															
	Fe ²⁺	0.03505	0.00344	0.0188	0.02791	0.00694	0.04016	0.00627	0.00828	0.00656	0.0258	0.0298	0.02195	0.03815	0.01144	0.02134	0.01101	0.01807	0.0584	0.01145	0.00464															
ΣM	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2																	
T	Al	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																
	Fe ³⁺	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0															
	Mg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0															
	Fe ²⁺	0.99557	0.99058	0.99139	0.99781	0.98983	0.99327	0.9879	0.9931	0.99754	0.98676	0.98085	0.99875	0.9941	0.99385	0.99123	0.99962	0.99466	0.99783	0.99554	0															
	Mn	0.00299	0.00299	0.00512	0.00077	0.00445	0.00251	0.00259	0.00223	0.00094	0.00214	0.00044	0	0.00089	0.0032	0.00277	0	0.00352	0	0.00159	0															
	Zn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0															
	Co	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0															
	Ca	0.00109	0.00046	0.00125	0.00072	0.0022	8.5E-05	0.00249	0	0	0.00046	0.00344	0.00095	0.00184	0	0.00126	8.2E-05	0	0.00058	0.00061	0															
	Na	0	0.00391	0.00129	0	0.00352	0.00414	0.00444	0.00195	0.00045	0.00989	0.01128	0	0.00317	0.00295	0.00324	0.0003	0.00143	0.0009	0.00385	0															
	K	0.00035	0.00208	0.00095	0.0007	0	0.00258	0.00272	0.00107	0.00075	0.00399	0.0003	0	0	0	0.0015	0	0.0004	0.0002	0	0															
ΣT	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1																	
Fe ³⁺ /Fe _T	0.64992	0.66422	0.65707	0.65201	0.66332	0.64659	0.66258	0.66271	0.66228	0.65363	0.65276	0.65367	0.64841	0.65919	0.65621	0.6598	0.65704	0.63792	0.6601	0.66303																

Anexo 2 Amostras das análises de química mineral de magnetita mais representativas das amostras das formações ferríferas da área de estudo (continuação).

Mineral	Mag		Mag		
	IF	IF	IF	IF	
Rock	26 C5 c	26 C5 c	26 C6 c	26 C6 c	
SiO ₂	0.11	0.185	0.093	0.101	
TiO ₂	0.06	0.076	0	0.023	
Al ₂ O ₃	0.138	0.087	0.137	0.141	
Fe ₂ O ₃	66.6962	65.9167	66.2796	66.4241	
FeO	30.0548	29.9542	29.9886	30.0856	
MnO	0	0	0.125	0	
MgO	0.037	0.034	0.018	0.028	
CaO	0	0.026	0	0	
Na ₂ O	0.046	0.035	0.003	0.015	
K ₂ O	0.029	0.037	0.002	0.017	
Cr ₂ O ₃	0.047	0.163	0.035	0.039	
V ₂ O ₅	0.005	0.042	0.04	0.008	
NiO	0	0	0	0	
<i>Total</i>	97.2	96.6	96.7	96.9	
<i>M</i>	Ni	0	0	0	0
	Si	0.00435	0.00737	0.0037	0.00401
	Ti	0.00178	0.00228	0	0.00069
	Cr	0.00147	0.00513	0.0011	0.00122
	Sc	0	0	0	0
	V	0.00016	0.00134	0.00128	0.00025
	Al	0.00643	0.00408	0.00642	0.0066
	Fe ³⁺	1.98466	1.97474	1.98413	1.98454
	Mg	0.00115	0.00202	0.00107	0.00166
	Fe ²⁺	0	0.00304	0.0023	0.00102
	ΣM	2	2	2	2
<i>T</i>	Al	0	0	0	0
	Fe ³⁺	0	0	0	0
	Mg	0.00104	0	0	0
	Fe ²⁺	0.99397	0.99431	0.99546	0.99798
	Mn	0	0	0.00421	0
	Zn	0	0	0	0
	Co	0	0	0	0
	Ca	0	0.00111	0	0
	Na	0.00353	0.0027	0.00023	0.00115
	K	0.00146	0.00188	0.0001	0.00086
ΣT	1	1	1	1	
Fe ³⁺ /Fe _t	0.6663	0.66443	0.66539	0.66516	